دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران - گرایش خاک و پی

موضوع پایان‌نامه

بررسی اثر عمق، شکل و همجواری پی‌ها بر ضریب عکس‌العمل بستر

استاد راهنما:

دکتر محمود قضاوی

نگارش:

تابش اسلامی شهربابکی

شهریور ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به دانش افروزان زندگیم

پدر، مادر، برادر و خواهرانم

که همواره روح افزا و جان فشانم در راه کسب علم و دانش بودند

اساتید عالیقدر و ارجمند

که همواره برایم راهنما و الگو بوده‌اند

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان‌نامه: بررسی اثر عمق، شکل و همجواری پی‌ها بر ضریب عکس‌العمل بستر

استاد راهنما: دکتر محمود قضاوی

نام دانشجو: تابش اسلامی شهربابکی

شماره دانشجویی: ۸۹۰۱۲۳۴

اینجانب تابش اسلامی شهربابکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش خاک و پی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه فوق‌الذکر توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان، به مرجع مورد استفاده اشاره شده است.

بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه فرمت مصوب دانشکده مهندسی عمران را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضا دانشجو:

تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن، تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیر و تشکر

خدای دانا و توانا را شاکرم

یاد باد آنکه مرا یاد آموخت

از محبت‌های بی شائبه‌ی استاد عالیقدرم جناب آقای دکتر محمود قضاوی

در جهت پیشبرد اهداف تحصیلیم بی‌نهایت سپاسگزارم.

چکیده

اندرکنش خاک و سازه از مسائلی است که در طراحی سازه نقش مهمی دارد. ضریب عکس‌العمل بستر به عنوان شاخصی از عکس‌العمل بستر در مقابل نیروی سازه می‌باشد که این نیرو از طریق پی به خاک منتقل می‌شود. این ضریب از تقسیم فشار تماسی به نشست در هر نقطه زیر پی به دست می‌آید. تا کنون محققان زیادی در خصوص عوامل مؤثر بر این ضریب تحقیق کرده و به روابطی تجربی و تئوری جهت تعیین این ضریب دست یافته‌اند.

در این پژوهش سعی گردیده اثر تعدادی از عوامل مؤثر بر ضریب عکس‌العمل مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور با استفاده از مدل‌سازی عددی به روش اجزا محدود، یک نمونه آزمایش بارگذاری صفحه، هم بر خاک غیرمسلح و هم بر خاک مسلح و همچنین یک نمونه آزمایش بارگذاری پی شبیه‌سازی شده و با مقایسه‌ی نتایج آزمایش و تحلیل عددی، صحت مدل‌سازی عددی مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل پی و عمق مدفون آن از جمله خصوصیات پی بوده که اثر آن‌ها در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از مدل‌سازی عددی، پی‌هایی به شکل‌های مربعی، مستطیلی، دایره‌ای، ذوزنقه‌ای، Lشکل و رینگی مورد تحلیل قرار گرفتند. نحوه‌ی توزیع ضریب عکس‌العمل در سطح زیرین این پی‌ها مورد بررسی قرار گرفته و با تقسیم سطح پی به سه ناحیه‌ی هم‌مرکز، رابطه‌ای بر حسب ضریب عکس‌العمل نقطه‌ی مرکزی پی به دست آمد. همچنین برای پی‌های با شکل نامتقارن، روابطی برای تعیین ضریب عکس‌العمل به دست آمد. پس از بررسی پی با عمق مدفون‌های مختلف مشخص شد با افزایش عمق مدفون، به علت کاهش نشست پی، مقدار ضریب عکس‌العمل افزایش می‌یابد. از این رو رابطه‌ای بین ضریب عکس‌العمل پی مدفون و پی سطحی بر حسب میزان عمق مدفون به دست آمد.

همجواری پی‌ها از دیگر عواملی است که بر ضریب عکس‌العمل تأثیرگذار می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد با نزدیکی پی‌ها به یکدیگر، به علت تداخل حباب‌های تنش، نسبت به پی تکی نشست افزایش یافته و در نتیجه ضریب عکس‌العمل نیز کاهش می‌یابد. هر چه پی‌ها از هم دورتر شوند ضریب عکس‌العمل افزایش می‌یابد تا جایی که در فاصله‌ی حدوداً چهار برابر عرض پی مقدار آن با پی تکی یکسان خواهد شد. از این رو رابطه‌ای بین ضریب عکس‌العمل پی در حالت دوتایی و پی تکی بر حسب میزان فاصله‌ی پی‌ها به دست آمد.

