دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه‌دوره کارشناسی ارشد دررشته‌مهندسی عمران- خاک و پی

موضوع:

بررسی اثر اندازه تراشه‌های لاستیک بر روی رفتار خاک ماسه‌ای

استاد راهنما:
دکتر عیسی شوش‌پاشا

نگارش:
سید محمود انوری

بهمن ۱۳۹۲

تشکر و قدردانی:

اکنون که به لطف خداوند بزرگ و راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر عیسی شوش‌پاشا، این پایان‌نامه را به اتمام رسانده‌ام، بر خودلازم می‌دانم از زحمات و الطاف ایشان، کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

تقدیم به

رنج‌های بی‌پایان پدرم

و صبوری مادرم

که وجودشان مایه سربلندی و سعادت من است

چکیده

امروزه در خیلی از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه تایرهای فرسوده مشکلاتی از جمله آتش سوزی و آلودگی محیط زیست را به وجود آورده است. پیدا کردن یک راه حل مناسب برای بازگرداندن و استفاده مجدد از لاستیک یک موضوع مهم در میان جامعه مهندسین است.

لاستیک دارای انعطاف‌پذیری، مقاومت کششی بالا ، دوام بالا و وزن مخصوص کم می‌باشد، از همین رو می توان از آن‌ها در پروژه‌های ژئوتکنیکی استفاده کرد. استفاده از لاستیک به عنوان مسلح کننده خاک هم از آلودگی محیط زیست هم از هزینه برای نگهداری و انبارکردن لاستیک‌های فرسودهجلوگیری می‌کند و دیگر اینکه به عنوان مسلح‌کننده باعث بهبود خواص خاک می‌شود.

در این مطالعه تحقیقات و آزمایش‌های گذشته در زمینه تقویت لایه‌های خاک با خرده لاستیک، مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش خاک استفاده شده، ماسه ریزدانه بابلسر است و خرده لاستیک‌ها دارای اندازه ۴-۱، ۹-۱، ۹-۴ میلیمتر می‌باشند. آزمایش های بارگذاری صفحه روی خاک تقویت شده با مخلوط‌های خاک و خرده لاستیک با اندازه‌های مختلف خرده لاستیک انجام گرفت. خاک و مخلوط‌های خاک و خرده لاستیک در این آزمایش‌ها دارای تراکم نسبی ۵۵٪ بودند. با توجه به نتایج، خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر تأثیر بیشتری در افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست (در یک تنش معین) خاک نسبت به دو اندازه خرده لاستیک دیگر دارد. با بررسی حالت‌های مختلف تقویت، حالت بهینه، مخلوط خاک و خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر با ۱۰درصد وزنی است که باعث افزایش ظرفیت باربری خاک تا ۵۰ درصد می‌گردد. همچنین آزمایش‌هایی برای مشخص شدن حالت بهینه عرض و عمق تقویت مخلوط خاک و خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر با ۱۰٪ وزنی انجام گرفت که به ترتیب پنج و یک برابر عرض صفحه بارگذاری به دست آمد.

کلمات کلیدی: خرده لاستیک، آزمایش بارگذاری صفحه، ظرفیت باربری

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصلاول ۱
کلیات ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- پیشینه تاریخی ۳
۱-۳- اهداف پژوهش ۴
۱-۴- ساختارپایان‌نامه ۵
فصل دوم ۷
مروری برمتون فنی ومطالعات گذشتگان ۷
۲-۱-مقدمه ۷
۲-۲- تئوری ظرفیت باربری ۷
۲-۲- سازوکارهای خاک مسلح ۱۰
۲-۳- لاستیک فرسوده ۱۱
۲-۳-۱- معضلات دفع تایرهای فرسوده ۱۲
۲-۳-۲- نگرشا قتصادی به بازیافت تایرهای فرسوده ۱۴
۲-۳-۳- مزایای استفاده ازلاستیک–خردهلاستیک درمهندسی عمران ۱۹
۲-۳-۳-۱- وزن مخصوص کم ۱۹
۲-۳-۳-۲- هدایت هیدرولیکی ۲۰
۲-۳-۳-۳- مقاومت حرارتی ۲۰
۲-۳-۳-۴- پایداری بالا ۲۰
۲-۳-۳-۵- زاویه اصطکاک بالا ۲۰
۲-۳-۳-۶- ضریب فشارجانبی ۲۱
۲-۳-۳-۷- مقاومت تحت بارهای دینامیکی ۲۱
۲-۳-۴- مواردااستفاده از لاستیک ۲۱
۲-۴- مطالعات گذشته روی خصوصیات خاک ۲۳

