بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مهندسی عمران
مکانیک خاک و پی

پایان نامه دکتری

رفتار دینامیکی دیوار حائل سپری با ماسه مسلح شده با الیاف موکت در دستگاه میزلرزه

دانشجو:
رضا جمشیدی چناری

استاد راهنما:
دکتر حسین غیاثیان

استاد مشاور:
دکتر حبیب شاه نظری

اسفند ماه ۱۳۸۶

تقدیم به:

همسرم که به من راه و رسم
عاشقی آموخت.

چکیده

مطالبی که در این رساله ارائه می گـردد مجموعـه مباحثی است پیـرامون انجـام یک سری آزمایشـــات مدلسازی بر روی میزلرزه در ارتبـــاط با ماسه ریزدانه مسلح با الیاف موکت که به صورت تصادفی توزیع گردیده اند (Randomly Distributed Fiber Reinforcement). در این نوع خاک مسلح الیاف و تریشه های کوتاه و بلند ژئوتکستایل که از نظر مواد تشکیل دهنده و ترکیبات کاملاً مشابه الیاف موکت میباشد با خـاکهای دانه ای ریزدانه (مثل ماسه ریزدانه تویورا که عموما دارای دانه بندی یکنواخت می باشد) مخلوط و سپس متراکم گردیده و در نتیجه محیطی مرکب (composite) با مقاومت و شـکل پـذیری بهبـود یافته حـاصل می شود. این رشته ها را می توان از برش دادن مواد پلیمری- الیافی (مثل موکت یا ژئوتکستایل) تولید نمود. بر اساس بررسی بعمل آمده در چرخه تولید و مصرف موکت در اثر برشکاری تولیدات، بیش از ۵٪ آنها بشکل نوارهای باریک و غیر قابل استفاده در می آید که عمـــوما بصورت ضایعـــات دور ریخته میشوند. الیاف اعم از موکت از نظر وزنی فقط بخش کوچکی از زائدات صنعتی را تشکیل میدهند منتهی از آنجایی که این نوع الیاف حجیم بوده و دارای تخلخل بالا میباشند از نظر حجمی فضای زیادی از مراکز دفن زباله ها را اشغال میکنند. با توجه به ارزش بالای موکت در کشورهای صنعتی و همچنین افزایش نگرانی های عمومی در ارتباط با محیط زیست و شیرابه های سمی حاصل از مراکز دفن، تولید کنندگان همواره دنبال راه حلی مناسب برای استفاده بهینه و کاربردی از این زائدات بوده اند. تسلیح خاک همواره به عنوان روشی نوین در بهبود خواص مقاومتی خاک محسوب شده است. بنابراین با استفاده از این الیاف در تسلیح خاک میتوان از آنها به عنوان مصالحی با ارزش افزوده بهره گرفت.

برای تحقق ایده مورد نظر ابتدا تحقیقات نظری و کارهای آزمایشگاهی که توسط محققین دیگر در این زمینـــه انجام شده است مطالعه، بررسی و جمع بندی شده است سپس انواع سیستم مدل فیزیکی و آزمایشات مربوط به آن مشخص گردیده و بر اساس آنها مراحل مختلف تحقیق انجام شده است. به طور کلی مدلسازی فیزیکی بر روی میزلرزه در دو بخش انجام شده است:

۱ آزمایشهای جعبه لایه ای: این آزمایشات بمنظور تعیین پارامترهای دینامیکی خاک مسلح اعم از مدول برشی معادل و نسبت میرایی انجام گرفته است و مشتمل بر تعداد پنج عدد مدل زمین مسطح از ماسه مسلح با الیاف و همچنین غیر مسلح در جعبه لایه ای (Laminar Box) میباشد. در این آزمایشات اثر درصد وزنی الیاف با طول و نسبت اضلاع ثابت بر روی خواص دینامیکی ماسه مسلح بررسی گردید. بدین منظور الیاف با نسبت اضلاع ۹ در چهار درصد وزنی مختلف با ماسه ریزدانه تویورا مخلوط شده و پس از مدلسازی مورد آزمایش میزلرزه قرارگرفتند.

۲ آزمایشات جعبه صلب: این آزمایشات در قالب مدلسازی فیزیکی دیوار حائل سپری که پشت آن توسط ماسه ریزدانه مسلح پر گردیده است میباشد. تعداد هشت عدد آزمایش مدلسازی میزلرزه در مقیاس کوچک و در شرایط جاذبه زمین انجام گرفت. در این سری از آزمایشات به بررسی اثر پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر رفتار خاک مسلح اعم از درصد وزنی الیاف، نسبت اضلاع و همچنین طول و روش تسلیح پرداخته شده است. در این آزمایشات از الیاف در سه طول و سه درصد وزنی مختلف به منظور تسلیح ماسه ریزدانه تویورا بهره گرفته شد. علاوه بر این یک مدل نیز به صورت تسلیح منظم یا سیستماتیک ساخته شده و مورد آزمایش میزلرزه قرار گرفت.