از جمله خصوصیات خاک که بر ضریب عکس‌العمل مؤثر می‌باشد، تسلیح خاک با ژئوسنتتیک‌هاست. در خاک مسلح مقدار نشست کمتر شده و در نتیجه ضریب عکس‌العمل افزایش می‌یابد، اما میزان افزایش این ضریب بستگی به عواملی از جمله تعداد لایه‌های مسلح‌کننده، عمق اولین لایه و فاصله‌ی بین لایه‌ها دارد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد با افزایش تعداد لایه‌ها میزان این افزایش بیشتر می‌باشد. همچنین تا زمانی که اولین لایه تا عمقی برابر با نصف عرض پی قرار گرفته باشد، میزان افزایش این ضریب نیز رو به ازدیاد بوده در حالی که در عمق‌های پایین‌تر رو به کاهش می‌رود. دلیل این امر می‌تواند قرار گرفتن لایه‌ی مسلح‌کننده در نزدیکی ناحیه‌ی گسیختگی باشد. همچنین با افزایش فاصله‌ی لایه‌ها تا مقدار ۱/۵ برابر عرض پی، میزان افزایش این ضریب نیز رو ندی صعودی داشته در حالی که در فاصله‌های بیشتر روندی نزولی خواهد داشت. این امر می‌تواند به علت خارج شدن لایه‌ی مسلح‌کننده از ناحیه‌ی تحت تأثیر بارگذاری باشد. همچنین رابطه‌ای برای ضریب عکس‌العمل پی بر خاک مسلح بر حسب پارامترهای ذکرشده به دست آمد.

کلمات کلیدی: ضریب عکس‌العمل بستر، شکل پی، عمق پی، همجواری پی‌ها، تسلیح خاک.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۳

۱-۳- ضرورت تحقیق ۴

۱-۴- اهداف پژوهش ۵

۱-۵- نحوه‌ی انجام کار ۵

۱-۶- ساختار پایان‌نامه ۶

فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع ۸

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- تاریخچه‌ی ارزیابی ضریب عکس‌العمل بستر ۹

