بررسی نشست پی سطحی مستقر بر ماسه مسلح به تراشه لاستیکهای فرسوده با استفاده از تحلیل‌های شبه استاتیکی

مسعود عامل‌سخی، استادیار، گروه مهندسی عمران دانشگاه ارومیه
مجید زمانی، دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد

چکیده

وجود مقادیر بسیار زیاد لاستیکهای فرسوده و لزوم دفع بهداشتی و یا بازیافت آنها از مسائل جدی زیست محیطی است. از سوی دیگر با مخلوط کردن این مصالح و خاک می‌توان به خاک مسلح دست یافت و از خاصیت افزایش مقاومت برشی خاک استفاده نمود. در این مطالعه پی نواری مستقر بر روی ماسه که با خرده لاستیکهای فرسوده مخلوط شده است مورد بررسی قرار گرفته است. جهت مسلح‌سازی، از ۳ درصد متفاوت ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد لاستیک استفاده شده و خاک زیر پی، با ضخامتهای مختلف از مخلوط ماسه و خرده لاستیک مسلح، مدل گردیده و تحلیل‌های شبه استاتیکی انجام شده است. در تحلیل‌های صورت گرفته توسط نرم‌افزار دو بعدی *PLAXIS*، مدل تحت شتابهای افقی زلزله مختلف قرار گرفته و تأثیرات مسلح‌سازی بر روی نشست مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق تحلیل‌های صورت گرفته و نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت که استفاده از لاستیکهای فرسوده در زیر پی‌ها به دلیل خاصیت میرایی لاستیک، به میزان زیادی منجر به کاهش نشست زیر پی شده است.

کلمات کلیدی: ماسه مسلح؛ لاستیک فرسوده؛ تحلیل شبه‌استاتیکی؛ نشست

۱– مقدمه

گسترش صنعت حمل و نقل مانند سایر صنایع، علاوه بر مزیت‌های فراوان، همواره با مشکلاتی همراه بوده است که از جمله مهمترین آنها، مشکلات ناشی از تولید روزافزون مقادیر بسیار بالای لاستیک و مشکل دفع لاستیکهای فرسوده می‌باشد که این مسأله، مشکلات زیست محیطی مهم و قابل‌توجهی را به همراه داشته است. سوزاندن کنترل نشده تایرها منجر به تولید دود سیاه رنگ و تولید دی‌اکسید سولفور می‌شود که منجر به اضافه شدن میزان آلودگی هوا می‌گردد. در سال ۱۹۹۱، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، اطلاعاتی را منتشر کرد که در آن نشان می‌داد سالانه ۲۷۹ میلیون حلقه لاستیک از گردونه مصرف خارج شده و به بیش از ۲ میلیارد لاستیک فرسوده موجود در آن زمان اضافه می‌شد. به نظر می‌رسد لاستیک به دلیل داشتن میرایی بالا و نیز دارا بودن خاصیت انعطاف‌پذیری، سیستم جداسازی لرزه‌ای را به وجود می‌آورد که منجر به جداسازی حرکت افقی زمین از حرکت سازه شده و در نتیجه آن، میزان خسارت وارده ناشی از زلزله به سازه کاهش خواهد یافت. ظرفیت میرایی بالای لاستیکها باعث می‌شود تا مخلوط ماسه و تایرهای خرد شده به عنوان قسمتی از یک سیستم میرایی جهت کاهش ارتعاشات و لرزشها در نظر گرفته شود.

با وجود تلاشهای فراوان و در نظر گرفتن راهکارهای مختلف جهت استفاد از لاستیکهای فرسوده، تاکنون حدود ۷۰ درصد از این لاستیکها، سالانه مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به پتانسیل بالای پروژه‌های عمرانی در استفاده از لاستیکهای فرسوده، اهمیت انجام تحقیقات گسترده‌تر در خصوص کاربرد این مصالح در پروژه‌های عمرانی بیش از پیش آشکار می‌گردد.

