دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مکانیک خاک و پی

بررسی اثر هندسه شمع بر ظرفیت باربری پی شمع-رادیه

استاد راهنما اول:دکتر رضا پورحسینی

استاد راهنما دوم:دکتر مهدی فلاح تفتی

پژوهش و نگارش: سید مجتبی میرحسینی

مهر ۱۳۹۲

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از پی‌های شمع-رادیه که در آن از رادیه و شمع‌ها به طور همزمان برای تحمل بارهای وارده استفاده می‌شود، پذیرفته شده‌است. در این پایان‌نامه نیز سعی شده‌است تا با انجام برخی آزمایش‌های آزمایشگاهی قسمتی از تحقیقات انجام شده توسط محققین گذشته را گسترش دهیم. آزمایش‌های انجام شده بر روی ۹ مدل فولادی آزمایشگاهی دارای تقارن محوری به صورت سیستم پی شمع-رادیه دایره‌ای و ۴ مدل چوبی آزمایشگاهی دیگر نیز به صورت سیستم پی شمع-رادیه نواری که به صورت کرنش صفحه‌ای می‌باشد، انجام شده-است. هدف از اجرای این تحقیق یافتن اثر هندسه شمع بر عملکرد پی شمع-رادیه بر اساس آزمایش‌های آزمایشگاهی می باشد. در این آزمایش‌ها بار در مرکز صفحه فولادی و چوبی به صورت عمودی، که در زیر آن یک شمع فولادی و یا یک صفحه چوبی با طول و سختی های متفاوت در هر مرحله(میلگرد هایی با قطر های ۳۰،۲۰ و ۴۰ میلیمتر به طول‌های ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر و یا صفحات چوبی به ضخامت ۱۶ و ۳۲ میلی‌متر و طول‌های ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) پیچ شده است وارد می شود. در این آزمایش‌ها، به پی باری قائم و بدون خروج از مرکز وارد می‌شود. خاک استفاده شده در این آزمایش‌ها از نوع ماسه بادی بد دانه‌بندی شده (SP) با D_{50} برابر ۰/۳ می‌باشد که بیشتر در ناحیه بیابانی ایران یافت می‌شود.

با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته در این پایان نامه با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی قطر شمع‌های مورد استفاده در پی دایره‌ای ظرفیت باربری به ترتیب از ۱/۵ تا ۲۱/۱ و ۷ تا ۲۷/۲ درصد افزایش یافته‌است. در حالیکه با افزایش ۱۰۰ درصدی قطر شمع‌ها در مدل پی نواری ظرفیت باربری ۴/۵ تا ۶/۱۵ درصد افزایش داشته‌است. همچنین با افزایش ۵۰ و ۱۵۰ درصدی طول شمع-های مورد استفاده در پی دایره‌ای ظرفیت باربری به ترتیب از ۸ تا ۱۱/۵۳ و ۳۳ تا ۵۳ درصد افزایش یافته‌است. در حالیکه با افزایش ۱۰۰ درصدی طول شمع‌ها در مدل پی نواری ظرفیت باربری ۲/۵ تا ۱۴/۵ درصد افزایش داشته‌است.

همچنین در پایان با انجام مدلسازی عددی رفتار پی شمع-رادیه بررسی شده‌است. در این مدلسازی نیز سعی شده است تا تمام شرایط آزمایشگاهی مانند ابعاد مخزن و ابعاد مدل آزمایشگاهی و ... لحاظ شده باشد. میزان اختلاف نتایج مدل سازی و آزمایشگاهی به طور متوسط ۱۰ درصد به دست آمده است.

کلمات کلیدی: پی شمع- رادیه، نشست، ظرفیت باربری، اندرکنش رادیه-شمع-خاک

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل۱: مقدمه ۲

۱-۱ مقدمه ۳

فصل۲ : پیشینه پژوهش ۶

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ محیط‌های مناسب و نامناسب برای اجرای پی‌های شمع-رادیه ۹

