دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی سه بعدی ظرفیت باربری پی رادیه-شمع واقع برخاکهای ناهمگن به کمک تئوری فضای تصادفی

از:

فاضله میرعباسی

اساتید راهنما:

دکتر علی قربانی

دکتر رضا جمشیدی چناری

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به

پدر و مادرم

که هر آنچه به دست آورده ام از صبر و پشتیبانی آنها بوده است.

تقدیر و تشکر :

باسپاس بی کران از یگانه خالق هستی و آفریننده بی همتا که هرچه داریم نعمت اوست.

با تشکر از خانواده عزیزم که در پیمودن این مسیر همراه و یاورم بودند.

با قدردانی از اساتید راهنمای محترم، جناب دکتر علی قربانی و جناب دکتر رضا جمشیدی چناری که در به ثمر رسیدن این تلاش نقشی موثر ایفا نمودند و با تشکر از داوران گرانقدر جناب دکتر میراحمد لشته نشایی و جناب دکتر مهیار عربانی که زحمت داوری این مجموعه به عهده ایشان بود. و قدردانی از جناب مهندس حسن کامیاب که صادقانه در پیشبرد این مجموعه راهنمایم بودند.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده فارسی ..... ر

چکیده انگلیسی ..... ز

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- روش تحقیق ۵

۱-۳- اهداف ۵

۱-۴- ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم : مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- مزایای استفاده از شالوده های شمع - رادیه ۱۰

۲-۳- پی‌مرکب ۱۰

۲-۴- مفاهیم طراحی ۱۱

۲-۵- مراحل طراحی پی‌مرکب ۱۶

۲-۶- روش‌های آنالیز سیستم های شمع- رادیه ۲۰

۲-۷- روش‌های محاسبه سهم باربری رادیه و گروه شمع در سیستم پی‌مرکب ۲۸

۲-۷- ۱- روابط راندلف ۲۸

۲-۷- ۲- روابط PDR (poulos - davise - randolph) ۳۰

۲-۷- ۳- روابط فلمینگ ۳۲

۲-۸- اثر پارامترهای مختلف روی رفتار پی‌های مرکب ۳۳

۲-۸-۱- اثر نوع خاک ۳۳

۲-۸-۲- اثر مقاومت برشی خاک ۳۶

۲-۸-۳- اندرکنش خاک و سازه ۳۷

۲-۸-۴- اثر مشخصات رفتاری ۳۸

۲-۸-۵- اثر سختی رادیه ۴۱

۲-۸-۶- بررسی نسبت بارها تحت ۳ مقدار سختی نسبی شمع ۴۴
۲-۸-۷- اثر تغییرات بار شمع‌ها با طول شمع ۴۵
۲-۸-۸- اثر تعداد طبقه روی توزیع بار شمع‌ها ۴۶
۲-۸-۹- اثر سختی ساختمان روی رادیه و سختی رادیه روی توزیع بار شمع‌ها ۴۷
۲-۸-۱۰- اثر تعداد شمع‌ها و نوع بارگذاری ۴۸
۲-۸-۱۱- توزیع بار شمع‌ها و رادیه ۵۰
۲-۸-۱۲- اثر تعداد شمع روی نشست متوسط روش‌های مرسوم ۵۱
۲-۸-۱۳- اثر مدول خاک و ضخامت رادیه ۵۲
۲-۹- رفتار نشست – بار پی‌مرکب ۵۳
۲-۱۰- توزیع بار محوری شمع‌ها ۵۵

فصل سوم: بررسی ناهمگونی خاک

۳-۱- مقدمه ۵۸
۳-۲- عدم‌قطعیت در مسائل ژئوتکنیکی ۵۹
۳- ۳- تقسیم بندی عدم‌قطعیت ۶۲
۳-۴- تغییرپذیری فضایی ذاتی خاک ۶۴
۳-۵- مدل‌های تصادفی ۷۹
۳-۶- مشخصات احتمالاتی تغییرپذیری فضایی ویژگی‌های خاک ۷۹
۳-۷- عدم‌قطعیت آماری و خطاهای اندازه‌گیری ۸۲
۳-۸- عدم‌قطعیت مدل ۸۴
۳-۹- روش‌های طراحی سیستم ها ۸۵
۳-۱۰- تکنیک‌های تحلیل تصادفی در مهندسی ژئوتکنیک ۹۱