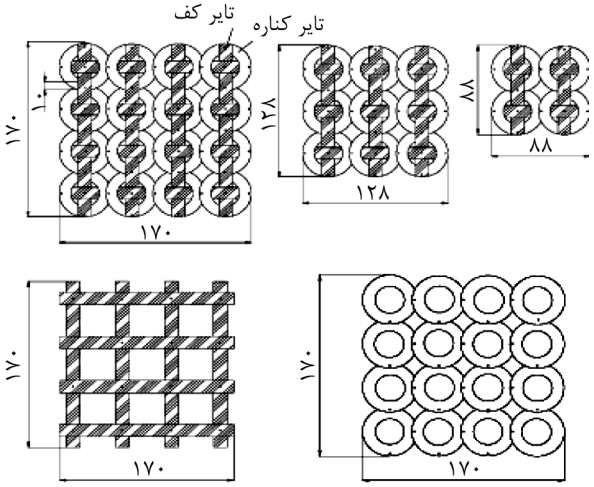
۲– مرور ادبیات فنی

قضاوی و عامل‌سخی [۱] با انجام آزمایشهای برش مستقیم بر روی مخلوط ماسه و تراشه لاستیکهای فرسوده

به بررسی تأثیرات تنش نرمال، وزن واحد حجم، درصد تراشه لاستیک، نسبت طول به عرض و طول تراشه لاستیک و میزان تراکم مخلوط ماسه و تراشه لاستیک بر روی ماسه پرداختند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مقدار زاویه اصطکاک داخلی، از ۳۱ درجه برای ماسه سست غیرمسلح و ۴۱ درجه برای ماسه متراکم غیرمسلح به ترتیب به ۵۹ و ۶۶ درجه در ترکیب ماسه و ۵۰ درصد لاستیک افزایش یافته است. همچنین میزان چسبندگی که در حالت غیرمسلح ناچیز است، به ترتیب به میزان ۳۱ و ۴۳ کیلونیوتن بر متر مربع با افزودن ۵۰ درصد لاستیک در شرایط ماسه سست و متراکم افزایش می‌یابد. مقدار بهینه نسبت طول به عرض برای تراشه لاستیکهای به عرض ۲، ۳ و ۴ سانتیمتر، به ترتیب برابر ۵، ۴ و ۲ به دست آمده است.

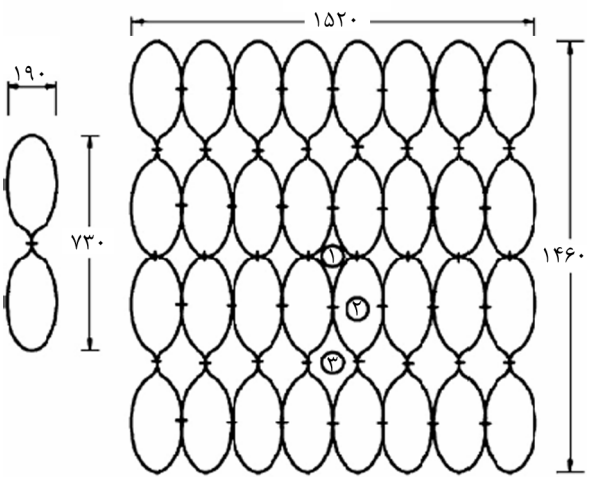
قضاوی و عامل‌سخی [۲] تأثیر درصدهای مختلف و نیز نسبتهای طول به عرض مختلف تراشه لاستیکهای فرسوده را بر روی نسبت ظرفیت باربری کالیفرنیا (*CBR*)[1] مورد بررسی قراردادند. پارامترهای مؤثر بر روی *CBR* در مخلوط ماسه و تراشه لاستیک عبارتند از وزن واحد حجم ماسه، درصد لاستیک، عرض لاستیک و نسبت طول به عرض تراشه لاستیک. مطابق تحقیق فوق بیشترین مقدار افزایش *CBR* در صورت تسلیح خاک با استفاده از تراشه لاستیکهای فرسوده، در حدود ۸/۵ برابر حالت غیرمسلح بوده است. همچنین نتایج نشان داده است که تأثیر بهینه‌سازی ابعاد تراشه لاستیکها دارای تأثیر بیشتری بر روی مخلوطهایی با تراکم کمتر می‌باشند.

وون و همکاران [۳]، با آزمایشهای بارگذاری صفحه بر روی ماسه مسلح‌شده با ترکیبی از کف و کناره تایرها دریافتند که میزان نشست در اثر مسلح‌سازی با شبکه لاستیکهای فرسوده، در خاک ماسه‌ای سست بیش از ۷۰ درصد و در خاک ماسه‌ای متراکم، بیش از ۳۴ درصد کاهش به همراه خواهد شد، شکل (۱). همچنین نتایج نشان داد که ظرفیت باربری ماسه سست مسلح به خرده لاستیکها، بیش از دو برابر ظرفیت باربری ماسه سست بوده است. توصیه این محققین برای تأثیر کامل لاستیکهای فرسوده بر افزایش ظرفیت باربری و نیز کاهش نشست، مسلح کردن خاک با عرضی حداقل پنج برابر عرض صفحه بارگذاری توسط شبکه لاستیکها بوده است.



