دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

تحلیل عددی فونداسیون رادیه شمع با شمع‌های منفصل در خاک‌های ماسه‌ای

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

پژوهش و نگارش:

ارمیا شفیعی

استاد راهنما:

دکتر عبدالحسین حداد

دی‌ماه ۱۳۹۳

دانشکده مهندسی عمران

تحلیل عددی فونداسیون رادیه شمع با شمع‌های منفصل در خاک‌های ماسه‌ای

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

پژوهش و نگارش:

ارمیا شفیعی

استاد راهنما:

دکتر عبدالحسین حداد

دی‌ماه ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران

صورت‌جلسه دفاعیه پایان‌نامه کارشناسی ارشد

پایان‌نامه‌ی آقای/خانم ..... برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گـرایش ..... تحـت عنـوان "....." در جلسـه مورخ / / بررسی و با نمره

عدد	
حروف	

مورد تأیید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

استاد راهنمای اول:	امضاء:
استاد راهنمای دوم:	امضاء:
استاد مشاور اول:	امضاء:
استاد مشاور دوم:	امضاء:
استاد داور:	امضاء:
استاد داور:	امضاء:

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده: ..... امضاء .....

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب ارمیا شفیعی متعهد می‌شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان " تحلیل عددی فونداسیون رادیه شمع با شمع‌های منفصل در خاک‌های ماسه‌ای" که به عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت‌های علمی اینجانب می‌باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان‌نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به آن نیز از طرف مراجع قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی: ارمیا شفیعی

شماره دانشجویی: ۹۱۱۲۱۴۶۰۰۳

امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضاء:

تقدیم به اولین آموزگاران زندگی

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی:

مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های ارزنده و راهگشای استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر حداد ابراز داشته و کمال تشکر دارم.

چکیده

استفاده از سیستم رادیه شمع منفصل به عنوان یک رویکرد جدید در عرصه مهندسی پی و در پاسخ به نیازهای روزافزون در پروژه‌های عمرانی بخصوص در سازه‌های بلند و سنگین در سال‌های اخیر مورد توجه جدی محققین قرار گرفته است. در این سیستم پی‌سازی برای بهبود مکانیسم انتقال بار از رادیه به خاک بستر، از یک لایه میانی در بین رادیه و شمع‌ها شامل خاک‌های درشت‌دانه متراکم استفاده می‌شود. شمع‌های منفصل به صورت عناصر مسلح کننده قائم خاک زیرین عمل می‌کنند و با تشکیل محیطی از مصالح مرکبِ سخت‌تر، سبب بهبود ویژگی‌های مکانیکی بستر می‌شوند. در این حالت شمع‌ها مستقیماً در معرض بار روسازه قرار نداشته و تا حدی رعایت ملاحظات سازه‌ای برای آن‌ها کمتر تعیین‌کننده خواهد بود. مطالعات کمی در زمینه بررسی عملکرد رادیه شمع منفصل در قیاس با رادیه شمع متصل، ارائه شده است؛ لذا سازوکار و رفتار این نوع از شالوده، به‌طور کامل شناخته شده نیست.