۲-۴-۱- مقاومت برشی مخلوط خاک وخرده لاستیک..... ۲۴
۲-۴-۲ کرنش محوری مخلوط خاک وخرده لاستیک ۴۰
۲-۴-۳- تراکم پذیری مخلوط خاک وخرده لاستیک ۴۲
۲-۴-۴- خواص دینامیکی خرده لاستیک درخاک ۴۳
۲-۴-۵- بررسی رفتارخاک وخرد هلاستیک بامصالح مسلحکننده دیگر ۴۶
۲-۴-۵-۱- خاک وخرده لاستیک به همراه سیمان..... ۴۶
۲-۴-۵-۲- خاک وخرده لاستیک و ژئوگرید ۴۸
فصل سوم ۴۹
مشخصات مصالح ، نحوه آماده سازی، روش انجام آزمایشها..... ۴۹
۳-۱- مقدمه ۴۹
۳-۲- مصالح مصرفی ۴۹
۳-۲-۱- خصوصیات فیزیکی ومکانیکی خاک..... ۴۹
۳-۲-۲- خصوصیات فیزیک و مکانیکی خرده لاستیک ۵۲
۳-۳- آزمایش‌های انجام شده ۵۵
۳-۳-۱- آزمایش میزلرزان (وزن مخصوص حداکثرD 4253)..... ۵۵
۳-۳-۲- وزن مخصوص حداقل برای روش تراکم نسبی (D 4254)..... ۵۸
۳-۳-۳- نتایج وزن مخصوص حداکثر و حداقل خاک و مخلوط‌های خاک-خرده لاستیک..... ۵۸
۳-۳-۴- آزمایش بارگذاری صفحه ۶۰
۳-۳-۴-۱- قاب بارگذاری ۶۰
۳-۳-۴-۲- محفظه..... ۶۲
۳-۳-۴-۳- صفحه بارگذاری..... ۶۲
۳-۳-۴-۴- تیرهای مرجع ۶۳
۳-۳-۴-۵- جک بارگذاری..... ۶۳
۳-۳-۴-۶- اندازه گیرها..... ۶۴
۳-۳-۵- کالیبراسیون گیج فشار ۶۶
۳-۳-۶ کالیبراسیون اندازه‌گیرهای تغییرمکان ۶۹
۳-۴- روش انجام آزمایش بارگذاری صفحه..... ۷۱