۲-۳- عوامل مؤثر بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۲

۲-۴- مدل‌های اندرکنش خاک و پی ۱۴

۲-۴-۱- مدل وینکلر ۱۴

۲-۴-۲- مدل مزدوج (coupled model) ۱۵

۲-۴-۳- مدل مزدوج مجازی (Pseudo-Coupled Method) ۱۶

۲-۴-۴- مدل‌های دوپارامتری الاستیک ۱۷

۲-۴-۵- مدل اصلاح شده‌ی Kerr-Reissner ۱۸

۲-۵- روابط تعیین ضریب عکس‌العمل بستر بر پایه‌ی پارامترهای الاستیک خاک ۲۱

۲-۵-۱- رابطه‌ی Biot ۲۱

۲-۵-۲- رابطه‌ی Scheidig، Kogler و Lenczner ۲۱

۲-۵-۳- رابطه‌ی Galin ۲۲

۲-۵-۴- رابطه‌ی Vesic ۲۲

۲-۵-۵- رابطه‌ی Woinowky – Krieger ۲۲

۲-۵-۶- روابط Horvath ۲۳

۲-۵-۷- رابطه‌ی vlasov اصلاح شده..... ۲۴

۲-۵-۸- رابطه‌ی ارائه شده توسط ضیائی مؤید-جانباز ۲۵

۲-۵-۹- رابطه‌ی ارائه شده برای خاک‌های سیمانته شده توسط احمدی و مشکوه ۲۶

۲-۵-۱۰ رابطه‌ی ارائه شده توسط صادقی ۲۷

۲-۶- روابط آزمایشگاهی تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۲۸

۲-۶-۱- روابط مربوط به آزمایش بارگذاری صفحه ۲۹

۲-۶-۲- تعیین ضریب عکس‌العمل بستر برای دال‌ها و صفحات ۳۰

۲-۶-۳- تعیین عرض (B) مورداستفاده در روابط عکس‌العمل بستر ۳۳

۲-۶-۴- تعیین ضریب عکس‌العمل خاک برای تیرها و پی‌های نواری ۳۴

۲-۷- رابطه‌ی به‌دست آمده از نتایج آزمایش تحکیم ۳۵

۲-۷-۱- تأثیر عوامل زمانی بر ضریب عکس‌العمل بستر ۳۵

۲-۷-۲- تعیین k_s با استفاده از نتایج آزمایش تحکیم ۳۶

۲-۸- رابطه‌ی به‌دست آمده از آزمایش SPT ۳۷

۲-۸-۱- روش انجام آزمایش ۳۷

۲-۸-۲- اصلاح عدد SPT ۳۸

۲-۸-۳- رابطه‌ی ضریب عکس‌العمل بستر ۳۹

۲-۹- خلاصه و جمع‌بندی ۳۹

فصل سوم:مدل‌سازی عددی وصحت‌سنجی آن ۴۲

۳-۱- مقدمه ۴۳

۳-۲- مدل‌های رفتاری به‌کاررفته در پژوهش ۴۳
۳-۲-۱- مدل رفتاری مورد استفاده برای بتن ۴۳
۳-۲-۲- مدل رفتاری مورد استفاده برای فولاد ۴۴
۳-۲-۳- مدل رفتاری مورد استفاده برای خاک ۴۴
۳-۲-۳-۱- مدل رفتاری Porous Elastic ۴۵
۳-۲-۳-۲- مدل رفتاری Modified Drucker-Prager/Cap model ۴۸
۳-۲-۴- مدل رفتاری مورد استفاده برای مسلح‌کننده ۵۴
۳-۳- فرضیات و شرایط درنظرگرفته شده در مراحل مختلف مدل‌سازی ۵۴
۳-۳-۱- هندسه‌ی مدل ۵۴
۳-۳-۲- نحوه‌ی تحلیل ۵۵
۳-۳-۳- اندرکنش خاک و پی ۵۵
۳-۳-۴- نحوه‌ی بارگذاری ۵۶
۳-۳-۵- شرایط مرزی ۵۶
۳-۳-۶- نحوه‌ی مش‌بندی ۵۷
۳-۴- ارزیابی صحت جواب‌های روش عددی در ازمایش علیمردانی لواسان (۲۰۰۸) ۶۰
۳-۴-۱- مشخصات مصالح مورد استفاده در آزمایش بر خاک غیر مسلح ۶۰
۳-۴-۱-۱- جزئیات آزمایش بارگذاری صفحه بر خاک غیر مسلح ۶۱
۳-۴-۱-۲- جزئیات مدل‌سازی عددی (آزمایش علیمردانی) ۶۱
۳-۴-۱-۳- مقایسه‌ی نتایج آزمایش و مدل عددی ۶۳
۳-۴-۲- مشخصات مصالح مورد استفاده در آزمایش بر خاک مسلح باژئوگرید ۶۳
۳-۴-۲-۱- جزئیات آزمایش بارگذاری صفحه بر خاک مسلح با ژئوگرید ۶۴
۳-۴-۲-۲- جزئیات مدل‌سازی عددی ۶۴

۳-۴-۳- مقایسه‌ی نتایج آزمایش و مدل عددی ۶۵

۳-۵- ارزیابی صحت جواب‌های روش عددی در آزمایش Briaud ۶۵

۳-۵-۱- مشخصات مصالح مورد استفاده در آزمایش Briaud ۶۵

۳-۵-۲- جزئیات آزمایش بارگذاری پی ۶۷

۳-۵-۳- جزئیات مدل‌سازی عددی ۶۷

۳-۵-۴- مقایسه‌ی نتایج آزمایش و مدل عددی ۶۸

۳-۶- خلاصه و جمع‌بندی ۶۹

فصل چهارم: بررسی اثر شکل پی یر ضریب عکس‌العمل بستر ۷۰

۴-۱- مقدمه ۷۱

۴-۲ بررسی اثر شکل پی بر ضریب عکس‌العمل بستر ۷۱

۴-۲-۱- خصوصیات پی‌های مربعی و دایره‌ای شکل ۷۲

۴-۲-۲- خصوصیات پی‌های مستطیلی ۷۳

۴-۲-۳- خصوصیات پی‌های ذوزنقه‌ای شکل ۷۳

۴-۲-۴- خصوصیات پی‌های L شکل ۷۴

۴-۲-۵- خصوصیات پی‌های رینگی شکل ۷۵

۴-۳- بررسی نحوه‌ی توزیع ضریب عکس‌العمل بستر در سطح پی ۷۷

۴-۴- تعیین ضریب عکس‌العمل بستر در پی‌های ذوزنقه‌ای شکل ۹۰

۴-۵- تعیین ضریب عکس‌العمل بستر در پی‌های L شکل ۹۷

۴-۶- تعیین ضریب عکس‌العمل در پی‌های رینگی ۱۰۳

۴-۷- خلاصه و جمع‌بندی ۱۰۶

فصل پنجم: اثر عمق مدفون پی و همجواری پی‌ها بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۰۸

