دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی، گروه عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: مکانیک خاک و پی

عنوان:

تحلیل اندرکنش دینامیکی شمع‌های منفرد و خاک تحت ارتعاشات قائم با استفاده از روش اجزای محدود

استاد راهنما:

دکتر سید محمد فرید آستانه

استاد مشاور:

دکتر سعید قربان بیگی

پژوهشگر:

حمید رضا پیرایه گر

تابستان ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به:

خانوادهٔ عزیزم که همواره پشتیبان اینجانب بوده‌اند.

تشکر و قدردانی:

از زحمات آقای دکتر سید محمد فرید آستانه که به عنوان استاد راهنما در تهیه این پایان‌نامه همکاری داشته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از راهنمایی‌های آقای دکتر سعید قربان‌بیگی و خانم دکتر مهرنوش محمد علی کمال تشکر را داشته و از اساتید مدعو که در جلسه دفاعیه تشریف آوردند نیز سپاسگزاری می‌گردد.

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب **حمیدرضا پیرایه گر** دانش اموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته

به شماره دانشجویی **۸۷۰۰۰۲۷۴۴۰۰** در رشته **عمران-مکانیک خاک و پی** که در تاریخ **۹۰/۵/۱۵**

از پایان نامه خود تحت عنوان **تحلیل اندرکنش دینامیکی شمع های منفرد و خاک تحت ارتعاشات قائم با روش اجزای محدود**

با کسب نمره ۱۸ ودرجه عالی دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم :

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق وپژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده ودر مواردی که از دستاوردهای علمی وپژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه ، کتاب ، مقاله و...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه های موجود ،نام منبع مورد استفاده وسایر مشخصات آن را در فهرست ذکر ودرج کرده ام .

۲- این پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح ، پایین تر یا بالاتر) درسایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است .

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل ، قصد استفاده وهرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب ، ثبت اختراع و ....از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم .

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود ، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط ومقررات رفتار نموده ودر صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

نام و نام خانوادگی : حمیدرضا پیرا یه گر

تاریخ و امضاء: ۹۰/۵/۱۵

بسمه تعالی

درتاریخ :۹۰/۵/۱۵

دانشجو کارشناسی ارشد آقای / خانم حمیدرضا پیرایه گر از پایان نامه خود دفاع نموده وبا نمره ۱۸ بحروف هجده تمام با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول:مقدمه ۱
۱-۱) پیشگفتار ۲
۱-۲- مقالات مرتبط ٤
۱-۳: اهداف تحقیق (پایان‌نامه) ٦
فصل دوم:کلیات مسئله اندرکنش خاک و سازه ۸
۲-۱- کلیات مسئله اندرکنش خاک و سازه ۹
۲-۲- نیروها و تحریکات وارده ۹
۲-۳- مدل دینامیکی سیستم ۱۰
۲-۳-۱- حل در حوزه زمانی ۱۰
۲-۳-۲- حل در حوزه فرکانسی ۱۰
فصل سوم:بررسی حرکات ارتعاشی زمین ۱۲
۱- بررسی حرکات ارتعاشی زمین ۱۳
۳-۱- انتشار امواج در محیط‌های ارتجاعی ۱٤
۳-۱-۱- انتشار امواج در محیط یک بعدی ارتجاعی (میله) ۱۵
۳-۱-۲- انتشار امواج در یک محیط ارتجاعی نامحدود ۲۰
۳-۱-۲-۱-معادلات انتشار امواج در دستگاه مختصات کارتزین ۲۰
۳-۱-۲-۲- معادلات انتشار امواج در دستگاه مختصات استوانه‌ای ۲۵
۳-۱-۲-۳- معادلات انتشار امواج در دستگاه مختصات کروی ۳۱
۳-۱-۳- انتشار امواج در یک محیط ارتجاعی نیمه محدود: ۳۷
۳-۲- انواع مختلف امواج ارتعاشی: ٤۰
فصل چهارم:روشهای حل مسئله اندرکنش خاک و سازه ٤۷
٤-۱- روش‌های حل ساده مهندسی ٤۸
٤-۲- روشهای دیگر حل ۵۰
٤-۲-۱- روش مستقیم (DIRECT) ۵۰
٤-۲-۲- روش زیر سازه (SUBSTRUCTURE) ۵۳
روش مرز سخت ٦۰

