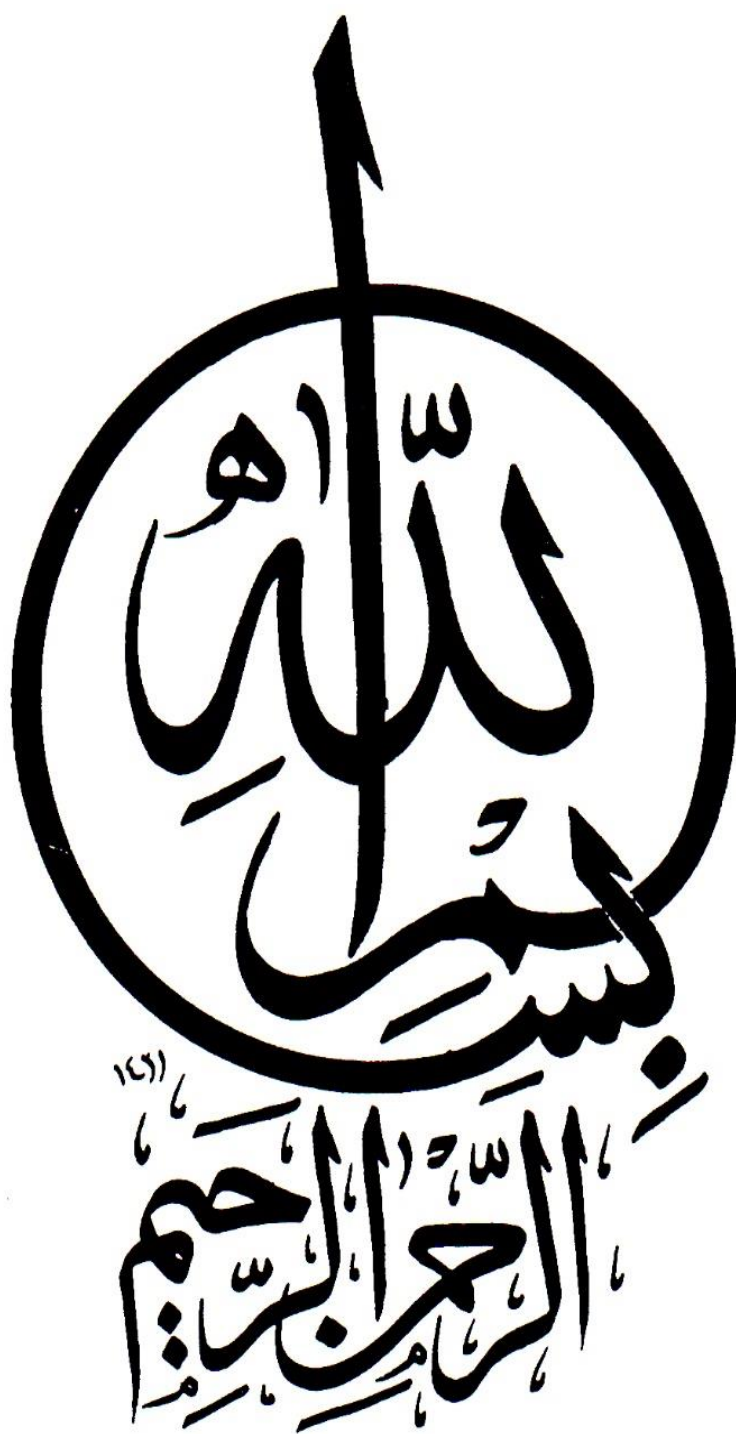
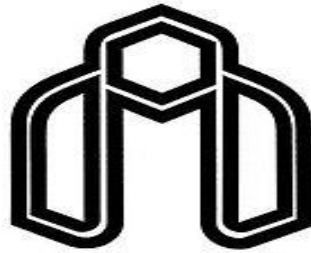






دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران

رشته‌ی مهندسی ژئوتکنیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی اثر طول‌ها و قطرهای مختلف بر رفتار و ظرفیت
باربری ستون‌های شنی مخلوط شده با خرده لاستیک با
استفاده از دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس

نگارنده: محمد الیاسی نژاد

استاد راهنما:

دکتر محسن کرامتی

اردیبهشت ماه ۱۴۰۰

تقدیم بہ:

پدر و مادر مہربانم

شکر و قدردانی:

حمد و سپاس پروردگار یکتا را سزا است که عزیز و زیباست و طاعتش موجب قربت است. انجام این

پژوهش را مدیون انسان های بزرگی هستم که محبت و خضوع را معنا کرده اند.

استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر محسن کرامتی با زبان کلمات قادر به سپاس گذاری از آن ها نخواهم بود و

از خداوند متعال سلامت و سعادت ایشان را خواستارم. همچنین از تمامی دوستان و عزیزانی که با کمک -

های ارزنده خویش مراد مراحل مختلف یاری نمودند، شکر و قدردانی می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب محمد الیاسی نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی اثر طول ها و قطرهای مختلف بر رفتار و ظرفیت باربری ستون های شنی مخلوط شده با خرده لاستیک با استفاده از دستگاه مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس تحت راهنمایی دکتر محسن کرامتی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

با رشد روزافزون جمعیت و تولید خودرو به طبع آن سالیانه حجم وسیعی از لاستیک‌های ضایعاتی پیش‌بینی شده جمع‌آوری می‌شوند. هزینه گزاف دفن کردن، حجم بالای لاستیک به دلیل وزن مخصوص پایین آن،... باعث ایجاد معضلات زیست‌محیطی می‌شود. کشور ما با توجه به اهمیت پیدا کردن معضلات زیست‌محیطی و افزایش سالانه تعداد لاستیک‌های فرسوده از این معضلات فارغ نمی‌باشد. یکی از راهکارهای مقابله با این مشکلات استفاده مجدد از لاستیک در مهندسی عمران می‌باشد، که پتانسیل بالایی در زمینه‌های مختلف برای این کار دارد. یکی از همین زمینه‌ها در مهندسی عمران، ستون‌های سنگی هستند. هدف از آزمایشات به عمل آمده، بررسی تأثیر استفاده از خرده لاستیک بر ظرفیت باربری ستون‌های سنگی می‌باشد. این در این پژوهش، خرده‌های لاستیک‌های دورریختنی به عنوان یک ماده جایگزین برای مواد شنی و اثرات حاصل از آن‌ها بر روی رفتار ستون شنی با سه قطر ۱۶۰، ۱۱۵، ۸۴ میلی‌متر و چهار طول ۱۲۵، ۷۵، ۵۰، ۳۵ سانتی‌متر همچنین با استفاده از یک نوع خرده لاستیک با ابعاد ۴/۷۵-۹/۲۵ میلی‌متر با درصد حجمی ۴۰ درصد در دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس انجام همراه با دوازده سری آزمایش برش مستقیم جعبه بزرگ در سه نسبت حجمی از مخلوط شن و خرده لاستیک انجام گرفت. نتایج آزمایش باکس برش مستقیم جعبه بزرگ و دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس نشان‌دهنده‌ی افزایش ظرفیت بار ستون‌های سنگی مخلوط شده با ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک نسبت به شن خالص می‌باشد. نتایج آزمایش برش مستقیم جعبه بزرگ نشان دادند که تا افزودن ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک به شن ظرفیت باربری ستون شنی نسبت به شن خالص افزایش و با افزودن بیش از ۴۰ درصد خرده لاستیک به شن ظرفیت باربری نسبت به شن خالص کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس نشان دادند که در یک ستون شنی در طول ثابت با کاهش نسبت L/D ظرفیت باربری ستون شنی افزایش می‌یابد و در قطر ثابت ۱۲۵، ۸۴ و ۱۶۰ میلی‌متر با افزایش نسبت L/D به ترتیب تا ۴، ۵/۹۵ و ۳/۱۲۵ ظرفیت باربری ستون شنی روند افزایشی و سپس با افزایش نسبت L/D به ترتیب تا ۱۰، ۷/۸۱ و ۱۴/۸۸ ظرفیت باربری روند کاهش به خود می‌گیرد که بهترین عملکرد ستون شنی در طول ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۱۶۰ میلی‌متر $L/D=3/1$ اتفاق می‌افتد؛ که باعث افزایش ۲۱ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می‌گردد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از خرده لاستیک به عنوان یک ماده جایگزین بجای مواد شنی یک راهکار اقتصادی برای ارتقای ظرفیت بارگذاری ستون‌های سنگی و حل معضلات زیست‌محیطی است.

کلیدواژه: ژئوتکنیک زیست‌محیطی، ضایعات خرده لاستیک، ستون شنی، بهبود خاک، ظرفیت باربری

فهرست مطالب

۱	فصل ۱
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- بیان مسئله و اهمیت موضوع.....
۴	۱-۲-۱- معضلات دفع تایرهای فرسوده.....
۵	۲-۲-۱- خطر آتش سوزی.....
۶	۳-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۸	۴-۱- اهداف تحقیق.....
۸	۵-۱- روش انجام تحقیق.....
۹	۶-۱- فصل بندی مطالب.....
۱۱	فصل ۲: مروری بر ادبیات فنی
۱۲	۱-۲- مقدمه.....
۱۲	۲-۲- ستون شنی.....
۱۳	۱-۲-۲- تاریخچه ستون شنی.....
۱۵	۲-۲-۲- تعریف.....
۱۷	۳-۲-۲- مدهای خرابی در ستون شنی.....
۱۸	۴-۲-۲- مزایای ستون شنی.....
۱۹	۵-۲-۲- بعد اقتصادی.....
۱۹	۶-۲-۲- بعد اجرایی.....
۱۹	۷-۲-۲- بعد فنی.....
۲۰	۸-۲-۲- تضمین کیفیت عملکرد.....

۲۰	۲-۲-۹- بعد زمانی
۲۰	۲-۳- خرده لاستیک
۲۰	۲-۳-۱- مقدمه
۲۱	۲-۳-۲- تاریخچه استفاده از لاستیک فرسوده
۲۱	۲-۳-۳- اهمیت بازیافت لاستیک
۲۲	۲-۳-۴- کاربردهای لاستیک بازیافتی
۲۲	۲-۳-۵- روش تولید خرده لاستیک
۲۶	۲-۴- مزایای استفاده از لاستیک-خرده لاستیک در مهندسی عمران
۲۶	۲-۴-۱- وزن مخصوص کم
۲۶	۲-۴-۲- مقاومت الکتریکی
۲۷	۲-۴-۳- پایداری بالا
۲۷	۲-۴-۴- زاویه اصطکاک بالا
۲۷	۲-۴-۵- ضریب فشار جانبی
۲۷	۲-۴-۶- مقاومت تحت بارهای دینامیکی
۲۷	۲-۵- مطالعات پیشین ستون‌های سنگی و خرده لاستیک:
۴۸	۲-۶- جمع‌بندی تحقیقات گذشته

۵۱

فصل ۳: روش تحقیق

۵۲	۳-۱- مقدمه
۶۲	۳-۲- مواد و مصالح مصرفی
۵۲	۳-۲-۱- خاک بستر مورد استفاده
۵۶	۳-۲-۲- مصالح ستون شنی
۵۷	۳-۲-۳- خرده لاستیک

۳-۳-۳- آزمایش برش مستقیم جعبه‌بزرگ	۵۷
۳-۳-۱- معرفی دستگاه برش مستقیم جعبه‌بزرگ	۵۸
۳-۳-۲- روش انجام آزمایش برش مستقیم	۵۸
۳-۳-۳- برنامه‌ی آزمایش‌های برش مستقیم	۶۰
۳-۴- دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس	۶۰
۳-۵- آماده‌سازی نمونه‌ها برای انجام آزمایش مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس	۶۲
۳-۵-۱- وسایل موردنیاز	۶۲
۳-۵-۲- آماده کردن مخلوط سنگدانه-خرده لاستیک	۶۲
۳-۵-۳- ساخت مدل فیزیکی داخل دستگاه	۶۳
۳-۵-۴- عملیات بارگذاری ستون شنی	۶۴
۳-۶- برنامه آزمایشات برش مستقیم و مدل‌سازی فیزیکی	۶۵
۳-۷- نام‌گذاری و علائم اختصاری	۶۶

فصل ۴: نتایج و تفسیر آن‌ها

۴-۱- مقدمه	۶۸
۴-۲- نتایج آزمایش‌های مرجع	۶۸
۴-۲-۱- آزمایشات مرجع دستگاه برش مستقیم جعبه‌بزرگ	۶۸
۴-۲-۲- آزمایشات مرجع دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس	۷۰
۴-۳- بررسی نتایج آزمایش‌های برش مستقیم جعبه‌بزرگ	۷۱
۴-۳-۱- تغییرات وزنی نمونه‌ها	۷۱
۴-۳-۲- بررسی پارامترهای مقاومتی نمونه‌ها	۷۳
۴-۳-۳- تکرارپذیری نتایج و خطاهای دستگاه برش مستقیم جعبه‌بزرگ	۷۸

- ۴-۴- بررسی نتایج آزمایش‌های مدسازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس ۷۹
- ۴-۵- ارزیابی اثر قطر بر ظرفیت باربری ستون‌شنی ۷۹
- ۴-۵-۱- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت L/D (۲,۱۹ و ۲,۸۰، ۴,۱۷) با طول ثابت ۳۵۰ میلی‌متر ۷۹
- ۴-۵-۲- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت L/D (۳,۱۳ و ۴,۵,۹۵) با طول ثابت ۵۰۰ میلی‌متر ۸۰
- ۴-۵-۳- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت L/D (۴,۶۹ و ۶,۸,۹۳) با طول ثابت ۷۵۰ میلی‌متر ۸۱
- ۴-۵-۴- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت L/D (۷,۸۱ و ۱۰,۱۴,۸۸) با طول ثابت ۱۲۵۰ میلی‌متر ۸۲
- ۴-۵-۵- ارزیابی نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی در طول ثابت ... ۸۳
- ۴-۵-۶- ارزیابی نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی در طول ثابت ۸۴ ۸۴
- ۴-۶-۱- نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت L/D (۱۴,۸۸ و ۸,۹۳، ۵,۹۵، ۴,۱۷) با قطر ثابت ۸۴ میلی‌متر ۸۵
- ۴-۶-۲- نمودار نشست - بار برای ستون شنی با نسبت L/D (۱۰ و ۶,۴,۲,۸۰) با قطر ثابت ۱۲۵۰ میلی‌متر ۸۶
- ۴-۶-۳- نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت L/D (۷,۱ و ۴,۶۹,۳,۱۳,۲,۱۹) با قطر ثابت ۱۶۰ میلی‌متر ۸۷
- ۴-۶-۴- ارزیابی نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی در قطر ثابت ۸۸
- ۴-۶-۵- ارزیابی نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی در قطر ثابت ۸۹

- ۷-۴- ارزیابی اثر اختلاط خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی ۹۰
- ۷-۴-۱- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=4/17$ ۹۰
- ۷-۴-۲- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
قطر با نسبت $L/D=2/8$ ۹۱
- ۷-۴-۳- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=2/19$ ۹۲
- ۷-۴-۴- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=5/95$ ۹۳
- ۷-۴-۵- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=4$ ۹۴
- ۷-۴-۶- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=3/13$ ۹۵
- ۷-۴-۷- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=8/93$ ۹۶
- ۷-۴-۸- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=6$ ۹۷
- ۷-۴-۹- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=4/69$ ۹۸
- ۷-۴-۱۰- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با
نسبت $L/D=14/88$ ۹۹

۴-۷-۱۱- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با

نسبت $L/D=10$ ۱۰۰

۴-۷-۱۲- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی با

نسبت $L/D=7/81$ ۱۰۱

۴-۷-۱۳- ارزیابی نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی در طول ثابت حاوی ۴۰

درصد خرده لاستیک در طول ثابت..... ۱۰۲

۴-۷-۱۴- ارزیابی نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی حاوی ۴۰ درصد خرده

لاستیک در طول ثابت..... ۱۰۳

۴-۷-۱۵- ارزیابی نسبت L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در

قطر ثابت..... ۱۰۴

۴-۷-۱۶- ارزیابی نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی حاوی ۴۰

درصد خرده لاستیک در قطر ثابت..... ۱۰۵

۴-۷-۱۷- بررسی خطاهای مؤثر در نتایج آزمایش مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس ۱۰۶

۴-۷-۱۸- تکرارپذیری نتایج آزمایش مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس..... ۱۰۷

فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها ۱۰۹

۵-۱- مقدمه..... ۱۱۰

۵-۲- جمع‌بندی..... ۱۱۰

۵-۳- پیشنهادها..... ۱۱۲

پیوست ۱۱۴

مراجع ۱۲۲

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) دود ساطع شده از آتش سوزی لاستیک ۴
- شکل (۲-۱) فضای گسترده اشغال شده توسط لاستیک ۵
- شکل (۳-۱) آتش سوزی مراکز انباشت لاستیک در هر اهاویو ۶
- شکل (۴-۱) مواد تشکیل دهنده ی لاستیک خودرو ۷
- شکل (۱-۲) استفاده از ستون شنی در زیر تانک ها ۱۳
- شکل (۲-۲) استفاده از ستون شنی در بزرگراه pacific ۱۴
- شکل (۳-۲) استفاده از ستون شنی در بزرگراه pacific ۱۵
- شکل (۴-۲) فرض ستون شنی و خاک اطراف به عنوان سلول واحد ۱۵
- شکل (۵-۲) مکانیزم شکست ستون های سنگی ۱۸
- شکل (۶-۲) انبار کردن لاستیک های فرسوده ۲۳
- شکل (۷-۲) جدا نمودن مفتول های فلزی جمع آوری شده الاستیک ها ۲۴
- شکل (۸-۲) آهن ربا برای جدا کردن ناخالصی فلزی ۲۴
- شکل (۹-۲) الیاف جدا شده از تایر ۲۵
- شکل (۱۰-۲) قطعات خرد شده لاستیک ۲۵
- شکل (۱۱-۲) بسته بندی قطعات خرد شده ۲۶
- شکل (۱۲-۲) نمودار بار نشست ستون سنگی با نسبت طول به قطرهای متفاوت ۳۰
- شکل (۱۳-۲) دانه بندی خرده لاستیک، رس و ماسه بادی ۳۲
- شکل (۱۴-۲) تأثیر خرده لاستیک در وزن نمونه ها ۳۲
- شکل (۱۵-۲) تأثیر درصدهای اختلاط خرده لاستیک در بهبود ظرفیت رس و ماسه بادی ۳۳

- شکل (۲-۱۶) آزمایش بارگذاری ستون سنگی (a) ستون در حال بارگذاری (b) کل ناحیه در حال بارگذاری ۳۴
- شکل (۲-۱۷) تأثیر مقاومت برشی خاک روی ستون سنگی ۳۴
- شکل (۲-۱۸) تأثیر مقاومت برشی بر روی نسبت ظرفیت باربری ستون شنی به مقاومت برشی ۳۵
- شکل (۲-۱۹) تأثیر فاصله به قطر روی ستون شنی ۳۵
- شکل (۲-۲۰) رابطه ضریب نفوذپذیری با فشار نرمال: الف) خرده لاستیک ریز وب) خرده لاستیک درشت ۳۶
- شکل (۲-۲۱) تغییرات تنش برشی با جابجایی افقی در درصد های مختلف لاستیک ۴۰
- شکل (۲-۲۲) تغییرات جابجایی افقی در برابر جابجایی قائم در مخلوط هایی با درصد های مختلف لاستیک ۴۰
- شکل (۲-۲۳) دستگاه بارگذاری کومار ۴۳
- شکل (۲-۲۴) بررسی پارامتر های مختلف خاک ۴۴
- شکل (۲-۲۵) افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست ۴۴
- شکل (۲-۲۶) تأثیر بهبود درصد های مختلف خرده لاستیک در ستون شنی ۴۷
- شکل (۳-۱) ماسه فیروز کوه مصرفی ۵۳
- شکل (۳-۲) منحنی دانه بندی ۵۳
- شکل (۳-۳) شن مصرفی ۵۶
- شکل (۳-۵) خرده لاستیک مصرفی ۵۷
- شکل (۳-۶) دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ ۵۸
- شکل (۳-۷) آماده سازی نمونه برش مستقیم جعبه بزرگ ۵۹
- شکل (۳-۸) نمای کلی از دستگاه مدل سازی فیزیکی بارگذاری بزرگ مقیاس ۶۱
- شکل (۳-۹) نمونه اختلاط شن و خرده لاستیک ۶۳

- شکل (۳-۱۰) پر کردن دستگاه مدل سازی فیزیکی ۶۴
- شکل (۳-۱۱) عملیات بارگذاری ستون شنی ۶۵
- شکل (۴-۱) نمودار تنش برشی-جابه جایی افقی در شن خالص ۶۹
- شکل (۴-۲) پوش گسیختگی شن خالص ۶۹
- شکل (۴-۳) نمودار بار-نشست ستون شنی بدون خرده لاستیک ۷۰
- شکل (۴-۴) نمودار بار-نشست ماسه فیروزکوه ۷۱
- شکل (۴-۵) نمودار تأثیر افزایش خرده لاستیک بر وزن نمونه ها ۷۲
- شکل (۴-۶) نمودار تأثیر افزایش خرده لاستیک بر وزن نمونه ها ۷۲
- شکل (۴-۷) پوش گسیختگی مخلوط شن و ۲۰٪ خرده لاستیک ۷۳
- شکل (۴-۸) پوش گسیختگی مخلوط شن و ۴۰٪ خرده لاستیک ۷۴
- شکل (۴-۹) پوش گسیختگی مخلوط شن و ۶۰٪ خرده لاستیک ۷۴
- شکل (۴-۱۰) میزان چسبندگی مخلوط با درصدهای مختلف خرده لاستیک ۷۶
- شکل (۴-۱۱) افزایش اصطکاک داخلی مخلوط شن-خرده لاستیک نسبت به شن خالص ۷۶
- شکل (۴-۱۲) نمودار تنش برشی - جابه جایی برای درصدهای مختلف خرده لاستیک تحت سربار قائم ۱۰۰ کیلو پاسکال ۷۹
- شکل (۴-۱۳) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت $(۲/۸۰،۴/۱۷)$ و $L/D(۲/۱۹)$ با طول ثابت ۳۵۰ میلی متر ۸۰
- شکل (۴-۱۴) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت $(۴،۵/۹۵)$ و $L/D(۳/۱۳)$ با طول ثابت ۵۰۰ میلی متر ۸۱
- شکل (۴-۱۵) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت $(۶،۸/۹۳)$ و $L/D(۴/۶۹)$ با طول ثابت ۷۵۰ میلی متر ۸۲

- شکل (۴-۱۶) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۷/۸۱ و ۱۰،۱۴/۸۸) با طول ثابت..... ۸۳
- شکل (۴-۱۷) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی در طول ثابت..... ۸۴
- شکل (۴-۱۸) نمودار مقایسه نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون شنی در طول ثابت..... ۸۵
- شکل (۴-۱۹) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۱۴/۸۸ و ۸/۹۳، ۵/۹۵، ۴/۱۷) با قطر ثابت ۸۴ میلی متر..... ۸۶
- شکل (۴-۲۰) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۱۰ و ۶، ۴، ۲/۸۰) با قطر ثابت ۱۲۵ میلی متر..... ۸۷
- شکل (۴-۲۱) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۷/۱ و ۴/۶۹، ۳/۱۳، ۲/۱۹) با قطر ثابت ۱۶۰ میلی متر..... ۸۸
- شکل (۴-۲۲) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی در قطر ثابت..... ۸۹
- شکل (۴-۲۳) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون شنی در قطر ثابت..... ۹۰
- شکل (۴-۲۴) نمودار نشست -بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=۴/۱۷$ ۹۱
- شکل (۴-۲۵) نمودار نشست -بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=۲/۸$ ۹۲
- شکل (۴-۲۶) نمودار نشست -بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=۲/۹$ ۹۳
- شکل (۴-۲۷) نمودار نشست -بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=۵/۹۵$ ۹۴

شکل (۲۸-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4/3$

۹۵.....

شکل (۲۹-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=3/13$

۹۶.....

شکل (۳۰-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=8/93$

۹۷.....

شکل (۳۱-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=6$

۹.....

۸

شکل (۳۲-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4/69$

۹۹.....

شکل (۳۳-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=14/88$

۱۰۰.....

شکل (۳۴-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=10$

۱۰۱.....

شکل (۳۵-۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=7/81$

۱۰۲.....

شکل (۳۶-۴) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی در طول

ثابت.....۱۰۳

شکل (۳۷-۴) نمودار مقایسه نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون شنی حاوی ۴۰ درصد

خرده لاستیک در طول ثابت.....۱۰۴

- شکل (۴-۳۸) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در قطر ثابت..... ۱۰۵
- شکل (۴-۳۹) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون شنی در قطر ثابت..... ۱۰۶
- شکل (الف-۱) دیتالاگر و سنسور ها ۱۱۵
- شکل (الف-۲) نرم افزار vira data soft ۱۱۶
- شکل (الف-۳) شماتیک عملکرد دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ ۱۱۶
- شکل (ب-۱) محفظه‌ی آزمایش و قاب بارگذاری..... ۱۱۷
- شکل (ب-۲) تابلو برق دستگاه و جزئیات ۱۱۸
- شکل (ب-۳) سیستم پاورپک ۱۱۹
- شکل (ب-۴) اجزا سیستم اکچویتور ۱۲۰
- شکل (ب-۵) سیستم جمع‌آوری داده (دیتالاگر) ۱۲۰
- شکل (ب-۶) سیستم کامپیوتری کنترل، قرائت و ثبت داده‌ها ۱۲۱

فهرست جداول

جدول (۱-۲) مقادیر CBR برای مخلوط خاک خرده لاستیک	۳۱
جدول (۲-۲) نتیجه آزمایش لاک و همکاران	۳۹
جدول (۳-۲) اطلاعات به دست آمده از آزمایشات فتاحی	۴۲
جدول (۴-۲) اطلاعات به دست آمده از آزمایشات محمود غزوی و همکاران	۴۶
جدول (۵-۲) اطلاعات نمونه‌های ساخته شده توسط شریعتمداری و همکاران	۴۷
جدول (۶-۲) خلاصه‌ای از نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققان	۴۸
جدول (۱-۳) ارزیابی حداقل چگالی خاک ماسه	۵۴
جدول (۲-۳) ارزیابی حداکثر چگالی خاک ماسه	۵۴
جدول (۳-۳) اطلاعات نمونه آزمایش چگالی دانه‌های جامد	۵۵
جدول (۴-۳) چگالی دانه‌های جامد	۵۵
جدول (۵-۳) مشخصات ماسه مورد استفاده (ماسه فیروزکوه)	۵۵
جدول (۶-۳) برنامه آزمایش برش مستقیم جعبه بزرگ روی شن و خرده لاستیک	۶۰
جدول (۷-۳) برنامه آزمایش برش مستقیم جعبه بزرگ روی شن و خرده لاستیک	۶۵
جدول (۸-۳) برنامه آزمایش مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس روی شن و خرده لاستیک	۶۶

-

- جدول (۴-۱) مشخصات وزنی نمونه‌های آزمایش برش مستقیم جعبه‌بزرگ.....۷۲
- جدول (۴-۲) تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در مخلوط شن با نسبت‌های مختلف خرده لاستیک.....۷۵
- جدول (۴-۳) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۲/۸۰، ۴/۱۷ و ۲/۱۹) L/D با طول ثابت ۳۵۰ میلی‌متر.....۸۰
- جدول (۴-۳) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۳/۱۳ و ۴، ۵/۹۵) L/D با طول ثابت ۵۰۰ میلی‌متر.....۸۱
- جدول (۴-۵) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۴/۶۹ و ۶، ۸/۹۳) L/D با طول ثابت ۷۵۰ میلی‌متر.....۸۲
- جدول (۴-۶) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۷/۸۱ و ۱۰، ۱۴/۸۸) L/D با طول ثابت ۱۲۵۰ میلی‌متر.....۸۳
- جدول (۴-۷) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۸/۹۳، ۵/۹۵، ۴/۱۷ و ۱۴/۸۸) L/D با قطر ثابت ۸۴ میلی‌متر.....۸۶
- جدول (۴-۸) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۶، ۴، ۲/۸۰ و ۱۰) L/D با قطر ثابت ۱۲۵ میلی‌متر.....۸۷
- جدول (۴-۹) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۴/۶۹، ۳/۱۳، ۲/۱۹ و ۷/۱) L/D با قطر ثابت ۱۶۰ میلی‌متر.....۸۸
- جدول (۴-۱۰) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4/17$۹۱
- جدول (۴-۱۱) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=2/8$۹۲

جدول (۴-۱۲) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=2/18$	۹۳
جدول (۴-۱۳) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=5/95$	۹۴
جدول (۴-۱۴) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=4$	۹۵
جدول (۴-۱۵) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=3/13$	۹۶
جدول (۴-۱۶) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=8/93$	۹۷
جدول (۴-۱۷) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=6$	۹۸
جدول (۴-۱۸) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=4/69$	۹۹
جدول (۴-۱۹) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=14/88$	۱۰۰
جدول (۴-۲۰) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=10$	۱۰۱
جدول (۴-۲۱) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک	
با نسبت $L/D=7/81$	۱۰۲

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

با توجه به مشکل کمبود زمین و افزایش روزافزون جمعیت در شهرها و کلان‌شهرها و همچنین افزایش ارزش اقتصادی زمین موجب شده است صنعت ساختمان‌سازی به دنبال زمین‌های ارزان و باکیفیت کمتر برای احداث شده است. در چنین شرایطی برای احداث یک سازه مناسب باید به روش‌هایی شاخصه‌های مهندسی خاک را بهبود بخشید [۱].

برای احداث سازه‌ها در مناطق ساحلی و خاک‌های لایه‌ای سست، ماسه‌ای و رسی استفاده از روش‌هایی به‌منظور بهسازی مقاومت و سختی خاک که زمانی مقرون‌به‌صرفه نبود اکنون قابل توجه هست. امروزه روش‌های متعددی برای اصلاح خاک‌های نامناسب موجود است. روش‌هایی از جمله: تحکیم، تراکم، تسلیح، پیش بارگذاری، تزریق، تثبیت با افزودن مواد شیمیایی و غیره است. ستون‌های شنی به‌عنوان تسلیح‌کننده خاک بشمار می‌آید، ستون‌ها شنی باعث کاهش نشست کل، نشست نسبی، افزایش ظرفیت باربری، افزایش سرعت تحکیم، افزایش پایداری شیب‌ها و کاهش پتانسیل روانگرایی می‌شوند. لاستیک‌ها زباله‌هایی هستند که از ازلحاظ شیمیایی، اندازه حالت و شکل با بقیه زباله‌ها تفاوت دارند و به‌راحتی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند. در صورتی که ضایعات لاستیک بازیافت نشوند باعث می‌شود لاستیک‌ها به‌صورت کوهی روی هم انباشته شده و مناظر زشتی را به وجود بیاورند و از طرفی خطر آتش‌سوزی را نیز به همراه دارد. سوزاندن لاستیک‌ها به دلیل ایجاد دود سیاه و مضر باعث آلودگی محیط می‌شود [۲].

با توجه نبود تجهیزات در مراکز دفن زباله برای کاهش حجم یا خرد کردن لاستیک‌ها موجب می‌شود که زباله‌ها به همان شکل اولیه دفن شوند و باعث می‌شود حجم بسیار زیادی از مراکز دفن زباله اشغال شود و همچنین دفن زباله باعث تولید شیرابه لاستیک می‌شود و در صورت نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی خطر بزرگی برای سلامت انسان‌ها و سایر موجودات در بردارد. با توجه به تحقیقات انجام گرفته، بازیافت تایرهای فرسوده نه تنها آثار مخربی بر محیط‌زیست ندارد بلکه منشأ سودآوری، کاهش زائدات، کمک به چرخه مواد در طبیعت و فراوری تولید محصولات دیگر نیز می‌باشد. [۳].

در طول سال‌های اخیر، خرده لاستیک در صنایعی مانند، جاده‌سازی، ساختمانی، صنایع دریایی، ورزش، و آب‌رسانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. امروزه استفاده از خرده تایرهای فرسوده، روشی مناسب برای بهبود مقاومت و ظرفیت باربری خاک‌هاست. ستون‌های شنی همراه با خرده لاستیک از مواردی هستند که کمتر مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته‌اند [۴].

در این مطالعه با ساخت یک مدل آزمایشگاهی سعی بر یافتن تأثیر خرده لاستیک‌ها بر طول و قطر ستون‌های سنگی (شنی) که خود یکی از روش‌های مسلح کننده خاک هستند، شده است.

۱-۲- بیان مسئله و اهمیت موضوع

از نظر اقتصادی جهت احداث سازه‌ها در مناطق ساحلی و خاک‌های لایه‌ای سست، ماسه‌ای و رسی استفاده از روش‌هایی به‌منظور بهسازی مقاومت و سختی خاک که زمانی به‌صرفه نبود، اکنون به دلیل افزایش ارزش اقتصادی زمین قابل توجه می‌باشد. امروزه روش‌های متعددی برای اصلاح خصوصیات فیزیکی و رفتار مکانیکی خاک‌های نامناسب موجود است [۱]. روش‌های مذکور شامل: تراکم، تحکیم، تسلیح، پیش بارگذاری، تزریق، تثبیت با افزودن مواد شیمیایی و غیره می‌باشد. ستون‌های شنی به‌عنوان تسلیح کننده خاک بشمار می‌آید و باعث کاهش نشست کل، نشست نسبی، افزایش ظرفیت باربری، افزایش سرعت تحکیم، افزایش پایدار شیب‌ها و کاهش پتانسیل روانگرایی می‌شود.

رشد وسایل نقلیه در سال‌های اخیر به‌شدت رو به افزایش است. تا سال ۲۰۳۰ تخمین زده می‌شود، تعداد کل وسایل نقلیه در جهان به ۲ میلیارد برسد و از این‌رو تعداد وسایل نقلیه اسقاط شده نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه سالانه مقدار زیادی لاستیک فرسوده تولید می‌شود [۵].

به همین جهت در این مطالعه به ارزیابی اثر طول و قطر بر ظرفیت باربری ستون شنی مخلوط شده با خرده لاستیک پرداختیم.

۱-۲-۱- معضلات دفع تایرهای فرسوده

از آنجاکه این تایرهای فرسوده به راحتی تجزیه نمی گردند، انباشتگی این تایرها باعث به خطر انداختن سلامت جامعه و مردم می گردد که این خطر را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

الف) به علت وزن مخصوص کم تایرهای فرسوده در مکان هایی که سطح آب زیرزمینی بالا می باشد باعث شناور شدن لاستیک ها روی سطح آب و سبب شکست خاک رس متراکم مورد استفاده به عنوان لایه محافظ می گردند؛ که از بین رفتن این لایه باعث نفوذ آب های سطحی به داخل محل دفن این زباله ها و تولید شیرابه خطرناک می گردد.

ب) سوختن تایرها باعث گسترش گازهای خطرناک سمی از جمله بنزین و تولوئن^۱ که به ترتیب سبب ایجاد سرطان خون و از کار افتادن کلیه و کبد می گردد. شکل (۱-۱) دود ساطع شده ناشی از آتش سوزی محل نگهداری لاستیک ها را نشان می دهد.



شکل (۱-۱) دود ساطع شده از آتش سوزی لاستیک [۵]

ج) بر اثر آتش گرفتن و ذوب شدن تایرهای لاستیک، مایع مضر و خطرناک وارد محیط زیست می شود [۵].

د) شکل بزرگ تایرها هنگام دیو موجب اشغال حجم زیادی می باشد در شهرهایی که با کمبود فضا

^۱ toloene

مواجه می‌باشند، مشکلات فراوانی را ایجاد می‌نماید. شکل (۲-۱) مبین اشغال فضا توسط لاستیک‌های مستعمل می‌باشد [۵].



شکل (۲-۱) فضای گسترده اشغال‌شده توسط لاستیک [1]

۲-۲-۱- خطر آتش‌سوزی

بر طبق فرایندهای شیمیایی در مراکز دفن زباله گاز متان متصاعد می‌شود که پتانسیل بالای آتش‌سوزی دارد. در اوهایو در تاریخ ۲۱ آگوست یکی از بزرگ‌ترین توده‌های تایلر که متشکل از ۲۶ میلیون حلقه تایلر بود در آتش سوخت شکل (۳-۱) از تایلرهای در حال سوختن، روغنی خارج و وارد نهري در همان نزدیکی شد و سبب مرگ هزاران ماهی در "رودخانه سانداسکی" شد. [1].

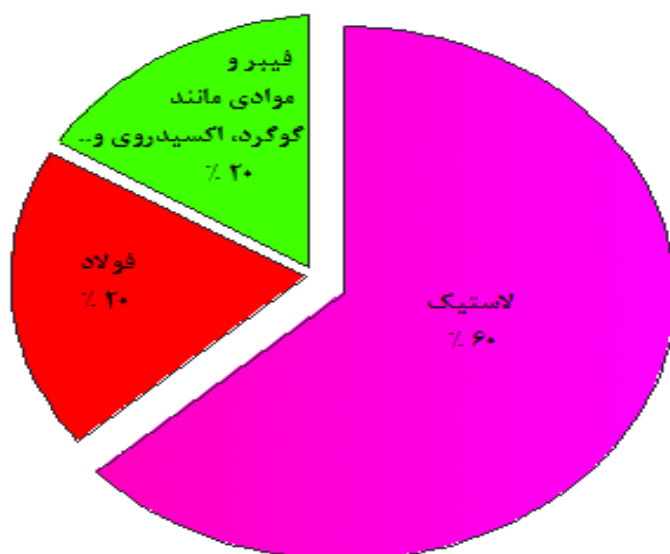


شکل (۳-۱) آتش‌سوزی مراکز انباشت لاستیک در هر اه‌ویو [۱]

۳-۱- ضرورت انجام تحقیق

با پیشرفت جوامع بشری و گسترش صنعت حمل‌ونقل در سرتاسر جهان و به تبع افزایش تولید لاستیک و تجمع لاستیک‌های فرسوده و ضایعاتی باعث بروز مشکلات جدی زیست‌محیطی می‌گردد. سالیانه حجم زیادی از لاستیک فرسوده در طبیعت رها می‌شود در گذشته روش دفن لاستیک روشی متداول بوده است که امروزه به خاطر ترکیبات خاص لاستیک‌های ضایعاتی و شکل بزرگ و تجزیه و فشرده نشدن تایرها باعث می‌شود که مقدار زیادی هوا در محل دفن می‌ماند که باعث شکافتن سطح منطقه دفن و محیطی مناسب برای تجمع حشرات و جانوران موزی و خارج شدن گازهای زیرزمینی می‌گردد. [۸]

یک تایر معمولی به صورت خرده شده تقریباً ۹۰ kg وزن دارد و شامل حدوداً ۶۰٪ لاستیک، ۲۰٪ فولاد، ۲۰٪ فیبر و دیگر مواد زائد می‌باشد شکل (۴-۱). صنعت تولید مصالح راه‌سازی حدود ۱ میلیون حلقه لاستیک در سال مصرف می‌کند [۷].



شکل (۱-۴) مواد تشکیل دهنده‌ی لاستیک خودرو [۷]

طبق گزارش تحلیل وضعیت صنعت لاستیک خودرو در سال ۱۳۸۹، جمعیت ۷۷ میلیون نفری ایران در هرسال حدود ۱۳ میلیون حلقه تایر مصرف می‌کنند؛ که تنها ۲۵ درصد وزنی آن در صنایع بازیافت لاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و ۷۵ درصد وزنی بقیه در محیط‌زیست انباشت می‌شود. بر اساس همین گزارش، آمار تولید لاستیک داخل کشور در سال ۱۳۸۹، ۲۲۷۰۰۰ تن است که به‌صورت تخمینی سالیانه ۳۰٪ از این مقدار به‌صورت لاستیک فرسوده انباشت می‌گردد. [۱]

با توجه تحقیقات انجام‌شده لاستیک‌های فرسوده به دلیل داشتن وزن کم، تخلخل بالا، مقاومت کششی بالا، دوام مناسب، اصطکاک بین ذره‌های بالا بین دانه‌ها و اندرکنش خوب آن‌ها با سایر مصالح [۳] یکی از ایده‌هایی بود که برای مسلح نمودن خاک و پیدا کردن راه‌حلی جهت استفاده مجدد از لاستیک‌های مستعمل مطرح گردید. [۴]

عملکرد اصلی ستون شنی باربری به دلیل سختی مصالح و مقابله با روانگرایی به دلیل نفوذپذیری بالاتر مصالح است. با توجه به مسائل گفته‌شده و اهمیت باز به‌کارگیری لاستیک‌های ضایعاتی و همچنین پرکاربرد و اقتصادی بودن ستون شنی مناسب است که در زمینه استفاده از خرده لاستیک در ستون شنی تحقیق انجام پذیرد.