۵-۱- مقدمه ۱۰۹

۵-۲- الگوی پیشنهادی برای ارزیابی اثر عمق مدفون پی بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۰۹

۵-۳- ویژگی‌های پی و خاک مدل‌سازی شده ۱۱۱

۵-۴- روابط پیشنهادی ارزیابی اثر عمق مدفون پی بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۱۲

۵-۴-۱- رابطه‌ی پیشنهادی اول ۱۱۲

۵-۴-۲- رابطه‌ی پیشنهاد دوم ۱۱۵

۵-۵- بررسی اثر همجواری پی‌ها بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۲۰

۵-۶- ویژگی‌های خاک و پی مورد استفاده ۱۲۰

۵-۷- بررسی نتایج تحلیل عددی ۱۲۱

۵-۷-۱- پی‌های نواری ۱۲۱

۵-۷-۲- پی های مربعی شکل ۱۲۳

۵-۷-۳- پی‌های دایره‌ای شکل ۱۲۶

۵-۸- مقایسه‌ی پی‌های چسبیده به عرض B و پی تکی به عرض 2B ۱۲۷

۵-۹- خلاصه و جمع‌بندی ۱۳۲

فصل ششم: بررسی اثر تسلیح خاک بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۳۴

۶-۱- مقدمه ۱۳۵

۶-۲- مروری بر مطالعات صورت گرفته توسط محققان ۱۳۵

۶-۳- خصوصیات خاک، پی و مسلح کننده مورد استفاده در پژوهش حاضر ۱۴۰

۶-۳-۱- نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی ۱۴۲

۶-۴- رابطه‌ی پیشنهادی ضریب عکس‌العمل بستر برای خاک مسلح ۱۴۸

۴-۶-۱- بررسی رابطه‌ی پیشنهادی برای ضریب عکس‌العمل بستر خاک مسلح ۱۴۹

۶-۵- خلاصه و جمع‌بندی ۱۵۳

فصل هفتم: مباحث ویژه در خصوص ضریب عکس‌العمل بستر ۱۵۴

۷-۱- مقدمه ۱۵۵

۷-۲- روند توزیع ضریب عکس‌العمل بستر ۱۵۵

۷-۳- اثر شکل پی بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۵۸

۷-۳-۱- پی ذوزنقه‌ای ۱۵۸

۷-۳-۲- پی Lشکل ۱۵۹

۷-۳-۳- پی رینگی ۱۶۰

۷-۴- اثر عمق مدفون پی ۱۶۰

۷-۵- اثر همجواری پی‌ها بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۶۱

۷-۶- اثر تسلیح خاک بر ضریب عکس‌العمل بستر ۱۶۲

۷-۷- خلاصه و جمع‌بندی ۱۶۳

فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۶۴

۸-۱- خلاصه ۱۶۵

۸-۲- نتیجه‌گیری ۱۶۶

۸-۳- پیشنهادات ۱۶۸

مراجع ۱۶۹

فهرست اشکال و نمودارها

شکل ۲-۱- مقایسه‌ی عکس‌العمل واقعی بستر و عکس‌العمل بستر طبق نظریه‌ی ترزاقی در خاک دانه‌ای ۱۱

شکل ۲-۲- مقایسه‌ی عکس‌العمل واقعی بستر و عکس‌العمل بستر طبق نظریه‌ی ترزاقی در خاک رسی ۱۱

شکل ۲-۳- نحوه‌ی عکس‌العمل بستر برای انواع مختلف خاک و پی..... ۱۴

شکل ۲-۴- تغییرمکان‌های سطحی مدل وینکلر تحت a) بار غیریکنواخت، b) بار متمرکز، c) بار بر سطح صلب، d) بار یکنواخت بر سطح انعطاف‌پذیر ۱۵

