بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی

گروه مهندسی عمران

گرایش مکانیک خاک و پی

بررسی اثر سازه فوقانی بر نشست شالوده‌های سطحی مستقر بر شمع

از

عارف گل محله

استاد راهنما:

دکتر علی قربانی

استاد مشاور:

دکتر رضا صالح جلالی

اسفند ۹۰

تقدیم به:

اسطوره تلاش، پدرم، تندیس مهربانی، مادرم

و

مظهر فداکاری، همسرم

تشکر و قدردانی:

یزدان پاک را سپاس می‌گویم زیرا که فرصتی به من عطا نمود تا گامی هر چند کوچک در راه رشد و اعتلای علم و دانش در میهن عزیزم **ایران** بردارم.

در ابتدا بر خود لازم می‌دانم از زحمات فراوان استاد گرانقدر راهنما جناب آقای دکتر علی قربانی و استاد محترم مشاور جناب آقای دکتر رضا صالح جلالی که با راهنمایی‌ها و کمک‌های خویش موجبات به سرانجام رسیدن این پژوهش را فراهم نمودند تقدیر و تشکر نمایم.

لازم است که از همسر عزیزم خانم مهندس زینب سلمانی که در طی مدت انجام این پایان‌نامه مرا در ترجمه متون و ویرایش یاری کرده‌اند و همچنین از پدر و مادر عزیزم که همیشه مشوق و راهنمای من بوده و همواره با فداکاری و گذشت از خود راه پیشرفت مرا هموار کردند قدردانی نمایم.

از راهنمایی‌های دوستان عزیزم آقایان مهندس یاسر پروایی، امیر قنبری، حسین مؤمنی، حسین نعمتی و یوسف صالحی نیز کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

فهرست جدول‌ها ..... ح

فهرست شکل‌ها ..... خ

فهرست علائم اختصاری ..... ر

چکیده فارسی ..... ز

چکیده لاتین ..... ژ

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۳

۱-۳- اهداف تحقیق ۳

۱-۴- روش تحقیق ۴

۱-۵- فصول مندرج در پایان نامه ۴

فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی

۲-۱- فونداسیون در سازه‌ها ۷

۲-۲- پی‌های گسترده ۷

۲-۳- گروه شمع ۸

۲-۴- پی‌های رادیه مرکب (شمع ـ رادیه) ۸

۲-۴-۱- فلسفه‌های طراحی ۱۰

۲-۴-۲- فرایند طراحی ۱۲

۲-۴-۳- شرایط مناسب و نامناسب برای سیستم رادیه مرکب ۱۳

۲-۴-۴- راهنمایی برای طراحی بهینه ۱۳

۲-۴-۵- مطالعات پیشین مرتبط با پی شمع ـ رادیه ۱۵

۲-۵- اثر روسازه بر پی ۲۱

۲-۶- نشست سازه ۲۳

۲-۶-۱- روابط مربوط به محاسبه مؤلفه‌های نشست در سازه ۲۳

۲-۶-۱-۱- نشست آنی ۲۳

۲-۶-۱-۲- نشست تحکیم ۲۴

۲-۷- کاربرد فونداسیون رادیه مرکب در سطح جهان ۲۴

۲-۷-۱- برج Westend فرانکفورت آلمان ۲۴
۲-۷-۲- برج Messeturm فرانکفورت آلمان ۲۵
۲-۷-۳- برج خلیفه دبی ۲۶
۲-۸- سیستم رادیه مرکب با شمع‌های منفصل ۲۷
۲-۸-۱- مشکلات شمع‌های متصل کاهنده نشست ۲۸
۲-۸-۲- آلترناتیو طراحی رادیه با شمع‌های کاهنده نشست ۲۸
۲-۹- جمع بندی ۳۲