بطور خلاصه از جمع بندی نتایج بدست آمده از آزمایشهای مدلسازی فیزیکی میزلرزه و تجزیه و تحلیل آنها در قالب برنامه نویسی در محیط MATLAB، موارد زیر استنتاج گردیده است:

- با بالارفتن درصد وزنی الیاف ژئوتکستایل در نسبت اضلاع ثابت رفتار دینامیکی مدلهای سپری حائل ماسه مسلح بهبود یافته است. این تغییر رفتار به شیوه های مختلف اعم از کاهش جابجائی افقی ماسه پشت سپری، چرخش سپری، جابجائی افقی سپری، افزایش سختی برشی معادل مصالح و کاهش ضریب بزرگنمائی شتاب ورودی بروز مینماید.
- با بالارفتن نسبت اضلاع الیاف به دلیل افزایش سطح تماس موثر بین الیاف و دانه های ماسه و نهایتاً اندرکنش بهتر بین ذرات، رفتار دینامیکی ماسه مسلح بهبود می یابد.

بر پایه مدلهای فیزیکی ساخته شده در دستگاه میزلرزه بطور کلی میتوان ادعا نمود که یکی از روشهای مؤثر و کارامد در بهبود بخشیدن خواص دینامیکی خاکها و بهسازی خاکهای مسئله دار اختلاط آنها با الیاف و رشته های پلیمری از جمله تریشه های موکت میباشد.

سپاسگزاری

اول ستایش و حمد خاص پروردگار حکیم و علیمی است که به ما نعمتهای ادراک، آموختن، امید، صبر و استقامت عطا فرموده است. یاوری که بدون یاری او تحمل لحظات دشوار و حل مشکلات پیچیده میسرنمی باشد.

خداوندا ترا سپاسگزارم که مرا در مسیر کسب علم و معرفت قرار داده و یاریم نمودی تا در کانونی گرم و صمیمی از نعمت وجود استادی دانشمند خصوصاً جناب آقای دکتر حسین غیاثیان بهره مند شوم. ایشان که به من راه و رسم پژوهش و طریق صحیح کسب علم ومعرفت را آموختند و در تنگناهای علمی تحقیق آنچه را که می دانستند خالصانه و با صبر و متانت ارزانی داشتند و همواره یاریم نمودند تا برمشکلات جنبی و کاستی هـا فـائـق آیـم.

سپاس و تشکر از استاد محترم جناب آقای دکتر حبیب شاه نظری که زمینه انجام دوره فرصت مطالعاتی در کشور ژاپن را برای اینجانب فراهم آوردند. بدون کمک و همکاری صمیمانه ایشان امکان استفاده از امکانات دانشگاه توکیو فراهم نبود. در این راستا همچنین وظیفه خود میدانم از راهنمائی های ارزنده جناب آقای پروفسور Ikuo Towhata در دانشکده عمران دانشگاه توکیو کمال تشکر را بجا آورم. در تمام مدت شش ماهه فرصت مطالعاتی، امکان استفاده از کلیه تجهیزات آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه توکیو توسط ایشان فراهم گردید.

. تشکر و قدردانی می نمایم از آقای دکتر رامین معتمد از دانشگاه توکیو که در بسیاری از موارد راهگشای مشکلات علمی تحقیق بودند و در راهنمایی اینجانب در زمینه های مختلف خصوصاً آزمایشات میزلرزه از هیچ کوششی دریغ ننموده و اطلاعات وتجربیات ذی قیمت خود را صمیمانه در اختیار اینجانب قرار دادند. همچنین از آقایان دکتر Daniel Peckley و Tsuyoshi Honda و مهندسین Mohsin Usman، Aung Banyar و امین بهمن پور از دانشگاه توکیو که در بخشی از مراحل انجام آزمایشات به من کمک نمودند تشکر مینمایم.

از تکنسین آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه توکیو جناب آقای Keiichi Sugo که در تمام مراحل انجام آزمایشات همواره راهگشای مشکلات فنی مربوط به تجهیزات مدلسازی بودند تشکر مینمایم. همچنین از سرکار خانم Ayako Hirano که در مراحل مقدماتی اخذ ویزا و تهیه مسکن و اقامت در کشور ژاپن خالصانه به اینجانب کمک نمودند بی نهایت متشکرم.

از آقای دکتر Andrew Brennan از دانشگاه Cambridge که در زمینه محاسبات مربوط به مدلسازی و استخراج نتایج مربوط راهنمائی های ارزنده ای را به اینجانب نمودند تشکر وافر دارم.

از آقای دکتر Andreas Nata-atmadja از دانشگاه Queensland استرالیا که در زمینه آماده سازی مدلها و همچنین تهیه الیاف راهنمائی های ارزنده ای را به اینجانب نمودند تشکر میکنم.

از آقای پروفسور Kamran M. Nemati از دانشگاه Washington که در تمام دوره فرصت مطالعاتی در دانشگاه توکیو راهنما و مشوق اینجانب در انجام امور آزمایشگاهی بودند و در زمینه تهیه منابع مرتبط با امور تحقیق حاظر از دانشگاه های آمریکا همکاریهای ارزنده ای را تقدیم داشتند بی نهایت سپاسگزارم.

از اعضای محترم هیئت داوران آقایان پروفسور محمد حسن بازیار، پروفسور سید محسن حائری، پروفسور ارسلان قهرمانی و دکتر حمید رضا رازقی که در مراحـــل مختلف با صبر و شـــکیبایی کاستی ها را یاد آوری فرمودند و با دقت و حوصله کار مرا ارزیابی نمودند تشکر مینمایم و دستشان را میبوسم.

از جناب آقای دکتر علی نورزاد که در تمام دوره تحصیل دکتری مشوق و راهنمای اینجانب بوده اند و از همکاری صمیمانه ایشان بی بهره نبوده ام بی نهایت تشکر و قدردانی می نمایم.