این مطالعه برای دو حالتِ هندسی رادیه شمع کوچک ($\frac{B_{Raft}}{L_{Pile}} < 1$) و رادیه شمع بزرگ ($\frac{B_{Raft}}{L_{Pile}} > 1$)، انجام گرفته است. این حالات هندسی، موجب تفاوت عملکرد رادیه شمع منفصل به ویژه در تغییر مکان جانبی شمع‌ها شده است. همچنین تاثیر متفاوت افزایش ضخامت میان‌لایه، بر نشست سیستم پی مشاهده شد. افزایش سختی (E) و زاویه اصطکاک داخلی (Ø) میان‌لایه شنی، کاهش نشست را تا حدی به همراه داشته و نرخ کاهش نشست، به‌تدریج کاسته می‌شود. افزایش قطر شمع‌های منفصل، نسبت سهم باربری مجموعه شمع‌ها از بار کل را افزایش داده و سهم باربری خاک بستر، کاسته شده است. افزایش نسبت (s/d) شمع‌ها از مقادیر کوچک، موجب نزدیک شدن عملکرد شمع‌های گروه به شمع‌های منفرد و کاهش نشست شده است. افزایش ضخامت رادیه، تاثیر بیشتر بر روی کاهش نشست نامتقارن داشته و همچنین کم بودن ضخامت رادیه در حالت هندسی کوچک، احتمال بیشتری در ایجاد رفتار انعطاف‌پذیر برای رادیه را دارد. در این تحقیق علاوه بر مطالعه رفتار بار نشست، به بررسی دقیق‌تر توزیع بار در رادیه شمع منفصل تحت شرایط گوناگون هندسی و مقاومتی پرداخته شد و در موارد متعددی نیز سیستم رادیه شمع متصل با شرایط مشابه ساخته شده و مورد مقایسه قرار گرفت. جهت مدل‌سازی‌های المان محدود، از نرم‌افزار اباکوس استفاده شد و با ساخت و تحلیل مجزّاء ۹۴ مدل سه‌بعدی اجزاء محدود، گامی کوچک در جهت معرفی ابعاد بیشتری از رفتار سیستم رادیه شمع منفصل، برداشته شده است. صحت‌سنجی مدل عددی نیز با استفاده از نتایج آزمایش سانتریفیوژ انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: رادیه شمع منفصل، میان‌لایه شنی، رفتار بار نشست، مدل‌سازی سه‌بعدی اجزاء محدود، توزیع بار در سیستم رادیه شمع منفصل

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۴

۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق ۵

۱-۴- نوآوری تحقیق ۶

۱-۵- اهداف تحقیق ۷

۱-۶- فرضیات تحقیق و محدودیت‌ها ۸

۱-۷- روش تحقیق ۸

۱-۸- ساختار پایان‌نامه ۹

فصل ۲: ادبیات فنی ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- بررسی سیستم پی رادیه شمع ۱۲

