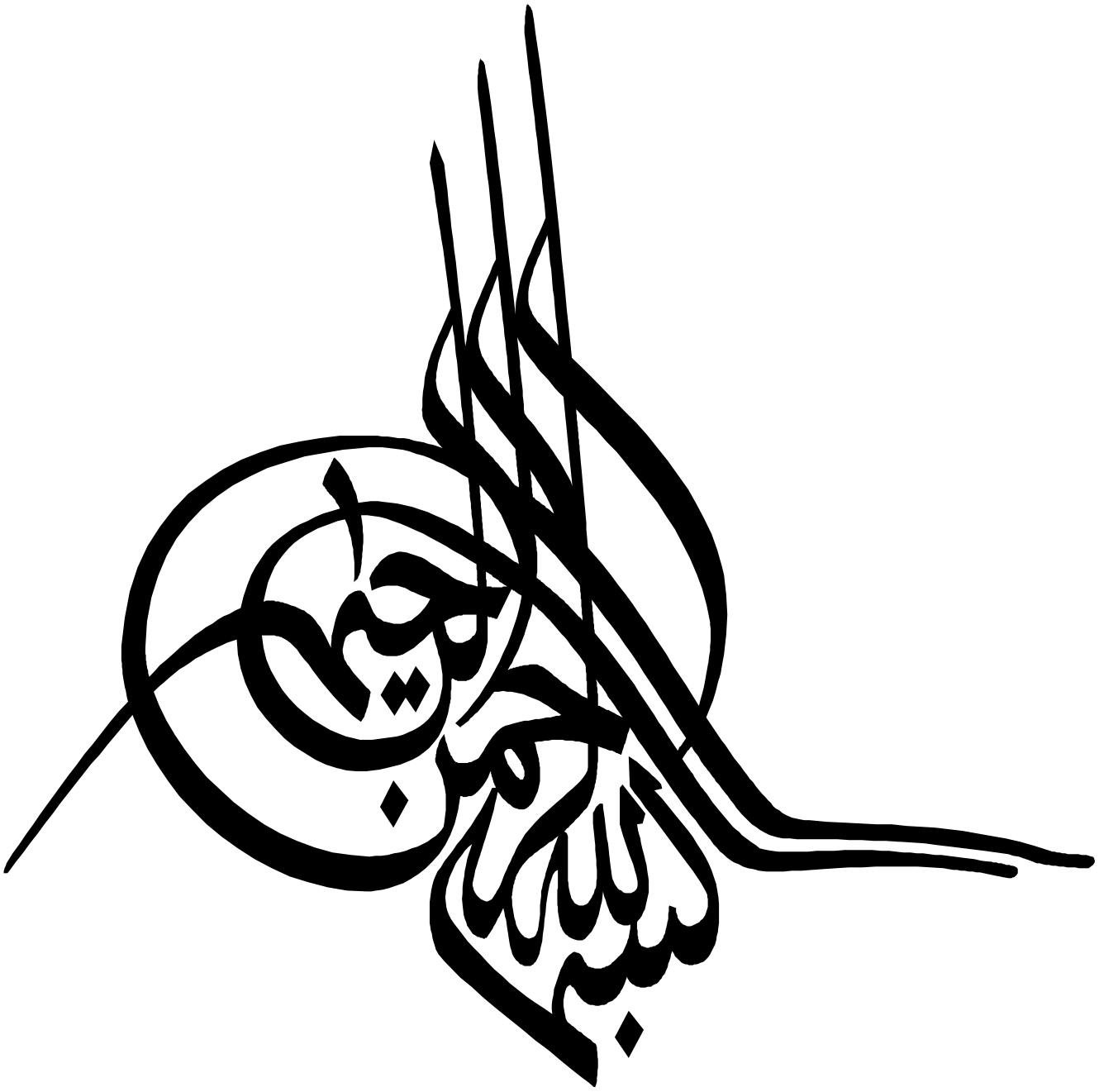
بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران

گرایش خاک و پی

عنوان پایان‌نامه

بررسی عددی ظرفیت باربری شالوده‌های نواری واقع بر شیب ماسه‌ای مسلح به ژئوگرید

استاد راهنما:

دکتر حسن شرفی

نگارش:

نگین کریمی

اسفند ۹۲

دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران گرایش خاک و پی

دانشجو:

نگین کریمی

تحت عنوان

بررسی عددی ظرفیت باربری شالوده‌های نواری واقع بر شیب ماسه‌ای مسلح به ژئوگرید

در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۶ توسط هیأت داوران بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱-	استاد راهنمای	دکتر حسن شرفی	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء
۲-	استاد داور داخل گروه	دکتر محمد حاجی عزیزی	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء
۳-	استاد داور داخل گروه	دکتر جهانگیر خزایی	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء

تقدیم به

پدرم،

که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم.

مادرم،

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

و همسرم،

اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم.

تشکر و سپاس

سپاس خداوند منان را که مرا یاری نمود تا این مرحله از تحصیل را به پایان رسانم. بر خود واجب دانسته که از جناب آقای دکتر حسن شرفی، استاد راهنمای بزرگوار برای زحمات و راهنمایی های دلسوزانه ایشان تشکر نمایم. و از جناب آقای دکتر حاجی عزیزی بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنمایی های ایشان تکمیل این پایان نامه بسیار مشکل مینمود.

و تشکر و قدردانی می نمایم از جناب آقای دکتر کامران نوبخت وکیلی به دلیل یاری ها و راهنمایی های بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختی ها را برایم آسان تر نمودند، همچنین از جناب آقای دکتر بهروز صمدیان که در این راه مشوق من بودند. و در پایان از خانواده محترم قیصریان و پدر و مادرم که دلسوزانه مرا حمایت کردند و در فراز و نشیب کار در کنارم بودند، بسیار سپاس گذارم.

چکیده:

ظرفیت‌باربری در شالوده‌های سطحی یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در طراحی سازه‌های واقع بر آن‌ها می‌باشد. برای بهبود ظرفیت‌باربری شالوده‌های سطحی، می‌توان از روش مسلح‌سازی با به‌کار بردن نوارهای مسلح‌کننده درون خاک زیر شالوده استفاده نمود.

برای محاسبه ظرفیت‌باربری شالوده‌های سطحی واقع بر خاک ماسه‌ای مسلح می‌توان از روش آزمایشگاهی یا عددی استفاده کرد. هدف از این تحقیق بررسی اثر ژئوگریدها و مشخصات هندسی آن‌ها در ظرفیت‌باربری پی نواری واقع بر شیروانی است. جهت انجام تحلیل‌ها از تحلیل عددی به دو روش المان محدود و تفاضل محدود استفاده شده است.

برای این منظور ظرفیت‌باربری پی نواری واقع بر خاک مسلح به ژئوگرید را برای پارامترهای مختلف هندسی از جمله ضخامت لایه ماسه‌ی جایگزین شده (برای حالت شیروانی رسی)، تعداد ژئوگریدها، فاصله‌ی بالاترین ژئوگرید تا کف زیر شالوده، فاصله بین ژئوگریدها، طول ژئوگرید ، بررسی نموده و با تعیین مقدار بهینه هر کدام از پارامترها می‌توان بهترین استفاده را از ژئوگرید به عنوان مسلح کننده کرد و ظرفیت‌باربری را تا جایی که امکان دارد افزایش داد. در تمامی این حالات از پارامترهای بدون بعد استفاده می‌شود و تمام این متغیرهای نسبت به بعد پی اندازه‌گیری می‌شود و همچنین برای بررسی ظرفیت‌باربری از پارامتر بدون بعد BCR_u که به صورت نسبت ظرفیت‌باربری نهایی خاک مسلح در برابر ظرفیت‌باربری نهایی خاک غیر مسلح استفاده می‌شود.

