کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران

گرایش خاک و پی

عنوان پایان نامه

بررسی لرزه‌ای فونداسیون‌های شمع‌دار (فونداسیون پل) در خاک ماسه‌ای سست

استاد راهنما:

دکتر محمد شریفی پور

استاد مشاور :

دکتر جهانگیر خزایی

نگارش:

مهدی مطلوبی

تیر ماه ۱۳۹۲

با تشکر از

استاد گرامی جناب دکتر شریفی پور

و

اساتید محترم گروه خاک و پی

پیشکشی ناچیز به پدر و مادرم؛

آنان که همواره بهترین را برایم خواستند،

ساختند و

خود بهترینند.

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از شمع‌ها در زیر سازه‌های مهمی همچون تجهیزات نیروگاهی، مجتمع‌های پتروشیمی سازه‌های دریایی و پل‌ها گسترش زیادی یافته است. طراحی ایمن و اقتصادی این نوع پی‌ها تحت اثر بارهای دینامیکی جانبی از اهمیت ویژ های برخوردار است. چنانچه نسبت نیروهای جانبی به نیروهای قائم کوچک باشد از نیروهای جانبی صرف نظر می‌شود در غیر این صورت تحلیل شمع تحت اثر بار جانبی الزامی بوده و بایستی با روش‌های مناسب اثر بار جانبی بر رفتار شمع تحلیل شود. همچنین توجه به این مسئله که اندرکنش شمع و خاک به همراه اثرات ناشی از نیروهای زلزله از پیچیدگی های زیادی برخوردار است نیاز به استفاده از روش‌های عددی برای تحقیق و شناخت هرچه بیشتر این موضوع را روشن می‌کند. در تحقیق حاضر به مدل سازی سه بعدی گروه شمع بتنی با استفاده از نرم افزار ABAQUS و فرض محیط خاک به صورت الاستو پلاستیک با مدل رفتاری موهر– کولمب، به مطالعه بررسی زلزله نورتریج با توجه به اندرکنش خاک – شمع و عدم اندر کنش خاک و کلاهک بر رفتار گروه شمع در حالتهای مختلف پرداخته خواهد شد. پارامترهای متغیر شامل تغییر طول شمع، تغییر قطر شمع و تغییر سختی کلاهک می‌باشد. همچنین گروه شمع در دو حالت شمع دایره‌ای و شمع مستطیلی (بصورت معادل) مدل شده و مقایسه شده‌اند. تاثیر نوع زلزله بصورت تاریخچه زمانی و برای مدلسازی اثر اندرکنش خاک– شمع و پدیده انتشار امواج در خاک، از روش حل مستقیم و مرز جاذب استفاده شده است. در نهایت اثر رکورد زلزله بر رفتار گروه شمع با رسم نمودارهای بیشترین مقادیر جابجایی قائم و تنش تحمل شده در مرکز کلاهک، ارزیابی شده است.نتایج نشان می‌دهد که با افزایش طول و قطر شمع و سختی کلاهک از میزان جابجایی و تنش تحمل شده در کلاهک کاسته خواهد شد. این مقدار در حالت اندرکنش خاک – شمع نسبت حالت عدم اندرکنش خاک و کلاهک کمتر است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: بیان مسئله

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲-روش تحقیق ۲
۱-۳- فرضیات تحلیل ۳
۱-۴- نتایج مورد انتظار ۴
۱-۵-ساختار پایان نامه ۴