۲-۲-۱- معرفی سیستم پی رادیه شمع ۱۲

۲-۲-۲- فلسفه‌های طراحی ۱۳

۲-۲-۳- ملاحظات عمده طراحی گروه شمع ۱۶

۲-۲-۴- تخمین ظرفیت نهایی ژئوتکنیکی ۱۶

۲-۲-۵- موارد مطلوب و نامطلوب در طراحی پی‌های رادیه شمع ۱۸

۲-۲-۶- روند طراحی ۱۹

۲-۲-۷- راهکارهای طراحی بهینه ۲۰

۲-۲-۸- سیستم رادیه شمع در خاک رس ۲۲

۲-۲-۹- سیستم رادیه شمع در خاک ماسه‌ای و سنگ هوازده ۲۵

۲-۳- سیستم رادیه شمع با شمع‌های کاهنده نشست ۲۸

۲-۳-۱- مشکلات شمع‌های متصل کاهنده نشست ۳۰

۲-۳-۲- آلترناتیو طراحی رادیه با شمع‌های منفصل کاهنده نشست ۳۰

۲-۴- سیستم رادیه شمع منفصل ۳۳

۲-۵- جمع‌بندی ۳۸

فصل ۳: مروری بر مطالعات انجام شده بر سیستم پی رادیه شمع منفصل ٤٠

۳-۱- مطالعه انجام شده توسط فیورانته و گیرتی ۲۰۱۰ ۴۱

۳-۱-۱- مقدمه ۴۱
۳-۱-۲- شرایط مرزی ۴۲
۳-۱-۳- رفتار بار نشستِ رادیه شمع‌ها ۴۴
۳-۱-۴- سختی رادیه شمع ۴۶
۳-۲- مطالعه انجام شده توسط مصطفی السوواف ۲۰۱۰ ..... ۴۷
۳-۲-۱- مقدمه ۴۷
۳-۲-۲- تأثیر طول شمع‌ها ۴۸
۳-۲-۳- تأثیر تعداد شمع‌ها ۴۹
۳-۲-۴- تأثیر چیدمان شمع‌ها: ۵۰
۳-۳- مطالعه انجام شده توسط اسلامی و صالحی ۲۰۱۰ ..... ۵۱
۳-۴- شارما و همکاران ۲۰۱۱ ..... ۶۰
۳-۵- ژنگ و مینگلِی ۲۰۱۲ ..... ۶۱
۳-۶- اسلامی و همکاران ۲۰۱۲ ..... ۶۱
۳-۷- سایر مطالعات موردی و داده‌های واقعی ۶۲
۳-۸- برخی موارد کاربرد پی‌های رادیه شمع در سطح جهان ۶۳
۳-۸-۱- ساختمان مسه- تورهاس فرانکفورت، ۸۵-۱۹۸۳ ..... ۶۴
۳-۸-۲- برج وستندستراس فرانکفورت آلمان ۶۵
۳-۸-۳- برج مستروم، فرانکفورت، ۹۱-۱۹۸۸ ..... ۶۶
۳-۸-۴- برج خلیفه، دبی ۶۷
۳-۸-۵- دو ساختمان مسکونی مجاور، سوئد ۷۰
۳-۸-۶- دو ساختمان بلند در ساحل طلایی، استرالیا ۷۱
۳-۸-۷- پل ریون-آنتیریون یونان ۷۲

فصل ٤: شبیه‌سازی عددی و کالیبراسیون ۷۷

۴-۱- مقدمه ۷۸
۴-۲- معرفی نرم‌افزار اباکوس ۷۸
۴-۳- مشخصات مصالح خاک، سیستم پی و نحوه مدل‌سازی در اباکوس ۸۴
۴-۳-۲- معیار گسیختگی مور – کولمب ۸۵
۴-۳-۳- تعیین پارامترهای مدل مور- کولمب ۸۶
۴-۴- رویکرد محاسباتی در نرم‌افزار اباکوس ۸۶
۴-۵- المان‌های مورداستفاده در مدل‌سازی ۸۷
۴-۶- بارگذاری ۸۸

۴-۷- کالیبراسیون ۸۹
۴-۸- جمع‌بندی ۹۵

فصل ۵: مطالعات پارامتری و نتایج تحلیل‌های اجزای محدود ۹۶

۵-۱- مقدمه ۹۷
۵-۲- رفتار بار نشست و نحوه توزیع بار در سیستم‌های مختلف پی‌سازی ۹۸
۵-۲-۱- بررسی رفتار بار نشست ۹۸
۵-۲-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۰۰
۵-۲-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها ۱۰۱
۵-۳- تأثیر پارامترهای مقاومتی (E و Ø) میان لایه شنی بر عملکرد رادیه شمع منفصل ۱۰۳
۵-۳-۱- بررسی رفتار بار نشست ۱۰۳
۵-۳-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۰۵
۵-۳-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها ۱۰۶
۵-۴- تأثیر ضخامت میان لایه شنی بر عملکرد رادیه شمع منفصل: ۱۰۸
۵-۴-۱- رفتار بار نشست ۱۰۸
۵-۴-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۱۳
۵-۴-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها ۱۱۴
۵-۵- تأثیر فاصله شمع‌ها از یکدیگر (Sd) بر عملکرد رادیه شمع‌های منفصل و متصل ۱۱۵
۵-۵-۱- رفتار بار نشست ۱۱۵
۵-۵-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۲۰
۵-۵-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها ۱۲۱
۵-۶- تأثیر تعداد (n) و قطر شمع‌ها (d) بر عملکرد رادیه شمع منفصل ۱۲۴
۵-۶-۱- رفتار بار نشست ۱۲۴
۵-۶-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۲۷
۵-۶-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها ۱۳۰
۵-۷- تأثیر چیدمان شمع‌ها در زیر رادیه، بر عملکرد رادیه شمع منفصل ۱۳۲
۵-۷-۱- بررسی رفتار بار نشست ۱۳۲
۵-۷-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۳۳
۵-۷-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها ۱۳۴
۵-۸- تأثیر عملکرد اتکایی و یا اصطکاکی شمع‌ها بر عملکرد رادیه شمع‌های منفصل و متصل ۱۳۶
۵-۸-۱- بررسی رفتار بار نشست ۱۳۶
۵-۸-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۳۷