۱-۴- اهداف تحقیق

با توجه به آثار مخرب زیست محیطی سوزاندن و یا دفن لاستیک‌ها برای رهایی از زباله‌های لاستیکی، مهم‌ترین، سالم‌ترین و به‌صرفه‌ترین راه، بازیافت آن‌ها می‌باشد؛ چراکه باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شود و باعث جلوگیری از مصرف بسیاری از منابع و سوخت‌های فسیلی و صرفه‌جویی در انرژی می‌شود. در این پایان‌نامه حل مشکل زیست محیطی لاستیک‌های فرسوده و همچنین افزایش ظرفیت باربری ستون شنی، با استفاده از خرده لاستیک مورد بررسی قرار گرفته است. از این رو می‌توان اهداف پژوهش انجام‌شده را به صورت زیر بیان نمود:

۱- امکان‌سنجی استفاده مجدد از خرده لاستیک در ستون شنی جهت مرتفع کردن هرچه بیشتر

دفن لاستیک‌های فرسوده

۲- بررسی میزان تأثیر استفاده از خرده لاستیک بر روی پارامتر اصطکاک داخلی خاک

۳- بررسی میزان تأثیر استفاده از خرده لاستیک بر روی ظرفیت باربری ستون شنی

۴- ارزیابی اثر طول‌ها و قطرهای مختلف بر رفتار و ظرفیت باربری ستون‌های شنی مخلوط شده با

خرده لاستیک

۱-۵- روش انجام تحقیق

در پایان‌نامه فوق موضوع به صورت تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد که در آن از دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ مقیاس با قابلیت بارگذاری‌های استاتیکی، دینامیکی که به واقعیت نزدیک‌تر است استفاده می‌شود. این دستگاه شامل جعبه‌ای است که با خاکریز دانه پر شده است. برای بهبود ظرفیت باربری از یک ستون شنی با قطر مختلف و طول‌های مختلف استفاده می‌شود که با خرده لاستیک با بهترین بعد و درصد خرده لاستیک تقویت شده است. لازم به ذکر است که ابعاد شن به کار برده شده در طول آزمایشات ثابت در نظر گرفته شد. در ابتدا مشخصات مهندسی مخلوط که بیانگر رفتار ستون شنی مخلوط با خرده

لاستیک هستند به کمک دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ مورداندازه‌گیری قرار گرفته. در نهایت با ساخت مدل‌هایی از ستون شنی در دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس به ارزیابی اثر طول‌ها و قطرهای مختلف بر رفتار و ظرفیت باربری ستون‌های شنی مخلوط شده با خرده لاستیک پرداخته شد

۱-۶- فصل‌بندی مطالب

پایان‌نامه در پنج فصل تنظیم شده است که خلاصه مطالب در هر فصل به صورت زیر می‌باشند:

در فصل اول مقدمه‌ای درباره اهمیت توجه به خاک و مسائل ژئوتکنیکی در زندگی انسان و لزوم رفع مشکلات موجود آورده شده است و سپس با اشاره موضوع آلودگی‌های زیست‌محیطی ضرورت یافتن راه‌های عملی و اصولی را یادآور می‌شود.

در فصل دوم به بررسی تاریخچه و ادبیات فنی موجود در زمینه تحقیقات انجام شده و نتایج به دست آمده در مورد کاربرد لاستیک در ژئوتکنیک پرداخته شده است.

در فصل سوم خصوصیات مصالح مصرفی، چگونگی ساخت مدل در دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس و نحوه انجام آزمایش به طور کامل شرح داده شده است.

در فصل چهارم نتایج مربوط به آزمایش‌های مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس و تحلیل نتایج آزمایش‌های انجام شده ارائه شده است.

در فصل پنجم به جمع‌بندی نتایج تحقیقات انجام گرفته در این پژوهش پرداخته شده و در انتها نیز پیشنهادهایی جهت انجام تحقیقات بیشتر و جامع‌تر در بحث حاضر عنوان می‌گردد.

فصل ۲:

مروری بر ادبیات فنی

۲-۱- مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون استفاده از خودروها، به تبع آن تولید لاستیک‌های فرسوده نیز افزایش پیدا کرده است. از این رو بازیافت این لاستیک‌ها و پژوهش در خصوص استفاده بهینه از آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است یکی از راه‌های مؤثر استفاده و کاربرد این مواد در مهندسی عمران است. مهندسین عمران نیز به مطالعه و بررسی خواص لاستیک‌ها و چگونگی به کارگیری در کاربردهای عمرانی پرداخته‌اند که از جمله این کارها بکار بردن لاستیک‌ها برای تسلیح خاک می‌باشد.

با توجه به کاربری موردنظر با اضافه کردن لاستیک‌های فرسوده به خاک در ابعاد و اندازه‌های مختلف، می‌توان باعث بهبود خصوصیات مکانیکی خاک شد؛ بنابراین می‌توان از این مصالح در کاربری‌های متنوعی همچون احداث خاکریزها، زیرساز راه‌ها، سیستم جمع‌آوری شیرابه، سازه‌های نگهبان، تولید انرژی، عایق‌های صوتی و گرمایی، به عنوان سنگ‌دانه در بتن سبک و کاربردهای متنوع دیگر استفاده نمود [۱۱].

از آنجاکه پایان‌نامه حاضر به بررسی حضور خرده لاستیک‌ها در ستون‌های شنی می‌پردازد، فصل پیش رو را با معرفی ستون‌های سنگی و بیان مطالعاتی که توسط محققان در این زمینه صورت گرفته است شروع کرده و در ادامه به مرور تحقیقات و آزمایشات صورت گرفته بر روی مخلوط‌های لاستیک و خاک و کاربردهایشان در مهندسی ژئوتکنیک خواهیم پرداخت.

۲-۲- ستون شنی

ستون شنی یک روش اصلاح خاک برای افزایش ظرفیت باربری یا کاهش نشست خاک می‌باشد. اجرای ستون شنی شامل جایگزینی ۱۵ تا ۳۵ درصد حجم خاک نامطلوب با یک ستون عمودی متراکم از سنگ، سنگ‌ریزه یا شن می‌باشد [۱۱].

۲-۱-۲- تاریخچه ستون شنی

ستون‌های شنی برای اولین بار در فرانسه جهت اصلاح خاک در سال ۱۸۳۰ مورد استفاده قرار گرفت و همچنین ستون شنی از حدود سال‌های ۱۹۳۰ در اروپا که از سال ۱۹۵۰ به‌طور گسترده‌ای در اروپا مورد استفاده قرار گرفت و در آمریکا برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ در چندین پروژه جهت اصلاح عمیق خاک‌های دانه‌ای و چسبنده مورد استفاده قرار گرفته است. ستون‌های سنگی تاکنون در چندین پروژه در آمریکا که شامل پروژه‌های زیر می‌شوند، با موفقیت به‌کاررفته است:

۱- تکیه‌گاه خاکریزها در بزرگراه‌ها، تقاطع‌های غیر هم‌سطح و ورودی پل‌ها

۲- امکانات مختلف بزرگراه‌ها- جایگاه‌های پزشکی، کالورت‌ها

۳- ساختمان‌ها: هفت طبقه کتابخانه بتنی، ساختمان بیمارستان، انبار کالا، تأسیسات کشتی‌سازی، پارکینگ

۴- مخازن LGN، مخزن ۵ میلیون گالنی آب

۵- موارد گوناگون دیگر مانند سازه اسکله و راه‌آهن

در اروپا ستون‌های سنگی وسیع‌تر از ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است. به‌طور کلی در

اروپا ستون‌های سنگی برای تکیه‌گاه سازه‌هایی چون انبارها، مخازن، ساختمان‌ها و بزرگراه‌ها اشکال (۲-۱-

۱ تا ۲-۳) به‌طور وسیع‌تری نسبت به خاکریزها مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲] [۱۳].



شکل (۲-۱) استفاده از ستون شنی در زیر تانک‌ها [۱۲]



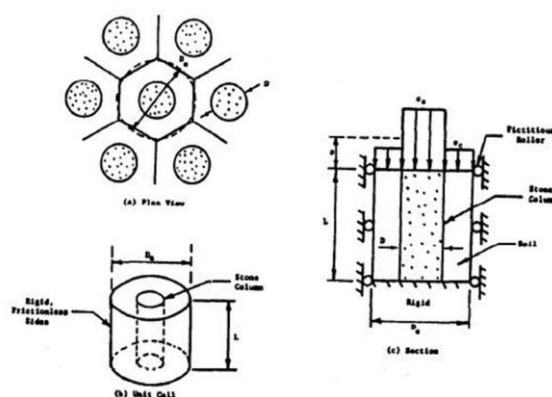
شکل (۲-۲) استفاده از ستون شنی در بزرگراه pacific [۱۳]



شکل (۳-۲) استفاده از ستون شنی در بزرگراه pacific [۱۳]

۲-۲-۲- تعریف

پرایب^۱ در سال ۱۹۹۵ برای تعیین میزان نشست پی قرار گرفته بر روی ستون شنی مفهوم سلول واحد را تعریف کرد شکل (۳-۴). در این تئوری ستون شنی و مساحتی از خاک اطراف آن با توجه به فاصله میان ستون شنی برای تحلیل در نظر گرفته می شود. از آنجاکه در واقعیت تمام ستون های شنی به صورت همزمان بارگذاری می شود فرض می شود به دلیل تقارن هندسه ستون شنی و بارگذاری تغییر شکل های جانبی در مرز سلول واحد برابر صفر است. به جز مرزهای مساحت بارگذاری شده، رفتار تمام سلول های خاک-ستون شنی یکسان است، بنابراین تنها تحلیل یک سلول خاک-ستون شنی کفایت می کند [۱۳]



شکل (۲-۴) فرض ستون شنی و خاک اطراف به عنوان سلول واحد [۱۳]

حجم خاک جایگزین شده با مصالح ستون شنی اثر مهمی در افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست خاک دارد. به همین علت، نسبتی به نام نسبت مساحت اصلاح شده as تعریف می شود:

$$as = \frac{A}{A_s} \quad (۲-۱)$$

as نسبت مساحت جایگزین شده

A مساحت کل سلول واحد

A_s مساحت ستون شنی

^۱ Priebe

در یک مساحت بارگذاری شده بر روی خاک بهبود یافته با ستون شنی از آنجا که نشست ستون شنی و خاک اطراف آن تقریباً یکسان است در نتیجه بار وارده به نسبت سختی های تقسیم می شود. به همین منظور ضریب تمرکز تنش به صورت زیر تعریف می شود:

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \quad (2-2)$$

σ_s تنش در ستون شنی

σ_c تنش در ستون خاک چسبنده اطراف

تنش اعمالی بر روی سلول واحد به صورت زیر تعریف می شود:

$$\sigma = \sigma_s a_s + \sigma_c (1 - a_s) \quad (2-3)$$

با حل معادله ی فوق و استفاده از ضریب تمرکز تنش روابط زیر به دست می آید:

$$\sigma_c = \frac{\sigma}{[1+(n-1)a_s]} = \mu_c \sigma \quad (2-4)$$

$$\sigma_s = \frac{n\sigma}{[1+(n-1)a_s]} = \mu_s \sigma \quad (2-5)$$

که μ_c و μ_s نسبت تنش به ترتیب در سنگ و رس است

ضریب تمرکز تنش n معمولاً برای تعیین σ_c نیاز است و باید به وسیله نتایج اندازه گیری های تنش در خاکریزهای مقیاس کامل تخمین زده شود؛ اما همچنین می توان به وسیله تئوری الاستیک با در نظر گرفتن جابجایی یکسان ستون شنی و خاک اطرافش مقدار ضریب تمرکز تنش را محاسبه کرد.

همان طور که مشاهده می شود ضریب تمرکز تنش تابع ضریب پواسون و مدول الاستیک است. رابطه فوق ضریب تمرکز تنش را از ۲۵ تا بالای ۵۰۰ محاسبه می کند در حالی که بار کسدل و باچوس [۱۲] در سال ۱۹۸۳ ضریب تمرکز تنش را عددی در محدوده ۲ تا ۵ محاسبه کرده اند؛ بنابراین محاسبه ضریب n برای خاک های رسی سست توصیه نمی شود.

۲-۳- مدهای خرابی در ستون شنی

ستون شنی ممکن است در خاک نرم تا جایی که به لایه‌ای مقاوم برسند ادامه پیدا کنند و یا مانند شمع شناور اجرا شوند و از طریق اصطکاک جداری ستون شنی و خاک اطراف، بار اعمالی را به خاک انتقال می‌دهد. ستون‌های شنی می‌توانند به صورت تکی (Single)، گروه‌های کوچک (Small Groups) و یا گروه‌های بزرگ (Large Groups) اجرا شوند و دچار خرابی شوند. ستون‌های شنی تکی بسته به شرایط مرزی مطابق شکل (۲-۵) دارای سه مکانیزم محتمل گسیختگی به شرح زیر می‌باشند: [۱۱]

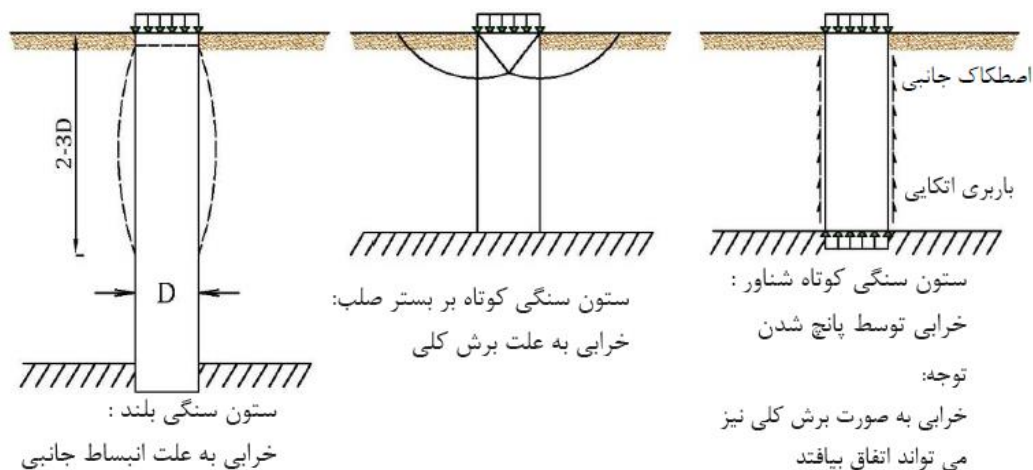
الف - باد کردن (انبساط جانبی): این نوع خرابی به علت عدم حمایت نیروی جانبی کافی خاک اطراف از ستون شنی می‌باشد. به طور معمول این خرابی در عمق 2D الی 3D اتفاق می‌افتد. برای ستون شنی با طول بیشتر از ۴ الی ۶ برابر قطر ستون شنی معمولاً نحوه خرابی به صورت انبساط جانبی است.

ب - گسیختگی کلی: در ستون‌های کوتاه که بر بستر محکمی تکیه دارند اتفاق می‌افتد.

ج- لغزش: در ستون‌های کوتاه که در خاک نرم احداث شده است اتفاق می‌افتد [۱۱].

برای ستون با طول بیشتر از ۴ الی ۶ برابر قطر ستون شی، معمولاً نحوه خرابی به صورت انبساط جانبی است. اگر خاک همگن باشد معمولاً خرابی از نوع انبساط جانبی در نزدیکی سطح زمین که فشار جانبی مقاوم خاک کم می‌باشد رخ می‌دهد. معمولاً انبساط جانبی در عمقی برابر 2D الی 3D اتفاق می‌افتد [۱۱].

هاوگس و وایت رز مدل آزمایشگاهی از خاک و ستون شنی در خاک نرم مورد آزمایش قرار دادند شکل (۲-۵). آن‌ها مشاهده کردند که در اثر اعمال بار، انبساط جانبی در خاک گسترش یافته و در واقع بار اعمال شده به تک‌ستون به خاک نرم اطراف منتقل می‌شود و نیرو به صورت برشی به خاک منتقل می‌شود.



شکل (۵-۲) مکانیزم شکست ستون‌های سنگی [۱۱]

بر اساس تحقیقات صورت گرفته به روش المان محدود در اثر رسیدن بار اعمالی به مقدار بار نهایی قابل تحمل، خرابی در نزدیکی سطح زمین به صورت جابجایی قائم (لغزش) بین خاک و ستون شنی اتفاق می‌افتد. به‌طور معمول خرابی ستون‌های سنگی از سطح زمین شروع می‌شود و به سمت بالا حرکت می‌کند. اگر یک‌لایه خاک سست و ضعیف (به ضخامت ۱-۳ متر) در سطح زمین باشد خرابی از نوع برش کلی یا انبساط جانبی خواهد بود که باعث افزایش نشست پذیری ستون شنی و کاهش باربری خواهد شد. [۱۱]

۲-۲-۴- مزایای ستون شنی

از جمله مزایای استفاده از ستون‌های سنگی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش میزان نشست ستون شنی

- افزایش ظرفیت باربری ستون شنی

- پایدارسازی شیب‌ها

- امکان ساخت و ساز بر خاکریزها

- جلوگیری از حرکت‌های جانبی ناشی از زلزله [۱۴]

اجرای ستون‌های سنگی ارتعاشی در مقایسه با دیگر روش‌های بهسازی خاک دارای مزایای خاص

می‌باشد که در ذیل به صورت فهرست‌وار به آن‌ها اشاره می‌گردد:

۲-۲-۵- بعد اقتصادی

هرچند هزینه تهیه و تأمین تجهیزات اجرای ستون شنی به روش تراکم جایگزینی ارتعاشی معمولاً نسبت به برخی از روش‌های بهسازی خاک بیشتر است اما با توجه سهولت و محدود بودن مراحل اجرایی این روش در کنار مصالح ارزان قیمت، آن را به یکی از ارزان‌ترین روش‌های بهسازی خاک تبدیل نموده است [۱۵].

۲-۲-۶- بعد اجرایی

با توجه به محدود بودن آیتم‌های کاری، ستون شنی با توجه به سادگی سرعت زیاد قابل اجرا، پایین بودن دامنه ارتعاشی حاصل از اجرای ستون شنی نسبت به شمع‌های کوبیدنی و یا تراکم دینامیکی و با توجه به اینکه بالا بودن سطح آب زیرزمینی هیچ‌گونه محدودیتی برای اجرای این روش به وجود نیاورده است این روش را نسبت به سایر روش‌های بهسازی متمایز می‌کند [۱۵].

۲-۲-۷- بعد فنی

ستون‌های سنگی قابلیت کاربرد در انواع مختلف خاک‌ها را دارند. اجرای ستون شنی در یک توده خاکی دانه‌ای از یک طرف موجب افزایش تراکم توده خاک می‌شود از طرف دیگر با اضافه شدن و جایگزین شدن مصالح درشت‌دانه متراکم در عمل‌المان‌های باربر موضعی نیز در توده خاک ایجاد می‌گردد [۱۵].

۲-۲-۸- تضمین کیفیت عملکرد

در خاک‌های دانه‌ای جهت کنترل و تأیید میزان افزایش تراکم توده خاک با حفر گمانه‌های شناسایی ژئوتکنیکی و انجام آزمون‌های نظیر SPT و همچنین در خاک‌های ریزدانه چسبنده نیز با انجام آزمون بارگذاری صفحه بر روی سطح زمین و روی ستون‌ها می‌توان رفتار مکانیکی ستون را مورد ارزیابی قرار داده و صحت فرضیات طراحی و باربری مورد انتظار ستون را کنترل نمود؛ و همچنین برای کنترل کیفیت تراکم مصالح ستون شنی از مقدار انرژی مصرفی دستگاه لرزش استفاده می‌شود [۱۶].

۲-۲-۹- بعد زمانی

با توجه به محدود بودن مراحل اجرایی و عدم وابستگی مراحل اجرایی متعدد به یکدیگر و همچنین عدم استفاده از مصالح ساختمانی عمل‌آوری شونده یکی از بزرگ‌ترین مزایای ستون شنی به حساب می‌آید [۱۵].

۲-۳- خرده لاستیک

۲-۳-۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت جوامع بشری و بیشتر از وسایل نقلیه باعث می‌شود حجم وسیعی از لاستیک‌های فرسوده در سال از گردونه‌ی مصرف خارج شوند با توجه به حجم بالا و فضای محدود امکان دفن لاستیک‌ها وجود ندارد و همچنین با توجه به مشکلات زیست‌محیطی دفن زباله باعث دور ریخته شدن این تایرها در فضای روباز شده است که خطرات زیست‌محیطی زیادی از جمله خطر آتش‌سوزی، تجمع موجودات موزی که بهداشت عمومی را تهدید می‌کند می‌شود و باعث ایجاد مناظر زشت و ناخوشایند می‌شوند برای حل این مشکلات باید به دنبال راهکارهای جدید برای استفاده مجدد از لاستیک‌های ضایعاتی باشیم. با توجه به بهبود خصوصیات مصالح خاکی با اضافه کردن خرده تایرها می‌تواند یکی از کاربردهای این تایرهای

فرسوده در عملیات خاکی می‌باشد که حجم وسیعی از تایرهای فرسوده در یک پروژه استفاده شوند. [۱۷].

۲-۳-۲- تاریخچه استفاده از لاستیک فرسوده

به‌کارگیری عناصر و اجزا کمکی در تقویت خاک نیز از زمان‌های دور موردتوجه بشر بوده است. مفهوم فعلی استفاده از اجزا خاک مسلح و روش طراحی آن توسط یک مهندسی فرانسوی به نام ویدال^۱ در سال ۱۹۶۶ بنانهاده شده است. آزمایشگاه تحقیقات راه فرانسه تحقیقات بسیار وسیعی در رابطه با استفاده از خاک مسلح و اثرات سودمند آن انجام داده است که بعدها این تحقیقات توسط شوسر^۲ (۱۹۷۴)، شوسرو ویدال (۱۹۹۶) و داربین^۳ (۱۹۷۰) به‌تقریر درآمده است. استفاده از تایرهای فرسوده و زائد در مهندسی عمران به‌اواسط دهه ۷۰ میلادی برمی‌گردد. بعد از سال ۱۹۹۲ از تکه‌های تایر برای خاکریز راه‌ها به‌عنوان خاکریزهای سبک پشت دیوارها مورد آزمایش قرار گرفتند. تا پایان سال ۱۹۹۵ استفاده از لاستیک در پروژه‌های عمران تقریباً به میزان مصرف یک‌میلیون در سال افزایش یافت. امروز بهره‌برداری از مواد لاستیکی در قالب‌های مختلف مانند پودر و تکه لاستیک، به دلیل جنبه‌های اقتصادی و محیط زیستی آن، در مهندسی ژئوتکنیک رایج می‌باشد. موارد استفاده از تایر وسیع می‌باشد، مانند استفاده به‌عنوان مسلح کننده، مواد خاکریز سبک پشت سازه‌های نگهبان، در پایدارسازی شیب‌ها، لایه‌های زهکش و غیره [۱۷].

۲-۳-۳- اهمیت بازیافت لاستیک

اهمیت بازیافت لاستیک‌های فرسوده به‌صورت فهرست‌وار به آن‌ها اشاره می‌گردد

۱- قیمت تایر بازیافت شده نصف کائوچوی طبیعی یا مصنوعی است.

۲- بهتر بودن برخی از خواص تایر بازیافت شده نسبت به لاستیک غیر مستعمل

^۱ Vidal

^۲ Schosser

^۳ Darbin

- ۳- یک روش کاربردی برای دفع محصولات لاستیکی است.
- ۴- همراه بوده باز یافت تایر با تولید حرارت و انرژی
- ۵- به دست آمدن محصولات مفید مستقیماً از باز یافت تایر
- ۶- به دست آمدن انرژی زیادی از سوزاندن تایر، به شرط آن که دود حاصله مخاطرات زیست محیطی ایجاد نکند [۱۸].

۲-۳-۴- کاربردهای لاستیک باز یافتی

- از جمله کاربردهای مهم لاستیک های باز یافتی در بخش های گوناگون می توان به موارد ذیل اشاره نمود:
- ۱- در صنایع راه سازی: آب بندی شکاف سطح جاده ها، تولید لایه های ضد آب و لایه های جاذب صدا، تولید علائم ترافیکی و ضربه گیرها،
 - ۲- در صنایع ساختمانی: افزایش شکل پذیری بتن، استفاده در کف پوش های صنعتی و پوشش گذرگاه ها، تولید چسب درزگیر، استفاده به عنوان پوشش بام ساختمان ها و عایق های ساختمانی،
 - ۳- در صنایع تولید لاستیک و پلاستیک: فوم های قابل انعطاف، پوشش استخرها و تسمه نوار نقاله.
 - ۴- در صنایع خودرو سازی: تولید لاستیک، روکش کاری لاستیک، کف پوش و گل گیر خودروها،
 - ۵- در صنایع دریایی: شناور دریایی و کف پوش های غیر لغزنده. ضربه گیرهای اسکله و لنگرگاه ها،
 - ۶- در صنایع ورزش: پوشش زمین های ورزشی دومیدانی، تنیس، گلف و میدانی اسب دوانی.
 - ۷- در صنایع دامداری، کشاورزی و آبرسانی: سیستم های آبرسانی کشاورزی و شلنگ های لاستیکی، ظروف تغذیه دام، گلدان های لاستیکی [۷].

۲-۳-۵- روش تولید خرده لاستیک

مراحل باز یافت لاستیک های فرسوده در یک کارخانه ی باز یافت، به شرح ذیل صورت می پذیرد [۷]

- ۱- جمع‌آوری و انبار نمودن لاستیک‌های فرسوده: با توجه به نیاز و امکانات کارخانه، لاستیک‌های فرسوده جمع‌آوری شده و سپس به انبار کارخانه‌ی بازیافت منتقل می‌گردند (شکل ۲-۶).
- ۲- جدا نمودن مفتول‌های فولادی مصرف‌شده در لاستیک‌ها: در این مرحله، سیم‌های موجود در لاستیک‌ها با استفاده از تجهیزات خاصی جدا می‌گردد (شکل ۲-۷).
- ۳- جداسازی الیاف و سایر ناخالصی‌ها از لاستیک: در این مرحله لاستیک‌ها به قطعات کوچک‌تر تبدیل می‌شوند؛ و با استفاده از یک آهن‌ربای قوی (شکل ۲-۸)، ناخالصی‌های فلزی باقی‌مانده را جدا کرده و در نهایت طی فرآیند خاصی، الیاف موجود در لاستیک نیز جدا می‌شوند (شکل ۲-۹).
- ۴- تبدیل تکه‌های لاستیک به خرده لاستیک یا تراشه لاستیک: در این مرحله خرده لاستیک‌ها، با استفاده از تیغه‌هایی، به ابعاد مختلف متناسب با سفارش‌های ارائه‌شده به کارخانه که یک نمونه از آن در (شکل ۲-۱۰) نشان داده شده است، تبدیل و بسته‌بندی می‌شوند (شکل ۲-۱۱) [۷].



شکل (۲-۶) انبار کردن لاستیک‌های فرسوده [۷]



شکل (۷-۲) جدا نمودن مفتول‌های فلزی جمع‌آوری شده الاستیک‌ها [۷]



شکل (۸-۲) آهن‌ربا برای جدا کردن ناخالصی فلزی [۷]



شکل (۹-۲) الیاف جدا شده از تایر [۷]



شکل (۱۰-۲) قطعات خرد شده لاستیک [۷]



شکل (۱۱-۲) بسته‌بندی قطعات خرد شده [۷]

۲-۴-۲- مزایای استفاده از لاستیک-خرد شده لاستیک در مهندسی عمران
 خرد شده تایر به‌دست‌آمده از تایرهای فرسوده به دلیل داشتن وزن مخصوص کم، خاصیت زهکشی مناسب، مقاومت حرارتی بالا، مقاومت برشی بالا و ... به‌عنوان مسلح کننده خاک می‌تواند مفید باشد.

۲-۴-۱- وزن مخصوص کم

با توجه به نصف بودن چگالی خشک متراکم خرد شده لاستیک به خاک، این امر آن‌ها را برای کاربرد به‌عنوان خاکریز سبک‌وزن و برای ساخت خاکریز در مکان‌های با خاک ضعیف یا تراکم پذیر مناسب می‌نماید [۱۹].

۲-۴-۲- مقاومت الکتریکی

با توجه به اینکه مقاومت حرارتی لاستیک حدود هفت تا هشت برابر بالاتر از نمونه خاک دانه‌ای است

می‌توانند جایگزینی مناسبی به‌عنوان لایه عایق‌بندی مطرح باشند [۲۰].

۲-۴-۳- پایداری بالا

لاستیک‌ها موادی غیر سمی، تجزیه‌ناپذیر در محیط‌زیست و مقاوم در برابر انواع مختلف مواد شیمیایی و شرایط جوی می‌باشند [۲۱].

۲-۴-۴- زاویه اصطکاک بالا

مخلوط خاک با خرده لاستیک دارای زاویه اصطکاک در حدود ۳۵ تا ۴۰ درجه می‌باشد [۲۲].

۲-۴-۵- ضریب فشار جانبی

با توجه به اینکه ضریب فشار جانبی در حال سکون برای این مخلوط‌ها (خاک خرده لاستیک) کمتر از ۰.۵ است که این موضوع سبب کاهش فشار پشت دیوارهای حائل می‌گردد [۲۳].

۲-۴-۶- مقاومت تحت بارهای دینامیکی

به دلیل ایجاد قفل و بست بین ذرات مخلوط‌های خاک خرده لاستیک در بارگذاری متناوب سیکلی مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهند. و باعث پایین آمدن احتمال روانگرایی می‌شود [۲۴].

۲-۵- مطالعات پیشین ستون‌های سنگی و خرده لاستیک:

در سال ۱۹۸۳ باچوس و بارکسدل در سال ۱۹۸۳ برای تحقیق بر روی تأثیر مجاورت دو ستون شنی آزمایش‌هایی انجام دادند. با انجام آزمایش بر روی گروه ستون شنی با چیدمان مربعی 2×3 به این نتیجه رسیدند که ستون شنی مجاور باعث افزایش فشار همه‌جانبه و در نتیجه کاهش انبساط جانبی خواهد شد.

معمولاً ستون‌های شنی با نسبت طول به قطر ۴ تا ۶ اجرا می‌شوند از این رو چه ستون به صورت شناور و چه با تکیه بر یک لایه سخت اجرا شود، معمولاً گسیختگی انبساط جانبی رخ می‌دهد به همین دلیل رابطه‌های تعیین ظرفیت باربری ستون شنی عموماً با فرض انبساط جانبی ارائه شده‌اند [۱۲].

مونفاخ و هان در سال ۱۹۹۲ و ۱۹۸۳ با انجام مشاهدات کارگاهی و آزمایشات به این نتیجه رسیدند که ستون شنی در خاک سست رسی باعث تسریع نشست می‌شود. مونفاخ در زیر یک خاک ریز با اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای به این نتیجه رسید که در همان زمانی که محدوده خاک مسلح به ستون شنی به ۱۰۰٪ نشست خود رسیده است در محدوده دیگر در زیر خاک ریز بدون اجرای ستون شنی درجه نشست تنها به ۲۵٪ رسیده است. در سال ۱۹۹۲ هان ویه گزارش داده‌اند که نرخ نشست برای دو ساختمان یکسان، یکی بنا شده بر روی خاک مسلح به ستون شنی و دیگری بر روی همان خاک بدون هیچ‌گونه عوامل تسلیح کننده‌ای در یک زمان یکسان نشست به ترتیب به ۶۶ و ۹۵٪ رسیده است. [۲۵] و [۲۶]. در سال ۱۹۹۵ هو و همکاران برای بررسی برهم‌کنش ستون‌های شنی در یک گروه، تحقیقاتی انجام دادند و گزارش کردند که تغییر شکل‌های به صورت انبساط جانبی، سوراخ کردن، گسیختگی برشی و خمیدگی بوده است همچنین به این نتیجه رسیدند که در هنگام بارگذاری مجاورت ستون‌های شنی مانع از وقوع انبساط جانبی در بخش‌های بالایی ستون شنی می‌شود. با توجه به این موضوع و نتایج آزمایش انبساط جانبی برای ستون‌های داخلی گروه در بخش‌های پایینی ستون شنی و برای ستون‌های خارجی گروه در بخش بالایی ستون شنی اتفاق افتاده است. او همچنین گزارش کرده است که گسیختگی برشی کلی، گسیختگی غالب برای یک گروه ستون شنی است. [۲۷].

زورنبرگ و همکاران (Zornberg et al) در سال ۱۹۹۶ آزمایش‌های سه محوری بزرگ مقیاس CD برای یافتن نسبت ابعاد بهینه خرده تایلر در خاک دانه‌ای و همچنین بررسی تأثیر تایلر در فشارهای همه‌جانبه و چگالی‌های نسبی ماتریسی مختلف را انجام داده که به نتایج زیر رسیدند: [۲۱].

۱- میزان درصد خرده تایلر در مخلوط بر روی مقاومت برشی نمونه‌ها تأثیرگذار بوده به طوری که با افزایش درصد خرده لاستیک تا ۳۵٪، مقاومت نمونه از افزایش و با افزایش خرده لاستیک بیشتر

از ۳۵٪ مقاومت نمونه کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر ۳۵٪ به عنوان درصد بهینه مقدار خرده تایلر در نمونه به دست آمد.

۲- با این وجود که رفتار تنش-کرنش نمونه‌های ماسه خالص بسیار تحت تأثیر چگالی نسبی ماسه است، اما رفتار نمونه‌های حاوی تایلر تأثیر کمتری از این پارامتر می‌گذارد.

۳- میزان درصد خرده تایلر موجود در نمونه‌ها بر روی کرنش حجمی و رفتار تنش-کرنش اثر قابل توجهی دارد. به طوری که در نمونه‌هایی با خرده تایلر کمتر از ۳۵٪ رفتار انبساطی و در بقیه نمونه‌ها رفتار کاملاً انقباضی مشاهده شد.

۴- پوش مقاومتی برشی نمونه خرده تایلر خالص خطی، بدون چسبندگی و با زاویه اصطکاک داخلی ۲۶/۵ به دست آمد. با افزایش نسبت ابعاد از ۴ به ۸ افزایش قابل محسوسی در مقاومت برشی نمونه‌ها مشاهده شد.

۵- با افزایش نسبت ابعاد لاستیک در نمونه‌ها، مقاومت برشی مخلوط نیز افزایش می‌یابد، بطوریکه با افزایش نسبت ابعاد از ۴ به ۸ افزایش محسوسی در مقاومت برشی نمونه‌ها مشاهده شد.

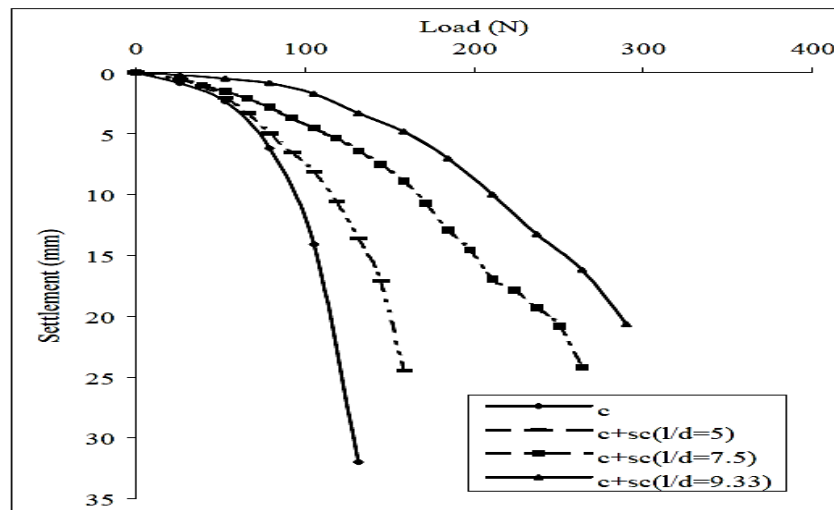
افزایش مقاومت برشی مخلوط‌ها نسبت به نمونه خالص در تنش‌های همه‌جانبه پایین می‌تواند محل مناسبی جهت استفاده از این نوع مخلوط باشند.

فوس و همکاران در سال ۱۹۹۶ بر روی سه نوع ماسه با سه نوع تراکم مختلف، سست، متوسط و متراکم آزمایش برش مستقیم را بر با درصدهای مختلف خرده تایلر انجام دادند. نتایج حاکی از آن است که با افزودن خرده لاستیک به تمامی ماسه‌ها تا حدود ۳۵٪ زاویه اصطکاک اولیه افزایش یافته و از خود مقاومت بیشتری نسبت به حالت اولیه نشان می‌دهد. [۲۱].

در سال ۲۰۰۴، ملرویزی و ایل‌مپاروتی^۱ ستون شنی عادی را با نسبت طول به قطرهای ۵ و ۵٫۷ و ۹٫۳۳ را در تانک فشار مدل‌سازی کردند شکل (۲-۱۲). آن‌ها با انجام آزمایش بارگذاری نمودار پاسخ نیرو-

^۱ Malarvizhi and Ilamparuthi

جابجایی را برای این نسبت‌ها رسم کردند. آن‌ها مشاهده کردند که نمودارها در خاک بهبودیافته نسبت به خاک سست، رفتاری شکننده‌تر دارند؛ یعنی با رخ دادن انبساط جانبی نشست به سرعت افزایش می‌یابد. ظرفیت باربری خاک بهبودیافته نسبت به خاک عادی برای نسبت طول به قطرهای فوق ۱،۷ و ۱،۶۶ و ۱،۴۲ برابر شده است [۱۱].



شکل (۲-۱۲) نمودار بار نشست ستون سنگی با نسبت طول به قطرهای متفاوت [۱۱].

در سال ۲۰۰۶ وو و همکاران (Wu et al) رفتار تراشه‌های لاستیک به‌تنهایی با انجام آزمایش‌های سه محوری را مورد بررسی قرار دادند. در این از ۵ نمونه که دارای ابعاد و شکل‌ها متفاوت با حداکثر ابعاد ۳۸ میلی‌متر، ۱۹ میلی‌متر، ۹/۵ میلی‌متر و ۲ میلی‌متر بود، استفاده کردند. فشار محدودکننده در آزمایش سه محوری در حدود ۵/۳۴-۵۵ کیلو پاسکال بوده است. نتایج آزمایشات انجام گرفته به شرح ذیل می‌باشد: [۲۸].

۱- زاویه اصطکاک داخلی تراشه‌ها در محدوده ۴۰-۶۰ درجه بوده است.

۲- در تمامی نمونه‌ها، اتساع قابل ملاحظه‌ای مشاهده شده است.

۳- تحت فشار تحکیمی ۵۵ کیلو پاسکال تقریباً ۳۰ درصد کرنش حجمی برای تراشه‌ها ایجاد می‌شود.

۴- برای تراشه‌های مسلح به ابعاد ۳۸ میلی‌متر و نیز تراشه‌هایی که به صورت دانه‌ای با ابعاد ۱۹

میلی‌متر و ۹/۵ میلی‌متر بوده‌اند، تحت فشار محدودکننده حدود ۴۰ کیلو پاسکال، چسبندگی

مشاهده نشده است و پوش گسیختگی آن‌ها به صورت خطی به دست آمده است.

۵- مدول یانگ تراشه‌ها در محدوده ۴۲۰-۸۴۰ کیلو پاسکال بوده است.

ستین و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از دو اندازه خرده تایلر ریزودرشت برای ترکیب با خاک رس که مشخصه این خاک CL می‌باشد تحقیقاتی انجام دادند. اندازه خرده تایلر ریز، زیر الک شماره ۴۰ (۰.۴۲۵mm) و خرده لاستیک درشت‌بین الک شماره ۱۰ تا ۴ سایزی حدود ۲ تا ۴/۷۵ میلی‌متر می‌باشد. نتایج نشان دادند که وزن مخصوص خشک خاک رس ۱۵/۷۹ کیلو نیوتون بر مترمکعب در رطوبت ۱۹٪ و مقدار وزن مخصوص خشک برای مخلوط خاک حاوی ۲۰٪ خرده تایلر درشت و ۳۰٪ خرده تایلر ریز به ترتیب برابر ۱۳/۴۳ و ۱۲/۵ کیلو نیوتون بر مترمکعب به دست آمد [۲۹].

ایوتیرامان و منا در سال ۲۰۱۱ آزمایش CBR را بر روی مخلوط ماسه با خرده تایلر مورد بررسی قرار داده است نتایج آزمون CBR به صورت خلاصه در جدول (۱-۲) آورده شده است. این آزمون با هفت نسبت مختلف خرده تایلر انجام شده است. [۳۰].

جدول (۱-۲) مقادیر CBR برای مخلوط خاک خرده لاستیک [۳۰]

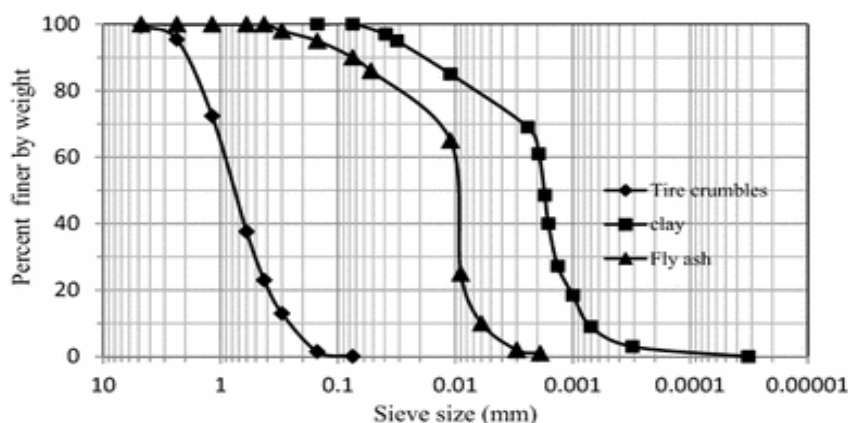
% of tyre	CBR (%) (Unsoaked)	CBR (%) (Soaked)
0%	10.94	10.1
1%	11.31	10.61
2%	13.21	12.31
3%	11.87	8.6
5%	10.2	6.2
6%	9.3	NA*
9%	7.6	NA*

*Tests were not done as the CBR started reducing.