۳-۴-۱- نحوه مخلوط کردن خاک با خرده لاستیک ۷۱
۳-۴-۲- نحوه قراردادن خاک و مخلوط خاک وخرده لاستیک درمحفظه ۷۳
۳-۴-۳- نحوه ی متراکم کردن خاک ومخلوط خاک وخرده لاستیک در محفظه ۷۶
۳-۴-۴ روش اعمال بار ۸۰
۳-۴-۴- ۱ روش کنترلت نش ۸۰
۳-۴-۴-۲ روش کنترل کرنش ۸۰
۳-۴-۴-۳- روش اعمال بار در این پژوهش ۸۱
۳-۴-۵- اتمام آزمایش ۸۱
فصل چهارم ۸۳
نتایج آزمایش‌ها و بحث در مورد آنها ۸۳
۴-۱- مقدمه ۸۳
۴-۲- روش تعیین ظرفیت باربری خاک از روی نمودار تنش- نشست ۸۳
۴-۳- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی مخلوطهای خاک وخرده لاستیک باخرده لاستیک ۴-۱ میلیمتر ۸۷
۴-۴- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی مخلوطهای خاک وخرده لاستیک باخرده لاستیک ۹-۱ میلیمتر ۹۲
۴-۵- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی مخلوطهای خاک وخرده لاستیک باخرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر ۹۸
۴-۶- نتایج آزمایشگاهی روی مخلوط خاک وخرده لاستیک ۹-۴ میلیمتربا ۱۰درصدوزنی خرده لاستیک،درضخامت‌های تقویت مختلف ۱۰۳
۴-۷- نتایج آزمایشگاهی روی مخلوط خاک وخرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر با ۱۰ درصدوزنی خرده لاستیک،درعرض‌های تقویت مختلف ۱۰۷
فصل پنجم ۱۱۲
نتیجه‌گیری وارائه پیشنهادات ۱۱۲
۵-۱- مقدمه ۱۱۲
۵-۲- نتایج مطالعات آزمایشگاهی ۱۱۲
۵-۳- پیشنهادات وتوصیه‌ها به منظورمطالعات آینده ۱۱۴
منابع ۱۱۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- درصد خرده لاستیک‌های بازگردانده شده درآمریکا برای مصارف مختلف در سال ۲۰۰۳ ..... ۲
شکل۲-۱- گسیختگی برش کلی ۸
شکل ۲-۲- گسیختگی برش موضعی ۸
شکل۲-۳- گسیختگی برش پانچ ۹
شکل ۲-۴- دود ساطع شده ناشی از آتش سوزی لاستیک ۱۳
شکل ۲-۵- اشغال فضا توسط لاستیک‌های مستعمل ۱۴
شکل ۲-۶ ورقه احیا شده از لاستیک فرسوده ۱۶
شکل ۲-۷- پودر لاستیک تولید شده از لاستیک‌های فرسوده ۱۷
شکل ۲-۸- دانه‌های تولید شده از لاستیکهای فرسوده (Granulated Rubber) ۱۸
شکل ۲-۹- تراشه‌های تولید شده از لاستیک‌های فرسوده (Chipped Rubber) ۱۸
شکل ۲-۱۰- تکههای تولید شده از لاستیک‌های فرسوده (Shredded Rubber) ۱۹
شکل ۲-۱۱- استفاده از لاستیک در سد سازی ۲۲
شکل ۲-۱۲ دستگاه بارگذاری صفحه ۲۶
شکل ۲-۱۳ منحنی دانه‌بندی خاک ۲۷
شکل ۲-۱۴ خرده لاستیک ۲۷
شکل ۲-۱۵ نمونه مخلوط ماسه و خرده لاستیک ۲۸
شکل ۲-۱۶ منحنی ظرفیت باربری- نشست در ضخامت‌های مختلف مخلوط ماسه و خرده لاستیک ۲۹
شکل ۲-۱۷ منحنی ظرفیت باربری- ضخامت لایه تقویت شده در نشست‌های مختلف ۳۰
شکل ۲-۱۸ منحنی ظرفیت باربری- درصد وزنی خرده لاستیک در نشست‌های مختلف ۳۲
شکل ۲-۱۹ منحنی دانه بندی خاک ۳۳
شکل ۲-۲۰ منحنی تنش برشی-کرنش برشی در درصدهای مختلف پودر لاستیک ۳۴
شکل ۲-۲۱ منحنی تنش برشی-کرنش برشی در درصدهای مختلف خرده لاستیک ۳۵
شکل ۲-۲۲ منحنی زاویه اصطکاک داخلی- درصد وزنی خرده لاستیک ۳۶
شکل ۲-۲۳ منحنی مقاومت برشی- قطر قالب در درصدهای مختلف پودر لاستیک ۳۶
شکل ۲-۲۴ منحنی مقاومت برشی- سرعت برشی در درصدهای مختلف پودر لاستیک ۳۷
شکل ۲-۲۵ اندازه بهینه نسبت طول به عرض ۳۸
شکل ۲-۲۶ منحنی تنش برشی- کرنش برشی در درصدهای مختلف خرده لاستیک ۴۲
شکل ۲-۲۷ منحنی تنش برشی- کرنش برشی در درصدهای مختلف پودر لاستیک ۴۲
شکل ۲-۲۸ منحنی فشار اعمالی دینامیکی- زمان ۴۴
شکل ۲-۲۹ منحنی نشست- زمان درصدهای مختلف خرده لاستیک ۴۵
شکل ۲-۳۰ تغییرات ظرفیت باربری در مقابل درصد خرده لاستیک در مقادیر متفاوت از نشست پی مورد آزمایش ۴۶