شکل (۱): *ترکیبی از کف و کناره تایرها جهت تشکیل شبکه تایر.*

هاتف و رحیمی [۴] با انجام تعدادی آزمایش بارگذاری صفحه، نقش خرده لاستیکهای فرسوده را در افزایش ظرفیت باربری مورد بررسی قرار دادند. پارامترهای اصلی مورد بررسی در این تحقیق، میزان ریزشدگی لاستیکها و نیز نسبت طول به عرض آنها بوده است. نتایج نشان داد که اضافه‌کردن خرده لاستیکها منجر به افزایش نسبت ظرفیت باربری از ۱۷ تا ۲۹۰ درصد بسته به میزان درصد خرده تایرها و نیز نسبت طول به عرض مربوطه می‌شود. بیشینه نسبت ظرفیت باربری در میزان ۴۰ درصد لاستیک و ابعاد ۱۲×۳ سانتیمتر به دست آمده است. نتایج این تحقیق نشاندهنده نسبت طول به عرض بهینه برابر ۴ بوده است که به ازای آن بیشترین ظرفیت باربری حاصل شده است. وون و همکاران [۳] با انجام آزمایشهای بارگذاری صفحه بر روی خاک مخلوط با محفظه لاستیک (به این منظور کف لاستیک را از خود لاستیک جدا کرده و به شکل هشت انگلیسی درآورده و با اتصال تعدادی از این اشکال، محفظه‌ای از لاستیکها را به وجود می‌آورند) و تأثیرات این سیستم را بر روی ظرفیت باربری و نشست مورد بررسی قرار دادند. مطالعات به صورت پارامتریک از تعداد پیچهای اتصال‌دهنده لاستیکها، دانسیته نسبی ماسه، عمق قرارگیری محفظه لاستیکها از زیر پی و نیز تعداد و عرض لایه‌های مسلح‌کننده انجام شد، شکل (۲).



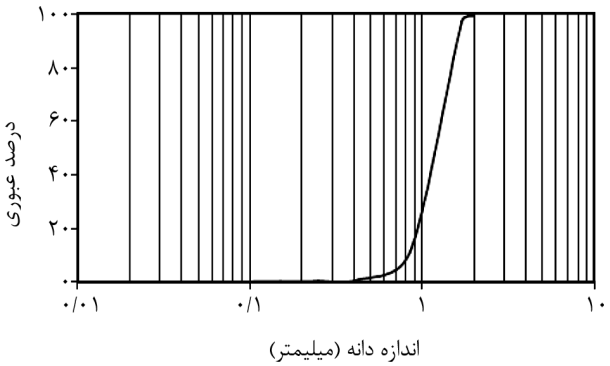
شکل (۲): *ترکیبی از کف تایرها جهت تشکیل محفظه‌ای از تایرها.*

نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب بود که در پایین‌ترین دانسیته نسبی ماسه، بیشترین مقدار ظرفیت باربری و کمترین مقدار نشست به دست می‌آید. وقتی عمق قرارگیری محفظه تایرها برابر عرض صفحه بارگذاری باشد، بیشترین مقدار ظرفیت باربری حاصل می‌گردد. همچنین در اولین لایه مسلح، بیشترین تأثیر بر روی ظرفیت باربری مشاهده گردید و در تعداد بیشتر لایه‌ها، این افزایش ناچیز بوده است [۵].

۳- خصوصیات مصالح

۳-۱- ماسه

در تحقیق حاضر، مصالح به طور نسبی از ماسه یکنواخت انتخاب شده و از دو وزن مخصوص ۱۵/۵ و ۱۶/۸ کیلونیوتن بر متر مکعب برای ماسه استفاده شده است. منحنی دانه-بندی و خصوصیات مهندسی ماسه مورد استفاده در شکل (۳) و جدول (۱) ارائه شده است.