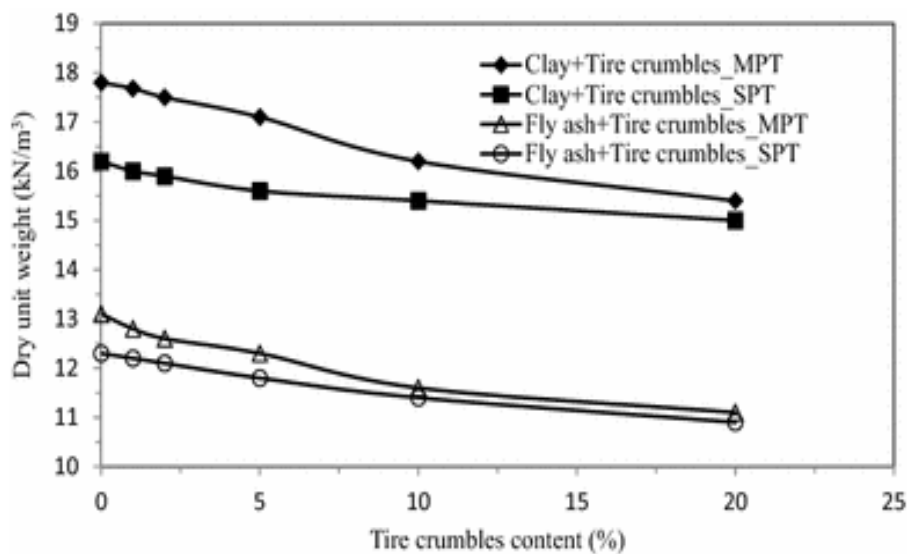
در تحقیق دیگری، نتایج Hataf حاکی از آن بود که افزودن خرده‌های تایلر به ماسه، بسته به درصد خرده تایلر و نسبت اضلاع خرده تایلرها باعث افزایش نسبت CBR از ۱/۱۷ تا ۳/۹، می‌گردد. در این تحقیق از خرده تایلرهای با طول ۴ تا ۱۲ سانتی‌متر استفاده شد [۳۱].

در سال ۲۰۱۵ آکاش پریادرسی با انجام آزمایشات CBR سعی بر یافتن تأثیر درصدهای مختلف خرده لاستیک به عنوان مواد افزودنی بر روی دو ماده خاک رس و خاکستر بادی کردند. نتایج شکل (۲-۱۳)

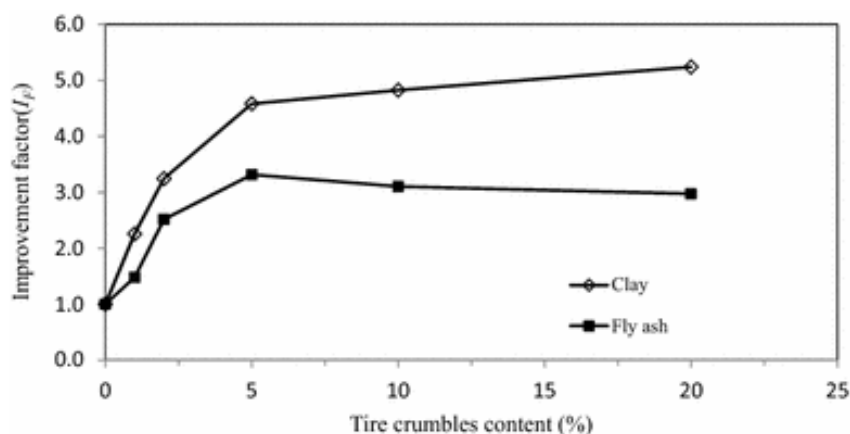
نشان داد افزودن خرده لاستیک باعث کاهش وزن خشک نمونه‌ها گردید و همچنین نتایج شکل (۲-۱۴) نشان داده است که مخلوط خرده لاستیک با خاکستر بادی می‌تواند بار بیشتری نسبت به مخلوط خرده لاستیک با خاک رس حفظ کند، بطوریکه بهبود مقدار CBR با افزودن خرده لاستیک برای خاک رس ۵ برابر و خاکستر بادی ۳ برابر است [۳۲].



شکل (۲-۱۳) دانه‌بندی خرده لاستیک، رس و ماسه‌بادی [۳۲]

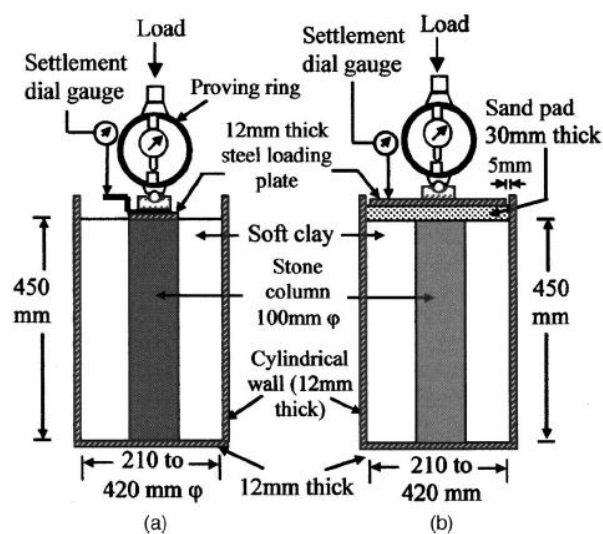


شکل (۲-۱۴) تأثیر خرده لاستیک در وزن نمونه‌ها [۳۲]



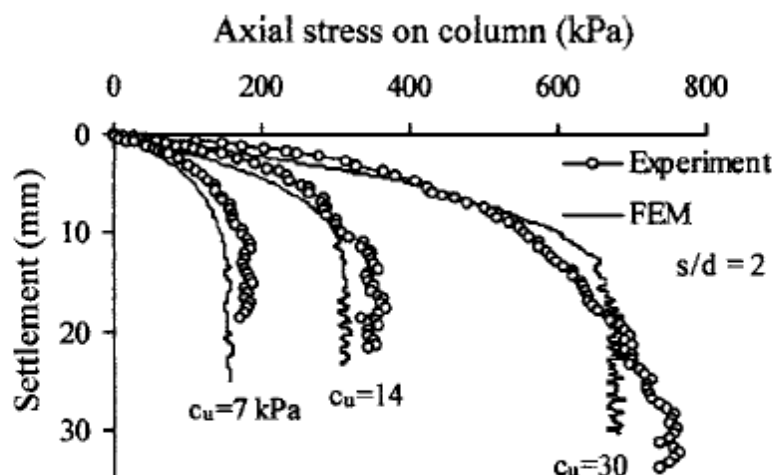
شکل (۲-۱۵) تأثیر درصد‌های اختلاط خرده لاستیک در بهبود ظرفیت رس و ماسه‌بادی [۳۲]

در سال ۲۰۰۷ آمبلی و گاندی با تغییر شرایط بارگذاری، فاصله ستون‌ها و مقاومت برشی خاک سست عملکرد ستون شنی تک و گروه ستون شنی را هم به صورت روش المان محدود و هم به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه و تحقیق قرار دادند. آن‌ها ستون شنی را در تانک بارگذاری همانند شکل مدل‌سازی کردند. شکل (۲-۱۶) در تمام آزمایشات قطر ستون شنی ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع تانک ۵۰۰ میلی‌متر و قطر تانک از ۲۱۰ تا ۸۳۵ میلی‌متر برای تعبیه فضای سلول واحد استفاده شده است. نمونه طوری ساخته شده است که نسبت طول به قطر ۴٫۵ باشد که این عدد کمترین مقدار برای بسیج شدن تمام مقاومت محوری در ستون شنی می‌باشد. در آزمایش‌های مربوط به ستون شنی تک بارگذاری تنها بر روی ستون و در آزمایش‌های مربوط به گروه ستون شنی برای تعیین سختی زمین بار به کل سطح اعمال شده است.

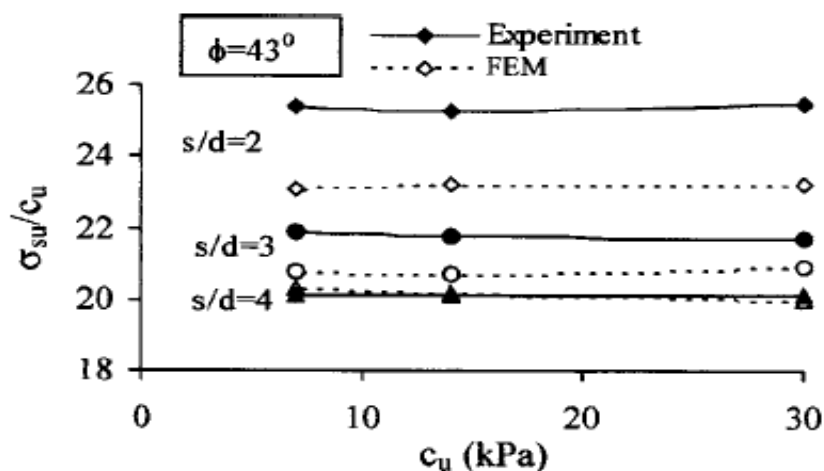


شکل (۱۶-۲) آزمایش بارگذاری ستون سنگی (a) ستون در حال بارگذاری (b) کل ناحیه در حال بارگذاری [۳۳]

آن‌ها با انجام آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله ستون‌های شنی تا نسبت $s/d=3$ ظرفیت ستون شنی کاهش و نشست افزایش می‌یابد شکل (۱۷-۲)؛ و همچنین با بیشتر شدن این نسبت تغییرات این دو پارامتر قابل‌اغماض است. همچنین در به نسبت فاصله به قطر ثابت افزایش مقاومت برشی خاک اطراف باعث افزایش ظرفیت باربری ستون شنی می‌شود شکل (۱۸-۲) درحالی‌که نسبت مقاومت برشی خاک به ظرفیت باربری ستون شنی برای یک نسبت فاصله به قطر ستون شنی، ثابت می‌ماند [۳۳].



شکل (۱۷-۲) تأثیر مقاومت برشی خاک روی ستون سنگی [۳۳]



شکل (۲-۱۸) تأثیر مقاومت برشی بر روی نسبت ظرفیت باربری ستون شنی به مقاومت برشی [۳۳]

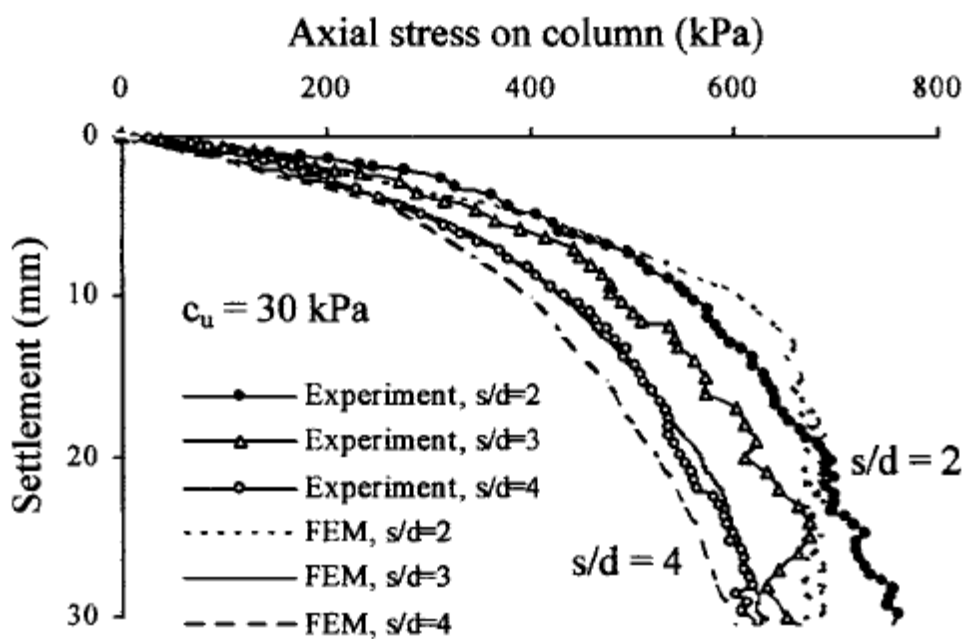


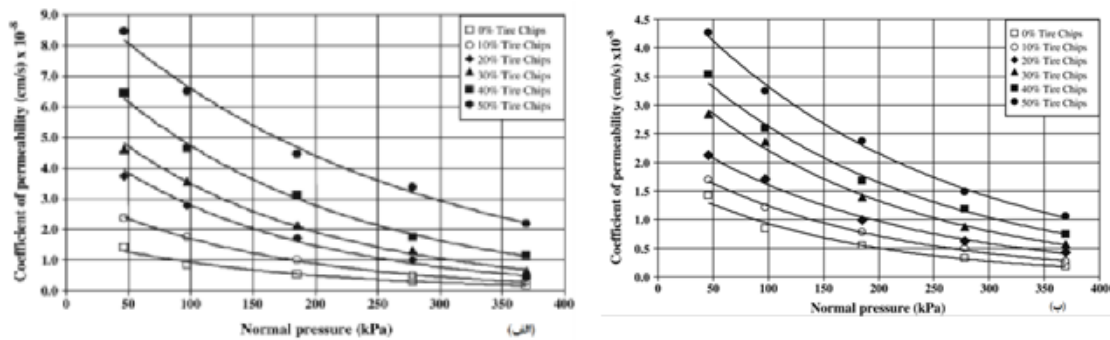
Fig. 12. Effect of s/d on behavior of stone column

شکل (۲-۱۹) تأثیر فاصله به قطر روی ستون شنی [۳۳]

ستین و همکاران در سال ۲۰۰۶ آزمایش نفوذپذیری به روش بار افتان بر روی خاک رس مخلوط با خرده

تایر ریزودرشت انجام داد. منحنی شکل (۲-۲۰) ضریب نفوذپذیری را نسبت به فشار نرمال برای خرده تایر

ریزودرشت نشان می‌دهد [۲۹].



شکل (۲-۲) رابطه ضریب نفوذپذیری با فشار نرمال: الف) خرده لاستیک ریز وب) خرده لاستیک درشت [۲۹]

نتایج نشان دادند که با افزایش درصد خرده تایر، نفوذپذیری افزایش یافته است. بیشترین مقدار نفوذپذیری در بیشترین درصد خرده تایر و کمترین فشار نرمال رخ می‌دهد.

مطالعات اتم و همکاران در سال ۲۰۰۷ آزمایشی بر روی مخلوط رس با خرده لاستیک انجام داد نتایج نشان داد که با افزایش درصد خرده لاستیک، نفوذپذیری کاهش پیدا می‌کند [۳۴]. ایشان برخلاف نتیجه ستین و همکاران نتیجه‌ای عکس گرفته است. این موضوع بیانگر این است که هنوز جای تحقیق بیشتر در این زمینه وجود دارد.

بوسچر و همکاران در سال ۱۹۹۷ تحقیقاتی بر روی خاکریزها انجام دادند نتایج نشان دادند که مقاومت برشی و بیرون کشیدگی خاکریزهای مسلح شده با مخلوط خرده تایر و خاک بیشتر از خاکریز از خاک مسلح نشده می‌باشد. [۳۵].

نتایج تحقیقات احمد و لاول^۱ و هامفری و مانیون^۲ در سال ۱۹۹۳ نشان دادند که برای متراکم کردن مخلوط خاک و تراشه لاستیک‌ها، می‌توان از تراکم استاتیکی معمولی به جای تراکم ارتعاشی استفاده کرد. چراکه تراکم ارتعاشی برای تراکم مخلوط‌های ماسه-خرده تایر مؤثر نمی‌باشد. همچنین وزن واحد خاک و تراشه‌های تایر، به جنس و مقدار خاک موجود در مخلوط وابسته می‌باشد و عوامل همچون آب، تأثیر چندانی بر وزن واحد مخلوط ندارد. مخلوط خاک و تراشه‌های تایر، تحت بارگذاری اولیه فشرده‌پذیری الاستیک (برگشت‌ناپذیر) خواهند داشت. این مقدار حتی به ۴۰ درصد ضخامت تراشه‌های تایر

^۱ Ahmed and Lovell

^۲ Humphrey and Manion

می‌رسد، اما پس‌از این تراکم و در نتیجه کاهش تخلخل مخلوط خاک و تراشه‌های لاستیک رفتار الاستیک (ارتجاعی) خواهد داشت. سایر یافته‌های این محققان عبارت‌اند از [۳۶] [۳۷].

۱- مدول الاستیک تغییر شکل تراشه‌های تایر در حدود ۱۰۰ برابر وزنی ماسه به تراشه‌های تایر این مدول را به مقداری نظیر مدول ماسه خالص می‌رساند.

۲- در درصد‌های برابر تراشه لاستیک‌ها، مخلوط رس- تایر، مدول تغییر شکل کمتری نسبت به مخلوط ماسه- تایر دارد.

۳- تخلخل تراشه‌های تایر بر روی سختی مصالح تأثیر می‌باشد و این تخلخل متأثر از اندازه تراشه‌ها و وجود خاک در فضای خالی بین دانه‌ها می‌باشد.

۴- تراشه‌های تایر دارای قابلیت هدایت هیدرولیکی بالایی می‌باشند (بیش از ۱ سانتی‌متر در ثانیه)، لذا جریان سیال از میان تراشه‌ها، حالت آشفته خواهد داشت. قابلیت هدایت هیدرولیک تراشه‌های تایر بسته به گرادیان هیدرولیکی و نوع جریان بستگی دارد. البته لازم به ذکر است با افزودن سربار می‌توان قابلیت هدایت هیدرولیکی را کاهش داد.

۵- تراکم‌پذیری و قابلیت هدایت‌پذیری هیدرولیکی با افزودن حداقل ۳۰ الی ۵۰ درصد حجمی ماسه به تراشه‌های تایر کاهش می‌یابد. بنابراین، ماسه بیشترین تأثیر را در رفتار مخلوط خواهد داشت.

۶- در صورت تراکم صحیح مخلوط، می‌توان از تراشه‌های تایر به‌عنوان ساخت خاکریزها استفاده نمود.

بوسچر و همکاران در سال ۱۹۹۷ امکان استفاده از تراشه‌های تایر را در ساخت خاکریزهای سبک‌وزن در بزرگراه‌ها مورد تحقیق قرار دادند. قطعات تایر بکار رفته در این تحقیق دارای ابعادی بین ۲۵×۵۰ میلی‌متر مربع تا ۴۵۰×۱۰۰ میلی‌متر مربع می‌باشد. در این پژوهش اثر بارهای رفت و برگشتی پارامترهای تغییر مکان و مدول برجهندگی قطعات تایر مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج این تحقیق عبارت‌اند از [۳۵].

۱- مخلوط تراشه‌های تایر و خاک تحت بار، تراکم اولیه برگشت‌ناپذیر (پلاستیک) از خود نشان

می‌دهد که مقدار آن به حدود ۴۰ درصد ضخامت تراشه‌های تایر می‌رسد درحالی‌که محدوده تنش اعمالی از صفر تا ۷۰۰ کیلو پاسکال می‌باشد. پس‌ازاین مقدار تراکم اولیه برگشت‌پذیر و به دنبال کاهش تخلخل مخلوط رفتار الاستیک خواهد داشت.

۲- مدول تغییر شکل الاستیک تراشه‌های تایر در حدود ۱۰۰ برابر کوچک‌تر از مدول تغییر شکل الاستیک به مقدار نظیر در ماسه نزدیک خواهد شد.

۳- با نسبت‌های ترکیبی برابر، مخلوط رس و تراشه‌های تایر، مدول تغییر شکل کمتری نسبت به مخلوط ماسه و تراشه‌های تایر خواهند داشت.

۴- تخلخل تراشه‌های تایر روی سختی مصالح تأثیر می‌گذارد بنابراین تراشه‌های تایر با ابعاد کوچک‌تر تخلخل کمتری ایجاد می‌کنند.

۵- تخلخل مصالح تابعی از اندازه تراشه‌های تایر، فشار اعمالی و جود خاک در فضاهای بین تراشه‌های لاستیک می‌باشد.

۶- بیشترین تراکم قطعات لاستیک در اولین دوره بارگذاری تحت بارگذاری رفت و برگشتی، رخ می‌دهد.

۷- با اضافه کردن ۴۰ درصد ماسه، مقدار تراکم‌پذیری تراشه‌های تایر از ۳۰ الی ۴۰ درصد به مقدار ۲۰ درصد کاهش می‌یابد.

لاک و همکاران^۱ در سال ۲۰۰۶ آزمایشات سه محوری CD و CU را جهت بررسی امکان استفاده از تکه‌های تایر با ابعاد ۳ سانتیمتر به‌عنوان مصالح خاکریز، بر روی مخلوط‌های (۱۰، ۲۵، ۴۰، ۵۰ و ۱۰۰)٪ لاستیک و ماسه انجام دادند و به این نتیجه رسید که درصد لاستیک موجود در مخلوط اثرات قابل‌توجهی بر روی مخلوط خواهد داشت. در هر دو حالت آزمایش CD و CU حداکثر زاویه اصطکاک داخلی در نمونه حاوی ۴۰٪ تایر مشاهده شد که به‌عنوان درصد بهینه گزارش شده است. همچنین مشاهده کردند که نسبت تخلخل مخلوط در حالت ۴۰٪ لاستیک کمترین مقدار را دارد که بیانگر قرارگیری بهینه دانه‌ها در کنار یکدیگر و

^۱ Lok et al.

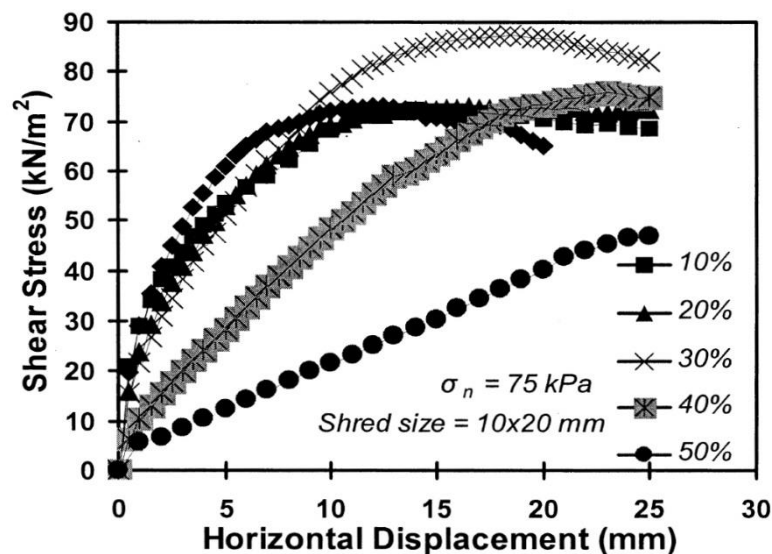
افزایش یافتن مقاومت مخلوط است. همچنین گزارش دادند که در آزمایشات CD و CU بر روی ماسه خالص و نمونه‌های با درصد لاستیک کمتر از ۴۰٪ عموماً رفتاری انبساطی وجود دارد در صورتی که در مورد بقیه نمونه‌ها رفتاری انقباضی مشاهده شد. بعلاوه با افزایش درصد تایلر نمونه به صورت شکل پذیرتر درمی‌آید و سخت‌شوندگی کرنشی در کرنش‌های فراتر از کرنش محوری ۲۰٪ قابل مشاهده‌اند [۳۸].

جدول (۲-۲) خلاصه نتایج آزمایشات انجام شده را نشان می‌دهد: [۳۸].

جدول (۲-۲) نتیجه آزمایش لاک و همکاران [۳۸].

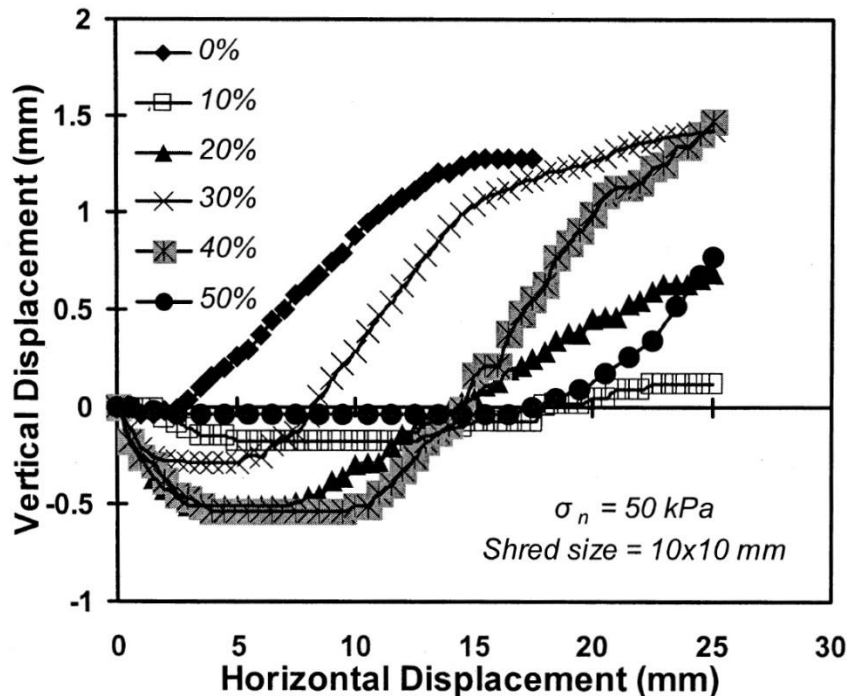
آزمایش CD			آزمایش CU			درصد
C' (KPa)	ϕ' (deg.)	نسبت تخلخل (e)	C' (KPa)	ϕ' (deg.)	نسبت تخلخل (e)	لاستیک (%)
۱۱/۴	۳۸/۳	۰/۷۷	۰	۳۵/۹	۰/۷۷	۰
۲۸/۳	۳۷/۱	۰/۵۹	۰	۳۵/۷	۰/۵۸	۱۰
۶۸/۹	۳۵/۰	۰/۴۶	۰	۳۳/۴	۰/۴۷	۲۵
۳۷/۷	۴۰/۲	۰/۴۲	۰	۴۰/۹	۰/۴۱	۴۰
۳۱/۹	۳۷/۷	۰/۵۰	۱۴/۸	۳۶/۳	۰/۴۹	۵۰

در سال ۲۰۱۰ وینات و سینق با انجام آزمایش‌های برش مستقیم روی ماسه و خرده لاستیک به این نتیجه رسیدند که با افزایش خرده لاستیک به ماسه تا ۳۰ درصد باعث افزایش مقاومت برشی می‌گردد و افزایش خرده لاستیک بیش از ۳۰ درصد منجر به کاهش مقاومت برشی می‌شود و همچنین درصد بهینه اختلاط را ۳۰ درصد عنوان کردند شکل (۲-۲۱) [۳۹].



شکل (۲-۲۱) تغییرات تنش برشی با جابجایی افقی در درصدهای مختلف لاستیک [۳۹].

همچنین مقادیر پارامترهای ϕ و C به دست آمده از پوش‌های گسیختگی موهر-کلمب نشان‌دهنده این است که مقدار ϕ مخلوط لاستیک و ماسه حدود ۲ تا ۶ درجه بیشتر از نمونه ماسه خالص است و تغییرات چسبندگی مشاهده شده با درصد لاستیک تقریباً خطی می‌باشد (۲-۲۲).



شکل (۲-۲۲) تغییرات جابجایی افقی در برابر جابجایی قائم در مخلوط‌هایی با درصدهای مختلف لاستیک [۳۷].

در سال ۲۰۱۰ دب و همکاران، آزمایش بارگذاری بر روی خاک رسی سست و خاک رسی بهبودیافته با

ستون شنی به همراه ماسه‌ی مسلح شده به ژئوگرید، انجام داد؛ و به این نتیجه رسیدند که در مقایسه با خاک بهبود نیافته رسی اولیه در یک نشست مساوی، حضور ستون شنی باعث افزایش ۶۹٪ ظرفیت باربری می‌شود. همچنین گزارش دادند که انبساط جانبی در ستون شنی در ارتفاع ۱/۲ قطر ستون شنی و مقطعی به عرض ۱/۲۴ قطر ستون شنی رخ می‌دهد [۴۰].

زرگرباشی در سال ۲۰۰۱ با انجام مطالعات بر روی دیوار حائل مسلح شده توسط خرده لاستیک و با اعمال فشارهای قائم اعمالی $5/0, 1$ و $1/5$ Kg/cm^2 و آزمایش‌هایی با درصدهای مختلف خرده لاستیک به این نتیجه رسیدند که با افزایش خرده لاستیک‌ها فشار جانبی خاک کاهش یافته و مقاومت برشی افزایش می‌یابد (زاویه اصطکاک داخلی ماسه از ۲۷ به ۵۴ افزایش می‌یابد) [۴۱].

تفرشی و نوروزی با انجام مجموعه‌ای از آزمایش‌هایی جهت بررسی ظرفیت باربری پی مربعی قرارگرفته بر روی خاک مسلح شده توسط تکه‌های لاستیک و به این نتیجه رسیدند که ظرفیت باربری پی با افزایش مقدار لاستیک، ضخامت لایه مسلح شده و ضخامت لایه خاک غیرمسلح قرارگرفته بر روی لایه مسلح تا حد بهینه این مقادیر بهبود یافته و سپس کاهش می‌یابد. حد بهینه مقدار تایر برابر ۵٪ حجم مخلوط به دست آمد و عملکرد لایه مسلح شده هنگامی که در زیر یک لایه خاک قرار می‌گیرد بهتر از حالتی است که به تنهایی در زیر پی قرار دارد؛ بنابراین عملکرد تکه‌های لاستیک با در نظرگیری مقادیر بهینه عوامل مؤثر ذکرشده موردقبول بوده و می‌توان از تکه‌های تایر زائد به عنوان مسلح کننده در ژئوتکنیک استفاده کرد. [۴۲]

در سال ۱۳۹۰ سید مرتضی مرندی و سید حجت اله موسوی در آنالیز عددی ستون‌های شنی مسلح شده با ژئوگرید به این نتیجه رسیدند که: ظرفیت باربری و سختی ستون شنی مسلح شده به قفسه ژئوگرید، افزایش پیدا کرده است [۴۳]

فتاحی در سال ۱۳۹۰ پژوهشی بر روی تأثیر قطر و روکش ژئوسینتتیک بر روی ظرفیت باربری ستون شنی با مدل‌سازی ستون شنی تک با قطرهای مختلف ۲۰، ۴۰ و ۶۰ در دو حالت بدون ژئوسینتتیک و

با ژئوسینتتیک، در بستر رسی سست، در دستگاه سه محوری انجام دادند به این نتیجه رسید که با افزایش قطر نمونه ظرفیت باربری ستون شنی افزایش میابد اما سرعت افزایش مقاومت با افزایش نشست کاهش می یابد. همچنین ستون شنی مسلح شده باروکش ژئوسینتتیک نسبت به حالت بدون روکش ژئوسینتتیک با قطر یکسان، نشست کمتر و مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد. مقدار افزایش مقاومت ستون شنی های مسلح شده به ستون شنی ساده در جدول زیر (۲-۳) قابل رؤیت است: [۴۴]

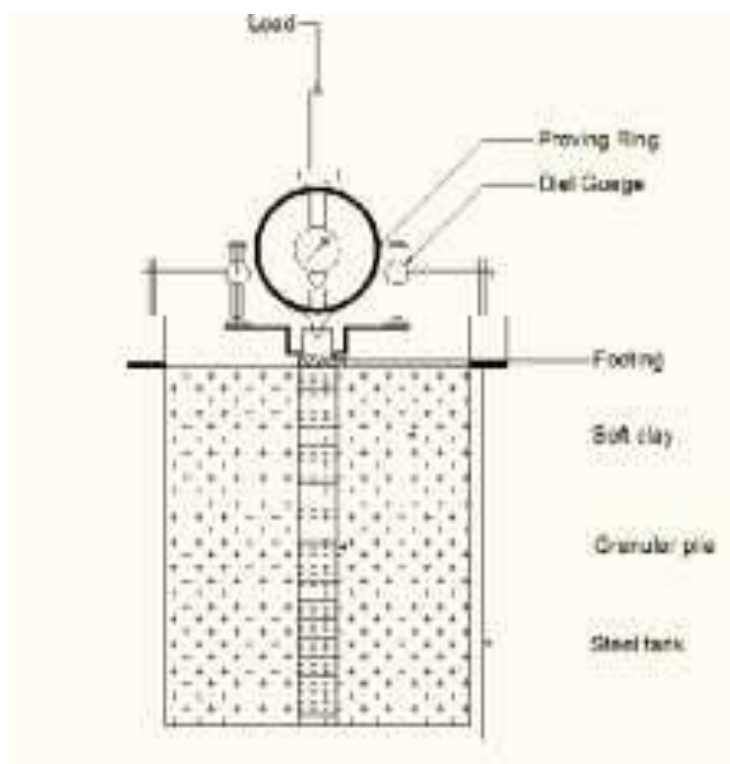
جدول (۲-۳) اطلاعات به دست آمده از آزمایشات فتاحی [۴۴]

بر اساس ۲۰ میلی متر نشست	بر اساس ۱۰ میلی متر نشست	بر اساس ترسیم در دستگاه لگاریتمی	قطر اسمی نمونه ها (میلی متر)
۵۳/۰۱	۲۶/۰۹	۷۴/۷۰	۲۰
۶۰/۱۰	۸۰/۴۹	۹۶/۷۳	۴۰
۹۳/۲۷	۸۹/۶۶	۱۳۰/۸۳	۶۰

در سال ۱۳۹۲ ملک خانی آزمایش سه محوری CD تحت ۵ تنش با تنش های همه جانبه ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلو پاسکال در تراکم نسبی ۵۰٪ به منظور بررسی رفتار مخلوط ماسه و خرده تایلر (ابعاد ۱ تا ۵ میلی متر) بر روی مخلوط های حاوی ۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی پودر لاستیک انجام داد. در این آزمایش ها دانه بندی ماسه و پودر لاستیک نزدیک به هم بودند و نسبت اندازه ذرات مؤثر پودر لاستیک به ماسه ۸،۳ بود. آزمایش وزن مخصوص نشان داد که در یک تنش تحکیمی ثابت با افزایش درصد تایلر مقدار تغییر حجم پس از تحکیم افزایش می یابد. همچنین وزن مخصوص حداقل و حداکثر با افزودن پودر لاستیک تحت تأثیر قرار گرفته و مقدار آن ها کاهش می یابد و در تمامی نمونه های دارای لاستیک مشاهده شد با افزایش کرنش محوری تنش انحرافی افزایش یافته تا به مقدار حداکثر خود در انتهای آزمایش برسد؛ و همچنین زاویه اصطکاک داخلی برای مخلوط ۱۵٪ بیشترین مقدار رادار است و برای مخلوط های با بیش از ۱۵٪ کاهش اصطکاک را خواهیم داشت. همچنین تا

مقدار ۲۰٪ افزودن لاستیک مقاومت برشی ماسه افزایش یافته که این مقدار را می‌توان به‌عنوان درصد بهینه افزودن پودر لاستیک در نظر گرفت. همچنین مقداری چسبندگی بعد از افزودن لاستیک مشاهده نمود که آن را چسبندگی ظاهری توصیف کرد و روند خاصی برای آن متصور نشد [۴۵].

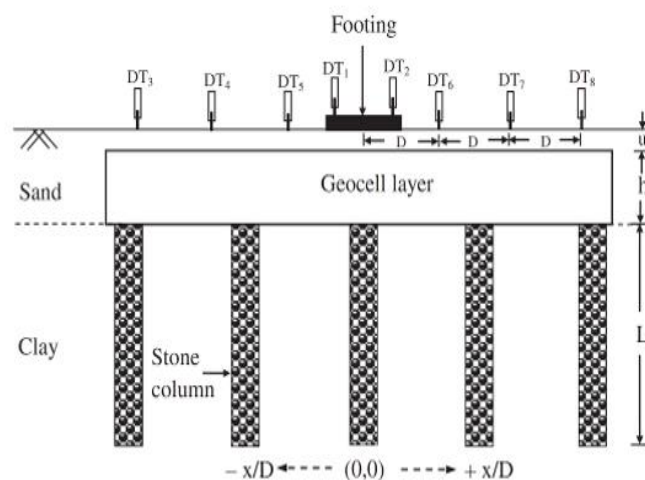
در سال ۲۰۱۳ راکش کومار و همکاران با بررسی نمونه‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه تک‌ستون شنی به این نتیجه رسیدند که شمع دانه‌ای (ستون سنگی) میزان نشست پی را کم کرده و ظرفیت باربری را تا حدود سه برابر افزایش می‌دهد و همچنین با استفاده از ژئوگرید ظرفیت باربری حدود ۵/۴ تا ۸/۴ برابر افزایش می‌یابد و با زیاد شدن قطر ستون شنی، ظرفیت باربری ستون شنی افزایش می‌یابد شکل (۲-۲۳) [۴۶].



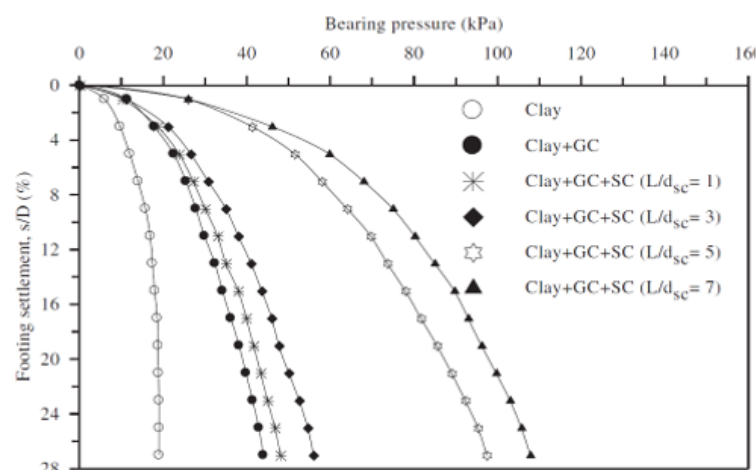
شکل (۲-۲۳) دستگاه بارگذاری کومار [۴۶]

Najjar در سال ۲۰۱۳ بیان داشت که با فرض یک نسبت ناحیه اصلاح‌شده یکسان، افزایش نسبت طول به قطر ستون منجر به افزایش مقاومت نهائی و سختی بیشتری در خاک اصلاح‌شده می‌شود. همچنین نتایج نشان دادند که افزایش طول ستون شنی تا یک نسبت معین باعث افزایش مقاومت می‌گردد و هرچند افزایش طول ستون بیشتر از آن نمی‌تواند منجر به افزایش مقاومت گردد ولی همچنان موجب افزایش سختی می‌گردد [۴۷].

دش و بورا در سال ۲۰۱۳ با انجام تحقیقاتی بر روی خاک و رس سست بهسازی شده با گروه ستون شنی و لایه ژئوسل (مدل شکل ۲-۲۴) به بررسی پارامترهای مختلف در بهبود ظرفیت باربری و نشست خاک اصلاح شده پرداختند که نتایج آن‌ها در شکل (۲-۲۵) نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که افزایش طول ستون از ۳ به ۵ برابر قطر ستون شنی باعث افزایش قابل توجهی در ظرفیت باربری و کاهش نشست مشاهده می‌شود؛ و با افزایش طول ستون از ۵ به ۷ برابر قطر ستون شنی تأثیر کمتری در بهبود خواص خاک مشاهده می‌شود، طول بهینه ستون شنی حدود ۵ برابر قطر ستون می‌باشد. [۴۸].



شکل (۲-۲۴) بررسی پارامترهای مختلف خاک



شکل (۲-۲۵) افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست

در سال ۲۰۱۶ تاجدینی و همکاران، پارامترهای مقاومت برشی خاک رس تقویت شده با درصد های مختلف تاینر

را مورد تحقیق قرار دادند. آزمایش‌های سه محوری زهکشی شده و زهکشی نشده بر روی خاک تقویت‌شده با لاستیک انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن خرده تایر باعث بهبود پارامترهای مقاومت برشی مانند چسبندگی، زاویه اصطکاک، شکل‌پذیری و سختی خاک مسلح می‌شود [۴۹].

در سال ۲۰۱۷ محمد فتاح و همکاران، در این تحقیق، یک معادله عمومی با انجام تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (بسته آماری برای علوم اجتماعی) از کار تجربی و مطالعات قبلی به دست آمد. این معادله برای تخمین ظرفیت باربری گروه ستون‌های شنی شناور نصب‌شده در خاک رس از مقاومت‌های برشی زهکشی نشده بین (۴ تا ۲۵) کیلو پاسکال و با نسبت‌های مختلف و نسبت‌های D/L ایجادشده با روش مهارشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این معادله نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامتر در پیش‌بینی ظرفیت باربری ستون‌های سنگی، q_u ، مقدار جایگزینی منطقه است که در آن q_u به‌طور قابل‌توجهی با کاهش فاصله بین ستون‌ها افزایش می‌یابد. [۵۰].

در سال ۲۰۱۷ یاداو و همکاران، تأثیر الیاف‌های لاستیک بازیافتی بر روی برخی از خواص ژئوتکنیکی خاک رس برای ۳ درصد مختلف سیمان (۰٪، ۳٪، ۶٪) و ۵ درصد مختلف لاستیک (۰٪، ۲٪، ۵٪، ۷٫۵٪، ۱۰٪) مورد تحقیق قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که مخلوط کردن الیاف لاستیکی، مقاومت فشاری تک‌محوره و استحکام کششی را در خاک رس تثبیت‌شده با سیمان کاهش می‌دهد و مقاومت در برابر نفوذ رس تثبیت‌شده با سیمان، با افزایش الیاف لاستیکی کاهش می‌یابد و با افزایش میزان سیمان و الیاف لاستیک فشار تورمی خاک رس کاهش می‌یابد. [۵۱].

در سال ۲۰۱۸ محمود غزوی و همکاران، چند آزمایش آزمایشگاهی بر روی ستون‌های سنگی تقویت‌شده با قطر ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر و گروه‌های ستون‌های سنگی با قطر ۶۰ میلی‌متر انجام‌شده است. نتایج نشان می‌دهند جدول (۲-۴). که ظرفیت تحمل ستون‌های سنگی با استفاده از لایه تقویت افقی افزایش می‌یابد. همچنین، آن‌ها برآمدگی جانبی ستون‌های سنگی را از طریق اصطکاک و اثر به‌هم‌پیوسته آن‌ها با سنگ‌دانه‌های ستون شنی کاهش می‌دهند [۵۲].

