Archive of SID

خواص میرایی ماسه لای دار مسلح شده با الیاف موکت

علیرضا طبرسا[i]*؛حسین غیاثیان[ii]؛ حبیب شاه نظری[iii]؛ علی شفیعی[iv]؛ رضا جمشیدی چناری[v]

چکیده

خاک مسلح شده با الیاف، به عنوان یک ماده مرکب عمل می‌کند به طوریکه الیافهای قرار گرفته شده در آن از مقاومت کششی بالایی برخوردار می‌باشد. تنشهای برشی ایجاد شده درخاک ناشی از بسیج مقاومت کششی الیافها بوده بطوریکه باعث افزایش مقاومت خاک می‌گردد. این مقاله به مطالعه و بررسی تاثیر الیافهای مصنوعی در اصلاح خواص مقاومت دینامیکی یک خاک ماسه‌ای ریز می‌پردازد. از اهداف این طرح می‌توان به تبدیل مواد اضافی موکت به فراورده با ارزش افزوده در تسلیح خاک نیز اشاره نمود. بدین منظور یک سری آزمایشهای سه محوری سیکلی کنترل تنش بر روی نمونه های ماسه ریز مسلح شده به کمک الیاف با توزیع تصادفی انجام گردید. از خصوصیات تغییر شکل دینامیکی ماسه مسلح شده می‌توان به مدول برشی و نسبت میرایی اشاره نمود. در این آزمایشات تأثیر پارامترهایی نظیر میزان الیاف، نسبت اضلاع، تعداد سیکلهای بارگذاری و سطوح تنش همه جانبه بر روی نسبت میرایی بررسی گردیده است. نتایج به روشنی نشان می‌دهد که در اثر مسلح شدن نسبت میرایی نمونه های مسلح تحت تنشهای همه جانبه مختلف افزایش می‌یابد. این روند افزایش در مقادیر بالای درصد وزنی و نسبت اضلاع الیاف به خوبی دیده می‌شود.

کلمات کلیدی : نسبت میرایی، تسلیح، الیاف موکت، سه محوری سیکلی

Damping Characteristics of Silty Sand Reinforced With Carpet Waste Strips

H. Ghiassian; H. Shahnazari; A. Shafiee; A. R. Tabarsa; R. Jamshidi C

ABSTRACT

A fiber reinforced soil behaves as a composite material in which fibers of relatively high tensile strength are embedded in a matrix of soil. Shear stresses in the soil mobilize tensile resistance in the fibers, which in turn imparts greater strength to the soil. In this paper a study on the influence of synthetic fibrous materials in improving the dynamic strength characteristics of a fine sandy soil is reported. The study is aimed at converting fibrous carpet waste into a value-added product for soil reinforcement. A series of stress controlled cyclic triaxial tests were carried out on fine sand specimens reinforced with randomly distributed carpet strips. The dynamic deformation properties of the reinforced sand are defined in terms of shear modulus and damping ratio. The effects of parameters such as fiber content and aspect ratio, number of cyclic loading and the level of confining pressure on the aforesaid parameters were investigated. The results clearly indicate the increase of damping ratio of reinforced samples in different confining pressure. The increase is more pronounced in higher fiber contents and aspect ratios.

KEYWORDS : Damping Ratio; Reinforcement; Carpet Fibers; Cyclic Triaxial

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۸٦/۷/۱۰

تاریخ اصلاحات مقاله:۱۳۸۷/۱۱/۲۱

[i]* نویسنده مسئول و استادیار دانشگاه گلستان- دانشکده فنی و مهندسی Email: artabarsa56@yahoo.com

[ii] دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکده مهندسی عمران: Email: hossghia@iust.ac.ir

[iii] استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکده مهندسی عمران: Email: hshahnazari@iust.ac.ir

[iv] استادیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله Email: shafieea@iiees.ac.ir

[v] استادیار دانشگاه گیلان- دانشکده فنی Email: jamshidi-reza@iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

استفاده ار عناصر کمکی در تقویت و اصلاح خاک از زمانهای گذشته مورد توجه بشر بوده بطوریکه با پیدایش مصالح جدید و نیاز انسان به سازه‌هایی نظیر فرودگاه، بزرگراه، محلهای دفن زباله و سدهای خاکی موجب گردیده تا زمینه و بستر مناسبی برای کشف روشهای نوین در علم مهندسی ژئوتکنیک پدید آید. در این ارتباط روشهای بهسازی و اصلاح خواص مهندسی خاک و پیرو آن تئوری خاک مسلح و روشهای مرتبط با آن از اهمیت شایانی برخوردار می‌باشد. کارایی و توانایی دانش خاک مسلح در ارائه راهکارهای عملی مناسب در پروژه های مختلف عمرانی موجب گردیده تا این دانش به سرعت جای خود را در علم مهندسی ژئوتکنیک باز نماید.

به طور کلی عناصر مسلح کننده خاک به دو طریق منظم مشتمل بر صفحات مشبک، لایه‌های تنیده و تسمه‌های نواری قرار گرفته در محل‌ها و جهات خاص و یا به صورت تصادفی شامل مخلوط الیاف و تریشه‌های کوچک توزیع شده در داخل خاک به کار می‌روند. در دهه ۷۰ میلادی، پژوهشهای مختلفی در خصوص موضوع گفته شده از سوی دانشمندان مختلف صورت گرفت. محور اصلی این مطالعات بر پایه استفاده از المانهای ممتد و جهت‌دار در تقویت و تسلیح خاک بود.

ایده اختلاط خاک با الیاف نیز از اوایل همین دهه شروع شد بطوریکه استفاده از الیاف توزیع شده تصادفی در تسلیح خاک (Randomly Distributed Fiber Reinforcement) موضوع پژوهش محققین مختلفی قرار گرفت. نتایج تمامی مطالعات نشان داد که تسلیح خاک با افزودن الیافهای مختلف، باعث افزایش مقاومت و ظرفیت باربری خاک شده که این مهم در نتایج مطالعات استاتیکی Lee et al. [۱]،[۲] Gray and Ohashi، Maher and Gray [۴]،Gray and Rafeai [۳]، Wang el al. [۵] ، Ghiassian et al. [۶] گزارش شده است.