از همسرم خانم سوده باقری چناری که در تمام طول مدت انجام این کار تحقیقاتی چه در داخل کشور و چه در خارج کشور یار شفیق من در تحمل سختی ها و ملالت ها بوده است تشکر وصف ناشدنی دارم. بدون کمکهای خالصانه ایشان به خصوص در طول مدت انجام فرصت مطالعاتی در کشور ژاپن تحقّق این امر میسّر نبود. از درگاه خداوند بزرگ برای ایشان طول عمر با عزت خواهانم.

از کلیه اعضای خانواده ام اعم از پدر، مادر، برادران و خواهرانم که همواره مشوق من در امور تحصیلی بوده و با خلوص نیّت پیگیر موفقیّتهایم بوده اند تشکر و قدردانی وافر دارم و از درگاه خداوند متعال برایشان پیروزی و برکت خواهانم.

از دوست عزیزم جناب آقای دکتر امین فلامکی و دکتر علیرضا طبرسا که در طول دوره دکتری همواره یار و همراه اینجانب در انجام این تحقیق بوده است و با پیگیری های مکرر و تشویق های موثر راه را برای تکمیل تحقیق حاضر هموار نموده اند نیز کمال تشکر را دارم./ والسلام.

فهرست مطالب

فصل اول ۱

۱ مقدمه ۲

۱ - ۱ بیان موضوع ۲

۱ - ۲ اهداف مطالعه ۴

۱ - ۳ سازماندهی فصل‌ها ۴

فصل دوم ۶

۲ مقدمه ۷

۲ - ۱ آزمایشات آزمایشگاهی ۷

۲ - ۱ - ۱ المانهای تسلیح صفحه ای ۸

۲ - ۱ - ۲ تسلیح با الیاف ۹

۲ - ۲ آزمایشات میز لرزه ۱۹

۲ - ۲ - ۱ مدلهای خاک غیر مسلح ۲۰

۲ - ۲ - ۲ مدلهای خاک مسلح (روش منظم یا سیستماتیک) ۲۴

۲ - ۳ آزمایشات مدل سانتریفیوژ ۳۶

۲ - ۳ - ۱ مطالعات خاک غیر مسلح ۳۷

۲ - ۳ - ۲ مدلهای خاک مسلح ۴۳

۲ - ۴ آزمایشات مدل تمام مقیاس ۵۰

۲ - ۵ مطالعات انجام شده بر روی الیاف موکت ۵۵

۲ - ۶ جمع بندی ۶۶

فصل سوم ۶۸
۳ مقدمه ۶۹
۳ - ۱ جعبه لایه ای(Laminar Box) ۷۰
۳ - ۱ - ۱ جعبه لایه ای ایده آل ۷۴
۳ - ۱ - ۲ کالیبراسیون جعبه لایه ای ۷۴
۳ - ۲ لوازم اندازه گیری ۸۱
۳ - ۲ - ۱ شتابنگار ۸۱
۳ - ۲ - ۲ جابجائی سنج لیزری ۸۴
۳ - ۳ میز لرزه ۸۴
۳ - ۴ سیستم قرائت مرکزی ۸۶
۳ - ۵ مدلسازی زمین مسطح در جعبه لایه ای ۸۶
۳ - ۶ مصالح ۹۲
۳ - ۷ نمونه سازی ۹۳
۳ - ۸ مراحل آزمایش ۱۰۱
۳ - ۹ آزمایشات میز لرزه ۱۰۳
۳ - ۹ - ۱ آزمایشات سوئیپ (Sweep Test) ۱۰۴
۳ - ۹ - ۲ رفتار تنش– کرنش خاک مسلح ۱۰۸
۳ - ۱۰ نتیجه‌گیری ۱۱۸
فصل چهارم ۱۲۰
۴ مقدمه ۱۲۱

۴ - ۱ آرایش مدل و ابزار گذاری ۱۲۲
۴ - ۲ مصالح ۱۲۵
۴ - ۳ جهات قراردادی ۱۲۶
۴ - ۴ شرح و روش تحلیل اطلاعات ۱۲۶
۴ - ۴ - ۱ جابجائی افقی (انحراف سنجی) ۱۲۷
۴ - ۴ - ۲ شتاب افقی (شتابنگاری) ۱۳۰
۴ - ۴ - ۳ فشار پشت دیوار (فشارسنجی) ۱۳۲
۴ - ۴ - ۴ خواص دینامیکی (سختی برشی و میرایی) ۱۳۷
۴ - ۴ - ۵ چرخش و جابجایی سازه حائل ۱۴۲
۴ - ۵ دیوار حائل وزنی (سری اول آزمایشات) ۱۴۴
۴ - ۵ - ۱ آماده سازی مدل ۱۴۶
۴ - ۵ - ۲ لرزه های اعمالی ۱۴۷
۴ - ۵ - ۳ تحلیل نتایج ۱۵۰
۴ - ۶ آزمایشات میز لرزه بر روی سپری (سری دوم) ۱۵۳
۴ - ۶ - ۱ نمونه سازی و آماده سازی مدل ۱۵۴
۴ - ۶ - ۲ مراحل آزمایش ۱۵۶
۴ - ۶ - ۳ لرزه های اعمالی ۱۵۷
۴ - ۶ - ۴ شرح آزمایشات ۱۶۰
۴ - ۶ - ۵ آزمایش تکرارپذیری (*SH01* و *SH02*) ۱۶۲
۴ - ۶ - ۶ آزمایش های *SH03* و *SH04* ۱۶۷
۴ - ۶ - ۷ آزمایش های *SH05* و *SH06* ۱۷۹