روش مرز انعطاف پذیر ٦٣
روش حجم انعطاف پذیر ٦٣
٤-٢-٣- روش مختلط (HYBRID) ٦٦
٤-٣- مقایسه روش‌های مختلف ٦٨
فصل پنجم:مقدمه‌ای بر روش اجزاء محدود ٧٠
٥-١- مقدمه ٧١
٥-٢- مثال توجیهی ٧٢
٥-٢-١- المان و دستگاه سازه‌ای ٧٢
٥-٢-٢ ترکیب سازه و تحلیل آن ٧٥
٥-٢-٣- شرایط مرزی ٧٧
٥-٢-٤- الگوی کلی ٧٨
٥-٣- دستگاه ناپیوسته ٧٩
٥-٤- روش اجزاء محدود در محیطهای پیوسته ارتجاعی – روش تغییر مکان ٧٩
٥-٤-١- بدست آوردن مستقیم معادلات اجزاء محدود ٨١
٥-٤-١-١- توابع تغییر مکان ٨٢
٥-٤-١-٢- کرنشها ٨٣
٥-٤-١-٣- تنشها ٨٤
٥-٤-١-٤- نیروهای گرهی معادل ٨٥
٥-٥- تعمیم موضوع به کل فضا ٨٨
فصل ششم: واکنش دینامیکی شمع‌های منفرد تحت ارتعاشات محوری ٩٢
٦- واکنش دینامیکی شمع‌های منفرد تحت ارتعاشات محوری ٩٣
٦-١- محاسبه ضریب سختی دینامیکی در حوزه فرکانسی ٩٥
٦-٢- محاسبه ضریب سختی دینامیکی در حوزه زمانی ٩٦
فصل هفتم : مدل کامپیوتری (PLAXIS) و تحلیل نتایج ٩٩
٧-١- مقدمه ١٠٠
٧-٢- معرفی نرم‌افزار plaxis ١٠٠
٧-٢-١- معرفی محیط Input ١٠٠
٧-٢-٢- معرفی محیط Initial Condition ١٠١

۷-۲-۳- معرفی محیط Calculation ۱۰۱
۷-۲-٤- معرفی محیط output ۱۰۱
۷-۳: مشخصات کلی مدل‌ها ۱۰۱
۷-۳-۱ هندسه مدل (Input) ۱۰۲
۷-۳-۲: محاسبات (calculation) ۱۰٤
۷-۳-۲-۱: فاز اولیه ۱۰٤
۷-۳-۲-۲: فاز ثانویه ۱۰۵
۳-۲-۷-۳: فاز سوم ۱۰٦
۷-٤- بررسی اثرات تغییرات سختی خاک بر روی اندرکنش دینامیکی خاک و شمع ۱۰۷
۷-٤-۱: مدل اول ۱۰۸
۷-٤-۲: مدل دوم ۱۱۰
۷-٤-۳: مدل سوم ۱۱۳
۷-٤-٤- تحلیل خروجی مدلهای اول، دوم و سوم ۱۱۵
۷-۵- بررسی اثرات تغییرات فرکانس بارگذاری بر روی اندرکنش دینامیکی خاک و شمع ۱۱۸
۷-۵-۱- مدل چهارم ۱۱۹
۷-۵-۲- مدل پنجم ۱۲۱
۷-۵-۳- مدل ششم ۱۲۳
۷-۵-٤- تحلیل خروجی مدل‌های چهارم، پنجم و ششم ۱۲٦
۷-٦- بررسی اثرات تغییرات $\left(h/d\right)$ شمع بر روی اندرکنش دینامیکی خاک و شمع ۱۲۷
۷-٦-۱ مدل هفتم ۱۲۹
۷-٦-۲ مدل هشتم ۱۳۱
۷-٦-۳ مدل نهم ۱۳۳
۷-٦-٤- تحلیل خروجی مدل‌های هفتم، هشتم و نهم ۱٤۰
فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۳۸
۸-۱ نتایج ۱۳۹
۸-۲- پیشنهادها ۱۳۹
منابع ۱٤۱