رفتار دینامیکی خاکها و سازوکار بارگذاری سیکلی ناشی از امواج زلزله در موارد متعددی از پروژه های مهندسی اعم از بستر بزرگراهها، دیوارهای حائل، خاکریزها و ... از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند. در این زمینه، نتایج مطالعات Boominathan et al. [۷]، Krishnaswamy and Isaac [۸] Vercueil et al. [۹] بر روی رفتار دینامیکی خاکهای مسلح شده با المانهای صفحه ای به کمک آزمایشهای آزمایشگاهی حاکی از نقش موثر تسلیح در افزایش مقاومت روانگرایی بوده است. بررسی های انجام شده نشان می‌دهد مطالعات آزمایشگاهی اندکی در خصوص رفتار دینامیکی خاکهای مسلح شده به کمک الیاف با توزیع تصادفی انجام گردیده است. در این راستا می توان به پژوهشهای Noorany and Uzdavines [۱۰]، Maher and Woods [۱۱]، Feng and Sutter [۱۲]، Li and Ding [۱۳]، Boominthan and Hari [۱۴]، اشاره نمود.

Noorany and Uzdavines تاثیر افزودن الیاف ژئوسنتتیک توزیع شده تصادفی بر روی مقاومت روانگرایی ماسه اشباع با کمک آزمایشهای سه محوری سیکلی زهکشی نشده را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که افزودن الیاف باعث افزایش مقاومت روانگرایی شده به طوریکه در یک نسبت تنش سیکلی ثابت، ماسه مسلح شده تعداد سیکلهای بیشتری نسبت به ماسه معمولی تحمل می‌کند.

در مطالعات Maher and Woods در خصوص رفتار دینامیکی ماسه مسلح شده با الیاف توزیع شده تصادفی اثر پارامترهایی از قبیل دامنه کرنش برشی، تنش همه جانبه، پیش کرنش یافتگی سیکلی، تعداد سیکلهای آزمایش، مقدار، جهت و نسبت بعد الیاف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. نتایج آنها نشان داد که تسلیح باعث افزایش مقادیر مدول برشی، نسبت میرایی و مقاومت روانگرایی نمونه ها می‌گردد.

نتایج مطالعات Feng and Sutter نیز نشان داد که با افزایش درصد حجمی خرده های لاستیک، در یک تنش همه جانبه ثابت مقادیر مدول برشی و نسبت میرایی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند.

نتایج آزمایشهای سه محوری سیکلی انجام شده بر روی نمونه های خاک مسلح شده با الیاف توسط Li and Ding منجر به ارائه یک تابع هیپربولیک متشکل از مستقلهای تنش و کرنش تحت بارگذاری سیکلی گردید که با نتایج حاصل از آزمایش، هم پوشانی و برابری خوبی نشان می‌دهد.

همچنین تحقیقات Boominathan and Hari نشان داد که با افزودن الیاف و المانهای شبکه ژئوسنتتیک توزیع شده تصادفی مقاومت روانگرایی خاکستر آتشفشانی افزایش می‌یابد.

گفتنی است که دامنه تنش هنگام عبور از درون پوسته زمین کاهش پیدا می کند و این کاهش را می‌توان به زائل کنندگی مصالح (به دلیل خاصیت جذب انرژی توسط مصالح) و یا زائل کنندگی شعاعی (به علت توزیع انرژی در یک حجم بزرگتری از مصالح) نسبت داد. در این راستا می‌توان به ارتعاشات مفرط پی هایی نظیر پی ماشین آلات نیز اشاره نمود که ممکن است به طور نامطلوب کیفیت کارخود و همچنین ماشینها و سازه های مجاور خود را در اثر انتقال انرژی مربوط به انتشار امواج تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به موارد یاد شده، کاهش دامنه

www.SID.ir

Archive of SID

ارتعاشات و ضریب بزرگنمایی با به کارگیری سیستمهای جاذب ارتعاش در زیر پی ها و یا افزایش قابلیت استهلاک و میرا نمودن انرژی عبوری توسط ذرات خاک (ناشی از سازوکارهای مختلفی همچون اصطکاک، تولید گرما و جاری شدن پلاستیک) می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب در کاهش خطرات احتمالی ناشی از اعمال بارهای دینامیکی بیانجامد. گفتنی است برای اغلب خاکها و سازه ها، انرژی به صورت هیسترتیس یعنی بوسیله کرنش جاری شدن و لغزش ذرات نسبت به یکدیگر تلف می‌شود. در این راستا با توجه به اهمیت ظرفیت میرایی خاکها در خصوص استهلاک بیشتر انرژی برشی ناشی از زلزله، این تحقیق انجام می‌گردد.

۲- مصالح

۲-۱- خاک

خاک مورد استفاده در این تحقیق، ماسه ریزدانهٔ لای دار با چگـــالی ویژه ۲/۶۹، قطر متوسط دانـــه‌های (D_{50}) برابر با ۰/۲۶ میلیمتر و بدون خاصیت پلاستیسیته می‌باشد. بر اسـاس طبـقه بندی متحد این خاک در گروه خاکهای SM قرار می‌گیرد.

۲-۲- المان تسلیح

المان مورد استفاده درتسلیح، تریشه های کوتاه و نازکی می‌باشند که از برش دادن و قیچی کردن نوارهـــای زائد موکت تهیه گردیده است. این تریشه ها ازجنس پلی اتیلن و پلی پروپیلن (مواد سازنده ژئوتکستایلها) بوده که مقـــاومت کششی بیشینه و مـــدول کشسانی اولیه آن به ترتیب برابر ۸۰۰ و ۷۳۰ کیلو پاســکال می‌باشند.([۱۵] Poorebrahim) مقـطع تریشـــه ها مربعی به ضـــلع ۵ میلیمتر (ضخـــامت الیاف) و طـــول آنها ۵ و ۱۵ میلیمتر بوده که با مقادیر وزنی ۰/۵ و۱ درصـد با خاک مخلوط گردیده و مورد آزمایش قرار گرفته اند.