شکل (۳): *منحنی توزیع دانه‌بندی ماسه.*

جدول (۱): *مشخصات ماسه.*

پارامتر	مقدار (میلیمتر)
اندازه مؤثر	۰/۸۳
$D_{۳۰}$	۱/۱
اندازه میانگین	۱/۴
$D_{۶۰}$	۱/۵
ضریب یکنواختی (C_u)	۱/۸۱
ضریب انحناء (C_c)	۰/۸۳

۳-۲- لاستیک

در این مطالعه، لاستیکهای خرد شده با اشکال مستطیلی و عرضهای ۲، ۳ و ۴ سانتیمتر و نیز به ترتیب نسبتهای طول به عرض بهینه ۵، ۴ و ۲ مورد استفاده قرار گرفته‌اند، که پارامترهای مقاومت برشی در تحلیل‌ها از نتایج آزمایش برش مستقیم [۱] استفاده شده و در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین در این تحقیق از ۳ درصد حجمی ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد لاستیک برای مسلح کردن خاک ماسه‌ای استفاده شده است.

۴- روش انجام مطالعات پارامتریک و پارامترهای مورد استفاده جهت انجام آنالیز عددی

در این مطالعه، تحلیل‌های اجزای محدود دو بعدی توسط نرم‌افزار المان محدود *PLAXIS* بر روی پی نواری به عرض یک متر و مستقر بر روی لایه ماسه و با ضخامتهای مختلف مخلوط لاستیک و ماسه و تحت اثر بار ۱۰۰ کیلونیوتن، به منظور بررسی تأثیرات تسلیح ماسه توسط لاستیکهای فرسوده بر روی نشست پی تحت شتابهای افقی مختلف زلزله ناشی از تحلیل‌های شبه‌استاتیکی انجام شده است. مدل رفتاری خاک، موهر- کولمب و برای پی از مدل رفتاری الاستیک خطی استفاده شده است. جهت انجام تحلیل‌ها، از المانهای مثلثی پانزده گرهی برای خاک و از المانهای پنج گرهی برای پی استفاده شده است. همچنین جهت مدلسازی پی نواری، المان *plate* مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در مدلسازی، مخلوط همگن ماسه و لاستیک به عنوان یک مصالح و با مشخصات به دست آمده از آزمایشهای آزمایشگاهی در نظر

گرفته شده است.

مشخصات پی در نظر گرفته شده در مدل در جدول (۲) و مشخصات و خصوصیات مخلوط ماسه و تراشه لاستیکهای فرسوده مورد استفاده در تحقیق، در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۲): *مشخصات پی مورد استفاده در مدل.*

مدل رفتاری	EI (کیلونیوتن مترمربع/متر)	EA (کیلونیوتن/متر)
الاستیک خطی	۶۵۸۰۰۰	۷۹۰۰۰۰۰

جدول (۳): *مشخصات ماسه خالص و ماسه مسلح به لاستیکهای فرسوده [۱].*

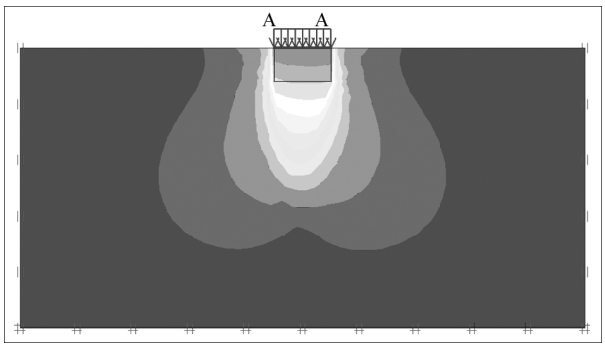
نام مصالح	وزن مخصوص (کیلونیوتن بر متر مکعب)	زاویه اصطکاک (درجه)	چسبندگی (کیلوپاسکال)	مدول الاستیسیته (کیلوپاسکال)
ماسه سست خالص	۱۵/۵	۳۱	۰	۱۵۰۰۰
ماسه سست + ۱۵ درصد لاستیک	۱۵/۵	۴۸	۱۵	۱۶۰۰۰
ماسه سست + ۳۰ درصد لاستیک	۱۵/۵	۵۲	۲۴	۱۷۵۰۰
ماسه سست + ۵۰ درصد لاستیک	۱۵/۵	۵۹	۳۱	۱۹۰۰۰
ماسه متراکم خالص	۱۶/۸	۴۱	۰	۴۰۰۰۰
ماسه متراکم + ۱۵ درصد لاستیک	۱۶/۸	۵۶	۱۹	۳۷۵۰۰
ماسه متراکم + ۳۰ درصد لاستیک	۱۶/۸	۶۱	۳۱	۳۵۰۰۰
ماسه متراکم + ۵۰ درصد لاستیک	۱۶/۸	۶۶	۴۳	۳۲۰۰۰