۵-۸-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها..... ۱۳۸
۵-۹- تأثیر ضخامت رادیه بر عملکرد رادیه شمع‌های منفصل و متصل..... ۱۴۱
۵-۹-۱- بررسی رفتار بار نشست..... ۱۴۱
۵-۹-۲- نحوه توزیع بار در سطح کلی بین خاک بستر و مجموعه گروه شمع ۱۴۴
۵-۹-۳- نحوه توزیع بار در سطح جزئی برای تک‌تک شمع‌ها..... ۱۴۷

فصل ٦: جمع‌بندی و پیشنهادها ۱٤۹

۶-۱- مقدمه ۱۵۰
۶-۲- جمع‌بندی ۱۵۰
۶-۳- پیشنهادها ۱۵۴

منابع ۱٥٦

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) سیستم رادیه شمع به همراه نیروها و اندرکنش‌های مختلف اجزاء در این سیستم ۱۲
شکل (۲-۲) منحنی‌های بار نشست سیستم رادیه شمع بر اساس فلسفه‌های مختلف طراحی ۱۵
شکل (۲-۳) نحوه بارگذاری و چیدمان شمع‌ها ۲۴
شکل (۲-۴) مدل المان محدود سیستم رادیه شمع ۲۷
شکل (۲-۵) مدل عددی تحت آزمایش شامل مش کلی و مش‌بندی رادیه شمع ۲۸
شکل (۲-۶) الف)شمع‌های منفصل (به عنوان مسلح‌کننده خاک) ب) شمع‌های متصل ۳۳
شکل (۲-۷) تسلیح خاک با استفاده از تکنیک شمع‌های کاهنده نشست به صورت منفصل و همراه با میان‌لایه ۳۵
شکل (۲-۸) شکل شماتیک رادیه شمع مرکب ۳۷
شکل (۳-۱) نمودار دانه‌بندی ماسه تالاب ونیز و لایه میانی ۴۱
شکل (۳-۲) تصویر شماتیک مدل‌های آزمایش: P شمع منفرد، R رادیه بدون پی، PR1 رادیه شمع متصل ۱شمعی، PR4 رادیه شمع متصل ۴شمعی، PR9 رادیه شمع متصل ۹شمعی، UR پی بدون شمه با لایه شنی، NC1 رادیه شمع منفصل ۱شمعی، NC4 رادیه شمع منفصل ۴شمعی و NC9 رادیه شمع منفصل ۹شمعی. ۴۲
شکل (۳-۳) مکانیسم انتقال بار و میزان نشست در فونداسیون‌های PRF و NCPRF ۴۳
شکل (۳-۴) توزیع بار در حالت الف) متصل و ب) غیر متصل ج) منحنی کارایی نشست ۴۴
شکل (۳-۵) رابطه بار نشست رادیه شمع: a) بار واحد کل b) بار واحد انتقال یافته به خاک سطحی q_r c) بار کلی وارد بر شمع ۴۵
شکل (۳-۶) منحنی دانه‌بندی خاک مورد آزمایش ۴۷
شکل (۳-۷) مشخصات هندسی مدل و دستگاه آزمایش ۴۸
شکل (۳-۸) چیدمان شمع‌ها در مدل پی مورد آزمایش ۴۸
شکل (۳-۹) تغییرات میانگین ظرفیت باربری با بیش‌ترین نشست- تغییرات BPI با L/D در نسبت‌های مختلف نشست نرمالیزه شده ۴۹
شکل (۳-۱۰) تغییرات BPI با N در سطوح مختلف S/B ۵۰
شکل (۳-۱۱) تغییرات میانگین ظرفیت باربری با بیش‌ترین نشست برای چیدمان مختلف شمع‌ها ۵۱
شکل (۳-۱۲) مش‌بندی سیستم رادیه شمع منفصل ۵۲
شکل (۳-۱۳) مطالعه موردی پولوس و همکاران ۵۳