۳- چگونگی تاثیر المانهای تسلیح بر روی رفتار خاک

یکی از عوامل مهم در رفتار ماسه مسلح، اندرکنش بین ذرات ریز ماسه و الیاف تسلیح می‌باشد. بدیهی است که این مهم نه تنها تابعی از زبری و نسبت اضلاع الیاف بوده بلکه به اندازه نسبی ذرات ماسه و الیاف هم بستگی دارد. در این راستا نتایج مطالعات [۱۶] .Michalowski et al نشان دادند که تحت شرایط یکسان آزمایش نمونه های مسلح شده با الیافهای بلندتر نسبت به سایر نمونه ها از مقاومت برشی بالاتری برخوردار می‌باشند. همچنین سختی اولیه نمونه ها متاثر از سختی و زبری سطح الیاف می‌باشد. اندرکنش بین ذرات ماسه و الیاف بیشتر از نوع اصطکاکی بوده و هنگامی که طول الیاف در مقایسه با اندازه ذرات بزرگ باشد، تاثیر آن در نتایج زیاد می‌باشد. از عوامل موثر بر اندرکنش ذرات ماسه و الیاف می‌توان به تمایل نمونه به تغییر حجم، تراکم، اندازه ذرات، شکل و زبری سطح ذرات الیاف، درجه اشباع، شرایط زهکشی و نرخ بارگذاری اشاره نمود ([۱۷] Li).

در یک مخلوط خاک و الیاف، سازوکار عمل انتقال تنشها بین ذرات خاک و رشته های الیاف مبتنی بر پدیده اندرکنش بین آنها می‌باشد با این توضیح که مثلا تنشهای فشاری از یکطرف باعث تغییر شکل المانهای محیط (ذرات خاک و رشته‌های الیـــاف) گردیده و از طرف دیگر عامل اصطکاک موجب می‌گردد تا در فصـــل مشترک رشته های الیاف و ذرات خـــاک تنش های برشی بسیج گـردند. عکس العمل این تنشها موجب ایجاد نیروهای کششی در رشته‌های الیـــاف گردیده و باعث می شود تا رشته های الیاف با ذرات خـــاک درگیر شوند. اندرکنش این دو پدیده موجب افزایش مقاومت برشی، خاصیت کشسانی و شکل‌پذیری مخلوط می‌گردد. در این راستا می‌توان اظهار نمود که در محیط خاک و الیاف، تنشهای مقاوم برشی و فشاری ناشی از ذرات خـاک و مقاومت کششی محیط مربوط به رشـته‌های الـیاف بوده و ترکـیب این تـنشها مقـاومت و شکل پذیری نمونه ها را بهبود می‌بخشد. در اثر پدیده برش و تشکیل ناحیه برشی، امتداد الیافی که این ناحیه را قطع می‌نماید تغییر یافته و در نتیجه تحت کشش قرار می‌گیرد. نیروی کششی بسیج شده در الیاف دارای دو مولفه عمود بر سطح و مماس بر آن می‌باشد. مولفه عمود بر سطح موجب افزایش تنش نرمال و در نتیجه افزایش مقاومت اصطکاکی بین دانه‌ها در سطح برش می‌گردد و مولفه مماسی بطور مستقیم از لغزش ممانعت کرده و در نتیجه مقاومت برشی را افزایش می‌دهد. حضور الیـــاف در خـــاک معـیار گسیختگی و امتداد سطوح لغزش را تغییر داده و عرض ناحیه برشی را افزایش می‌دهد. افزایش مقاومت خاک در اثر افزودن الیاف تابعی از درصد وزنی، نسبت اضلاع الیاف، زاویه اصطکاک بین خاک و الیاف، زاویه اصطکاک داخلی خاک، تنش همه جانبه، وضعیت سطح برش، شرایط آزمایشگاهی و سایر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک و الیاف می‌باشد.

٤- اندرکنش بین ذرات ماسه و الیاف موکت مورد استفاده

در این تحقیق، هدف بررسی رفتار دینامیکی ماسه مسلح شده با تریشه های موکت بوده که این مهم در راستای ادامه

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعات استاتیکی قبلی انجام شده است. بدین منظور اثر عواملی همچون درصد وزنی، طول المان تسلیح و تنشهای همه جانبه مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. این بدان معناست که به منظور امکان مقایسه با نتایج یافته های قبلی، اندازه ذرات ماسه مورد آزمایش و قطر تریشه های مورد استفاده ثابت نگه داشته شده است. همچنین گفتنی است که تریشه های مورد استفاده در این تحقیق به صورت مجموعه ای از الیافهایی با قطر بسیار کم بوده که این خود باعث تخلخل ذاتی المان مسلح کننده می‌شود و این در حالی است که اکثر مطالعات انجام شده در خصوص رفتارهای استاتیکی و دینامیکی خاک مسلح با کمک الیافهای تک رشته ای بوده است. در این زمینه به منظور تاثیر اندرکنش بین ذرات ماسه و الیاف، نیاز به مطالعات تکمیلی با در نظر گرفتن عواملی همچون دانه بندی خاک، جنس و ضخامت الیاف، دانسیته نمونه ها، تعداد الیاف توزیع شده در سطح برش و تنشهای همه جانبه و ... می‌باشد که بررسی سازوکار اندرکنش ذرات ماسه و الیاف موضوع تحقیق جداگانه ای خواهد بود. هرچند که تاثیر اندرکنش دانه های ماسه با الیاف موکت تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است لیکن تا اندازه ای تاثیر نسبت قطر دانه های ماسه به قطر حفرات موکت بر مشخصات تغییر شکل دینامیکی خاک را برآورد نمود. از آن جایی که الیاف مورد استفاده در این تحقیق به صورت مجموعه هایی سه بعدی بوده اند. بنابراین سطح گسیختگی از محل تماس خاک با تریشه ها عبور می‌کند و این امر نشان می‌دهد که بین تریشه ها و دانه های ماسه نقش مهمی ایفا خواهد نمود. در یک نسبت وزنی ثابت با کاهش قطر دانه های ماسه دو پدیده می‌تواند رخ دهد:

اول اینکه به دلیل افزایش سطح مخصوص دانه های ماسه، مقاومت اصطکاکی در سطح تماس دانه ها با تریشه ها افزایش یافته و بنابراین مقاومت برشی و در پایان مدول برشی مختلط نیز افزایش می‌یابد و دوم آنکه اگر قطر دانه ها آن قدر کم باشد که دانه ها حفرات خالی تریشه ها را پر کنند آن گاه به دلیل افزایش سختی تریشه ها از خاصیت استهلاک آنها کاسته خواهد شد و انتظار می رود که میرایی مصالح کاهش یابد.