۵- نتایج

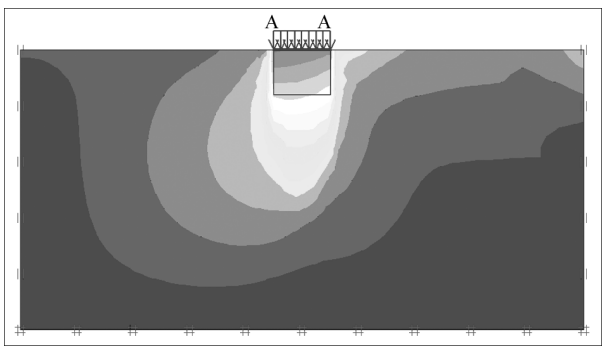
تحلیل‌ها در سه بخش انجام شده است. ابتدا تأثیر بارگذاری شبه‌استاتیکی بر روی حباب تنش تحت تأثیر بارها و شتابهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بررسی بعدی، ماسه به صورت خالص تحت شتابهای افقی مختلف زلزله قرار گرفته و در انتها ضخامتهای مختلف از مخلوط خرده لاستیک و ماسه استفاده شده و تحلیل‌های شبه‌استاتیکی انجام شده است. در نهایت، نتایج به دست آمده با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته و به بررسی تأثیر شتاب زلزله بر روی نشست و نیز تأثیر درصدهای مختلف لاستیک بر روی نشست پرداخته شده است. لازم به ذکر است ضخامت لایه ماسه مسلح، در حالت بدون بعد (U/B) مورد استفاده قرار گرفته که در آن U برابر ضخامت لایه مسلح و B برابر عرض پی می‌باشد.

۵-۱- بررسی تأثیر بارگذاری شبه‌استاتیکی بر روی حباب تنش زیر پی

۱. در حالتی که بار استاتیکی به مدل اعمال می‌شود، حباب تنش به وجود آمده در زیر پی، شکل (۲)، به صورت لایه لایه و مرتب می‌باشد؛ به طوری که با افزایش عمق خاک، مقادیر تنش ناشی از اعمال بار کاهش می‌یابد. ولی زمانی که بار شبه‌استاتیکی و شتابهای افقی مختلف زلزله به مدل اعمال می‌شود، نیروی شبه‌استاتیکی در خلاف شتاب به وجود می‌آید و حباب تنش را از حالت موجود در شکل (۴) تغییر داده و آن را به سمت اعمال نیروی شبه‌استاتیکی (خلاف جهت شتاب) مطابق شکل (۵) سوق می‌دهد.



شکل (۴): *حباب تنش زیر پی در حالت اعمال بار استاتیکی.*



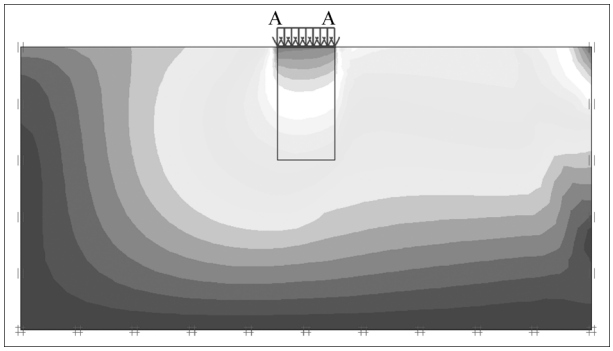
شکل (۵): *حباب تنش زیر پی در حالت اعمال بارگذاری شبه‌استاتیکی.*

۲. هر چه بار وارده به پی مستقر بر خاک مسلح به تراشه‌های لاستیک بیشتر باشد، تأثیر شتاب افقی زلزله و همچنین جابه‌جایی و بی‌نظمی به وجود آمده در حباب تنش زیر پی کمتر می‌شود. مقایسه نتایج ارائه شده در شکلهای (۵) و (۶) نشان می‌دهد در حالتی که بار ۱۰۰ کیلونیوتن و شتاب $0/3g$ به مدل اعمال می‌شود، لایه‌های تنش به حالت نواری در آمده است، ولی در حالتی که بار ۳۰۰ کیلونیوتن و شتاب $0/3g$ به مدل اعمال می‌شود، حباب تنش نسبت به بارگذاری استاتیکی، شکل (۵)، تغییرات کمی دارد.

