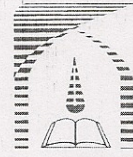


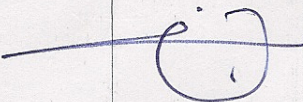
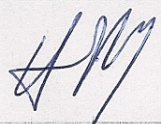
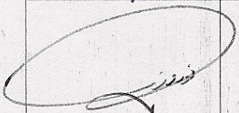

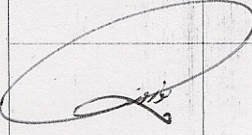
اللهم صل على محمد
والعائلة الطيبة



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای سعید یوسفی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی اندرکنش شمع - خاک تحت بار زلزله در ساختمان های بلند در تاریخ ۱۳۹۰/۶/۲۱ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد خاک و پی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر علی کمک پناه	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر علی اکبر گلشنی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد نوروز علیایی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد مهدی احمدی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد نوروز علیایی	استادیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

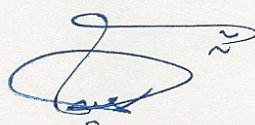
ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی

سعید یوسفی

امضاء



۱۳۹۰، ۱۲، ۱۲

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته عمران / خاک و پی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر علی کمک پناه، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر

علی اکبر گلشنی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس تادیه کند.

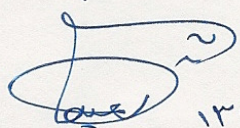
ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سعید یوسفی مقطع کارشناسی ارشد دانشجوی رشته عمران / خاک و پی

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سعید یوسفی

تاریخ و امضا:



۱۲، ۱۲، ۱۳۹۰



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران-خاک و پی

بررسی اندرکنش شمع-خاک تحت بار زلزله در ساختمان های بلند

استاد راهنما:

دکتر علی کمک پناه

استاد مشاور:

دکتر علی اکبر گلشنی

دانشجو:

سعید یوسفی

شهریور ۱۳۹۰

تقدیم

به پدر استوار، مادر مهربان و

همسر فداکارم.

تشر و قدردانی

اکنون که به خواستِ خداوند موفق به اتمام این پایان نامه گردیدم، وظیفهٔ خویش می دانم که از زحمات استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر علی کمک پناه که در طول انجام این پایان نامه همواره راهنمایم بودند، قدردانی نمایم. همچنین از استاد محترم آقای دکتر علی اکبر گلشنی که عهده‌دار مشاوره این تحقیق بودند، کمال سپاسگزاری را دارم.

از دیگر اساتید محترم گروه خاک و پی، آقایان دکتر سید شهاب الدین یثربی، دکتر محمود یزدانی و دکتر محمد نوروز علیائی که در محضرشان کسب علم نمودم، سپاسگزارم.

همچنین از همهٔ پرسنل دانشگاه تربیت مدرس که برای ایجاد یک شرایط مناسب آموزشی برای دانشجویان این دانشگاه در تلاش هستند، قدردانی می‌کنم.

سعید یوسفی

تابستان ۱۳۹۰

چکیده

عملکرد سازه‌های متکی بر شمع، هنگام زلزله‌های ویرانگر اخیر نیاز به افزایش تحقیق‌ها به منظور تجدیدنظر در آئین‌نامه‌های طراحی و مقررات ساختمان برای جلوگیری از زیان‌های فاجعه‌آمیز انسانی و اقتصادی احتمالی در آینده را تقویت کرده است. همچنین خسارات وارد شده به فونداسیون‌های شمعی هنگام این زلزله‌ها، بر اهمیت درک SSPSI (اندرکنش روسازه-شمع-خاک)، تأکید کرده است.

