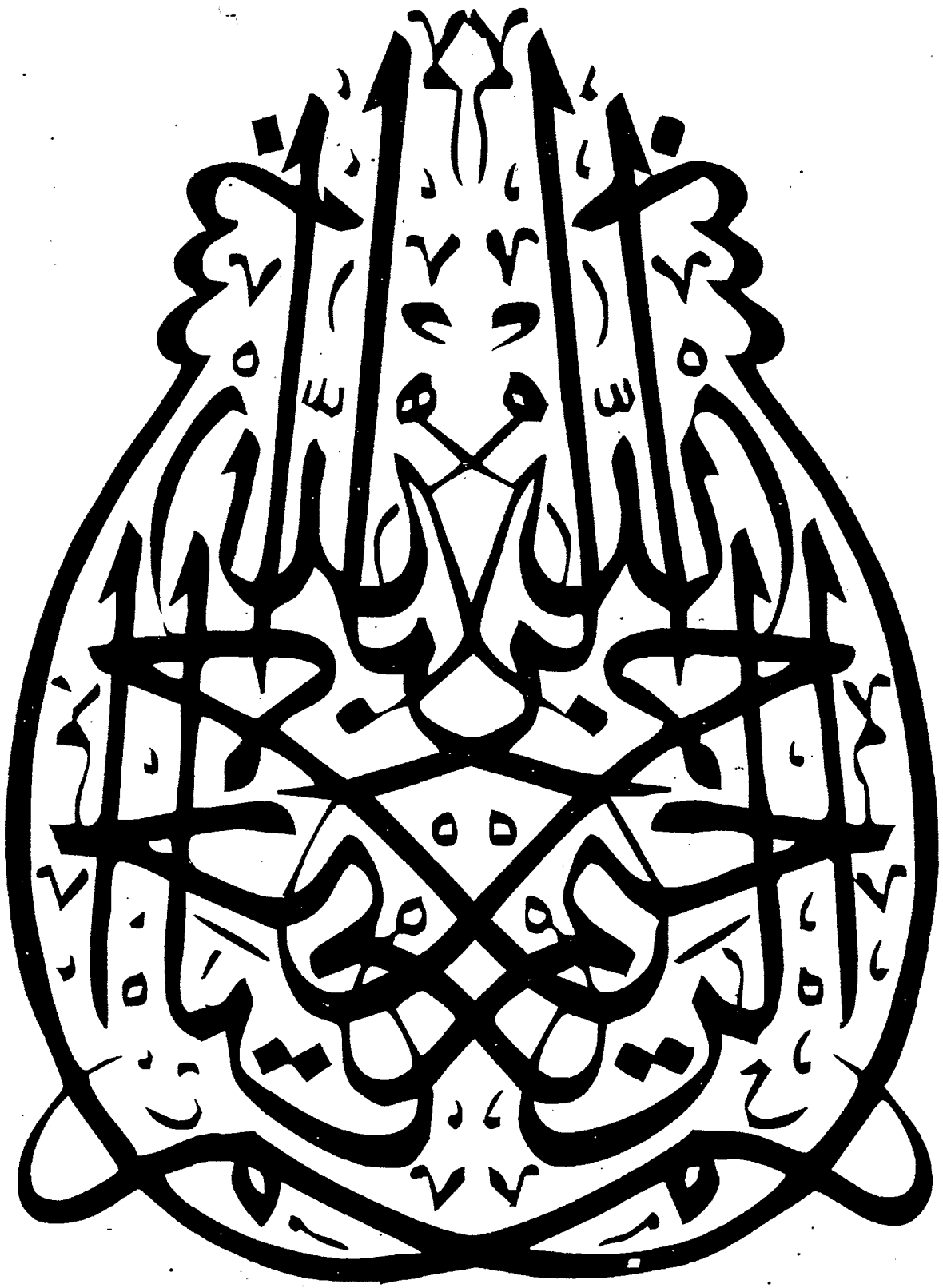

١٢٩٥٨

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی

بررسی رفتار دینامیکی شمع ها تحت اثر بارهای جانبی هارمونیکی

استاد راهنما
دکتر محمود قضاوی
دکتر کاظم برخورداری

پژوهش و نگارش: احمد دهقانپور

اسفندماه ۸۷

۱۳۸۸/۷/۱
مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۱۲۶۹۵۵

تقدیم به پدر و مادرم

به پاس زحماتشان

تشکر و قدردانی

سپاس پروردگاری را که به یاد او هر ناممکنی، ممکن می شود.

بدون تردید برای دستیابی به موفقیت شرایطی لازم می باشد و توکل بر خداوند یکتا زمینه ساز این شرایط می باشد. لازم می دانم از پدر و مادر عزیز و فداکارم و خواهر مهربانم که در تمامی مراحل زندگی همیار من بودند سپاس گزاری نمایم.

لازم می دانم از جناب آقای دکتر محمود قضاوی که در این مدت زحمات زیادی را برای من کشیدند و از ایشان مطالب فراوان آموختم، جناب آقای دکتر کاظم برخورداری که در طی این چند سال حامی و پشتیبان بنده بودند و تمامی دوستان و عزیزانی که همیشه همراه من بودند تشکر و قدردانی کنم.

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای احمد دهقانپور

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی دانشگاه یزد ، دررشته/ گرایش : عمران- خاک و پی

تحت عنوان « ***بررسی رفتار دینامیکی شمعها تحت بارهای جانبی هارمونیکی*** »

وتعداد واحد: ۶ درتاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۴

باحضور اعضای هیات داوران متشکل از :	نام ونام خانوادگی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر محمود قضاوی – دکتر کاظم برخورداری	
۲- استاد مشاور		
۳-داورخارج از گروه	دکتر محمدعلی روشن ضمیر	
۴-داور داخل گروه	دکتر رضا پورحسینی	

تشکیل گردید و پس از ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران ، با درجه عالی و نمره

به عدد ۱۹٫۳ به حروف نوزده و سیصد صدم مورد تصویب قرارگرفت.