۵- آزمایش تراکم استاندارد

به منظور یافتن روش مناسب نمونه سازی و چگونگی تغییرات دانسیته در اثر سازوکار تسلیح، آزمایشهای تراکم استاندارد بر روی نمونه‌های معمولی و مسلح با میزان الیاف ۱ درصد و نسبت اضلاع ۱ و ۳ انجام گردید. نتایج آزمایش نشان میدهد که رطوبت بهینه خاک برابر با ۱۰٪ و وزن مخصوص خشک بیشینه آن ۱۶/۲ کیلو نیوتن بر متر مکعب می‌باشند. همچنین نتایج بیانگر آنست که افزودن الیاف باعث افزایش مقدار رطوبت بهینه و کاهش وزن مخصوص خشک ماکزیمم می شود. علت افزایش مقدار رطوبت بهینه را می‌توان در جذب آب بیشتر تریشه های موکت نسبت به خاک و علت کاهش مقدار وزن مخصوص خشک ماکزیمم را می‌توان در جایگزینی دانه های خاک با این تریشه ها که دارای چگالی کمتری نسبت به خاک می باشند جستجو نمود.

۶- آزمایشهای سه محوری سیکلی

به منظور بررسی رفتار دینامیکی ماسه ریز مسلح شده با الیاف موکت یک سری آزمایشات سه محوری سیکلی زهکشی نشده تحت شرایط کنترل تنش انجام گردید. هدف از انجام این سری آزمایشات مطالعه تاثیر پارامترهای درصد وزنی (w_f) و نسبت اضلاع رشته‌ها (A_R) بر منحنی تنش-کرنش سیکلی، مقاومت سیکلی، تغییرات فشار آب حفره ای، مدول برشی و نسبت میرایی در فشارهای همه جانبه مختلف می باشد. این آزمایشات روی نمونه هایی که حاوی صفر، ۰/۵و ۱ درصد الیاف با نسبتهای اضلاع ۱ و۳ بوده اند در فشارهای همه جانبه ۲۵، ۱۰۰، ۴۰۰ و ۷۰۰ کیلو پاسکال تحت شرایط اشباع و تحکیم یافته همسان در حالت زهکشی نشده انجام گردیده است. دستگاه مورد استفاده در این تحقیق دستگاه سه‌محوری موجود در آزمایشگاه مکانیک خاک پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله می باشد. مراحل انجام آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D 3999-91 و منطبق با روش بار سیکلی ثابت (Constant Cyclic Load) می‌باشد. بار قائم، تغییر شکل محوری، فشار آب حفره ای و تغییر حجم نمونه بوسیله حسگرهای مختلفی مورد سنجش قرار گرفته که در این ارتباط مقادیر اندازه گیری شده به صورت ولتاژ به تقویت کننده (Amplifier) منتقل گردیده و سپس توسط سیستم پردازشگر اطلاعات (Data Acquisition) ثبت می‌گردند.

۶-۱- نمونه سازی و روش انجام آزمایش

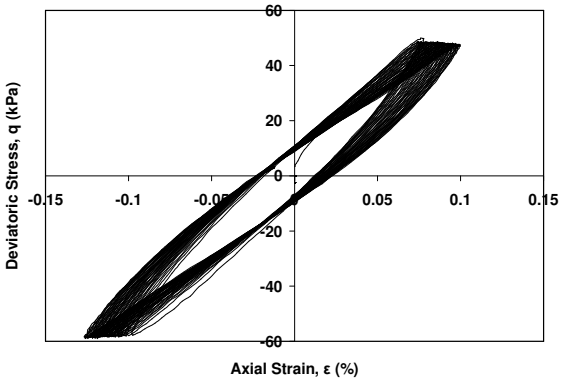
برای نمونه‌سازی در آزمایشگاه روشهای مختلفی از قبیل روش تراکم مرطوب (Wet or Moist Tamping)، بارش خشک(Air Pluviation)، روش رسوبگذاری در آب (Water Sedimentation) و روش تراکم کاهش یافته (Undercompaction) وجود دارد. در خاکهای مسلح از آنجایی که علاوه بر خاک، الیاف و تریشه‌های اضافه شده که نقش مسلح شدن را بازی می‌نمایند نیز وجود دارند و نمی‌توان آنها

www.SID.ir

Archive of SID

را به روشهای بارش خشک و یا رسوبگذاری در آب به صورت همگن و یکنواخت با ماسه مخلوط نمود بنابراین می‌توان از روشهای کوبش خشک و تر استفاده نمود. از آنجا که در این مطالعه کلیه مدلها در حالت اشباع تحت بارگذاری زلزله قرار گرفتند بنابراین از روش تراکم مرطوب برای آماده‌سازی مدلها استفاده گردید. مشکلی که در ارتباط با روش مدلسازی انجام شده در این آزمایشات وجود دارد آن است که با ریختن هر لایه و کوبش آن لایه پایینی کمی متراکمتر می‌گردد و در انتهای کار چگالی نمونه مدل ساخته شده با عمق متغیر می‌باشد و بنابراین مدل غیر همگن است. راه‌حلی که برای جلوگیری از این مشکل وجود دارد استفاده از روش تراکم کاهش‌یافته (Undercompaction) می‌باشد. در این راستا تعدادی نمونه آزمایشگاهی از ماسه معمولی و مسلح در یک قالب استوانه ای پلکسی گلاس ساخته شد. در این خصوص قالب اشاره شده مدرج شده و نمونه به صورت ۵ لایه هر یک به ارتفاع ۲/۸ سانتیمتر تحت دانسیته نسبی ماسه معادل ۵۰ درصد به روش تراکم مرطوب ساخته شد. به منظور بررسی اثر تسلیح در روش نمونه‌سازی، اقدام به تهیه نمونه هایی از ماسه معمولی و رنگی مسلح شده با الیاف موکت با نسبت ابعاد ۱ و ۳ و نیز مقدار وزنی ۰/۵ و ۱ درصد گردید. نتایج نشان می‌دهند که ضخامت لایه های زیرین در نمونه ماسه غیر مسلح بعد از اتمام آزمایش دستخوش تغییر شده به طوریکه ضخامت لایه های پنجم (لایه زیرین) و لایه چهارم و سوم به ترتیب ۲، ۱/۳ و ۰/۷ میلیمتر کاهش یافته که این مورد ناشی از اعمال انرژی تراکمی متوالی در اثر کوبش لایه‌های بالایی می‌باشد.