شکل ۲-۵- شبیه‌سازی اندرکنش خاک و پی در مدل مزدوج ۱۶

شکل ۲-۶- تقسیم‌بندی پی به نواحی هم‌مرکز و اختصاص سختی هر ناحیه ۱۷

شکل ۲-۷- مدل اصلاح شده‌ی kerr-Reissener ۱۹

شکل ۲-۸- نمودار ضریب عکس‌العمل بر حسب عرض پی برای رابطه‌ی ضیائی ۲۵

شکل ۲-۹- مقایسه منحنی‌های تنش- نشست بدست آمده از آزمایش‌های بارگذاری صفحه ۲۶

شکل ۲-۱۰- نمودار مدول عکس‌العمل بستر آزمایش بارگذاری صفحه بر حسب قطر صفحه ۳۰

شکل ۳-۱- نمونه‌ای از نمودار e-ln p´ حاصل از آزمایش تحکیم ۴۷

شکل ۳-۲- سطح تسلیم مدل Cap Plastic در صفحه‌ی p-t ۴۹

شکل ۳-۳- تصویر سطح تسلیم بر صفحه‌ی تنش‌های انحرافی ۵۱

شکل ۳-۴- نمونه‌ای از رفتار سخت شوندگی کلاهک ۵۳

شکل ۳-۵- نمایش مش‌بندی انواع مدل‌ها در پروژه‌ی حاضر ۵۸

شکل ۳-۶- مقایسه‌ی نتایج حاصل از تحلیل عددی حاضر و آزمایش بارگذاری صفحه بر خاک غیرمسلح (علیمردانی، ۲۰۰۸) ۶۳

شکل ۳-۷- مقایسه‌ی نتایج حاصل از تحلیل عددی حاضر و آزمایش بارگذاری صفحه بر خاک مسلح (علیمردانی ، ۲۰۰۸) ۶۵

شکل ۳-۸- خصوصیات خاک محل انجام آزمایش Briaud ۶۶

شکل ۳-۹- مقایسه‌ی نتایج تحلیل عددی حاضر و آزمایش بارگذاری پی Briaud (1999) ۶۸

شکل ۴-۱ شکل پی ذوزنقه‌ای استفاده شده در تحلیل‌های عددی ۷۳

شکل ۴-۲- پی‌های Lشکل استفاده شده در تحلیل‌های عددی ۷۵

شکل ۴-۳- شکل پی رینگی استفاده شده در تحلیل‌های عددی ۷۶

شکل ۴-۴- تقسیم‌بندی پی به نواحی هم‌مرکز و اختصاص سختی هر ناحیه (Horvath 1993, Liao 1991) ۷۸

شکل ۴-۵- شکل توزیع تنش تماسی در یک چهارم کف پی مربعی به عرض ۳ متر ۷۹

شکل ۴-۶- شکل توزیع نشست در یک چهارم کف پی مربعی به عرض ۳ متر ۷۹

شکل ۴-۷- نمودار توزیع k_s درعرض پی مربعی به اندازه‌ی ۱ متر ۸۱

شکل ۴-۸- نمایش نواحی پیشنهادی هم‌مرکز k_s در پی مربعی ۸۲

شکل ۴-۹- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های مربعی ۸۵

شکل ۴-۱۰- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های مستطیلی با نسبت طول به عرض ۱/۵ ..... ۸۵

شکل ۴-۱۱- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های مستطیلی با نسبت طول به عرض ۲ ..... ۸۶

شکل ۴-۱۲- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های ذوزنقه‌ای ($L/B=2\ ,\ \alpha=20^{\circ}$) ۸۶

شکل ۴-۱۳- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های ذوزنقه‌ای ($L/B=1.5\ ,\ \alpha=40^{\circ}$) ۸۷

شکل ۴-۱۴- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های ذوزنقه‌ای ($L/B=2\ ,\ \alpha=40^{\circ}$) ۸۷

شکل ۴-۱۵- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های ذوزنقه‌ای ($L/B=1.5\ ,\ \alpha=20^{\circ}$) ۸۸