شکل (۳-۱۴) مقایسه سیستم رادیه شمع منفصل با سیستم رادیه شمع متصلِ مطالعه موردی پلوس و همکاران الف)نشست ب) فشار تماسی نرمالیزه شده ج) تنش محوری در شمع p1 ..... ۵۴
شکل (۳-۱۵) تاثیر لایه شنی بر سیستم رادیه شمع منفصل در مطالعه موردی پولوس الف) نشست ب) فشار تماسی نرمالیزه‌شده ج) تنش محوری در شمع p1 ..... ۵۶
شکل (۳-۱۶) تاثیر لایه شنی بر سیستم رادیه شمع منفصل در مطالعه موردی پولوس الف) نشست ب) فشار تماسی نرمالیزه‌شده ج) تنش محوری در شمع p1 ..... ۵۷
شکل (۳-۱۷) چیدمان متفاوت استفاده شده در تحلیل عددی مورد فرضی ۵۸
شکل (۳-۱۸) نتایج میزان نشست، توزیع بار و فشار تماسی برای چیدمان‌های متفاوت مطالعه موردی ۵۹
شکل (۳-۱۹) طرح شماتیک مدل تحلیل‌شده و وضعیت بارگذاری المان شمع -خاک-لایه میانی ۶۱
شکل (۳-۲۰) ساختمان مسه‌تورهاس در فرانکفورد الف) نمای ایزومتریک ب) پلان ۶۴
شکل (۳-۲۱) برج وستندستراس، فرانکفورت، آلمان ۶۵
شکل (۳-۲۲) مقایسه روش‌های گوناگون تحلیلِ رادیه شمع، وستندستراس ۶۶
شکل (۳-۲۳) پلان و مقطع عرضی پی رادیه شمع در برج مستورم، فرانکفورت ۶۶
شکل (۳-۲۴) سیستم پی رادیه شمع در برج خلیفه دبی ۶۸
شکل (۳-۲۵) کانتورهای نشست اندازه‌گیری شده در پی رادیه شمع برج خلیفه دبی ۶۸
شکل (۳-۲۶) نشست‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده بال c ۶۹
شکل (۳-۲۷) نشست‌های دو ساختمان مسکونی مجاور ۷۰
شکل (۳-۲۸) پل ریون آنتیریون ۷۲
شکل (۳-۲۹) شرایط خاک‌ها موجود در محل پروژه ۷۴
شکل (۳-۳۰) مشخصات هندسی و ابعاد پل ریون آنتیریون ۷۵
شکل (۳-۳۱) پایه پل و فونداسیون آن ۷۵
شکل (۳-۳۲) اجرای شمع‌های کوبشی همراه با میان‌لایه شنی و آماده‌سازی بستر ۷۶
شکل (۳-۳۳) ساخت فونداسیون‌ها در ساحل و انتقال اولین پایه به محل ۷۶
شکل (۳-۳۴) تکمیل فرآیند اجرای پایه‌ها و تکمیل عرشه ۷۶
شکل (۴-۱) نمایی از وضعیت قرارگیری مصالح شن (سفید) و ماسه (قرمز) ۸۵
شکل (۴-۲) نمونه‌ای از مدل‌های ساخته شده به همراه وضعیت مش‌بندی ۸۷
شکل (۴-۳) مراحل نصب رادیه شمع منفصل در آزمایش سانتریفیوژ ۸۹
شکل (۴-۴) هندسه مدل در دستگاه سانتریفیوژ ۹۰