فصل دوم: مروری بر منابع و مطالعات انجام شده

۲-۱-مقدمه ۶
۲-۲-شمع ها ۶
۲-۲-۱- تاریخچه ۶
۲-۲-۲- کاربرد شمع ها ۷
۲-۳- ظرفیت باربری گروه شمع در خاک ماسه‌ای ۸
۲-۳-۱- تعیین ظرفیت باربری نوک (کف) شمع ۱۱
۲-۳-۲- تعیین ظرفیت باربری جدار شمع ۱۴
۲-۳-۳- تعیین عمق بحرانی جهت محاسبه ظرفیت باربری ۱۶
۲-۴- تعیین ظرفیت باربری گروه شمع در خاک ماسه‌ای ۱۸
۲-۵- ظرفیت باربری پی گسترده – گروه شمع ۱۹
۲-۶- اندرکنش خاک – سازه ۲۴
۲-۷- مدل های خاک برای اندرکنش خاک – سازه ۳۰
۲-۷-۱- مدل فنر – کمک فنر و جرم معادل ۳۰
۲-۷-۲- مدل تیر برشی ۳۱
۲-۷-۳- مدل نیم بینهایت ۳۲
۲-۷-۴- مدل عناصر محدود برای خاک ۳۳
۲-۷-۵- مدل ترکیبی نیم فضا و المان محدود ۳۴
۲-۸- بررسی ضوابط لرزه‌ای ۳۴
۲-۸-۱- مقدمه ۳۴
۲-۸-۲- آیین نامه ۲۸۰۰ ..... ۳۵
۲-۸-۳- آیین نامه ASEC 05-7 ..... ۳۶
۲-۸-۴- آیین نامه UBC 1997 ..... ۳۷
۲-۸-۵- آیین نامه IBC 2003 ..... ۳۷
۲-۸-۶- آیین نامه Euro code 8-1998 ..... ۳۷
۲-۸-۷- آیین نامه FEMA368 (NEHRP) ۳۸

۲-۸-۸- مقایسه ضوابط آیین نامه ها در انتخاب رکوردهای زلزله ۳۸
۲-۸-۹- انتخاب و مقیاس کردن رکوردهای زلزله ۳۹
۲-۸-۹-۱- انتخاب رکوردها بر اساس پارامترهای زلزله ۴۰
۲-۸-۹-۲- انتخاب رکوردها بر اساس طیف طرح منطقه و مدت زمان زلزله ۴۰
۲-۸-۱۰- روشهای محاسبه طیف برآیند مولفه های رکورد زلزله ۴۲
۲-۸-۱۱- نتیجه‌گیری ۴۳

فصل سوم: مدلسازی و صحت سنجی مدل

۳-۱-معرفی نرم افزار المان محدود (ABAQUS) ۴۵
۳-۱-۱- مقدمه ۴۵
۳-۱-۲- روند تحلیل - المان‌های موجود در نرم افزار ABAQUS ۴۵
۳-۱-۳- المان‌های موجود در نرم افزار ABAQUS ۴۵
۳-۱-۳-۱- اجزای محدود و اجسام صلب ۴۶
۳-۱-۳-۲- المان‌های محیط پیوسته ۴۶
۳-۱-۳-۲-۱- کتابخانه المان‌های سه بعدی در آباکوس (ABAQUS) استاندارد .. ۴۶
۳-۱-۳-۲-۲- کتابخانه المان‌های سه بعدی در آباکوس (ABAQUS) صریح ۴۶
۳-۱-۳-۳- المان‌های پوسته ای ۴۷
۳-۱-۳-۴- المان تیر ۴۷
۳-۱-۴- اجزای مدل آباکوس (ABAQUS) ۴۸
۳-۱-۴-۱- هندسه مجزا ۴۸
۳-۱-۴-۲- خصوصیات سطح مقطع المان‌ها ۴۸
۳-۱-۴-۳- داده‌های مصالح ۴۹
۳-۱-۴-۴- بارها و شرایط تکیه گاهی ۴۹
۳-۱-۵- نوع تحلیل ۵۰
۳-۱-۶- داده‌های خروجی ۵۰
۳-۱-۷- مبانی برنامه ABAQUS ۵۰
۳-۱-۷-۱- پیش پردازش (ABAQUS/CAE) ۵۱
۳-۱-۷-۲- پردازش (استاندارد و یا صریح ABAQUS) ۵۱
۳-۱-۷-۳- مرحله بعد از پردازش (ABAQUS/CAE) ۵۱
۳-۱-۸- معرفی قابلیت‌های نرم افزار ABAQUS ۵۱
۳-۱-۹- خلاصه ای از ویژگیهای نرم افزار ۵۲
۳-۲- نحوه مدلسازی ۵۳
۳-۲- ۱- مشخصات هندسی مدل ۵۳
۳-۲- ۲- خواص و مدل رفتاری مصالح ۵۳
۳-۲- ۳- تولید شبکه اجزای محدود ۵۵
۳-۲- ۴- المان سطح مشترک ۵۷