نتایج بدست آمده از نمونه‌های ماسه مسلح نشان داد که افزودن الیاف موکت به خاک ماسه‌ای مانع از تراکم بیشتر لایه های زیرین در اثر کوبش لایه‌های بالایی می‌شود به طوریکه کاهش ضخامت لایه های خاک در نمونه ماسه مسلح شده با درصد وزنی ۰/۵ و نسبت ابعاد ۱ در لایه های چهارم و سوم به ترتیب به میزان حدودا ۰/۸ و ۰/۲ میلیمتر دیده شد. علت این امر را می‌توان به جذب انرژی ناشی از کوبش توسط الیافهای موکت توزیع شده در بین لایه های خاک و جابجا نشدن انرژی به لایه های زیرین نسبت داد. در این زمینه همچنین دیده شد که با افزایش درصد وزنی تسلیح از ۰/۵ به ۱ و نیز نسبت ابعاد الیاف موکت از ۱ به ۳ به علت بالا رفتن قابلیت جذب انرژی توسط الیافهای موکت منجر به تغییرات ضخامت لایه های مختلف نمونه در اثر تراکم نشده و لایه ها در پایان آزمایش از یکنواختی خوبی برخوردار می باشند. بنابراین استفاده از روش تراکم کاهش یافته برای خاک ماسه‌ای مسلح شده با الیاف موکت ضرورتی نداشته و می‌توان از روش تراکم مرطوب در نمونه‌سازی استفاده نمود. با توجه به منحنی های تراکم، مقدار وزن مخصوص خشک ماسه نزدیک به ۱۴/۵۳ کیلو نیوتن بر متر مکعب در محدوده حداکثر تراکم بوده و قابل دسترسی برای ساخت نمونه ها می‌باشد. این وزن مخصوص که معادل تراکم ۵۰ درصد بوده و یک تراکم متوسط محسوب می‌شود برای ساخت کلیه نمونه ها انتخاب گردیده است. نمونه‌های مورد استفاده در این آزمـــایش از نوع استـوانه ای به قطر ۷۰ و ارتفاع ۱۴۰ میلیمتر بوده و با رطوبت بهینه ۱۰٪ و وزن مخصوص خشک ۱۴/۵۳ طی ۵ لایه با روش تراکم مرطوب در قالب مخصوص نمونه سازی دستگاه سه‌محوری تهیه شده‌اند. گفتنی است بعد از طی مراحل اشباع، نمونه ها تحت تنشهای تحکیمی همسان معادل ۲۵، ۱۰۰، ۴۰۰ و ۷۰۰ کیلو پاسکال تحت بارگذاری دینامیکی (سینوسی متقارن) کنترل تنش و فرکانس ۰/۵ هرتز به صورت چند مرحله ای قرار گرفتند. در طول هر مرحله شیرهای زهکشی بالا و پایین نمونه بسته شده و در شروع مرحله بعد شیرها باز شده تا فشار آب حفره ای ایجاد شده مستهلک گشته و سپس در طول مدت زمان مرحله بعدی، دوباره شیرهای زهکشی بسته و این عمل به تناوب انجام می‌گیرد (ASTM D 3999). بعد از اتمام آزمایش، نمونه ها وزن شده و با قرار دادن آن در داخل کوره رطوبت آنها تعیین می‌گردید. با توجه به موارد یافته شده می‌توان منحنی های فشار آب حفره ای بالا و پایین نمونه، تغییر مکان محوری، برشی، تنش انحرافی و مسیر تنش را ترسیم نمود. شکل ۱ نمونه ای از داده های آزمایش در مرحله دهم اعمال بار سیکلی بر روی نمونه ماسه مسلح شده با نسبت اضلاع ۱ و درصد وزنی ۰/۵ تحت تنش همه جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال را نمایش می‌دهد.



شکل (۱): منحنی های هیسترسیس تنش-کرنش محوری

($\sigma_3 = ۱۰۰kPa$, $A_R = ۱$, $w_f = \%\ ۰/۵$)

www.SID.ir

Archive of SID

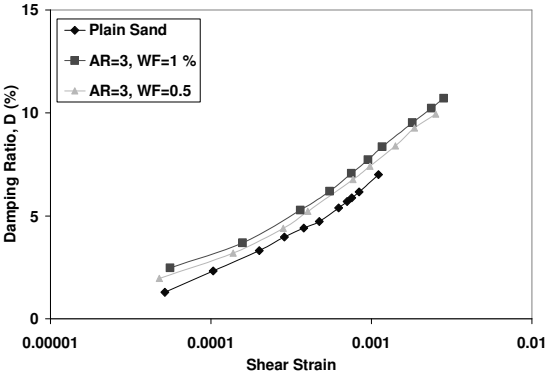
۶-۲- محاسبات نسبت میرایی

در پایان هر آزمایش، منحنی های هیسترسیس تنش – کرنش محوری (یا برشی) ترسیم گشته و آنگاه می‌توان اقدام به محاسبه نسبت میرایی نمود. گفتنی است در هر سیکل بارگذاری – باربرداری می‌توان پارامتر یاد شده را تعیین نمود. [۱۸] Ishihara سیکل دهم بارگذاری را به دلیل رسیدن به حالت تعادل و پایدار در منحنی تنش – کرنش برای محاسبه مدول برشی و نسبت میرایی سفارش نموده و لذا در این تحقیق نیز سیکل دهم بارگذاری معیار کلیه محاسبات انتخاب گردیده است. برای انجام محاسبات گفته شده از نرم افزار Matlab ۷ استفاده گردید.

۶-۳- نتایج آزمایش سه محوری سیکلی

تاثیر درصد وزنی الیاف

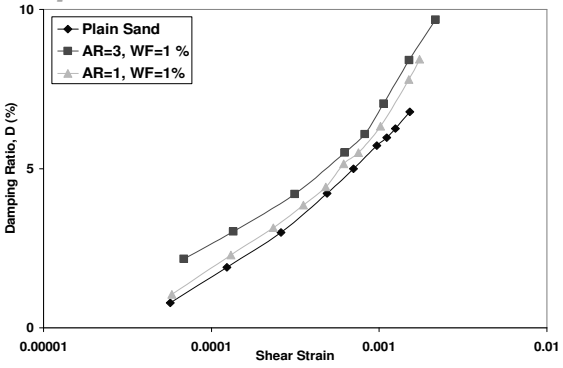
در یک نسبت اضلاع و تنش همه جانبه ثابت، با افزایش درصد وزنی الیاف موکت نسبت میرایی نمونه ها زیاد شده که این امر را می‌توان به جانشین شدن مواد بیشتر با سختی کمتر به جای مصالح با سختی زیادتر و نیز قابلیت استهلاک بیشتر انرژی نسبت داد. به عنوان نمونه شکل ۲ بیانگر این موضوع می‌باشد.