شکل ۴-۱۶- نمودار توزیع k_s در شعاع پی دایروی به قطر ۳ متر ۸۹

شکل ۴-۱۷- مقایسه‌ی مقدار $k_{s\ real}$ و $k_{s\ avg}$ در پی‌های دایره‌ای ۹۰

شکل ۴-۱۸- تغییرمکان‌های سطحی مدل وینکلر تحت بار یکنواخت بر سطح انعطاف‌پذیر ۹۱

شکل ۴-۱۹- پی ذوزنقه‌ای و پی مستطیلی معادل برای تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۹۲

شکل ۴-۲۰- مقایسه‌ی $k_{s\ avg}$ ذوزنقه ($L/B=1.5$, $\alpha=20^{\circ}$) و مستطیل معادل ۹۴

شکل ۴-۲۱- مقایسه‌ی $k_{s\ avg}$ ذوزنقه ($L/B=1.5$, $\alpha=40^{\circ}$) و مستطیل معادل ۹۴

شکل ۴-۲۲- مقایسه‌ی $k_{s\ avg}$ ذوزنقه ($L/B=2$, $\alpha=40^{\circ}$) و مستطیل معادل ۹۵

شکل ۴-۲۳- مقایسه‌ی $k_{s\ avg}$ ذوزنقه ($L/B=2$, $\alpha=20^{\circ}$) و مستطیل معادل ۹۵

شکل ۴-۲۴- پی Lشکل و پی مربعی معادل جهت تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۹۷

شکل ۴-۲۵- پی Lشکل و پی مستطیلی معادل جهت تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۹۸

شکل ۴-۲۶- مقایسه‌ی k_s پی Lشکل با $L/B=1$ و پی مربعی متناظر تحت نشست ۹۹

شکل ۴-۲۷- مقایسه‌ی k_s پی Lشکل با $L/B=1$ و پی مربعی متناظر تحت نشست ۱۰۰

شکل ۴-۲۸- مقایسه‌ی k_s پی Lشکل با $L/B=1.5$ و پی مستطیلی متناظر تحت نشست ۱۰۰

شکل ۴-۲۹- مقایسه‌ی k_s پی Lشکل با $L/B=1.5$ و پی مستطیلی متناظر تحت نشست ۱۰۱

شکل ۴-۳۰- پی رینگی و پی دایره‌ای معادل جهت تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۱۰۴

شکل ۴-۳۱- مقایسه‌ی $k_{s\ real}$ پی رینگی (رابطه‌ی q/δ) و k_s حاصل از رابطه‌ی (۴-۷) ۱۰۵

شکل ۵-۱- نمودار ضریب عمق پی بر حسب نسبت عمق مدفون به عرض پی ۱۱۰

شکل ۵-۲- مقایسه‌ی نتایج رابطه‌ی (۵-۵) و تحلیل عددی برای پی‌های به قطر ۱، ۲ و ۳ متر ۱۱۴

شکل ۵-۳- مقایسه‌ی نتایج رابطه‌ی (۵-۶) و تحلیل عددی برای پی به قطر ۱۰ متر ۱۱۵

شکل ۵-۴- مقایسه‌ی نتایج رابطه‌ی (۵-۶) و تحلیل عددی برای پی به قطر ۱۵ متر ۱۱۵

شکل ۵-۵- مقایسه‌ی نتایج رابطه‌ی (۵-۷) و تحلیل عددی برای پی‌های به قطر ۱، ۲ و ۳ متر ۱۱۶

شکل ۵-۶- مقایسه‌ی نتایج رابطه‌ی (۵-۷) و تحلیل عددی برای پی‌های به قطر۱۰ متر ۱۱۷

شکل ۵-۷- مقایسه‌ی نتایج رابطه‌ی (۵-۷) و تحلیل عددی برای پی‌های به قطر ۱۵ متر ۱۱۷

شکل ۵-۸- مقادیر نسبت $k_{s\text{-}ratio}$ بر حسب نسبت S/B برای پی‌های نواری با عرض‌های مختلف ۱۲۲

شکل ۵-۹- تابع برازش داده شده برای نسبت $k_{s\text{-}ratio}$ بر حسب نسبت S/B در پی‌های نواری ۱۲۳

شکل ۵-۱۰- نمودار بار- نشست برای پی‌های همجوار به عرض ۳ متر ۱۲۴

شکل ۵-۱۱- مقادیر نسبت $k_{s\text{-}ratio}$ بر حسب نسبت S/B در پی‌های مربعی با عرض‌های مختلف ۱۲۵