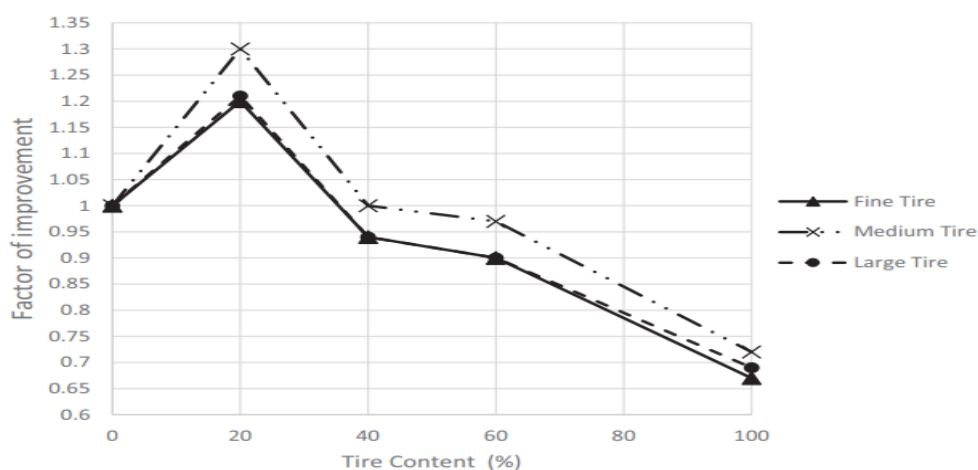
جدول (۲-۴) اطلاعات به دست آمده از آزمایشات محمود غزوی و همکاران

Stiffness of Reinforcement J (kN/m)	Vertical space between reinforcing sheets (S _v)	L.R			R.L.F		
		Stone column diameter (cm)			Stone column diameter (cm)		
		60	80	100	60	80	100
OSC	-	1.36	1.51	1.76	-	-	-
35	D	1.41	1.57	1.82	1.04	1.04	1.03
	0.5D	1.46	1.61	1.88	1.07	1.07	1.07
	0.25D	1.56	1.72	2.09	1.15	1.14	1.19
250	D	1.57	1.76	2.05	1.15	1.17	1.16
	0.5D	1.89	2.09	2.41	1.39	1.38	1.37
	0.25D	2.45	2.69	3.04	1.80	1.78	1.73
1000	D	1.71	2.00	2.39	1.26	1.32	1.36
	0.5D	2.71	3.04	3.53	1.99	2.01	2.01
	0.25D	4.08	4.71	5.55	3.00	3.12	3.15
5000	D	1.80	2.24	2.75	1.32	1.48	1.56
	0.5D	4.09	5.04	5.95	3.01	3.34	3.38
	0.25D	6.29	7.88	9.72	4.63	5.22	5.52

در سال ۲۰۱۸ شریعتمداری و همکاران، تأثیر تایرهای خرد شده با اندازه های کوچک، متوسط و بزرگ به عنوان مواد جایگزین بر روی ستون های شنی را به صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه سیزده سری آزمایش برش مستقیم جعبه بزرگ، ادمتر بزرگ در نفوذ پذیری ثابت در سه نسبت متفاوت حجمی از سنگریزه و خرده لاستیک بررسی شده است (جدول (۲-۵)). نتایج حاصل نشان می دهد هنگامی که ستون شنی شامل ۲۰ درصد خرده لاستیک بوده ظرفیت باربری افزایش می یابد در حالی که برای نسبت های اختلاط بیشتر از ۲۰ درصد ظرفیت باربری کاهش می یابد. علاوه بر این، ۲۰ درصد قطعات تایر متوسط ظرفیت باربری را ۱۵٪ تا ۳۰٪ افزایش می دهد بدون اینکه تغییر قابل توجهی در نفوذ پذیری مشاهده شود (شکل (۲-۲۶)). آن ها گزارش دادند که خرده تایر متوسط بهترین عملکرد را نسبت به حالت های دیگر دارد و از لحاظ زیست محیطی و اقتصادی بهترین حالت برای افزایش ظرفیت باربری ستون شنی است. [۵۳].

جدول (۲-۵) اطلاعات نمونه‌های ساخته‌شده توسط شریعتمداری و همکاران

Symbol	Size of the tire	Tire content (%)	Gravel content (%)
G00	-	0	100
F100	Fine	100	0
FG20	Fine	20	80
FG40	Fine	40	60
FG60	Fine	60	40
M100	Medium	100	0
MG20	Medium	20	80
MG40	Medium	40	60
MG60	Medium	60	40
L100	Large	100	0
LG20	Large	20	80
LG40	Large	40	60
LG60	Large	60	40



شکل (۲-۲۶) تأثیر بهبود درصدهای مختلف خرده لاستیک در ستون شنی [۵۳]

در سال ۲۰۱۹ جان فنگ چن و همکاران، یک سری آزمایش سه محوری بزرگ بر روی ستون‌های سنگی با ژئوتکستایل و بدون ژئوتکستایل انجام دادند. در این مطالعه شانزده سری آزمایش با چهار نوع ژئوتکستایل مختلف بر روی چهار نوع ستون شنی با ابعاد ۳۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۶۰۰ میلی‌متر تحت فشار جانبی ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که استفاده از ژئوتکستایل‌ها را می‌توان به‌عنوان یک کمک به چسبندگی ظاهری یا فشار جانبی ستون‌های شنی معمولی در نظر گرفت. رابطه تنش - کرنش ستون‌های شنی مهارشده به‌عنوان برهم‌نهی یک مدل هایپربولیک و یک مدل خطی برای مدل‌سازی رفتارهای ستون شنی به‌کاربرده شده توصیف شد [۵۴].

در سال ۲۰۱۸ موزامدر و همکاران ستون شنی معمولی و ستون شنی مخلوط شده با خرده لاستیک را با قطر ۱۰۰ میلی‌متر و نسبت طول به قطر ۴/۵ مدل‌سازی نمودند. در این مطالعه از خرده لاستیک با اندازه ۱۰ و ضخامت ۲ تا ۳ میلی‌متر استفاده شد و آزمایشات برش مستقیم جعبه‌بزرگ برای نسبت‌های مختلف خرده لاستیک و خاک انجام شد تا خواص مقاومت برشی آن ارزیابی شود. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که و ستون‌های شنی ساخته‌شده از نسبت‌های مختلف مخلوط سنگ‌دانه‌ها و خرده لاستیک، ظرفیت حمل بار بیشتری نسبت به بستر سفالی اصلی دارند. همچنین نتایج نشان داد جایگزین کردن بیش از ۴۰ درصد از سنگ‌دانه‌های ستون شنی با خرده لاستیک و محصور کردن آن با ژئوگرید، باعث افزایش ظرفیت باربری به بیش از ۱۰۰ درصد گردید [۵۵].

۲-۶- جمع‌بندی تحقیقات گذشته

جدول (۲-۶) خلاصه‌ای از نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط محققان

ردیف	محققان	مصالح	نتیجه‌گیری
۱	لی و همکاران (۱۹۹۶)	مخلوط ماسه و خرده لاستیک	امکان استفاده مجدد از خرده‌های تایر فرسوده در سدها و خاکریزها وجود دارد
۲	بوسچر و همکاران (۱۹۹۷)	خاک‌ها و خرده لاستیک	مقاومت برشی خاکریزهای ساخته‌شده از مخلوط خرده لاستیک و خاک بیشتر از خاکریز از خاک مسلح نشده می‌باشد.
۳	احمد (۱۹۹۳)	مخلوط‌های ماسه بد دانه‌بندی شده و پودر لاستیک	با افزایش نسبت اختلاط پودر لاستیک در مخلوط، رفتار تنش-کرنش از ماسه خالص به سمت لاستیک خالص تغییر می‌یابد
۴	تانکن و همکاران (۱۹۹۸)	خرده لاستیک و روکش‌های بتن آسفالتی	افزودن خرده لاستیک به روکش‌های بتن آسفالتی سبب کاهش ایجاد ترک و افزایش عمر روکش و مقاومت بهتر در برابر سایش
۵	فوس و همکاران (۱۹۹۶)	مخلوط ماسه و خرده لاستیک با حداقل بعد ۶ میلی‌متر	افزودن تراشه‌های لاستیک باعث افزایش مقاومت برشی ماسه (افزایش زاویه اصطکاک مخلوط از ۳۴ درجه در حالت ماسه خالص به ۶۷ درجه)

۶	وو و همکاران (۲۰۰۱)	تراشه‌های لاستیک	زاویه اصطکاک داخلی به ۴۵ تا ۶۰ درجه افزایش یابد و زاویه اصطکاک داخلی در مقاومت بسیج شده در کرنشی بعد از ۵ درصد کرنش محوری تقریباً ثابت است
۷	زورنبرگ و همکاران (۲۰۰۴)	ماسه و تکه‌های لاستیک	و با افزایش درصد لاستیک تا ۳۵٪، مقاومت نمونه افزایش و سپس کاهش می‌یابد.
۸	گاتلند و همکارانش (۲۰۰۵)	مخلوط ماسه و خرده لاستیک	درصد اختلاط بهینه ۳۴٪ برای رسیدن به مقاومت برشی ماکزیمم
۹	لاک و همکاران (۲۰۰۶)	تکه‌های لاستیک با ابعاد ۳ سانتیمتر	حداکثر زاویه اصطکاک داخلی در نمونه حاوی ۴۰٪ لاستیک اتفاق افتاد که به‌عنوان درصد بهینه گزارش شده است
۱۰	وینات و سینق (۲۰۱۰)	تکه‌های لاستیک و ماسه	افزایش مقاومت برشی مخلوط‌ها با افزودن خرده لاستیک تا ۳۰٪ بیشتر از ماسه خالص
۱۱	قضاوی (۲۰۰۶)	ماسه و لاستیک	مقاومت برشی مخلوط ماسه و لاستیک بیشتر از ماسه خالص
۱۲	تفرشی و نوروزی (۲۰۱۲)	مخلوط خاک و تکه‌های لاستیک	ظرفیت باربری پی با افزایش مقدار لاستیک تا حد بهینه بهبود یافته و سپس کاهش می‌یابد. حد بهینه مقدار لاستیک برابر ۵٪ حجم مخلوط به دست آمد.
۱۳	نجار (۲۰۱۳)	ارزیابی اثر طول و قطر	طول بهینه ستون شنی برای باربری مؤثر بین ۵ تا ۸ برابر قطر ستون می‌باشد
۱۴	دش و بورا	ستون مسلح شده به ژئوسل	طول بهینه ستون شنی حدود ۵ برابر قطر ستون می‌باشد
۱۵	زرگرباشی (۱۳۸۱)	ارزیابی اثر درصد حجمی لاستیک بر روی فشار جانبی بر دیوار حایل	افزودن لاستیک تا ۱۰٪ حجمی باعث کاهش فشار جانبی و افزایش مقاومت برشی ماسه می‌شود
۱۶	روستازاده (۱۳۸۶)	بررسی تغییرات پارامترهای مقاومتی ماسه با خرده لاستیک بوسیله مطالعه مدل فیزیکی سانتریفیوژ	افزودن ۱۵٪ پودر لاستیک به ماسه باعث ۳ برابر شدن تنش‌های قابل تحمل نمونه می‌شود
۱۷	ملک خانی (۱۳۹۲)	افزودن لاستیک به ماسه فیروزکوه، آزمایش سه محوری CU	افزودن ۱۰ الی ۲۰ درصد باعث بهبود پارامترهای مقاومتی می‌شود

۱۸	وحید (۱۳۹۴)	تأثیر افزودن لاستیک بر ظرفیت شیروانی	درصد بهینه دارای بیشترین ظرفیت باربری ۳۰٪ حجمی خرده لاستیک
۱۹	زینلی (۱۳۹۴)	بررسی تأثیر افزودن خرده لاستیک بر نفوذپذیری ستون شنی	انتخاب ۲۰٪ حجمی به عنوان درصد بهینه خرده لاستیک برای بهترین عملکرد ستون شنی
۲۰	تاجیدینی (۲۰۱۶)	بررسی تأثیر افزودن خرده لاستیک به خاک رس	بهبود پارامترهای مقاومت برشی مانند چسبندگی و زاویه اصطکاک و شکل پذیری و سختی خاک
۲۱	فتاح (۲۰۱۷)	تخمین ظرفیت باربری گروه ستون های شناور	ظرفیت باربری ستون شنی به طور قابل توجهی با کاهش فاصله بین ستون ها افزایش می یابد
۲۲	یاداو (۲۰۱۷)	تأثیر الیاف های لاستیک بازیافتی	مقاومت در برابر نفوذ رس تثبیت شده باسیمان، با افزایش الیاف لاستیکی کاهش
۲۳	غزنوی (۲۰۱۸)	ارزیابی گروه ستون شنی	ظرفیت تحمل ستون های شنی با استفاده از لایه تقویت افقی افزایش می یابد
۲۴	شریعتمداری (۲۰۱۸)	بررسی تأثیر افزودن خرده لاستیک بر ظرفیت باربری ستون شنی	انتخاب ۲۰٪ حجمی به عنوان درصد بهینه خرده لاستیک برای بهترین عملکرد ستون شنی
۲۵	موزامدر و همکاران ۲۰۱۸	خرده لاستیک، ژئوگرید و شن	جایگزین کردن بیش از ۴۰ درصد از سنگ دانه های ستون شنی با خرده تیر و محصور کردن آن با ژئوگرید، باعث افزایش ظرفیت باربری به بیش از ۱۰۰ درصد گردید
۲۶	جان فنگ چن (۲۰۱۹)	بررسی ستون های شنی با ژئوتکستایل و بدون ژئوتکستایل	کمک به چسبندگی ظاهری یا فشار جانبی ستون های سنگی

همان طور که در جدول (۲-۶) مشاهده می گردد، تاکنون اکثر تحقیقات بر روی مخلوط خرده لاستیک، شن و خاک رس در مقیاس کوچک صورت گرفته و درواقع تحقیقی روی خرده لاستیک، شن و ماسه فیروزکوه با مقیاس بزرگ در دستگاه مدلسازی فیزیکی بزرگ مقیاس صورت پذیرفته است. به همین جهت مخلوط خرده لاستیک و شن در بستر ماسه فیروزکوه در مقیاس بزرگ می تواند نمونه مناسبی برای آزمایش و مطالعه باشد..

فصل ۳:

روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

در این تحقیق از روش آزمایشگاهی جهت ارزیابی اثر طول‌ها و قطرهای مختلف بر رفتار و ظرفیت باربری ستون شنی و همچنین ستون شنی مخلوط شده با بهینه‌ترین ساین و درصد خرده لاستیک استفاده شده است. در این فصل به بیان روش تحقیق و مسائل مربوط به نحوه انجام آزمایش‌ها پرداخته شده است. بر این اساس ابتدا مصالح استفاده شده و خصوصیات فیزیکی آن‌ها و سپس نحوه انجام آزمایش توضیح داده شده است.

۳-۲- مواد و مصالح مصرفی

ماسه فیروزکوه، شن و خرده لاستیک مصالح به کار برده شده در این پژوهش می‌باشند که جهت بررسی و تعیین مشخصات فیزیکی و مهندسی آن‌ها آزمایش‌هایی صورت گرفته که در ادامه شرح داده شده‌اند.

۳-۲-۱- خاک بستر مورد استفاده

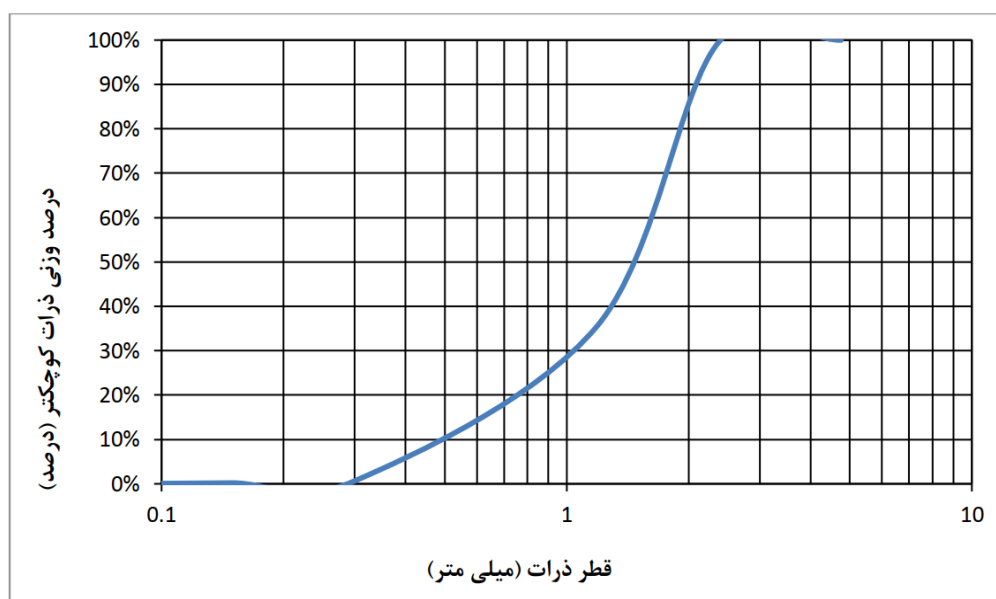
در این پژوهش خاک بستر مورد استفاده ماسه فیروزکوه (D11) می‌باشد که ماسه فیروزکوه نوعی از ماسه سیلیکاته است شکل (۳-۱). شناسایی پارامترهای شاخص ماسه فیروزکوه را به کمک آزمایش‌های مختلف از قبیل دانه‌بندی، تعیین وزن مخصوص حداقل و حداکثر و غیره انجام شد.



شکل (۳-۱) ماسه فیروزکوه مصرفی

۳-۱-۲-۱- آزمایش دانه‌بندی

آزمایش دانه‌بندی خاک، یکی از آزمایش‌های مهم مکانیک خاک می‌باشد که سه مرتبه آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد ASTM D422 انجام گرفته است [۵۶] که نمودار دانه‌بندی آن را در شکل (۳-۲) ارائه شده است.



شکل (۳-۲) منحنی دانه‌بندی

۳-۲-۱-۲- آزمایش تعیین وزن مخصوص حداقل و حداکثر خاک مصرفی

طبق استاندارد ASTM D4254 و ASTM D4253 جهت محاسبه وزن مخصوص حداقل و حداکثر باید ماسه را دو حالت درون استوانه و چگالی ماسه محاسبه شود [۵۷ و ۵۸]. همچنین با استفاده از پارامترهای به دست آمده می توان دانسیته نسبی ماسه را محاسبه نمود.

با توجه به اینکه حجم و وزن استوانه که برابر است با $26663/38$ سانتی متر مکعب و $17/1$ کیلوگرم است نتایج جداول (۱-۳) و (۲-۳) ارائه گردید.

جدول (۱-۳) ارزیابی حداقل چگالی خاک ماسه

مرتبۀ	وزن استوانه + ماسه (kg)	چگالی حداقل (gr/cm^3)
1	۵۵/۷۷	۱/۳۴
2	۵۶/۳۵	۱/۳۶
3	۵۶/۰۶	۱/۳۵
میانگین چگالی های حداقل = $1/35 \text{ gr}/\text{cm}^3$		

جدول (۲-۳) ارزیابی حداکثر چگالی خاک ماسه

مرتبۀ	وزن استوانه + ماسه (kg)	چگالی حداقل (gr/cm^3)
1	۶۳/۵۷	۱/۳۴
2	۶۳	۱/۵۹
3	۶۳/۲۸	۱/۶۰
میانگین چگالی های حداکثر = $1/60 \text{ gr}/\text{cm}^3$		

۳-۲-۱-۳- آزمایش تعیین چگالی دانه های جامد

برای تعیین چگالی دانه های جامد از استاندارد ASTM C127 برای مصالح استفاده شد [۵۹] که نتایج آن در جداول (۳-۳) و (۴-۳) ارائه گردید.

جدول (۳-۳) اطلاعات نمونه آزمایش چگالی دانه‌های جامد

جرم ماسه (gr)	جرم آب (gr)	جرم بالن+آب+ماسه (gr)	جرم آب هم‌حجم ماسه (gr)	حجم ماسه (cm ³)
۵۰	۶۰۷/۴	۶۳۸/۵	۱۸/۹	۷۸/۹

جدول (۴-۳) چگالی دانه‌های جامد

s(gr/cm ³) _γ	دمای آب (C°)	α	w (gr/cm ³) _γ	G _s
۲/۶۵	۲۴	۰/۹۹۹۱	۱	۲/۶۵

۳-۲-۱-۴- جمع‌بندی نتایج خصوصیات ماسه فیروزکوه

پس از انجام آزمایش‌های فوق مشاهده گردید ماسه فیروزکوه با دانه‌بندی یکنواخت و بد دانه‌بندی

شده (SP) می‌باشد و خلاصه‌ای از پارامترهای به‌دست‌آمده در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

جدول (۳-۵) مشخصات ماسه مورد استفاده (ماسه فیروزکوه)

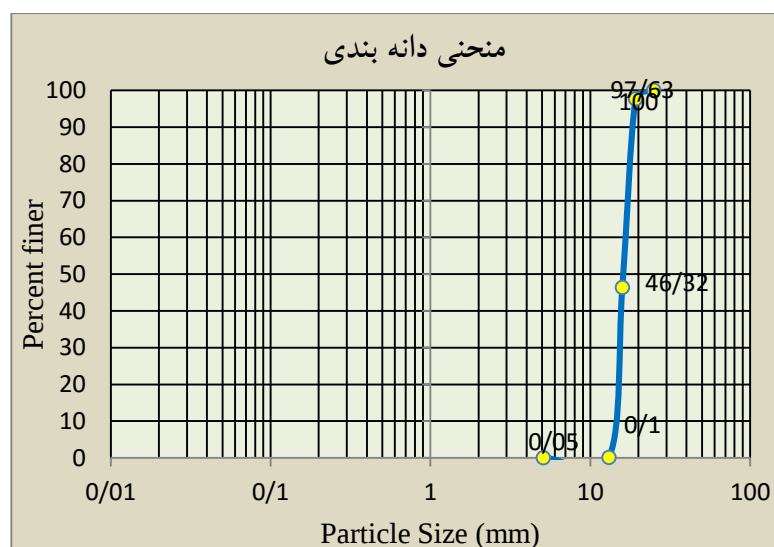
پارامترها	ماسه فیروزکوه (D11)
D ₅₀ (mm)	۱/۱
C _u	۱/۵۷
C _c	۱/۱۷
G _s	۲/۶۵
e _{min}	۰/۶۶
e _{max}	۰/۹۶
γ _{max} (ton/m ³)	۱/۶۰
γ _{min} (ton/m ³)	۱/۳۵

۳-۲-۲- مصالح ستون شنی

در این پایان‌نامه برای ساخت ستون شنی از مصالح شن استفاده شده است. دانه‌بندی شن مورد استفاده با ابعادی بین ۱۹/۰۲ میلی‌متر تا ۱۳/۲۰ میلی‌متر می‌باشد که این ابعاد به صورت دلخواه انتخاب شده‌اند [۶۰] شکل (۳-۳). دانه‌بندی شن مورد استفاده در شکل (۳-۴) ارائه شده که با انجام آزمایش چگالی دانه‌های جامد شن، مقدار G_s برابر ۲/۶۵ و درصد تیزگوشگی ۶۰٪ به دست آمد. همچنین آزمایش وزن مخصوص حداکثر و حداقل مطابق استاندارد ASTM D4253 و ASTM D4254 انجام شد و وزن مخصوص حداکثر و حداقل شن به ترتیب برابر ۱/۷۵ و ۱/۴۱ حاصل شد [۵۷ و ۵۸].



شکل (۳-۳) شن مصرفی



شکل (۳-۴) منحنی دانه‌بندی شن

۳-۲-۳- خرده لاستیک

مصالح افزودنی به شن در این تحقیق برای ساخت ستون شنی، خرده لاستیک با ابعاد ۴/۷۵-۹/۵۱ میلی‌متر شکل (۵-۳) شده است [۵۳].



شکل (۵-۳) خرده لاستیک مصرفی

بر روی خرده لاستیک نیز آزمایش تعیین چگالی دانه‌های جامد طبق استاندارد ASTM D854 انجام شد که مقدار آن برابر ۱/۱۱ به دست آمد [۶۱].

۳-۳- آزمایش برش مستقیم جعبه‌بزرگ

آزمایش برش مستقیم یکی از آزمایش‌های مهم در مهندسی ژئوتکنیک (مکانیک خاک و پی) به‌منظور تعیین پارامترهای مقاومتی خاک می‌باشد که مطابق با استاندارد ASTM D3080 انجام شد [۶۲]. در این آزمایش‌ها، ابتدا پس از تحکیم یافتن خاک تحت تنش معین و سپس ضمن ثابت نگه‌داشتن تنش قائم، با سرعت تنظیم‌شده تنش برشی به نمونه خاک وارد می‌شود تا نمونه گسیخته شود. آزمایشات با سه تنش قائم مختلف انجام شد و که در دستگاه مختصات "تنش برشی - تنش قائم" سه نقطه به دست می‌آید که با رسم بهترین خط عبوری از این نقاط، پارامترهای مقاومتی خاک (چسبندگی و اصطکاک داخلی) تعیین می‌گردند.

در آزمایش برش مستقیم با توجه به اینکه شرایط تنش با شرایط واقعی مطابقت ندارد، همچنین برش

در امتداد یک سطح افقی از قبل تعیین شده رخ می دهد، این آزمایش در مقایسه با آزمایش سه محوری دقت کمتری برخوردار می باشد ولی از لحاظ اقتصادی آزمایش برش مستقیم کم هزینه تر می باشد.

۳-۳-۱- معرفی دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ

در این تحقیق جهت تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک از دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ ساخت شرکت نیک آزما استفاده گردیده است. در این آزمایش، ماسه فیروزکوه و شن در حالت غیرمسلح و مسلح با درصدهای مختلف خرده لاستیک مورد بررسی قرار گرفته است. ابعاد جعبه برش $15 \times 30 \times 30$ سانتی متر و جک بارگذاری قائم به صورت پنوماتیک متصل به یک کمپرسور هوا، می باشد. شکل (۳-۶) شمای کلی دستگاه را نشان می دهد. توضیحات تکمیلی دستگاه در پیوست الف ارائه شده است.



شکل (۳-۶) دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ

۳-۳-۲- روش انجام آزمایش برش مستقیم

دستگاه برش مستقیم عملیات برش را به صورت کرنش کنترل انجام می دهد. پس از آماده سازی تجهیزات آزمایش، مراحل تهیه و ساخت نمونه ها آغاز می شود. ابتدا پیچ های جعبه برش بسته و سپس سنگ متخلخل داخل آن قرار داده می شود. با توجه به اینکه در این تحقیق وزن مخصوص های متناسب

با تراکم ۷۵ درصد در نظر گرفته شده، وزن مخلوط مورد نیاز برای پر کردن جعبه برش را محاسبه کرده و پس از محاسبه، درصد اختلاط مورد نظر از خرده لاستیک و ماسه را ایجاد و مصالح را در سه مرحله درون قالب ریخته می شود و هر لایه با استفاده از اهرم کوبش متناسب با درصد تراکم، متراکم می شود. لازم به ذکر است ضخامت لایه ها باید طوری در نظر گرفته شوند که لایه دوم کل ناحیه برش را پوشش دهد، بدین منظور باید سعی شود وسط این لایه دقیقاً در محل مرز برش (محل اتصال دونیمه) قرار گیرد. پس از آماده شدن قالب و بردن نمونه روی دستگاه برش از تراز نمودن بازوی دستگاه اطمینان حاصل می نماییم و سپس سنسورها صفر شده و پیچ جعبه برش باز می شود. در انتها با تنظیم دستگاه روی سرعت مشخص و تعیین یکی از سربارهای قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلو پاسکال، عملیات برش، با سرعت ۲/۰۶۷ میلی متر بر دقیقه آغاز شده و زمانی خاتمه می یابد که لودسل ثابت مانده یا به عقب بازگردد. شکل (۷-۳)



شکل (۷-۳) آماده سازی نمونه برش مستقیم جعبه بزرگ

۳-۳-۳- برنامه‌ی آزمایش‌های برش مستقیم

آزمایش‌های برش مستقیم این پژوهش، مطابق استاندارد ASTM D 3080-90 و تحت سربار قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلو پاسکال و با تراکم نسبی ۷۵٪ در حالت خشک، با سرعت ۲/۰۶۷ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد.

جدول (۳-۶) برنامه آزمایش برش مستقیم جعبه‌بزرگ روی شن و خرده لاستیک

ردیف	علامت اختصاری	سربار قائم (kPa)	درصد خرده لاستیک	سایز خرده لاستیک (mm)
1	DS-0T-50	50	0	7.75-9.51
2	DS-0T-100	100		7.75-9.51
3	DS-0T-150	150		7.75-9.51
4	DS-20T-50	50	20	7.75-9.51
5	DS-20T-100	100		7.75-9.51
6	DS-20T-150	150		7.75-9.51
7	DS-40T-50	50	40	7.75-9.51
8	DS-40T-100	100		7.75-9.51
9	DS-40T-150	150		7.75-9.51
10	DS-60T-50	50	60	7.75-9.51
11	DS-60T-100	100		7.75-9.51
12	DS-60T-150	150		7.75-9.51

۳-۴- دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس

تاکنون از ابعاد متفاوتی برای مدل نمودن ستون شنی در آزمایشگاه استفاده شده است. هر چه ستون شنی مدل‌سازی شده در آزمایشگاه دارای مقیاس کوچک‌تر باشند دقت اندازه‌گیری باید افزایش یابد به‌گونه‌ای که بتوان نیروی محوری کوچک وارد به ستون شنی و همچنین جابه‌جایی‌های کوچک ستون شنی را به دقت اندازه‌گیری نمود. که دلیل بزرگ‌مقیاس نامیدن دستگاه این است که، نسبت کوچک‌تر شدن ابعاد بین ۲ تا ۱۰ می‌باشد. بنابراین جهت دستیابی به این دقت نیاز به وسایل اندازه‌گیری با دقت بسیار بالا می‌باشد که هزینه‌ی بالایی دارند به همین جهت در این پژوهش از دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس که در ادامه معرفی خواهد شد، مورد استفاده قرار گرفته است.

دستگاه مدل سازی فیزیکی بارگذاری بزرگ مقیاس بدون شک یکی از دستگاه های مفید به منظور شناخت صحیح رفتار بار-نشست پی واقع بر خاک می باشد. دستگاه مدل سازی فیزیکی بارگذاری بزرگ مقیاس بدون شک می تواند افق های جدیدی از مطالعه سازه های ژئوتکنیکی را برای محققین بگشاید. شکل (۸-۳) شمای کلی دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ می باشد.

مزایای مهم این دستگاه شامل موارد زیر می باشد:

قابلیت اعتماد بالا به نتایج به دست آمده

رفع محدودیت ها مدل سازی فیزیکی

سیستماتیک بودن دستگاه

کاهش هزینه ها

کاهش خطای انسانی

توضیحات تکمیلی دستگاه در پیوست ب ارائه شده است.



شکل (۸-۳) نمای کلی از دستگاه مدل سازی فیزیکی بارگذاری بزرگ مقیاس

۳-۵- آماده سازی نمونه ها برای انجام آزمایش مدل سازی

فیزیکی بزرگ مقیاس

در این تحقیق، ستون شنی منفرد را داخل ماسه فیروزکوه ارائه می دهد. ستون شنی ساخته شده دارای قطرهای مختلف ۱۲۵، ۸۴ و ۱۶۰ میلی مترو طول های ۳۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۲۵ سانتی متری باشد که ماسه فیروزکوه اطراف آن را احاطه کرده است.

۳-۵-۱- وسایل مورد نیاز

به منظور ساخت ستون شنی و بارگذاری نمونه از تجهیزات زیر استفاده شده است.

- لوله پولیکا: سه لوله پولیکا به ارتفاع ۳۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۲۵۰ میلی متر و به قطرهای ۸۴، ۱۲۵ و ۱۶۰ میلی متر مورد استفاده قرار گرفته است.
- صفحه فلزی بارگذاری: برای بارگذاری روی ستون شنی
- اهرم کوپش ستون شنی: برای کوپش شن داخل لوله پولیکا
- اهرم کوپش ماسه: برای تراکم ماسه داخل دستگاه
- تراز: یک عدد تراز برای تراز نمودن لوله پولیکا

۳-۵-۲- آماده کردن مخلوط سنگدانه-خرده لاستیک

ابتدا سنگدانه عبوری از الک ۱۹/۰۵ و مانده روی الک ۱۳/۲۰ میلی متری رو جدا کرده و سپس سنگدانه ها را با ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک به ابعاد ۹/۵۱-۴/۷۵ میلی متر مخلوط کرده و سپس مخلوط را هم زده طوری که مخلوط کاملاً یکنواخت گردد شکل (۳-۹).



شکل (۳-۹) نمونه اختلاط شن و خرده لاستیک

۳-۵-۳- ساخت مدل فیزیکی داخل دستگاه

ابتدا ماسه داخل دستگاه را تا ارتفاع مشخص خالی کره و سپس سطح ماسه را صاف کرده و سپس ۴ عدد لوله پولیکا در چهار گوشه محفظه دستگاه به طوری که تمام ستون‌ها به فاصله $1/5$ تا 2 برابر قطر از محفظه صلب دستگاه فاصله داشته باشند، قرار داده می‌شوند و سپس لوله‌ها را با استفاده از یک تراز، تراز کرده در مرحله بعد ماسه را از یک ارتفاع مشخص داخل دستگاه ریخته به طوری بعد از ریختن ۱۰ سانتی‌متر ماسه داخل محفظه دستگاه سطح ماسه را صاف کرده و سپس با اهرم کوبش ماسه، ماسه را به حداکثر تراکم می‌رسانیم و سپس ۱۰ سانتی دیگر ماسه داخل دستگاه ریخته و مجدد عمل تراکم را انجام می‌دهیم و این کار را تا پر شدن دستگاه به همین ترتیب انجام می‌دهیم و در هر بار بعد از ریختن ماسه و عمل تراکم، از تراز بودن لوله پولیکا اطمینان حاصل می‌نماییم سپس مخلوط آماده شده سنگدانه-خرده لاستیک داخل لوله پولیکا می‌ریزیم به طوری که بعد از ریختن ۱۰ سانتی‌متر از مخلوط سنگدانه -خرده لاستیک داخل لوله پولیکا، لوله را ۱۰ سانتی‌متر بالا کشیده و سپس با اهرم کوبش ستون شنی مخلوط را متراکم می‌کنیم این عمل را تا پر کردن لوله پولیکا ادامه

می‌دهیم. شکل (۳-۱۰)



شکل (۳-۱۰) پر کردن دستگاه مدل‌سازی فیزیکی

۳-۵-۴- عملیات بارگذاری ستون شنی

پس از مدل‌سازی فیزیکی در داخل دستگاه، صفحه‌های فلزی دایره‌ای شکل که قطر بزرگ‌تر از قطر ستون شنی دارند به صورتی روی ستون شنی قرار گرفته شد که دقیقاً در وسط ستون قرار بگیرد، این صفحه‌ها بدین منظور روی ستون قرار داده شدند تا نیرو تنها به ستون شنی اعمال شود. در نهایت محفظه دستگاه را به صورتی تنظیم می‌کنیم که بار دقیقاً به مرکز صفحه وارد و سپس پیستون بارگذاری به آرامی روی نمونه هدایت شد و نمونه جهت بارگذاری آماده شد. بارگذاری با نرخ جابه‌جایی ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بر روی نمونه وارد شد تا نشست کل ستون شنی به ۶۰ میلی‌متر برسد که این مقدار برای تمام نمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است شکل (۳-۱۱).



شکل (۳-۱۱) عملیات بارگذاری ستون شنی

۳-۶- برنامه آزمایشات برش مستقیم و مدل سازی فیزیکی

همان طور مشاهده می شود در جداول (۳-۷) و (۳-۸) برنامه آزمایشات صورت گرفته توسط دستگاه

برش مستقیم جعبه بزرگ و مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس ارائه شده است.

جدول (۳-۷) برنامه آزمایش برش مستقیم جعبه بزرگ روی شن و خرده لاستیک

ردیف	علامت اختصاری	سربار قائم (kPa)	درصد خرده لاستیک	سایز خرده لاستیک (mm)
1	Ds-0T-50	50	0	7.75-9.51
2	Ds-0T-100	100		7.75-9.51
3	Ds-0T-150	150		7.75-9.51
4	Ds-20T-50	50	20	7.75-9.51
5	DS-20T-100	100		7.75-9.51
6	DS-20T-150	150		7.75-9.51
7	DS-40T-50	50	40	7.75-9.51
8	DS-40T-100	100		7.75-9.51
9	DS-40T-150	150		7.75-9.51
10	DS-60T-50	50	60	7.75-9.51
11	DS-60T-100	100		7.75-9.51
12	DS-60T-150	150		7.75-9.51

جدول (۳-۸) برنامه آزمایش مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس روی شن و خرده لاستیک

ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
1	FM-SC-84D-350L	224	4.17	84	350
2	FM-SC-125D-350L	321	2.8	125	350
3	FM-SC-160D-350L	786	2.19	160	350
4	FM-SC-84D-500L	250	5.95	84	500
5	FM-SC-125D-500L	350	4	125	500
6	FM-SC-160D-500L	800	3.12	160	500
7	FM-SC-84D-750L	224	8.92	84	750
8	FM-SC-125D-750L	285	6	125	750
9	FM-SC-160D-750L	690	4.68	160	750
10	FM-SC-84D-1250L	204	14.88	84	1250
11	FM-SC-125D-1250L	280	10	125	1250
12	FM-SC-160D-1250L	648	7.81	160	1250
13	FM-SC-84D-350L-40%T	235	4.17	84	350
14	FM-SC-125D-350L-40%T	350	2.8	125	350
15	FM-SC-160D-350L-40%T	887	2.19	160	350
16	FM-SC-84D-500L-40%T	280	5.95	84	500
17	FM-SC-125D-500L-40%T	410	4	125	500
18	FM-SC-160D-500L-40%T	944	3.12	160	500
19	FM-SC-84D-750L-40%T	233	8.92	84	750
20	FM-SC-125D-750L-40%T	328	6	125	750
21	FM-SC-160D-750L-40%T	810	4.68	160	750
22	FM-SC-84D-1250L-40%T	210	14.88	84	1250
23	FM-SC-125D-1250L-40%T	336	10	125	1250
24	FM-SC-160D-1250L-40%T	705	7.81	160	1250

۳-۷- نام گذاری و علائم اختصاری

در کل متن اسم نمونه ها با علامت اختصاری آورده شده است که این علائم به شرح ذیل است:

D مخفف Diameter به معنای قطر FM مخفف Physical modeling به معنای مدل سازی فیزیکی

L مخفف Length به معنای طول DS مخفف Direct shear به معنای برش مستقیم

T مخفف Tire به معنای تایر SC مخفف Stone Column به معنای ستون شنی

به عنوان نمونه FM-SC-84D-500L به معنای مدل سازی ستون شنی با قطر ۸۴ و طول ۵۰۰ میلی متر

فصل ۴:

نتیج و تفسیر آن ها

۴-۱- مقدمه

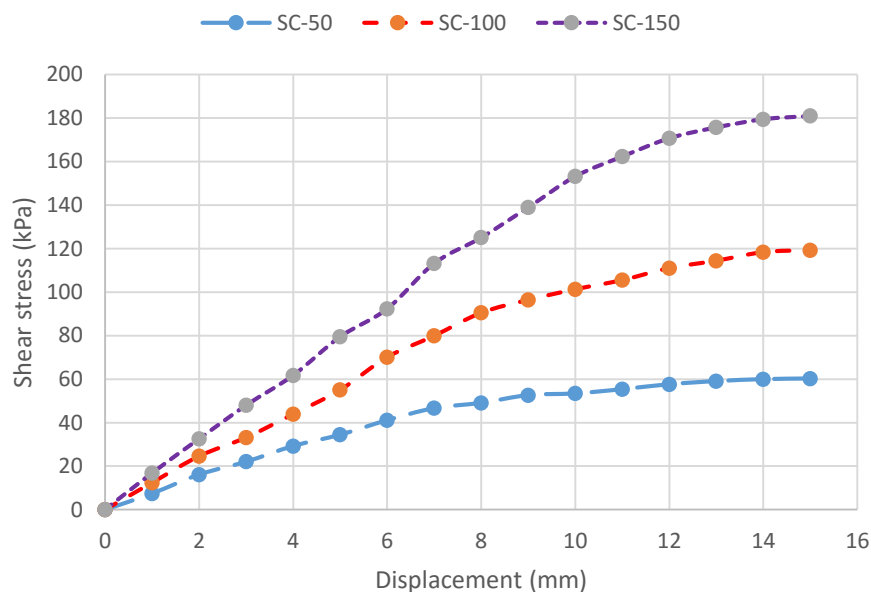
در این فصل به ترتیب، نتایج آزمایش‌های برش مستقیم و آزمایش‌های مدل فیزیکی که در فصل سوم شرح داده شده‌اند، ارائه می‌شود و در هر بخش نتایج مشاهده شده ذکر شده و تحلیل می‌گردند. کلیه آزمایش‌ها با درصدهای حجمی خرده لاستیک ۰ و ۴۰ درصد انجام شده‌اند.

۴-۲- نتایج آزمایش‌های مرجع

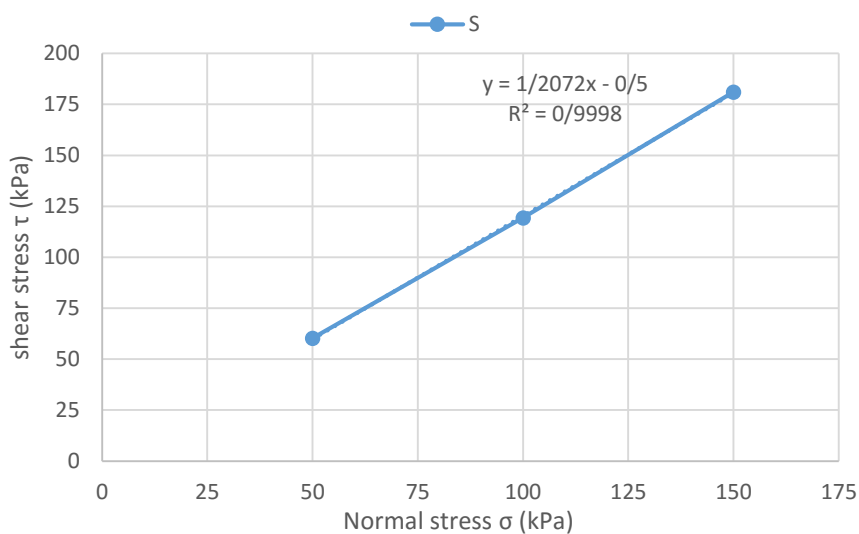
در ابتدا برای مقایسه نتایج آزمایشات به دست آمده آزمایش انجام شده بر روی مصالح شنی بدون لاستیک در دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ و دستگاه مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس به عنوان آزمایش مرجع ارائه شده است که به وسیله این آزمایش‌ها بتوان تأثیر استفاده از خرده لاستیک را در ستون شنی بیان نمود.