۴ - ۶ - ۸ آزمایش های *SH07* و *SH08* ۱۸۷
۴ - ۶ - ۹ آزمایش *SH09* ۱۹۹
۴ - ۶ - ۱۰ تجزیه و تحلیل نتایج ۲۰۸
فصل پنجم ۲۳۲
۵ مقدمه ۲۳۳
۵ - ۱ درصد وزنی الیاف ۲۳۳
۵ - ۲ نسبت اضلاع الیاف ۲۳۵
۵ - ۳ سایر پارامترها ۲۳۷
۵ - ۴ جمع بندی ۲۳۷
۵ - ۵ پیشنهادات ۲۳۸
مراجع و مآخذ ۲۴۰

فهرست اشکال

شکل۲-۱ پاسخ دینامیکی نمونه های ماسه معمولی و مسلح شده با الیاف نوع اول (Noorany and Uzdavines, 1989) ۱۰

شکل۲-۲ نمودار نسبت تنش سیکلی و کرنش دو دامنه در لحظه وقوع روانگرایی برای نمونه های ماسه معمولی و مسلح شده (Noorany and Uzdavines, 1989) ۱۱

شکل۲-۳ پاسخ دینامیکی نمونه های ماسه معمولی و مسلح شده با الیاف نوع دوم (Noorany and Uzdavines, 1989) ۱۲

شکل۲-۴ نمودار نسبت تنش سیکلی و کرنش دو دامنه در لحظه وقوع روانگرایی برای نمونه های ماسه معمولی و مسلح شده (Noorany and Uzdavines, 1989) ۱۳

شکل۲-۵ تاثیر دامنه کرنش برشی بر روی مدول برشی بی بعد (Maher and Woods, 1990) ۱۵

شکل ۲-۶ تاثیر دامنه کرنش برشی بر روی نسبت میرایی (Maher and Woods, 1990) ۱۶

شکل۲-۷ تاثیر تنش همه جانبه بر روی مدول برشی بی بعد (Maher and Woods, 1990) ۱۷

شکل۲-۸ تاثیر تعداد سیکلهای بارگذاری بر روی الف- مدول برشی ب- نسبت میرایی (Maher and Woods, 1990) ۱۸

شکل۲-۹ تاثیر درصد وزنی الیاف بر روی مدول برشی بی بعد (Maher and Woods, 1990) ۱۹

شکل ۲-۱۰ آرایش مدل و ابزار گذاری در مدل خاکریز در آزمایش میز لرزه (Koga & Matsuo, 1990) ۲۱

شکل ۲-۱۱ منحنی های نسبت فشار آب منفذی بلافاصله بعد از اعمال لرزه مربوط به آزمایش شماره ۱ تحت شتاب 220 Gal (Koga & Matsuo, 1990) ۲۴

شکل ۲-۱۲ آرایش مدلهای دیوار مسلح a) مدلهای ۱ و ۳ b) مدلهای ۸، ۹ و ۱۳ (El-Emam & Bathurst, 2006) ۲۸.

شکل ۲-۱۳ آرایش کلی و طرح ابزارگذاری (El-Emam & Bathurst, 2006) ۲۹

شکل ۲-۱۴ آرایش کلی و طرح ابزارگذاری در مدلهای دیوار شماره ۱ (Ling et al., 2005) ۳۱

شکل ۲-۱۵ آرایش کلی و طرح ابزارگذاری در مدلهای دیوار شماره ۲ (Ling et al., 2005) ۳۲

شکل ۲-۱۶ آرایش کلی و طرح ابزارگذاری در مدلهای دیوار شماره ۳ (Ling et al., 2005) ۳۳