کلید واژه‌ها : ظرفیت‌باربری، شالوده‌های سطحی، ژئوگرید، روش عددی، شیروانی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : تعریف و بیان مسأله

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسأله ۲

۱-۳- روش تحقیق ۳

۱-۴- اهداف کلی پایان نامه ۴

۱-۵- فرضیات تحقیق و محدودیت‌ها ۴

۱-۶- نتایج مورد انتظار ۴

۱-۷- ساختار پایان‌نامه ۴

فصل دوم : مروری بر منابع و تحقیقات انجام شده

بخش اول : مروری بر مفاهیم پایه ۷

۲-۱-۱- ژئوسنتتیک‌ها ۷

۲-۱-۱-۱- مقدمه ۷

۲-۱-۱-۲- ژئوتکستایل‌ها ۷

۲-۱-۱-۳- ژئوگریدها ۹

۲-۱-۱-۴- کاربرد ژئوگریدها در پی‌سازی ۹

۲-۱-۲- ظرفیت‌باربری ۱۱

۲-۱-۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۱-۲-۲- روش‌های تعیین ظرفیت‌باربری ۱۱

۲-۱-۲-۳- معادله ظرفیت‌باربری ترزاقی ۱۱

۲-۱-۲-۴- معادله ظرفیت‌باربری مایرهوف ۱۲

۲-۱-۲-۵- معادله ظرفیت‌باربری هنسن ۱۵

۲-۱-۲-۶- روش‌های حدی ۱۶

بخش دوم : پیشینه تحقیق ۱۶

۲-۲-۱- مقدمه ۱۶
۲-۲-۲- خاکهای مسلح به نوارهای آلومینیومی ۱۶
۲-۲-۳- خاکهای مسلح به ژئوتکستایل ۱۸
۲-۲-۴- خاک‌های مسلح به ژئوگریدها ۱۹
۲-۲-۵- فعالیت‌های براجام داس ۲۴
۲-۲-۶- مسلح سازی شیروانی‌ها ۳۲
۲-۲-۷- مسلح سازی پی‌های تداخلی ۳۶
۲-۲-۸- مسلح سازی پی‌های با بارگذاری خارج از مرکز ۳۸
۲-۲-۹- بررسی انواع ژئوگریدها ۴۰
۲-۲-۱۰- مسلح سازی شیروانی از جنس خاکستر بادی ۴۲

فصل سوم : معرفی نرم افزار و مدل‌سازی

۳-۱- مقدمه ۴۵
۳-۲- روش‌های عددی ۴۶
۳-۲-۱- روش المان محدود ۴۶
۳-۲-۲- روش تفاضل محدود ۴۷
۳-۳- معرفی نرم‌افزار ۴۷
۳-۳-۱- نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ ۴۷
۳-۳-۲- نرم‌افزار PLAXIS ۴۸
۳-۴- نحوه مدل‌سازی عددی ۴۹
۳-۴-۱- مدل‌سازی با $FLAC^{3D}$ ۴۹
۳-۴-۱-۱- شالوده واقع بر شیروانی ماسه‌ای ۵۰
۳-۴-۱-۲- شالوده واقع بر شیروانی رسی ۵۷
۳-۴-۱-۲- راهکاری جهت جلوگیری از گسیختگی‌های موضعی در $FLAC^{3D}$ ۵۷
۳-۴-۲- مدل‌سازی با PLAXIS ۷۱
۳-۴-۲-۱- مدل‌سازی شالوده واقع بر شیروانی ۷۳