می‌توان SSPSI را به چهار وجه اساسی تقسیم‌بندی کرد: اندرکنش اینرسیال، اندرکنش سینماتیکی، اندرکنش فیزیکی و میرایی تابشی. این وجوه که تحلیل SSPSI را پیچیده می‌کند، در روش‌های متداول تحلیل و طراحی فونداسیون‌های شمعی و سازه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود؛ در حالی که بسته به پیکربندی گروه شمع، پروفیل خاک و فرکانس طبیعی روسازه، پاسخ سیستم ممکن است نسبت به شرایط واقعی دست‌کم یا دست‌بالا برآورد شده و در نتیجه معیار طراحی را به طور اساسی تغییر دهد.

در تحقیق حاضر، پاسخ فونداسیون شمعی و روسازه یک ساختمان بلند مرتبه تحت بار لرزه‌ای و اثرات سینماتیکی و اینرسیال آن، بوسیله برنامه‌المان محدود سه بعدی ABAQUS بررسی شده است. اهداف این تحقیق عبارت‌اند از: (الف) ایجاد یک مدل المان محدود از روسازه یک ساختمان بلند مرتبه دوازده طبقه با فونداسیون شمعی آن و خاک پیرامونی شمع‌ها که به درستی اندرکنش‌های سینماتیکی و اینرسیال یک سیستم کاملاً یکپارچه را مدل کرده و رفتار غیر خطی خاک و روسازه، جداشدگی بین شمع و خاک، اتلاف انرژی و انتشار امواج را لحاظ کرده باشد؛ (ب) انجام یک تحلیل کاملاً یکپارچه روی مدل ایجاد شده برای ارزیابی اثر اینرسیال روی پاسخ سرشمع‌ها و اثر سینماتیکی روی پاسخ روسازه با اعمال حرکت زمین به مدل؛ و (ج) ارزیابی اثرات ضخامت کلاهدک گروه شمع بر پاسخ سرشمع و روسازه.

حرکت زلزله به شکل تاریخچه زمانی شتاب بر سنگ بستر مفروض بر پایه شبکه‌المان محدود اعمال شد. برای ارزیابی اثرات اندرکنش سینماتیکی، پاسخ میدان آزاد خاک و پاسخ سرشمع‌ها حاصل از تحلیل سیستم گروه شمع-خاک با هم مقایسه شد. برای ارزیابی اثرات اندرکنش اینرسیال، پاسخ روسازه که از دو تحلیل کاملاً یکپارچه و تحلیل روسازه با اعمال پاسخ حاصل از تحلیل سیستم گروه شمع-خاک به عنوان تحریک پایه روسازه، به دست آمدند با هم مقایسه گردید. همچنین برای ارزیابی اثرات ضخامت کلاهدک گروه شمع، پاسخ سرشمع و روسازه با استفاده از تحلیل کاملاً یکپارچه در سه ضخامت مختلف، با هم مقایسه شد.

ملاحظه شد که اندرکنش سینماتیکی در خاک‌های همگن و خاک لایه‌ای که لایه نرم روی لایه سخت قرار گرفته باشد اثر زیادی ندارد، حال آن‌که در خاک لایه‌ای که لایه سخت روی لایه نرم قرار گرفته باشد اثر افزایشی قابل توجهی دارد. اندرکنش اینرسیال اغلب اثر پاسخ روسازه را در خاک همگن و لایه‌ای که لایه نرم روی لایه سخت قرار گیرد، بر حسب جابجایی نسبی، نیروی برشی، ممان خمشی و دامنه فوریه کاهش داده در حالی که در حدود پنجاه درصد موارد، اثر فوق را در خاک لایه‌ای که لایه سخت روی لایه نرم قرار گیرد، بر حسب پارامترهای مذکور افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش ضخامت کلاهدک گروه شمع، اثرات پاسخ سرشمع و روسازه افزایش می‌یابد.