شکل ۲-۱۷ جابجائی حداکثر و پس ماند در مدلهای دیوار شماره ۱ (Ling et al., 2005) ۳۴

شکل ۲-۱۸ جابجائی حداکثر و پس ماند در مدلهای دیوار شماره ۲ (Ling et al., 2005) ۳۵

شکل ۲-۱۹ جابجائی حداکثر و پس ماند در مدلهای دیوار شماره ۳ (Ling et al., 2005) ۳۶

شکل ۲-۲۰ آرایش مدلهای مسطح و خاکریز در پروژه VELACS (Zeghal et al., 1999) ۳۸

شکل ۲-۲۱ جانمائی ابزار در مدل شماره ۱ و ۲ (Urtuzastegui et al., 2002) ۴۰

شکل ۲-۲۲ فشار آب منفذی نزدیک سطح شیب در آزمایش شماره ۲ (Urtuzastegui et al., 2002) ۴۱
شکل ۲-۲۳ حلقه تنش-کرنش برای یک بار گذاری با فرکانس متغیر روی ماسه خشک (Brennan et al., 2005) ۴۳
شکل ۲-۲۴ هندسه و ابزارگذاری مدلهای دیوار مسلح الف) مقطع طولی ب) مقطع عرضی، کلیه ابعاد به میلیمتر می‌باشند (Tufenkjian, 1993; Vucetic et al., 1993) ۴۵
شکل ۲-۲۵ نمایش گرافیکی جابجائی افقی و چرخش دیوار بر حسب زمان برای مدلهای شماره ۳ و ۴ (Tufenkjian and Vucetic, 2000) ۴۶
شکل ۲-۲۶ نمایش سطوح گسیختگی و نواحی مختلف خاک در مکانیزم گسیختگی (Tufenkjian and Vucetic, 2000) ۴۷
شکل ۲-۲۷ نمایش کلی مدل سانتریفیوژ خاک MSE و ابزارگذاری آن (Siddharthan et al., 2004) ۴۸
شکل ۲-۲۸ تغییر شکل جانبی دیوار ناشی از زلزله اصلی (Siddharthan et al., 2004) ۵۰
شکل ۲-۲۹ مقطع عرضی و ابزار گذاری (Zeghal & Elgamal, 1994) ۵۱
شکل ۲-۳۰ آرایش شتابنگاری در محل (Zeghal et. al., 1995) ۵۴
شکل ۲-۳۱ سختی برشی و نسبت میرایی معادل (Zeghal et al., 1995) ۵۵
شکل ۲-۳۲ نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری سه محوری بر روی نمونه های مسلح شده با الیاف موکت تحت تنش همه جانبه ۳۴/۵ کیلو پاسکال (Wang et al., 2000) ۵۶
شکل ۲-۳۳ نتایج آزمایش های مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه های مسلح شده با الیاف موکت (Wang et al., 2000) ۵۷
شکل ۲-۳۴ نمودار تراکم در نمونه های مسلح شده با مقادیر مختلف الیاف موکت (Wang et al., 2000) ۵۸
شکل۲-۳۵ تغییرات تنش-کرنش محوری در آزمایش تک محوری (A_R =1) (Poorebrahim, 2004) ۵۹
شکل۲-۳۶ تغییرات مقاومت ماکزیمم-درصد وزنی در آزمایش تک محوری (Poorebrahim, 2004) ۶۰
شکل ۲-۳۷ تغییرات تنش انحرافی و کرنش حجمی در آزمایشات سه‌محوری زهکشی شده در تنش همه جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال برای درصدهای وزنی مختلف عناصر تسلیح (W_f) و نسبت اضلاع الیاف AR = 1 (Poorebrahim, 2004) ۶۱
شکل۲-۳۸ تغییرات تنش انحرافی حداکثر در آزمایش سه‌محوری زهکشی شده در تنش همه جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال بر حسب درصد وزنی (W_f) و نسبت اضلاع الیاف(A_R) (Poorebrahim, 2004) ۶۲
شکل۲-۳۹ تغییرات کرنش حجمی بر حسب درصد وزنی عناصر الیاف(W_f) و نسبت اضلاع الیاف(A_R) در آزمایش سه‌محوری زهکشی شده با فشار همه جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال (Poorebrahim, 2004) ۶۳
شکل ۲-۴۰ تصویری از دستگاه مدل فیزیکی (Poorebrahim, 2004) ۶۴
شکل ۳-۱ شمای کلی جعبه لایه ای (Mohajeri, 2001) ۷۱
شکل ۳-۲ اجزا و مولفه های جعبه لایه ای (Mohajeri, 2001) ۷۲

شکل ۳-۳ قاب خارجی جهت نصب سنسورهای اندازه گیری تغییر شکل جانبی ۷۳
شکل ۳-۴ نیروی اصطکاک در لایه های مختلف جعبه(Sandarraj, 1996)..... ۷۵
شکل ۳-۵ شتاب حداکثر در لایه های مختلف جعبه (Sundarraj , 1996)..... ۷۶
شکل ۳-۶ شتاب حداکثر در لایه های مختلف جعبه خالی (Sundarraj , 1996)..... ۷۷
شکل ۳-۷ تاریخچه شتاب در لایه‌های مختلف جعبه لایه ای خالی (Sundarraj, 1996)..... ۷۸
شکل ۳-۸ جابجائی نسبی بین لایه ها در فرکانس و شتاب های مختلف در جعبه لایه ای (Sandarraj , 1996)..... ۷۹
شکل ۳-۹ شتاب در لایه های مختلف جعبه لایه ای (Sundarraj, 1996)..... ۸۰
شکل ۳-۱۰ شمای کلی جعبه لایه ای در آزمایشات میز لرزه..... ۸۱
شکل ۳-۱۱ آرایش سنسورهای شتابنگاری درون جعبه لایه ای..... ۸۳
شکل ۳-۱۲ پایه شتابنگاری از جنس اکریل..... ۸۵
شکل ۳-۱۳ آرایش جابجائی سنج لیزری بر روی قاب خارجی ۸۶
شکل ۳-۱۴ آماده سازی جعبه لایه ای الف)باز کردن جعبه ب)تمیز کردن شیارها و بلبرینگها..... ۸۸
شکل ۳-۱۵ آماده سازی جعبه لایه ای الف)چیدمان لایه ها ب)جاسازی میله ها ۸۹
شکل ۳-۱۶ آماده سازی جعبه لایه ای الف)جاسازی لایه بالایی ب)ابزارگذاری..... ۹۰
شکل ۳-۱۷ آماده سازی جعبه لایه ای الف)استقرار قاب خارجی ب)نمونه سازی ۹۱
شکل ۳-۱۸ آماده‌سازی مصالح ماسه‌ای مسلح شده با الیاف ژئوتکستایل ۹۵
شکل ۳-۱۹ روابط وزنی-حجمی مربوط به ماسه مسلح با الیاف ۹۷
شکل ۳-۲۰ تأثیر میزان فشردگی و جذب ماسه الیاف بر چگالی نسبی ماسه در درصد وزنی الیاف ۰/۵ ٪..... ۹۸
شکل ۳-۲۱ تأثیر میزان فشردگی و جذب ماسه الیاف بر چگالی نسبی ماسه در درصد وزنی الیاف ۱ ٪ ۱۰۰
شکل ۳-۲۲ تأثیر نسبت منافذ ماسه بر مدول برشی (Kukusho, 1980) ۱۰۱
شکل ۳-۲۳ تابع تبدیل و ضریب بزرگنمائی لرزه ورودی برای فرکانسهای مختلف..... ۱۰۶
شکل ۳-۲۴ تکرارپذیری نتایج آزمایش سوئیپ..... ۱۰۷
شکل ۳-۲۵ مدل سیستم خاکی و نقاط اندازه‌گیری تنش و کرنش (Zeghal et al., 1995)..... ۱۰۹
شکل ۳-۲۶ خطای مربوط به انتگرالگیری در محاسبات سرعت و جابجائی ۱۱۰
شکل ۳-۲۷ نتایج جابجائی سنج لیزری مربوط به لایه پایینی مدل ماسه غیر مسلح در جعبه لایه ای (بار سینوسی با دامنه ۱۰۰gal و فرکانس ۴۰ هرتز به تعداد ۱۰ سیکل)..... ۱۱۲
شکل ۳-۲۸ محاسبه مدول برشی معادل و نسبت میرایی از حلقه تنش و کرنش برشی..... ۱۱۳