۳-۱۱- ضریب اطمینان ۹۳
۳-۱۲- تحلیل‌های قابلیت اطمینان ۹۴
۳-۱۳- آمار و احتمال ۱۰۱
فصل چهارم: مدلسازی و تحلیل عددی
۴-۱- مقدمه ۱۱۲
۴-۲- مراحل شبیه سازی ۱۱۲
۴-۳- مدلسازی رفتار خاک ۱۱۴
۴-۴- تحلیل تفاضل محدود مدل‌ها ۱۱۶
۴-۵- مشخصات و ابعاد سیستم پی‌مرکب ۱۲۰
۴-۵-۱- مراحل مدلسازی در این مطالعه ۱۲۰
۴-۵-۲- مدل میدان تصادفی ۱۳۳
۴-۵-۳- مطالعات پارامتریک ۱۳۶
۴-۶- مقایسه نتایج محاسبات سهم باربری در نرم‌افزار با روابط کلاسیک ۱۵۱
فصل پنجم: جمع‌بندی، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
۵-۱- مقدمه ۱۵۵
۵-۲- جمع‌بندی ۱۵۵
۵-۳- نتیجه گیری ۱۵۶
۵-۴- محدودیت ها و موانع ۱۵۷
۵-۵- ارائه پیشنهادات جهت ادامه مطالعات ۱۵۷
مراجع ۱۵۸

فهرست شکل‌ها

شکل(۲-۱) شکل کلی شالوده شمع رادیه ۹
شکل(۲-۲) منحنی‌های بار - نشست شالوده شمع رادیه برای فلسفه های مختلف طراحی ۱۳
شکل(۲-۳) نتایج حاصل از MATHCAD , (الف) نشست، (ب) ضریب ایمنی ۱۷
شکل(۲-۴) تعریف مسئله برای یک بار ستونی منفرد ۱۸
شکل(۲-۵) بیشترین باربرای معیارهای مختلف ۱۹
شکل(۲-۶) فونداسیون شمع- رادیه با سه المان باربر شمع، رادیه و خاک ۲۶
شکل(۲-۷) منحنی بار نشست ساده شده برای آنالیز اولیه ۲۹
شکل(۲-۸) منحنی‌های تعیین ضریب تاثیر ۳۱
شکل(۲-۹) نمودار تعیین ضریب I ۳۲
شکل(۲-۱۰) توزیع بار بین شمع‌ها مدل خاک دولایه ای ۳۵
شکل (۲-۱۱) مقطع سیستم پی‌مرکب در مدل گیبسون ۳۶
شکل(۲-۱۲) پلان سیستم پی‌مرکب ۳۹
شکل (۲-۱۳) اثر ضخامت رادیه ۴۰
شکل(۲-۱۴) منحنی‌های بار- نشست برای سیستم های مختلف پی‌مرکب ۴۱
شکل(۲-۱۵) توزیع بارشمع‌ها در پی‌مرکب ۴۲
شکل (۲-۱۶). توزیع باربین شمع‌ها در مدل گیبسون ۴۳
شکل (۲-۱۷). تغییرات عددی بار محوری شمع ۴۴
شکل (۲-۱۸). اثر سختی رادیه و شمع روی توزیع بار بین شمع‌ها ۴۵
شکل (۲-۱۹). اثر نسبت طول به عرض شمع روی توزیع بار بین شمع‌ها ۴۶
شکل (۲-۲۰). اثر سختی سازه روی توزیع بار بین شمع‌ها ۴۷
شکل (۲-۲۱). اثر سختی سازه روی توزیع بار بین شمع‌ها برای سختی های مختلف شمع و رادیه ۴۸
شکل (۲-۲۲). اثر تعداد شمع‌ها روی رفتار پی‌مرکب ۴۹
شکل (۲-۲۳). تغییرات بار محوری شمع های گوشه ، کناری و وسط بدون رادیه ۵۰
شکل (۲-۲۴). تغییرات بار محوری شمع های گوشه ، کناری و وسط با رادیه ۵۱

شکل (۲-۲۵). اثر تعداد شمع‌ها روی نشست پی‌مرکب ۵۱
شکل (۲-۲۶). اثر مدول خاک و ضخامت رادیه روی رفتار بار- نشست رادیه ۵۲
شکل (۲-۲۷). اثر مدول خاک و ضخامت رادیه روی رفتار بار-نشست پی‌مرکب ۵۳
شکل (۲-۲۸). مقایسه رفتار بار- نشست رادیه و پی‌مرکب ۵۵
شکل (۲-۲۹). توزیع بار محوری شمع‌ها ۵۶