فصل چهارم : اعتبارسنجی و تعیین صحت

۴-۱- مقدمه ۸۵

۴-۲- صحت‌سنجی ۸۶

۴-۲-۱- خطای نقطه‌ای ۸۶

۴-۲-۲- خطای نرمال ۸۶

۴-۳- اعتبارسنجی ۸۷

۴-۴- صحت سنجی نتایج نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ ۸۷

۴-۵- صحت سنجی نتایج نرم‌افزار PLAXIS ۹۶

۴-۶- اعتبارسنجی نتایج نرم‌افزار PLAXIS ۱۰۰

۴-۶-۱- آزمایش سه‌محوری ۱۰۰

۴-۶-۱-۱ نحوه‌ی انجام آزمایش ۱۰۰

۴-۶-۱-۲ مدل‌سازی عددی آزمایش سه‌محوری ۱۰۳

۴-۶-۱-۳- تحلیل برگشتی ۱۰۵

۴-۶-۲- آزمایش تحکیم یک بعدی ۱۰۷

۴-۶-۲-۱ نحوه‌ی انجام آزمایش ۱۰۷

۴-۶-۲-۲ مدل‌سازی عددی آزمایش تحکیم یک بعدی ۱۰۹

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۱۱۲

۵-۲- پیشنهادات ۱۱۳

مراجع ۱۱۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل دوم

شکل ۲-۱ ژئوتکستایل الف)بافته شده ب)بافته نشده [۳۶].....۸

شکل ۲-۲ ژئوگرید الف) تک محوره ب) دو محوره [۳۶].....۱۰

شکل ۲-۳ قفل و بست دانه‌های خاک در حفرات ژئوگرید [۳۶] ۱۰

شکل ۲-۴ فرضیات گسیختگی روش ترزاقی و مایرهوف [۸] ۱۴

شکل ۲-۵ فرضیات گسیختگی روش مایرهوف برای حالتی که شالوده در مجاورت شیب قرار دارد [۸] ۱۴