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: دکتر مسعود آقابزرگی

امضاء:

چکیده

مطالعاتی که تاکنون بر روی رفتار شمع ها تحت اثر بارهای هارمونیک صورت گرفته، بیشتر مربوط به بارهای هارمونیک قائم می باشد. این در حالی است که بررسی های کمتری بر روی رفتار شمع ها تحت بارهای هارمونیک جانبی شده است. روش های ارائه شده تاکنون اکثرا بر اساس روش های عددی بوده و دارای پیچیدگی های خاص خود می باشد. لذا در این جا به بررسی روشی نوین به نام SSM پرداختیم که از سادگی بیشتری نسبت به حل های دقیق برخوردار است و نتایج آن رضایت بخش می باشد. از مزیت های مهم این روش، قابل استفاده بودن در خاک های ناهمگن است. تاثیرات خاک اطراف شمع بوسیله پارامترهای سختی و میرایی در کل سیستم خاک-شمع ارائه شده و تاثیرات انها در پاسخ شمع مورد ارزیابی قرار می گیرد و این تاثیرات را می توان با داشتن عکس العمل خاک محاسبه نمود. عکس العمل خاک اطراف شمع بوسیله یک سری فنر و کمک فنر طبق تئوری های الاستودینامیک و نیم فضای الاستیک بیان می گردد. در این روش شمع به قطعات استوانه ای تقسیم شده که این قطعات بوسیله یک سری فنر سخت به گره های هر قطعه متصل می گردد و رفتار فنر ها به صورت الاستیک خطی می باشد. همچنین در این پایان نامه پارامتر های مؤثر در تعیین سختی سیستم شمع- خاک از جمله نسبت لاغری در شمع، نسبت جرم مخصوص، نسبت پوآسون خاک، فرکانس تحریک، نسبت سرعت موج و بار استاتیکی قائم مورد بررسی قرار گرفته است.همچنین از آنجا که تحریکات هارمونیکی با دامنه ارتعاش کوچک مد نظر است، خاک وارد محیط پلاستیک نشده، در نتیجه رفتار خاک الاستیک در نظر گرفته می شود. درادامه به بررسی تاثیر هندسه شمع ها در دامنه های پاسخ جانبی و دورانی به کمک روش SSM پرداخته و رفتار شمع های مخروطی در انواع مختلف بررسی شده است. همچنین با افزایش زوایه مخروط شدگی در جداره شمع، دامنه های پاسخ کمتری در شمع تحت بار هارمونیکی جانبی مشاهده میگردد.