فصل ۳

شکل (۳-۱) عدم‌قطعیت‌ها در تخمین ویژگی‌های خاک [Kulhawy, F.H., 1992] ۶۳
شکل(۳-۲) مثالی از یک پروفیل خاک در آزمایش SCPT [Schneider J.A. Mayne, P.W., 2000] ۶۵
شکل(۳-۳) دیاگرام شماتیک تغییرپذیری ذاتی خاک [Kulhawy, F.H., 1992] ۶۶
شکل(۳-۴) ناهمگونی ذاتی در خاک [Vanmarcke,. 1983] ۶۸
شکل(۳-۵) تغییرات مقاومت نفوذ مخروط CPT در راستای افقی و قائم **[Popescu et al., 1997]** ۶۹
شکل(۳-۶) انواع میدان کاتوره‌ای ۷۰
شکل(۳-۷) پروفیل مقاومت نوک CPT ،[Jones et al., 2002] ۷۴
شکل(۳-۸) منحنی مقیاس نوسان [Jones et al., 2002] ۷۵
شکل (۳-۹) ضریب تغییرپذیری ذاتی مقاومت برشی زهکشی نشده در برابر میانگین مقاومت برشی زهکشی نشده ۸۰
شکل (۳-۱۰) ضریب تغییرات، COV ، مقاومت برشی زهکشی نشده در برابر میانگین مقاومت برشی زهکشی نشده ۸۱
شکل (۳-۱۱) بزرگی توزیع‌های احتمالی بار و مقاومت (Green, R., 1989) ۸۸
شکل (۳-۱۲) روند کاری در تحلیل و طراحی یک سیستم مهندسی ژئوتکنیک ۹۰
شکل (۳-۱۳) نمونه‌ای از یک توزیع نرمال پیوسته ۱۰۶
شکل (۳-۱۴) نمونه‌ای از توزیع لگاریتم نرمال ۱۰۸

فصل ۴

شکل(۴-۱) شرایط هندسی مدل ۱۱۷
شکل(۴-۲) شرایط هندسی سیستم پی‌مرکب ۱۱۷
شکل(۴-۳) شرایط مرزی مسئله ۱۱۸

شکل(۴-۴) برقراری تعادل اولیه ۱۲۰
شکل(۴-۵) المان‌های حد فاصل ۱۲۱
شکل(۴-۶) هندسه و مدلسازی مسئله ۱۲۴
شکل(۴-۷) نمودارهای ظرفیت باربری پی‌مرکب در سه روند مشخصه ۱۲۶
شکل(۴-۸) نمودار ظرفیت باربری پی‌مرکب برای میانگین حسابی، هندسی و ثابت ۱۲۶
شکل (۴-۹) موقعیت شمع‌ها در حالت ۱/۴ مدلسازی شده ۱۲۸
شکل (۴-۱۰) سهم باربری سیستم پی‌مرکب برای روند مشخصه صفر ۱۲۸
شکل (۴-۱۱) سهم باربری شمع‌ها برای روند مشخصه ۳ ..... ۱۲۹
شکل (۴-۱۲) شرایط هندسی مدل در حالت ۲ ..... ۱۳۱
شکل (۴-۱۳) المان‌های حدفاصل مدل ۱۳۲
شکل (۴-۱۴) ظرفیت باربری سیستم پی‌مرکب در محیط همگن ۱۳۲
شکل (۴-۱۵) تغییرات شماتیک متغیر تصادفی ۱۳۷
شکل (۴-۱۶) تغییرات شماتیک متغیر تصادفی ۱۳۷
شکل (۴-۱۷) تغییرپذیری فضایی مدول یانگ برای فاصله همبستگی L = 1 m ۱۳۹
شکل (۴-۱۸) تغییرپذیری فضایی مدول یانگ برای فاصله همبستگی L = 5 m ۱۴۰
شکل(۴-۱۹) تغییرپذیری فضایی مدول یانگ برای فاصله همبستگی L = 50 m ۱۴۱
شکل(۴-۲۰) تابع توزیع احتمال سهم باربری رادیه ۱۴۲
شکل(۴-۲۱) تابع توزیع احتمال سهم باربری رادیه ۱۴۳
شکل(۴-۲۲) تابع توزیع احتمال سهم باربری رادیه L = 5 m ۱۴۴
شکل (۴-۲۳) تغییرات میانگین سهم باربری رادیه با تعداد واقعی سازی ها برای ضرایب مختلف تغییرات ۱۴۵
شکل (۴-۲۴) تغییرات میانگین سهم باربری رادیه با تعداد واقعی سازی ها برای فواصل مختلف همبستگی ۱۴۶
شکل (۴-۲۵) تغییرات میانگین سهم باربری رادیه با تعداد واقعی سازی ها برای ضرایب مختلف آلفا ۱۴۷
شکل (۴-۲۶) سهم باربری شمع‌ها برای ضرایب مختلف تغییرات در L = 1 m ۱۴۸
شکل (۴-۲۷) سهم باربری شمع‌ها برای ضرایب مختلف تغییرات در L = 5 m ۱۴۹