۲-۳ خاک ناهمگن ۱۶

۲-۴ نشست‌های کوتاه مدت و بلند مدت ۱۷

۲-۵ اثرات روی یکدیگر قرار گرفتن مناطق شکست در یک گروه شمع ۱۷

۲-۶ اثرات فشار تماسی رادیه بر اصطکاک جانبی شمع ۱۸

۲-۷ اثرات شمع‌ها ۲۳

۲-۷-۱ واکنش غیرخطی شمع ۲۳

۲-۷-۲ اثرات قطر شمع ۲۴

۲-۷-۳ اثرات طول شمع ۲۷

۲-۸ روش پیشنهادی فلمینگ و همکاران ۳۱

۲-۹ روش پیشنهادی کلنسی و رندلف ۳۳

۲-۱۰ روش پیشنهادی آیین نامه هنگ کنگ ۳۴

۲-۱۱ روش پیشنهادی پولوس ۳۶

۲-۱۲ روش محیط پیوسته کشسان ۳۶

۲-۱۳ روش پیشنهادی فانگ ۳۹

۲-۱۴ تحلیل بر اساس نشست گروه شمع و استفاده از روش تقریبی رندلف ۴۴

۲-۱۵ آنالیز و طراحی ژئوتکنیکی به روش مهدی ویس کرمی و همکاران ۴۶

۲-۱۶ روش استفاده از روابط تحکیمی خاک‌های چسبنده در تحلیل پی شمع-رادیه ۴۷

۲-۱۷ روش پیشنهادی اجزاء محدود تا- ژانگ ۴۹

۲-۱۷-۱ مدل i ۴۹

۲-۱۷-۲ مدل ii ۵۲

۲-۱۸ مدل اجزای محدود کرنش سطح پی شمع-رادیه ۵۹

۲-۱۹ جمع بندی ۶۴

فصل۳ : آزمایش‌ها ۶۶

۳-۱ مقدمه ۶۷

۳-۲ معرفی ابزار و لوازم آزمایش..... ۶۷
۳-۲-۱ دستگاه بارگذاری ۶۷
۳-۲-۲ نشست سنج ۷۰
۳-۲-۳ کمپرسور باد ۷۲
۳-۲-۴ حفاظ ایمنی ۷۲
۳-۲-۵ مدل‌های مورد مطالعه رادیه دایره‌ای ۷۲
۳-۲-۶ مدل‌های مورد مطالعه رادیه نواری ۷۶
۳-۲-۷ تراز بنایی ۷۷
۳-۲-۸ شاقول ۷۷
۳-۳ مشخصات خاک..... ۷۷
۳-۳-۱ نمودار دانه‌بندی ۷۸
۳-۳-۲ ضریب دانه‌بندی ۷۸
۳-۳-۳ ضریب یکنواختی ۷۹
۳-۳-۴ زاویه اصطکاک ۷۹
۳-۳-۵ جرم حجمی و وزن مخصوص ۸۱
۳-۳-۶ چگالی نسبی (G_S) ۸۲
۳-۳-۷ آزمایش تراکم ۸۳
۳-۳-۸ آزمایش باربری کالیفرنیا (CBR) ۸۴
۳-۴ تهیه مدل آزمایشگاهی پی شمع-رادیه..... ۸۵
۳-۴-۱ مدل دایره‌ای ۸۵
۳-۴-۲ مدل نواری ۸۷

فصل۴: نتایج آزمایش و تفسیر ۸۸
۴-۱ مقدمه..... ۸۹
۴-۲ مدل پی شمع-رادیه دایره‌ای..... ۸۹
۴-۲-۱ نمودار بار- نشست رادیه، شمع منفرد و پی شمع-رادیه ۸۹
۴-۲-۲ نمودارهای بار- نشست مدل‌هایی با طول شمع برابر ۹۱
۴-۲-۳ نمودارهای بار- نشست مدل‌هایی با قطر برابر ۹۳
۴-۲-۴ نمودارهای نشست حداکثر ۹۴
۴-۳ مدل پی شمع-رادیه نواری..... ۹۶
۴-۳-۱ نمودارهای بار- نشست مدل‌هایی با طول شمع برابر ۹۶
۴-۳-۲ نمودارهای بار- نشست مدل‌هایی با قطر برابر ۹۷
۴-۳-۳ نمودارهای نشست حداکثر ۹۸

فصل۵ : تحلیل عددی پی شمع-رادیه ۱۰۱
۵-۱ مقدمه..... ۱۰۲
۵-۲ مدل‌سازی..... ۱۰۲
۵-۳ نتایج مدل‌سازی..... ۱۰۶

فصل۶ : نتیجه‌گیری و پیشنهادها **۱۰۹**
۶-۱ پیشنهادها..... ۱۱۳
۶-۲ منابع و مواخذ..... ۱۱۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱ نیروهای وارده بر پی شمع-رادیه..... ۱۰