فصل سوم: مدل‌سازی عددی و صحت سنجی

۳-۱- مقدمه ۳۴
۳-۲- انتخاب نرم‌افزار ۳۴
۳-۲-۱- معرفی نرم‌افزار FLAC3D ۳۴
۳-۲-۲- مقایسه اجمالی با سایر روش‌ها ۳۵
۳-۲-۳- حوزه کاربرد برنامه ۳۶
۳-۲-۴- روش تفاضل محدود ۳۷
۳-۲-۵- مروری بر نحوه محاسبات ۳۹
۳-۲-۶- مراحل مدل‌سازی و نحوه کار با نرم‌افزار FLAC3D ۴۰
۳-۲-۷- بررسی شرایط تعادل در هنگام استفاده از FLAC3D ۴۲
۳-۳- انتخاب مدل رفتاری مناسب ۴۳
۳-۳-۱- مدل‌های رفتاری ۴۳
۳-۳-۱-۱- مدل‌های الاستیک خطی ۴۳
۳-۳-۱-۲- مدل‌های پلاستیسیته ۴۴
۳-۴- فرضیات تحلیل ۴۸
۳-۴-۱- ابعاد محیط در جهات افقی و قائم ۴۸
۳-۴-۲- بعد شبکه مدل عددی در جهات افقی ۴۹
۳-۴-۳- بعد شبکه مدل عددی در جهت قائم ۴۹
۳-۴-۴- شرایط مرزی محیط خاک و پی ۵۱
۳-۴-۵- فواصل اجزای تشکیل دهنده محیط ۵۱

۳-۴-۶- شرایط اولیه و برقراری تعادل اولیه ۵۱
۳-۵- بررسی اعتبار مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار FLAC3D ۵۲
۳-۵-۱- تست بارگذاری شمع ساده درجا ۵۲
۳-۵-۲- مدل‌سازی رادیه مرکب مدل فیزیکی ۵۴
۳-۵-۳- فونداسیون رادیه مرکب پولوس ۵۷
۳-۶- مدل‌سازی روسازه ۶۰
۳-۶-۱- المان‌های ساختاری تیر ۶۰
۳-۶-۲- المان ساختاری پوسته ۶۲
۳-۷- مثال‌های کاربردی ۶۲
۳-۷-۱- تیر ساده تحت دو بار متمرکز برابر ۶۲
۳-۷-۲- مدل ساده روسازه ۶۶
۳-۸- جمع‌بندی ۶۷

فصل چهارم: مطالعات پارامتریک

۴-۱- مطالعات پارامتریک ۶۹
۴-۲- ساختمان Messe Turhaus ۶۹
۴-۳- تأثیر سختی روسازه بر تغییر مکان قائم پی ۷۳
۴-۴- تأثیر مراحل ساخت روسازه بر نتایج تحلیل شمع ـ رادیه ۷۹
۴-۵- مطالعه موردی ۸۰
۴-۵-۱- فونداسیون رادیه مرکب پولوس ۸۰
۴-۵-۲- مقایسه سیستم رادیه مرکب با سیستم رادیه ساده ۸۲
۴-۵-۳- تأثیر سختی روسازه روی رفتار فونداسیون رادیه مرکب ۸۳
۴-۵-۴- تحلیل ساختمان بتنی بلند مرتبه فرضی ۸۵
۴-۵-۵- تأثیر روسازه با ارتفاع ساختمان‌های مختلف ۸۷
۴-۵-۶- سهم سختی در طبقات مختلف ۸۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- جمع‌بندی ۹۱

۵-۲- نتیجه‌گیری ۹۲

۵-۳- پیشنهاد برای کارهای آتی ۹۲

مراجع ۹۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱: خلاصه‌ای از تحقیقات مهم صورت گرفته در زمینه گروه شمع ۱۹

جدول ۳-۱: مقایسه روش‌های صریح و غیرصریح ۳۹

جدول ۳-۲: رابطه زاویه اصطکاک بین شمع و خاک با زاویه اصطکاک خاک ۴۸

جدول ۳-۳: خلاصه پروفیل ژئوتکنیکی و خصوصیات خاک محل ۵۲

جدول ۳-۴: مشخصات خاک و شمع در مدل‌سازی رادیه مرکب آزمایشگاه ۵۵

جدول ۴-۱: خصوصیات مصالح به منظور استفاده در مدل سه بعدی ساختمان Messe turhaus ۷۱

جدول ۴-۲: تحلیل‌های انجام شده برای سازه‌های مختلف با درصدهای مختلف سختی روسازه ۷۶