۳-۳- مدل آزمایشگاهی پی گسترده – گروه شمع مستقر بر ماسه ۶۲
۳-۴- ضریب اصطکاک سطح مشترک شمع – ماسه ۶۴
۳-۵- تحلیل دینامیکی غیرخطی NDA ۶۴
۳-۶- انتخاب شتابنگاشت ۶۵
۳-۶-۱- مقیاس کردن ۶۷
۳-۶-۲- نحوه هم پایه کردن شتابنگاشت‌ها ۶۷
۳-۷- صحت سنجی دینامیکی ۷۴
فصل چهارم: مطالعات پارامتریک
۴-۱-مقدمه ۸۰
۴-۲- تاثیر طول شمع ۸۲
۴-۳- تاثیر قطر شمع ۸۷
۴-۴- تاثیر سختی کلاهک ۹۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۷
فصل ششم: منابع ۱۰۰

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: تنش مؤثر قبل از کوبیدن شمع ۹
شکل ۲-۲: تنش مؤثر بعد از کوبیدن شمع ۹
شکل ۲-۳: فشار جانبی خاک در حالات مختلف ۱۰
شکل ۲-۴: رابطه بین نرخ تراکم و ظرفیت باربری نوک شمع ۱۱
شکل ۲-۵: عمق بحرانی برای اصطکاک جدار ۱۶
شکل ۲-۶: تغییرات اصطکاک جدار ۱۷
شکل ۲-۷: کاهش محلی اصطکاک جدار با افزایش عمق کوبش شمع ۱۸
شکل ۲-۸: عمق بحرانی برای ظرفیت باربری نوک شمع ۱۸
شکل ۲-۹ : روش اندرکنش ساده شده خاک - شمع - کلاهک ۲۰
شکل ۲-۱۰ : نمودارهای با - نشست پی گسترده و گروه شمع و رفتار اندرکنشی پی گسترده - گروه شمع ۲۲
شکل ۲-۱۱ : نمودار بار- نشست آزمایش آکین موسورا ۲۳
شکل ۲-۱۲ : سهم بار کلاهک و سهم بار شمع تک (آکین موسورا) ۲۳
شکل ۲-۱۳ : تاثیر کلاهک در تنش اصطکاکی جدار شمع ۲۴
شکل ۲-۱۴ : مشخصات مهندسی اندرکنش خاک و سازه ۲۵
شکل ۲-۱۵: مدل ساده شده اندرکنش خاک و سازه ۲۵
شکل ۲-۱۶: زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی ۲۶
شکل ۲-۱۷: مدل تحلیلی اندرکنش خاک و سازه با در نظر گرفتن انعطاف پذیری خاک
به کمک فنر های معادل ۳۱
شکل ۲-۱۸: الف-درجات آزادی پی صلب واقع در خاک ۳۱
شکل ۲-۱۸: ب- فنر و کمک فنر معادل در درجات آزادی مختلف در اندرکنش خاک – سازه ۳۱
شکل۲-۱۹ : مدل تحلیلی سیستم خاک به روش تیر برشی جهت بررسی اندرکنش خاک و سازه ۳۲
شکل۲-۲۰ سه نوع مرز شبکه های المان محدود ۳۴
شکل۲-۲۱: تحلیل دینامیکی سازه تحت مولفه های رکورد زلزله ۳۶
شکل ۲-۲۲: مقایسه طیف برآیند در تحلیل دو جهته رکورد زلزله ۳۷
شکل ۳-۱: مدل موهر کولمب ۵۵
شکل ۳-۲ : مش بندی پی گسترده – گروه شمع در تحلیل سه بعدی در نرم افزار ABAQUS ۵۶
شکل ۳-۳: پلان شمع های دایره‌ای و مستطیلی در تحلیل سه بعدی ۵۷
شکل ۳-۴: نفوذ سطوح پایه در سطح پیرو ۵۸
شکل ۳-۵ : رابطه فشار تماسی – جدایش برای تماس سخت ۵۹
شکل ۳-۶: رفتار اصطکاکی کولمب در سطح مشترک شمع و خاک ۵۹
شکل۳-۷: اندرکنش بین شمع - خاک و کلاهک- خاک درگروه شمع دایره‌ای ۶۰
شکل۳-۸: اندرکنش بین شمع - خاک و بدون اندرکنش کلاهک- خاک در گروه شمع دایره‌ای ۶۱