عنوان صفحه

فصل اول : کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- موارد قابل توجه در بررسی رفتار دینامیکی شمع ها ۳

۱-۳- اطلاعات لازم در طراحی شمع ها تحت بار دینامیکی ۳

۱-۴- هدف از پایان نامه ۴

۱-۵- محدودیت پایان نامه ۴

۱-۶- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم : تاریخچه ۶

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- مروری بر ادبیات موضوع رفتار شمع ها با سطح مقطع ثابت ۸

۲-۲-۱- نواک ۱۱

۲-۲-۲- نواک و ابوالعلاء ۱۸

فصل سوم : آشنایی با روش SSM در شمع های با سطح مقطع ثابت و صحت کارکرد آنها ۲۴

۳-۱- مقدمه ۲۵

۳-۲- معرفی روش SSM ۲۵

۳-۲-۱- روابط حاکم بر شمع در ارتعاشات جانبی ۲۶

۳-۲-۲- بررسی مدل تحلیلی SSM ۲۹

۳-۳- شرایط تکیه گاهی در انتهای شمع ۳۴

۳-۳-۱- شمع با تکیه گاه مفصلی ۳۴

۳-۳-۲- شمع تحت تکیه گاه های گیر دار و آزاد ۳۵

۳-۴- روش SSM در خاک های لایه ای ۳۶

۳-۵- بررسی صحت روش SSM در خاک های همگن ۳۶

۳-۵-۱- بررسی تأثیرات لاغری شمع در پارامترهای سختی و میرایی ۳۶

۳-۵-۲- بررسی تأثیرات سرعت موج در پارامترهای سختی و میرایی ۴۳

۳-۵-۳- بررسی تأثیرات فرکانس تحریک در پارامترهای سختی و میرایی ۵۱

۳-۶- بررسی صحت روش SSM در خاک های ناهمگن (لایه ای) ۵۵

۳-۷- تأثیر بارهای استاتیکی قائم بر شمع تحت بار هارمونیکی جانبی ۵۷

۳-۷-۱- معادلات حاکم بر شمع تحت بار استاتیکی قائم و جانبی هارمونیک ۵۸

۳-۷-۲- تأثیر بار استاتیکی قائم در مدل تحلیلی SSM ۶۰
۳-۸- خلاصه و نتیجه گیری ۷۰

فصل چهارم : شمع های با سطح مقطع غیر یکنواخت تحت بارهای هارمونیکی جانبی ۷۲

۴-۱- مقدمه ۷۳
۴-۲- تاریخچه ۷۳
۴-۲-۱- ژی و وزیری ۷۳
۴-۲-۲- ساها ۷۴
۴-۲-۳- قضاوی و همکاران ۷۵
۴-۳- مدل تحلیلی SSM در شمع های با سطح مقطع غیر یکنواخت یا مخروطی ۷۸
۴-۳-۱- روابط حاکم بر شمع های با جداره غیر یکنواخت در SSM ۷۹
۴-۴- بررسی مدل تحلیلی SSM و تأثیر غیر یکنواختی سطح مقطع در پاسخ سیستم ۸۵
۴-۴-۱- شمع های با مقاطع کاملا مخروطی ۸۵
۴-۴-۲- شمع های مخروطی شکل در قسمت بالای شمع ۸۹
۴-۴-۳- شمع های مخروطی شکل در قسمت پایین شمع ۹۱
۴-۴-۴- شمع های مخروطی شکل در قسمت بالا و پایین شمع ۹۳
۴-۵- تأثیر شرایط تکیه‌گاهی انتهایی شمع‌ها در دامنهٔ پاسخ ۹۵
۴-۶- مقایسه بین شمع های با سطح مقطع غیر یکنواخت ۹۷