شکل (۴-۲۸) سهم باربری شمع‌ها برای ضرایب مختلف تغییرات در L = 50 m ۱۵۰
شکل (۴-۲۹) احتمال افزایش میانگین سهم باربری رادیه نسبت به سهم باربری در روش PDR ۱۵۳

فهرست جداول

جدول (۳-۱) خلاصه ای تغییرپذیری ذاتی مقاومتی خاک ۷۳
جدول(۳-۲) خلاصه ای از مقیاس نوسان بعضی ویژگی‌های ژئوتکنیکی ۷۵
جدول (۳-۳) توابع خود همبستگی و مقیاس نوسان متناظر با آن ها ۷۶
جدول (۳-۴) ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک ۷۷
جدول (۳-۵) طول همبستگی برای ویژگی‌های مختلف خاک‌ها ۷۸
جدول (۳-۶) مقادیر بدست آمده از مطالعات محققین برای مقیاس و طول همبستگی ۸۲
جدول (۳-۷) فاکتورهای اصلی موثر بر عدم قطعیت مدل برای برخی مسائل مهندسی ۸۵
جدول (۳-۸) انواع توابع کارکرد و شاخص های اعتباری $(\boldsymbol{\beta})$ ۹۷
جدول (۳-۹) نتایج تحلیل روش‌های مختلف قابلیت اطمینان ۱۰۱
جدول (۳-۱۰) مدل‌های رایج برای متغییرهای تصادفی پیوسته ۱۰۴
جدول (۴-۱) مشخصات پارامترهای مورد استفاده در مدلسازی ۱۲۴
جدول (۴-۲) ظرفیت باربری پی‌مرکب با چسبندگی ۲۵ کیلوپاسکال ۱۲۵
جدول (۴-۳) ظرفیت باربری پی‌مرکب با چسبندگی ۵۰ کیلوپاسکال ۱۲۵
جدول (۴-۴) مقایسه سهم باربری روش‌های تجربی و نتایج حاصل از نرم‌افزار ۱۲۷
جدول (۴-۵) مقایسه سهم باربری به‌ازای طولهای مختلف شمع ۱۳۰
جدول (۴-۶) سهم باربری شمع‌ها سیستم پی‌مرکب در محیط همگن ۱۳۲
جدول(۴-۷) مشخصات پارامترهای مورد استفاده در مرحله ۲ مدلسازی (محیط همگن) ۱۳۳
جدول (۴-۸) پارامترهای مدلسازی ۱۳۶
جدول (۴-۹) سهم باربری در یک حالت تصادفی (٪) ۱۵۱
جدول (۴-۱۰) مقایسه سهم باربری به روش‌های تجربی و نرم‌افزاری ۱۵۲

چکیده

بررسی ظرفیت باربری پی‌رادیه – شمع واقع برخاکهای ناهمگن به کمک تئوری فضای تصادفی

فاضله میرعباسی

وقتی شالوده سطحی قادر به تحمل بارهای وارده نباشد و یا روی خاک‌های مسئله دار قرار گیرد، نشست‌ها بیش از حد مجاز شده ، لذا از تعدادی شمع ، زیر شالوده سطحی استفاده می‌شود و در این حالت چنانچه در طراحی و تحلیل سهم باربری شالوده سطحی نیز در نظرگرفته شود به سیستم فوق پی‌مرکب میگویند. پی‌مرکب سیستمی شامل سه المان باربر شامل خاک، رادیه و شمع می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از روش عددی تفاضلات محدود و بهره‌گیری از نرم افزار FLAC3D به بررسی اثر تغییرپذیری فضائی پارامترهای خاک بر سهم باربری رادیه و شمع پرداخته شده است. به این منظور، با اتخاذ توزیع آماری نرمال برای مقاومت برشی زهکشی نشده و به کمک شبیه سازی مونت کارلو مبادرت به واقعی سازی این پارامتر به تعداد ۵۰۰ تحلیل گردید. ضریب تغییرات مقاومت برشی زهکشی نشده که نسبت انحراف معیار به میانگین آن می‌باشد به عنوان پارامتر آماری تصادفی مورد مطالعه انتخاب گردید و اثر آن بر سهم باربری رادیه و شمع‌ها در سیستم پی‌مرکب برای خاک رس در شرایط زهکشی نشده مطالعه گردید. نتایج تحلیل‌ها نشان داد با توجه به همگن بودن فضای آماری و ایستا بودن آن و انتگرالگیری در فضای مسئله، تغییرپذیری فضائی پارامترهای رفتاری (با فرض ثابت ماندن میانگین) در خاکهای رسی بر سهم باربری رادیه موثر است و رادیه سهمی بیشتر از مقادیر محاسبه شده توسط روابط تجربی را بخود اختصاص می‌دهد.بنابراین می‌توان با درنظر گرفتن سهم بیشتری برای رادیه درمحاسبات به طراحی‌های اقتصادی‌تری دست یافت .