جدول ۴-۳: مشخصات پی و المان‌های سازه‌ای مورد استفاده در تحلیل‌ها ۷۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: انواع پی گسترده ۸

شکل ۲-۲: سیستم رادیه مرکب و اندرکنش‌های مختلف در این سیستم ۹

شکل ۲-۳: منحنی‌های بار ـ نشست رادیه مرکب براساس فلسفه‌های مختلف طراحی ۱۱

شکل ۲-۴: شکل شماتیک برای انواع فونداسیون‌ها ۱۲

شکل ۲-۵: برج Westend آلمان ۲۵

شکل ۲-۶: فونداسیون رادیه مرکب برای برج Messeturm آلمان ۲۵

شکل ۲-۷: فونداسیون رادیه مرکب برج خلیفه در دبی ۲۶

شکل ۲-۸: استفاده از شمع‌ها به عنوان مسلح کننده خاک ۳۰

شکل ۲-۹: سیستم بارگذاری سیستم رادیه مرکب با شمع‌های منفصل ۳۱

شکل ۳-۱: نمودار ترتیب محاسبات در روش صریح ۳۸

شکل ۳-۲: روند کلی حل مسأله با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D ۴۱

شکل ۳-۳: معیار گسیختگی و سطح تسلیم در موهر ـ کولمب ۴۶

شکل ۳-۴: مدل تفاضل محدود بکار رفته ۴۹

شکل ۳-۵: تغییرات کرنش و نشست در اطراف شمع منفرد ۵۰

شکل ۳-۶: کانتور نشست شمع ساده ۵۳

شکل ۳-۷: منحنی بار ـ نشست محاسبه شده شمع منفرد در این تحقیق ۵۴

شکل ۳-۸: شکل (۳-۸) کانتور نشست فونداسیون رادیه مرکب در پراگ ۵۶

شکل ۳-۹: منحنی بار ـ تغییر مکان بدست آمده از مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار FLAC3D ۵۶

شکل ۳-۱۰: فونداسیون رادیه مرکب پولوس ۵۷

شکل ۳-۱۱: کانتور نشست فونداسیون رادیه مرکب با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D ۵۹