۴-۷- شمع های مخروطی در قسمت بالا و پایین در خاک دو لایه ای ۱۰۰

فصل پنجم : خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۳

۵-۱- مقدمه ۱۰۴
۵-۲- خلاصه و جمع بندی ۱۰۴
۵-۳- نتیجه گیری ۱۰۵
۵-۴- راهکارهای پیشنهادی برای ادامه تحقیقات در بررسی رفتار دینامیکی شمع ها ۱۰۶

منابع و مراجع

فهرست جداول

صفحه

جدول ۳-۱- سیستم شمع- خاک در شکل های الف۳-۴، ب۳-۷ ..... ۳۷

جدول ۳-۲- سیستم شمع – خاک در شکل های الف۳-۹، ب۳-۱۱ ..... ۴۳

جدول ۳-۳- سیستم شمع – خا در شکل های الف۳-۱۵، ب۳-۱۷ ..... ۵۱

جدول ۳-۴- ویژگی های شمع و خاک مورد استفاده در مدل نواک و ابوالعلاء ۵۶

جدول ۳-۵- نتایج حاصل از روش SSM و مدل نواک و ابوالعلاء ۵۷

جدول ۳-۶- نیروهای کمانشی اویلر بر اساس شرایط مرزی مختلف ۶۹

جدول ۴-۱- مقادیر بدون بعد α و β بر حسب نسبت پوآسون ۸۲

جدول ۴-۲- سیستم شمع- خاک مورد استفاده در شمع های غیر یکنواخت ۸۶

جدول ۴-۳- مشخصات شمع شکل ۴-۸ ..... ۸۷

جدول ۴-۴- مشخصات شمع شکل ۴-۱۱ ..... ۸۹

جدول ۴-۵- مشخصات شمع شکل ۴-۱۴ ..... ۹۱

جدول ۴-۶- مشخصات شمع شکل ۴-۱۷ ..... ۹۳

جدول ۴-۷-مصالح سیستم خاک مورد استفاده ۱۰۱

فهرست شکل ها

صفحه

شکل ۲-۱ تغییرات تابع $F_{11}(\lambda)$ با فرکانس بدون بعد a_0 و سرعت موج $\frac{V_s}{V_c}$ ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{L}{r}$ =۴۰ و ν=۰/۴)..... ۱۳

شکل ۲-۲ مقایسه نتایج حاصل از راه‌حلهای دقیق و روش Novak..... ۱۴

شکل ۲-۳-سختی های مورد بررسی در شمع..... ۱۶

شکل ۲-۴-تغیرات لاغری در شمع در برابر پارامترهای سختی و میرایی بی بعد..... ۱۶

شکل ۲-۵-پارامترهای سختی و میرایی بی بعد در دو نوع شرایط تکیه گاهی..... ۱۷

شکل ۲-۶-قطعه بندی شمع و نیروهای وارده بر شمع..... ۲۰

شکل ۲-۷- نتایج روش اجزا محدود کاهلمیر و روش نواک..... ۲۲

شکل ۳-۱-نیروهای وارد بر المان..... ۲۶

شکل ۳-۲- تغیرات توابع Su در برابر فرکانس بی بعد a_0..... ۲۸

شکل۳-۳-قطعه بندی شمع در روش SSM ۳۱

شکل الف-۳-۴-مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای سختی بدون بُعد $f_{11,1}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، $\frac{L}{r}$ در شمع بتنی با تکیه گاه مفصلی ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و ν = ۰/۴)..... ۳۸