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (۳-۱)- الف) موج تخت- ب) موج استوانه‌ای – ج) موج کروی ۱۵

شکل (۳-۲)- ارتعاش آزاد طولی میله ۱۵

شکل (۳-۳)- مقایسه بین امواج پیشرونده و پسرونده ۱۷

شکل (۳-٤)- امواج ایستاده ۱۸

شکل (۳-۵)- انعکاس موج جابجایی و موج تنش در انتهای آزاد ۱۹

شکل (۳-٦) انعکاس موج جابجایی و موج تنش در انتهای ثابت ۲۰

شکل (۳-۷)- وضعیت تنش‌ها در قطعه کوچکی از یک جسم همگن، ایزوتروپ و ارتجاعی نامحدود ۲۱

شکل (۳-۸)- قطعه کوچکی از جسم در دستگاه مختصات استوانه ای ۲۵

شکل (۳-۹)- قطعه کوچکی از جسم در دستگاه مختصات کروی ۳۱

شکل (۳-۱۰)- انتشار موج در یک محیط ارتجاعی نیمه محدود ۳۷

شکل (۳-۱۱)- تغییرات سرعت انتشار امواج بر حسب ضریب پواسون در یک محیط نیمه محدود ارتجاعی ٤٤

شکل (۳-۱۲)- الف) حرکت زمین نزدیک سطح ناشی از امواج طولی ٤۵

ب) حرکت زمین نزدیک سطح ناشی از امواج برشی ٤۵

ج) حرکت زمین نزدیک سطح ناشی از امواج لاو ٤٦

د) حرکت زمین نزدیک سطح ناشی از امواج رایلی ٤٦

شکل (٤-۱)- تغییرات سختی و میرایی نسبی با فرکانس ۵۰

شکل (٤-۲) – روش کلی تحلیل (Seed & Lysmer & Hwang) ۵۲

شکل (٤-۳)- بر هم کنش دینامیکی خاک – سازه در متد زیر سازه ۵۳

شکل (٤-٤)- گامهای بر هم نهی در متد دو گام ۵۵

شکل (٤-٥)– روش زیر سازه – متد مرزی ٥٩
شکل (٤-٦)- فرضیه بر هم نهی (Kausel)..... ٦٢
شکل (٤-٧)- روش زیر سازه – متد حجم انعطاف پذیر..... ٦٤
شکل (٤-٨)- متد مختلط زیر سازه..... ٦٧
شکل (٤-٩)- مقایسه بین روشهای حل ٦٩
شکل (٥-١)- مثال سازه دو بعدی..... ٧٣
شکل (٥-٢)- الگوی کلی..... ٧٨
شکل (٥-٣)- حالت تنش مسطح در ورق نازک..... ٨١
شکل (٥-٤)- درون یابی خطی در المان مثلثی دو بعدی..... ٨٣
شکل (٥-٥)- تابع با پیوستگی $C_{\circ}$..... ٩١
شکل (٦-١)- میله نیمه متناهی روی فنداسیون ارتجاعی ٩٣
شکل (٦-٢)- تعادل یک عنصر بی‌نهایت کوچک..... ٩٣
شکل (٦-٣) ٩٨
شکل (٧-١)- مدل هندسی مسئله با مرزهای جاذب..... ١٠٢
شکل (٧-٢)- بارهای وارد بر مدل ١٠٣
شکل (٧-٣)- هندسه و مش مدل..... ١٠٤
شکل (٧-٤)- تنظیمات فاز اولیه..... ١٠٥
شکل (٧-٥)- تنظیمات فاز ثانویه..... ١٠٦
شکل (٧-٦)- تنظیمات فاز سوم..... ١٠٦
شکل (٧-٧)–مش تغییر شکل یافته مدل اول..... ١٠٨
شکل (٧-٨)- تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع (مدل اول) ١٠٩
شکل (٧-٩)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل اول ١٠٩
شکل (٧-١٠)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل اول..... ١١٠