شکل ۳-۲۹ طیف پاسخ مربوط به تنش برشی در عمق ۶۵ سانتیمتر مدل مسلح به ۱ درصد وزنی الیاف با نسبت اضلاع ۹ در دامنه ۲۰۰gal و فرکانس ۵ هرتز ۱۱۴

شکل ۳-۳۰ حلقه‌های تنش-کرنش در عمق ۶۵ سانتیمتر مدل مسلح به ۱ درصد وزنی الیاف با نسبت اضلاع ۹ در دامنه ۲۰۰gal و فرکانس ۵ هرتز ۱۱۵

شکل ۳-۳۱ تکرارپذیری نتایج مربوط به سختی برشی معادل برای مدلهای مسلح به ۱٪ وزنی الیاف با نسبت اضلاع ۹ در عمق ۶۵ سانتیمتر ۱۱۶

شکل ۳-۳۲ تکرارپذیری نتایج مربوط به نسبت میرایی برای مدلهای مسلح به ۱٪ وزنی الیاف با نسبت اضلاع ۹ در عمق ۶۵ سانتیمتر ۱۱۷

شکل ۳-۳۳ نتایج مربوط به سختی برشی معادل برای مدلهای غیر مسلح و مسلح با نسبت اضلاع ۹ در عمق ۶۵ سانتیمتر ۱۱۸

شکل ۳-۳۴ نتایج مربوط به نسبت میرایی برای مدلهای غیر مسلح و مسلح با نسبت اضلاع ۹ در عمق ۶۵ سانتیمتر ۱۱۹

شکل ۴-۱ نمای جعبه صلب بر روی میز لرزه ۱۲۱

شکل ۴-۲ جزئیات جعبه صلب، سیستم تأمین آب و زهکشی ۱۲۲

شکل ۴-۳ آرایش مدل دیوار حائل وزنی مسلح ۱۲۳

شکل ۴-۴ آرایش مدل سپری مسلح ۱۲۴

شکل ۴-۵ الیاف مورد استفاده در مدلهای خاک مسلح ۱۲۶

شکل ۴-۶ اصول عملکردی سیستم انحراف‌سنجی(Alam, 2005) ۱۲۸

شکل ۴-۷ پایدارسازی سنسورهای شتابنگاری و محاسبه چرخش سنسورها (Alam, 2005) ۱۲۹

شکل ۴-۸ تثبیت زنجیره انحراف سنجی توسط نبشی های فوقانی (مدل سپری) ۱۳۰

شکل ۴-۹ اندازه گیری جابجائی افقی پس ماند در خاک توسط زنجیره انحراف سنجی و مشاهده چشمی (Motamed, 2007) ۱۳۱