شکل ب-۳-۴- مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای میرایی بدون بُعد $f_{11,2}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، $\frac{L}{r}$ در شمع بتنی با تکیه گاه مفصلی ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و ν = ۰/۴)..... ۳۸

شکل الف-۳-۵- مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای سختی بدون بُعد $f_{۷,۱}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، $\frac{L}{r}$ در شمع بتنی با تکیه گاه مفصلی ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و ν = ۰/۴)..... ۳۹

شکل ب-۳-۵- مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای سختی بدون بُعد $f_{۷,۲}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، $\frac{L}{r}$ در شمع بتنی با تکیه گاه مفصلی ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و ν = ۰/۴)..... ۳۹

شکل الف-۳-۶- مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای سختی بدون بُعد $f_{۹,۱}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، $\frac{L}{r}$ در شمع بتنی با تکیه گاه مفصلی ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و ν = ۰/۴)..... ۴۰

شکل ب-۳-۶- مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای سختی بدون بُعد $f_{۹,۲}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، $\frac{L}{r}$ در شمع بتنی با تکیه گاه مفصلی ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و ν = ۰/۴)..... ۴۰

شکل الف- ۳-۷- مقایسهٔ بین رفتار تکیه گاه مفصلی و گیردار در پارامترهای بدون بُعد سختی به ازای تغییرات لاغری در شمع بتنی در روش SSM و Novak ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴)..... ۴۲

شکل ب- ۳-۷- مقایسهٔ بین رفتار تکیه گاه مفصلی و گیردار در پارامترهای بدون بُعد میرایی به ازای تغییرات لاغری در شمع بتنی در روش SSM و Novak ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۳ و a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴)..... ۴۲

شکل الف -۳-۸ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامتر سختی بدون بُعد $f_{۱۱}$ و ۱ در مقابل نسبت سرعت موج در شمع با تکیه‌گاه مفصلی..... ۴۴

شکل ب -۳- ۸ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامتر میرایی بدون بُعد ۲، f_{11} در مقابل نسبت سرعت موج در شمع با تکیه‌گاه مفصلی.....۴۵

شکل الف -۳-۹ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامتر سختی بدون بُعد ۱، f_{7} در مقابل نسبت سرعت موج در شمع با تکیه‌گاه مفصلی.....۴۵

شکل ب -۳-۹ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامتر میرایی بدون بُعد ۲، f_{7} در مقابل نسبت سرعت موج در شمع با تکیه‌گاه مفصلی.....۴۶

شکل الف -۳-۱۰ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامتر سختی بدون بُعد ۱، f_{9} در مقابل نسبت سرعت موج در شمع با تکیه‌گاه مفصلی.....۴۶

شکل ب-۳-۱۰ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامتر میرایی بدون بُعد ۲، f_{9} در مقابل نسبت سرعت موج در شمع با تکیه‌گاه مفصلی.....۴۷

شکل الف-۳-۱۱ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامترهای سختی بدون بُعد ۱، f_{11} در مقابل نسبت لاغری شمع،
($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و ν = ۰/۴).....۴۸

شکل ب-۳-۱۱ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامترهای سختی بدون بُعد ۲، f_{11} در مقابل نسبت لاغری شمع،
($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و ν = ۰/۴).....۴۸

شکل الف-۳-۱۲ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامترهای سختی بدون بُعد ۱، f_{7} در مقابل نسبت لاغری شمع،
($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و ν = ۰/۴).....۴۹

شکل ب-۳-۱۲ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات
پارامترهای سختی بدون بُعد ۲، f_{7} در مقابل نسبت لاغری شمع،
($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و ν = ۰/۴).....۴۹