شکل ۵-۱۲- تابع برازش داده شده برای نسبت $k_{s\text{-}ratio}$ بر حسب نسبت S/B در پی‌های مربعی ۱۲۶

شکل ۵-۱۳- مقادیر نسبت $k_{s\text{-}ratio}$ بر حسب نسبت S/B در پی‌های دایره‌ای با عرض‌های مختلف ۱۲۶

شکل ۵-۱۴- تابع برازش داده شده برای نسبت $k_{s\text{-}ratio}$ بر حسب نسبت S/B در پی‌های دایره‌ای ۱۲۷

شکل ۵-۱۵- مقایسه‌ی کنتورهای نشست پی‌های مربعی چسبیده با عرض۱متر و پی مستطیلی به عرض۱و طول۲متر ۱۲۸

۵-۱۶- مقایسه‌ی کنتورهای نشست پی‌های نواری چسبیده با عرض۱متر و پی نواری به عرض۲ متر ۱۳۰

شکل ۶-۱- دستگاه آزمایش و پارامترهای مختلف آن ۱۳۵

شکل ۶-۲- نمودارهای بار- نشست پژوهش sireesh و همکاران در بررسی اثر عرض لایه‌های مسلح‌کننده ۱۳۶

شکل ۶-۳- نمودارهای بار- نشست پژوهش Sireesh و همکاران در بررسی اثر فاصله‌ی آخرین لایه از زیر پی ۱۳۶

شکل ۶-۴- پارامترهای مختلف خاک و پی در پژوهش Choudhary و همکاران ۱۳۷

شکل ۶-۵- نمودارهای بار - نشست پژوهش Choudhary و همکاران در بررسی اثر فاصله‌ی لایه‌ی مسلح‌کننده از زیرپی ۱۳۷

شکل ۶-۶- نمودارهای بار - نشست پژوهش Choudhary و همکاران در بررسی اثر تعداد لایه‌ها ۱۳۸

شکل ۶-۷- پارامترهای پی و مسلح‌کننده در پژوهش علیمردانی (۲۰۰۸) ۱۳۸

شکل ۶-۸- نمودارهای ضریب I_f بر حسب فاصله‌ی پی‌های همجوار پژوهش علیمردانی (۲۰۰۸) در بررسی اثر تعداد لایه‌ها ۱۳۹

شکل ۶-۹- نمودارهای ضریب I_f بر حسب فاصله‌ی پی‌های همجوار برای بررسی اثر عرض لایه‌ها (a: N=1 , b: N=2) ۱۳۹

شکل ۶-۱۰- نمودارهای ضریب I_f بر حسب فاصله‌ی پی‌های همجوار برای بررسی اثر فاصله‌ی لایه‌ی اول از زیر پی (a: N=1 , b: N=2) ۱۳۹

شکل ۶-۱۱- نمودارهای ضریب I_f بر حسب فاصله‌ی پی‌های همجوار برای بررسی اثر فاصله‌ی لایه‌ی آخر اززیرپی ۱۴۰

شکل ۶-۱۲- شکل قرارگیری لایه‌های ژئوگرید و پارامترهای مختلف آن‌ها ۱۴۱

شکل ۶-۱۳- نمودارهای بار- نشست پی به عرض ۲ متر (u/B=0.3 , h/B=0.5) ۱۴۲

شکل ۶-۱۴- نمودارهای بار- نشست پی به عرض ۳ متر (u/B=0.5 , h/B=0.3) ۱۴۳

شکل ۶-۱۵- تغییرات نسبت I_r بر حسب عمق تک لایه‌ی ژئوگرید برای پی‌هایی به عرض ۲ و ۳ متر ۱۴۴

شکل ۶-۱۶- تغییرات نسبت I_r بر حسب عمق لایه‌ی ژئوگرید اول و عمق لایه‌ی آخر (B=2 , N=2)...۱۴۵

شکل ۶-۱۷- تغییرات نسبت I_r بر حسب عمق لایه‌ی ژئوگرید اول و عمق لایه‌ی آخر (B=3, N=2).....۱۴۵

شکل ۶-۱۸- تغییرات نسبت I_r بر حسب عمق لایه‌ی ژئوگرید اول و عمق لایه‌ی آخر (B=2, N=3).....۱۴۶

شکل ۶-۱۹- تغییرات نسبت I_r بر حسب عمق لایه‌ی ژئوگرید اول و عمق لایه‌ی آخر (B=3, N=3)..... ۱۴۶