۵-۲- بررسی تأثیر شتاب زلزله بر روی نشست

در بخش اول، نتایج به‌دست آمده ناشی از تحلیل‌های شبه‌استاتیکی انجام شده بر روی ماسه سست (وزن مخصوص ۱۵/۵ کیلونیوتن بر مترمکعب) در شتابهای $0/1g$ تا $0/3g$ و تحت درصدها و ضخامتهای مختلف لایه مسلح در جدولهای (۴) الی (۶) ارائه می‌گردد.

در بخش بعدی، نتایج به‌دست آمده ناشی از تحلیل‌های شبه‌استاتیکی انجام شده بر روی ماسه متراکم (وزن مخصوص ۱۶/۸ کیلونیوتن بر مترمکعب) در شتابهای $0/1g$تا $0/3g$و تحت درصدها و ضخامتهای مختلف لایه مسلح در جداول (۷) الی (۹) ارائه می‌گردد.



شکل (۶): *تأثیر میزان بار وارده بر حباب تنش زیر پی.*

جدول (۴): *نتایج تحلیل‌های شبه استاتیکی بر روی ماسه سست مسلح شده با ۱۵ درصد لاستیک.*

	مقادیر نشست در ضخامتهای مختلف لاستیک (U/B) بر حسب سانتیمتر						
میزان شتاب	غیرمسلح	۰/۵	۱	۱/۵۰	۲	۲/۵۰	۳
۰	۲/۹۳	۲/۴۳	۲/۳۱	۲/۲۴	۲/۰۵	۱/۹۴	۱/۸۶
$0/1g$	۳/۰۹	۲/۴۶	۲/۳۵	۲/۲۷	۲/۱۰	۲	۱/۹۰
$0/2g$	-	۲/۵۲	۲/۴۲	۲/۳۴	۲/۱۶	۲/۰۷	۱/۹۸
$0/3g$	-	۲/۶۳	۲/۵۱	۲/۴۲	۲/۲۶	۲/۱۸	۲/۱۰

جدول (۵): *نتایج تحلیل‌های شبه‌استاتیکی بر روی ماسه سست مسلح شده با ۳۰ درصد لاستیک.*

	مقادیر نشست در ضخامتهای مختلف لاستیک (U/B) بر حسب سانتیمتر						
میزان شتاب	غیرمسلح	۰/۵	۱	۱/۵۰	۲	۲/۵۰	۳
۰	۲/۹۳	۲/۴۱	۲/۲۶	۲/۱۷	۱/۹۹	۱/۸۵	۱/۷۶
$0/1g$	۳/۰۹	۲/۴۳	۲/۳۰	۲/۲۱	۲/۰۲	۱/۹۱	۱/۸۱
$0/2g$	-	۲/۴۹	۲/۳۷	۲/۲۸	۲/۰۸	۱/۹۸	۱/۸۸
$0/3g$	-	۲/۵۹	۲/۴۶	۲/۳۷	۲/۱۸	۲/۰۹	۲

جدول (۶): *نتایج تحلیل‌های شبه‌استاتیکی بر روی ماسه سست مسلح شده با ۵۰ درصد لاستیک.*

	مقادیر نشست در ضخامتهای مختلف لاستیک (U/B) بر حسب سانتیمتر						
میزان شتاب	غیرمسلح	۰/۵	۱	۱/۵۰	۲	۲/۵۰	۳
۰	۲/۹۳	۲/۳۸	۲/۲۲	۲/۱۲	۱/۹۰	۱/۷۷	۱/۶۷
۰/۱g	۳/۰۹	۲/۴۰	۲/۲۶	۲/۱۶	۱/۹۵	۱/۸۳	۱/۷۲
۰/۲g	-	۲/۴۶	۲/۳۲	۲/۲۹	۲/۰۲	۱/۹۰	۱/۸۰
۰/۳g	-	۲/۵۷	۲/۴۲	۲/۳۹	۲/۱۱	۲/۰۲	۱/۹۱

جدول (۷): *نتایج تحلیل‌های شبه‌استاتیکی بر روی ماسه متراکم مسلح شده با ۱۵ درصد لاستیک.*

	مقادیر نشست در ضخامتهای مختلف لاستیک (U/B) بر حسب سانتیمتر						
میزان شتاب	غیرمسلح	۰/۵	۱	۱/۵۰	۲	۲/۵۰	۳
۰	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۸
۰/۱g	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۶۰
۰/۲g	۰/۵۷	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۱
۰/۳g	۰/۶۰	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۳