واژگان کلیدی

پی‌مرکب، تغییرپذیری فضائی، تحلیل تصادفی، سهم باربری، مقاومت برشی زهکشی نشده

Abstarct:

Bearing Behavior of Piled raft on Heterogeneous Soil by Use of Random Field Theory

Fazele Mir Abbasi

In the case of problematic soils and tall buildings where a raft foundation cannot satisfy the design requirements, it is possible to improve the raft performance by adding a number of piles. Using a number of piles may enhance the ultimate load capacity and the settlement. The piled raft consists of the three elements: piles, raft and soil. The current thesis presents an investigation of the effects of the spatial variability of soil's parameters on the bearing behavior of piled raft. To do this, a numerical finite difference method and the software FLAC-3D has been employed. In this study, the coefficient of variation of the undrained shear strength, which is the ratio of the standard deviation to the mean, is considered as a random variable. As well, the effect of the variation of the undrained shear strength on the bearing capacity of the piled rafts on the undrained clayey soils is investigated. Monte Carlo simulation approach and the normal statistical distribution have been employed. Analyses show that due to the homogeneity and static nature of the problem, the spatial variability of behavioral parameters (assuming constant average) on clayey soils has more influence on bearing capacity of the raft.

Keywords:

Piled raft, Spatial variation, Random field theory, Bearing capacity, Undrained shear strength.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ – مقدمه

در احداث هر سازه باید از شالوده ای که بتواند بارهای وارد از سازه فوقانی را به خاک زیرین انتقال دهد، استفاده شود . در گذشته بیشتر ساختمان‌ها روی پی نواری یا مربعی احداث می‌شدند و در برخورد با لایه های سطحی شل و تراکم پذیر به اندازه گنجایش و تحمل زمین در آن شمع چوبی کوبیده می‌شد. نشست کلی یا غیر یکنواخت ناشی از این امر غالبا به دلیل انعطاف پذیری بناها، تاثیر قابل ملاحظه ای در پایداری کل نداشت . اجرای لایه های شفته آهکی وتقویت آن با قلوه سنگ‌های درشت هم راه حل دیگری برای حل معضل فوق به حساب می آمد. لیکن از قرن هیجدهم میلادی که بر سنگینی و صلبیت بناها افزوده شد، بنا به دلایل اقتصادی روش‌های فوق و بویژه اجرای شمع‌های چوبی اهمیت خود را از دست داد. وقتی شالوده سطحی قادر به تحمل بارهای وارده نباشد و یا روی خاک‌های مسئله دار (رمبنده یا فرو ریزشی) قرار گیرد، نشست‌ها بیش از حد مجاز شده ، لذا از تعدادی شمع ، زیر شالوده سطحی استفاده می‌شود و در این حالت چنانچه در طراحی و تحلیل سهم باربری شالوده سطحی نیز در نظرگرفته شود به سیستم فوق پی‌مرکب می‌گویند . در غیر اینصورت اگر از سهم باربری شالوده سطحی صرفنظر گردد و شالوده صرفا به عنوان یک رادیه که وظیفه انتقال بار به شمع‌ها را دارد در نظر گرفته شود، چنین سیستمی گروه شمع آزاد یا خود ایستا نامیده می‌شود. امروزه کاربرد شمع‌ها به عنوان المان‌های کاهش دهنده نشست، در پی‌های گسترده‌ای که دارای توان باربری مطلوب، اما جابجایی‌های بیش از حد مجاز هستند، گسترش یافته است. پی‌مرکب سیستمی شامل سه المان باربر که عبارت است از خاک، رادیه و شمع می‌باشد که در آن تعدادی شمع با طولی کوتاه‌تر و ابعادی کوچکتر نسبت به شمع‌های متداول، زیر رادیه قرار گرفته و مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از سیستم رادیه و شمع در خاک‌های ماسه‌ای و رسی نسبتاً متراکم و ضخیم، وقتی پی‌گسترده توان باربری کافی داشته باشد، اما نشست‌های آن از مقادیر مجاز بیشتر باشد، راهکاری اقتصادی و بهینه در جهت کاهش نشست‌های تفاضلی و کلی در سازه خواهد بود. لازم به توجه است که یک طرح بهینه پی‌مرکب، طرحی نیست که کمترین میزان نشست متوسط و تفاضلی را به دست دهد، بلکه طرحی است که مقادیر نشست با بکارگیری کمترین شمع ممکن به زیر مقادیر مجاز کاهش یابند. از این رو تا به حال مطالعات پارامتریک متعددی صورت گرفته است تا نقش پارامترهای مختلف در رفتار پی‌مرکب ارزیابی گردد. عوامل مختلفی همچون لایه بندی خاک در عمق، اندرکنش شمع- خاک-سازه ، نسبت طول به قطر و فاصله بندی شمع‌ها و اتصال یا عدم اتصال شمع‌ها به رادیه، نحوه آرایش شمع‌ها در صفحه رادیه در طراحی بهینه سیستم پی‌مرکب نقش دارند.