شکل ۲-۶ فرضیات روش هنسن [۸].....۱۵

شکل ۲-۷ سطح شکست خاک مسلح در بارگذاری نهایی [۲] ۱۷

شکل ۲-۸ ظرفیت باربری در مقابل نشست برای خاک مسلح و غیر مسلح [۲] ۱۷

شکل ۲-۹ نتایج آزمایشات داس برای خاک مسلح به ژئوتکستایل [۸].....۱۸

شکل ۲-۱۰ پارامترهای هندسی شالوده نواری واقع بر خاک مسلح به ژئوگرید [۸].....۱۹

شکل ۲-۱۱ منحنی بار- نشست برای خاک غیر مسلح و مسلح به ژئوگرید [۸] ۲۰

شکل ۲-۱۲ تعریف پارامترهای بدون بعد در حالت بحرانی [۸] ۲۱

شکل ۲-۱۳ مقادیر BCRu در مقابل d/B برای B/L های مختلف [۱۱] ۲۱

شکل ۲-۱۴ منحنی BCRu نسبت به u/B [۴۰].....۲۲

شکل ۲-۱۵ سطح شکست در حالت الف) u/B = (u/B)max [۴۰] و ب) u/B < (u/B)max ۲۳

شکل ۲-۱۶ سطح شکست و نوار مسلح کننده [۱۹].....۲۳

شکل ۲-۱۷ مقادیر S/B در مقابل ظرفیت باربری برای u/Bهای مختلف [۲۰].....۲۵

شکل ۲-۱۸ مقادیر نسبت ظرفیت های باربری در مقابل u/Bهای مختلف [۲۰] ۲۵

شکل ۲-۱۹ مقادیر نسبت ظرفیت های باربری در مقابل نسبت بعد ژئوگریدها [۲۰].....۲۵

شکل ۲-۲۰ مقادیر نسبت ظرفیت های باربری در مقابل تعداد ژئوگریدها [۲۰].....۲۶

شکل ۲-۲۱ پارامترهای هندسی پی مربعی واقع بر خاک مسلح به ژئوگرید [۳۰].....۲۶

شکل ۲-۲۲ پی واقع بر خاک ماسه ای نرم مسلح به خاک ماسه ای و ژئوگرید [۲۱].....۲۷

شکل ۲-۲۳ نتایج آزمایشگاهی داس و کینگ و نتایج تئوری مایرهوف [۲۱] ۲۸
شکل ۲-۲۴ مقدار $\Delta q_g/(q_{u(c)} + \Delta q_s)$ در مقابل H/B [۲۱] ۲۸
شکل ۲-۲۵ مدل هندسی شالوده نواری واقع بر خاک ماسه ای مسلح به ژئوگرید [۳۱] ۲۹
شکل ۲-۲۶ مقایسه نتایج تئوری و آزمایشگاهی ظرفیت باربری پی غیر مسلح در مقابل عمق مدفون [۳۱] ... ۳۰
شکل ۲-۲۷ سطح شکست خاک مسلح زیر شالوده نواری [۳۱]..... ۳۰
شکل ۲-۲۸ ظرفیت باربری پی مسلح در مقابل نسبت عمق مسلح شده [۳۱] ۳۰
شکل ۲-۲۹ ظرفیت باربری پی مسلح مدفون در مقابل نسبت عمق مدفون [۳۱]..... ۳۱
شکل ۲-۳۰ پی نواری واقع بر خاک مسلح با بارگذاری خارج از مرکز [۳۲]..... ۳۱
شکل ۲-۳۱ پی نواری واقع بر شیب مسلح به ژئوگرید [۴۳] ۳۲
شکل ۲-۳۲ منحنی های بار وارده در مقابل نشست مدل آزمایشگاهی برای بررسی اثر پارامترهای هندسی ژئوگرید [۴۳]..... ۳۳
شکل ۲-۳۳ منحنی های نسبت ظرفیت باربری به پارامترهای مختلف ژئوگرید [۴۳] ۳۴
شکل ۲-۳۴ بردارهای تغییر شکل خاک زیر شالوده در حالت $q<q_{ult}$ [۴۳] ۳۵
شکل ۲-۳۵ بردارهای تغییر شکل خاک زیر شالوده در حالت $q>q_{ult}$ [۴۳] ۳۵
شکل ۲-۳۶ پارامترهای هندسی مدل آزمایش شیروانی رسی مسلح شده [۱۴] ۳۵
شکل ۲-۳۷ مدل هندسی پی‌های تداخلی مسلح به ژئوگرید [۱۶] ۳۷
شکل ۲-۳۸ مقایسه تغییرات فاکتور تداخلی در روش های عددی و تئوری و آزمایشگاهی [۱۶] ۳۷
شکل ۲-۳۹ نسبت ظرفیت باربری به ظرفیت باربری با بارگذاری مرکزی در مقابل نسبت خروج از مرکزیت به روش های مایرهوف ، مرسوم ضریب کاهشی و آزمایشگاهی [۱۵]..... ۳۹
شکل ۲-۴۰ ظرفیت‌باربری نهایی پی در مقابل نسبت خروج از مرکزیت [۱۵] ۳۹
شکل ۲-۴۱ مدل هندسی آزمایش [۲۶] ۴۰
شکل ۲-۴۲ مقدار بار وارده در مقابل نشست شالوده برای مسلح کننده های متفاوت [۲۶] ۴۱
شکل ۲-۴۳ تغییرات فاکتور بهبود در مقابل نسبت نشست شالوده برای مسلح کننده های متفاوت [۲۶]..... ۴۲
شکل ۲-۴۴ نمای شماتیک مدل آزمایشگاهی و نحوه بارگذاری [۷] ۴۳

فصل سوم

شکل ۳-۱ شکل هندسی مدل شیروانی یک لایه ۵۱

شکل ۳-۲ نمایش مش‌بندی مدل شیروانی یک لایه ۵۱

شکل ۳-۳ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات تعداد ژئوگریدهای مختلف برای شیروانی تک لایه ۵۲

شکل ۳-۴ نمایش منحنی‌های جابجایی شیروانی یک لایه حاصل از نرم افزار $FLAC^{3D}$ برای حالت الف) خاک غیر مسلح ب)خاک مسلح به سه ژئوگرید ۵۳

شکل ۳-۵ نمایش منحنی‌های سرعت برای شیروانی یک لایه حاصل از نرم افزار $FLAC^{3D}$ برای حالت الف) خاک غیر مسلح ب)خاک مسلح به سه ژئوگرید ۵۴