شکل ۳-۱- ماسه بابلسر در کنار ساحل دریای خزر ۵۰
شکل ۳-۲- منحنی دانه بندی ماسه بابلسر ۵۰
شکل ۳-۳- منحنی تنش نرمال به تنش برشی آزمایش برش مستقیم ۵۲
شکل ۳-۴- خرده لاستیک ۴-۱ میلیمتر ۵۳
شکل ۳-۵- خرده لاستیک ۹-۱ میلیمتر ۵۴
شکل ۳-۶- خرده لاستیک ۴-۹ میلیمتر ۵۴
شکل ۳-۷- دانهبندی خرده لاستیک ۵۵
شکل ۳-۸- قالب آزمایش میز لرزان ۵۶
شکل ۳-۹- وسایل آزمایش میز لرزان (قالب، وزنه فلزی، سرپوش و ...) ۵۷
شکل ۳-۱۰- نحوه وصل کردن قالب به همراه وزنه و سرپوش ، روی میز لرزان ۵۷
شکل ۳-۱۲- صفحه بارگذاری ۶۲
شکل ۳-۱۳- جک بارگذاری استفاده شده در آزمایش ۶۳
شکل ۳-۱۴- نحوه قرارگیری تغییر مکان سنجها در هنگام آزمایش ۶۴
شکل ۳-۱۵- گیج فشار ۶۵
شکل ۳-۱۶- کالیبراسیون گیج فشار – آزمایش اول ۶۷
شکل ۳-۱۷- کالیبراسیون گیج فشار – آزمایش دوم ۶۷
شکل ۳-۱۸- کالیبراسیون گیج فشار – آزمایش سوم ۶۸
شکل ۳-۱۹- کالیبراسیون گیج فشار – میانگین سه آزمایش ۶۸
شکل۳-۲۰- کالیبراسیون تغییرمکان سنج ۱ ..... ۶۹
شکل۳-۲۱- کالیبراسیون تغییرمکان سنج ۲ ..... ۷۰
شکل۳-۲۲- کالیبراسیون تغییرمکان سنج ۳ ..... ۷۰
شکل۳-۲۳- کالیبره نمودن تغییرمکان سنج ۷۱
شکل ۳-۲۴- مخلوط کردن خاک و خرده لاستیک ۷۲
شکل ۳-۲۵- هم زن برقی (میکسر) ۷۴
شکل ۳-۲۶- ریختن خاک با سطل داخل محفظه ۷۵
شکل ۳-۲۷- قالب چوبی برای جدا کردن حجم مخلوط خاک و خرده لاسیتک از خاک ۷۵
شکل ۳-۲۸- نحوه ریختن مخلوط خاک و خرده لاستیک با بیلچه ۷۶
شکل ۳-۲۹- علامتگذاری محفظه جهت پر کردن بصورت لایهای ۷۸
شکل ۳-۳۰- صاف کردن سطح با کوبه چوبی ۷۸
شکل ۳-۳۱- صاف کردن سطح خاک زیر تیر مرجع با کوبه چوبی ۷۹
شکل ۳-۳۲- کوبیدن کوبه فلزی برای تراکم ۷۹
شکل ۳-۳۳- نحوه اعمال بار ۸۱
شکل ۴-۱ روش تعیین ظرفیت باربری نهایی ۸۴
شکل ۴-۲ روش B ۰/۱ ..... ۸۵
شکل ۴-۳ روش تقاطع شیبها ۸۶
شکل ۴-۴ روش لگاریتمی ۸۶

شکل ۴-۵ روش هیپربولیکی ۸۷
شکل ۴-۶ تنش- نشست (خاک بدون تقویت) ۸۸
شکل ۴-۷ تنش- نشست خرده لاستیک ۴-۱میلیمتر – ۳٪ خرده لاستیک ۸۹
شکل ۴-۸ تنش- نشست خرده لاستیک ۴-۱میلیمتر – ۴٪ خرده لاستیک ۸۹
شکل ۴-۹ تنش- نشست خرده لاستیک ۴-۱میلیمتر – ۵٪ خرده لاستیک ۹۰
شکل ۴-۱۰ تنش- نشست خرده لاستیک ۴-۱میلیمتر – ۷٪ خرده لاستیک ۹۰
شکل ۴-۱۱ تنش- نشست خرده لاستیک ۴-۱میلیمتر – ۱۰٪ خرده لاستیک ۹۱
شکل ۴-۱۲ مقایسه تنش- نشست خاک تقویت نشده با خاک تقویت شده با درصدهای مختلف خرده لاستیک ۴-۱ میلیمتر ... ۹۱
شکل ۴-۱۳ نسبت ظرفیت باربری خاک تقویت شده با درصدهای وزنی مختلف خرده لاستیک ۴-۱ میلیمتر ۹۲
شکل ۴-۱۴ تنش-نشست خرده لاستیک ۹-۱میلیمتر -۵٪ خرده لاستیک ۹۴
شکل ۴-۱۵ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۱میلیمتر - ۶٪ خرده لاستیک ۹۴
شکل ۴-۱۶ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۱میلیمتر -۷ ٪ خرده لاستیک ۹۵
شکل ۴-۱۷ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۱میلیمتر -۸ ٪ خرده لاستیک ۹۵
شکل ۴-۱۸ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۱میلیمتر - ۱۰٪ خرده لاستیک ۹۶
شکل ۴-۱۹ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۱میلیمتر - ۱۵٪ خرده لاستیک ۹۶
شکل ۴-۲۰ مقایسه تنش- نشست خاک تقویت نشده با خاک تقویت شده با درصدهای مختلف خرده لاستیک ۹-۱ میلیمتر ۹۷
شکل ۴-۲۱ نسبت ظرفیت باربری خاک تقویت شده با درصدهای وزنی مختلف خرده لاستیک ۹-۱ میلیمتر ۹۷
شکل ۴-۲۲ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر - ۵٪ خرده لاستیک ۹۹
شکل ۴-۲۳ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر - ۹٪ خرده لاستیک ۹۹
شکل ۴-۲۴ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر - ۱۰٪ خرده لاستیک ۱۰۰
شکل ۴-۲۵ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر - ۱۱٪ خرده لاستیک ۱۰۰
شکل ۴-۲۶ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر - 12٪ خرده لاستیک ۱۰۱
شکل ۴-۲۷ تنش- نشست خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – ۱۵٪ خرده لاستی ۱۰۱
شکل ۴-۲۸ مقایسه تنش- نشست خاک تقویت نشده با خاک تقویت شده با درصدهای مختلف خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر .. ۱۰۲
شکل ۴-۲۹ نسبت ظرفیت باربری خاک تقویت شده با درصدهای وزنی مختلف خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر ۱۰۲
شکل ۴-۳۰ تنش– نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – ضخامت تقویت ۰/۵B ۱۰۴
شکل ۴-۳۱ تنش– نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – ضخامت تقویت ۱B ۱۰۴
شکل ۴-۳۲ تنش– نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – ضخامت تقویت ۱/۲۵B ۱۰۵
شکل ۴-۳۳ تنش– نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – ضخامت تقویت ۱/۵B ۱۰۵
شکل ۴-۳۴ مقایسه تنش– نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر در ضخامتهای تقویت مختلف ۱۰۶
شکل ۴-۳۵ نسبت ظرفیت باربری خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر در ضخامتهای تقویت مختلف ۱۰۶
شکل ۴-۳۶ تنش – نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – عرض تقویت ۱B ۱۰۸
شکل ۴-۳۷ تنش – نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – عرض تقویت ۲B ۱۰۸
شکل ۴-۳۸ تنش – نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – عرض تقویت ۳B ۱۰۹
شکل ۴-۳۹ تنش – نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – عرض تقویت ۴B ۱۰۹
شکل ۴-۴۰ تنش – نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – عرض تقویت ۵B ۱۱۰