شکل۲-۲ تنش‌های موجود بین پی شمع-رادیه..... ۱۰

شکل۲-۳ نمودار بار-نشست برای حالت‌های مختلف طراحی..... ۱۲

شکل۲-۴ نمودار عمومی بار-نشست رادیه، گروه شمع و تلفیق رادیه و گروه شمع..... ۱۳

شکل۲-۵ اندرکنش خاک و سازه در پی شمع-رادیه..... ۱۴

شکل۲-۶ تغییر شکل زمین تحت بارگذاری پی شمع-رادیه..... ۱۶

شکل۲-۷ اثر اندازه رادیه بر منحنی بار-نشست پی رادیه..... ۱۸

شکل۲-۸ مقایسه منحنی‌های بار-نشست پی‌های رادیه و شمع-رادیه..... ۱۸

شکل۲-۹ مقایسه منحنی‌های بار-نشست را برای پی‌های شمع-رادیه با قطر رادیه متفاوت..... ۱۹

شکل۲-۱۰ تغییر فشار جانبی در طول شمع در برابر بار حمل شده..... ۲۱

شکل۲-۱۱ جابه‌جایی نسبی بین شمع و خاک برای بسیج کردن تمام اصطکاک جانبی..... ۲۲

شکل۲-۱۲ نشست در امتداد طول پی رادیه مدل ۱..... ۲۶

شکل۲-۱۳ نتایج تحلیل رادیه انعطاف‌پذیر و صلب..... ۲۹

شکل۲-۱۴ انطباق مناسب در تحلیل‌های رایانه‌ای..... ۳۰

شکل۲-۱۵ نمودار تحلیل سختی رادیه و شمعها..... ۳۵

شکل۲-۱۶ توان رابطه فاکتور راندمان سختی شمع..... ۳۸

شکل۲-۱۷ مقایسه آزمایش‌های T1..... ۴۰

شکل۲-۱۸ مقایسه آزمایش‌های T2..... ۴۱

شکل۲-۱۹ مقایسه آزمایش‌های T3..... ۴۱

شکل۲-۲۰ نمودار بار انتقال یافته بین سرشمع و شمع‌های منفرد T1F..... ۴۲

شکل۲-۲۱ نمودار بار انتقال یافته بین سرشمع و شمع‌های منفرد T2F..... ۴۲

شکل۲-۲۲ نمودار بار انتقال یافته بین سرشمع و شمع‌های منفرد T3F..... ۴۳
شکل۲-۲۳ نشست پی شمع-رادیه..... ۴۷
شکل۲-۲۴ مجزا سازی اجزاء محدودی رادیه و شمع‌ها..... ۵۰
شکل۲-۲۵ المان‌بندی رادیه..... ۵۰
شکل۲-۲۶ نیروهای داخلی وارد بر پی شمع-رادیه..... ۵۲
شکل۲-۲۷ اتصال صلب بین رادیه و شمع‌ها..... ۵۲
شکل۲-۲۸ نیروهای داخلی بین المان رادیه و شمع..... ۵۳
شکل۲-۲۹ المان‌بندی روش i و ii..... ۵۷
شکل۲-۳۰ مقایسه نشست در طول خط مرکزی رادیه..... ۵۷
شکل۲-۳۱ توزیع بار محوری در طول شمع مرکزی (p1) و شمع محیطی (p2)..... ۵۸
شکل۲-۳۲ ساده‌سازی شمع‌های ردیف‌های بیرونی به المان‌های دیوار..... ۵۹
شکل۳-۱ دستگاه بارگذاری پی شمع-رادیه دایره‌ای..... ۶۸
شکل۳-۲ دستگاه بارگذاری پی شمع-رادیه نواری..... ۶۹
شکل۳-۳ جک دستگاه بارگذاری پی شمع-رادیه نواری..... ۶۹
شکل۳-۴ جزئیات جعبه سیستم بارگذاری..... ۷۰
شکل۳-۵ نشست‌سنج..... ۷۱
شکل۳-۶ نحوه‌ی قرار گرفتن نشست‌سنج بر روی مدل دایره‌ای..... ۷۱
شکل۳-۷ ایجاد زبری بر روی شمع‌ها..... ۷۳
شکل۳-۸ صفحه پی شمع-رادیه..... ۷۴
شکل۳-۹ مشخصات هندسی رادیه دایره‌ای شکل با ضخامت ۲۰ میلیمتر..... ۷۴
شکل۳-۱۰ کلاهک پی شمع-رادیه..... ۷۵
شکل۳-۱۱ قرار گرفتن کلاهک بر روی صفحه..... ۷۵
شکل۳-۱۲ مدل شماتیک رادیه نواری..... ۷۷
شکل۳-۱۳ منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده در آزمایش..... ۷۸