شکل ۳-۹: اندرکنش بین خاک-شمع و اندرکنش بین کلاهک و خاک (در شمع مستطیلی) ۶۱
شکل ۳-۱۰: اندرکنش بین خاک-شمع و بدون اندرکنش بین کلاهک و خاک (در شمع مستطیلی) ۶۲
شکل ۳-۱۱: مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی (کاتزنباخ و همکاران) ۶۳
شکل ۳-۱۲: مقایسه منحنی بار – نشست به دست آمده از تحلیل عددی و مدل آزمایشگاهی ۶۴
شکل ۳-۱۳: رکوردهای مورد استفاده ۶۶
شکل ۳-۱۴: داده‌های ورودی به نرم افزا seismosignal ۶۸
شکل ۳-۱۵: ترسیم شتاب نگاشت در نرم افزار seismosignal ۶۹
شکل ۳-۱۶: تصحیح شتاب نگاشت در نرم افزار seismosignal ۷۰
شکل ۳-۱۷: ترسیم شتاب طیفی در نرم افزار seismosignal ۷۱
شکل ۳-۱۸: شتاب طیفی زلزله نورتریج در نرم افزار seismosignal ۷۲
شکل ۳-۱۹: داده‌های خروجی شتاب طیفی زلزله نورتریج در نرم افزار seismosignal ۷۲
شکل ۳-۲۰: شتاب طیفی هفت شتاب نگاشت تحت برنامه Excell ۷۳
شکل ۳-۲۱: میانگین گیری از ۷ طیف پاسخ شتاب ترکیب شده ۷۴
شکل ۳-۲۲: رکورد زلزله نورتریج ۷۵
شکل ۳-۲۳: جابجایی قائم گروه شمع در شمع دایره‌ای-رفتار الاستیک خاک ۷۵
شکل ۳-۲۴: جابجایی قائم گروه شمع در شمع مستطیلی-رفتار الاستیک خاک ۷۶
شکل ۳-۲۵: جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای-رفتار الاستیک خاک ۷۶
شکل ۳-۲۶: جابجایی قائم گروه شمع در شمع دایره‌ای-رفتار موهر کولمب ۷۶
شکل ۳-۲۷: جابجایی قائم گروه شمع در شمع مستطیلی-رفتار موهر کولمب ۷۷
شکل ۳-۲۸: جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای-رفتار موهر کولمب ۷۷
شکل ۳-۲۹: جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در خاک متراکم در حالت الاستیک ۷۷
شکل ۳-۳۰: جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در خاک متراکم در حالت موهر کولمب ۷۸
شکل ۴-۱: جابجایی قائم گروه شمع مستطیلی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و
کلاهک – رفتار موهرکولمب ۸۱
شکل ۴-۲: جابجایی قائم مرکز کلاهک در گروه شمع مستطیلی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و
کلاهک – رفتار موهرکولمب ۸۱
شکل ۴-۳: تنش قائم گروه شمع مستطیلی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و کلاهک – رفتار موهرکولمب ۸۲
شکل ۴-۴: تنش قائم مرکز کلاهک در گروه شمع مستطیلی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و
کلاهک - رفتار موهر کولمب ۸۲
شکل ۴-۵: نمودار تاثیر طول شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای
(اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۳
شکل ۴-۶: نمودار تاثیر طول شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان دز شمع مستطیلی
(اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۴
شکل ۴-۷: نمودار تاثیر طول شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای
(بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۴