۴-۲-۱- آزمایشات مرجع دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ

در این بخش جهت مقایسه نتایج آزمایشات برش مستقیم جعبه بزرگ، آزمایش انجام شده بر روی مصالح شنی بدون خرده لاستیک به عنوان آزمایش مرجع انتخاب شده است. به این منظور در شکل (۴-۱) نمودار تنش برشی-جابجایی افقی و همچنین در شکل (۴-۲) پوش گسیختگی برش مستقیم برای شن خالص تحت سه سربار قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلو پاسکال رسم شده است. اصطکاک داخلی مصالح شن ۵۰ درجه و چسبندگی صفر کیلو پاسکال محاسبه شده است که با مقایسه این نتیجه با نتایج آزمایشات مخلوط شن و خرده لاستیک می‌توان تأثیر خرده لاستیک را ارزیابی نمود.



شکل (۱-۴) نمودار تنش برشی-جابجایی افقی در شن خالص

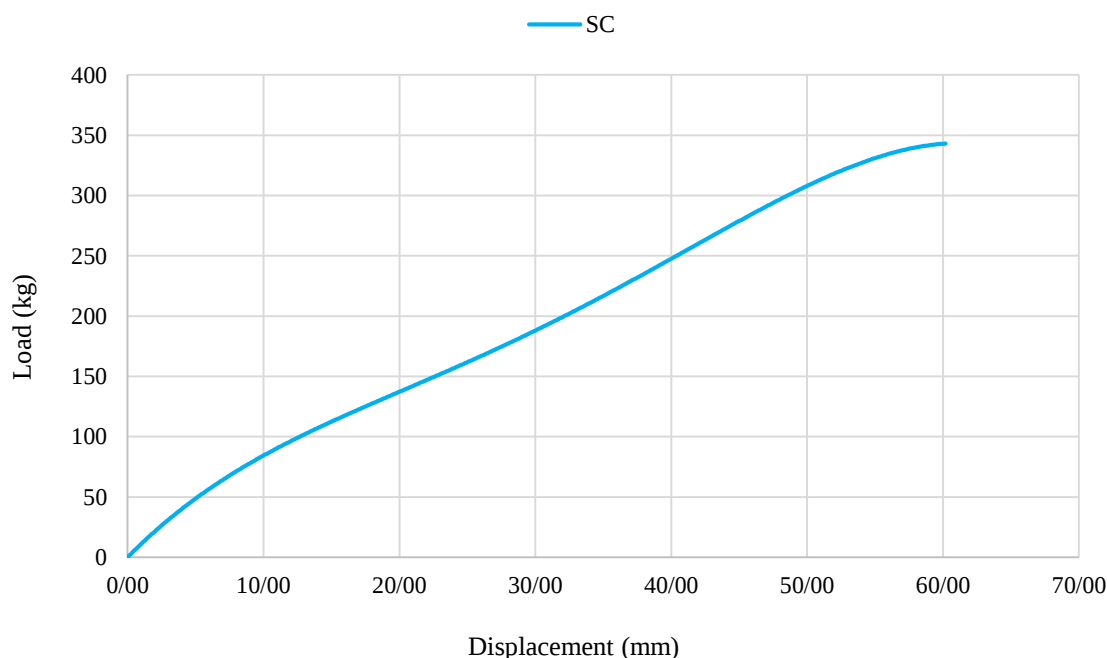


شکل (۲-۴) پوش گسیختگی شن خالص

با توجه به نمودار تنش برشی و جابجایی شکل (۱-۴)، تأثیر افزایش سربار قائم بر مقاومت برشی خاک را نمایش می‌دهد که با افزایش سربار قائم، مقاومت خاک افزایش پیدا می‌کند و همچنین با توجه به نمودار پوش گسیختگی شکل (۲-۴) به‌دست‌آمده برای نمونه شن خالص، مشاهده می‌گردد که چسبندگی و اصطکاک داخلی در تراکم موردنظر و در سه سربار ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰۰ به دلیل دانه‌ای بودن مصالح شن ترتیب صفر کیلو پاسکال و ۵۰ درجه بدست آمد که این اصطکاک داخلی زیاد ناشی از،

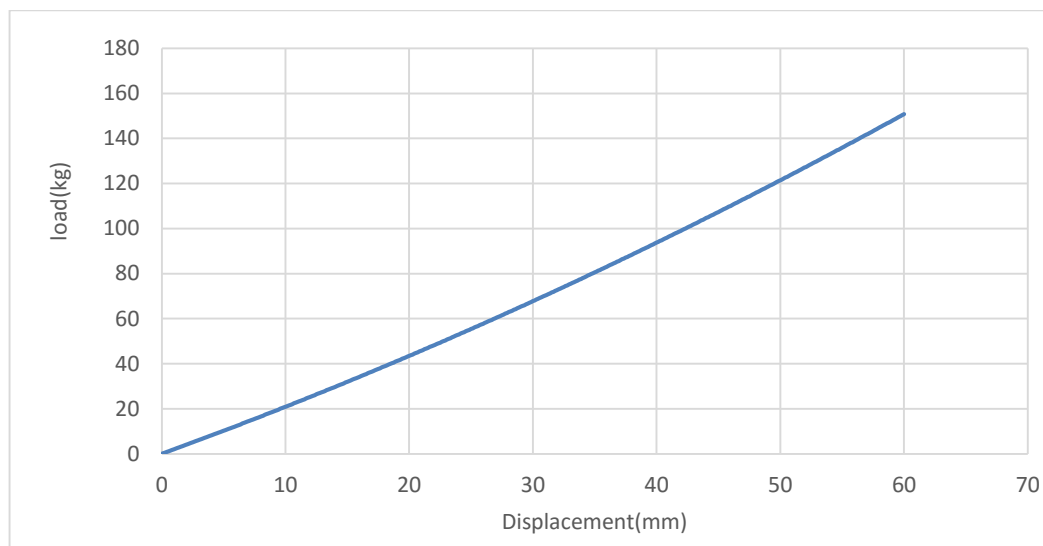
۲-۲-۴- آزمایشات مرجع دستگاه مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس

جهت مقایسه نتایج آزمایشگاهی دستگاه مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس ابتدا با بارگذاری روی ماسه و یک نمونه مدل سازی شده با شن خالص استفاده گردید. در بارگذاری نمونه مدل سازی شده، نیرویی به صورت استاتیکی با نرخ جابه جایی ۱۰ میلی متر بر دقیقه به منظور رسیدن به جابه جایی ۶۰ میلی متری اعمال گردید. همان طور که در شکل (۳-۴) مشاهده می شود، ستون شنی تا رسیدن به جابه جایی ۱۷ میلی متر افزایشی تقریباً ۱۴۰ کیلوگرمی نیرو را تجربه می کند سپس به علت جابه جا شدن و لغزش سنگدانه های ستون شنی میزان افزایش نرخ بار مقداری کاهش یافته و نمودار با شیب ملایم افزایش می یابد ولی در کل می توان گفت برآیند نمودار به صورت خطی می باشد و ستون شنی حداکثر ۳۵۰ کیلوگرم بار در ۶۰ میلی متر نشست، بار گرفته است



شکل (۳-۴) نمودار بار- نشست ستون شنی بدون خرده لاستیک

شکل (۴-۴) نمودار نشست-بار را روی ماسه فیروزکوه رانسان می‌دهد که بیانگر ظرفیت باربری ماسه فیروزکوه با نرخ جابه‌جایی ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه به‌منظور رسیدن به جابه‌جایی ۶۰ میلی‌متری را نشان می‌دهد



شکل (۴-۴) نمودار بار- نشست ماسه فیروزکوه

۴-۳- بررسی نتایج آزمایش‌های برش مستقیم جعبه‌بزرگ

همان‌طور که اشاره گردید در این تحقیق تعدادی آزمایش برش مستقیم بر روی شن و مخلوط شن و خرده لاستیک با درصد اختلاط حجمی ۲۰، ۴۰، ۶۰ درصد و با استفاده اندازه خرده لاستیک به ابعاد ۴/۷۵ تا ۴/۵۱ میلی‌متر صورت گرفت.

هدف از انجام این آزمایش‌ها یافتن پارامترهای مقاومتی نمونه‌ها و بررسی نقش ابعاد خرده لاستیک برافزایش پارامترهای مقاومتی مخلوط و همچنین مقایسه با نتایج مدل فیزیکی است.

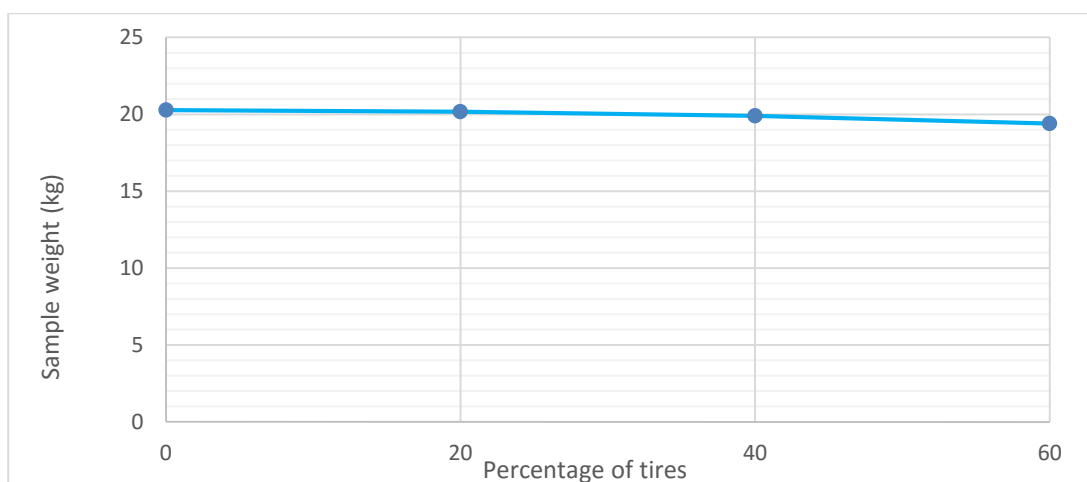
۴-۳-۱- تغییرات وزنی نمونه‌ها

همان‌طور که در جدول (۴-۱) مشاهده می‌شود، با افزایش درصد خرده لاستیک در نمونه‌ها، وزن نمونه‌ها کاهش یافته که دلیل این پدیده را می‌توان به وزن مخصوص کمتر لاستیک نسبت به دانه‌های شن نسبت

داد. در شکل (۵-۴) نتایج این قسمت بر روی نمودار نشان داده شده است.

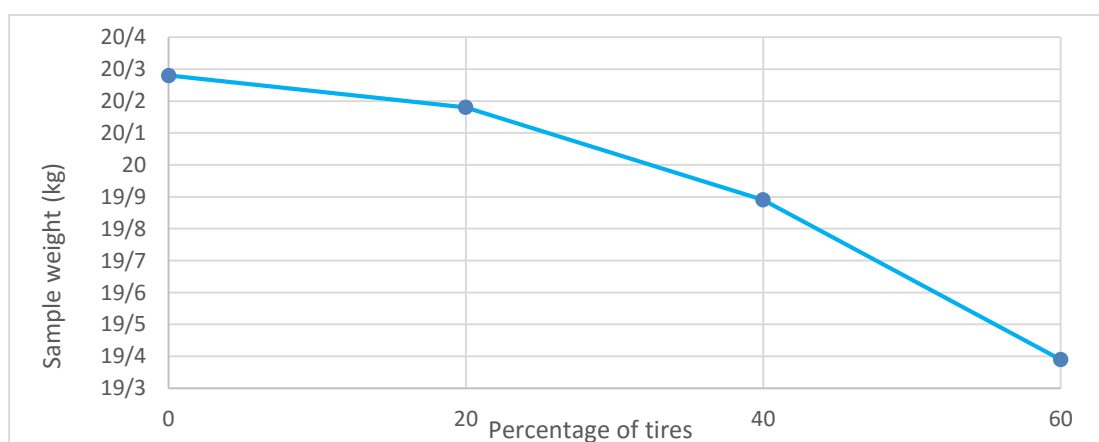
جدول (۱-۴) مشخصات وزنی نمونه‌های آزمایش برش مستقیم جعبه‌بزرگ

ردیف	نام اختصاری آزمایش	درصد خرده لاستیک	وزن خرده لاستیک (kg)	وزن شن (kg)	وزن مخلوط (kg)
1	SC	0	۰	20.28	20.28
2	SC-20%T	20	1.22	18.96	20.18
3	SC-40%T	40	2.25	17.64	19.89
4	SC-60%T	60	3.07	16.32	19.39



شکل (۵-۴) نمودار تأثیر افزایش خرده لاستیک بر وزن نمونه‌ها

که جهت بزرگ‌نمایی نمودار شکل (۵-۴) شکل (۶-۴) زیر را رسم کردیم

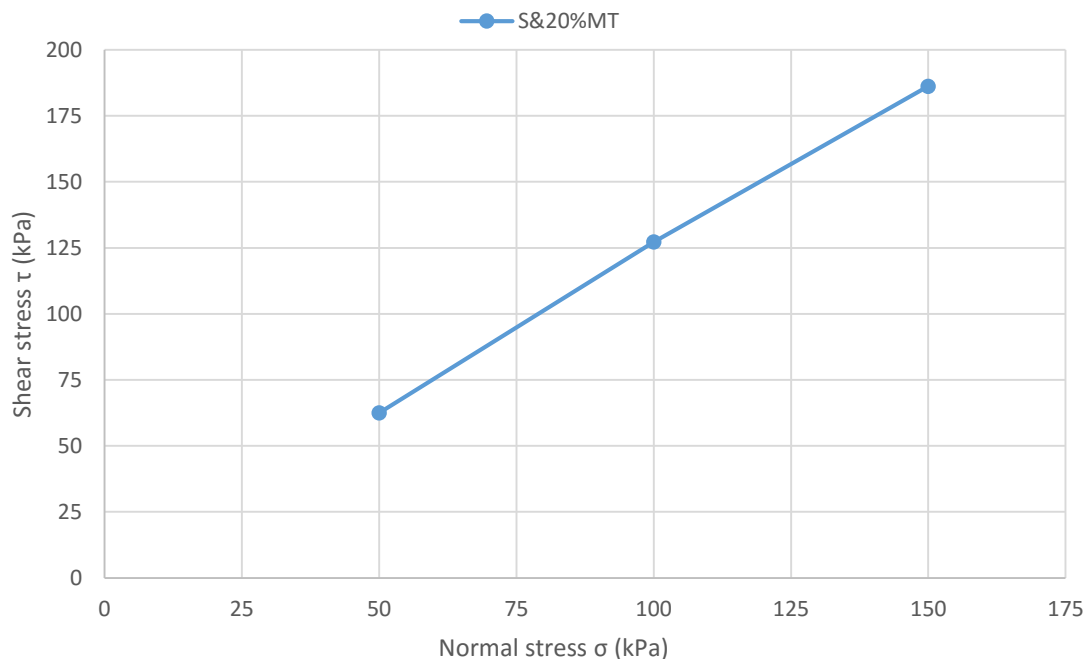


شکل (۶-۴) نمودار تأثیر افزایش خرده لاستیک بر وزن نمونه‌ها

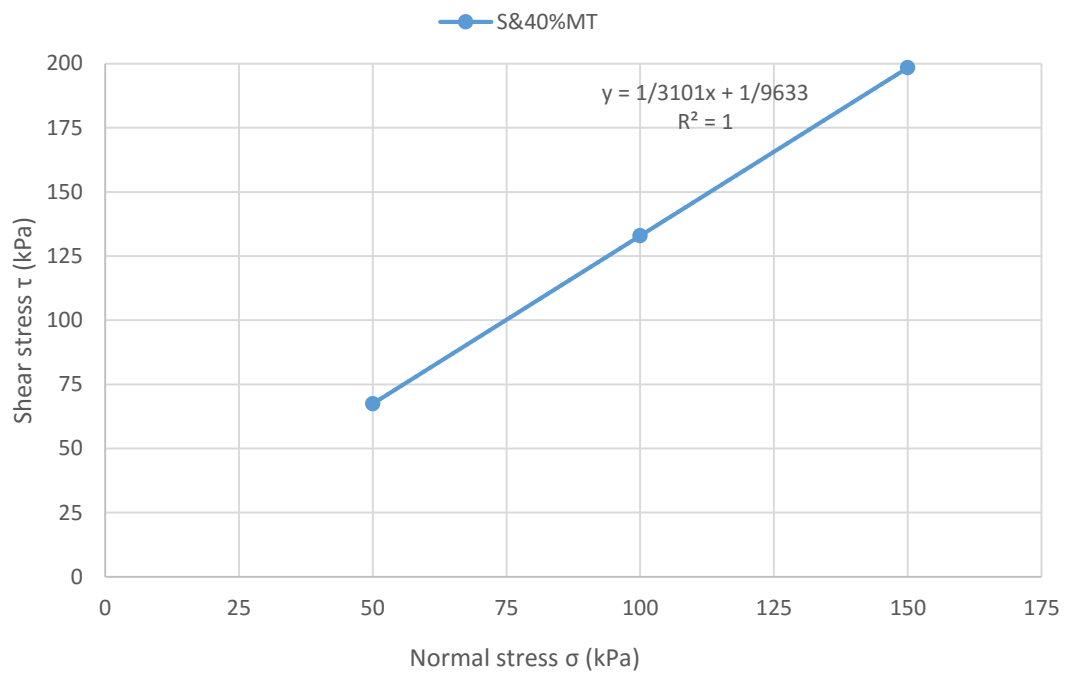
۴-۳-۲- بررسی پارامترهای مقاومتی نمونه‌ها

از آنجایی که مقاومت برشی خاک متشکل از دو پارامتر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی می‌باشد، پس از انجام آزمایش‌ها با رسم منحنی پوش گسیختگی برای نمونه‌ها، به تعیین زاویه اصطکاک داخلی و همچنین چسبندگی نمونه‌ها پرداخته شد. در شکل‌های (۴-۷) تا (۴-۹) پوش گسیختگی آزمایش‌های برش مستقیم برای نمونه‌های مخلوط حاوی خرده لاستیک با ابعاد ۴/۷۵ تا ۹/۵۱ میلی‌متر با درصد اختلاط ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد آورده شده است.

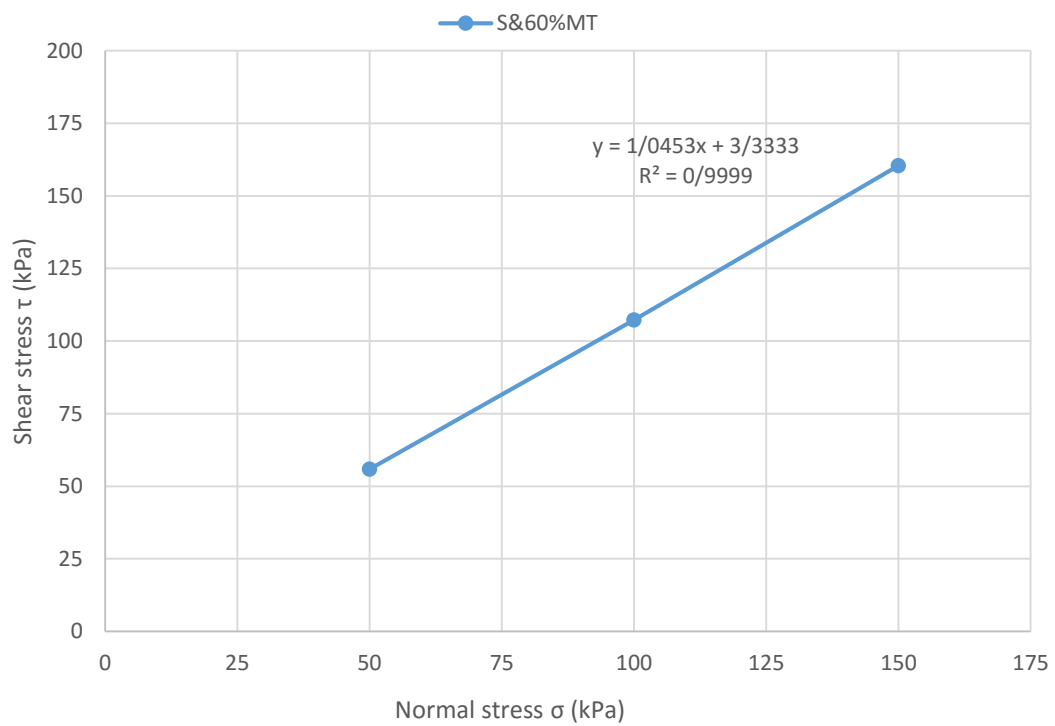
نکته‌ای که در این قسمت لازم به ذکر است این می‌باشد که خاک‌های دانه‌ای دارای خاصیت اصطکاکی هستند و در هر نقطه تماس، مقاومت در برابر لغزش متناسب با نیروی عمودی است؛ بنابراین هنگامی که تنش سربار افزایش می‌یابد، مقاومت نهایی نیز زیاد می‌شود. با توجه به اینکه قفل و بست بین دانه‌ها در یکدیگر در مقاومت نهایی تأثیرگذار است، با افزایش تنش سربار، قفل‌شدگی و در نتیجه مقاومت نهایی افزایش می‌یابد.



شکل (۴-۷) پوش گسیختگی مخلوط شن و ۲۰٪ خرده لاستیک



شکل (۸-۴) پوش گسیختگی مخلوط شن و ۴۰٪ خرده لاستیک



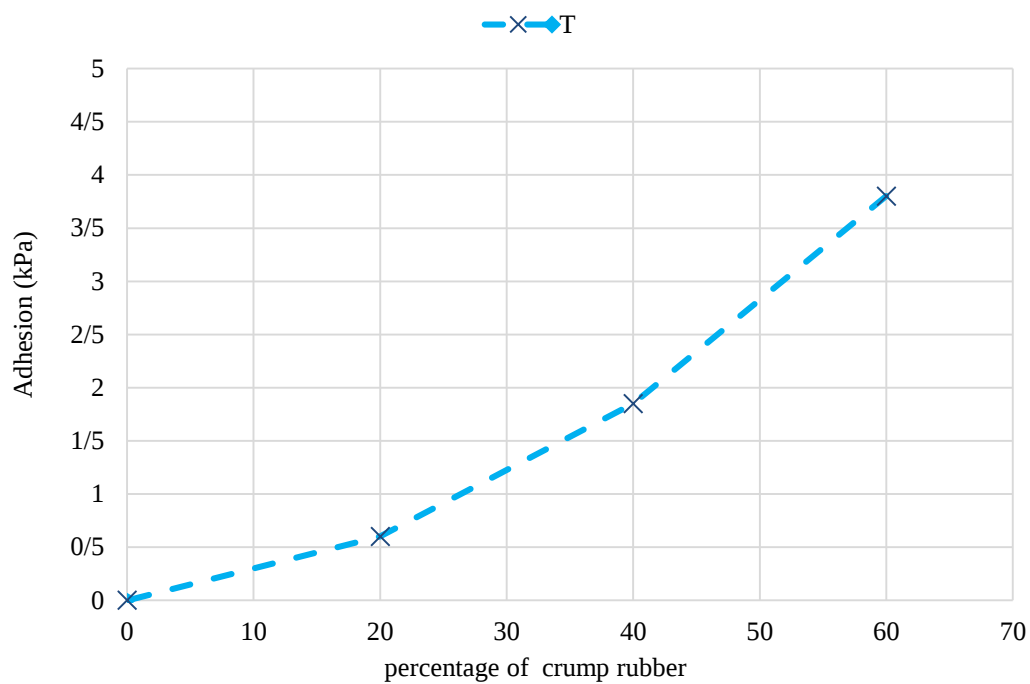
شکل (۹-۴) پوش گسیختگی مخلوط شن و ۶۰٪ خرده لاستیک

پس از رسم پوش گسیختگی آزمایش‌های برش مستقیم می‌توان با استفاده از شیب و عرض از مبدأ حاصل از رسم خط به ترتیب زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه‌ها را محاسبه کرد که نتایج این کار هم برای مخلوط‌های حاوی خرده لاستیک با ابعاد $4/75$ تا $9/51$ میلی‌متر در جدول (۲-۴) آورده شده است تا مشاهده شود که افزایش خرده لاستیک روی هر کدام از پارامترهای مقاومت برشی چه تأثیری می‌گذارد. همان‌طور که از این جداول مشاهده می‌شود، خرده لاستیک باعث افزایش مداوم چسبندگی می‌شود، هرچند به دلیل دانه‌ای بودن مصالح، چسبندگی بسیار ناچیز است. درحالی‌که تأثیر آن بر زاویه اصطکاک داخلی به این صورت می‌باشد که تا مقدار بهینه خرده لاستیک، روند افزایشی داشته و پس از آن با کاهش مواجه شده است. که این مقدار افزایش‌ها بسیار ناچیز می‌باشد و ممکن است ناشی از خطای انسانی باشد به همین جهت می‌توان از این درصد افزایش ناچیز صرف نظر نمود.

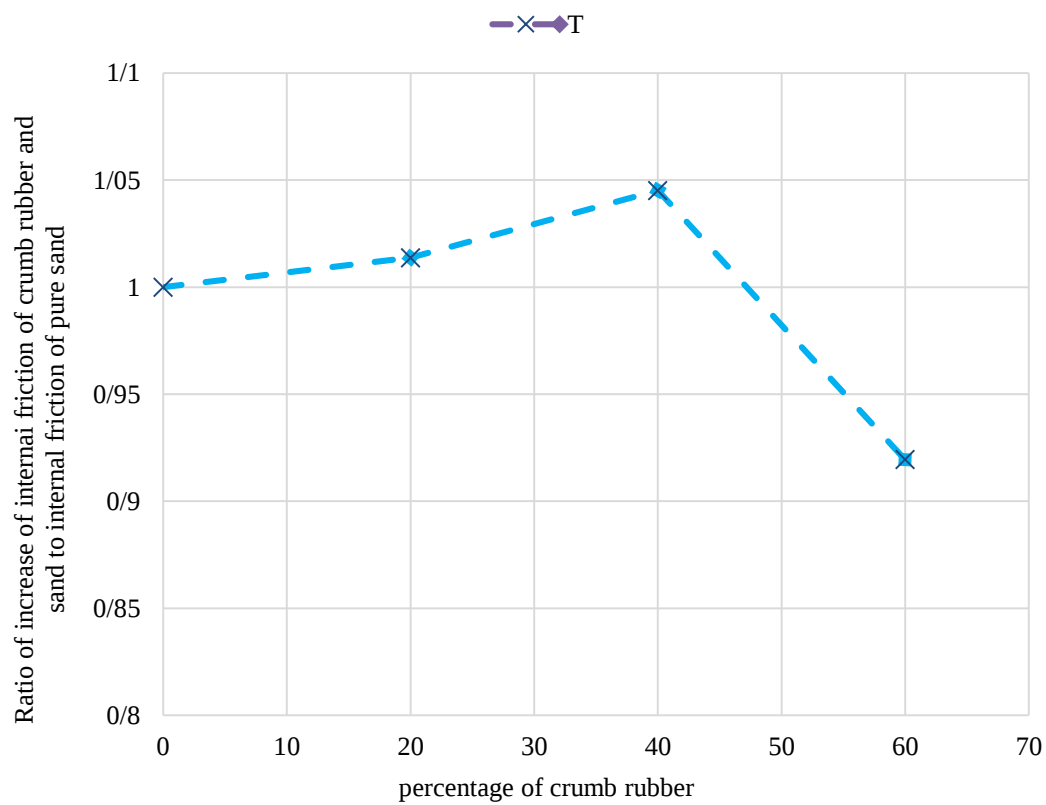
در اشکال (۴-۱۰) و (۴-۱۱) به ترتیب نمودار تأثیر خرده لاستیک روی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مشاهده می‌گردد که چسبندگی به‌طور دائم در حال افزایش می‌باشد ولی اصطکاک داخلی تا اختلاط حدود ۴۰ درصد خرده لاستیک با شن افزایش یافته و سپس پس از آن با شیب بیشتری شروع به کاهش نموده است.

جدول (۲-۴) تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در مخلوط شن با نسبت‌های مختلف خرده لاستیک

ردیف	نام اختصاری آزمایش	سایز خرده لاستیک (mm)	درصد خرده لاستیک	چسبندگی (kPa)	اصطکاک داخلی (°)
1	SC	-	0	0	50.9
2	SC-20%T	4.75-9.51	20	0.6	51.6
3	SC-40%T		40	1.85	53.2
4	SC-60%T		60	3.8	46.8

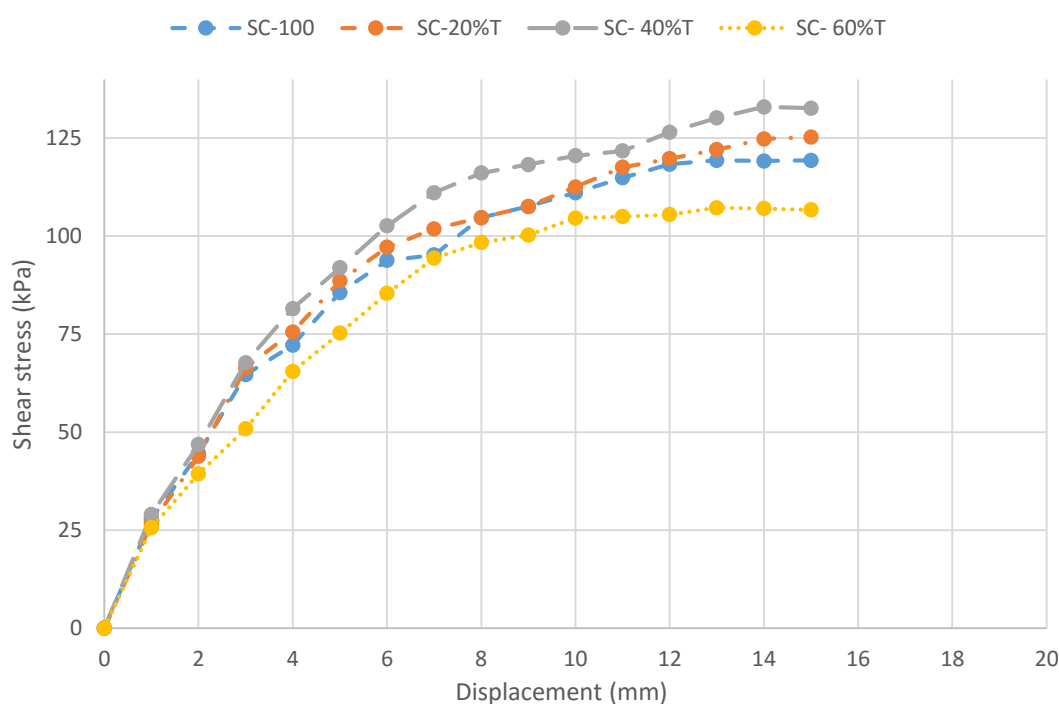


شکل (۴-۱۰) میزان چسبندگی مخلوط با درصدهای مختلف خردۀ لاستیک



شکل (۴-۱۱) افزایش اصطکاک داخلی مخلوط شن-خردۀ لاستیک نسبت به شن خالص

از آنجایی که نمودار نیرو-جابجایی در خاک کمیت‌های مهمی از جمله سختی و ظرفیت نهایی تغییر شکل را تعیین می‌کند منحنی تنش برشی -جابجایی نمونه‌ها با درصدهای مختلف خرده لاستیک در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار سختی با افزایش خرده لاستیک در نمونه کاهش می‌یابد و همچنین افزودن خرده لاستیک به مخلوط باعث سبک‌تر شدن نمونه می‌شود که این امر موجب کاهش تنش‌های اعمالی به مخلوط می‌گردد.



شکل (۴-۱۲) نمودار تنش برشی - جابجایی برای درصدهای مختلف خرده لاستیک تحت سربار قائم ۱۰۰ کیلو پاسکال

وینات و سینق در آزمایش‌های خود مشاهده کردند که افزودن خرده لاستیک باعث ایجاد چسبندگی ظاهری می‌شود. در مطالعه حاضر هم گرچه مصالح مصرفی شن است (مصالح دانه‌ای) اما چسبندگی در نمونه‌ها بعد از افزودن خرده لاستیک به مقدار ناچیزی افزایش می‌یابد که این مقدار افزایش متناسب با دانه‌بندی خرده لاستیک‌ها و درصد آن‌ها متغیر می‌باشد، شایان ذکر است که این چسبندگی، از نوع چسبندگی واقعی مصالح نمی‌باشد. در مورد افزایش جزئی زاویه اصطکاک داخلی و سپس کاهش آن پس از افزودن خرده لاستیک بیش از درصد بهینه، محققین مختلفی مانند قضاوی و فوس و وینات و سینق نیز روند مشابهی را برای مخلوط‌ها گزارش کرده‌اند که نتایج این بخش با مطالعات آن‌ها تطابق

دارد.

۴-۳-۳- تکرارپذیری نتایج و خطاهای دستگاه برش مستقیم

جعبه بزرگ

به طور کلی برای شناسایی و حذف داده‌های پرت و همچنین اثبات صحت نتایج آزمایشگاهی توصیه می‌شود که آزمایش‌ها تکرار شود. با انجام این فرآیند علاوه بر اطمینان از نتایج به دست آمده، می‌توان خطای آزمایش را مشخص نمود. در تحقیق حاضر تعدادی از آزمایش‌ها ۳ بار تکرار شده تا همخوانی نتایج با یکدیگر کنترل شوند، همچنین در مواردی که به صحت نتایج آزمایش مشکوک بوده‌ایم نیز، آن آزمایش‌ها را تکرار کرده تا از درستی آن اطمینان پیدا کرده و یا به اصلاح نتایج نادرست آزمایش بپردازیم. در بخش ذیل پاره‌ای از خطاهای مرتبط به موضوع مورد بحث آورده شده است.

به طور کلی خطاهای آزمایش عبارت‌اند از خطای فردی، محاسباتی و دستگاه آزمایش.

۱- خطاهای فردی که شامل صحت اعداد قرائت شده و طرز نمونه‌سازی و غیره است.

۲- روابط محاسباتی و فرضیات

۳- کالیبراسیون دستگاه و نرمالیزه کردن ضریب رینگ.

در دستگاه برش مستقیم می‌بایست نمونه داخل جعبه آزمایش بر طبق تراکم مورد نظر ساخته شود، استفاده از نمونه‌های دست‌خورده باعث کاهش مقاومت نهایی خاک مورد آزمایش خواهد شد ولی این کاهش در خاک‌های درشت‌دانه به مراتب کمتر از خاک ریزدانه است.

برای به دست آوردن پارامترهای مقاومت برشی توسط دستگاه برش مستقیم، پس از نمونه‌سازی و راه اندازی دستگاه با جابجایی افقی جعبه برش یک مسیر گسیختگی خاص به نمونه تحمیل می‌شود. به دلیل آنکه تمام معادلات تعادل بر روی همین صفحه گسیختگی محاسبه و انجام می‌گیرد باعث بروز خطا می‌شود. یکی از ایرادهایی که به دستگاه برش مستقیم وارد است همین عامل می‌باشد زیرا راستای

برش و صفحه آن در آزمایش برش مستقیم از پیش تعیین شده می باشد و در عمل ممکن است خاک در راستای دیگری گسیخته شود. ضمن اینکه تنش های برشی روی سطح گسیختگی به طور یکنواخت توزیع نشده اند، در صورتی که ما فرض کرده ایم که توزیع تنش یکنواخت است.

۴-۴- بررسی نتایج آزمایش های مد سازی فیزیکی بزرگ مقیاس

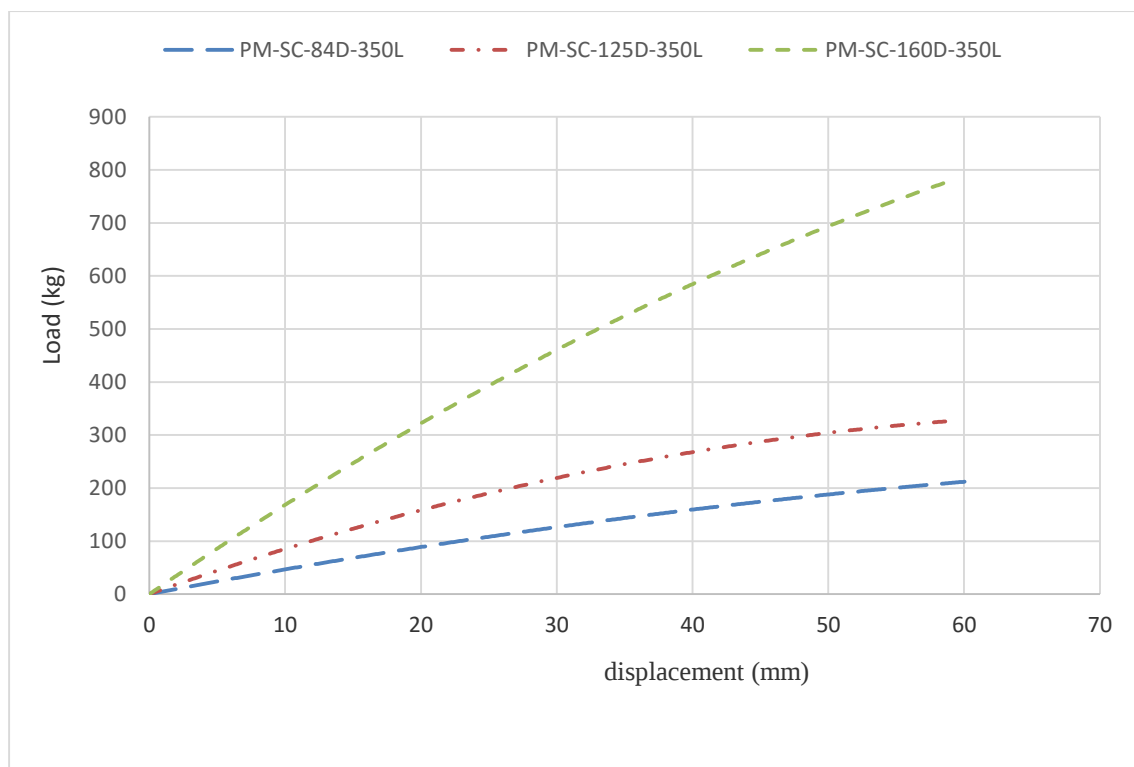
در این بخش نتایج حاصل از آزمایش های مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس شامل نمودارهای جابجایی- نیرو ارائه خواهد شد. همچنین به مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات دیگر محققان نیز پرداخته خواهد شد

۴-۵- ارزیابی اثر قطر بر ظرفیت باربری ستون شنی

۴-۵-۱- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت

L/D (۲/۱۹ و ۲/۸۰، ۴/۱۷) با طول ثابت ۳۵۰ میلی متر

در شکل (۴-۱۳) و جدول (۴-۳) نتایج حاصل از آزمایش های مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس، ، با نسبت L/D (۲/۱۹ و ۲/۸۰، ۴/۱۷) با طول ثابت ۳۵۰ میلی متر نشان داده شده است که همان طور که مشاهده می شود با کاهش نسبت طول به قطر، با طول ثابت ظرفیت باربری ستون شنی افزایش می یابد. .