شکل۳-۱۴ دستگاه برش مستقیم.....۷۹
شکل۳-۱۵ نمودار تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاک.....۸۱
شکل۳-۱۶ قالب نمونه‌گیری برای تعیین وزن مخصوص.....۸۱
شکل۳-۱۷ منحنی تراکم خاک.....۸۴
شکل۳-۱۸ شاقولی کردن شمع‌ها.....۸۶
شکل۳-۱۹ قرارگیری کلاهک بر روی صفحه.....۸۶
شکل۳-۲۰ حصول اطمینان از افقی بودن صفحه پس از نصب.....۸۷
شکل۴-۱ نمودار بار-نشست رادیه، شمع منفرد و پی شمع-رادیه.....۸۹
شکل۴-۲ مقایسه ظرفیت باربری پی شمع-رادیه با مجموع ظرفیت باربری رادیه و شمع.....۹۰
شکل۴-۳ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه با شمع به طول ۲۰ سانتی‌متر و قطرهای مختلف.....۹۱
شکل۴-۴ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه با شمع به طول ۳۰ سانتی‌متر و قطرهای مختلف.....۹۲
شکل۴-۵ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه با شمع به طول ۵۰ سانتی‌متر و قطرهای مختلف.....۹۲
شکل۴-۶ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه مربوط به شمع‌هایی با طول‌های متفاوت و قطر ۲۰ میلیمتر.....۹۳
شکل۴-۷ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه مربوط به شمع‌هایی با طول‌های متفاوت و قطر ۳۰ میلیمتر.....۹۳
شکل۴-۸ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه مربوط به شمع‌هایی با طول‌های متفاوت و قطر ۴۰ میلیمتر.....۹۴
شکل۴-۹ نمودار قطر شمع به قطر رادیه در برابر نشست حداکثر.....۹۵
شکل۴-۱۰ نمودار طول شمع به قطر رادیه در برابر نشست حداکثر.....۹۵
شکل۴-۱۱ نمودار طول به قطر شمع در برابر نشست حداکثر.....۹۶
شکل۴-۱۲ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه با شمع به طول ۲۰ سانتیمتر و قطرهای مختلف.....۹۷
شکل۴-۱۳ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه با شمع به طول ۳۰ سانتیمتر و قطرهای مختلف.....۹۷
شکل۴-۱۴ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه مربوط به شمع‌هایی با طول‌های متفاوت و قطر ۱۶ میلیمتر.....۹۸
شکل۴-۱۵ نمودار بار-نشست پی شمع-رادیه مربوط به شمع‌هایی با طول‌های متفاوت و قطر ۳۲ میلیمتر.....۹۸
شکل۴-۱۶ نمودار قطر شمع به قطر رادیه در برابر نشست حداکثر.....۹۹
شکل۴-۱۷ نمودار طول شمع به قطر رادیه در برابر نشست حداکثر.....۹۹

شکل۴-۱۸ نمودار طول به قطر شمع در برابر نشست حداکثر..... ۱۰۰
شکل۵-۱ اندرکنش مدل پی سطحی و پی شمع-رادیه با خاک..... ۱۰۳
شکل۵-۲ مش‌بندی مدل پی سطحی و پی شمع-رادیه..... ۱۰۴
شکل۵-۳ تغییر شکل خاک بوجود آمده در خاک پس از بارگذاری مدل پی شمع-رادیه..... ۱۰۵
شکل۵-۴ تغییر شکل خاک بوجود آمده در خاک پس از بارگذاری مدل پی سطحی..... ۱۰۵
شکل۵-۵ تغییر شکل خاک بوجود آمده در خاک پس از بارگذاری مدل شمع منفرد..... ۱۰۶
شکل۵-۶ مقایسه نمودارهای مدل آزمایشگاهی و نرم افزاری شمع منفرد..... ۱۰۷
شکل۵-۷ مقایسه نمودارهای مدل آزمایشگاهی و نرم افزاری پی سطحی..... ۱۰۷
شکل۵-۸ مقایسه نمودارهای مدل آزمایشگاهی و نرم افزاری پی شمع-رادیه..... ۱۰۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱ برخی موارد استفاده از پی‌های شمع-رادیه..... ۸