شکل ۴-۸: نمودار تاثیر طول شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع مستطیلی (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۵
شکل۴-۹: نمودار ماکزیمم جابجایی قائم مرکز کلاهک با افزایش طول شمع (اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۶
شکل۴-۱۰: نمودار ماکزیمم جابجایی قائم مرکز کلاهک با افزایش طول شمع (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۶
شکل۴-۱۱: نمودار ماکزیمم تنش قائم مرکز کلاهک با افزایش طول شمع (اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۷
شکل۴-۱۲: نمودار ماکزیمم تنش قائم مرکز کلاهک با افزایش طول شمع (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۷
شکل ۴-۱۳: نمودار تاثیر قطر شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای (اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۹
شکل ۴-۱۴: نمودار تاثیر قطر شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع مستطیلی (اندرکنش خاک و کلاهک) ۸۹
شکل ۴-۱۵: نمودار تاثیر قطر شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۰
شکل ۴-۱۶: نمودار تاثیر قطر شمع در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع مستطیلی (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۰
شکل۴-۱۷: نمودار ماکزیمم جابجایی قائم مرکز کلاهک با افزایش قطر شمع (اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۱
شکل۴-۱۸: نمودار ماکزیمم جابجایی قائم مرکز کلاهک با افزایش قطر شمع (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۱
شکل۴-۱۹: نمودار ماکزیمم تنش قائم مرکز کلاهک با افزایش قطر شمع (اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۲
شکل۴-۲۰: نمودار ماکزیمم تنش قائم مرکز کلاهک با افزایش قطر شمع (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۲
شکل ۴-۲۱: نمودار تاثیر سختی کلاهک در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای (اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۳
شکل ۴-۲۲: نمودار تاثیر سختی کلاهک در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع مستطیلی (اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۳
شکل ۴-۲۳: نمودار تاثیر سختی کلاهک در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع دایره‌ای (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۴
شکل ۴-۲۴: نمودار تاثیر سختی کلاهک در جابجایی قائم مرکز کلاهک نسبت به زمان در شمع مستطیلی (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۴
شکل۴-۲۵: نمودار ماکزیمم جابجایی قائم مرکز کلاهک با افزایش ضخامت کلاهک (اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۵
شکل۴-۲۶: نمودار ماکزیمم جابجایی قائم مرکز کلاهک با افزایش ضخامت کلاهک (بدون اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۵
شکل۴-۲۷: نمودار ماکزیمم تنش قائم مرکز کلاهک با افزایش ضخامت کلاهک (اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۶
شکل۴-۲۸: نمودار ماکزیمم تنش قائم مرکز کلاهک با افزایش ضخامت کلاهک (اندرکنش خاک و کلاهک) ۹۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ : محاسبه ظرفیت باربری نوک شمع در خاک های ماسه‌ای ۱۲

جدول ۲-۲: ارتباط بین عدد SPT و انواع خاکها ۱۳

جدول ۲-۳ : ارتباط بین زاویه اصطکاک و Nq ۱۴

جدول ۲-۴ : ظرفیت باربری نوک شمع ۱۴

جدول ۲-۵ : محاسبه ظرفیت باربری جداره شمع در خاکهای ماسه‌ای ۱۵

جدول ۲-۶ : مقدار پیشنهادی میرهوف برای β بر حسب φ' ۱۵

جدول ۲-۷ : ضریب اصطکاک شمع و خاک ۱۵

جدول ۲-۸ : ضریب فشار جانبی خاک ۱۶

جدول ۲-۹: تعریف مشخصات رکوردهای زلزله در آیین نامه های طراحی لرزه ای ۴۲

جدول ۳-۱: مشخصات مصالح تعریف شده در تحلیل سه بعدی ۵۴

جدول۳-۲: مشخصات شمع های دایره‌ای و مستطیلی ۵۶

جدول ۳-۳: رکوردهای مورد استفاده ۶۶

جدول ۳-۴: مشخصات مصالح مورد استفاده ۷۴

جدول ۳-۵: جابجایی قائم ماکزیمم مرکز کلاهک ۷۵

جدول ۴-۱: جدول مقادیر مختلف L در پی گسترده – گروه شمع(شمع دایره‌ای) ۸۳

جدول ۴-۲: جدول مقادیر مختلف L در پی گسترده – گروه شمع(شمع مستطیلی) ۸۳

جدول ۴-۳: جدول مقادیر مختلف d در پی گسترده – گروه شمع(شمع گرد) ۸۸

جدول ۴-۴: جدول مقادیر مختلف d در پی گسترده – گروه شمع(شمع مستطیلی) ۸۸

فصل اول

بیان مسئله

۱-۱- مقدمه

در سالهای اخیر استفاده از شمع‌ها در زیر سازه های مهمی همچون تجهیزات نیروگاهی، مجتمع های پتروشیمی سازه‌های دریایی و پل‌ها گسترش زیادی یافته است، فارغ از اینکه ساخت شالوده‌های شمعی زمان بر و هزینه زیادی را در بردارد. طراحی ایمن و اقتصادی این نوع پی‌ها تحت اثر بارهای دینامیکی جانبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چنانچه نسبت نیروهای جانبی به نیروهای قائم کوچک باشد از نیروهای جانبی صرف نظر می‌شود در غیر این صورت تحلیل شمع تحت اثر بار جانبی الزامی بوده و بایستی با روش-های مناسب اثر بار جانبی بر رفتار شمع تحلیل شود. همچنین توجه به این مسئله که اندرکنش شمع و خاک به همراه اثرات ناشی از نیروهای زلزله از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است نیاز به استفاده از روش‌های عددی برای تحقیق و شناخت هرچه بیشتر این موضوع را روشن می‌کند. در مهندسی پل، نشست زیاد شمع نه تنها تغییرات تراز بدنه سازه را به همراه دارد، بلکه علاوه بر آن نیروهای اضافی داخلی تولید خواهد شد، که امنیت کامل سازه را به خطر می‌اندازد.