شکل (۴-۱۳) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۲/۱۹ و ۲/۸۰، ۴/۱۷) با طول ثابت ۳۵۰ میلی‌متر

جدول (۴-۳) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت L/D (۲/۱۹ و ۲/۸۰، ۴/۱۷) با طول ثابت ۳۵۰

میلی‌متر

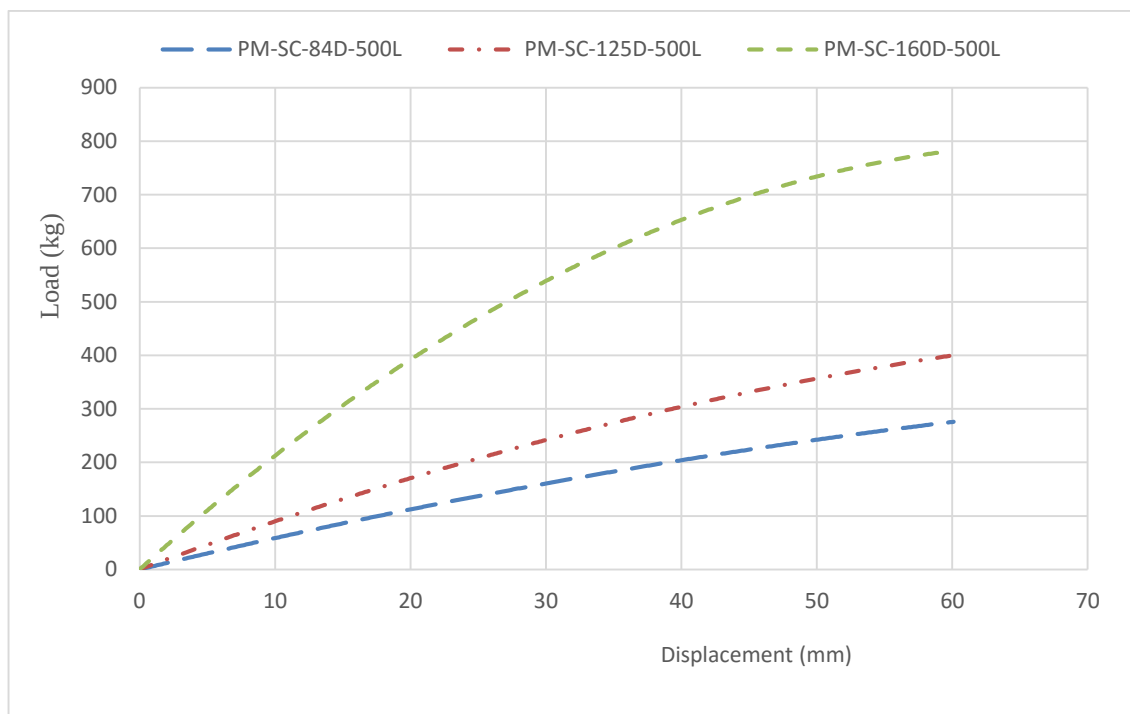
ردیف	علامت اختصاری	نسبت افزایش نیروی وارده	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
1	PM-SC-84D-350L	1	224	4.17	84	350
2	PM-SC-125D-350L	1.43	321	2.8	125	350
3	PM-SC-160D-350L	3.51	786	2.19	160	350

۴-۵-۲- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت

L/D (۳/۱۳ و ۴، ۵/۹۵) با طول ثابت ۵۰۰ میلی‌متر

در شکل (۴-۱۴) و جدول (۴-۴) نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس، با نسبت L/D (۳/۱۳ و ۴، ۵/۹۵) با طول ثابت ۵۰۰ میلی‌متر نشان داده شده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش

نسبت طول به قطر، با طول ثابت ظرفیت باربری ستون شن افزایش می‌یابد



شکل (۴-۱۴) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۳/۱۳ و ۴،۵/۹۵) با طول ثابت ۵۰۰ میلی‌متر

جدول (۴-۴) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت L/D (۳/۱۳ و ۴،۵/۹۵) با طول ثابت ۵۰۰

میلی‌متر

ردیف	علامت اختصاری	نسبت افزایش نیروی وارده	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
1	PM-SC-84D-500L	1	250	5.95	84	500
2	PM-SC-125D-500L	1.4	350	4	125	500
3	PM-SC-160D-500L	3.2	800	3.12	160	500

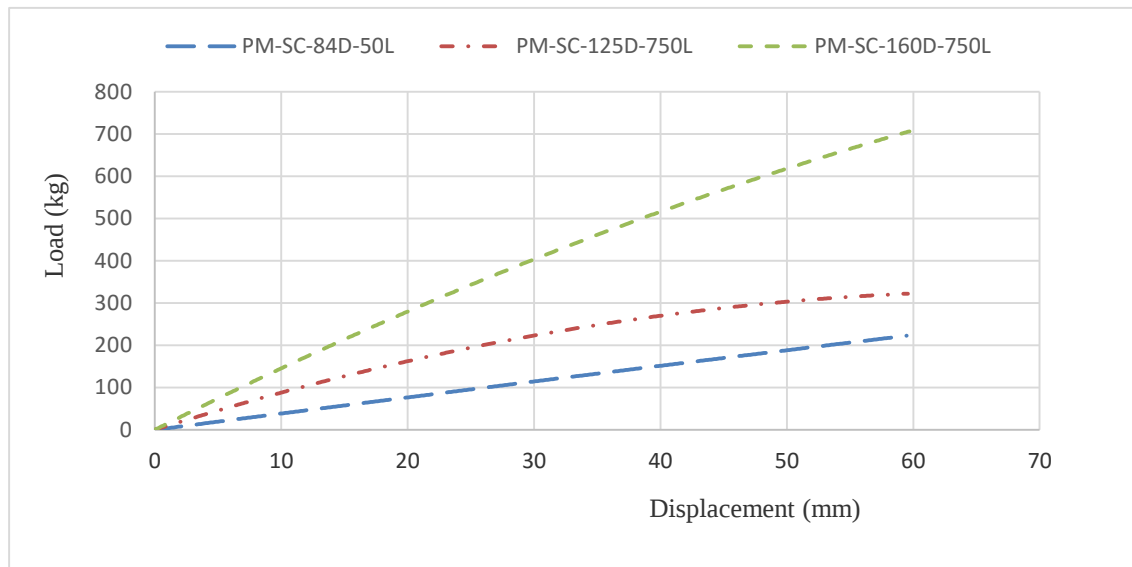
۴-۵-۳- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت

L/D (۴/۶۹ و ۶،۸/۹۳) با طول ثابت ۷۵۰ میلی‌متر

در شکل (۴-۱۵) و جدول (۴-۵) نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس، با

نسبت L/D (۴/۶۹ و ۶،۸/۹۳) با طول ثابت ۷۵۰ میلی‌متر نشان داده شده است که همان‌طور که

مشاهده می‌شود با کاهش نسبت طول به قطر، با طول ثابت ظرفیت باربری ستون شن افزایش می‌یابد



شکل (۴-۱۵) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۴/۶۹ و ۶،۸/۹۳) با طول ثابت ۷۵۰ میلی‌متر

جدول (۴-۵) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت L/D (۴/۶۹ و ۶،۸/۹۳) با طول ثابت ۷۵۰

میلی‌متر

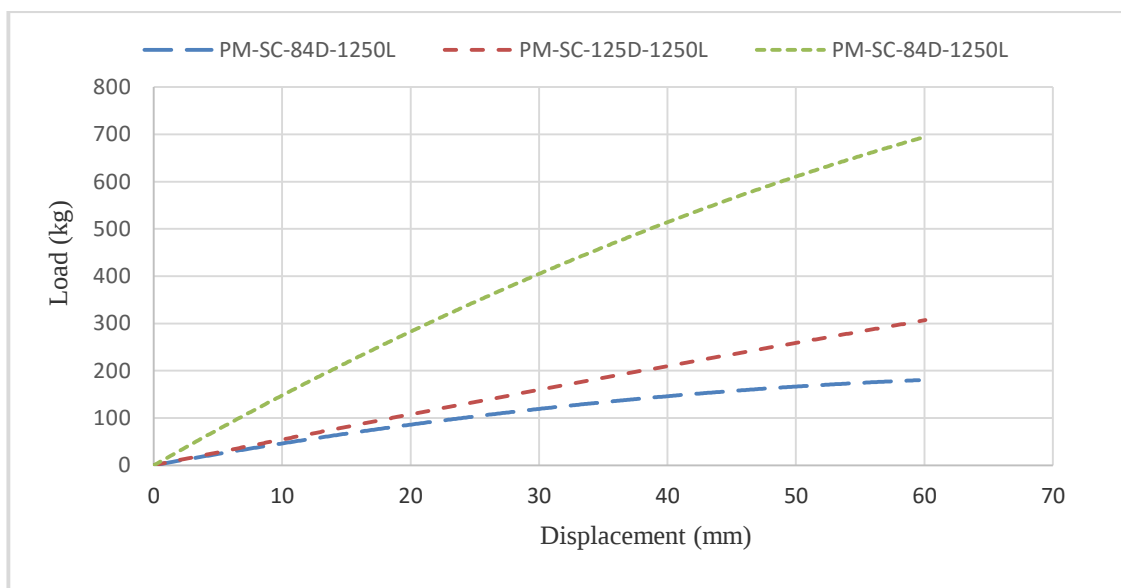
ردیف	علامت اختصاری	نسبت افزایش نیروی وارده	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
1	PM-SC-84D-750L	1	224	8.92	84	750
2	PM-SC-125D-750L	1.27	285	6	125	750
3	PM-SC-160D-750L	3.08	690	4.68	160	750

۴-۵-۴- ارزیابی نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت

(۱۰،۱۴/۸۸ و ۷/۸۱) L/D با طول ثابت ۱۲۵۰ میلی‌متر

در شکل (۴-۱۶) و جدول (۴-۶) نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس، با نسبت L/D (۷/۸۱ و ۱۰،۱۴/۸۸) با طول ثابت ۱۲۵۰ میلی‌متر نشان داده شده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش نسبت طول به قطر، با طول ثابت ظرفیت باربری ستون شن افزایش

می یابد.



شکل (۴-۱۶) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۷/۸۱ و ۱۰،۱۴/۸۸) با طول ثابت ۱۲۵۰ میلی متر

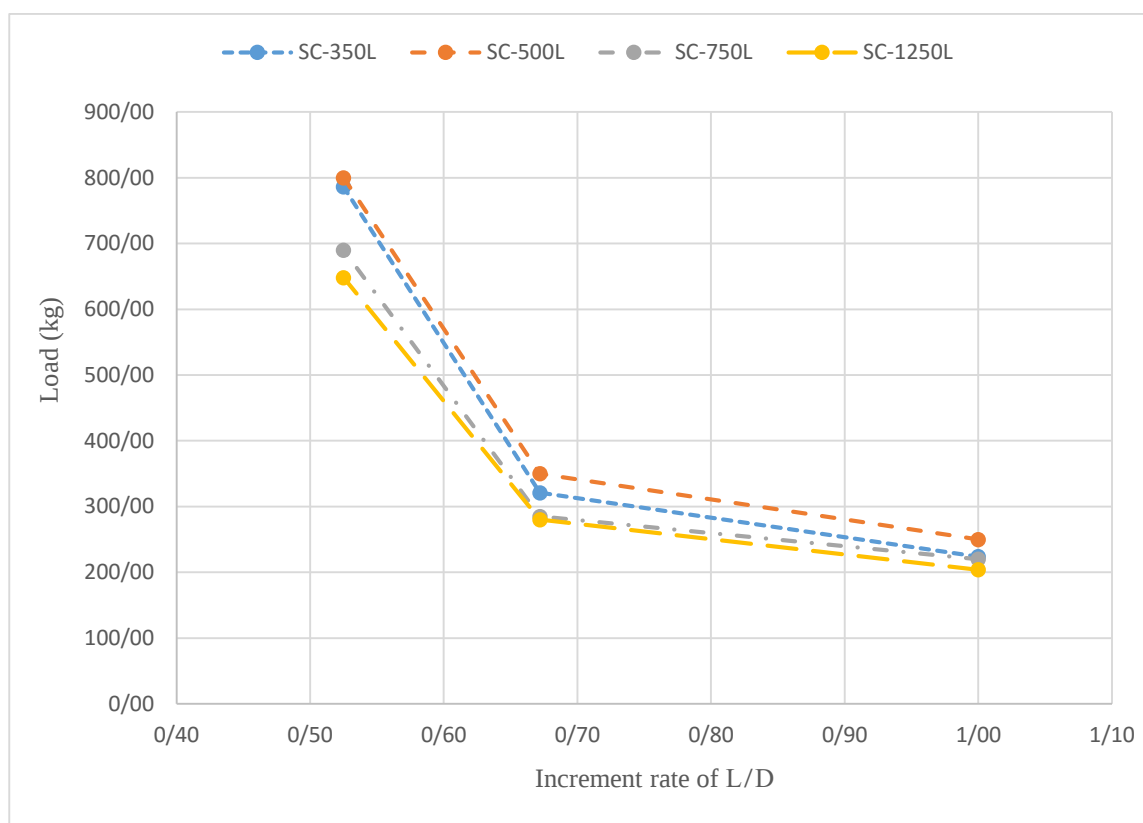
جدول (۴-۶) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی با نسبت L/D (۷/۸۱ و ۱۰،۱۴/۸۸) با طول ثابت

۱۲۵۰ میلی متر

ردیف	علامت اختصاری	نسبت افزایش نیروی وارده	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
1	PM-SC-84D-1250L	1	204	14.88	84	1250
2	PM-SC-125D-1250L	1.37	280	10	125	1250
3	PM-SC-160D-1250L	3.17	648	7.81	160	1250

۴-۵-۵- ارزیابی نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی

در طول ثابت

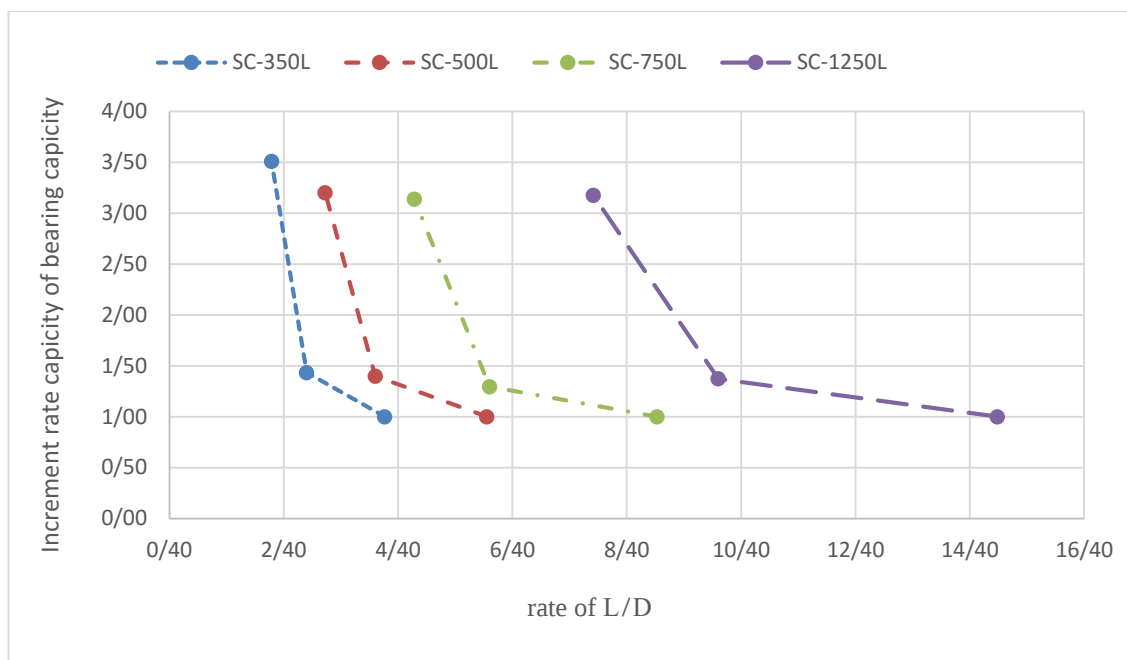


شکل (۱۷-۴) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی در طول ثابت

در شکل (۱۷-۴) نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی در طول ثابت نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه طول‌ها با کاهش نسبت L/D شاهد افزایش ظرفیت باربری هستیم. و همچنین ظرفیت باربری در طول ۵۰ سانتی‌متر در همه نسبت‌های L/D از بقیه طول‌ها بیشتر می‌باشد

۴-۵-۶- ارزیابی نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری

ستون‌شنی در طول ثابت



شکل (۴-۱۸) نمودار مقایسه نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی در طول ثابت

در شکل (۴-۱۸) نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی نشان داده شده است همان طور که مشاهده می‌شود در همه طول‌ها با کاهش نسبت L/D شاهد افزایش نسبت ظرفیت باربری هستیم که این نسبت افزایش در طول‌های کوتاه‌تر بیشتر می‌باشد. دلیل آن می‌تواند افزایش سختی ستون کاهش نشست در طول‌های کوتاه‌تر باشد.

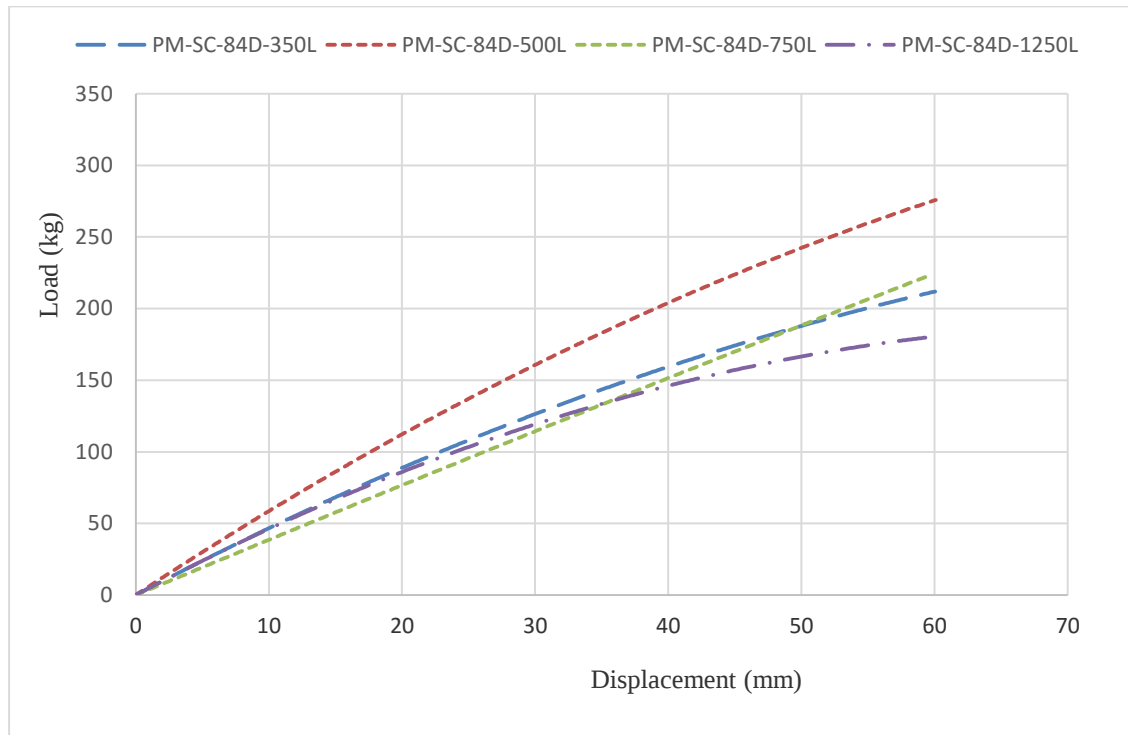
۴-۶- ارزیابی اثر طول بر ظرفیت باربری و نشست ستون شنی

۴-۶-۱- نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت

L/D (۱۴/۸۸ و ۸/۹۳، ۵/۹۵، ۴/۱۷) با قطر ثابت ۸۴ میلی‌متر

در شکل (۴-۱۹) و جدول (۴-۷) نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس، با نسبت L/D (۱۴/۸۸ و ۸/۹۳، ۵/۹۵، ۴/۱۷) با قطر ثابت ۸۴ میلی‌متر نشان داده شده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت L/D تا ۸/۹۵ ظرفیت باربری ستون‌شنی افزایش و

سپس روند کاهشی به خود می‌گیرد.



شکل (۴-۱۹) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۱۴/۸۸ و ۸/۹۳، ۵/۹۵، ۴/۱۷) با قطر ثابت ۸۴ میلی‌متر

جدول (۴-۷) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون شنی با نسبت L/D (۱۴/۸۸ و ۸/۹۳، ۵/۹۵، ۴/۱۷) با قطر

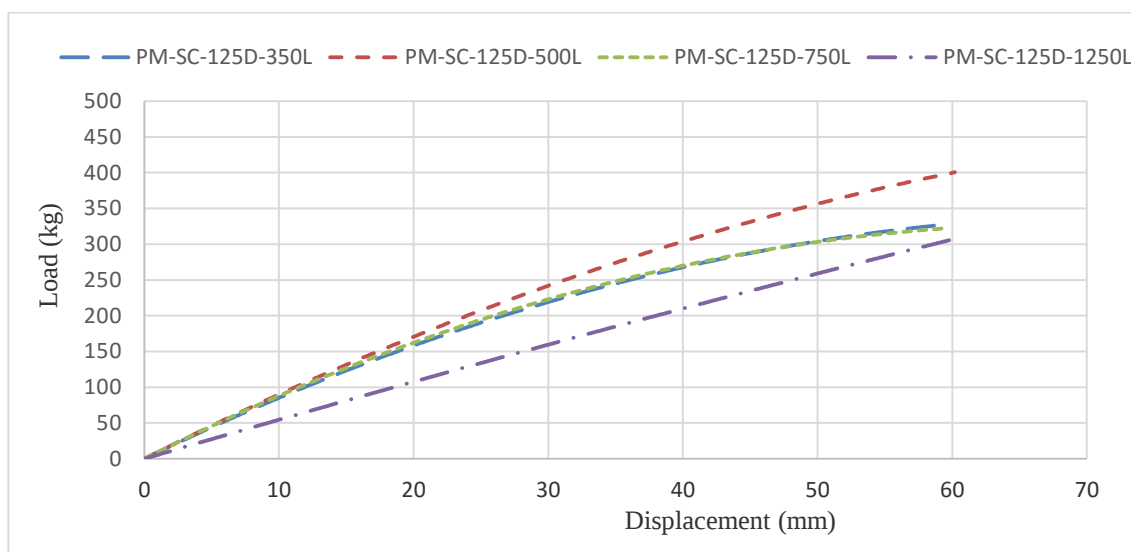
ثابت ۸۴ میلی‌متر

ردیف	علامت اختصاری	نسبت افزایش نیروی وارده	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
۱	PM-SC-84D-350L	۱	۲۲۴	۴.۱۶	۸۴	۳۵۰
۲	PM-SC-84D-500L	۱.۱۲	۲۵۰	۵.۹۲	۸۴	۵۰۰
۳	PM-SC-84D-750L	۱	۲۲۴	۸.۹۳	۸۴	۷۵۰
۴	PM-SC-84D-1250L	۰.۹۱	۲۰۴	۱۴.۸۸	۸۴	۱۲۵۰

۴-۶-۲- نمودار نشست - بار برای ستون شنی با نسبت

(۶،۴،۲/۸۰ و ۱۰) L/D با قطر ثابت ۱۲۵ میلی‌متر

در شکل (۴-۲۰) و جدول (۴-۸) نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس، با نسبت L/D بین ۲/۸ تا ۱۰ با قطر ثابت ۱۲۵ میلی‌متر نشان داده شده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت L/D تا ۴ ظرفیت باربری ستون‌شنی افزایش و سپس روند کاهشی به خودمی‌گیرد.



شکل (۴-۲۰) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت L/D (۶،۴،۲/۸۰ و ۱۰) با قطر ثابت ۱۲۵ میلی‌متر

جدول (۴-۸) نتایج آزمایش مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس روی ستون‌شنی با نسبت L/D (۶،۴،۲/۸۰ و ۱۰) با قطر ثابت ۱۲۵

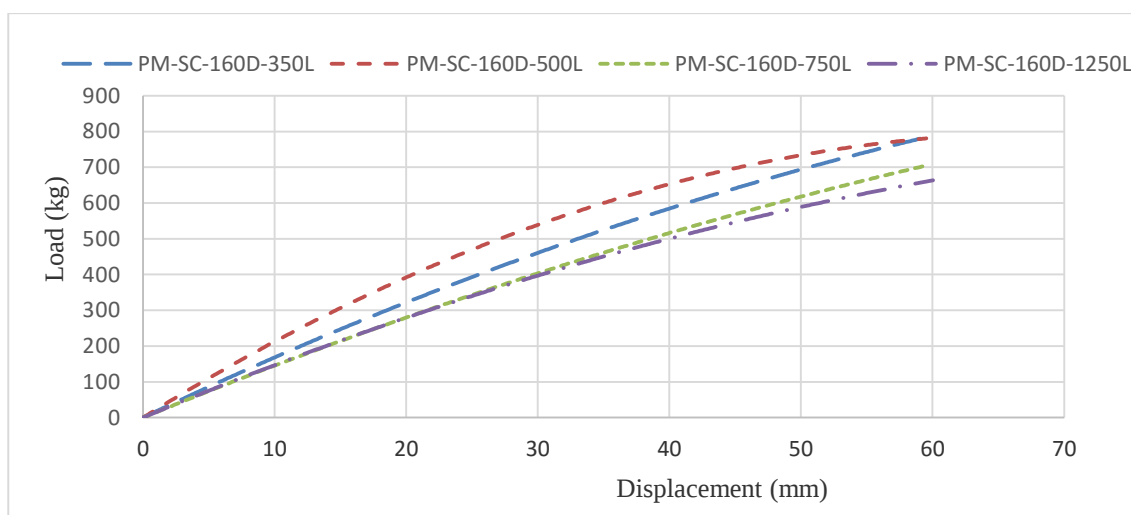
میلی‌متر

ردیف	علامت اختصاری	نسبت افزایش نیروی وارده	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
1	PM-SC-125D-350L	1	321	2.8	125	350
2	PM-SC-125D-500L	1.1	350	4	125	500
3	PM-SC-125D-750L	.89	285	6	125	750
4	PM-SC-125D-1250L	.87	280	10	125	1250

۴-۶-۳- نمودار نشست- بار برای ستون شنی با نسبت

(۲/۱۹، ۳/۱۳، ۴/۶۹ و ۷/۱) L/D با قطر ثابت ۱۶۰ میلی متر

در شکل (۴-۲۱) و جدول (۴-۹) نتایج حاصل از آزمایش های مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس، با نسبت (۲/۱۹، ۳/۱۳، ۴/۶۹ و ۷/۱) L/D با قطر ثابت ۱۶۰ میلی متر نشان داده شده است که همان طور که مشاهده می شود با افزایش نسبت L/D تا ۳/۱۲۵ ظرفیت باربری ستون شنی افزایش و سپس روند کاهشی به خود می گیرد.



شکل (۴-۲۱) نمودار مقایسه نشست- بار ستون شنی با نسبت (۲/۱۹، ۳/۱۳، ۴/۶۹ و ۷/۱) L/D با قطر ثابت ۱۶۰ میلی متر

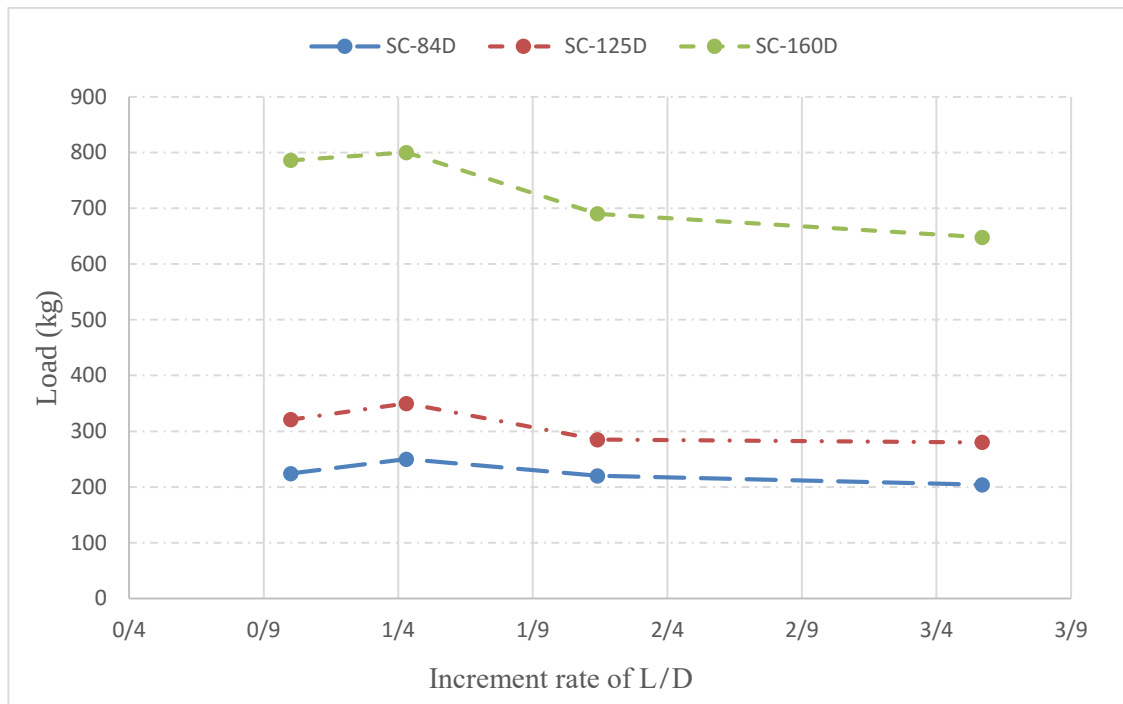
جدول (۴-۹) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی با نسبت (۲/۱۹، ۳/۱۳، ۴/۶۹ و ۷/۱) L/D با قطر ثابت

۱۶۰ میلی متر

ردیف	علامت اختصاری	نسبت افزایش نیروی وارده	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (kg)	نسبت طول به قطر	قطر (mm)	طول (mm)
1	PM-SC-160D-350L	1	786	2.19	160	350
2	PM-SC-160D-500L	1.02	800	3.12	160	500
3	PM-SC-160D-750L	.87	690	4.69	160	750
4	PM-SC-160D-1250L	.82	648	7.81	160	1250

۴-۶-۴- ارزیابی نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری

ستون‌شنی در قطر ثابت

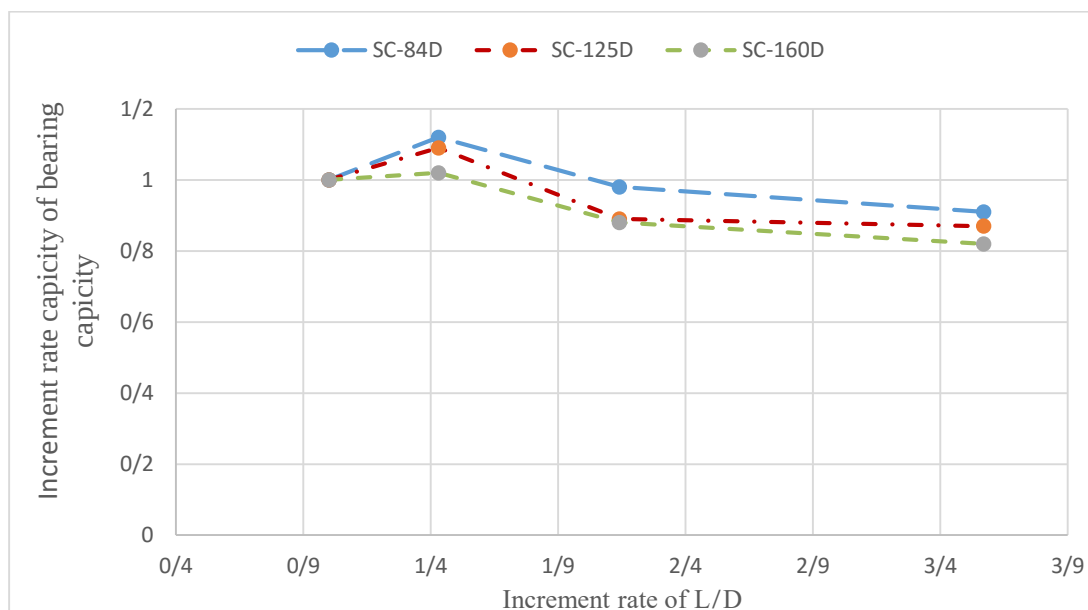


شکل (۴-۲۲) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی در قطر ثابت

در شکل (۴-۲۲) نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی در قطر ثابت نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه قطرها تا افزایش نسبت افزایش L/D تا $1/4^3$ ظرفیت باربری روند افزایشی و سپس روند کاهشی به خود می‌گیرد.

۴-۶-۵- ارزیابی نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت

باربری ستون‌شنی در قطر ثابت



شکل (۴-۲۳) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی در قطر ثابت

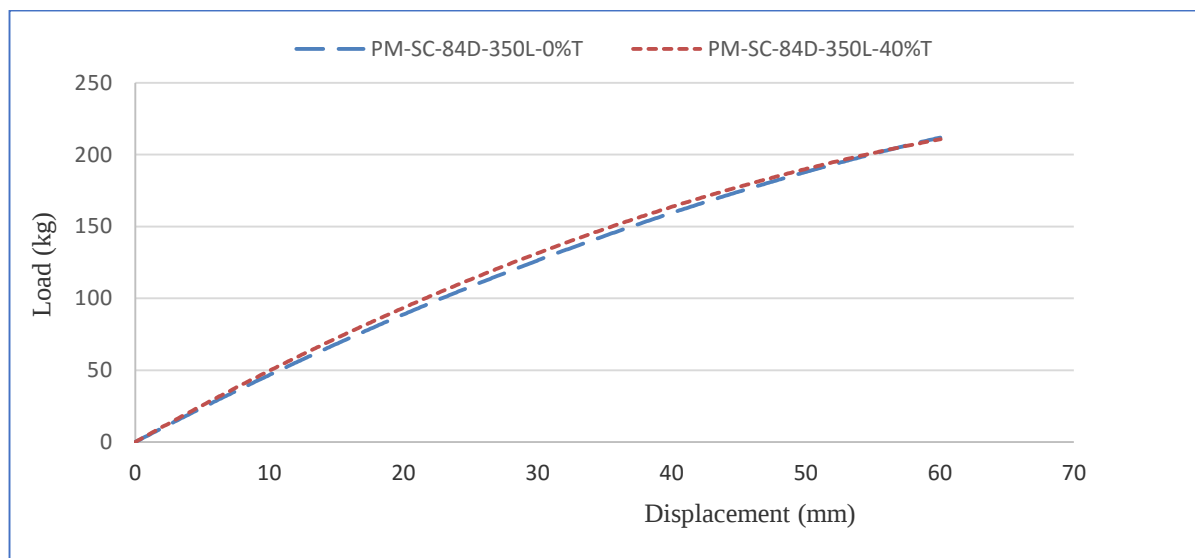
در شکل (۴-۲۳) نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه قطر‌ها تا افزایش نسبت افزایش L/D تا $1/43$ شاهد افزایش نسبت ظرفیت باربری هستیم که این نسبت افزایش در قطرهای کوتاه‌تر بیشتر می‌باشد دلیل آن می‌تواند افزایش سختی ستون و کاهش نشست در قطرهای کوتاه‌تر باشد.

۴-۷- ارزیابی اثر اختلاط خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی

۴-۷-۱- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری

و نشست ستون شنی با نسبت $L/D=4/17$



شکل (۴-۲۴) نمودار نشست - بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4/17$

جدول (۴-۱۰) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4/17$

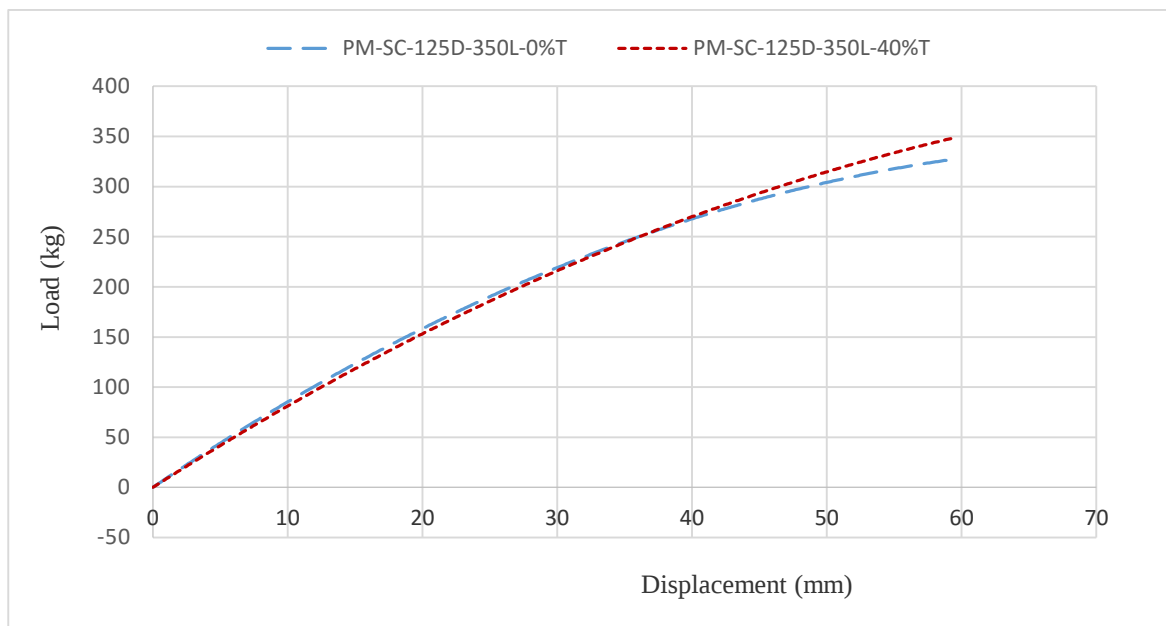
ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-84D-350L-0%T	224	1	0
2	PM-SC-84D-350L-40%T	235	1.05	40

همان طور که در جدول (۴-۱۰) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۵ درصدی ظرفیت

باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۲- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی با قطر با نسبت $L/D=2/8$



شکل (۴-۲۵) نمودار نشست - بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=2/8$

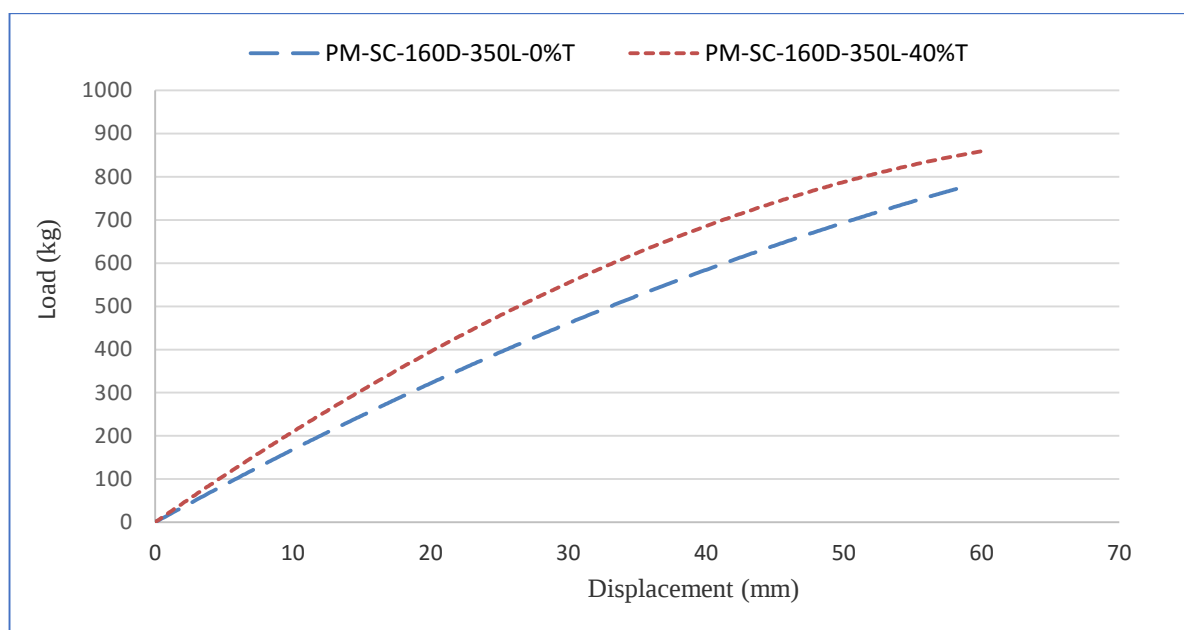
جدول (۴-۱۱) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=2/8$

ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-125D-350L-0%T	321	1	0
2	PM-SC-125D-350L-40%T	350	1.09	40

همان طور که در جدول (۴-۱۱) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۹ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۳- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی با نسبت $L/D=2/19$



شکل (۴-۲۶) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=2/19$

جدول (۴-۱۲) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=2/19$

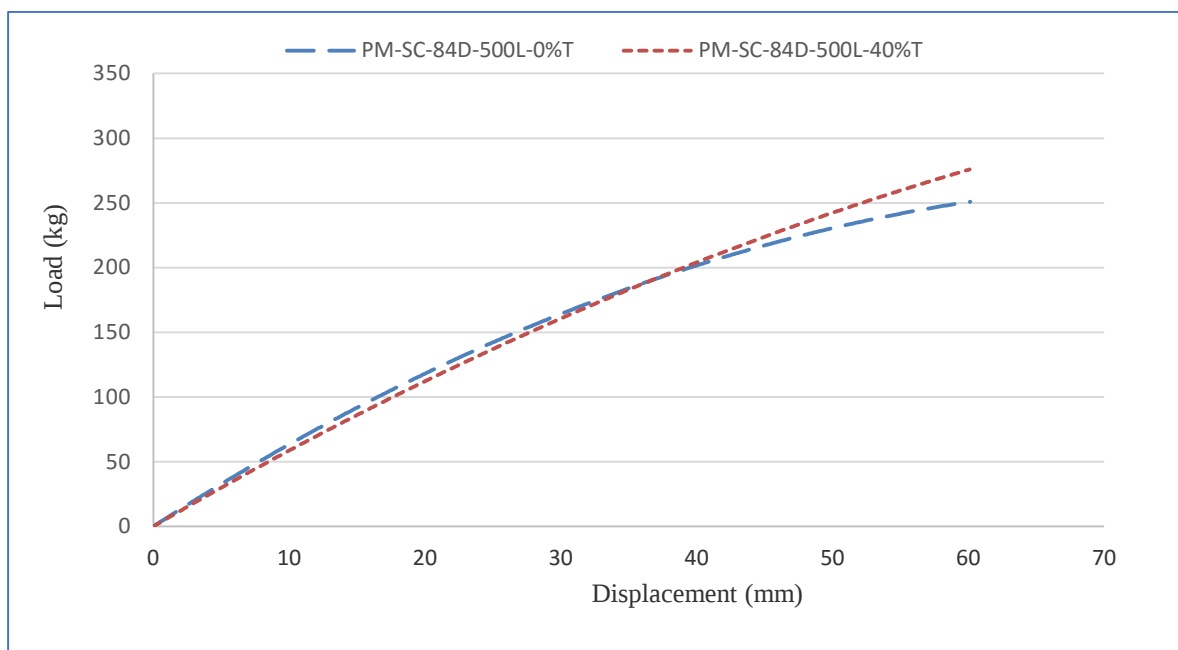
ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-160D-350L-0%T	786	1	0
2	PM-SC-160D-350L-40%T	887	1.13	40

همان طور که در جدول (۴-۱۲) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۱۳ درصدی ظرفیت

باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۴- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی با نسبت $L/D=5/95$



شکل (۴-۲۷) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=5/95$

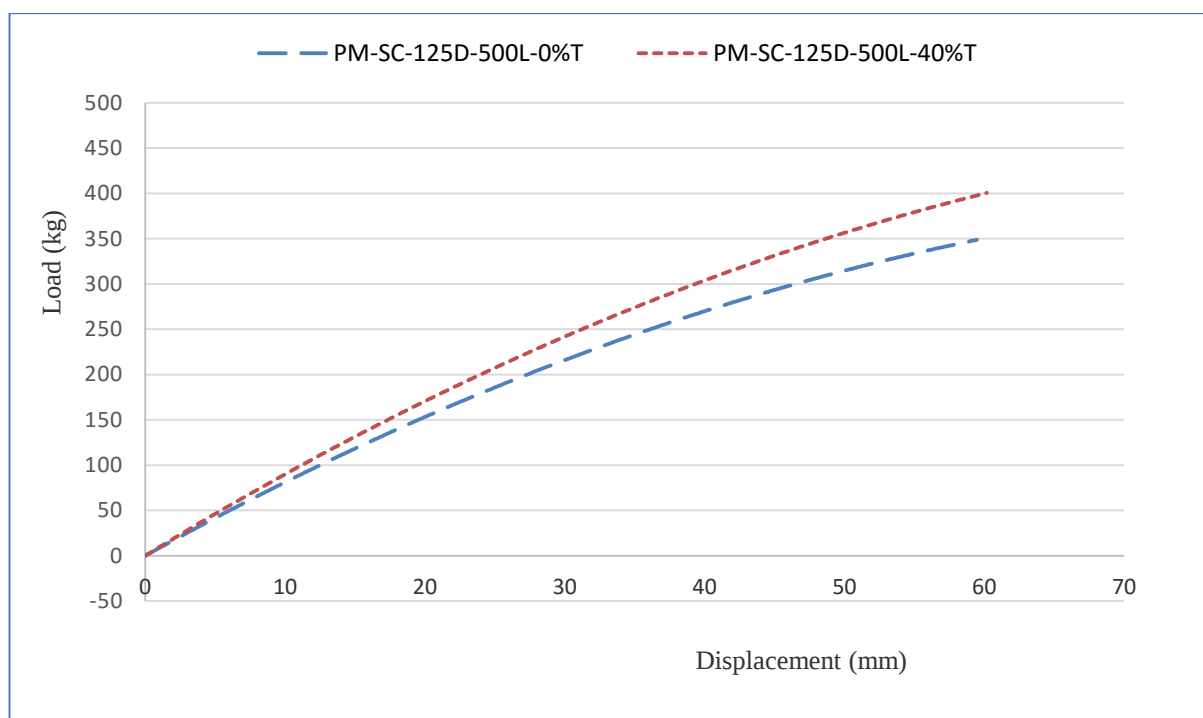
جدول (۴-۱۳) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=5/95$

ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-84D-500L-0%T	250	1	0
2	PM-SC-84D-500L-40%T	280	1.12	40

همان طور که در جدول (۴-۱۳) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۱۲ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می شود.