شکل (۴-۵) مراحل ابتدایی در کالیبراسیون مدل نرم‌افزاری با نتایج حاصل از آزمایش سانتریفیوژ ۹۲
شکل (۴-۶) کالیبراسیون نهایی مدل نرم‌افزاری با نتایج حاصل از آزمایش سانتریفیوژ.....۹۲
شکل (۴-۷) نمونه‌ای از منحنی‌های رفتار بار نشست پی رادیه شمع ۹۴
شکل (۴-۸) نمونه‌ای از منحنی‌های رفتار بار نشست پی رادیه شمع در این مطالعه ۹۴
شکل (۵-۱) منحنی‌های رفتار بار نشست سیستم‌های مختلف پی در حالت هندسی رادیه شمع بزرگ ۹۸
شکل (۵-۲) منحنی‌های رفتار بار نشست سیستم‌های مختلف پی در حالت هندسی رادیه شمع کوچک ۹۹
شکل (۵-۳) بردار تغییرمکان‌های جانبی شمع‌ها در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ ۱۰۰
شکل (۵-۴) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در سیستم‌های مختلف پی..... ۱۰۱
شکل (۵-۵) شکل شماتیک کانتورهای نشست در سیستم‌های پیِ رادیه شمع منفصل و متصل ۱۰۱
شکل (۵-۶) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در سیستم‌های مختلف پی ۱۰۲
شکل (۵-۷) نمودار تغییرات نشستِ رادیه شمع منفصل، همگام با افزایش E و Ø میان‌لایه شنی ۱۰۳
شکل (۵-۸) منحنی‌های رفتار بار نشستِ رادیه شمع منفصل در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، همگام با افزایش E و Ø میان‌لایه شنی..... ۱۰۴
شکل (۵-۹) کاهش تغییرمکان جانبی شمع‌ها در رادیه شمع منفصل و کوچک، همگام با افزایش سختی میان‌لایه شنی ۱۰۵
شکل (۵-۱۰) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در رادیه شمع منفصل برای دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، همگام با افزایش E و Ø میان‌لایه شنی..... ۱۰۶
شکل (۵-۱۱) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش E و Ø میان‌لایه شنی..... ۱۰۷
شکل (۵-۱۲) تغییرات نشست رادیه شمع منفصل در دو حالت هندسی، همگام با افزایش ضخامت میان‌لایه شنی ۱۰۸
شکل (۵-۱۳) بردارهای تغییرمکان جانبی شمع‌ها در رادیه شمع منفصل، همگام با افزایش ضخامت میان‌لایه شنی ۱۱۰
شکل (۵-۱۴) کانتورهای نشست در رادیه شمع منفصل، همگام با افزایش ضخامت میان‌لایه شنی ۱۱۰
شکل (۵-۱۵) بررسی اختصاصی سهمِ نشست هر کدام از اجزاء در سیستم رادیه شمع منفصل ۱۱۱
شکل (۵-۱۶) روند تغییرات درصد سهم نشست هرکدام از اجزاء سیستمِ پی، همزمان با افزایش ضخامت میان‌لایه شنی ۱۱۲

شکل (۵-۱۷) منحنی‌های رفتار بار نشستِ رادیه شمع منفصل در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، همگام با افزایش ضخامت میان‌لایه شنی ۱۱۲
شکل (۵-۱۸) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در رادیه شمع منفصل برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش ضخامت میان‌لایه شنی..... ۱۱۳
شکل (۵-۱۹) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش ضخامت میان‌لایه شنی ۱۱۴
شکل (۵-۲۰) تغییرات نشست رادیه شمع منفصل و رادیه شمع متصل، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها ۱۱۶
شکل (۵-۲۱) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل در حالت هندسی رادیه شمع بزرگ، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها..... ۱۱۶
شکل (۵-۲۲) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع متصل در حالت هندسی رادیه شمع بزرگ، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها..... ۱۱۷
شکل (۵-۲۳) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل در حالت هندسی رادیه شمع کوچک، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها..... ۱۱۸
شکل (۵-۲۴) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع متصل در حالت هندسی رادیه شمع کوچک، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها..... ۱۱۸
شکل (۵-۲۵) کانتورهای نشست رادیه شمع منفصل برای حالت هندسی رادیه شمع کوچک، همگام با افزایش نسبت s/d ۱۱۹
شکل (۵-۲۶) بردارهای تغییرمکان جانبی شمع‌ها در رادیه شمع منفصل برای حالت هندسی رادیه شمع کوچک، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها..... ۱۲۰
شکل (۵-۲۷) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در رادیه شمع منفصل و متصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها..... ۱۲۱
شکل (۵-۲۸) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل و متصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش نسبت s/d شمع‌ها..... ۱۲۳
شکل (۵-۲۹) تغییرات نشست رادیه شمع منفصل در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، همگام با افزایش قطر شمع‌ها..... ۱۲۴
شکل (۵-۳۰) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل در حالت هندسی رادیه شمع بزرگ، همگام با افزایش قطر شمع‌ها ۱۲۵