جدول۲-۲ مدل‌های مختلف لایه‌ها خاک مورد آزمایش..... ۲۴

جدول۲-۳ فاکتور اثر رادیه،I..... ۳۳

جدول۲-۴ خلاصه شرایط آزمایش‌های میدانی فانگ..... ۳۹

جدول۲-۵ ضرایب اثر اندرکنش شمع-رادیه بر ظرفیت‌های باربری جانبی و نوک شمع..... ۴۴

جدول۲-۶ تفاوت بین روش i و ii..... ۵۵

جدول۳-۱ ابعاد شمع‌های مورد آزمایش پی دایره‌ای..... ۷۳

جدول۳-۲ ابعاد شمع‌های مورد آزمایش پی نواری..... ۷۶

جدول۳-۳ اعداد ارائه شده برای کالیبراسیون نیرو سنج توسط دستگاه برش مستقیم..... ۸۰

جدول۳-۴ نتایج قرائت دستگاه برش مستقیم..... ۸۰

جدول۳-۵ وزن مخصوص..... ۸۲

جدول۳-۶ جدول ضریب تصحیح دما..... ۸۳

جدول۳-۷ نتایج چگالی نسبی خاک مورد آزمایش..... ۸۳

جدول۵-۱ جدول داده‌های ورودی در نرم افزار پلکسیس..... ۱۰۳

فصل۱ : مقدمه

۱-۱ مقدمه

نظریه استفاده از شمع‌ها برای کاهش نشست در دهه هفتاد توسط هانسبو و همکاران[۱]، دیوید[۲] و پولوس[۳] و بورلند[۴] و همکاران ارائه گردید. فانگ [۵] نیز تحقیقات اصولی بر روی پی‌های شمع-رادیه[۶] در خاک غیرچسبنده انجام داد. او در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که اثرات سرشمع در تماس با خاک بر روی ظرفیت باربری شمع‌ها و رفتار بار نشست غیرقابل انکار است. او همچنین دریافت که طریقه انتقال بار در یک پی شمع –رادیه، شامل اندرکنش بسیار پیچیده بین شمع‌ها، سرشمع و خاک اطراف می‌باشد، که به طور گسترده ای به سبب نصب شمع و فشار تماسی در سطح مشترک سرشمع و خاک تغییر می‌یابد. هین[۷] و لی[۸] نیز روشی را برای تحلیل این نوع پی‌ها درنظر گرفتند. آن‌ها در این روش، سیستم پی را مانند یک صفحه الاستیک انعطاف پذیر که بر روی گروهی از شمع‌های اصطکاکی به هم فشاری قرار گرفته است، مدل نمودند. در این روش نیز اندرکنش بین شمع‌ها، رادیه و خاک درنظر گرفته شده است. پولوس در سال ۱۹۹۴ نیز یک روش تقریبی که در آن رادیه را مانند یک صفحه الاستیکی نازک که بر روی تعدادی فنر قرار گرفته بودند، مدل نمود. روش اجزاء محدود سه بعدی نیز توسط کاتزنباخ[۹] و راول[۱۰] و راول و رندلف[۱۱] انجام شد.

تمام روش‌های فوق به استثنای روش اجزاء محدود که برای تحلیل پی شمع-رادیه استفاده

---

[1] Hansbo et al. (1963)
[2] David (1972)
[3] Poulos (1972)
[4] Burland (1977)
[5] Phung (1993)
[6] Piled raft foundation
[7] Hain (1978)
[8] Lee (1978)
[9] Katzenbach (1997)
[10] Reul (1997,2003,2004)
[11] Randolph (2003,2004)

می‌شود، تنها تحت بار قائم قابل استفاده می‌باشد. اسمال[1] و بوکر [2] روش لایه‌های محدود را برای تعیین خیز خاک لایه‌بندی شده به صورت افقی گسترش داد. تا[3] از این روش برای تعیین ظرفیت باربری پی شمع-رادیه تحت بار قائم استفاده نمود و ژانگ[4] این روش را برای بارگذاری افقی بر روی این پی‌ها گسترش داد[۱].