شکل ۳-۶ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات u/B برای شیروانی تک لایه... ۵۵

شکل ۳-۷ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات h/B برای شیروانی تک لایه .. ۵۶

شکل ۳-۸ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات L/B برای شیروانی تک لایه .. ۵۷

شکل ۳-۹ شکل هندسی شیروانی دولایه ۵۸

شکل۳-۱۰ نمایش مش‌بندی شیروانی غیرمسلح با d/B=1.5 ..... ۵۸

شکل ۳-۱۲ نمایش منحنی‌های جابجایی شیروانی دو لایه حاصل از نرم افزار $FLAC^{3D}$ برای حالت الف) خاک غیر مسلح ب)خاک مسلح به سه ژئوگرید ۶۰

شکل ۳-۱۳ نمایش منحنی‌های سرعت برای شیروانی یک لایه حاصل از نرم افزار $FLAC^{3D}$ برای حالت الف) خاک غیر مسلح ب)خاک مسلح به سه ژئوگرید ۶۱

شکل ۳-۱۳ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات تعداد ژئوگریدها برای شیروانی دولایه ۶۲

شکل ۳-۱۴ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات d/B برای شیروانی دولایه ... ۶۲

شکل ۳-۱۵ نمایش منحنی‌های جابجایی برای شیروانی دو لایه حاصل از نرم افزار $FLAC^{3D}$ برای حالت الف) d/B=0 ب)d/B=1.5 ..... ۶۳

شکل ۳-۱۶ نمایش منحنی‌های سرعت برای شیروانی دو لایه حاصل از نرم افزار $FLAC^{3D}$ برای حالت الف) d/B=0 ب)d/B=1.5 ..... ۶۴

شکل ۳-۱۷ نتایج آنالیز تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات تعداد u/B برای شیروانی دولایه ۶۵

شکل ۳-۱۸ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات h/B برای شیروانی دولایه ... ۶۶
شکل ۳-۱۹ نتایج تفاضل محدود برای تغییرات ظرفیت‌باربری در مقابل تغییرات L/B برای شیروانی دولایه... ۶۷
شکل ۳-۲۰ نمایش منحنی‌های تغییرمکان در تحلیل پایداری شیروانی دو لایه برای سه حالت الف) d/B=0.5 ب) d/B=1 ج) d/B=2.25 ..... ۶۸
شکل ۳-۲۱ شکل هندسی شیروانی دولایه، d/B=0.5 همراه با رویه..... ۶۹
شکل ۳-۲۲ نمایش منحنی‌های تغییر مکان در تحلیل پایداری شیروانی دو لایه برای حالت d/B=0.5 و حضور رویه ۶۹
شکل ۳-۲۳ نتایج ظرفیت‌باربری در مقابل درصد نسبی نشست شیروانی دو لایه برای d/B=0.5 و دو حالت الف) بدون رویه ب) با رویه ۷۰
شکل ۳-۲۴ شکل هندسی شیروانی دولایه..... ۷۳
شکل ۳-۲۵ هندسه مدل شیروانی دولایه و مش‌بندی در PLAXIS ۷۴
شکل ۳-۲۶ منحنی نتایج المان محدود نسبت ظرفیت‌باربری نهایی در مقابل افزایش تعداد ژئوگریدها ۷۶
شکل۳-۲۷ نمایش مش تغییرشکل حاصل از آنالیز المان محدود در حالت الف) غیرمسلح ب) مسلح به چهار ژئوگرید ۷۷
شکل ۳-۲۸ منحنی‌های جابجایی حاصل از آنالیز المان محدود برای حالت الف) خاک غیرمسلح و ب) خاک مسلح به چهار ژئوگرید ۷۸
شکل ۳-۲۹ بردارهای جابجایی حاصل از آنالیز المان محدود در دو حالت الف) غیرمسلح ب) مسلح به چهار ژئوگرید ۷۹
شکل۳-۳۰ نتایج المان محدود ظرفیت‌باربری در مقابل نسبت نشست به عرض پی برای مقادیر مختلف d/B . ۸۰
شکل ۳-۳۱ منحنی های نتایج المان محدود جابجایی برای الف)L=2B و ب)L=6B ۸۱
شکل ۳-۳۲ منحنی نتایج المان محدود نسبت ظرفیت‌باربری در مقابل طول‌های مختلف ژئوگرید ۸۲
شکل ۳-۳۳ منحنی نتایج المان محدود نسبت ظرفیت‌باربری در مقابل فاصله اولین لایه ژئوگرید از کف پی .. ۸۲
شکل ۳-۳۴ منحنی نتایج المان محدود نسبت ظرفیت باربری در مقابل فاصله بین لایه‌های ژئوگرید ازهم ... ۸۳