شکل الف-۳-۱۳ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای سختی بدون بُعد $f_{۹,۱}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و ν = ۰/۴)..... ۵۰

شکل ب-۳-۱۳ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات پارامترهای سختی بدون بُعد $f_{۹,۲}$ در مقابل نسبت لاغری شمع، ($\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و a_0=۰/۳ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و ν = ۰/۴)..... ۵۰

شکل الف -۳-۱۴ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات فرکانس بی بُعد در مقابل پارامتر سختی بدون بُعد ۱ و $f_{۱۱}$ در شمع با تکیه‌گاه مفصلی..... ۵۲

شکل ب -۳-۱۴ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات فرکانس بی بُعد در مقابل پارامتر سختی بدون بُعد ۲ و $f_{۱۱}$ در شمع با تکیه گاه مفصلی..... ۵۲

شکل الف -۳-۱۵ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات فرکانس بی بُعد در مقابل پارامتر سختی بدون بُعد ۱ و $f_{۷}$ در شمع با تکیه گاه مفصلی..... ۵۳

شکل ب -۳-۱۵ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات برای فرکانس بی بُعد در مقابل پارامتر سختی بدون بُعد ۲ و $f_{۷}$ در شمع با تکیه گاه مفصلی..... ۵۳

شکل الف -۳-۱۶ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات فرکانس بی بُعد در مقابل پارامتر سختی بدون بُعد ۱ و $f_{۹}$ در شمع با تکیه گاه مفصلی..... ۵۴

شکل ب -۳-۱۶ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای تغییرات فرکانس بی بُعد در مقابل پارامتر سختی بدون بُعد ۲ و $f_{۹}$ در شمع با تکیه گاه مفصلی..... ۵۵

شکل الف-۳-۱۷-شمع تحت بار هارمونیکی جانبی و استایکی قائم..... ۵۸

شکل ب-۳-۱۷-المان تغییر شکل یافته تحت بار استاتیکی قائم.....۵۹

شکل الف -۳- ۱۸ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak
برای تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد سختی $f_{۱،۱}$ در شمع بتنی با
انتهای مفصلی. (a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰).....۶۴

شکل ب -۳- ۱۸ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak
برای تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد میرایی $f_{۱،۲}$ در شمع بتنی با
انتهای مفصلی (a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰).....۶۴

شکل الف -۳-۱۹ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak
برای تغییراتبار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد سختی $f_{۷،۱}$ درشمع بتنی با
انتهای مفصلی(a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰).....۶۵

شکل ب-۳- ۱۹ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak
برای تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد میرایی $f_{۷،۲}$ در شمع بتنی با
انتهای مفصلی (a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰).....۶۵

شکل الف -۳- ۲۰ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای
تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد سختی $f_{۹،۱}$ در شمع بتنی با
انتهای مفصلی (a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰).....۶۶

شکل ب -۳- ۲۰ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای
تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد میرایی $f_{۹،۲}$ در شمع بتنی با
انتهای مفصلی. (a_0=۰/۳ و ν = ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$ =۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$ =۰/۰۱ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰).....۶۶

شکل الف -۳- ۲۱ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای
تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد سختی و میرایی f_{11} در شمع بتنی با
انتهای مفصلی. (a_0=۰/۳ و ν= ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$=۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$=۰/۰۳ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰)..... ۶۷

شکل ب -۳- ۲۱ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای
تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد سختی و میرایی f_{7} در شمع بتنی با
انتهای مفصلی. (a_0=۰/۳ و ν= ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$=۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$=۰/۰۳ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰)..... ۶۸

شکل ج -۳- ۲۱ مقایسه نتایج حاصل از SSM و روش Novak برای
تغییرات بار استاتیکی در برابر پارامتر بدون بُعد سختی و میرایی f_{9} در شمع بتنی با
انتهای مفصلی. (a_0=۰/۳ و ν= ۰/۴ و $\frac{\rho}{\rho_p}$=۰/۷ و $\frac{V_s}{V_c}$=۰/۰۳ و $\frac{L}{r_\circ}$ = ۳۰)..... ۶۸