خصوصیات محلی مانند جنس خاک و نیز تغییرات عمق لایه از عوامل مؤثر بر رفتار لرزه‌ای می‌باشد که باید مورد بررسی قرار گرفته و نیز در تحلیل سازه‌ها منظور گردد. بنابراین به نظر می‌رسد بررسی رفتار لرزه‌ای فونداسیون پایه پل‌ها بدون لحاظ نمودن اثر خاک منجر به نتایج واقعی نخواهد شد.

در این پایان نامه به بررسی رفتار لرزه‌ای فونداسیون پایه‌های پل با استفاده از نرم افزار المان محدود پرداخته می‌شود. با فرض صحت کارکرد نرم افزار ABAQUS در مدل‌سازی رفتار لرزه‌ای، از امتیاز این نرم افزار که قابلیت مدلسازی سازه و خاک زیر آن را داراست استفاده خواهد شد.

پس از مدلسازی عددی در محیط نرم افزار ABAQUS و صحت سنجی آن نسبت به بررسی رفتار دینامیکی فونداسیون پایه‌های پل در حالت‌های مختلف پرداخته خواهد شد و اثر اندرکنش خاک-سازه در پاسخ دینامیکی پایه پل واقع بر گروه شمع مورد مطالعه قرار خواهد گرفت

.

۱-۲- روش تحقیق:

در این تحقیق برای مدلسازی و تحلیل مسئله از نرم افزار المان محدود ABAQUS استفاده می‌شود. بدین منظور لازم است که ابتدا مدل تحلیلی بر اساس هندسه و خواص مصالح با در نظر گرفتن شرایط مرزی

مناسب آماده شود. در میان نرم افزارهایی که از روش المان محدود برای آنالیز مهندسی استفاده می‌نمایند، نرم افزار ABAQUS با قابلیت‌های منحصر به فرد خود به عنوان یک نرم افزار بسیار دقیق تحقیقاتی و کاربردی در صنعت و دانشگاه شناخته شده است، به گونه‌ای که از نظر دارا بودن مثال‌های معتبر علمی و کاربردی، قابل مقایسه با هیچ یک از نرم افزارهای المان محدودی که هم اکنون در کشور استفاده می‌شوند نمی‌باشند. سهولت در دستیابی، فهم نحوه‌ی کارکرد و زیر برنامه‌های این نرم افزار موجب گشته که جوامع دانشگاهی بین المللی، از این نرم افزار بیش از نرم افزارهای دیگر در مقاله‌های علمی منتشر شده استفاده کنند. دقت فراوان این نرم افزار در حل عددی و مقایسه آن با حل مثال‌های تحلیلی موجب گشته که این نرم افزار به عنوان نرم افزار استاندارد دانشگاهی لندن و MIT انتخاب شود. تئوری کامل این نرم افزار که مبتنی بر تحلیل غیر خطی المان محدود پیشرفته است با استفاده از جدیدترین روابط و روش نگارش ریاضی که در راهنمای آن موجود است. همچنین ازدیاد مثال‌های حل شده که لیست برنامه آن در دسترس جوامع دانشگاهی است موجب گشته که کاربران بتوانند با سرعت بیشتری مراحل آموزشی مدلسازی و آنالیز با این نرم افزار را پشت سر گذاشته و به مراحل پیچیده تحلیل دست یابند. در این تحقیق، مراحل تحلیل به صورت عددی زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- انتخاب محدوده مناسب برای مدل و تشکیل شبکه المان ۲- انتخاب مدل رفتاری مناسب برای مصالح مختلف و تعیین پارامترهای آن ۳- اعمال شرایط مرزی و تنش‌های اولیه به مدل ۴- مدلسازی گروه شمع و خاک ۵- نتایج و بررسی آن.