شکل ۴-۱۰ آرایش کرنش سنجها بر روی صفحه تنش سنجی ۱۳۳

شکل ۴-۱۱ مدل دیوار حائل وزنی پس از نصب صفحات برنزی فشارسنجی ۱۳۵

شکل ۴-۱۲ نمونه ای از کالیبراسیون سلول فشارسنجی EP5 در حین بارگذاری ۱۳۶

شکل ۴-۱۳ نمونه ای از کالیبراسیون سلول فشارسنجی EP5 در حین باربرداری ۱۳۷

شکل ۴-۱۴ اثر فیلترینگ در حذف مولفه های فرکانس بالا و پایین در مدل غیر مسلح ۱۴۰

شکل ۴-۱۵ حلقه تنش و کرنش برشی مربوط به داده های فیلتر شده در مدل غیر مسلح ۱۴۱

شکل ۴-۱۶ حلقه تنش و کرنش برشی مربوط به داده های فیلتر نشده در مدل غیر مسلح ۱۴۲

شکل ۴-۱۷ سنسورهای جابجائی سنج لیزری در مدل سپری ۱۴۳
شکل ۴-۱۸ سنسور شتابنگاری در بالای سپری (سری دوم آزمایشات میز لرزه) ۱۴۴
شکل ۴-۱۹ نمای جانبی کیسون چوبی با ارتفاع موثر ۲۵ سانتی متر ۱۴۵
شکل ۴-۲۰ مقطع افقی در تراز وسط کیسون چوبی ۱۴۶
شکل ۴-۲۱ شتاب اعمالی ورودی به مدل دیوار حائل وزنی ۱۴۸
شکل ۴-۲۲ نتایج آزمایش سوئیپ در مدل QW-01 ..... ۱۴۹
شکل ۴-۲۳ نتایج زنجیره های انحراف سنجی در مدل QW-01 (ماسه معمولی ۱۵۰
شکل ۴-۲۴ چرخش دیوار حائل وزنی ناشی از نیروی زلزله در مدل QW-01 ..... ۱۵۱
شکل ۴-۲۵ نسبت بزرگنمائی شتاب ورودی در مصالح پشت دیوار در مدل QW-01 ..... ۱۵۲
شکل ۴-۲۶ نسبت بزرگنمائی شتاب ورودی در روی دیوار حائل وزنی در مدل QW-01 ..... ۱۵۳
شکل ۴-۲۷ آماده سازی پی مدل(Zone C) به روش بارش خشک ۱۵۵
شکل ۴-۲۹ نبشی های نگهدارنده در پایین دست سپری ۱۵۷
شکل ۴-۲۹ برداشتن نبشی های فوقانی و آزادسازی زنجیره های انحراف سنجی ۱۵۸
شکل ۴-۳۰ تاریخچه شتاب ورودی به مدلهای سپری ۱۵۹
شکل ۴-۳۱ محتوی فرکانسی شتاب ورودی به مدلهای سپری ۱۶۰
شکل ۴-۳۲ جابجائی افقی مصالح پشت دیوار در آزمایش تکرارپذیری ۱۶۳
شکل ۴-۳۳ چرخش سپری در آزمایش تکرارپذیری ۱۶۴
شکل ۴-۳۴ مشاهدات چشمی مربوط به جابجائی افقی در آزمایش تکرارپذیری ۱۶۵
شکل ۴-۳۵ ثبت جابجائی افقی سپری توسط جابجائی سنج لیزری در آزمایش تکرارپذیری ۱۶۵
شکل ۴-۳۶ ضرایب بزرگنمائی در آزمایش تکرارپذیری (SH01 و SH02) الف) ماسه، ب) سپری ۱۶۶
شکل ۴-۳۷ نتایج مربوط به محاسبات سختی برشی و نسبت میرایی در آزمایش تکرارپذیری ۱۶۶
شکل ۴-۳۸ جابجائی افقی مصالح پشت دیوار در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع ۳ = AR ۱۶۸
شکل ۴-۳۹ چرخش سپری در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع ۳ = AR ۱۶۹
شکل ۴-۴۰ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه غیرمسلح ۱۷۰
شکل ۴-۴۱ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه مسلح به الیاف با نسبت اضلاع 3 = AR و درصد وزنی ۰/۵ درصد ۱۷۲
شکل ۴-۴۲ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه مسلح به الیاف با نسبت اضلاع 3 = AR و درصد وزنی ۱ درصد ۱۷۴

شکل ۴-۴۳ خواص دینامیکی خاک در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع AR = 3 ..... ۱۷۵
شکل ۴-۴۴ مدول برشی نسبی در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع AR = 3 ..... ۱۷۶
شکل ۴-۴۵ نسبت میرایی نسبی در مدلهای مسلح به الیاف کوتاه با نسبت اضلاع AR = 3 ..... ۱۷۷
شکل ۴-۴۶ ضرایب بزرگنمائی در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع AR = ۳ الف) ماسه، ب) سپری..... ۱۷۸
شکل ۴-۴۷ جابجائی افقی مصالح پشت دیوار در مدلهای مسلح به الیاف بلند با نسبت اضلاع AR = 9 (طول ۴/۵ سانتیمتر) ۱۸۰
شکل ۴-۴۸ چرخش سپری در مدلهای مسلح به الیاف بلند با نسبت اضلاع AR = 9 (طول ۴/۵ سانتیمتر)..... ۱۸۱
شکل ۴-۴۹ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه مسلح به الیاف بلند با نسبت اضلاع AR = 9 و درصد وزنی ۰/۵ درصد (طول ۴/۵ سانتیمتر)..... ۱۸۳
شکل ۴-۵۰ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه مسلح به الیاف بلند با نسبت اضلاع AR = 9 و درصد وزنی ۱ درصد..... ۱۸۴
شکل ۴-۵۱ خواص دینامیکی خاک در مدلهای مسلح به الیاف بلند با نسبت اضلاع AR = 9 (طول ۴/۵ سانتیمتر) ۱۸۵
شکل ۴-۵۲ مدول برشی نسبی در مدلهای مسلح به الیاف بلند با نسبت اضلاع AR = 9 (طول ۴/۵ سانتیمتر) . ۱۸۶
شکل ۴-۵۳ نسبت میرایی نسبی در مدلهای مسلح به الیاف بلند با نسبت اضلاع AR = 9 (طول ۴/۵ سانتیمتر) ۱۸۷
شکل ۴-۵۴ ضرایب بزرگنمائی در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع AR = 9 (۴/۵ سانتیمتر) الف) ماسه، ب) سپری..... ۱۸۸
شکل ۴-۵۵ مدل SH07 پس از آماده سازی ۱۸۹
شکل ۴-۵۶ نتایج آزمایش سوئیپ در مدل SH-07..... ۱۹۰
شکل ۴-۵۷ جابجائی افقی مصالح پشت دیوار در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع $A_R = 9$ و طول الیاف ۲۷ سانتیمتر..... ۱۹۱
شکل ۴-۵۸ چرخش سپری در مدلهای مسلح به الیاف بلندتر با نسبت اضلاع $A_R = 9$ (طول ۲۷ سانتیمتر)..... ۱۹۲
شکل ۴-۵۹ ثبت جابجائی افقی توسط جابجائی سنج لیزری در مدلهای مسلح به الیاف بلندتر با نسبت اضلاع ۹ (طول ۲۷ سانتیمتر)..... ۱۹۳
شکل ۴-۶۰ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه مسلح به الیاف بلندتر با نسبت اضلاع AR = 9 و درصد وزنی ۰/۵ درصد (طول ۲۷ سانتیمتر) ۱۹۴
شکل ۴-۶۱ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه مسلح به الیاف بلندتر با نسبت اضلاع AR = 9 و درصد وزنی ۱ درصد..... ۱۹۶