شکل ۱-۴-شمع مخروطی تحت بار هارمونیک قائم و مدل پله ای جایگزین..... ۷۶

۲-۴-مدل عکس العمل خاک در قطعات شمع تحت ارتعاش..... ۷۶

الف-۳-۴-تغییرات دامنع بی بعد قائم در برابر فرکانس تحریک در شمع اصطکاکی..... ۷۷

ب-۳-۴-تغییرات دامنع بی بعد قائم در برابر فرکانس تحریک در شمع اتکایی..... ۷۷

شکل ۴-۴-نمونه ای از شمع های با مقاطع غیر ثابت..... ۷۹

شکل ۴-۵-تعادل بین دو قطعه از شمع پله ای جایگزین شده با شمع مخروطی..... ۸۰

شکل ۴-۶-دیسک بدون جرم تحت نیروی هارمونیکی جانبی..... ۸۱

شکل ۴-۷-دیسک بدون جرم تحت نیروی هارمونیکی دورانی..... ۸۳

شکل ۴-۸ – شمع با انتهای مفصلی مخروطی شکل در
حالت واقعی و شبیه سازی شده ۸۷

شکل ۴-۹ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ جانبی A(x) در
شمع شکل ۴-۸ با $\frac{L}{r_{er}}$=۴۸..... ۸۸

شکل ۴-۱۰ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ دورانی $A(\theta)$در
شمع شکل ۴-۸ با $\frac{L}{r_{er}}$=۴۸.....۸۸

شکل ۴-۱۱ شمع با انتهای مفصلی مخروطی شکل در قسمت بالایی در
حالت واقعی و شبیه سازی شده.....۸۹

شکل ۴-۱۲ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ جانبی A(x) در
شمع شکل ۴-۱۱ با $\frac{L}{r_{er}}$=۴۸.....۹۰

شکل ۴-۱۳ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ دورانی$A(\theta)$ در
شمع شکل ۴-۱۱ با $\frac{L}{r_{er}}$=۴۸.....۹۰

شکل ۴-۱۴ شمع با انتهای مفصلی مخروطی شکل در قسمت پایین در
حالت واقعی و شبیه سازی شده.....۹۱

شکل ۴-۱۵ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ جانبی A(x) در
شمع شکل ۴-۱۴ با $\frac{L}{r_{er}}$=۴۸.....۹۲

شکل ۴-۱۶ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ دورانی$A(\theta)$ در
شمع شکل ۴-۱۴ با $\frac{L}{r_{er}}$=۴۸.....۹۲

شکل ۴-۱۷ شمع با انتهای مفصلی مخروطی شکل در قسمت بالا
و پایین درحالت واقعی و شبیه‌سازی شده.....۹۳

شکل ۴-۱۸ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ جانبی A(x) در
شمع شکل ۴-۱۷ با $\frac{L}{r_{er}}$=۴۸.....۹۴

شکل ۴-۱۹ تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ دورانی $A(\theta)$ در شمع شکل ۴-۱۷ با ۴۸= $\frac{L}{r_{er}}$ ۹۴

شکل ۴-۲۰ تغییرات دامنهٔ پاسخ بدون بُعد جانبی با فرکانس تحریک درشرایط تکیه گاهی انتهایی شمع برای شمع کاملاً مخروطی با زاویهٔ مایل شدگی D= ۰/۵ درجه..... ۹۵

شکل ۴-۲۱ تغییرات دامنهٔ پاسخ بدون بُعد جانبی با فرکانس تحریک در شرایط تکیه گاهی انتهایی شمع برای شمع کاملاً مخروطی با زاویهٔ مایل شدگی D= ۱/۵ درجه..... ۹۶