شکل (۵-۳۱) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل در حالت هندسی رادیه شمع کوچک، همگام با افزایش قطر شمع‌ها ۱۲۵
شکل (۵-۳۲) تغییرات نشست رادیه شمع منفصل در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، همگام با افزایش تعداد شمع‌ها..... ۱۲۶
شکل (۵-۳۳) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل در حالت هندسی رادیه شمع بزرگ، همگام با افزایش تعداد شمع‌ها..... ۱۲۶
شکل (۵-۳۴) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل در حالت هندسی رادیه شمع کوچک، همگام با افزایش تعداد شمع‌ها..... ۱۲۷
شکل (۵-۳۵) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در رادیه شمع منفصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش تعداد و قطر شمع‌ها..... ۱۲۸
شکل (۵-۳۶) کانتورهای نشستِ میان‌لایه شنی در تراز بین سرِ شمع‌ها و مرز پائینیِ میان‌لایه شنی..... ۱۲۹
شکل (۵-۳۷) کانتورهای کرنش پلاستیکِ میان‌لایه شنی در تراز بین سرِ شمع‌ها و مرز پائینیِ میان‌لایه شنی ۱۲۹
شکل (۵-۳۸) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش قطر شمع‌ها ۱۳۰
شکل (۵-۳۹) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش تعداد شمع‌ها..... ۱۳۱
شکل (۵-۴۱) سه چیدمان بررسی‌شده شامل چیدمان مربعی، چیدمان دایره‌ای و چیدمان مربعی با تمرکز بر مرکز ۱۳۲
شکل (۵-۴۲) تغییرات نشست رادیه شمع منفصل در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، برای سه چیدمان متفاوت شمع‌ها در زیر رادیه..... ۱۳۳
شکل (۵-۴۳) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در رادیه شمع منفصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، برای سه چیدمان متفاوت شمع‌ها در زیر رادیه..... ۱۳۴
شکل (۵-۴۴) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، برای سه چیدمان متفاوت شمع‌ها در زیر رادیه ۱۳۵
شکل (۵-۴۵) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل و متصل در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، بر اساس عملکرد اتکایی و یا اصطکاکی شمع‌ها..... ۱۳۷

شکل (۵-۴۶) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در رادیه شمع منفصل و متصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، بر اساس عملکرد اتکایی و یا اصطکاکی شمع‌ها ۱۳۸
شکل (۵-۴۷) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل و متصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، بر اساس عملکرد اتکایی و یا اصطکاکی شمع‌ها ۱۴۰
شکل (۵-۴۸) تاثیر افزایش ضخامت رادیه بر میزان نشست رادیه شمع‌های متصل و منفصل ۱۴۱
شکل (۵-۴۹) منحنی رفتار بار نشست رادیه شمع منفصل و متصل در دو حالت هندسی رادیه شمع کوچک و بزرگ، همگام با افزایش ضخامت رادیه ۱۴۲
شکل (۵-۵۰) کانتورهای تغییر مکان رادیه در رادیه شمع منفصل و حالت هندسی کوچک، برای ضخامت‌های متفاوت رادیه ۱۴۳
شکل (۵-۵۱) کانتورهای تغییر مکان رادیه در رادیه شمع متصل و حالت هندسی کوچک، برای ضخامت‌های متفاوت رادیه ۱۴۴
شکل (۵-۵۲) درصد سهم باربری خاک بستر و گروه شمع‌ها در رادیه شمع منفصل و متصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش ضخامت رادیه ۱۴۵
شکل (۵-۵۳) کانتورهای نشست برای رادیه شمع منفصل و رادیه شمع متصل ۱۴۶
شکل (۵-۵۴) درصدهای سهم باربری نوک و سهم باربری جدار برای سه تیپ شمع، در رادیه شمع منفصل و متصل، برای دو حالت هندسی رادیه شمع بزرگ و کوچک، همگام با افزایش ضخامت رادیه ۱۴۸

فهرست جداول

جدول (۳-۱) مشخصات ماسه تالاب ونیز و لایه میانی ۴۱
جدول (۳-۲) خلاصه‌ای از مطالعات موردی انجام شده Gold Coast..... ۷۱
جدول (۴-۱) مشخصات پایه مصالح خاک در مدل‌های ساخته شده در این مطالعه ۸۴