شکل (۲): تأثیر درصد وزنی الیاف بر روی نسبت میرایی نمونه‌های مسلح شده در تنش همه جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال

تاثیر نسبت اضلاع الیاف

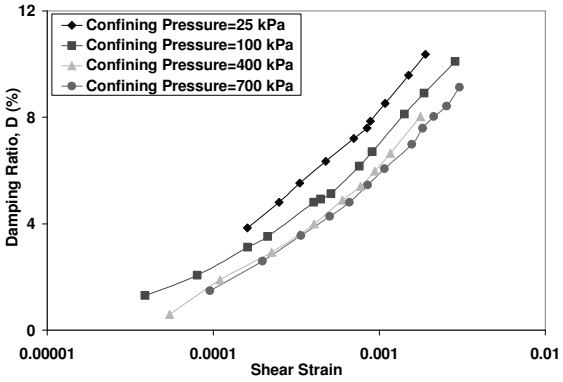
نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با افزودن الیاف به خاک، نسبت میرایی نمونه ها افزایش می‌یابد. در این راستا در یک درصد وزنی و تنش همه جانبه ثابت، با افزایش نسبت اضلاع الیاف موکت نسبت میرایی نمونه ها زیاد شده که این امر را می توان به افزایش بیشتر طول المانهای تسلیح و شکل پذیری بیشتر نمونه ها نسبت داد. شکل ۳ بیانگر این موضوع می‌باشد.



شکل (۳): تأثیر نسبت اضلاع الیاف بر روی نسبت میرایی نمونه‌های مسلح شده در تنش همه جانبه ۴۰۰ کیلو پاسکال

تاثیر تنش همه جانبه

با افزایش تنش همه جانبه از ۲۵ به ۷۰۰ کیلو پاسکال به دلیل افزایش مقاومت برشی نمونه ها و کاهش سطح منحنی هیسترسیس تنش – کرنش محوری، نسبت میرایی نمونه های معمولی و مسلح کاهش می‌یابد. شکل ۴ تاثیر تنشهای همه جانبه بر روی نسبت میرایی نمونه مسلح شده با ۰/۵ درصد وزنی الیاف و طول معادل ۵ میلیمتر را نشان می‌دهد.



شکل (۴): تأثیر تنش همه جانبه بر روی نسبت میرایی نمونه‌های مسلح (A_R = ۱ , w_f =% ۰/۵)

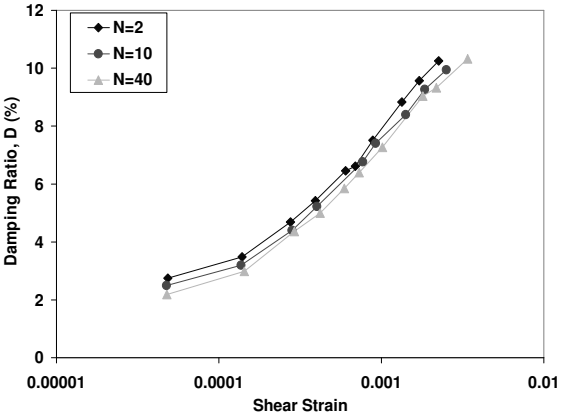
تاثیر تعداد سیکلهای بارگذاری

نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که در یک کرنش برشی ثابت با افزایش تعداد سیکلهای بارگذاری – باربرداری در هر مرحله از آزمایش نسبت میرایی نمونه ها از نوع معمولی و نوع مسلح کاهش ناچیزی یافته، بطوریکه مقدار این تغییرات آنچنان محسوس نمی‌باشد. علت کاهش جزئی مقادیر نسبت میرایی نمونه ها را می‌توان به کاهش سطح حلقه بسته منحنی های هیسترسیس تنش – کرنش محوری (یا برشی) نسبت داد. هرچند با افزایش تعداد سیکلهای بارگذاری– باربرداری و بیشتر شدن کرنش برشی، مقادیر مدول برشی کاهش یافته ولی

www.SID.ir

Archive of SID

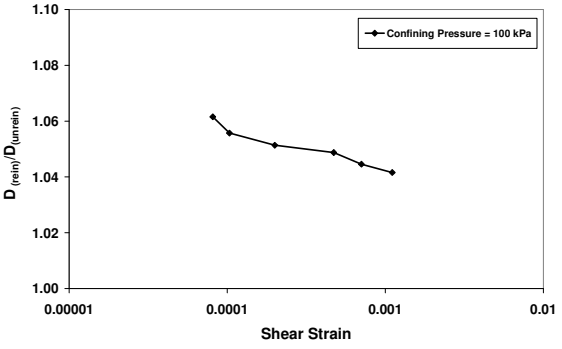
با توجه به تعریف نسبت میرایی و روند کاهشی بیشتر سطح محصور منحنی های هیسترسیس تنش – کرنش محوری، مقادیر نسبت میرایی کاهش می‌یابد. به عنوان نمونه، شکل ۵ نسبت میرایی نمونه های مسلح شده با نسبت اضلاع ۱ و درصد وزنی ۱ تحت تنش همه جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال در انتهای سیکلهای دوم، دهم و چهلم بارگذاری را نشان می‌دهد.



شکل (۵): تأثیر تعداد سیکلهای بارگذاری بر روی نسبت میرایی نمونه‌های مسلح ($\sigma_3 = ۱۰۰kPa$, $A_R = ۱$, $w_f = \%\ ۱$)

تاثیر دامنه کرنش برشی

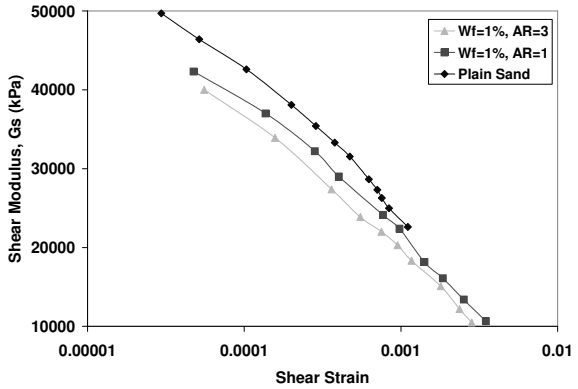
نتایج آزمایشها نشان دادند در کلیه تنشهای همه جانبه آزمایش با افزایش دامنه کرنش برشی مقادیر بی بعد نسبت میرایی در حالت مسلح به حالت غیر مسلح کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش دامنه کرنش برشی به علت بسیج مقاومت کششی تریشه در سطوح کرنشهای بالا و افزایش صلبیت و سختی نمونه ها باعث کاهش شکل پذیری و نسبت میرایی نمونه ها می‌گردد. به عنوان نمونه شکل ۶ تاثیر دامنه کرنش برشی بر روی نسبت میرایی نمونه های مسلح به نمونه های معمولی تحت تنش همه جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال را نشان می‌دهد.