شکل ۴-۶۲ خواص دینامیکی خاک در مدلهای مسلح به الیاف بلندتر با نسبت اضلاع AR = 9 (طول ۲۷ سانتیمتر) ۱۹۷
شکل ۴-۶۳ مدول برشی نسبی در مدلهای مسلح به الیاف بلندتر با نسبت اضلاع $A_R = 9$ (طول ۲۷ سانتیمتر) ۱۹۸
شکل ۴-۶۴ نسبت میرایی نسبی در مدلهای مسلح به الیاف بلندتر با نسبت اضلاع $A_R = 9$ (طول ۲۷ سانتیمتر) ۱۹۹
شکل ۴-۶۵ ضرایب بزرگنمائی در مدلهای مسلح به الیاف با نسبت اضلاع ۹ (۲۷ سانتیمتر) الف) ماسه، ب) سپری ۲۰۰
شکل ۴-۶۶ جابجائی افقی مصالح پشت دیوار در مدل مسلح به روش تسلیح منظم ۲۰۱
شکل ۴-۶۷ چرخش سپری در مدل مسلح به روش منظم ۲۰۲
شکل ۴-۶۸ ثبت جابجائی افقی توسط جابجائی سنج لیزری در مدل مسلح به روش تسلیح منظم ۲۰۳
شکل ۴-۶۹ حلقه های تنش و کرنش برشی در مدل ماسه ریزدانه مسلح به لایه های ژئوتکستایل (تسلیح منظم) ۲۰۴
شکل ۴-۷۰ خواص دینامیکی خاک در مدل مسلح با لایه های ژئوتکستایل (SH09) ۲۰۵
شکل ۴-۷۱ مدول برشی نسبی در مدل مسلح با لایه های ژئوتکستایل (SH09) ۲۰۶
شکل ۴-۷۲ نسبت میرایی نسبی در مدل مسلح با لایه های ژئوتکستایل (SH09) ۲۰۷
شکل ۴-۷۳ ضرایب بزرگنمائی در مدل مسلح به روش تسلیح منظم الف) ماسه، ب) سپری ۲۰۸
شکل ۴-۷۴ مدل SH09 پس از اعمال بارگذاری ۲۰۹
شکل ۴-۷۵ جابجائی افقی مصالح پشت دیوار در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ ..... ۲۱۳
شکل ۴-۷۶ چرخش سپری در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ ..... ۲۱۴
شکل ۴-۷۷ خواص دینامیکی خاک در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ ..... ۲۱۵
شکل ۴-۷۸ ضرایب بزرگنمائی در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ الف) ماسه، ب) سپری ۲۱۶
شکل ۴-۷۹ جابجائی افقی مصالح پشت دیوار در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ ..... ۲۱۷
شکل ۴-۸۰ چرخش سپری در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ ..... ۲۱۸
شکل ۴-۸۱ خواص دینامیکی خاک در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ ..... ۲۱۹
شکل ۴-۸۲ ضرایب بزرگنمائی در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و نسبت اضلاع ۳ و ۹ الف) ماسه، ب) سپری ۲۲۰
شکل ۴-۸۳ جابجائی افقی در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر ۲۲۱
شکل ۴-۸۴ چرخش سپری در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر ۲۲۲
شکل ۴-۸۵ خواص دینامیکی خاک در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر ۲۲۳

شکل ۴-۸۶ ضرایب بزرگنمائی در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۰/۵ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر الف) ماسه، ب) سپری ۲۲۴
شکل ۴-۸۷ جابجائی افقی در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر ۲۲۵
شکل ۴-۸۸ چرخش سپری در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر ۲۲۶
شکل ۴-۸۹ خواص دینامیکی خاک در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر ۲۲۷
شکل ۴-۹۰ ضرایب بزرگنمائی در مدلهای مسلح با درصد وزنی ۱ و طول الیاف ۴/۵ و ۲۷ سانتیمتر الف) ماسه، ب) سپری ۲۲۸
شکل ۴-۹۱ اثر روش تسلیح در جابجائی افقی مدلهای مسلح ۲۲۹
شکل ۴-۹۲ اثر روش تسلیح در چرخش سپری در مدلهای مسلح ۲۳۰
شکل ۴-۹۳ اثر روش تسلیح در پارامترهای دینامیکی مدلهای مسلح ۲۳۱
شکل ۴-۹۴ تشابه استفاده از نوارهای ژئوتکستایل با روش تسلیح منظم ۲۳۱