شکل (۷-۱۱)- مش تغییر شکل یافته مدل دوم ۱۱۱
شکل (۷-۱۲)- تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع (مدل دوم) ۱۱۱
شکل (۷-۱۳)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل دوم ۱۱۲
شکل (۷-۱٤)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل دوم ۱۱۲
شکل (۷-۱۵)- مش تغییر شکل یافته مدل سوم ۱۱۳
شکل (۷- ۱٦)- در سطح مشترک خاک و شمع (مدل سوم) ۱۱٤
شکل (۷-۱۷)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل سوم ۱۱٤
شکل (۷-۱۸)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل سوم ۱۱۵
شکل (۷-۱۹)- نیروی دینامیکی وارد بر مدل چهارم ۱۱۹
شکل (۷-۲۰)- تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع (مدل چهارم) ۱۱۹
شکل (۷-۲۱)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل چهارم ۱۲۰
شکل (۷-۲۲)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل چهارم ۱۲۰
شکل (۷-۲۳)- نیروی دینامیکی وارد بر مدل پنجم ۱۲۱
شکل (۷-۲٤)- تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع (مدل پنجم) ۱۲۲
.شکل (۷-۲۵)- تغییر مکان قائم مشترک خاک و مشع در مدل پنجم ۱۲۲
شکل (۷-۲٦)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل پنجم ۱۲۳
شکل (۷-۲۷)- نیروی دینامیکی وارد بر مدل ششم ۱۲٤
شکل (۷-۲۸)- تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع (مدل ششم) ۱۲٤
شکل (۷-۲۹)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل ششم ۱۲۵
شکل (۷-۳۰)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل ششم ۱۲۵
شکل (۷-۳۱)- مش تغییر شکل یافته مدل هفتم ۱۲۹
شکل (۷-۳۲)- تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع (مدل هفتم) ۱۲۹
شکل (۷-۳۳)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل هفتم ۱۳۰

شکل (۷-۳٤)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل ششم ۱۳۰
شکل (۷-۳۵)- مش تغییر شکل یافته مدل هشتم ۱۳۱
شکل (۷-۳٦)- تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع (مدل هشتم) ۱۳۱
شکل (۷-۳۷)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل هشتم ۱۳۲
شکل (۷-۳۸)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل هشتم ۱۳۲
شکل (۷-۳۹)- مش تغییر شکل یافته مدل نهم ۱۳۳
شکل (۷-٤۰)- تنش برش در سطح مشترک خاک و شمع (مدل نهم) ۱۳۳
شکل (۷-٤۱)- تغییر مکان قائم سطح مشترک خاک و شمع در مدل نهم ۱۳٤
شکل (۷-٤۲)- تغییر مکان قائم نوک شمع در مدل نهم ۱۳٤

فصل اول

مقدمه

۱-۱) پیشگفتار:

آنالیز شمعها تحت بارهای قائم و افقی از موضوعات تحقیقاتی پر سابقه در مهندسی پی است. در گذشته، مطالعه در این زمینه تنها معطوف به آنالیز استاتیکی بوده است و در این راستا، مطالعات تحلیلی و تجربی متنوعی نیز صورت گرفته است. غالب مطالعات تحلیلی مبتنی بر مفهوم تیر بر بستر ارتجاعی یا مدل وینکلر بوده است که در آن وجود خاک دور شمع به کمک فنرهای گسترده مدل می‌شود. برای استفاده عملی از این روش نیاز به مقدار سختی زمین یا مدول عکس العمل زمین است که برای تعیین آن اندازه‌گیریهای محلی در خاکهای مختلف صورت گرفته است. این مطالعات تجربی نشان داده است که مدول عکس العمل زمین نه تنها به عمق بلکه به میزان تغییر مکان خاک بستگی دارد و به عبارت دیگر دارای رابطه غیر خطی با تغییر شکل است.