مرزهای مدل تحلیلی بایستی از محدوده تنش یا تغییر مکان به مقدار کافی دور انتخاب گردد به طوری که وضعیت تنش‌ها و تغییر شکل‌ها در این نقاط قبل و بعد از اعمال تغییرات در مدل تفاوت چندانی نداشته باشد. بر اساس نظریه دانشمندان، محدوده تقریبی تاثیر در گروه شمع را می‌توان 1L تا 2L در نظر گرفت. در این تحقیق گسترش خاک از اطراف کلاهک برابر طول شمع و در عمق نیز برابر 2L در نظر گرفته شده است.

۱-۳- فرضیات تحلیل:

- ❖ اثرات آب زیر زمینی در نظر گرفته نشده است.
- ❖ با وارد بر گروه شمع بصورت بار گسترده و برابر ۱۲۱۲۸ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است.
- ❖ جهت مدلسازی خاک از مدل موهر کولمب و خاک ماسه‌ای سست استفاده شده است.
- ❖ بار جانبی بصورت بار زلزله (زلزله نورتریج) و بر روی سطح کلاهک اعمال شده است.
- ❖ فنر و میراگر در مرزهای جانبی از فرمول Kuhlemeyer & Lysmer استفاده شده است.

۱-۴- نتایج مورد انتظار

با توجه به رویکرد تحقیق و بررسی متون موجود در این ارتباط، انتظار می‌رود که با افزایش طول شمع و قطر شمع از میزان جابجایی گروه شمع کاسته شده و از میزان تنش تحمل شده در کلاهک بکاهد.

۱-۵- ساختار پایان نامه

- فصل نخست

دراین فصل به تبیین مساله مورد پژوهش و اهداف آن پرداخته شده است. همچنین بصورت مختصر، تاریخچه موضوع، فرضیات مورد استفاده و نتایج مورد انتظار مسئله آورده شده است.

- فصل دوم

در این فصل مروری بر منابع فنی صورت گرفته و انواع روش‌های تحلیل لرزه‌ای در سازه‌های مختلف در انواع خاک‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. سعی شده است آخرین اطلاعات مفید در این زمینه‌ها به طور خلاصه، کاربردی و تحلیلی ارائه گردد.

- فصل سوم

در این فصل مروری بر روش اجزای محدود، معرفی نرم افزار ABAQUS و نحوه مدلسازی فونداسیون‌های شمع‌دار پایه‌های پل صورت گرفته است. در ادامه نتایج مدل ساخته شده جهت کنترل صحت عملکرد، با نتایج گزارشات پژوهشگران دیگر مقایسه شده است.

- فصل چهارم

در این فصل یک سری مطالعات پارامتریک بر اساس روش اجزای محدود و با نرم افزار ABAQUS برای تعیین حداکثر میزان جابجایی و حداکثر ظرفیت باربری فونداسیرن در حالت دینامیکی صورت گرفته است. بدین منظور تاثیر پارامترهایی چون قطر شمع، طول شمع و سختی کلاهک بررسی شده است.

- فصل پنجم

در این فصل نتایج حاصل از این پژوهش و پیشنهادات برای مطالعات آتی مرتبط با موضوع پژوهشی ارائه خواهد شد.

- فصل ششم

منابع مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد.

فصل دوم

مروری بر منابع و مطالعات انجام شده

۱- مقدمه

برای احداث هر سازه بایستی از یک شالوده که بتواند بارهای وارده از طرف سازه فوقانی را به خاک (زمین) انتقال دهد، استفاده شود. شالوده‌ها علاوه بر وظیفه انتقال بار بایستی طوری طراحی شوند که نشست-های حاصل اعم از نشست‌های یکنواخت و غیریکنواخت از حد مجاز فراتر نروند. پی گسترده – گروه شمع یک سیستم پی ژئوتکنیکی مرکب است که شامل شمع‌ها، پی گسترده و خاک است. در این بخش روش‌های ارائه شده جهت محاسبه ظرفیت باربری، نشست و تحلیل شمع، گروه شمع و پی گسترده گروه شمع در خاک ماسه‌ای که در مراجع فنی آمده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲- شمع‌ها