فصل چهارم

شکل ۴-۱ پروسه‌ی تعریف یک مدل عددی و موقعیت صحت‌سنجی و اعتبارسنجی..... ۸۵

شکل ۴-۲ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر تعداد ژئوگریدها بر ظرفیت-باربری برای شیروانی تک لایه ۸۸
شکل ۴-۳ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر u/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی تک لایه ۸۹
شکل ۴-۴ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر h/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی تک لایه ۹۰
شکل ۴-۵ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر L/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی تک لایه ۹۱
شکل ۴-۶ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر تعداد ژئوگریدها بر ظرفیت-باربری برای شیروانی دو لایه ۹۲
شکل ۴-۷ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر u/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی دو لایه ۹۳
شکل ۴-۸ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر x/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی دو لایه ۹۴
شکل ۴-۹ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر L/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی دو لایه ۹۵
شکل۴-۱۰ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر تعداد ژئوگریدها بر ظرفیت-باربری ۹۶
شکل ۴-۱۱ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر u/B بر ظرفیت‌باربری .. ۹۷
شکل ۴-۱۲ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر x/B بر ظرفیت‌باربری .. ۹۸
شکل ۴-۱۳ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر L/B بر ظرفیت‌باربری . ۹۹
شکل ۴-۱۴ شکل آزمایش سه محوری [۹] ۱۰۱
شکل ۴-۱۵ نتایج آزمایش سه محوری ۱۰۲
شکل ۴-۱۶ مدل هندسی ترسیم شده در PLAXIS برای مدل کردن شرایط آزمایش سه محوری ۱۰۳
شکل ۴-۱۷ نتایج آنالیز PLAXIS برای مدل کردن شرایط آزمایش سه محوری ۱۰۴
شکل ۴-۱۸ مقایسه نتایج عددی و تحلیلی برای شرایط آزمایش سه محوری ۱۰۴

شکل ۴-۱۹رابطه تنش-کرنش هیپربولیک در بارگذاری اولیه برای آزمایش سه‌محوری زهکشی شده استاندار ۱۰۶
شکل۴-۲۰ رابطه تنش-کرنش حاصل از نتایج آنالیز المان محدود ۱۰۶
شکل ۴-۲۱ شکل آزمایش تحکیم یک بعدی [۲۹] ۱۰۷
شکل ۴-۲۲ نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی ۱۰۸
شکل ۴-۲۳ مدل هندسی ترسیم شده در PLAXIS برای مدل کردن شرایط آزمایش تحکیم یک بعدی ... ۱۰۹
شکل ۴-۲۴ نتایج آنالیز PLAXIS برای شرایط آزمایش تحکیم یک بعدی ۱۱۰
شکل ۴-۲۵ مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی برای شرایط آزمایش تحکیم یک بعدی ۱۱۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل دوم

جدول ۲-۱ مقادیر بحرانی پارامترهای بدون بعد برای مدل آزمایشگاهی و عددی [۴۳]..... ۳۳
جدول ۲-۲ نمایش نتایج مقادیر بحرانی [۱۶] ۳۸
جدول ۲-۳ خصوصیات لایه های مسلح کننده [۲۶] ۴۱
جدول ۲-۴ مقایسه نتایج تئوری و آزمایشگاهی [۷] ۴۳