شکل ۴-۴۱ تنش – نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر – عرض تقویت 6B ۱۱۰
شکل ۴-۴۲ مقایسه تنش– نشست خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر در عرض‌های تقویت مختلف . ۱۱۱
شکل ۴-۴۳ نسبت ظرفیت باربری خاک تقویت شده با ۱۰٪ وزنی خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر در عرض‌های تقویت مختلف . ۱۱۱
-۱- درصدخرده لاستیک‌هایبازگرداندهشدهدرآمریکابرایمصارفمختلفدرسال ۲۰۰۳ .....۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ ویژگی‌های خاک مورد آزمایش[۲۷] ۳۳
جدول ۲-۲ پارامترهای مقاومت برشی مخلوط‌های خاک و خرده لاستیک در درصد تراکم‌های مختلف[۳۰] ... ۴۰
جدول۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی ماسه بابلسر ۵۱
جدول۳-۲- وزن مخصوص حداکثر و حداقل خاک ۵۱
جدول ۳-۴- وزن مخصوص حداکثر و حداقل مخلوط خاک و خرده لاستیک ۴-۱ میلیمتر ۵۹
جدول ۳-۵- وزن مخصوص حداکثر و حداقل مخلوط خاک و خرده لاستیک ۹-۱ میلیمتر ۵۹
جدول ۳-۶- وزن مخصوص حداکثر و حداقل مخلوط خاک و خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر ۶۰

فهرست علائم

q_u	ظرفیت باربری نهایی
B	عرض صفحه بارگذاری
h	ضخامت لایه تقویت شده با خرده لاستیک
S	نشست صفحه بارگذاری
BCR	نسبت ظرفیت باربری خاک تقویت شده به خاک تقویت نشده