در پی‌های شمع-رادیه، نه تنها رادیه در تحمل بارهای وارده نقش اساسی ایفا می‌کند (معمولا می تواند در حدود ۱۰ تا ۴۰ درصد ظرفیت باربری را تحمل نماید) بلکه از شمع‌ها علاوه بر تحمل بار، در کنترل کردن نشست نیز استفاده می‌شود. در سیستم پی شمع-رادیه چهار اندرکنش مهم وجود دارد. این اندرکنش‌ها عبارتند از اندرکنش رادیه-خاک، اندرکنش شمع-رادیه، اندرکنش شمع-خاک و اندرکنش شمع-شمع می‌باشد. از دهه ۷۰ میلادی تا کنون مطالعات بسیار گسترده میدانی، آزمایشگاهی و نرم‌افزاری صورت گرفته‌است که منجر به ارائه چندین نظریه و رابطه گشته‌است. از آنجا که اکثر این سازه ها برای انتقال بار های خود از پی های مرکب استفاده می کنند لذا استفاده از این پی ها در زیر بار های سنگین به خوبی دیده می شود. بنابر این کار بر روی این نوع پی ها و گسترش علوم مربوط به آن از اهمیت خاصی برخوردار است. این سیستم مرکب به سیستم پی تقویت شده با شمع یا به طور خلاصه (شالوده شمع-رادیه) خوانده می شود. شالوده های شمع-رادیه از لحاظ اقتصادی گزینه ای مقرون به صرفه می باشند، زیرا زمانی که رادیه به تنهایی نیاز طراحی مورد نظر را از لحاظ باربری و نشست تامین نکند با استفاده از چندین شمع در زیر رادیه مقدار ظرفیت باربری افزایش و نشست پذیری به مقدار زیادی کاهش می یابد. همانطور که واضح است همواره با افزایش طول و سختی شمع ها، بر ظرفیت باربری افزوده شده و نشست پذیری کاهش می یابند؛ اما در اکثر موارد افزایش بی رویه در طول و سختی شمع مقرون

[1] small (1986)
[2] Booker (1986)
[3] Ta (1996)
[4] Zhang (2000)

به صرفه نبوده و با افزایش این موارد ظرفیت باربری و نشست پذیری تغییر قابل توجهی نخواهد داشت.

در این پایان‌نامه نیز سعی شده‌است تا بر اثر هندسه شمع بر عملکرد پی شمع-رادیه پرداخته شود. فرضیات استفاده شده در این آزمایش‌ها را می‌توان به همگنی و کوبش یکنواخت لایه‌های خاک، اتصال صلب و قائم بین شمع و رادیه، بارگذاری محوری و بدون خروج از مرکزیت و صلبیت رادیه و شمع‌ها دانست. در این پژوهش مدل پیچیده پی شمع-رادیه به یک مدل ساده (پی شمع-رادیه با اتصال یک شمع در زیر رادیه) تبدیل شده تا بتوان به وضوح اثرات هندسه شمع بر ظرفیت باربری پی شمع-رادیه را مورد بررسی قرار داد. از نتایج تحقیق فوق می توان در بهینه سازی طول و سختی شمع مورد استفاده در زیر پی‌های رادیه ساختمان‌های مرتفع و پل‌ها یا به طور کلی بارهای سنگین استفاده کرده تا بتوان پی‌هایی با ظرفیت باربری زیاد و نشست پذیری کم و همچنین مقرون به صرفه تولید نمود.

این پایان نامه شامل مروری بر تحقیقات گذشته، انجام آزمایش‌ها، نمودارها و نتایج حاصل از آزمایش، مدلسازی عددی و فصل نتیجه گیری می‌باشد.