فصل سوم

جدول ۳-۱ مشخصات مکانیکی مصالح شیروانی تک لایه ۵۲
جدول۳-۲ مشخصات مکانیکی مصالح شیروانی دولایه ۵۹
جدول ۳-۳ مشخصات مکانیکی مصالح شیروانی دولایه ۷۴

فصل چهارم

جدول ۴-۱ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر تعداد ژئوگریدها بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی تک لایه ۸۸
جدول ۴-۲ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر u/B بر ظرفیت-باربری برای شیروانی تک لایه ۸۹
جدول ۴-۳ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر h/B بر ظرفیت-باربری برای شیروانی تک لایه ۹۰
جدول ۴-۴ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر L/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی تک لایه..... ۹۱
جدول ۴-۵ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر تعداد ژئوگریدها بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی دولایه..... ۹۲
جدول ۴-۶ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر u/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی دو لایه ۹۳

جدول ۴-۷ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر x/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی دو لایه ۹۴

جدول ۴-۸ مقایسه نتایج عددی تفاضل محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر L/B بر ظرفیت‌باربری برای شیروانی دولایه ۹۵

جدول ۴-۹ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر تعداد ژئوگریدها بر ظرفیت-باربری ۹۶

جدول ۴-۱۰ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر u/B بر ظرفیت-باربری برای شیروانی دو لایه ۹۷

جدول ۴-۱۱ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر x/B بر ظرفیت‌باربری ۹۸

جدول ۴-۱۲ مقایسه نتایج عددی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی برای بررسی اثر L/B بر ظرفیت‌باربری ۹۹

جدول ۴-۱۳ مشخصات مصالح بکار رفته در آزمایش سه‌محوری و تحکیم یک بعدی ۱۰۰

فصل اول

تعریف و بیان مسأله

۱-۱- مقدمه

بررسی و تعیین ظرفیت‌باربری پی‌ها از مهمترین مباحث مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. پی یکی از اصلی-ترین قسمت‌های هر سازه محسوب می‌شود لذا بررسی و تعیین عملکرد آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. انتقال بار سازه به خاک بدون آنکه باعث ایجاد گسیختگی برشی در خاک گردد، یا نشست‌های بیش از اندازه ایجاد کند، از اصول طراحی پی به شمار می‌رود. از سوی دیگر جنبه های اقتصادی و توجیه‌پذیر بودن ساخت پی بایستی در نظر گرفته شود. روش‌های مطلوب، از میان شیوه‌های متعدد، آن‌هایی است که ضمن برآورده کردن انتظارات ژئوتکنیکی از لحاظ اقتصادی نیز قابل توجیه باشند.

نظر به افزایش روزافزون جمعیت در جهان و نیاز به احداث سازه‌های بلند مرتبه و استفاده از زمین‌های پست و نامناسب تحقیقات متعددی به منظور افزایش کارایی پی‌ها صورت گرفته است. و روش‌های مختلفی به منظور افزایش ظرفیت‌باربری نیز پیشنهاد گردیده که از جمله می‌توان به اصلاح خاک، تسلیح خاک و... اشاره نمود.

خاک باید بدون آنکه دچار گسیختگی برشی شود، توانایی تحمل بارهای ناشی از سازه‌ی مهندسی روی خود را داشته باشد و در ضمن نشست‌های حاصل در حد تحمل سازه باشد. نشست‌های بیش از حد ممکن است به آسیب‌دیدگی سازه ای اسکلت منجر شود.

۱-۲- بیان مسأله

تاکنون مطالعات زیادی بر روی رفتار پی‌های واقع بر خاک ماسه ای غیر مسلح و مسلح صورت گرفته است و ظرفیت‌باربری آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند و روابط تجربی و تحلیلی متعددی برای تعیین ظرفیت-باربری آن‌ها توسط محققین مختلف ارائه گردیده است.