۴-۷-۵- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت

باربری و نشست ستون شنی با نسبت $L/D=4$



شکل (۴-۲۸) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4$

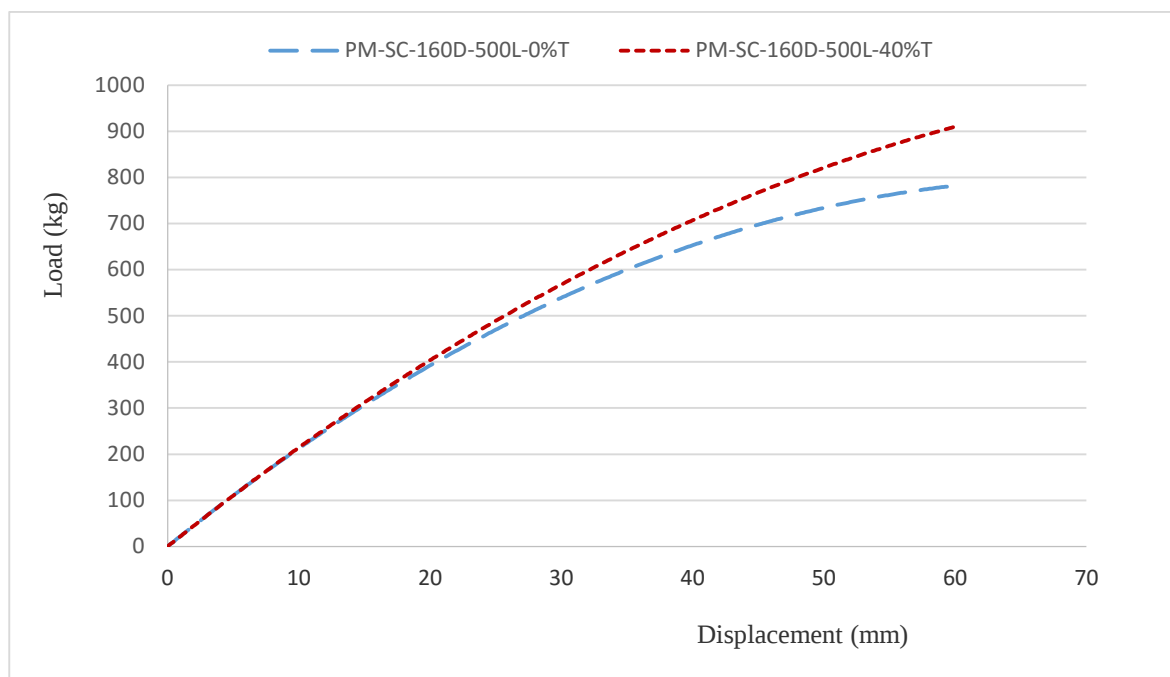
جدول (۴-۱۴) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4$

ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-125D-500L-0%T	350	1	0
2	PM-SC-125D-500L-40%T	410	1.17	40

همان طور که در جدول (۴-۱۴) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۱۷ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۶- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی با نسبت $L/D=3/13$



شکل (۴-۲۹) نمودار نشست - بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=3/13$

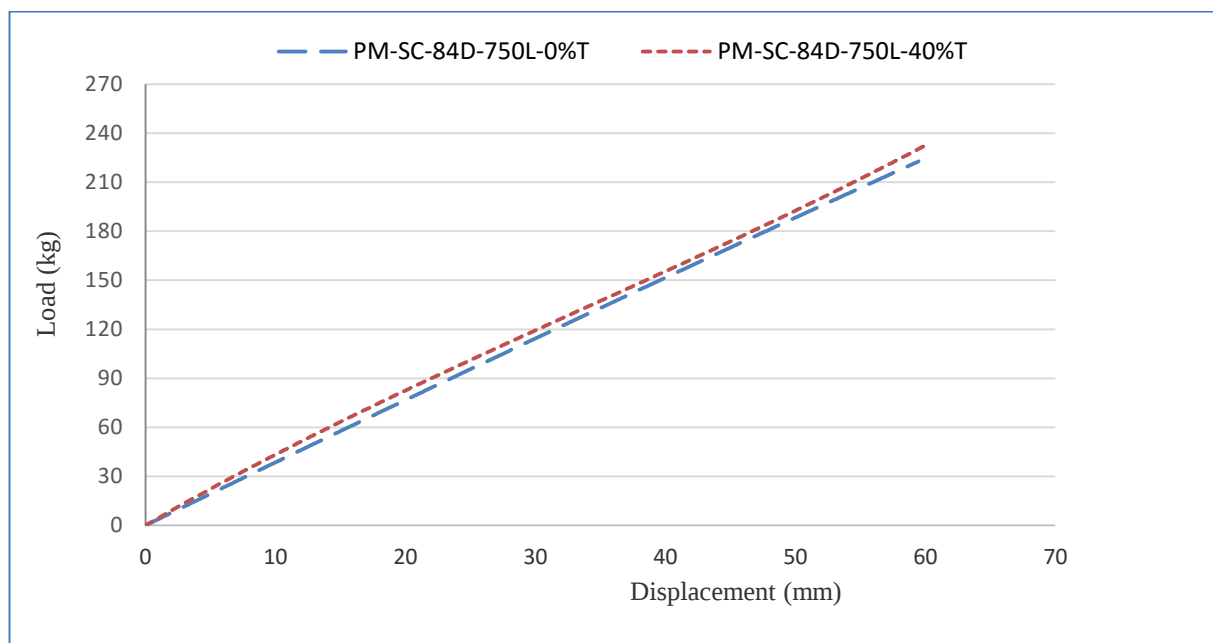
جدول (۴-۱۵) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=3/13$

ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-160D-5000L-0%T	780	1	0
2	PM-SC-160D-500L-40%T	944	1.21	40

همان طور که در جدول (۴-۱۵) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۲۱ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می شود .

۴-۷-۷- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی با نسبت $L/D=8/93$



شکل (۴-۳۰) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=8/93$

جدول (۴-۱۶) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=8/93$

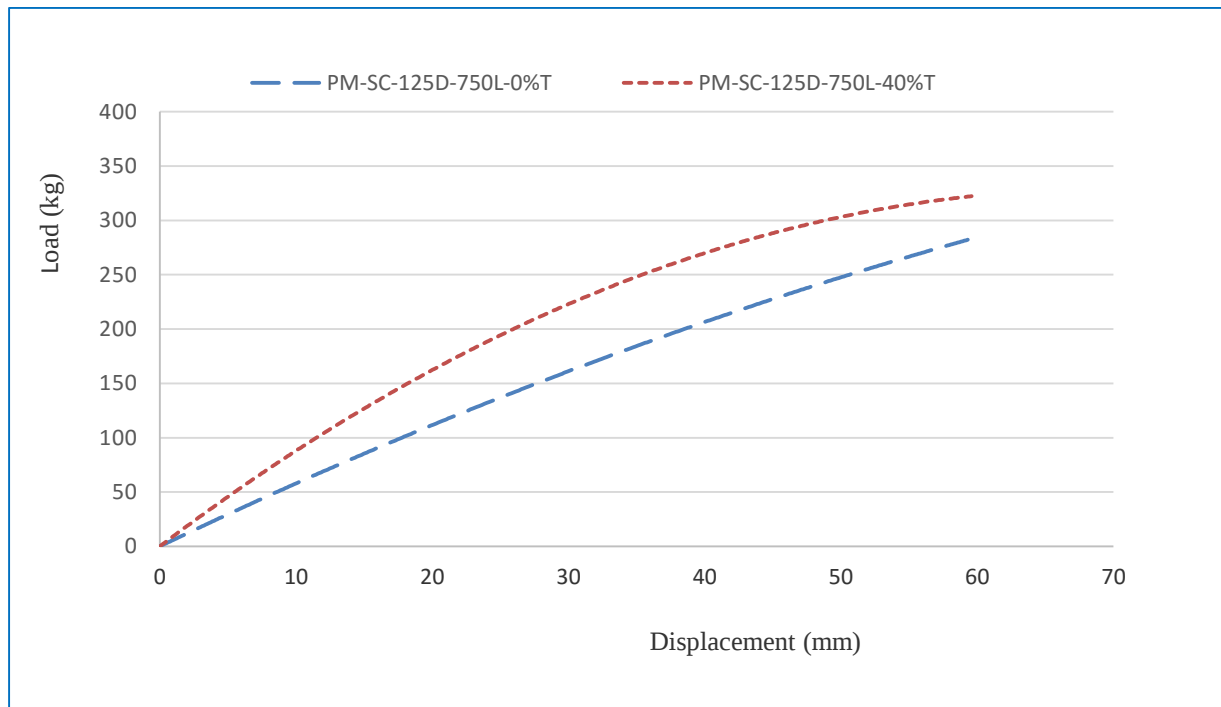
ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-84D-750L-0%T	224	1	0
2	PM-SC-84D-750L-40%T	233	1.03	40

همان طور که در جدول (۴-۱۶) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۳ درصدی ظرفیت

باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۸- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی با نسبت $L/D=6$



شکل (۴-۳۱) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=6$

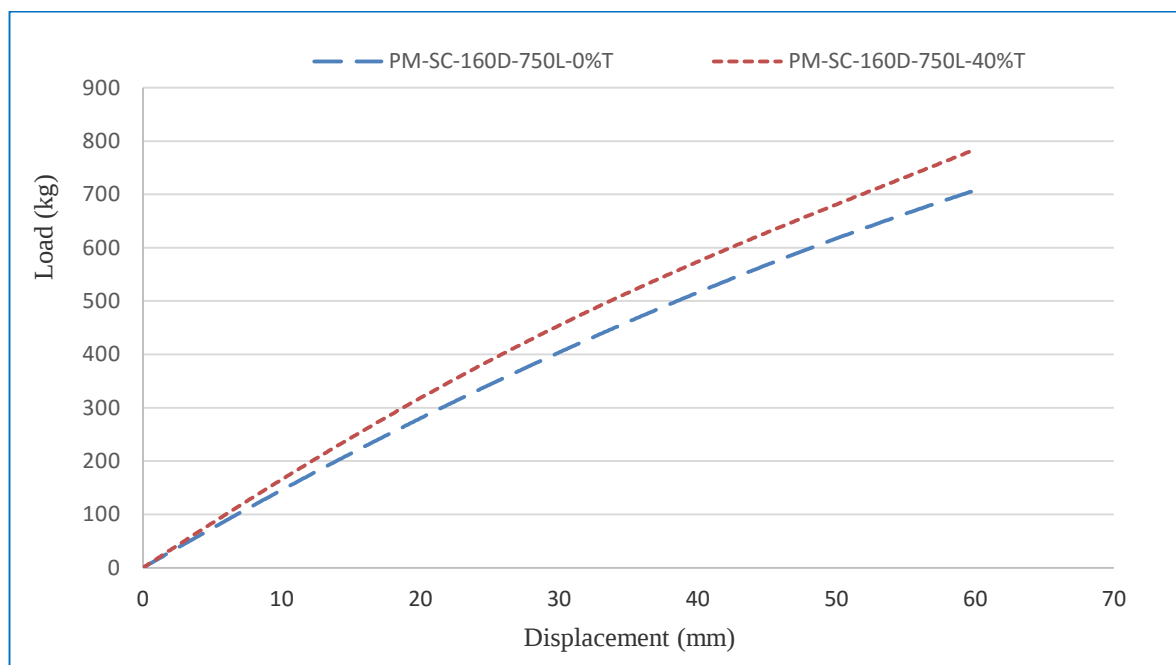
جدول (۴-۱۷) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=6$

ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-125D-750L-0%T	285	1	0
2	PM-SC-125D-750L-40%T	328	1.15	40

همان طور که در جدول (۴-۱۷) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۱۵ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می شود.

۴-۷-۹- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و

نشست ستون شنی با نسبت $L/D=4/69$



شکل (۴-۳۲) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4/69$

جدول (۴-۱۰) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=4/69$

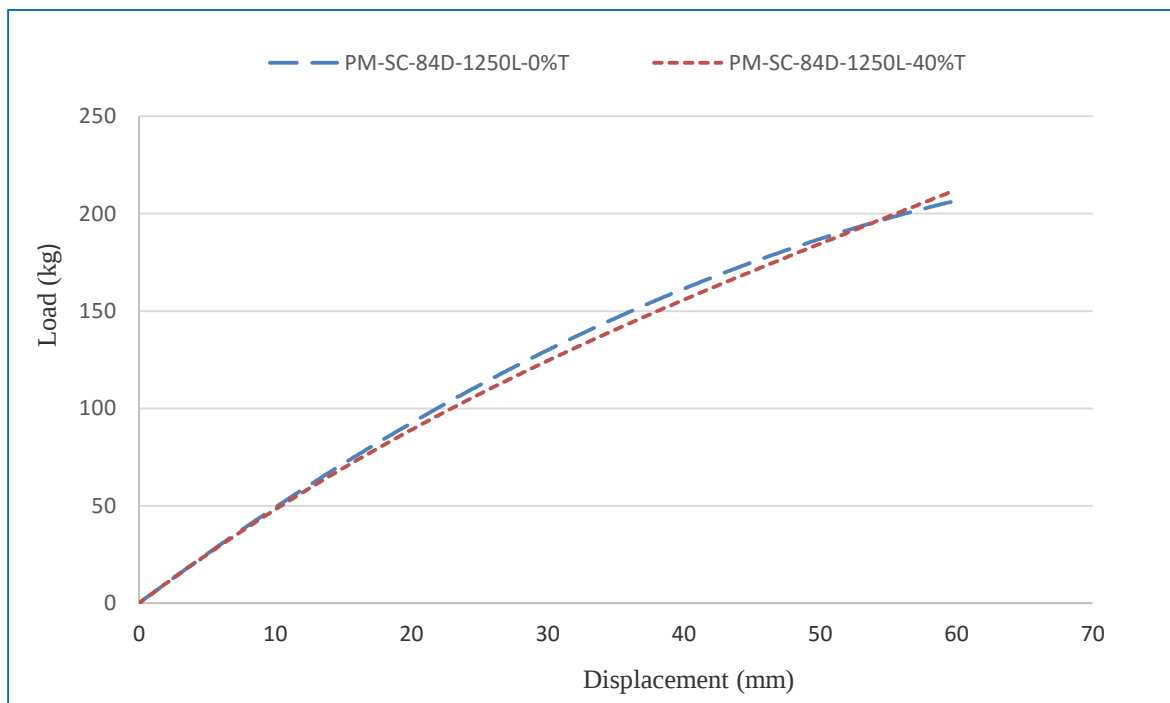
ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-160D-750L-0%T	690	1	0
2	PM-SC-160D-750L-40%T	810	1.17	40

همان طور که در جدول (۴-۱۸) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۱۷ درصدی ظرفیت

باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۱۰- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت

باربری و نشست ستون شنی با نسبت $L/D=14/88$



شکل (۴-۳) نمودار نشست - بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=14/88$

جدول (۴-۱۰) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=14/88$

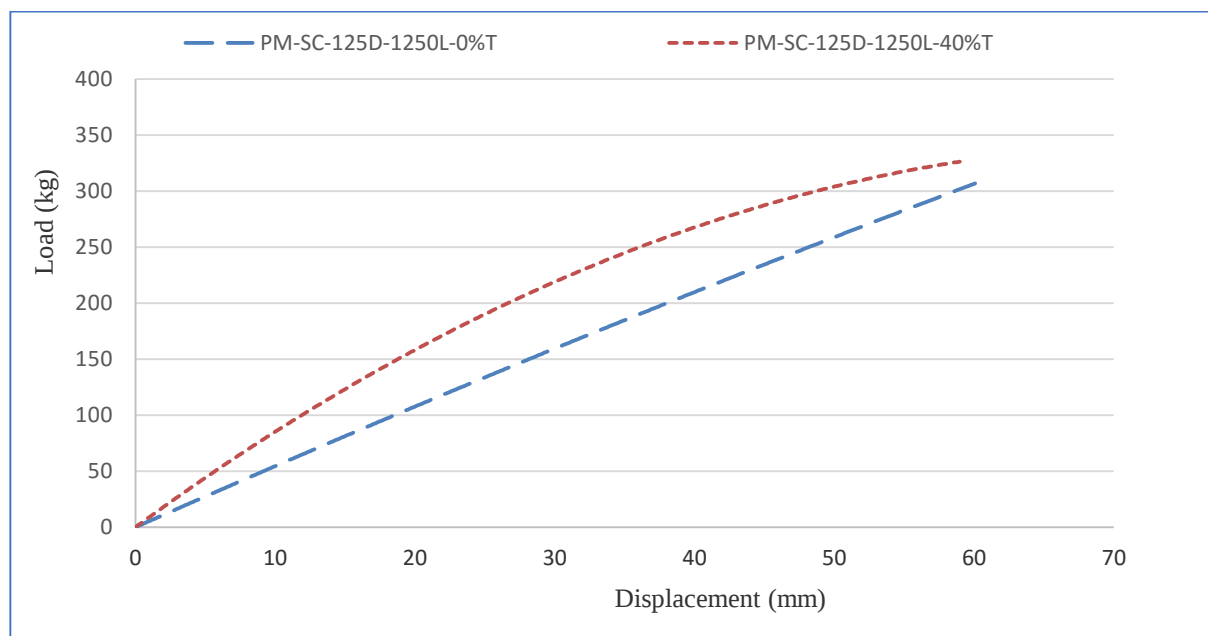
ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-84D-1250L-0%T	204	1	0
2	PM-SC-84D-150L-40%T	210	1.03	40

همان طور که در جدول (۴-۱۹) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۳ درصدی ظرفیت

باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۱۱- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت

باربری و نشست ستون شنی با نسبت $L/D=10$



شکل (۴-۳۴) نمودار نشست-بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=10$

جدول (۴-۱۰) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=10$

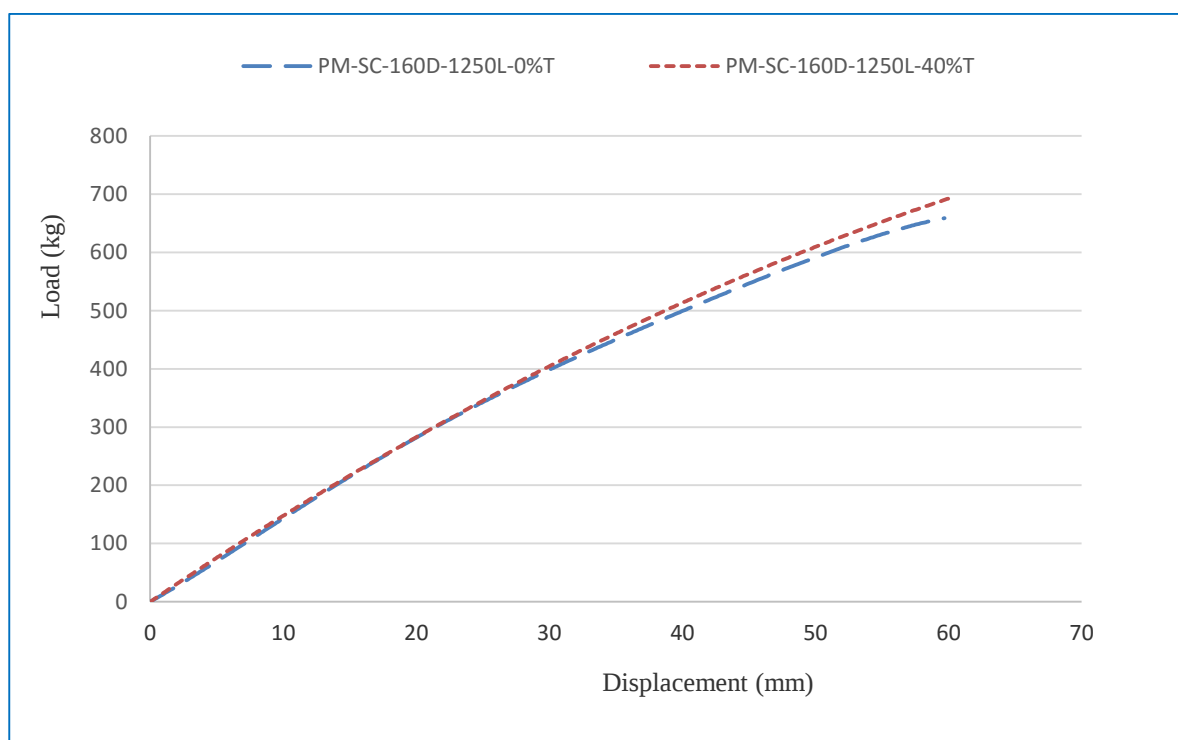
ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-125D-1250L-0%T	310	1	0
2	PM-SC-125D-1250L-40%T	336	1.08	40

همان طور که در جدول (۴-۲۰) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۸ درصدی ظرفیت

باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۱۲- ارزیابی اثر ۴۰ درصد حجمی خرده لاستیک بر ظرفیت باربری و نشست

ستون شنی با نسبت $L/D=7/81$



شکل (۴-۳۵) نمودار نشست - بار برای ستون شنی با ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=7/81$

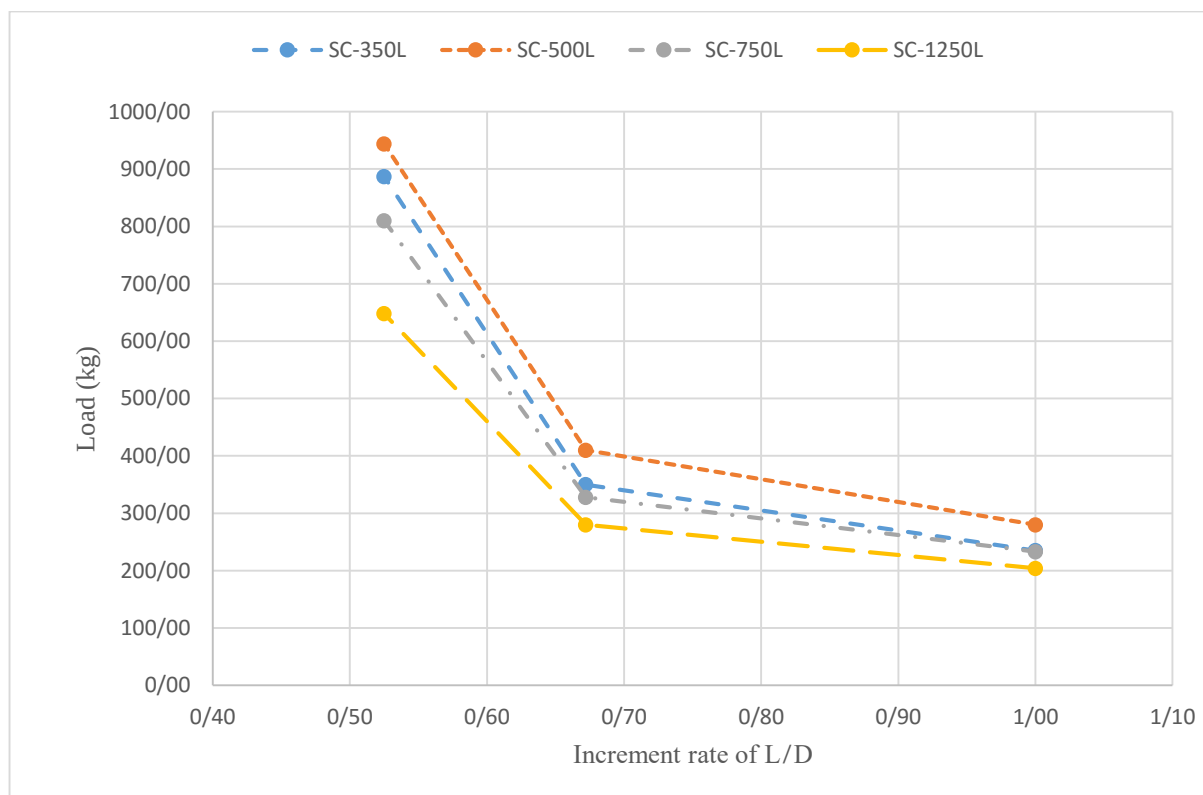
جدول (۴-۲۱) نتایج آزمایش مدل سازی بزرگ مقیاس روی ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک با نسبت $L/D=7/81$

ردیف	علامت اختصاری	حداکثر نیرو وارد بر ستون شنی (Kg)	نسبت ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک به ظرفیت باربری ستون شنی خالص	درصد اختلاط خرده لاستیک
1	PM-SC-160D-1250L-0%T	648	1	0
2	PM-SC-160D-1250L-40%T	705	1.09	40

همان طور که در جدول (۴-۲۱) مشاهده می شود افزودن ۴۰ درصد خرده لاستیک باعث افزایش ۹ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می شود

۴-۷-۱۳- ارزیابی نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی

در طول ثابت حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در طول ثابت

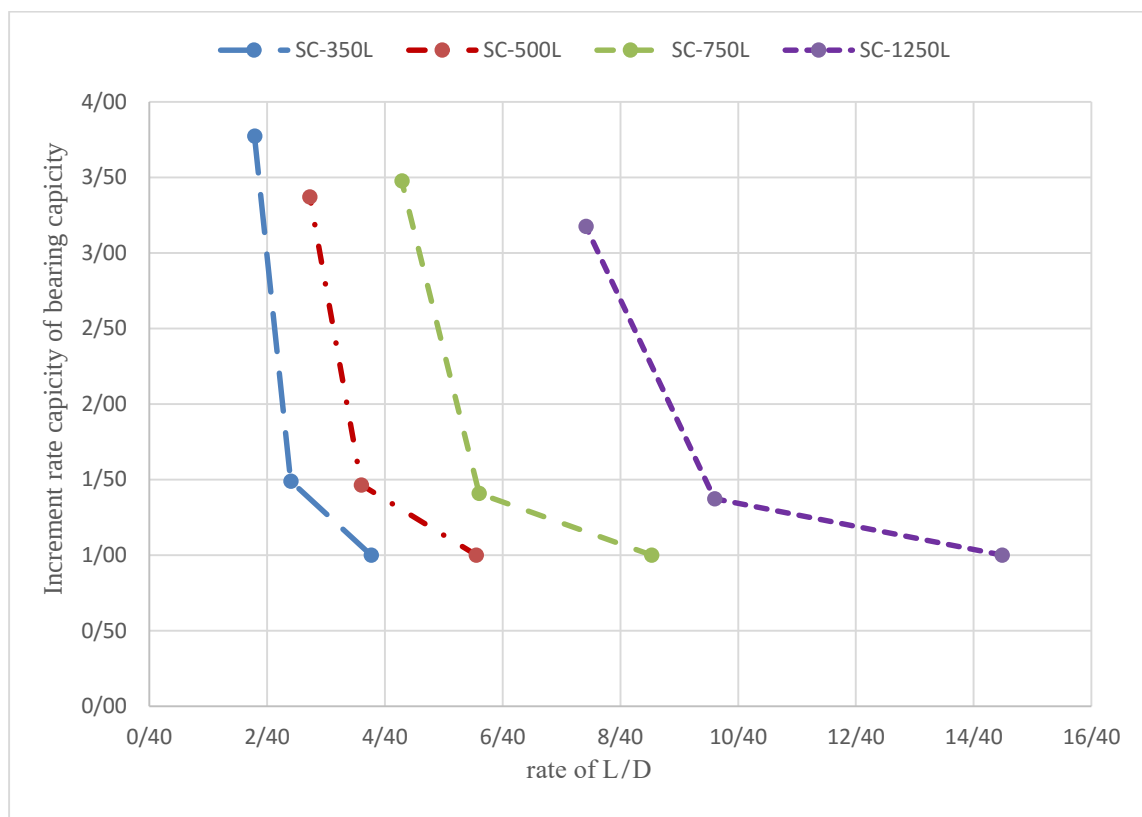


شکل (۴-۳۶) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی در طول ثابت

در شکل (۴-۳۶) نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در طول ثابت نشان داده شده است همان طور که مشاهده می شود در همه طول ها با کاهش نسبت L/D شاهد افزایش ظرفیت باربری حاوی خرده لاستیک هستیم. و همچنین ظرفیت باربری حاوی خرده لاستیک در طول ۵۰ سانتی متر در همه نسبت های L/D از بقیه طول ها بیشتر می باشد

۴-۷-۱۴- ارزیابی نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری

ستون‌شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در طول ثابت



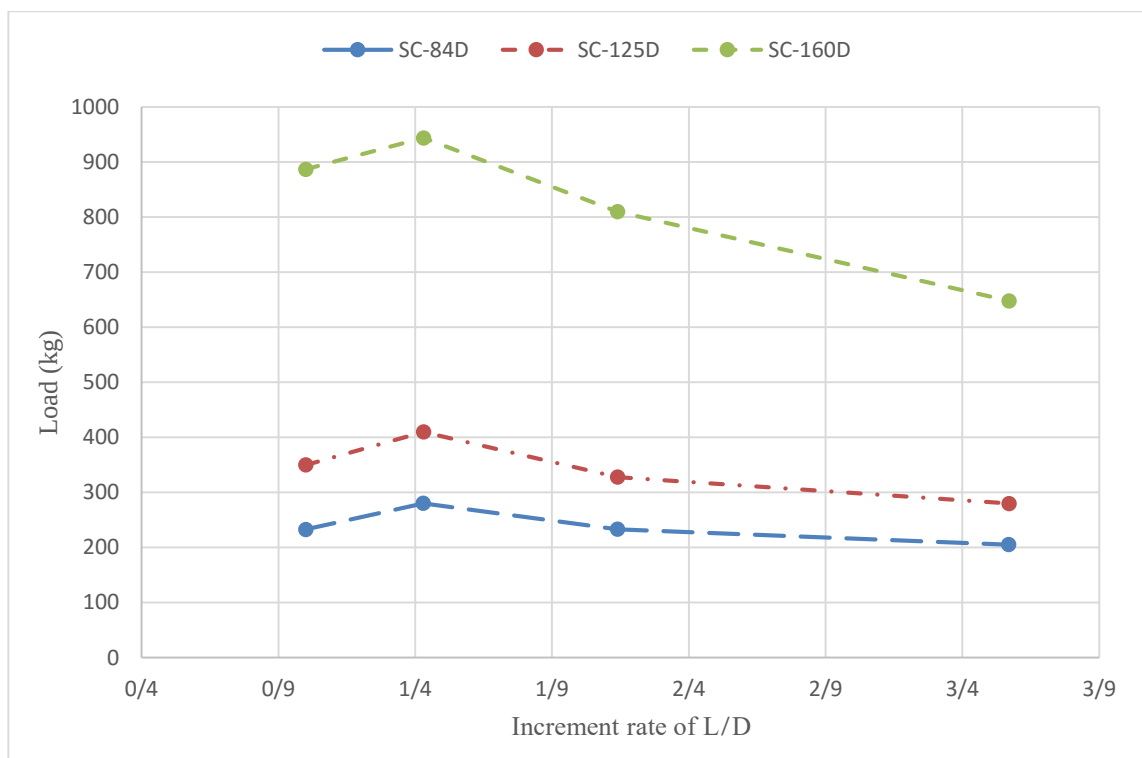
شکل (۴-۳۷) نمودار مقایسه نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی حاوی ۴۰ درصد خرده‌لاستیک در طول

ثابت

در شکل (۴-۳۷) نسبت L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون‌شنی نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه طول‌ها با کاهش نسبت L/D شاهد افزایش ظرفیت باربری حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک هستیم که این نسبت افزایش در طول‌های کوتاه‌تر بیشتر می‌باشد دلیل آن می‌تواند افزایش سختی ستون و کاهش نشست در طول‌های کوتاه‌تر باشد

۴-۷-۱۵- ارزیابی نسبت L/D به ظرفیت باربری ستون‌شنی

حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در قطر ثابت

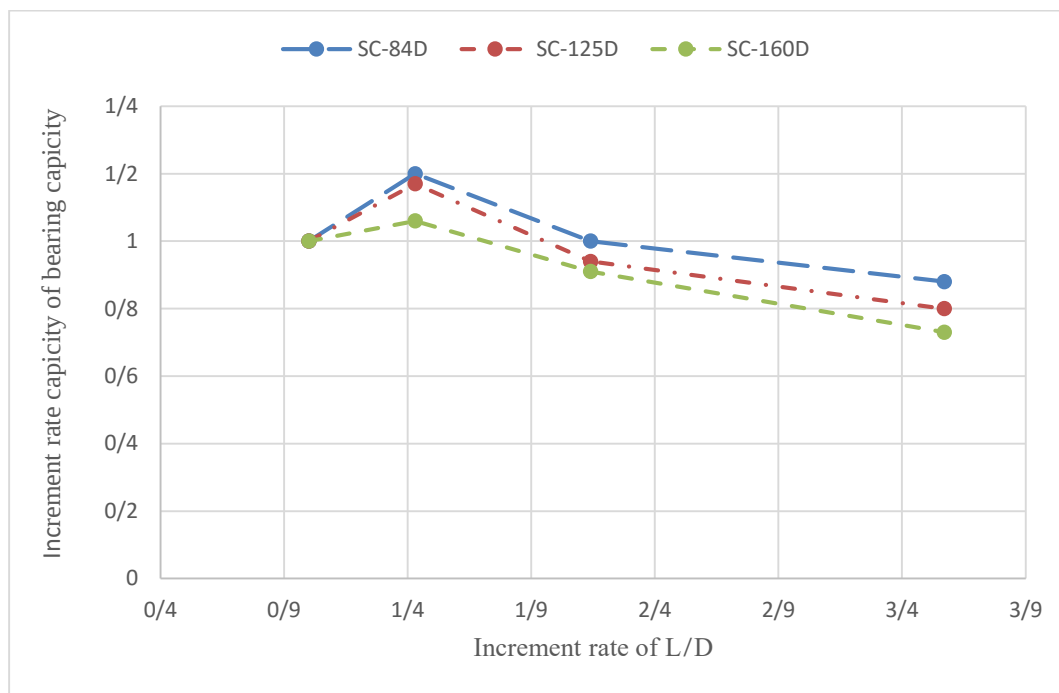


شکل (۴-۳۸) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در قطر ثابت

در شکل (۴-۳۸) نسبت افزایش L/D به ظرفیت باربری ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در قطر ثابت نشان داده شده است همان طور که مشاهده می شود در همه قطر ها تا افزایش نسبت افزایش L/D تا $1/43$ ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک روند افزایشی و سپس روند کاهشی به خود می گیرد.

۴-۷-۱۶- ارزیابی نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت

باربری ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک در قطر ثابت



شکل (۴-۳۹) نمودار مقایسه نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون شنی در قطر ثابت

در شکل (۴-۳۹) نسبت افزایش L/D به نسبت افزایش ظرفیت باربری ستون شنی حاوی ۴۰ درصد خرده لاستیک نشان داده شده است همان طور که مشاهده می شود در همه قطر ها تا افزایش نسبت افزایش L/D تا ۱/۴۳ شاهد افزایش ظرفیت باربری ستون شنی حاوی خرده لاستیک هستیم که این نسبت افزایش در قطر های کوتاه تر بیشتر می باشد دلیل آن می تواند افزایش سختی ستون و کاهش نشست در قطر های کوتاه تر باشد.

۴-۷-۱۷- بررسی خطاهای مؤثر در نتایج آزمایش مدل سازی

فیزیکی بزرگ مقیاس

در تحقیقات و مطالعات آزمایشگاهی چه در ساخت نمونه چه در بارگذاری ها و برداشت اطلاعات، خطاهایی مؤثر می باشد که گاهی ناچیز و گاهی قابل توجه می باشند. در آزمایش مدل سازی فیزیکی بزرگ مقیاس خطاهای زیر دخیل می باشد که با بالا بردن دقت فردی و گاهی تکرار آزمایشات سعی بر

کم کردن این خطاها شده است:

- ۱- با توجه به اینکه خرده لاستیک وزن کمتری نسبت به شن دارد، در هنگام اختلاط و ساخت نمونه حاوی خرده لاستیک باید دقت کافی برای اختلاط این مصالح در این تحقیق را داشت تا اختلاط به صورت یکنواخت صورت گیرد و در صورت عدم ناهمبستگی نمونه‌ها در اختلاط باعث به وجود آمدن خطا در نتایج می‌شود.
- ۲- در هنگام ساخت نمونه و عمل تراکم توسط میله تراکم، باید تراکم ستون شنی و ماسه در همه‌ی نمونه‌ها به‌طور مساوی و برابر صورت گیرد.
- ۳- با توجه به اینکه عمل تراکم ستون شنی و ماسه به‌صورت لایه‌ای و ضربه صورت انجام شده است، باید در نظر داشت که اثر انرژی تراکمی لایه‌های بالایی می‌تواند منجر به تراکم غیریکنواخت لایه‌ها شود.
- ۴- به علت استفاده از لوله پولیکا به‌منظور ساخت ستون شنی، باید به این نکته توجه داشت که اصطکاک ناچیزی بین مصالح و لوله وجود خواهد داشت که هنگام بیرون کشیدن لوله از خاک پیرامون روی نتایج تأثیر خواهد داشت.
- ۵- لوله پولیکا ای که برای ساخت ستون شنی در ماسه فیروزکوه دفن می‌شود باید به‌صورت تراز باشد و هر لایه‌ای که ماسه اطراف لوله ریخته و ماسه متراکم می‌شود باید از تراز بودن لوله اطمینان حاصل نمود.
- ۶- صفحه‌ی فلزی دایره‌ای که برای بارگذاری روی سطح ستون قرار می‌گیرد باید در مرکز ستون قرار گیرد تا هنگام بارگذاری، بار دقیقاً بر روی ستون شنی اعمال شود.

۴-۷-۱۸- تکرارپذیری نتایج آزمایش مدل‌سازی فیزیکی

بزرگ مقیاس

در این مطالعه با توجه به حجم بالای مدل سازی فیزیکی، جهت مشاهده شکم دادگی ستون شنی روش های گوناگونی همچون استفاده از انواع چسب ها، رزین ها، درصد های اختلاط گوناگون آب و سیمان امتحان گردید و همچنین جهت تزریق دوغاب سیمان یک مخزن دوغاب سیمان ساخته شد که با کمک گرفتن از پمپ باد، بتوان دوغاب با فشار هوا بین دانه های ستون شنی انتقال یابد که متأسفانه بعد چندین ماه تلاش نتیجه مطلوب کسب نگردید. که همچنین با توجه به نحوه مدل سازی حداکثر کورس اعمالی حدود ۷ سانتی متر قابل اعمال بود که به جهت حفظ ایمنی دستگاه حداکثر میزان نشست را برای تمام نمونه ها ۶۰ میلی متر در نظر گرفتیم که با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده گردید که در این نشست گسیختگی یا بالجینگ به صورت کامل اتفاق نیفتاده است.