شکل ۳-۱۲: مقایسه نشست اندازه‌گیری شده با روش‌های ارائه شده در ادبیات فنی ۵۹

شکل ۳-۱۳: سیستم مختصات المان ساختاری تیر با ۱۲ درجه آزادی ۶۰

شکل ۳-۱۴: نیروها و لنگرهای خمشی یک المان ساختاری تیر ۶۰

شکل ۳-۱۵: مقطع یک المان ساختاری تیر و روابط ۶۲

شکل ۳-۱۶: تیر ساده تحت دو نیروی متمرکز ۵۹
شکل ۳-۱۷: جابجایی مشاهده شده در اثر بارگذاری ۶۴
شکل ۳-۱۸: نمودار توزیع نیروی برشی ۶۵
شکل ۳-۱۹: نمودار توزیع لنگر خمشی ۶۵
شکل ۳-۲۰: مدل قاب سه بعدی ۶۶
شکل ۴-۱: فونداسیون رادیه مرکب برای برج Mess turhaus آلمان ۷۰
شکل ۴-۲: کانتور نشست فونداسیون رادیه مرکب برای برج
Messe turhaus آلمان ۷۲
شکل ۴-۳: مقایسه مش‌های در نظر گرفته شده آنالیز پروژه و آنالیز رئول و رندولف (۲۰۰۳) فونداسیون رادیه مرکب برای برج
Messe turhaus آلمان ۷۲
شکل ۴-۴: تأثیر نوع بارگذاری بر تغییر مکان قائم پی ۷۳
شکل ۴-۵: مدل قاب ۳۰ طبقه با سیستم شمع ـ رادیه وخاک زیر آن ۷۵
شکل ۴-۶: مدل قاب ۳۰ طبقه با سیتم شمع و رادیه و خاک زیر آن که سختی ۵ طبقه از
روسازه در تحلیل پی و خاک زیر آن منظور شده است ۷۵
شکل ۴-۷: کانتور نشست سیستم شمع- رادیه با در نظرگرفتن سختی ۳۰ طبقه ۷۷
شکل ۴-۸: کانتور نشست سیستم شمع- رادیه با در نظرگرفتن سختی ۱۸ طبقه ۷۷
شکل ۴-۹: بررسی تأثیر اندرکنش روسازه ۳۰ طبقه بر نشست شمع ـ رادیه ۷۸
شکل ۴-۱۰: بررسی تأثیر اندرکنش طبقات مختلف روسازه ۳۰ طبقه بر نشست شمع ـ رادیه ۷۸
شکل ۴-۱۱: بررسی تأثیر اندرکنش طبقات مختلف روسازه ۲۰ طبقه بر نشست شمع ـ رادیه ۷۹
شکل ۴-۱۲: بررسی تأثیر اندرکنش طبقات مختلف روسازه ۱۵ طبقه بر نشست شمع ـ رادیه ۷۹
شکل ۴-۱۳: بررسی اثر مراحل ساخت روسازه بر نشست شمع ـ رادیه ۸۱
شکل ۴-۱۴: فونداسیون رادیه مرکب پولوس ۸۲
شکل ۴-۱۵: مقایسه نشست مربوط به برش A-A برای فونداسیون رادیه ساده با سیستم رادیه مرکب در حالت بارگذاری
متمرکز روی رادیه ۸۳
شکل ۴-۱۶: مقایسه نشست مربوط به برش A-A برای فونداسیون رادیه ساده با سیستم رادیه مرکب در حالت بارگذاری
گسترده روی رادیه ۸۴
شکل ۴-۱۷: تأثیر اندرکنش روسازه و پی بر نشست سیستم شمع ـ رادیه ۸۵

شکل ۴-۱۸: تأثیر اندرکنش روسازه و پی بر نشست پی رادیه ۸۵
شکل ۴-۱۹: پلان روسازه و نمای پی ساختمان ۳۰ طبقه ۸۶
شکل ۴-۲۰: تأثیر اندرکنش بر نشست بیشینه شمع ـ رادیه ۸۷
شکل ۴-۲۱: تأثیر اندرکنش بر نشست نسبی شمع ـ رادیه..... ۸۸
شکل ۴-۲۲: اثرات سختی روسازه با ارتفاع‌های مختلف ۸۹
شکل ۴-۲۳: سهم سختی روسازه در طبقات مختلف یک ساختمان..... ۹۰

علائم اختصاری

گرم (واحد وزن)	g
گیگا هرتز (واحد فرکانس)	GHz
مگا پاسگال (واحد تنش)	MPa
مگا نیوتن (واحد نیرو)	MN
متر (واحد طول)	M
کیلونیوتن بر متر مربع (واحد وزن مخصوص)	KN/m^2
مگا بایت (واحد حافظه)	MB

چکیده فارسی

بررسی اثر سازه فوقانی بر نشست شالوده‌های سطحی مستقر بر شمع

عارف گل محله

در طراحی فونداسیون‌ها در صورت مواجهه با بارهای سنگین سازه‌ای مانند آسمان خراش‌ها و سازه‌های بلند به دلیل افزایش نشست شالوده، کامل‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه استفاده از تلفیق دو سیستم رادیه و گروه شمع است که به آن سیستم شمع- رادیه می‌گویند. رفتار یک سیستم شمع- رادیه- روسازه متأثر از اندرکنش‌های مابین خاک، شمع، رادیه و روسازه است. سختی روسازه در بازتوزیع نیروهای داخلی سازه و نیروهای وارد بر شمع- رادیه و توزیع تنش زیر رادیه مؤثر است. از این‌رو در این مقاله سعی شده است که با روش تفاضل محدود اثر سختی روسازه بر نشست سیستم شمع- رادیه مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق نشان داده شده است که در نظر گرفتن سختی روسازه در تحلیل‌ها باعث کاهش نشست‌های تفاضلی می‌شود در حالی که تأثیر چشمگیری در میزان نشست کل ندارد. همچنین نشان داده شده است که برای دستیابی به دقت قابل قبول در مقادیر نشست، باید حداقل ۶۰ درصد از روسازه به همراه پی مدل‌سازی شود.