پیدایش صنعت انرژی هسته‌ای و نیاز به طراحی و ساخت راکتورهای بزرگ و اهمیت بررسی رفتار دقیق آنها تحت نیروهای دینامیکی از یکسو و پیشرفت صنعت استخراج نفت از دریا و لزوم احداث سازه‌های دریایی استوار بر شمعها، که تحت اثر ارتعاشات حاصل از امواج، زلزله، ماشین آلات موجود در روی آنها، از سوی دیگر محققین را متوجه لزوم بررسی رفتار دینامیکی شمعها کرد. این موضوع در محدوده دانش جدیدی بنام اثر متقابل خاک و سازه است. از آنجا که اولین نتایجی که از چنین مطالعاتی بدست آمده بود پدیده‌های جدیدی را در رفتار سازه آشکار می‌کرد. تحقیق در مطالعه جنبه‌های دینامیکی رفتار پی‌های شمعی در سالهای اخیر بشدت گسترش یافت.

پنزین و همکارانش و تاجیمی، از جمله اولین محققینی بوده‌اند که واکنش شمعها را تحت اثر زلزله مورد بررسی قرار داده اند. مطالعات تاجیمی مبتنی بر حل معادلات انتشار موج در یک لایه خاک واقع بر بستر صلب است. با این روش او موفق شد برای تغییر مکان شمع، روابط تحلیلی به فرم بسته بدست آورد. از سوی دیگر، پنزین از یک روش اجزاء محدود برای تحلیل مجموعه سیستم سازه – شمع – خاک استفاده کرد. با این روش پنزین توانست اثرات غیر خطی و هیستریک رفتار خاک را در مدل خود منعکس کند. اگر چه این روش امکان یک آنالیز غیر خطی را فراهم می‌کند مشکلات و عدم قطعیتها در تعیین پارامترهای لازم، کاربرد آنرا برای مقاصد مهندسی محدود می‌کند.

با استفاده از تئوری تیر بر بستر ارتجاعی، نوواک موفق شد سختیهای دینامیکی قائم، افقی و چرخشی، شمعهای منفرد با اتکاء انتهایی را بدست آورد. در مدل بکار رفته توسط نوواک، مدول عکس العمل زمین، یک کمیت مختلط است که جزء حقیقی آن معرف سختی و جزء موهومی آن معرف میرایی تشعشعی یا هندسی است. میرایی هندسی نشان دهنده تشعشع انرژی از طریق امواج ساطع شده در اثر ارتعاش شمع است. مدول مختلط عکس العمل زمین نیز برای ارتعاش یک شمع در محیط بی‌نهایت بدست آمده‌اند، یعنی با این فرض که حرکت خاک در اثر ارتعاش شمع متشکل از امواج استوانه‌ای است که بطور افقی منتشر می‌شوند. با استفاده از همین روش نوواک ماتریس سختی دینامیکی یک جزء از شمع را بدست آورده و با سوار کردن ماتریس سختی هر لایه واکنش دینامیکی یک شمع را در محیطهای لایه‌ای خاک مورد مطالعه قرار داد. لازم به تذکر است که با توجه به ماهیت مدولهای مختلط عکس العمل زمین، این نتایج برای محدوده فرکانسهای کوچک (کوچکتر از فرکانسهای اصلی لایه) مناسب نیستند ولی با افزایش فرکانس، دقت آنها نیز بهبود می‌یابد.