شکل ۴-۲۲ تغییرات دامنهٔ پاسخ بدون بُعد دورانی با فرکانس تحریک در شرایط تکیه گاهی انتهایی شمع برای شمع کاملاً مخروطی با زاویهٔ مایل شدگی D= ۰/۵ درجه..... ۹۶

شکل ۴-۲۳ تغییرات دامنهٔ پاسخ بدون بُعد دورانی با فرکانس تحریک در شرایط تکیه گاهی انتهایی شمع برای شمع کاملاً مخروطی با زاویهٔ مایل شدگی D= ۱/۵ درجه..... ۹۷

شکل ۴-۲۴ مقایسه تغییرات دامنه پاسخ بی بعد جانبی A(x) در برابر فرکانس تحریک در شمع‌های با سطوح غیر یکنواخت ($^{\circ}$ D= ۰/۵)..... ۹۸

شکل ۴-۲۵ مقایسه تغییرات دامنه پاسخ بی بعد دورانی $A(\theta)$ در برابر فرکانس تحریک در شمع‌های با سطوح غیر یکنواخت ($^{\circ}$ D= ۰/۵)..... ۹۹

شکل ۴-۲۷ مقایسه تغییرات دامنه پاسخ بی بعد دورانی $A(\theta)$ در برابر فرکانس تحریک در شمع‌های با سطوح غیر یکنواخت ($^{\circ}$ D= ۱/۵)..... ۹۹

شکل ۴-۲۶ مقایسه تغییرات دامنه پاسخ بی بعد جانبی A(x) در برابر فرکانس تحریک در شمع‌های با سطوح غیر یکنواخت ($^{\circ}$ D= ۱/۵)..... ۱۰۰

شکل ۴-۲۸-شمع های مخروطی در خاک دو لایه..... ۱۰۱

شکل ۴-۲۹- تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ جانبی A(x) در
شمع با ۱۷ با ۴۸= $\frac{L}{r_{er}}$، (لایه بالایی سست).....۱۰۲

شکل ۴-۳۰- تغییرات فرکانس در برابر دامنهٔ پاسخ جانبی A(x) در
شمع با ۱۷ با ۴۸= $\frac{L}{r_{er}}$، (لایه پایینی سست).....۱۰۲

فصل اول کلیات

۱-۱- مقدمه

استفاده از شمع در خاک‌های ضعیف و یا سازهای بلند مرتبه که تحت ارتعاشات دینـامیکی می‌باشد بسیار معمول است. بررسی رفتار خاک‌ها در مجاورت شمع تحت ارتعاشات ازمسائل بـسیار پیچیده در علوم مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد و علت اصلی این پیچیدگی اندرکنش میـان شـمع و خاک است.

بررسی رفتار دینامیکی شمع‌ها تحت ارتعاشات بسته به نوع ارتعاش وارده دارای تنوع بـسیار زیادی بوده و در سالهای اخیر مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. ارتعاشات ایجاد شـده در شمع‌ها می‌تواند به طرق مختلف بر شمع اعمال گردد که مـی‌تـوان بـه ارتعاشـات قـائم، افقـی، گهواره‌ای یا دورانی و پیچشی و ترکیبات مختلف این ارتعاشات اشـاره نمـود. ادبیـات موضـوع بـه بررسی رفتار شمع‌ها تحت ارتعاشات قائم توجه بیشتری شده و به سایر بارگذاری هـا کمتـر توجـه شده است.

در این پژوهش رفتار دینامیکی شمع‌ها تحت ارتعاشات جانبی کـه دارای کـاربرد فـراوان در علوم مهندسی زلزله و دینامیک خاک می‌باشد، مورد بررسی قـرار مـی گیـرد. از جملـه ارتعاشـات جانبی ایجاد شده در شمع، می‌توان به نیروی باد، زلزله، ماشین آلات دورانی که ایجـاد نیـروهـای تناوبی یا رفت و برگشتی می‌نمایند، اشاره کرد.