واژه‌های کلیدی: پی شمع - رادیه ، روسازه ، اندرکنش خاک و سازه ، نشست

Abstract

Evaluation of Superstructure Effects on Settlement of Piled Rafts
Aref. Golmahalle

In foundations design, in the face of structural heavy loads such as skyscrapers and tall structures, due to increased foundation settlement, the most economical and complatest choice is the combination of two systems of raft and piled group that it named piled raft system. The behavior of a piled raft- superstructure system is influenced with interaction between soil- raft and superstructure. The Superstructure stiffness is effective in redistribution of superstructure internal forces and applied forces on the piled raft and stress distribution under raft. Hence, in this study the influence of superstructure stiffness on settlement system of piled raft is investigated by using finite difference method. It is shown that the considering of superstructure stiffness in analysises reduces the differential settlement while it has no significant effect in the total settlement. The obtained results shows, also to achieve acceptable accuracy in analysis, at least 60 percent of superstructure with foundation should be modeled.

Keywords: Piled Raft, Superstructure, Interaction of soil and structure, Settlement

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

گذشت زمان و افزایش روزافزون جمعیت از یک سو و افزایش فناوری و تکنولوژی بشر از سوی دیگر موجب شده است تا نیاز به احداث سازه‌های بلند مرتبه بیش از گذشته احساس شود. در مهندسی خاک و پی مسأله مهم در این نوع از سازه‌ها بحث ظرفیت باربری و کنترل نشست می‌باشد. برای احداث هر سازه‌ای باید از یک شالوده که بتواند بارهای وارده از طرف سازه‌های فوقانی را به خاک زیرین انتقال دهد، استفاده شود.

سیستم فونداسیون رادیه (گسترده) به علت ظرفیت باربری قابل ملاحظه آن در اکثر پروژه‌های بزرگ عمرانی استفاده می‌گردد. اما در مواردی که بار روسازه سنگین باشد، یا زمین زیربنا مشکلات توأم ظرفیت باربری و نشست داشته باشد، از آنجایی که پی گسترده بخش بزرگی از خاک را تحت تنش قرار می‌دهد، نشست آن بزرگ می‌باشد. همچنین زمانی که بار جانبی بزرگ باشد و نتواند توسط چسبندگی یا اصطکاک تجهیز شده توسط فصل مشترک رادیه و خاک تحمل شود و یا زمانی که احتمال واژگونی در رادیه وجود داشته باشد، این سیستم فونداسیون نمی‌تواند جوابگوی ملزومات طراحی باشد. بنابراین یک راه حل برای رفع این مشکل، استفاده توأم شمع و رادیه می‌باشد که به این سیستم رادیه مرکب (PRF)[1] اطلاق می‌شود. امروزه استفاده از سیستم رادیه مرکب به منظور تحمل بارهای سنگین در خاک‌های مختلف و برای پروژه‌های متنوع گسترش یافته است.

برای طراحی سیستم رادیه مرکب بهتر است ابتدا عملکرد فونداسیون رادیه بدون حضور شمع‌ها مورد بررسی قرار گیرد. از آن‌جا که رادیه ساده سهم کمی از ظرفیت باربری مورد نیاز را فراهم می‌کند، بنابراین بهتر است تا طراحی فونداسیون رادیه مرکب به طریق سنتی که در آن شمع‌ها برای اکثر بار روسازه طراحی می‌شود، انجام گیرد و رادیه صرفاً برای بهبود عملکرد شمع‌ها و کاهش اندک ملزومات طراحی شمع‌ها در نظر گرفته شود، که در این حالت عملکرد گروهی شمع‌ها مطرح می‌شود. اما اگر رادیه ساده ظرفیت باربری کافی و یا نزدیک به ظرفیت باربری مورد نیاز را دارا باشد، ولی معیارهای نشست کل یا نشست غیریکنواخت را برآورده نسازد، می‌توان شمع‌ها را به عنوان کاهنده نشست طراحی کرد.