در گروه شمع با رادیه در تماس با خاک قسمتی از بار وارده توسط شمع‌ها و مقدار باقیمانده توسط رادیه در تماس با خاک حمل می‌گردد. در حالی که در روش‌های سنتی تحلیل گروه شمع ، حتی اگر رادیه با خاک در تماس باشد ، فرض ساده کننده بر این است که رادیه هیچ نوع باری را تحمل نمی‌کند و تمامی بار وارد توسط شمع‌ها حمل می‌شود. بنابراین در روش‌های سنتی تحلیل گروه شمع بدلیل در نظر نگرفتن نقش رادیه ، غیراقتصادی می‌باشند. از طرف دیگر، اگر فقط رادیه بارهای وارده را تحمل نماید ، ضخامت رادیه بسیار افزایش می یابد بطوری که هزینه بسیار زیادی خواهد داشت و در این حالت نشست‌ها نیز افزایش پیدا می‌کنند. بنابراین بهترین روش گروه شمع[1] با رادیه در تماس با خاک برای کاهش طول شمع‌ها و کاهش ضخامت رادیه می‌باشد. پی مرکب به عنوان عنصر انتقال دهنده بار سازه به لایه‌های مقاوم زیرسطحی، قرن‌ها مورد استفاده قرارگرفته است . شمع‌ها عناصر ستونی نسبتاً لاغری هستند که به صورت قائم و یا کمی شیب دار جهت انتقال بارهای فشاری، کششی یا جانبی از سطح زمین، به لایه های سخت زیرین به کار برده می‌شوند. در بسیاری موارد از نظر اقتصادی استفاده از شمع‌ها مقرون به صرفه تر از سایر انواع پی‌ها می‌باشد که می‌توان این مسئله را به دو دلیل توجیه نمود ، اول با توسعه تکنولوژی، امروزه استفاده از پی‌های شمعی نسبت به گذشته امکان پذیرتر و کم هزینه‌تر شده است و دلیل دوم ، زمان لازم برای ساخت و اجرای پی‌های شمعی معمولاً کوتاه تر از انواع دیگر پی‌ها می‌باشد . علاوه بر این برای سازه های دریایی نظیر سکوها یا اسکله‌ها معمولاً چاره‌ای جز استفاده از این نوع پی‌ها وجود ندارد.

طول یا عمق قرارگیری شمع در خاک، سطح مقطع، جنس، روش استقرار و چگونگی عملکرد شمع‌ها از پارامترهای اصلی است که با توجه به شرایط و نیازهای پروژه تعیین می گردند . سیستم پی‌مرکب ، زمانی توصیه می‌شود که حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد.

۱- لایهٔ سطحی خاک فاقد مقاومت کافی بوده و لایه‌های مقاوم‌تر خاک در اعماق پایین‌تر یافت شوند

۲- لایه یا لایه های سطحی نشست پذیر، تورم زا و فروریزشی باشند یا سازه به نشست غیر متقارن بسیار حساس باشد.

۳- علیرغم مقاوم بودن لایه‌های سطحی خاک، مشکل آب شستگی وجود داشته باشد، مانند آب شستگی کنارهٔ پایه‌های میانی و یا کولهٔ پل‌ها و سازه‌های مجاور ساحل.

[1] Piled Raft Foundation

۴- بارهای متمرکز بزرگی، باید از سازه به خاک منتقل شوند به طوری که تحمل این نیروها توسط پی‌های سطحی، حتی به صورت گسترده امکان پذیر نباشد.

۵- سطح آب زیرزمینی در منطقه بالا است و یا فشا ر آرتزین در لایه های خاک وجود داشته، به طوری که امکان احداث پی کم عمق وجود نداشته باشد.

۶- جلوگیری از روانگرایی خاک و حفاظت سازه در مقابل اثرات ناشی از آن.