روشهای تحلیلی و تئوریک مبتنی بر مکانیک محیطهای پیوسته نیز توسط محققین متعددی بکار برده شده است که از آن جمله می‌توان به کارهای انجام شده توسط نوگامی و نوواک اشاره کرد. در این مطالعات، نوگامی و نوواک ابتدا با حل معادله موج برای یک لایه ویسکوالاستیک، گامهای انتشار موج را در لایه بدست آورند و سپس با استفاده از آنها، نیروهای وارد بر شمع را در هر گام محاسبه کرده و سرانجام واکنش شمع را در اثر این نیروها تعیین کردند.

به موازات این روشهای تئوریک، روشهای استفاده از مدلهای اجزاء محدود نیز برای مطالعه اثر متقابل شمع و خاک بکار گرفته شده است. در این ارتباط می‌توان به تحقیقات انجام گرفته توسط کوهلمیر، بلینی و همکارانش، کی نیا و کاوسل اشاره کرد. مزیت این روشها بر روشهای کاملاً تحلیلی این است که بوسیله آنها می‌توان رفتار شمعها را در محیطهای غیر همگن نیز مورد مطالعه قرار داد.

۱-۲- مقالات مرتبط

در این بخش به بررسی چندین مقاله که در زمینه اندرکش دینامیکی شمع و خاک تحت ارتعاشات قائم می‌باشند، می‌پردازیم.

-B. Manna and D.K. Baidya, Dynamic Nonlinear Response of pile Foundations Under Vertical Vibration- Theory Versus Experrment (2010).

پ. مانا و د. ک بای دیا (B. Manna & D. K. Badiya) عکس العمل غیر خطی دینامیکی شمع بتنی مسلح در جاریز را تحت ارتعاشات قوی قائم مورد بررسی قرار دادند. برای رسم منحنی عکس العمل غیر خطی سیستم شمع و خاک، سختی و میرایی سیستم در طی آزمایش اندازه‌گیری شد و برای محاسبات از تئوری ارتعاشات غیر خطی استفاده شد. نتایج بدست آمده با نتایج تئوری خطی و تئوری معادل خطی نوواک (Novak) در اندرکنش دینامیکی شمع و خاک مقایسه گردید.

در نتیجه این مطالعه مشاهده شد نتایج حاصل از آزمایش نزدیک به نتایج حاصل از تئوری خطی معادل می‌باشد که در این تئوری خاک اطراف شمع، مناطق مرزی سست در نظر گفته شده است. همچنین از این تحقیق فرموهای تجربی برای تخمین میزان جداشدگی خاک و شمع تحت ارتعاشات قائم ارائه شد.

-Jin-Xing Zha and George Gazetas, Nonlinear Behavior of Single Pile Vibrating (2008)

زهاو گازتاس (Zha & Gazetos) از روشهای عددی برای آنالیز رفتار غیر خطی شمع‌های منفرد تحت بارهای هارمونیک قائم و پیچشی استفاده کردند. از روش اجزای محدود برای محاسبات رفتار غیر طی خاک در محدودهٔ نزدیک شمع و از فرمولهای نیمه تحلیلی برای میرایی ارتعاشات در نواحی دورتر استفاده شد. از مقیاس مقاومت موهر – کلمب برای تقریب زدن میزان درگیری خاک و شمع در سطح مشترک آنها استفاده شد. مقایسه‌ای بین حد سیات، آزمایشات در محل و تئوری المان‌های مرزی با نتایج بدست آمده در این تحقیق انجام شد. در نتیجه این مطالعه مشاهده شد،

سختی شمع در آنالیزهای خطی بسیار دست بـالا در نظـر گرفتـه مـی‌شـود. مقـدار سـختی شـمع در آنالیزهای غیر خطی به واقعیت نزدیک‌تر است.

Min Kyu, Jong She Lee and Moon Kyum Kim, Vertical Vibration Analysis of Soil-Pile Interaction System Considering The Soil-Pile Inter face Behavior (2004)

میکن کیو (Minkyu) و همکاران از روشهای عددی در این تحقیق استفاده کردند. روشـهای استفاده شده براساس روش اجزای محدود و روش المانهای مرزی می‌باشـد. نـواحی نزدیـک بـه شمع به روش اجزای محدود مدل شد و نواحی دورتر به وسیله المانهای مرزی مدل شد. در این تحقیق بیشترین توجه به سطح مشترک خاک و شمع شد. نتایج با تئوری‌ها و آزمایش‌های منتشـر شده مقایسه گردید.