بنابراین چنانچه در طراحی و تحلیل این نوع شالوده‌ها سهم باربری شالوده سطحی نیز در نظر گرفته شود به سیستم رادیه مرکب (شمع ـ رادیه) می‌گویند و چنانچه از سهم باربری شالوده سطحی صرف نظر گردد و شالوده صرفاً به عنوان یک کلاهک در نظر گرفته شود که وظیفه انتقال بار به شمع‌ها را دارا است چنین سیستمی گروه شمع آزاد (خود ایستا) نامیده می‌شود. یک طرح بهینه رادیه مرکب، طرحی نیست که کمترین میزان نشست متوسط و تفاضلی را به دست دهد، بلکه طرحی است که با بکارگیری کمترین تعداد شمع‌ها مقدار نشست از حد مجاز کمتر شود.

1. Piled Raft Foundation

از این رو تا به حال مطالعات پارامتریک متعددی صورت گرفته است تا نقش پارامترهای مختلف در رفتار شمع ـ رادیه ارزیابی گردد. عوامل مختلفی از جمله لایه‌بندی خاک در عمق، اندر کنش شمع ـ خاک ـ سازه، نسبت طول به قطر و فاصله‌بندی شمع‌ها و اتصال یا عدم اتصال شمع‌ها به رادیه، در طراحی بهینه سیستم رادیه ـ شمع نقش دارند.

۱-۲- بیان مسئله

همانطور که گفته شد یکی از قسمت‌های مهم و اساسی هر سازه پی آن است که وظیفه اصلی آن تحمل نیروهای وارد شده از روسازه و انتقال این نیروها به خاک است به طوری که تنش زیر پی از تنش مجاز خاک تجاوز نکند. همچنین وظیفه مهم دیگر پی، محدود کردن نشست کل سازه و نشست نسبی آن است. به طور معمول تحلیل و طراحی روسازه و پی به صورت مستقل و جدا از هم انجام می‌شود، به این ترتیب که روسازه، در حالی که پی آن صلب فرض می‌شود، تحت اثر نیروهای وارد شده، تحلیل و عکس‌العمل های تکیه‌گاهی آن محاسبه می‌شود. سپس این عکس‌العمل‌ها بر روی پی تأثیر داده و پی به صورت مستقل از روسازه تحت اثر عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی روسازه تحلیل و طراحی می‌شود. در حالی که پی و روسازه اندرکنش داشته و بر نیروهای داخلی یکدیگر اثر می‌گذارند. وقتی پی تحت اثر بارهای اعمالی تحت خمش قرار گرفته و می‌خواهد تغییر شکل دهد، روسازه در مقابل تغییر شکل پی مقاومت می‌کند. به بیان دیگر پی تمایل دارد که روسازه را نیز با خود خم کرده و در آن تغییر شکل‌های خمشی ایجاد کند. این باعث کاهش تغییر شکل پی و بازتوزیع نیروهای داخلی سازه و پی می‌شود. علی رغم تحقیقات انجام شده در این زمینه هنوز جواب قاطعی به شکل عددی و مشخص برای سهم روسازه در سختی پی داده نشده است. از این رو در این تحقیق به بررسی اثر سختی روسازه در سختی پی پرداخته شده تا درصدی از سختی روسازه که لازم است در سختی پی منظور شود، طوری که نتایج تحلیل پی در حد قابل قبولی باشد تعیین شود.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق بررسی رفتار ژئوتکنیکی و سازه‌ای سیستم شمع ـ رادیه ـ روسازه می‌باشد. در این تحقیق سیستم شمع ـ رادیه- روسازه با استفاده از روش عددی تفاضل محدود، تحلیل شده و به بررسی رفتار نشست این سیستم پرداخته شده است. هدف بررسی نشست سیستم شمع ـ رادیه ـ روسازه و مقایسه آن با سیستم شمع ـ رادیه می‌باشد. همچنین اثر تغییرات سختی روسازه بر میزان نشست شمع- رادیه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۴- روش تحقیق