۷- افزایش سختی خاک زیر پی ماشین آلات برای کنترل دامنهٔ ارتعاشات پی و همچنین کنترل فرکانس طبیعی سیستم.

۸- مقاومت در برابر نیروهای کششی یا واژگونی برای پی‌های زیر سطح آب و یا جلوگیری از واژگونی سازه های بلند.

۹- ایجاد مهار در برابر نیروهای افقی و زلزله یا ضربه گیری در اسکله ها.

۱۰- کنترل لغزش و رانش زمین و افزایش پایداری شیب ها.

طراحی باید تامین کننده سطح ایمنی مورد نظر، و دربرگیرنده کارایی رضایت‌بخشی باشد. به این معنی که تعیین میزان خطر وابسته به طرح و ارزیابی هزینه‌های احتمالی آسیب، ممکن باشد. بنابراین با مقایسه هزینه آسیب و سطوح ایمنی ، مفهوم قابلیت اطمینان[1] به کار برده می‌شود. روش‌های طراحی فعلی در ژئوتکنیک بر اساس تجربه مهندسی بوده و از زمینه نظری کافی برخوردار نمی‌باشد. تخمین سطوح اطمینان نیازمند تعیین ویژگی‌های بار و مقاومت می‌باشد. در مهندسی ژنوتکنیک عدم قطعیت وابسته به موارد مختلفی است که شامل ناهمگونی ذاتی[2] پارامترهای خاک، خطاهای اندازه گیری[3]، محدودیت در دسترسی به اطلاعات وضعیت زیرسطحی، خطاهای تبدیل[4]، عدم قطعیت مدل می‌باشد. روش‌های تحلیل و طراحی منطقی برای در نظرگرفتن عدم‌قطعیت[5] در مهندسی در دهه‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. [Lumb, P., 1974] [Vanmarcke, E.H., 1977]، [De Groot et al., 1977]، [Phoon et al., 1999a; 1999b]. منشا اصلی عدم قطعیت در ژئوتکنیک، ناهمگونی ویژگی‌های خاک است. به عنوان مثال، فون و کولهاوی ناهمگونی ذاتی خاک را با یک سری آزمایشات درجا بررسی کردند و میزان مشاهده ناهمگونی مقاومت خاک را به وسیله ضریب تغییرات (C.O.V) بیان نمودند [Phoon et al., 1996]. با انجام تعداد زیادی آزمایش CPT ضریب تغییرات ۲۰ تا ۴۰ درصد برای خاک رسی و ۲۰ و ۶۰ درصد را برای

[1] Reliability
[2] Inherent variability
[3] Measurement errors
[4] Transformation errors
[5] Uncertainty

خاک ماسه‌ای به دست آوردند. قسمتی از این پراکندگی ناشی از خطای آزمایشگاهی است. پراکندگی در نتایج، ناشی از خطاهای آزمایشگاهی در آزمایش CPT برای مخروط‌های الکتریکی ۵٪ و برای انواع مکانیکی ۱۰٪ تخمین زده شده است (ASTM,1989). مابقی ناهمگونی را می‌توان به ناهمگنی خاک نسبت داد. تاثیر ناهمگونی طبیعی پارامترهای خاک در لایه های یکنواخت و مشخص از لحاظ زمین‌شناسی بر رفتار خاک ثابت شده است، مصالح ناهمگن در مقایسه با مصالح با پارامترهای متوسط یکسان ممکن است رفتاری متفاوت داشته باشند[Nobahar et al., 2001b].

۱-۲- روش تحقیق:

در این تحقیق سهم باربری شمع و رادیه درسیستم پی‌مرکب برای محیط خاک ناهمگن در شرایط مختلف تغییرپذیری پارامترهای رفتاری بررسی می‌گردد. بدین منظور از تئوری فضای تصادفی و همچنین روش عددی با استفاده از نرم افزار تفاضل محدود FLAC3D به منظور مدلسازی مسئله استفاده گردیده است. شبیه‌سازی مونت- کارلو جهت در نظرگرفتن خاک و ایده آل سازی پی‌گسترده مستقر بر شمع و خاک بکار رفته است و اثر پارامترهای مختلف ناهمگونی اعم از روند مشخصه تغییرات پارامترهای رفتاری با عمق، ضرایب تغییرات و فاصله همبستگی بر سهم باربری هر یک از اجزای این سیستم مطالعه می‌گردد. برای انواع خاک‌ها با فرض الاستیک بودن اجزای سازه‌ای سهم باربری هر یک از اجزا توسط نرم افزار محاسبه و تغییرات ضریب باربری شمع‌ها بر حسب پارامترهای تحلیل عددی ورودی اعم از ضریب تغییرات مقاومت برشی، عمق تبدیل مقاومت برشی و فاصله همبستگی آن بررسی گردیده است.