در نتیجه این تحقیق مشاهده شـد، واکـنش دینـامیکی سیسـتم بـه پارامترهـایی ماننـد مـدول الاستیسته شمع و سختی ارتجاعی سطح مشترک خاک و شمع بستگی دارد.

Y. C Han, Dynamic Vertical Response of Pile in Nonlinear Soil (1997)

هان (Han) از راه‌حل تحلیلی «کرنش صفحه‌ای متقارن» بـرای تحلیـل بـرش شـمع‌هـای تحـت ارتعاشات قائم و همچنین عکس العمل دینامیکی قائم شمع در خاک‌هـای غیـر خطـی اسـتفاده کـرد. مقاومت لایه‌های خاک براساس مدل ناحیه‌های مرزی غیر ارتجاعی فرمول بندی شد و هر دو صورت خاک ضعیف و قوی در اطراف شمع در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق با نتایج آزمایشات دینامیکی که بر روی شمع در مقیاس واقعی در کارگاه انجام شده بود مقایسه گردید.

در نتیجه این مطالعه مشاهده شد پیش گویی‌های تئوری درباره عکس العمـل دینـامیکی شـمع بـا نتایج آزماشات در محل (با شدت‌های مختلف ارتعاش) همخوانی دارد.

Yasser A. khodair & Sophiya Hassiotis, Analysis of Pile-Soil Interaction (2002)

خودروها سیتیز (khodair & Hassitis) از روش اجزای می‌رود و مدل بعدی برای مطالعه و تحلیل تنشهای وارد بر شمع و تحلیل اندرکنش خاک و شمع تحت بارهای مختلف استفاده کردند. در این تحقیق در مدل کردن مجموعه شمع و خاک، خاک به صورت یک المان نامحدود با مصالح غیر خطی در نظر گرفته شد.

در نتیجه این مطالعه مشاهده شد که تغییرات درجه حرارت بر روی اندرکنش خاک و شمع موثر است. این مسئله با مدل کردن به روش اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با اطلاعات بدست آمده از طریق آزمایشات مقایسه شد و مشخص شد که مدل اجزای محدود نتایجی مشابه با آزمایشات دارد و نتایج مدل اجزای محدود قابل استفاده و قابل قبول می‌باشد.

۱-۳: اهداف تحقیق (پایان‌نامه)

۱) تحقیق و شناخت اندرکنش دینامیکی خاک – سازه (شمع)

۲) آشنایی با روشهای حل مسئله اندرکنش خاک و سازه

۳) آشنایی با روش اجزاء محدود

٤) بررسی اثرات تغییرات سختی خاک بر روی اندرکنش دینامیکی خاک و شمع

۵) بررسی اثرات تغییر فرکانس بارگذاری بر روی اندرکنش دینامیکی خاک و شمع

٦) بررسی اثرات تغییرات نسبت طول به قطر شمع (h/d) بر روی اندرکنش دینامیکی خاک و شمع

به طور کلی، آنچه در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد، بررسی اندرکنش دینامیکی شمع‌های منفرد و خاک تحت ارتعاشات قائم می‌باشد. در این مطالعه تاثیر عوامل مختلف نظیر تغییرات فرکانس بارگذاری تغییرات سختی خاک و تغییرات نسبت طول شمع به قطر آن بر روی تنش برشی در سطح مشترک خاک و شمع و همچنین تاثیرات آنها بر روی میزان جابجایی قائم در سطح مشترک (میزان آشفتگی) به روش اجزاء محدود (در نرم افزار plaxis) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نتیجه می‌توانیم

شناخت بهتری در مورد اندرکنش دینامیکی شمع‌های منفرد و خاک تحت ارتعاشات قائم بدست آوریم.