برای اطمینان از صحت و مطابقت نتایج با یکدیگر تعدادی از آزمایش ها تکرار شده اند. همچنین آزمایش مربوط به شن خالص به دلیل اینکه مبنای مقایسه می باشد و اهمیت بالایی نسبت به سایر آزمایش ها برخوردار می باشد، سه بار آزمایش تکرار شد تا نتایج با یکدیگر مطابقت قابل قبولی داشته باشند. نکته قابل توجه اینکه در هر مرحله نتایج با یکدیگر مقایسه صورت می گرفت هر کجا که روند طی شده در آزمایش ها با یکدیگر تطابق نداشتند، آزمایش ها تکرار شد تا به نتیجه واقعی دست پیدا کنیم

فصل ۵:

جمع بندی و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

همان‌طور که در فصل دوم اشاره شد، خارج شدن تایلرهای فرسوده اتومبیل از گردونه مصرف به یک مشکل بزرگ و اساسی زیست‌محیطی تبدیل شده است. سالانه می‌بایست هزینه‌های زیادی صرف دفن بهداشتی این ضایعات شود. دفن غیربهداشتی لاستیک‌ها باعث بروز مشکلات و معضلات زیست‌محیطی زیادی از جمله تجمع موجودات موزی نظیر موش و پشه، خطر آتش‌سوزی در توده‌های نگه‌داری لاستیک‌ها و همچنین آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌گردد. با توجه به این معضلات پیدا کردن راه‌حلی کاربردی برای استفاده مجدد از این لاستیک‌ها بسیار ارزشمند می‌باشد. خصوصیات مکانیکی خرده تایلرها (مقاومت کششی بالا، وزن مخصوص پایین)، دوام و عدم پوسیدگی و قیمت ناچیز، کاربرد این مصالح را در سازه‌های خاکی نظیر شیب‌ها، بستر راه‌ها، دیوار حائل، ستون‌های سنگی و پی‌ها برای بهبود پارامترهای رفتاری خاک مطرح می‌سازد.

برای کاربرد این مصالح نیاز به شناخت کافی از خصوصیات فیزیکی-مکانیکی آن‌ها می‌باشد که در بخش دوم قسمت زیادی از تحقیقات صورت گرفته در سال‌های اخیر در این زمینه مرور گردید. در این تحقیق همان‌طور که در فصل سوم شرح داده شد، آزمایش‌های برش مستقیم بر روی مخلوط شن و خرده لاستیک‌ها به منظور بررسی اثر لاستیک بر روی پارامترهای مقاومتی خاک انجام شده است. در ادامه با مدل کردن ستون شنی در دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس، آزمایش‌هایی جهت مطالعه ارزیابی اثر طول و قطر بر ظرفیت باربری ستون شنی و همچنین اثر افزودن خرده لاستیک به ستون‌های شنی بر روی ظرفیت باربری آن انجام شده است که نتایج این آزمایش‌ها به تفصیل در فصل چهارم بیان گردید.

۵-۲- جمع‌بندی

در این تحقیق آزمایش‌های مختلفی بر روی ستون شنی و مخلوط شن و خرده لاستیک انجام شده است

که در فصل‌های گذشته به تفصیل بیان شده‌اند، در این بخش نتایج کلی این پژوهش جمع‌بندی و خلاصه می‌شود.

۱. با توجه به مزایای خوب لاستیک‌ها در مهندسی عمران ما می‌توانیم از خرده لاستیک‌ها به عنوان جایگزین مصالح مصرفی استفاده کنیم و از آلودگی محیط زیست جلوگیری کنیم
۲. در آزمایش برش مستقیم جعبه بزرگ هنگامی که تنش سربار افزایش پیدا کند، مقاومت نهایی نیز افزایش پیدا خواهد کرد که با توجه به اینکه بست بین دانه‌ها در مقاومت نهایی تأثیر می‌گذارد، با افزایش تنش سربار، قفل‌شدگی و در نتیجه مقاومت نهایی افزایش می‌یابد.
۳. افزایش خرده لاستیک باعث افزایش مداوم چسبندگی می‌شود و همچنین تأثیر خرده لاستیک بر اصطکاک داخلی به این صورت می‌باشد که تا مقدار بهینه خرده لاستیک روند افزایشی داشته و سپس مقدار آن کاهش می‌یابد هرچند به دلیل دانه‌ای بودن مصالح مقدار مقادیر حاصل شده ناچیز و قابل صرف نظر کردن می‌باشد.
۴. مقاومت برشی خاک تقویت‌شده با خرده لاستیک در درجات مختلف بهبود یافته است. افزودن خرده لاستیک به دلیل خاصیت ارتجاعی، می‌تواند ذرات شن و ماسه را مهار کند، انسجام خاصی را بین ذرات به وجود آورد و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی شن را به‌طور مؤثری بهبود بخشد.
۵. استفاده از خرده لاستیک راهی جدید برای بازیابی و استفاده مجدد از لاستیک‌های فرسوده را فراهم می‌کند زیرا وزن لاستیک و خرده لاستیک کم است و می‌توان از آن به‌عنوان مصالح پرکننده سبک استفاده نمود تا پس از مخلوط شدن با خاک‌های مختلف، میزان نشست را کاهش دهد. همچنین لاستیک دارای قابلیت کشش زیاد و ظرفیت جذب انرژی خوبی می‌باشد.
۶. در قطر ثابت، با افزایش طول تا ۵۰ سانتی‌متر ظرفیت باربری ستون شنی افزایش می‌یابد و

سپس کاهش می‌یابد

۷. در آزمایش‌های مدل‌سازی فیزیکی بزرگ‌مقیاس مشاهده شد که با افزودن خرده لاستیک به شن، ظرفیت باربری ستون شنی افزایش پیدا می‌کند که در طول ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۱۶۰ میلی‌متر باعث افزایش ۲۱ درصدی ظرفیت باربری ستون شنی می‌شود.

۵-۳- پیشنهادها

از مخلوط شن-خرده لاستیک می‌توان در سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی یا شیرابه‌ها، تسلیح ستون‌های سنگی و کاربری‌های دیگری که نیاز به مصالح سبک، مقاوم و درعین حال نفوذپذیر دارند مانند پشت دیوارهای حائل، استفاده کرد. لذا تحقیقات بیشتری برای بررسی عوامل مهمی نظیر اهمیت اندازه و نسبت طول به عرض لاستیک‌ها، جنس خاک مصرفی، ملاحظات اقتصادی کاربرد آن‌ها در تسلیح خاک و بررسی مطابقت نتایج آزمایشگاهی با نتایج کاربری‌های عملی باید صورت گیرد. همچنین بیشتر تحقیقات استفاده از لاستیک‌های فرسوده روی خاک ماسه‌ای صورت گرفته است و کمتر مصالح درشت‌دانه تری همچون شن به چالش کشیده شده است. از این‌رو می‌توان با انجام تحقیقات بیشتر بر روی شن این نقیصه را برطرف نمود. برای مثال موضوعات زیر قابل پیشنهاد می‌باشد:

۱. در تحقیق حاضر فقط به تأثیر افزودن خرده لاستیک روی ظرفیت باربری ستون شنی پرداخته شد، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی به نفوذپذیری ستون شنی پرداخته شود و نتایج با نتایج این تحقیق مقایسه شود (نتایج این تحقیقات می‌تواند برای کاربرد این مصالح در زهکش‌ها، سدهای خاکی و ... راه گشا باشد).

۲. در تحقیق حاضر از یک ستون شنی منفرد استفاده شد، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات بعدی از گروه ستون‌های سنگی استفاده شود و مطالعات ادامه یابد و نتایج با نتایج این تحقیق مقایسه شود.

۳. بررسی هم‌زمان تسلیح خرده لاستیک‌ها و ژئوسینتتیک‌هایی مانند ژئوگریدها برای افزایش

ظرفیت باربری ستون‌های سنگی و همچنین مقایسه میزان تأثیر خرده لاستیک‌ها و

ژئوسینتتیک‌ها

۴. بررسی تأثیر جنس، اندازه (تأثیر دانه‌بندی) و شکل (تیز گوشه یا گرد گوشه بودن) شن‌ها

۵. بررسی تسلیح خاک‌های ریزدانه و چسبنده توسط لاستیک‌های فرسوده و یافتن نسبت ابعادی

بهینه لاستیک در این مخلوط‌ها و همچنین بررسی چسبندگی طبیعی و ظاهری در این مصالح

۶. انجام آزمایش‌های مدل فیزیکی در سایر کاربردها مانند مدل کردن ستون‌های سنگی در

خاکریزها با مقیاسی بزرگ‌تر

۷. انجام آزمایش‌های دینامیکی علاوه بر استاتیکی بر روی این نوع مخلوط‌ها جهت شناخت رفتار

این مصالح در هنگام بارگذاری دینامیکی

۸. ارزیابی رفتارهای خاک‌های رسی بهسازی شده با ستون‌های شنی مخلوط شده با خرده

لاستیک

پوست

پیوست شماره الف: دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ

در دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ، جابه‌جایی‌های قائم و برشی توسط دو سنسور عمودی و افقی به ترتیب با کورس ۵۰ میلی‌متر و دیگری با کورس ۱۰۰ میلی‌متر، و هر دو سنسور دارای دقت ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد. در این دستگاه تنش برشی توسط یک لودسل^۱ ۱۰ تنی با دقت ۰/۱۵ کیلوگرم-فورس^۲ اندازه‌گیری شده و اطلاعات توسط یک دستگاه دیتالاگر ۸ کاناله به کامپیوتر مرکزی انتقال داده می‌شود شکل (الف-۱).



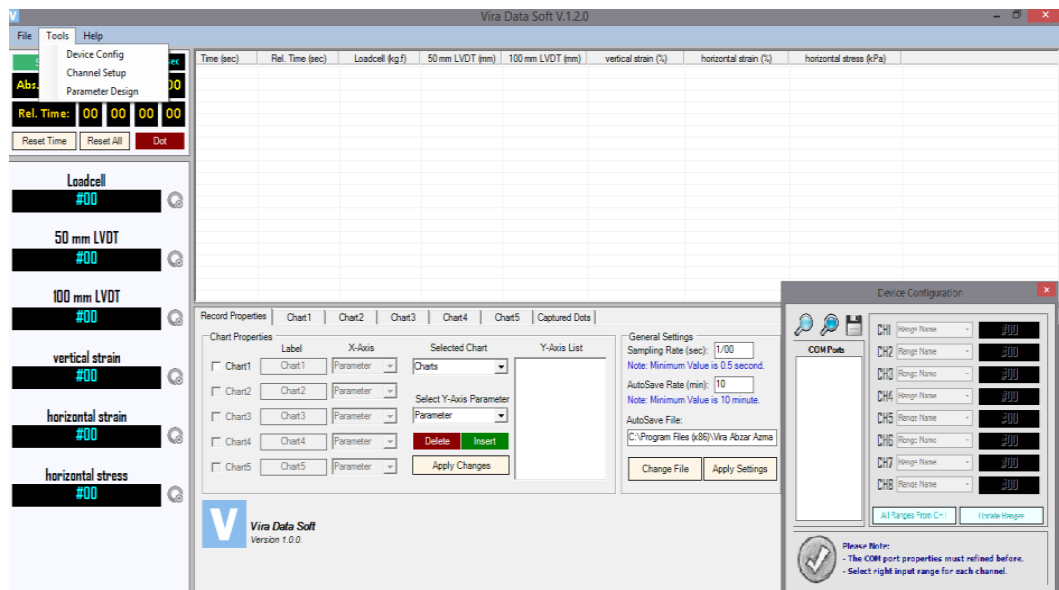
شکل (الف-۱) دیتالاگر و سنسورها

شکل (الف-۲) نرم‌افزار مورد استفاده در کامپیوتر مرکزی vira data soft می‌باشد که توسط شرکت ویرا ابزار آزما برنامه‌نویسی شده است. با استفاده از این نرم‌افزار داده‌های خروجی دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ در کامپیوتر جمع‌آوری و پردازش می‌شوند. نرم‌افزار vira data soft برای هر یک از سنسورها، کانال مجزا تعریف شده که ابتدا در منوی Tools، زیرشاخه‌ی Devise Config شناسایی شده و در زیرشاخه‌ی Channel setup کالیبراسیون سنسور بر روی آن کانال صورت گرفته و پارامترهای مورد اندازه‌گیری نیز در زیرشاخه‌ی Parameter design تعریف شده است. دیتالاگر و نرم‌افزار، امکان ثبت

^۱ Load Cell

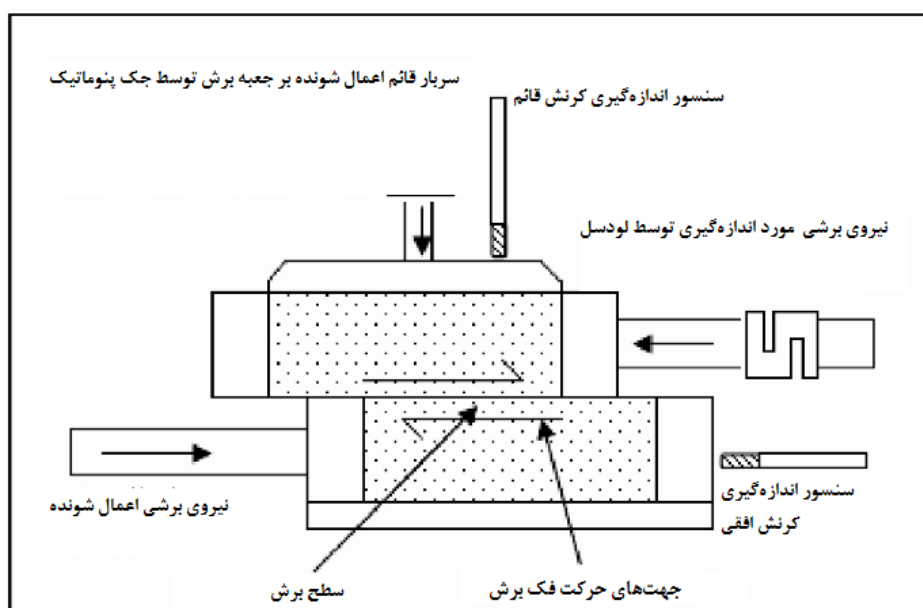
^۲ Kg.f

اطلاعات حداکثر با فرکانس ۲ هرتز دارا می‌باشد.



شکل (الف-۲) نرم‌افزار vira data soft

برای درک بهتر از نحوه‌ی عملکرد سنسورها، نمای شماتیک جعبه‌ی برش و سنسورهای متصل به آن در شکل (الف-۳) نشان داده‌شده که سنسور افقی با کورس ۱۰۰ میلی‌متر در راستای حرکت برش، به فک محرک جعبه برش متصل بوده و میزان جابجایی افقی و سنسور دیگری با کورس ۵۰ میلی‌متر در راستای قائم و در بالای جعبه‌ی برش، تغییرات جابجایی قائم نمونه و لودسل ۸۰ تنی S شکل نیز به فک بالایی متصل بوده و نیروی برشی را اندازه‌گیری می‌نمایند.

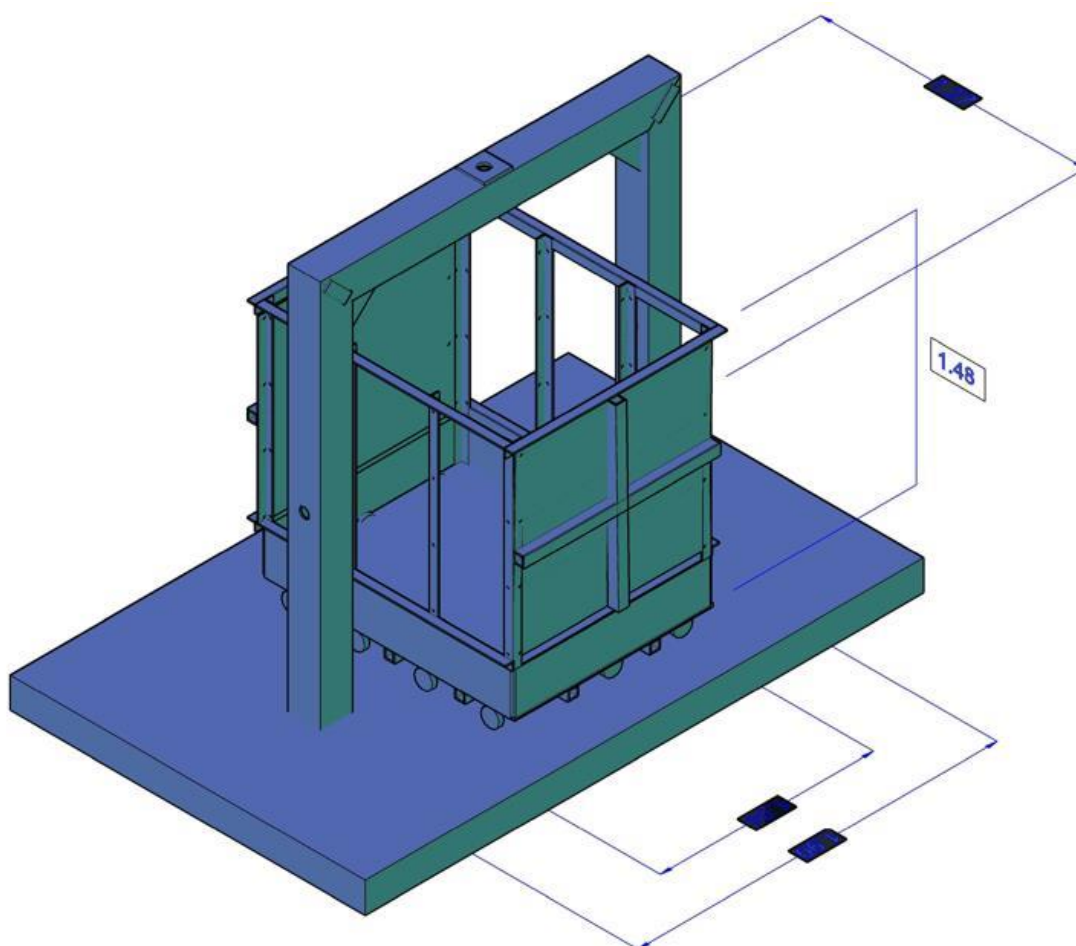


شکل (الف-۳) شماتیک عملکرد دستگاه برش مستقیم جعبه بزرگ

پیوست شماره ب: دستگاه مدلسازی فیزیکی بزرگ مقیاس

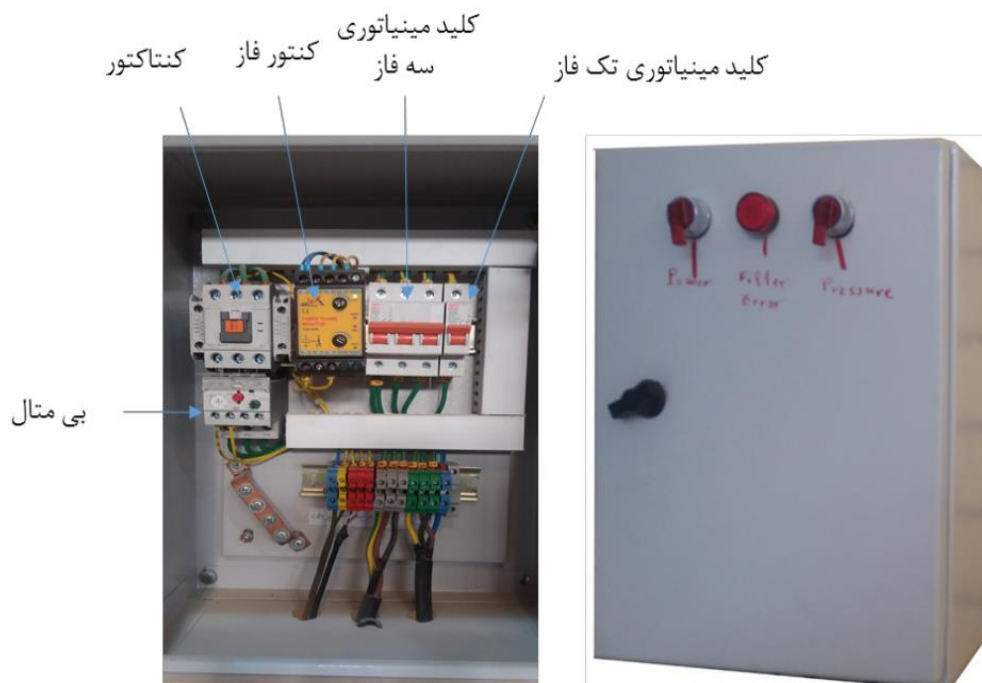
اجزای تشکیل دهنده دستگاه مدلسازی فیزیکی شامل موارد زیر می شود:

- ۱- محفظه‌ی دستگاه: شکل (ب-۱) محفظه‌ی دستگاه مدلسازی فیزیکی بزرگ مقیاس می باشد که دارای قابلیت ساخت نمونه‌های گوناگون جهت بارگذاری می باشد. این محفظه به شکل یک مکعب مستطیل با ابعاد $۱ \times ۱/۲$ و ارتفاع $۱/۲۷$ متر می باشد که از جنس فلز است و در دو سمت آن از پلاکسی گلاس و کف آن به صورت صلب به منظور جلوگیری از هرگونه تغییر شکل ساخته شده است. همچنین محفظه دارای غلتک‌هایی با قابلیت چرخش ۳۶۰ درجه به منظور جابه جایی و سهولت در آماده سازی نمونه می باشد.



شکل (ب-۱) محفظه‌ی آزمایش و قاب بارگذاری

۲- تابلو برق دستگاه: شکل (ب-۲) تابلو برق دستگاه می باشد که وظیفه تأمین و کنترل برق دستگاه را بر عهده دارد. تابلو برق دستگاه دارای یک چراغ هشدار می باشد که چراغ وقتی روشن باشد، نشان دهنده ای این است که میکرو فیلتر دستگاه بسته شده، به عبارتی دیگر وقتی روغن به درجه کثیفی که در نظر گرفته شده برسد، این چراغ روشن می شود و دستگاه به صورت خودکار سیستم را قطع می کند. دو کلید دیگر شامل کلید پاور و کلید فشار وجود دارد که کلید پاور وظیفه روشن و خاموش کردن موتور را بر عهده دارد و کلید فشار، روغن را با فشاری که تنظیم شده به مدار بارگذاری انتقال می دهد.



شکل (ب-۲) تابلو برق دستگاه و جزئیات

۳- سیستم پاورپک: شکل (ب-۳) سیستم پاورپک دستگاه می باشد که وظیفه ای تأمین نیرو برای بارگذاری را دارا می باشد. این سیستم دارای یک موتور ۱۱ کیلووات سه فاز و یک شیر پروپورشنال می باشد که با گیجی که روی آن قرار دارد می توان فشار را تنظیم کرد، حداکثر فشار کاری این گیج ۲۰۰ بار می باشد. ظرفیت روغن سیستم پاورپک ۱۰۰ لیتر می باشد که برای پر کردن آن از محلی که درب باک مانند وجود دارد پر می شود. همچنین سیستم پاورپک دارای فیلترها و میکرو فیلترهایی می باشد که میکرو فیلتر دارای دقت ۵ میکرون بوده و یک

فیلتر در خط برگشت در نظر گرفته شده که دارای اندیکاتور بوده که اگر این اندیکاتور از ناحیه سبز رنگ به ناحیه قرمز رنگ وارد شود، بیانگر این هست که ذرات ۲۵ میکرون روغن دستگاه از حد مجازش بیشتر شده و باید روغن تعویض شود. همچنین یک دماسنج در قسمت پایین سیستم پاورپک وجود دارد که وظیفه کنترل دمای روغن را دارا می باشد.



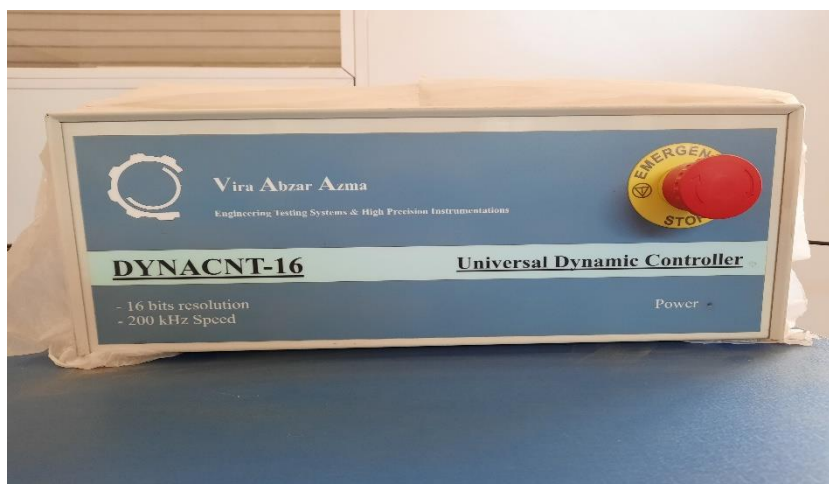
شکل (ب-۳) سیستم پاورپک

۴- سیستم اکچویتور: سیستم اکچویتور در فشار ۲۱۰ بار دارای ظرفیت بارگذاری ۱۰ تن می باشد و همچنین در فشار ۱۶۰ بار، ظرفیت بارگذاری ۶ تن دارا می باشد. سرووالی که بر روی اکچویتور نصب شده دارای دبی ۴۰ لیتر بر دقیقه بوده و با استفاده از آن می توانیم بارهای هارمونیک سینوسی را به نمونه وارد کنیم. حسگر موجود بر روی اکچویتور دارای کورس ۱۵ سانتی متر می باشد و به صورت مغناطیسی عمل می کند. حسگر دارای دقت بسیار بالایی می باشد به طوری که خطای آن در یک کورس ۱۵۰ میلی متری دارای خطا ۰/۰۱ میلی متر می باشد. لودسل در نظر گرفته در این سیستم به شکل S بوده که ظرفیت کشش و فشار ۱۰ تن را دارا می باشد. شکل (ب-۴)



شکل (ب-۴) اجزا سیستم اکچویتور

۵- سیستم جمع‌آوری داده (دیتالاگر): سیستم جمع‌آوری داده شکل (ب-۵)، دارای ۸ کانال ورودی با سرعت داده‌برداری ۲۰۰ کیلوهرتز و با دقت ۱۶ بیت و دارای ۲ کانال خروجی با دقت ۱۶ بیت و سرعت ۲۰۰ کیلوهرتز برای کنترل و فرمان دهی سیستم‌های بارگذاری سیکلی می‌باشد. وظیفه این دستگاه ذخیره داده‌ها می‌باشد که این داده‌ها توسط نرم‌افزار موجود به رایانه انتقال می‌یابد.



شکل (ب-۵) سیستم جمع‌آوری داده (دیتالاگر)

۶- سیستم کامپیوتری و ثبت داده‌ها: سیستم کامپیوتری موجود دارای سرعت بالا پردازش داده‌های دریافتی از نمونه مدل‌سازی شده در محفظه و همچنین دقت بالا می‌باشد که این داده‌ها به صورت فایل اکسل ذخیره می‌شود که این امر درصد خطا قرائت را بسیار زیاد نسبت به قرائت

دستی کاهش می‌دهد شکل (ب-۶). این سیستم دارای نرم‌افزار جامع می‌باشد که به‌وسیله‌ی آن می‌توان سرعت بارگذاری، نوع بارگذاری (استاتیکی یا دینامیکی)، کالیبره کردن، مقدار نفوذ را در هنگام بارگذاری را به دستگاه مدل‌سازی فیزیکی بارگذاری بزرگ‌مقیاس اعمال و تنظیم نمود.



شکل (ب-۶) سیستم کامپیوتری کنترل، قرائت و ثبت داده‌ها

مراجع

[۱] خداوردی امین، گزارش تحلیل وضعیت صنعت لاستیک خودرو در سال ۱۳۸۹، دفتر کالاهای غیرفلزی معاونت کالاهای سرمایه‌ای و خدمات زیربنایی سازمان حمایت مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان.

[2] Association, R.M. 2013 U.S. Scrap Tire Management Summary. 2014; Available from: <http://www.rma.org/>

[3] Ahmed. I. "Laboratory study on properties of rubber-soils." Ph.D. Thesis, Purdue University. West Lafayette, IN (1993).

[4] Barksdale, Richard D. and Robert Charles Bachus. Design and Construction of Stone Columns Volume I. No. FHWA-RD-83-026 Final Rpt. 1983.

[5] "Sustainable Re-use of Tyres in Port, Coastal and River Engineering," Guidance for planning, implementation and maintenance, March 2005;

[۶] میلاد همت زاد (۱۳۹۳) اثر نرخ جابجایی بر پارامترهای مقاومتی مخلوط‌های خرده لاستیک و ماسه با استفاده از دستگاه برش مستقیم جعبه‌بزرگ، دانشگاه گیلان.

[۷] عباسی دزفولی ع. منابی ر. سلیمانی ورپشتی ع. "بررسی روند تولید و استفاده از خرده لاستیک فرسوده در بتن، اسفالت و قطعات بتنی"، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، رشت، اسفند ۱۳۹۰.

[8] Prasad, D.S.V. and Raju, G.V.R. (2009), "Performance of waste tyre rubber on model flexible pavement," ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4, No. 6, pp. 164-168;

[9] Vidal, H. (1969), "The principle of reinforced earth, " Highw. Rec.Rec. No. 282, pp. 1-16;

[۱۰] صمدیان، فرح. ۱۳۸۵ "گزارش بازیافت لاستیک" وزارت صنایع و معادن، مرداد.

[۱۱] قضاوی، محمود، نظری افشار، جواد. ۱۳۸۸. "طراحی روش‌های اجرای ستون‌های سنگی"،

دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی،

[12] Barksdale, Richard D. and Robert Charles Bachus. Design and Construction of Stone Columns Volume I. No. FHWA-RD-83-026 Final Rpt. 1983...

[13] Bhushan, Kul, Ashok Dhingra, Curt Scheyhing, and Endi Zhai. "Ground

improvement by stone columns and surcharge at a tank site." In Proceedings of the 5th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York. 2004...

[۱۴] شرکت خدمات بهسازی خاک سامان پی، گزارش "طرح تحکیم بستر مهمانسرای خرم‌آباد به روش اجرای ستون

شنی ارتعاشی"، ۱۳۸۹

[۱۵] شرکت خدمات بهسازی خاک سامان پی، گزارش "بهسازی بستر دانشگاه آزاد اسلامی

[16] <http://sis-co.ir>

[17] Deb, Kousik, Narendra Kumar Samadhiya, and Jagtap Babasaheb Namdeo. "Laboratory model studies on unreinforced and geogrid-reinforced sand bed over stone column-improved soft clay." *Geotextiles and Geomembranes* 29, no. 2 (2011): 190-196...

[18] [Online]. Available: <http://www.bazyaftlenjan.ir/>.

[19] Lee, J.H. Salgado, R. Bernal, A. and Lovell, C.W. (1999) Shredded tires and rubber-sand as lightweight backfill *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 2, pp. 132-141.

[20] Lee, J.H. Salgado, R. Bernal, A. and Lovell, C.W. (1999), Shredded tires and rubber-sand as lightweight backfill." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 2, pp

[21] Foote, G. J. Benson, C.H. and Bosscher, P.J. (1996), Sand reinforced with shredded waste tires." *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(9), 760-767

[22] Geisler, E.J. Cody, W. and Niemi, M.K. (1989), Tires for subgrade support" Presented at The Annual Conference on Forest Engineering Meeting, Coeur D Alene, ID. August 27-30.

[23] Bernal, A. Salgado, R. and Lovell, C.W. (1997), Tire shreds and rubber-sand as lightweight backfill material" Accepted for Publication as a Technical Paper in the *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.

[24] Yoon, Y.W. and Chaeon, S. (2004), Bearing capacity and settlement of tire reinforced

[25] Munfakh, G. A. S. K. Sarkar, and R. J. Castelli. "Performance of a test embankment founded on stone columns." In *Proceedings of the International Conference on Advances in Piling and Ground Treatment for Foundations*, London, pp. 193-199. 1983...

[26] Han, Jle, and S. L. Ye. "Settlement analysis of buildings on the soft clays stabilized by stone columns." In *Proc. Int. Conf. on Soil Improvement and Pile Found*,

vol. 118, pp. 446-451. 1992.

[27] Seed, H. Bolton, and John R. Booker. "Stabilization of potentially liquefiable sand deposits." *Journal of the geotechnical engineering division* 103, no. 7 (1977): 757-768... sand" *Geotextile and Geomembranes*, 122(9), 760-767.

[28]Rao, G. Venkatappa, and R. K. Dutta. "Compressibility and strength behaviour of sand–tyre chip mixtures." *Geotechnical & Geological Engineering* 24, no. 3 (2006): 711-724...

[29]Cetin, H. Fener, M. Gunaydin, O. (2006), "Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as fill material", vol 88, pp.110-120.

[30]Ayothiraman, R. Meena, A. K. (2011), "Improvement of Subgrade Soil With Shredded Waste Tire Chips", *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, india.

[31]Hataf, N. Rahimi, M.M. (2004), "Experimental investigation of bearing capacity of sand reinforced with randomly tire shreds", *Journal of Construction and building materials*, vol. 10, pp. 910-916.

[32]Priyadarshie, Akash, et al. "Comparative study on performance of tire crumbles with fly ash and kaolin clay." *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering* 1.4 (2015): 1-7.

[33]Ambily AP, Gandhi SR. Behavior of Stone Columns Based on Experimental and FEM

[34]Attom, M. Khedaywi, T. Sameer, A. M. (2007), "The effect of shredded waste tire on the shear strength, swelling and compressibility properties of the clayey soil", *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol. 33, pp. 219-227

[35]Bosscher, Peter J. Tuncer B. Edil, and Senro Kuraoka. "Design of highway embankments using tire chips." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 123, no. 4 (1997): 295-304...

[36]Ahmed,I, and Lovell,C.W.(1993),"Rubber Soils as Lightweight Geomaterial",*Transportation Research Record* 1422,pp.61-70.

[37]Humphrey, D.N.and Manion, W.P. (1992).Proc. "Properties of tire chips for lightweight fill."Conf.on Grouting, Soil Improvement,and Geosynthetics,2 ASCE,New York,1344-1355.

[38]Lok, Thomas MH, and Hu Jie Yu. "Laboratory Study on the Mechanical Behavior of Tire Chip-Sand Mixture." In *Pavement Mechanics and Performance-GeoShanghai*

International Conference. 2006...

[39]Vinot, V. and Baleshwar Singh. "Experimental Study on Shear Strength Behavior of Shredded Tyre-Reinforced Sand." In GeoShanghai 2010 International Conference. (2010).

[40]Deb, Kousik, Narendra Kumar Samadhiya, and Jagtap Babasaheb Namdeo. "Laboratory model studies on unreinforced and geogrid-reinforced sand bed over stone column-improved soft clay." *Geotextiles and Geomembranes* 29, no. 2 (2011): 190-196...

[41]zargarbashi s.(2001)," sand reinforcement with tire chips as back fill for retaining walls;" ,M.Sc,Thesis, Iran University of Science and Technology...

[42]Tafreshi, SN Moghaddas, and A. H. Norouzi. "Bearing capacity of a square model footing on sand reinforced with shredded tire—An experimental investigation." *Construction and Building Materials* 35 (2012): 547-556.

[۴۳] سید مرتضی مرندی، سید حجت اله موسوی، آنالیز عددی ستون‌های سنگی مسلح شده با ژئوگرید، ششمین

کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه سمنان اردیبهشت ۱۳۹۰

[۴۴] فتاحی، ا و شریفی پور، م.(۱۳۹۰) "اصلاح خاک‌های سست به‌وسیله ستون‌های سنگی مسلح شده توسط

ژئوگریدها"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

[۴۵] ملک خانی، م.(۱۳۹۲)، "بررسی پارامترهای مقاومتی مخلوط ماسه و پودر لاستیک توسط دستگاه سه محوری"،

پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران،

[46]Rakesh Kumar * and P.K. Jain, Expansive Soft Soil Improvement by Geogrid Encased Granular Pile, *International Journal on Emerging Technologies* 4(1): 55-61(2013)

[48]Najjar SH (2013), "A State-of-the-Art Review of Stone/Sand-Column Reinforced Clay Systems", *Geotech Geol Eng* 31 pp 355–38.

[49]Dash SK, Bora MC (2013), "Improved performance of soft clay foundations using stone columns and geocell-sand mattress", *Geotextiles and Geomembranes* 41 pp 26-35.

[50]Tajdini, Milad, et al. "Effect of added waste rubber on the properties and failure mode of kaolinite clay." *International Journal of Civil Engineering* 15(6) ,2017, 949-958.

[51]Fattah, Mohammed Y. Mohammed A. Al-Neami, and Ahmed Shamel Al-Suhaily. "Estimation of bearing capacity of floating group of stone columns." *Engineering science and technology, an international journal* 20(3), 2017, 1166-1172.

[52]Yadav, J. S. and S. K. Tiwari. "Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilized with cement." *Applied Clay Science*, 149, 2017, 97-110.

[53]Ghazavi, Mahmoud, Ahad Ehsani Yamchi, and Javad Nazari Afshar. "Bearing capacity of horizontally layered geosynthetic reinforced stone columns." *Geotextiles and Geomembranes*, 46(3), 2018, 312-318.

[54]Shariatmadari,N.et al."Evaluating the effect of using shredded waste tire in the stone columns as an improvement technique." *Construction and Building Materials* 17(6),2018,700-709.

[55]Xue, Jianfeng, Zhiyong Liu, and Jianfeng Chen. "Triaxial compressive behaviour of geotextile encased stone columns." *Computers and Geotechnics* 108,2019, 53-60.

[56]Mazumder, T., A. K. Rolaniya, and R. Ayothiraman. "Experimental study on behaviour of encased stone column with tyre chips as aggregates." *Geosynthetics International* 25.3 (2018): 259-270

[57]ASTM, D., *Standard test method for particle-size analysis of soils*. 2007.

[58]Testing, A.S.f. and Materials, *Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density*. 2006: ASTM International.

[59]Presti, D.L. S. Pedroni, and V. Crippa, *Maximum dry density of cohesionless soils by pluviation and by ASTM D 4253-83: A comparative study*. *Geotechnical Testing Journal*, 1992. **15**(2): p. 180-189.

[60]C. ASTM, 127. 2004. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. Annual book of ASTM standards, 2004.

[۶۰] حمیدی، امیر. ۱۳۸۸. "تأثیرات شکل و اندازه شن دانه‌ها بر ویژگی‌های مقاومت برشی خاک‌های ماسه‌ای"،

دانشگاه تربیت‌معلم تهران،

[61]D. Astm, 854–10,, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer The American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, United States, 2010.

[62]D. ASTM, 3080-90: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. Annual Book of ASTM Standards, 1994, 4,

[۶۳] رامش، ا. (۱۳۹۳)، "ارزیابی اثر تغییرات چسبندگی جدار (آلفا باند) و شعاع تزریق بر ظرفیت باربری ریز شمع

در خاک‌های دانه‌ای با تراکم‌های مختلف با استفاده از مدل‌سازی فیزیکی آزمایشگاهی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،

دانشگاه صنعتی شاهرود.:

Abstract

With the growth of population and car production, large volume of waste rubber would be collected in order to accumulation or burial in predicted places. High cost of burial, high volume of rubber due to low specific gravity, fire hazard and pollution due to prolonged burning of rubber and other problems would cause many environmental problems. Our country as the same as other involved countries is faced with these challenges due to the importance of the environmental problems and high rate of wasted rubbers annually.

One way to deal with this problem is re-use of these wasted rubbers in civil engineering which has high user potential in various fields. One of these applications in civil engineering is stone column which is as an option in order to correcting bearing capacity of loose soils, the increment of drainage capability and the reduction of subsidence in structures constructed on these soils.

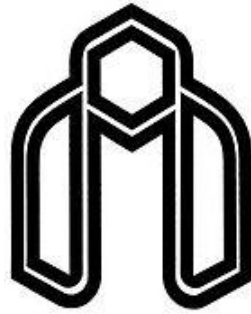
The aim of these performed experiments is investigation the effect of using crumbs of rubber on the bearing capacity of stone columns.

In this research, crumb rubber waste is used as an alternative material instead of sand materials and its impact on the behavior of stone-column has been studied. One experimental study on a type of Polica pipe by three diameters of 84,115,160 mm and four lengths 35,50,75 and 125 cm by use of a type of crumbs of rubber with dimensions (the most optimal) by volumetric percentage of 40% (the most optimal percentage) has been done in one large-scale physical modelling device. Then 12 series of experiments of direct cutting in large scale has been done within three volumetric ratio of mixture sand and crumbs of rubber. Findings of this test in direct cutting box in large scale and physical modeling device show the increment of the bearing capacity of mixed stone columns by 40% of volumetric rate of crumbs of rubber rather the pure sand. The results of direct-cut of large scale experiments show that by adding 40% of volumetric rate of crumbs of rubber to the sand then the bearing capacity of stone column would be increased rather than the pure sand but by adding more than 40% of crumbs of rubber to the sand, the result would be opposite and the bearing capacity of stone column would be reduced as compare by the pure sand.

The experimental results of large-scale of physical modelling show that in one stone column by fixed length, the bearing capacity of stone column would be increased by the

reduction of I/D rate. Also on the case of fixed diameter of 84, 125, 160 mm, by the increment of I/D rate up to 3.125, 4, 5.95 respectively, then the bearing capacity of the sand column would be increased and then by increment of I/D rate up to 7.81, 10, 14.88 respectively, then the bearing capacity would be decreased. The best performance of the sand column is shown in the length of 50 cm and the diameter of 160 mm by I/D rate of 3.125 which causes 21% of the increment in the bearing capacity of the sand column. As conclusion, this study shows that using of crumbs of rubber as an alternative material instead of the sand could be as an economical way in order to the increment of the bearing capacity of stone columns and it could be as the best solution for the environmental problems.

Key words: Geo-technique of the environment, crumb rubber waste, stone column, soil improvement, bearing capacity



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Geotechnical Eengineering

**Evaluate the effect of different lengths and diameters on the
behavior and bearing capacity of stone cloumn mixed with
crumb rubber using extensive physical modeling**

By:
Mohammad Elyasi Nezhad

Supervisor:
Dr. Mohsen Keramati

May 2021