۱-۳- اهداف

علیرغم پیشرفت چشمگیر علم مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک در دهه‌های اخیر، تعیین سهم باربری شمع‌ها هنوز با دشواری‌هایی همراه است. خواص فیزیکی و مکانیکی منحصر به فرد خاک مانند ناهمگونی، ناهمسانی، وجود آب، تنوع ترکیبات مختلف خاک در طبیعت، استعداد خزش، رفتار پیچیده تنش - کرنش از یک سو و تنوع شمع‌ها از لحاظ جنس مصالح، شکل مقاطع، روش‌های ساخت و استقرار و سایر موارد دیگر موجب پیچیدگی اندرکنش المان سازه‌ای شمع و خاک اطراف آن می‌گردند. لذا مدل کردن چنین شرایط پیچیده ای که متغیرهای مختلفی در آن دخالت دارند، به سادگی میسر نیست. به همین دلیل پژوهشگران متعددی در دهه‌های گذشته تلاش در جهت ارائه روابط تئوریک یا تجربی مختلفی برای تعیین سهم باربری

نموده اند، اما هر یک از روش‌های ارائه شده و پارامترهای ورودی مربوطه برحسب شرایط آزمایشگاهی، محلی و یا فرض های ساده کننده ای تنظیم شده‌اند که در مجموع برای شرایط کلی و عمومی ممکن است کارایی مطلوبی نداشته باشند. یکی از روش‌های تحلیل شمع روش عددی اجزاء محدود یا تفاضل محدود می‌باشد، در این پایان نامه به کمک نرم افزار FLAC 3D با استفاده از روش تفاضل محدود، پی‌مرکب در محیط خاک ناهمگن مدل می‌شود و سهم باربری رادیه و شمع‌ها تعیین می‌گردد که در فصل‌های بعدی به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهدگرفت. در حالت کلی بارهای وارد بر شمع‌ها شامل بارهای محوری، جانبی و لنگر خمشی هستند. ولی معمولاً مهمترین عامل طرح شمع ، طراحی در مقابل بار محوری است. به عبارت دیگر دراکثر موارد کاربردی، نیروی محوری وارد بر شمع عامل اصلی تعیین کننده در تعیین ظرفیت و سهم باربری شمع‌ها است . لذا در این پایان نامه به بررسی سهم باربری شمع در خاک رسی ، تحت بار فشاری توجه شده است و اثر گروه مطالعه نشده است . رفتار شمع مطابق با مدل الاستیک و رفتار خاک در حالت استاتیکی مطابق با مدل موهرکولمب است. تاثیر ناهمگونی فضایی خاک بر سهم باربری پی‌های مرکب مطالعه شده و هدف اصلی ارائه پیشنهادات طراحی برای تاثیر ناهمگونی فضایی می‌باشد به این منظور:

- بررسی ناهمگونی و ناهمسانی مقاومت برشی
- مطالعه واقعی سازی این ناهمگونی در مدل
- بررسی تاثیر ناهمگونی بر سهم باربری رادیه و شمع در سیستم پی‌مرکب

تاثیرات ناهمگنی خاک این مطالعه به خاک رسی تحت شرایط زهکشی نشده محدود شده است. مدل موهرکولمب و الاستیک استفاده و تنها یک پارامتر یعنی مقاومت برشی زهکشی نشده برای ناهمگنی خاک در نظر گرفته شده است. فرض می‌شود که مدول الاستیک با مقاومت خاک در حالت همبسته باشد به این ترتیب سایر پارامترهای وابسته به مدول الاستیک همچون مدول برشی G، مدول بالکK و غیره نیز با مقاومت برشی همبسته می شوند. این مطالعه داده های ژئواستاتیکی مشخصی را برای سایتی بخصوص تحلیل نمی‌کند.

۱-۴- ساختار پایان نامه

در فصل دوم مروری مختصر بر مطالعات انجام شده درگذشته روی سهم باربری پی‌های مرکب آورده شده است. در فصل سوم ناهمگنی در خاک تعریف و بررسی شده است. در فصل چهارم به معرفی نرم افزار FLAC3D و چگونگی مدلسازی در نرم افزار پرداخته می‌شود. مدل کردن پی‌مرکب درخاک ناهمگن و محاسبه سهم باربری با روابط موجود مقایسه می‌شود . استفاده از مفاهیم این نتایج و پیشنهادات در فصل پنجم ذکر می‌گردد.