شمع‌ها، اعضای سازه‌ای و یا ستون‌های زیرزمینی نسبتا بلندی هستند که برای انتقال بارهای سازه‌ای از میان لایه‌های خاک با ظرفیت باربری کم (و یا نشست زیاد) به خاک‌های سخت و محکم با ظرفیت باربری زیاد در ژرفای بیشتر و یا بر روی سنگ بستر بکار می‌روند. بنا به تعریف، نسبت عمق به پهنای شمع‌ها همواره بزرگتر از ۴ است و در غیر این صورت بایستی همانند پایه‌ها محاسبه و تحلیل شوند. همچنین برای مقاومت در برابر نیروهای بسیار زیاد بالابرنده در سازه‌های دریایی و یا در خاک‌های معمولی و یا برای پایداری سازه در برابر بارها و نیروهای افقی در خاک‌های کم‌مقاومت و نیز در شرایطی که سازه بر روی خاکریز های بسیار بلند در حال تحکیم قرار گرفته باشد، از شمع استفاده می‌شود. به هر صورت شمع‌کوبی از بهترین روش‌های پی‌سازی در عملیات دریایی، همانند ساختمان شالوده اسکله‌ها و کارهای سازه‌ای در زمین‌های سست بوده و شمع‌ها بهترین شالوده برای باربری وزن سازه‌های آبی و پایه پل‌ها می‌باشند. همچنین برای پایداری سازه‌ها در برابر نیروهای افقی، گاهی از شمع‌های مایل استفاده می‌شود.

۲-۲-۱- تاریخچه

شمع کوبی و استفاده از شمع های باربر بعنوان تکیه‌گاه سازه ، یکی از اولین نمونه های هنر و علم مهندسی عمران است. در انگلستان نمونه‌های زیادی از شمع های چوبی وجود دارد که توسط رومی‌ها برای پل‌ها و کنترل نشست زمین‌های اطراف از جنس بلوط و توسکا در فونداسیون معابد بزرگ در فنلاند ساخته شدند. در چین، شمع‌های چوبی توسط پل‌سازان دیناستی[1] از ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح تا ۲۰۰ سال بعد از میلاد مسیح استفاده می‌شدند. ظرفیت باربری شمع‌های چوبی، محدود به قطر چوب‌های طبیعی و مقاومت مصالح آنها در برابر کوبیده شدن توسط چکش بدون آسیب دیدن است. به خاطر مقاومت، سبکی، دوام، بریده شدن و حمل آسان، چوب تنها مصالحی است که تا چندین سال اخیر برای ساخت شمع مورد استفاده قرار می‌گرفت.شمع‌های بتنی و فولادی جایگزین شمع‌های چوبی شدند. زیرا مقاومت آنها در برابر نیروهای فشاری، خمشی و کششی خیلی بیشتر از ظرفیت شمع‌های چوبی با همان ابعاد بود.

بتن مسلح در اواخر قرن نوزدهم در اوایل قرن بیستم به‌طور گسترده جایگزین چوب در شمع‌ها با ظرفیت بالا شد. شمع‌های بتنی را می‌توانستند در اشکال مختلف سازه‌ای برای بارهای اعمالی و شرایط مختلف زمین از پیش بسازند. فولاد به‌دلیل ساخت و حمل آسان در برابر کوبش بطور گسترده برای شمع-سازی استفاده شده است. بر مشکل خوردگی شمع‌های فولادی در سازه‌های دریایی با حفاظت کاتدگ لایه پوششی می‌توان غلبه کرد[۱].

۲-۲-۲- کاربرد شمع‌ها

در زیر بعضی از شرایطی که استفاده از شالوده‌های شمعی را ایجاب می‌نماید، شرح داده می‌شود:

۱- وقتی که لایه یا لایه‌های فوقانی خاک دارای قابلیت فشردگی زیاد و یا خیلی ضعیف باشند، به طوری که نتوان از شالوده سطحی برای توزیع بار ساختمان استفاده کرد، شالوده‌های شمعی برای انتقال بار به لایه‌های تحتانی محکم‌تر و یا سنگ بستر مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی که بستر سنگی و یا لایه محکم‌تر تحتانی در عمق معقولی از سطح زمین قرار نداشته باشند، از شمع برای انتقال تدریجی بار استفاده می‌شود. در این حالت بیشتر مقاومت شمع از طریق نیروی اصطکاک بین سطح تماس شمع و خاک (مقاومت جلدی) تامین می‌شود[۲ و ۳] .

۲- در شالوده سازه‌های حائل خاک که وظیفه آنها مقاومت در برابر فشار جانبی خاک است و یا ساختمان‌های بلند که تحت تاثیر نیروهای باد یا زلزله قرار دارند، می‌توان از شمع‌ها جهت تحمل نیروهای افقی استفاده کرد. شمع‌ها در حالیکه هنوز قابلیت بارهای قائم را دارا هستند، می‌توانند بوسیله خمش،

1. Denasty