جدول (۸): *نتایج تحلیل‌های شبه‌استاتیکی بر روی ماسه متراکم مسلح شده با ۳۰ درصد لاستیک.*

	مقادیر نشست در ضخامتهای مختلف لاستیک (U/B) بر حسب سانتیمتر						
میزان شتاب	غیرمسلح	۰/۵	۱	۱/۵۰	۲	۲/۵۰	۳
۰	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۱
۰/۱g	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲
۰/۲g	۰/۵۷	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۳
۰/۳g	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۵

جدول (۹): *نتایج تحلیل‌های شبه‌استاتیکی بر روی ماسه متراکم مسلح شده با ۵۰ درصد لاستیک.*

	مقادیر نشست در ضخامتهای مختلف لاستیک (U/B) بر حسب سانتیمتر						
میزان شتاب	غیرمسلح	۰/۵	۱	۱/۵۰	۲	۲/۵۰	۳
۰	۰/۵۵	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۴
۰/۱g	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۶
۰/۲g	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۷
۰/۳g	۰/۶۰	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹

مطابق نتایج به دست آمده ناشی از تحلیل‌های شبه-استاتیکی انجام شده بر روی مخلوط سست و متراکم، موارد زیر قابل استنباط می‌باشد:

۱. در ماسه سست در حالت غیرمسلح، با مقایسه شرایط استاتیکی (بدون اثر شتاب) و حالتی که شتابی معادل ۰/۱g به مدل اعمال می‌شود، به مقدار حدود ۶ درصد افزایش نشست مشاهده می‌شود. حال آنکه اگر خاک زیر پی تا ضخامت ۰/۵B از مخلوط ماسه سست و تراشه لاستیک مسلح گردد، میزان تغییرات در نشست با اعمال شتابهای مختلف زلزله به مدل، در

نمونه‌هایی با ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد تراشه لاستیک به میزان کمتر از یک درصد کاهش می‌یابد که این نتیجه، تأثیر لاستیک بر مستهلک نمودن ارتعاشات را نشان می‌دهد.

۲. در حالتی که از ماسه متراکم استفاده می‌شود، تأثیر تسلیح بر روی کاهش نشست ناچیز بوده و عملاً اضافه نمودن تراشه‌های لاستیک جهت کاهش نشست در ماسه متراکم بی‌فایده خواهد بود. این مسأله می‌تواند به دلیل آن باشد که سختی خاک تراکم آن قدر کافی است تا در برابر بارهای وارده، نشست را تا حدود زیادی محدود نماید.

۳. با افزایش شتاب زلزله در مخلوط ماسه سست و لاستیک، مقدار نشست افزایش می‌یابد. این میزان افزایش، از حدود یک درصد افزایش در نشست در مقدار شتاب ۰/۱gتا حدود ۹ درصد افزایش در نشست در مقدار شتاب ۰/۳gخواهد بود.

۵-۳- بررسی تأثیر درصدهای مختلف تراشه‌های لاستیک بر روی نشست

در این حالت فرض بر آن است که شتاب افقی ثابتی به میزان ۰/۱g به نمونه وارد می‌شود و سپس تأثیر درصدها و ضخامتهای مختلف لاستیک بر روی نشست مورد بررسی قرار گرفته است.

۵-۳-۱- ماسه سست

نتایج تحلیل‌های انجام شده برای ماسه سست، در جدول (۱۰) ارائه شده است.

مطابق جدول (۱۰) نتایج زیر قابل استنباط است:

۱. در حالتی که از نمونه‌هایی با ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد تراشه لاستیک جهت مسلح‌سازی ماسه زیر پی استفاده می‌شود، مقدار نشستها در هنگامی که ضخامت لایه مسلح‌کننده زیر پی برابر ۰/۵B است، به ترتیب به میزان حدود ۲۰، ۲۱ و ۲۲ درصد نسبت به حالت غیرمسلح کاهش یافته است و این مقدار کاهش نشست، با افزایش ضخامت لایه مسلح‌کننده تا ۳B به ترتیب به میزان حدود ۵۸، ۶۷ و ۷۴ درصد رسیده است.

۲. بیشترین تأثیر بر روی کاهش نشست در حالتی که از ۱۵ درصد لاستیک در مخلوط با ماسه استفاده می‌شود، رخ می‌دهد، حال آنکه تغییرات در کاهش نشست در حالتی که از نمونه‌های۳۰ و ۵۰ درصد تراشه لاستیک استفاده شود نسبت به حالتی که از ۱۵ درصد تراشه لاستیک استفاده شود، اندک است.