سه روش را می‌توان به عنوان روش‌های تحلیل فونداسیون شمع- رادیه معرفی کرد. این سه روش عبارتند از روش‌های تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی. روش تحلیلی دارای ساده‌سازی‌های بسیاری، در تعریف هندسه مسئله می‌باشد و در این روش از روابط تجربی به منظور تحلیل استفاده می‌شود. در روش آزمایشگاهی از مدل‌های کوچک‌تر فیزیکی که نماینگر مدل واقعی باشد استفاده شده و نتایج واقعی با مقیاس معینی از نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آید. روش‌های عددی مختلفی را می‌توان برای تحلیل فونداسیون رادیه مرکب استفاده کرد. این روش‌ها عبارتند از روش المان مرزی، روش‌های ساده شده اجزای محدود، روش‌های ساده شده تفاضل محدود، روش اجزای محدود سه بعدی، روش تفاضل محدود سه بعدی و روش‌های ترکیبی.

در این تحقیق با استفاده از روش تفاضل محدود سه بعدی و با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D به بررسی ساختمان ۳۰ طبقه Messe Turhaus، مدل فیزیکی آزمایشگاهی و مورد مطالعاتی پرداخته می‌شود. به منظور مدل‌سازی روسازه چندین قاب فضایی از نوع سیستم قاب خمشی با فرض پای گیردار تحت بارهای وارده تحلیل گردیده اند. تحلیل دیگری از مجموعه شمع ـ رادیه ـ روسازه به صورت یک واحد یکپارچه صورت گرفته است. در ادامه جهت مقایسه نتایج، نمودارهایی از مقادیر نشست پی در دو حالت تحلیل با و بدون اثر اندرکنش ارائه شده است. در انتها نتیجه‌گیری شده است که اندرکنش بین سازه و مجموعه پی و خاک تأثیر مهمی در میزان نشست سیستم شمع- رادیه دارد.

۱-۵- فصول مندرج در پایان‌نامه

با این دیدگاه که هدف اصلی این پایان نامه بررسی تأثیر روسازه بر رفتار سیستم شمع ـ رادیه است به صورت اجمالی مطالب ارائه شده در فصول مختلف این پایان نامه را مرور خواهیم کرد:

در فصل اول توضیح کوتاهی بر موضوع تحقیق و اهداف آن ارائه شده است و پس از آن خلاصه‌ای از فصول ذکر می‌گردد.

در فصل دوم مرور مختصری بر تحقیقات گذشته در مورد رادیه، گروه شمع و پی شمع ـ رادیه ارائه می‌شود. در این فصل ابتدا با مفهوم سیستم شمع- رادیه و اندر کنش خاک- سازه آشنا شده و در پایان کاربرد چند نمونه فونداسیون شمع ـ رادیه در سطح جهان تشریح می‌شود.

در فصل سوم ابتدا مفهوم تئوری تفاضل محدود و کاربرد این تئوری در تحلیل شمع ـ رادیه توضیح داده می‌شود سپس به مدل سازی و کالیبراسیون نرم‌افزار با استفاده از یک شمع درجا، فونداسیون رادیه مرکب مدل فیزیکی و فونداسیون رادیه مرکب با ابعاد واقعی پرداخته می‌شود.

در فصل چهارم به معرفی یک نمونه از فونداسیون‌های رادیه مرکب با مستندات فنی در سطح جهان و دو مورد مطالعاتی پرداخته و نتایج مدل‌سازی با نتایج ابزارگذاری یا روش های دیگر مقایسه می‌گردد. همچنین به منظور بررسی اثر روسازه

چندین نمونه قاب فضایی از نوع سیستم قاب خمشی مدل‌سازی شده و مقادیر نشست در نقاط مختلف سطح رادیه، تأثیر سختی روسازه و اندرکنش خاک و سازه بر میزان نشست پی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل آخر به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از تحقیقات انجام شده در این پایان‌نامه پرداخته می‌شود همچنین پیشنهادات بعدی مرتبط با موضوع پژوهش ارائه می‌گردد.