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

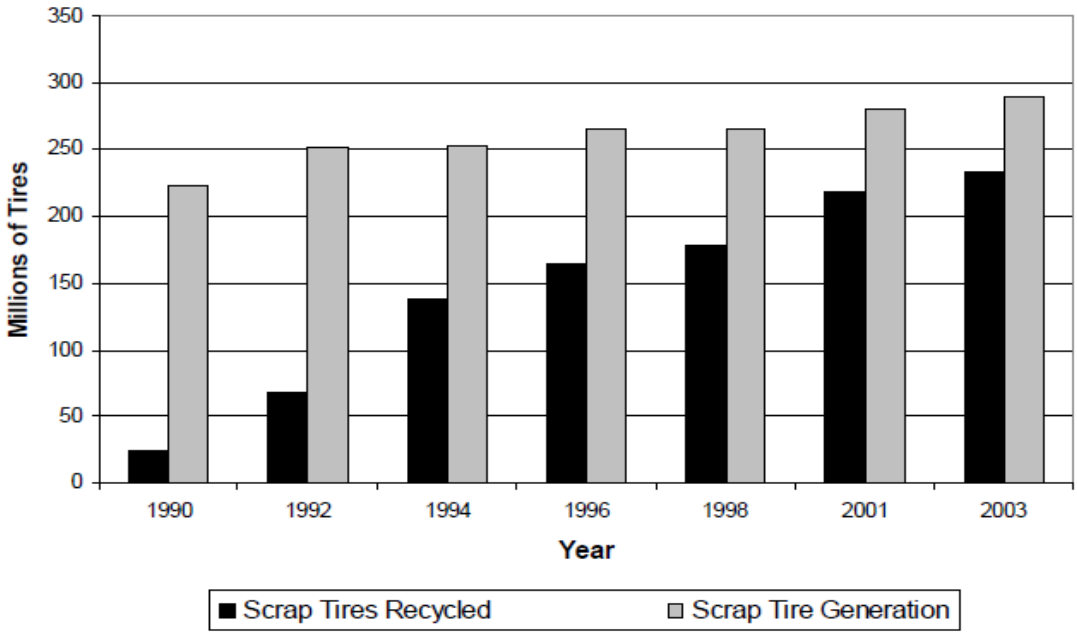
اصول اساسی خاک مسلح درطبیت به طورگسترده‌ای توسط جانوران وگیاهان بکار گرفته شده است. درطبیت نمونه‌های زیادی از شیب‌های طبیعی که توسط ریشه‌های گیاهان تسلیح شده‌اند را می‌توان مشاهده کرد. اولین کاربردهای خاک مسلح توسط انسان به چهارتا پنج هزارسال قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد که ازکاه یا نی برای مسلح نمودن خاک رس و آجرهای رسی استفاده می‌کردند[۱]. مهندسین ومعماران زیادی در طرح‌های خود از ایده خاک مسلح استفاده کرده‌اند. اماروش‌های پیشنهادی مانسترکوینه و طرح ابتکاری هانری ویدال[1] در فرانسه راه را برای ظهور سازه‌های خاک مسلح مدرن بازنمود. درحقیقت تکنیک خاک مسلح در سال ۱۹۶۶ توسط هانری ویدال ارائه شد[۲].

در حال حاضر روش‌های گوناگون و زیادی در زمینه ایجاد خاک مسلح ابداع شده است که مصالح مختلف مقاوم در برابر نیروهای کششی مانند ژئوسنتیک‌ها(ژئوتکستایل[2]، ژئوگرید[3]، ژئوممبرین[4] و ژئوکامپوزیت‌ها[5]) و شمع، ستون سنگی و ... با اشکال گوناگون بکار برده می‌شوند.

در چند سال اخیر تحقیقاتی در مورد لاستیک به عنوان تقویت کننده خاک صورت گرفته است. با پیشرفت جوامع بشری از یک سو و تولید روزافزون انواع خودروها، سالانه در هر کشور تعداد بسیار زیادی لاستیک فرسوده با خارج شدن از گردونه مصرف باعث بروز مشکلات جدی زیست محیطی می گردند. با افزایش جمعیت

[1] Henry vidal
[2] geotextile
[3] geogrid
[4] geomembrane
[5] geocomposite

شهرها و استفاده بیشتر از وسایل نقلیه، لاستیک‌های بیشتری وارد بازار شده و در پی آن دفع زباله افزایش می یابد. به عنوان مثال تعداد لاستیک‌های فرسوده در ایالات آمریکا بر ۲۷۰ میلیون و در کانادا ۲۸ میلیون گزارش شده است[۱]. به همین جهت چند سالی است که تحقیقات برای پیدا کردن کاربرد لاستیک‌های فرسوده در صنعت افزایش یافته است. از این جهت دفع مواد لاستیکی یکی از مشکلات عمده در جهان است که با توجه به آمار بالایلاستیک‌های فرسوده بایدبرای رهایی از آن راهی پیشنهاد شود. حل این مشکل‌ها می تواند کمک بزرگی به کاهش هزینه‌های نگهداری و دفع لاستیک‌های فرسوده و زائد کند[۳].



شکل ۱-۱- درصد خرده لاستیک‌های بازگردانده شده درآمریکا برای مصارف مختلف در سال ۲۰۰۳ [۱]

یک لاستیک معمولی (ماشین سواری) به صورت خرده شده تقریباً ۹ کیلوگرم وزن دارد و شامل حدوداً ۶۰٪ لاستیک، ۲۰٪ فولاد و ۲۰٪ فیبر و دیگر مواد زائد می باشد. صنعت تولید مصالح راهسازی حدود یک میلیون لاستیک در سال مصرف می کند[۳].