شکل (۶): تاثیر دامنه کرنش برشی بر روی نسبت میرایی در نمونه های معمولی و مسلح ($A_R = ۱$, $w_f = \%\ ۰/۵$)

۷- نتایج مدول برشی

نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در تنشهای همه جانبه کم نظیر ۲۵ و ۱۰۰ کیلوپاسکال نمونه های مسلح در مقایسه با نمونه های معمولی از مدول برشی پایین تری برخوردار می‌باشند و با افزایش میزان تریشه مقدار کاهش مدول برشی افزایش می‌یابد. این تاثیر می‌تواند بیشتر به دلیل کاهش دانسیته نسبی نمونه های مسلح در انتهای مراحل تحکیم و بارگذاری، نداشتن قفل و بست کافی بین ذرات ماسه و تریشه ناشی از سطح تنش پایین و مقاومت تریشه در مقابل تحکیم مقادیر مدول برشی کاهش می‌یابند. به عنوان نمونه شکل ۷ بیانگر این مطلب می‌باشد.

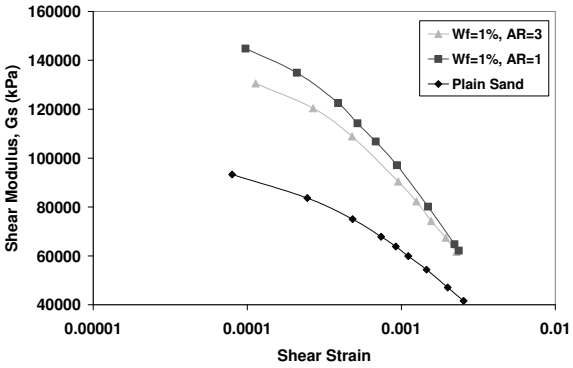


شکل (۷): تأثیر افزودن تریشه بر روی مدول برشی نمونه های مسلح با ۱ درصد الیاف تحت تنش همه جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال

شایان گفتن است از آنجا که بسیج شدن مقاومت برشی بین تریشه و ذرات خاک تابع سطح تنش محصور کننده می‌باشد، در سطوح تنش بالا، تسلیح منجر به افزایش سختی برشی گردیده بطوریکه افزایش در مدول برشی تحت تنش همه جانبه ۷۰۰ کیلوپاسکال ناشی از افزودن تریشه به خوبی دیده می‌شود. شکل ۸ بیانگر کاهش دانسیته نسبی در نمونه های مسلح شده با ۰/۵ درصد تریشه ناشی از افزایش نسبت اضلاع تسلیح تحت تنش همه جانبه ۷۰۰ کیلوپاسکال را نشان می‌دهد. در تنشهای همه جانبه بالا به علت مقاومت لغزشی بالا در المانها و بسیج شدن مقاومت کششی پایانی در المانها میزان باربری به اندازه پایانی و بهینه می‌رسد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در تنش همه جانبه بالا میزان بیشتری از تریشه ها به حد پارگی رسیده اند و لذا افزایش سختی بیشتری ناشی از تاثیر تسلیح حاصل شده است. مشابه این نتایج در مطالعات Li and Ding (2002) نیز گزارش شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۸): تأثیر افزودن تریشه بر روی مدول برشی نمونه های مسلح با ۱ درصد الیاف تحت تنش همه جانبه ۷۰۰ کیلوپاسکال

۸- نتیجه گیری

نتایج آزمایشهای سه محوری سیکلی انجام شده بر روی خاک ماسه ای ریز مسلح شده با الیاف موکت دال بر تاثیر تسلیح بر روی نسبت میرایی نمونه ها تحت سطوح تنش همه جانبه مختلف می‌باشد. بیشتر نتایج این تحقیق عبارتند از:

۱- افزودن الیاف به خاک باعث شکل پذیری بیشتر نمونه ها شده که در نتیجه این امر نمونه های مسلح نسبت به نمونه های معمولی در لحظه گسیختگی کرنشهای برشی بیشتری را تحمل می‌کنند. در این خصوص نتایج مربوط به بخش نمونه سازی نیز نشان داد که در یک انرژی تراکم ثابت، ضخامت لایه های نمونه های مسلح در مقایسه با نمونه های معمولی به علت جذب انرژی ناشی از تریشه کمتر دستخوش تغییر می‌گردند.

۲- در کلیه تنشهای همه جانبه، نمونه های مسلح در مقایسه با نمونه های معمولی از نسبت میرایی بالاتری برخوردارند بطوریکه در یک نسبت اضلاع و تنش همه جانبه ثابت، با افزایش درصد وزنی تریشه موکت نسبت میرایی نمونه ها زیاد شده بطوریکه با افزایش درصد وزنی الیاف از ۰/۵ به ۱ درصد در نمونه های مسلح شده با الیافهایی به طول ۵ میلیمتر تحت تنش همه جانبه ۲۵ کیلوپاسکال نسبت میرایی در حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. در این میان، بیشترین افزایش در نسبت میرایی نمونه های خاک مورد آزمایش در اثر تسلیح را می‌توان به نمونه های حاوی تریشه هایی به طول ۱۵ میلیمتر با میزان ۱ درصد تحت تنش همه جانبه ۲۵ کیلوپاسکال نسبت داد.

۳- نتایج مربوط به تاثیر نسبت اضلاع بر روی مقادیر نسبت میرایی نشان دادند در یک درصد وزنی و تنش همه جانبه ثابت، با افزایش نسبت اضلاع الیاف موکت نسبت میرایی نمونه ها زیاد شده که این امر را می‌توان به افزایش بیشتر طول المانهای تسلیح، افزایش سطح موثر تریشه در ارتباط با اندرکنش ذرات خاک با تریشه موکت، شکل پذیری بیشتر نمونه ها (که موجب افزایش سطح منحنی هیسترسیس تنش – کرنش برشی نمونه ها می‌شود) نسبت داد. در این راستا به عنوان نمونه می‌توان گفت که نسبت میرایی نمونه های مسلح شده با ۱ درصد موکت در نسبت اضلاع معادل ۱ نسبت به نمونه های معمولی تحت تنش جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال افزایشی در حدود ۲۰ درصد از خود نشان می‌دهند. در صورتی که در نسبت اضلاع تریشه معادل ۳ این میزان به حدود ۴۰ درصد افزایش رسیده که این خود بیانگر نقش مهم طول الیاف بر روی نسبت میرایی نمونه ها می‌باشد.