جدول (۱۰): *تأثیر درصد لاستیک و نسبت ضخامت بر روی مقادیر نشست در حالت ماسه سست.*

a = ۰/۱g			
U/B	مقدار نشست در مخلوط ماسه + ۱۵ درصد لاستیک	مقدار نشست در مخلوط ماسه + ۳۰ درصد لاستیک	مقدار نشست در مخلوط ماسه + ۵۰ درصد لاستیک
۰	۳/۰۹	۳/۰۹	۳/۰۹
۰/۵	۲/۴۵	۲/۴۳	۲/۴۰
۱	۲/۳۵	۲/۳۰	۲/۲۶
۱/۵۰	۲/۲۷	۲/۲۱	۲/۱۶
۲	۲/۱۰	۲/۰۲	۱/۹۵
۲/۵۰	۲	۱/۹۱	۱/۸۴
۳	۱/۹۱	۱/۸۱	۱/۷۲

۵-۳-۲- ماسه متراکم

در حالتی که از درصدهای مختلف لاستیک جهت مسلح-سازی ماسه متراکم استفاده می‌شود، میزان تغییرات در نشست نسبت به یکدیگر و همچنین نسبت به حالت غیرمسلح، ناچیز می‌باشد. این مطلب نشاندهنده عدم تأثیر استفاده از لاستیک در تسلیح ماسه متراکم جهت کاهش نشست می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده در این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱. با افزایش ضخامت لایه مسلح به تراشه لاستیکهای فرسوده، تأثیر بارگذاری شبه‌استاتیکی بر روی حباب تنش کاهش می‌یابد.

۲. با افزایش درصد لاستیک، میزان نشست کاهش می‌یابد. این میزان کاهش نشست از حدود۲۰ تا ۷۴ درصد بسته به درصدها و ضخامتهای مختلف لاستیک بوده است.

۳. استفاده از ۱۵ درصد لاستیک، افزایش چشمگیری در کاهش نشست پی تحت بارهای شبه‌استاتیکی داشته در صورتی که این میزان کاهش نشست، در درصدهای ۳۰ و ۵۰ درصد نسبت به ۱۵ درصد لاستیک، چندان چشمگیر نبوده است.

۴. هرچه میزان شتابهای افقی ناشی از زلزله افزایش یابد، مقادیر نشست نیز افزایش می‌یابد.

۵. با افزایش درصد لاستیک فرسوده و همچنین افزایش ضخامت لایه مسلح‌کننده، میزان نشستها نسبت به حالت ماسه خالص کاهش می‌یابد و دلیل آن میرایی بالای لاستیک می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد استفاده از لاستیکهای فرسوده در زیر پی ساختمانها، علاوه بر کمک به حل مشکل بازیافت این مصالح و حل مسائل زیست محیطی مرتبط با آن با هزینه بسیار پایین، از سویی باعث تسلیح خاک زیر پی و از سوی دیگر سبب کاهش نشست پی ساختمانها می‌گردد. همچنین نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب است که استفاده از خرده تایرهای فرسوده در زیر پی سبب به وجود آمدن سیستم جداکننده بین سازه و خاک می‌گردد، به طوری که باعث کاهش نشستهای پی تحت بارهای ناشی از زلزله شده است.

۷– مراجع

1. Ghazavi, M. and Amel Sakhi, M. (2002). Shear strength parameters of sand reinforced with waste tire shreds, *First Ground Improvement Conf.*, Iran, Amir Kabir University.

2. Ghazavi, M. and Amel Sakhi, M. (2002). Behaviour of sand reinforced with waste tire shreds using CBR test, *First Ground Improvement Conf.*, Iran, Amir Kabir University.

3. Woon, Y., Cheon, S., and Kang, D. (2004). Bearing capacity and settlement of tire reinforced sands, *Geotextiles and Geomembranes*, **22**, 439-453.

4. Hataf, N. and Rahimi, M.M. (2006). Experimental investigation of bearing capacity of sand reinforced with randomly distributed tire shreds, *Construction and Building Materials*, **20**, 910-916.

5. Woon, Y., Heo, S., and Kim, K. (2008). Geotechnical performence of waste tires for soil reinforcement from Chamber tests, *Geotextiles and Geomembranes*, **26**, 100-107.

۸– پانوشت

۱- *California Bearing Ratio (CBR)*