از این رو استفاده از لاستیک های فرسوده در اصلاح رفتار مکانیکی خاکها در پروژه‌های عمرانی به عنوان یک گزینه برای استفاده مجدد از آن‌ها مطرح است. استفاده از لاستیک های فرسوده به دلیل داشتن مقاومت کششی زیاد در داخل توده خاک یکی از ایده‌هایی بود که برای مسلح نمودن خاک و پیدا کردن راه حلی جهت استفاده مجدد از لاستیک های فرسوده مطرح گردید[۱]. از سوی دیگر ایده بهبودخواص مکانیکی خاک از دیرباز تا به امروز مطرح بوده و حتی در ساخت برخی از سازه های قدیمی از این ایده استفاده شده است. به عنوان مثال مخلوط خاک رس و کاه به عنوان مصالح اصلی در گذشته در ساخت بسیاری از سازه‌ها به کار می‌رفت که از افزایش مقاومت قابل قبولی نسبت به خاک رس تنها برخودار بوده است. در حقیقت مفهوم خاک مسلح در اضافه نمودن عناصری مقاوم به خاک جهت بهبود خواص مکانیکی آن خلاصه می شود. البته به کارگیری این عناصر جهت بالا بودن توان باربری خاک، مستلزم بروز کرنش کم و دوام زیاد آنها در محیط خاک است[۳].

۱-۲- پیشینه تاریخی

اولین کاربردهای خاک مسلح توسط انسان به چهارتا پنج هزارسال قبل از میلاد مسیح برمی گردد که ازکاه یا نی برای مسلح نمودن خاک رس وآجرهای رسی استفاده می‌کردند. کاربردهای دیگر خاک مسلح دربرج‌های بلند و چند طبقه هرمی شکل پلکانداری است که به زیگورات مشهورند. همچنین در بخشهایی از دیوار چین مشاهده شده است. ساکنین آفریقا و جنوب آسیا با خاک مسلح آشنایی داشتند وبه طریق گوناگون با استفاده ازورقه‌های بامبو، پوست بزکاهنی و پوست درختانی مثل خرما، ویژگی بناهای خاکی خود را بهبود می‌بخشیدند. در ایران نیز ملات کاه گل نامی آشنا است که از دیر باز در ساختمان‌های روستایی استفاده می‌گردید[۱].

داستان کشف خاک مسلح در سال ۱۹۵۸ شروع شد که ویدال[۶] جهت گذراندن تعطیلات به جزایر بالیارس در دریای مدیترانه رفته بود. در روزی که وی در ساحل بود و با ماسه بازی می‌کرد، چندین بار تلی از ماسه را ساخت و شیب قرار طبیعی آن را مشاهده نمود، همیشه ماسه تحت یک شیب قرار می‌گرفت. در اطرافش مقدار

[6] Vidal

زیادی برگ‌های سوزنی کاج وجود داشت، وی سعی کرد که ردیف‌هایی از برگ‌های سوزنی کاج را در داخل ماسه قرار دهد. به این صورت که پس از استفاده از یک ماسه یک لایه برگ سوزنی کاج به کار گرفته می شد. به نظر رسید که شیب تل ماسه‌ای تندتر شد. در نتیجه ویدال از خودش پرسید که آیا قرار دادن رشته‌ای انعطاف‌پذیر در ماسه مفید است؟ در آن زمان این سوال به گمان وی احمقانه به نظررسید چون تا آن زمان در هیچ مقاله‌ای کتابی و یا سخنرانی راجع به ماسه مسلح با رشته‌های انعطاف‌پذیر حرفی گفته نشده بود. پس از پنج سال مطالعات نظری و انجام آزمایش‌ها بر روی الگوهای ساخته شده از ماسه و کاغذ، وی موفق شد جواب سؤال بالا را بیابد و این سؤال در سال ۱۹۶۳ در یک کتاب ۲۰۰ صفحه‌ای چاپ شد. در این کتاب گفته شد که ترکیب دو مصالح، یعنی ماسه و عنصر تسلیح کننده انعطاف پذیر ، مصالح جدیدی را می‌سازد که خاک مسلح نامیده می‌شود[۲].

۱-۳- اهداف پژوهش

در این پژوهش هدف اصلی بررسی اثر اندازه خرده لاستیک بر ظرفیت باربری پی‌های مسلح شده با خرده لاستیک توسط دستگاه بارگذاری صفحه می‌باشد. اندازه خرده لاستیک‌های استفاده شده، ۴-۱ میلیمتر، ۹-۱ میلیمتر، ۹-۴ میلیمتر بود که تاثیر هرکدام از خرده لاستیک‌ها با درصدهای وزنی مختلف روی ظرفیت باربری خاک مورد بررسی قرار گرفت. در بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته در مورد خرده لاستیک، اثر یک نوع خرده لاستیک بررسی و در اکثر آن‌ها برای تعیین مقاومت برشی خاک تقویت شده با خرده لاستیک از آزمایش های سه محوری و برش مستقیم استفاده شده است. از این رو در این پایان نامه اثر سه اندازه مختلف خرده لاستیک روی ظرفیت باربری خاک توسط آزمایش بارگذاری صفحه بررسی شد. اندازه خرده لاستیک‌ها طوری انتخاب شده‌اند که استفاده از مخلوط‌های خاک و خرده لاستیک در کارهای عملی اجرایی باشد.