شکل ۶-۲۰- کنتورهای نشست برای پی به عرض ۲ متر (N=2 , u/B=0.5 , d/B=2) ۱۴۷

شکل ۶-۲۱- مقایسه‌ی $k_{s\text{-}real}$ و $k_{s\text{-}cal}$ برای پی به عرض ۲ و ۳ متر (N=0,1) ۱۵۰

شکل ۶-۲۲- مقایسه‌ی $k_{s\text{-}real}$ و $k_{s\text{-}cal}$ برای پی به عرض ۲ و ۳ متر (N=2 , u/B=0.3) ۱۵۱

شکل ۶-۲۳- مقایسه‌ی $k_{s\text{-}real}$ و $k_{s\text{-}cal}$ برای پی به عرض ۲ و ۳ متر (N=2 , u/B=0.5) ۱۵۱

شکل ۶-۲۴- مقایسه‌ی $k_{s\text{-}real}$ و $k_{s\text{-}cal}$ برای پی به عرض ۲ و ۳ متر (N=3 , u/B=0.3) ۱۵۲

شکل ۶-۲۵- مقایسه‌ی $k_{s\text{-}real}$ و $k_{s\text{-}cal}$ برای پی به عرض ۲ و ۳ متر (N=3 , u/B=0.5) ۱۵۲

شکل ۷-۱- تقسیم‌بندی پی به نواحی هم‌مرکز و اختصاص سختی هر ناحیه (Horvath 1993, Liao 1991) ۱۵۶

شکل ۷-۲- نمایش نواحی پیشنهادی هم‌مرکز k_s در پی مربعی ۱۵۷

شکل ۷-۳- پی ذوزنقه‌ای و مستطیلی معادل برای تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۱۵۸

شکل ۷-۴- پی Lشکل و مربعی معادل برای تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۱۵۹

شکل ۷-۵- پی Lشکل و مستطیلی معادل برای تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۱۵۹

شکل ۷-۶- پی رینگی و دایره‌ای معادل برای تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ۱۶۰

فهرست جداول

جدول ۲-۱- حدود مقادیر $k_{01}(ton/ft^3)$ برای صفحه ای به مساحت $1ft^2$ در خاکهای ماسه ای، پیشنهاد ترزاقی (Scott, 1980) ۳۲

جدول ۲-۲- حدود مقادیرk_{01} برای صفحه ای به مساحت $1ft^2$ در رس‌های پیش تحکیم یافته، پیشنهاد ترزاقی (Scott, 1980) ۳۲

جدول ۲-۳- حدود مقادیر $k_{01}(kN/m^3.10^{-3})$ برای صفحه ای به مساحت $1ft^2$ در خاکهای دانه‌ای به پیشنهاد Miner و Seastone (selvaduri, 1979) ۳۳

جدول ۳-۱- پارامترهای مصالح فولاد و بتن معرفی شده به نرم‌افزار ۴۴

جدول ۳-۲- مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش بارگذاری صفحه‌ی انجام‌شده بر خاک غیر مسلح توسط علیمردانی (۲۰۰۸) ۶۱

جدول ۳-۳- پارامترهای مدل‌های رفتاری مورد استفاده برای خاک مورد نیاز ۶۲

جدول ۳-۴- خصوصیات ژئوگرید مورد استفاده در آزمایش بارگذاری صفحه‌ی انجام‌شده بر خاک غیر مسلح توسط علیمردانی (۲۰۰۸) ۶۴

جدول ۳-۵- مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش بارگذاری صفحه‌ی انجام‌شده بر خاک غیر مسلح توسط Briaud(1999) ۶۶

جدول ۳-۶- پارامترهای مدل‌های رفتاری مورد استفاده برای خاک مورد نیاز ۶۷

جدول ۴-۱- ویژگی‌های خاک مورد استفاده در تحلیل‌های عددی انجام‌گرفته ۷۲

جدول ۴-۲- ابعاد، نشست محدودکننده و بار متناظر با پی‌های دایره و مربع شکل ۷۲

جدول ۴-۳- ابعاد، نشست محدودکننده و بار متناظر با پی‌های مستطیلی ۷۳

جدول ۴-۴- ابعاد، نشست محدودکننده و بار متناظر با پی‌های ذوزنقه‌ای ۷۴