۴- با افزایش تنش همه جانبه نسبت میرایی کلیه نمونه ها (معمولی و مسلح) تنزل می‌یابد. در این راستا نتایج مربوط به نمونه های مسلح نشان دادند که نسبت میرایی نمونه های مسلح شده با ۱ درصد موکت در نسبت اضلاع معادل ۳ نسبت به نمونه های معمولی تحت تنش جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال افزایشی در حدود ۴۰ درصد از خود نشان می‌دهند. در صورتی که با افزایش تنش همه جانبه به ۴۰۰ کیلوپاسکال این میزان به حدود ۱۷ درصد افزایش رسیده است. همچنین نتایج ازمایش مربوط به نمونه های مسلح شده با الیافهایی به طول ۵ میلیمتر با میزان ۰/۵ درصد نشان دادند که با افزایش تنش همه جانبه از ۲۵ به ۷۰۰ کیلوپاسکال، نسبت میرایی نمونه ها ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.

۵- با افزایش تعداد سیکلهای بارگذاری در هر مرحله از آزمایش، نسبت میرایی نمونه ها (معمولی و مسلح) کاهش ناچیزی می‌یابد. در این راستا با افزایش تعداد سیکلهای بارگذاری از ۲ به ۴۰ سیکل در محدوده تنشهای همه جانبه آزمایش مقادیر نسبت میرایی کلیه نمونه ها در حدود ۸ درصد کاهش می‌یابد.

۶- در تنشهای همه جانبه کم مانند ۲۵ و ۱۰۰ کیلوپاسکال، نمونه های مسلح در مقایسه با نمونه های معمولی از مدول برشی پایین تری برخوردار بوده بطوریکه با افزایش درصد وزنی تریشه، به دلیل کاهش دانسیته نسبی در انتهای مراحل تحکیم و بارگذاری، کاهش صلبیت نمونه ها، وجود بخش بیشتری از نمونه حاوی مصالح نرم و شکل پذیر و عدم قفل و بست کافی بین ذرات ماسه و تریشه ناشی از سطح تنش پایین مقادیر مدول برشی کاهش می‌یابند. همچنین در مقادیر تنشهای همه جانبه بالا نظیر ۴۰۰ و ۷۰۰ کیلوپاسکال به دلیل فشرده شدن و کاهش نسبت منافذ همراه با لغزش نسبی ذرات نسبت به یکدیگر، دانسیته نسبی ماسه در نمونه های معمولی بوده که افزایش مقادیر مدول برشی در این محدوده نیز بیانگر این

www.SID.ir

Archive of SID

مطلب می‌باشد.

۹- مراجع

[۱] Lee, K. L.; Adams, B. D.; Vegneron, J. M.; "Reinforced Earth retaining walls" Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, vol. 99, no. 10, p.p. 745-764, 1973.

[۲] Gray, D. H.; Ohashi, H.; **"**Mechanics of fiber reinforced in sand**"**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, vol. 109, no. 3, p.p. 335-353, 1983.

[۳] Gray, D.; Rafeai, A.; "Behavior of fabric-versus fiber reinforced sand", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 12, No. 8, pp. 804-820, 1986.

[۴] Maher, M. H.; Gray, D. H.; "Static response of sand reinforced with distributed fibers", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 116, no. 11, p.p. 1661–1677, 1990.

[۵] Wang, Y.; Frost, J. D.; Murray, J.; Jones, A.; "Utilization of carpet, textile and apparel waste for soil reinforcement", ARC 99, SPE Annual Recycling Conference, November 9-11, Dearborn, Michigan, 2000.

[۶] Ghiassian, H.; Poorebrahim, G.; Gray, D. H.; "Soil reinforcement with recycled carpet wastes", Journal of Waste Management and Research, vol. 22, no. 2, p.p. 108-114, 2004.

[۷] Boominathan, S.; Senathipathi, K.; Jayaprakasam, V.; "Field studies on dynamic properties of reinforced earth", Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 10, no. 8, p.p. 402-406, 1991.

[۸] Krishnaswamy, N. R.; Isaac, N. T.; "Liquefaction analysis of saturated reinforced granular soils", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 121, no. 9, p.p. 645–651, 1995.

[۹] Vercueil, D.; Billet, P.; Cordary, D.; "Study of the liquefaction resistance of a saturated sand reinforced with geosynthetics", Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 16, no. 16, p.p. 417-425, 1997.

[۱۰] Noorany, I.; Uzdavines, M.; "Dynamic behavior of saturated sand with geosynthetic fibers", Geosynthetics Conference, San Diego, USA, vol. 2, p.p. 385–396, 1989.

[۱۱] Maher, M. H.; Woods, R. D.; "Dynamic response of sand reinforced with randomly distributed fibers", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 116, no. 7, p.p. 1116–1131, 1990.

[۱۲] Feng, Z. Y.; Sutter, K. G.; "Dynamic properties of granulated rubber sand mixtures", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, vol. 23, no. 3, p.p. 338-344, 2000.

[۱۳] Li, J. ; Ding, D. W.; "Nonlinear elastic behavior of fiber reinforced soil under cyclic loading", Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 22, no. 22, p.p. 977-983, 2002.

[۱۴] Boominathan, A.; Hari, S.; "Liquefaction Strength of Fly Ash Reinforced with Randomly Distributed Fibers", Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 22, no. 22, p.p. 1027-1033, 2002.

[۱۵] Poorebrahim, G.; "Soil reinforcement with carpet wastes", Ph.D. Dissertation, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, 2004.

[۱۶] Michalowski, R. L; Cermak, J. ; "Triaxial Compression of Sand Reinforced with Fibers" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 129, No. 2, pp. 125–136,2003.

[۱۷] Li, C.; "Mechanical response of fiber reinforced soil", Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, USA, 2005.

[۱۸] Ishihara, K.; "Soil behavior in earthquake geotechnics", Clarendon Press, Oxford, 1996.

www.SID.ir