پس از انجام آزمایش‌ها روی هر کدام از مخلوط‌های خاک و خرده لاستیک، بهترین حالت مخلوط خاک وخرده لاستیک (مخلوط خاک وخرده لاستیکی که موجب بیشترین ظرفیت باربری و کمترین نشست در یک تنش مشخص، در خاک شد)، مشخص گردید.سپس برای تعیین حالت بهینه ضخامت و عرض تقویت بهترین حالت مخلوط خاک وخرده لاستیک، آزمایش بارگذاری صفحه در ضخامت‌ها و عرض‌های تقویت مختلف انجام گرفت. مراحل انجام آزمایش‌ها به صورت زیر می‌باشد:

۱- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی مخلوط‌های خاک وخرده لاستیک با خرده لاستیک ۴-۱ میلیمتر

۲- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی خاک تقویت شده با مخلوط خاک و خرده لاستیک ۹-۱ میلیمتر

۳- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی مخلوط‌های خاک وخرده لاستیک با خرده لاستیک ۹-۴ میلیمتر

۴- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی بهترین حالت مخلوط خاکو خرده لاستیک، در ضخامت‌های تقویت مختلف

۵- نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه روی بهترین حالت مخلوط خاکوخرده لاستیک، در عرض‌های تقویت مختلف

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

در فصل اول ابتدا درمورد خاک مسلح، مصالح قدیم و جدید به کار رفته به عنوان مسلح کننده خاک و لاستیک و دلایل استفاده از آن به عنوان تقویت کننده خاک بحث شد.

مروری بر متون فنی و مطالعه گذشتگان، فصل دوم می‌باشد که تئوری ظرفیت باربری، بررسی مکانیزم مسلح سازی خاک، خصوصیات خرده لاستیک و موارد استفاده از آن و پژوهش‌های پیشین در مورد مخلوط خاکو خرده لاستیک را شامل می‌شود.

در فصل سومخصوصیات فیزیکی و میکانیکی خاک و خرده لاستیک استفاده شده در این پژوهش، اجزای تشکیل دهنده دستگاه بارگذاری صفحه و نحوه انجام آزمایشات مطرح شده است.

نتایج آزمایشگاهی برای خرده لاستیک‌های مختلف و تحلیل آن‌ها در فصل چهارم آمده است.

فصل دوم

مروری بر متون فنی و مطالعات گذشتگان

۲-۱-مقدمه

با توجه به کاربرد خرده لاستیک و مشتقات آن در مهندسی عمران و به خصوص مهندسی ژئوتکنیک، در این فصل به بیان خصوصیات و مزایای استفاده از خرده لاستیک به عنوان مسلح کننده خاک و مروری بر تحقیقات محققین مختلف بروی تئوری ظرفیت باربری، ساز و کار خاک مسلح ومخلوط‌های خاکوخرده لاستیک و کاربرد-های خرده لاستیک جهت بهبود وضعیت خاک پرداخته می‌شود. به طور کلی خرده لاستیک در خاک رفتار سودمندتری نسبت به رفتار خاک تنها ارائه می‌دهد که می‌تواند آن را به عنوان یک گزینه مناسب جهت استفاده در مهندسی ژئوتکنیک مطرح نماید.

۲-۲- تئوری ظرفیت باربری

سه نوع گسیختگی در مورد ظرفیت باربری وجود دارد. به عقیده کریگ[۷] ظرفیت باربری نهایی[۸](UBC) کمترین فشار وارده‌ای است که باعث گسیختگی برشی می شود.سه نوع گسیختگی برشی وجود دارد که به شرح زیر است:[۴]

۱-گسیختگی برش کلی ۲- گسیختگی برش موضعی ۳- گسیختگی برش پانچ

شکل (۲-۱) گسیختگی برشکلی را نشان می‌دهد که در خاک‌های ماسه‌ای با تراکم نسبی بالا($D_r \geq ٪۷۰$) یا خاک رسی اشباع عادی تحکیم یافته که بارگذاری سریع بدون فرصت کافی برای زه‌کشی دارد رخ می‌دهد. شکل

[7] -craig
[8] Ultimate Bearing Capacity