فصل۲ : پیشینه پژوهش

۲-۱ مقدمه

از آنجایی که در اکثر سازه‌های بلند از پی‌های شمع- رادیه برای انتقال بار به خاک زیرین پی استفاده می‌شود، روش‌های مختلفی برای تحلیل این نوع پی‌ها در چند دهه اخیر پیشنهاد شده است. پی شمع-رادیه یک سیستم مرکب است که شامل شمع‌ها، رادیه و خاک است. بارهای منتقل‌شده به پی از طریق شمع‌ها و رادیه به خاک منتقل می‌شود. بر خلاف پی‌هایی که در آن‌ها از شمع‌ها برای تحمل حداکثر ظرفیت باربری استفاده می‌شود، در پی‌های شمع-رادیه، بار بین رادیه و شمع به اشتراک گذاشته‌شده و اثرات اندرکنش پیچیده سازه و خاک در نظر گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر فرضیات پی‌های شمع-رادیه که در آن بخشی از بار سازه فوقانی توسط شمع‌ها به خاک انتقال‌یافته و باقی‌مانده آن نیز توسط رادیه انتقال می‌یابد پذیرفته شده است. به طوریکه شمع‌ها، نه برای تحمل بار کامل، بلکه برای کاهش نشست‌ها نیز طراحی می‌شود. از کامل‌ترین سیستم‌های پی سازی یعنی پی شمع-رادیه می‌باشد که علاوه بر افزایش توان باربری، نشست پی را نیز کاهش می‌دهد. در این سیستم‌های اندرکنشی، چهار اندرکنش مهم یعنی اندرکنش خاک-رادیه، اندرکنش شمع-خاک، اندرکنش شمع-شمع و اندرکنش شمع-رادیه درنظر گرفته می‌شود. سیستم پی شمع-رادیه باید برای مواردی مانند حداکثر ظرفیت باربری ژئوتکنیکی، کنترل نشست کلی، تامین سختی لازم، کنترل نشست غیر یکنواخت، پایداری جانبی و همچنین ظرفیت باربری سازه ای طراحی شود[۱].

در طی دو دهه اخیر، رشد بسیار سریع شهرها در سرتاسر جهان سبب افزایش سریع تعداد و ارتفاع‌های ساختمان‌های بلند، حتی در خاک‌هایی با شرایط نامساعد شده است. اندازه‌گیری اصولی مکانیزم انتقال بار پی‌های شمع-رادیه برای تصدیق فرضیات طراحی و اندازه‌گیری بار به اشتراک گذاشته‌شده بین شمع‌ها و سرشمع نیز انجام گرفته است.

جدول۲-۱ برخی موارد استفاده از پی‌های شمع-رادیه

ردیف	برج	سازه		درصد اشتراک بار		ابزار دقیق	حداکثر نشست (میلی‌متر)
		ارتفاع (متر)	طبقه	شمع	رادیه		
۱	مسی- تورهاوس[1]، فرانکفورت	۱۳۰	۳۰	۷۵	۲۵	+	–
۲	مسی تورن[2]، فرانکفورت	۲۵۶	۶۰	۵۷	۴۳	+	۱۴۴
۳	وستند[3]۱، فرانکفورت	۲۰۸	–	۴۹	۵۱	+	۱۲۰
۴	پتروناس[4]، کوالالامپور*	۴۵۰	۸۸	۸۵	۱۵	+	۴۰
۵	کیو وی[5]۱، استرالیا	–	۴۲	۷۰	۳۰	–	۳۰
۶	ترپ تاور[6]، برلین	۱۲۱	–	۵۵	۴۵	+	۷۳
۷	مرکز تجاری سونی[7]، برلین	۱۰۳	–	–	–	+	۳۰
۸	آی سی سی[8]، هنگ کنگ*	۴۹۰	۱۱۸	۷۰	۳۰	–	–
۹	بانک کامرز[9]، فرانکفورت*	۳۰۰	–	۹۶	۴	+	۱۹
۱۰	اسکایپر[10]، فرانکفورت	۱۵۳	–	۶۳	۲۷	+	۵۵

*به صورت گروه شمع طراحی شده‌است.

باید متذکر شد برخی از این پی‌ها به گونه‌ای طراحی‌شده بودند که تنها شمع‌ها در انتقال بارهای وارده به خاک نقش داشته باشند، ولی سرشمع نیز با تحمل بخشی از این بارها، عملکرد این پی‌ها را به پی‌های شمع-رادیه تبدیل نمودند. به طور مثال برج پتروناس در کوالالامپور به گونه‌ای طراحی شده بود که تمام بارهای منتقل‌شده به پی از طریق شمع‌ها به خاک منتقل گردد. اما با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، ۱۵ درصد از بار مرده، زمانی که ساختمان به ارتفاع طبقه ۳۴ ام خود رسیده بود توسط رادیه تحمل می‌شد. این میزان در پایان ساخت برج به ۴۰ درصد نیز رسید. همچنین از جدول ۲-۱ می‌توان دریافت که هرچه بارهای بیشتری توسط شمع‌ها تحمل شود، نشست‌های کمتری نیز رخ خواهد داد[۲].

[1] Messe-Torhouse
[2] Messeturn
[3] Westend
[4] Petronas
[5] QV 1
[6] Treptower
[7] Sony Center
[8] ICC
[9] Commerzbank
[10] Skyper