کلید واژه: فونداسیون شمعی، اندرکنش روسازه-شمع-خاک، اندرکنش اینرسیال، اندرکنش سینماتیکی، ساختمان بلندمرتبه، المان محدود، تحلیل کاملاً یکپارچه.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
iv	فهرست جدول‌ها.....
v	فهرست شکل‌ها.....
۱	فصل ۱- مقدمه.....
۱-۱	۱-۱- پیشگفتار.....
۲	۲-۱- زمینه تحقیق.....
۲-۱-۱	۱-۲-۱- شمع‌ها تحت بار جانبی.....
۲-۲-۱	۲-۲-۱- اندرکنش شمع-خاک-سازه.....
۳-۱	۳-۱- لزوم انجام تحقیق.....
۳-۱-۱	۱-۳-۱- حالت‌های کلی پتانسیل خرابی در شمع‌ها.....
۳-۱-۲	۲-۳-۱- تمایز تحقیق حاضر با تحقیقات گذشته.....
۴-۱	۴-۱- سؤالات و فرضیات تحقیق.....
۴-۱-۱	۱-۴-۱- ساختمان‌های بلند مرتبه.....
۵-۱	۵-۱- ساختار پایان‌نامه.....
۱۱	فصل ۲- اندرکنش شمع-خاک-سازه.....
۱-۲	۱-۲- مقدمه.....
۲-۲	۲-۲- رفتار شمع تحت بار جانبی.....
۲-۲-۱	۱-۲-۲- تحلیل عکس‌العمل بستر (تیر روی پی وینکلر).....
۲-۲-۲	۱-۱-۲-۲- تحلیل خطی.....
۲-۲-۲	۲-۱-۲-۲- تحلیل غیر خطی (استفاده از منحنی $p-y$).....
۲-۲-۲	۲-۲-۲- محیط پیوسته ارتجاعی.....
۳-۲-۲	۳-۲-۲- روش المان محدود.....
۳-۲	۳-۲- مؤلفه‌های مختلف اندرکنش شمع-خاک-سازه.....
۳-۲-۱	۱-۳-۲- اندرکنش سینماتیکی یا جنبشی.....
۳-۲-۲	۲-۳-۲- اندرکنش اینرسیال.....
۳-۲-۳	۳-۳-۲- اندرکنش فیزیکی.....
۳-۲-۴	۴-۳-۲- میرایی تابشی.....
۴-۲	۴-۲- سطوح تحلیل اندرکنش شمع-خاک-سازه.....
۴-۲-۱	۱-۴-۲- تحلیل پاسخ سینماتیکی لرزه‌ای شمع منفرد.....
۴-۲-۲	۲-۴-۲- جایگزین کردن فونداسیون با توابع امپدانس.....
۴-۲-۳	۳-۴-۲- روش زیرسازه‌ها.....
۴-۲-۴	۴-۴-۲- تحلیل کاملاً یکپارچه.....

۲۴	۵-۲	روش‌های تحلیلی اندرکنش شمع-خاک-سازه.....
۲۵	۱-۵-۲	تحلیل عکس‌العمل بستر (تیر روی پی وینکلر).....
۲۸	۲-۵-۲	محیط پیوسته ارتجاعی.....
۳۰	۳-۵-۲	روش المان محدود.....

فصل ۳- روش المان محدود (سه بعدی) در تحلیل SSPSI..... ۳۴

۳۴	۱-۳	مقدمه.....
۳۴	۲-۳	شبکه المان محدود و المان‌بندی.....
۳۶	۳-۳	شرایط مرزی.....
۳۷	۱-۳-۳	المان کلوین.....
۳۹	۲-۳-۳	المان‌های نامتناهی.....
۴۰	۳-۳-۳	مرزهای میدان آزاد.....
۴۲	۴-۳	مدل‌های رفتاری خاک.....
۴۴	۱-۴-۳	مدل الاستوپلاستیک با معیار تسلیم دراکر-پراگر.....
۴۴	۱-۱-۴-۳	رفتار الاستیک.....
۴۶	۲-۱-۴-۳	رفتار پلاستیک.....
۵۱	۵-۳	مدل‌های رفتاری بتن.....
۵۳	۶-۳	مدل‌های رفتاری فولاد.....
۵۵	۷-۳	میرایی.....
۵۸	۸-۳	فصل مشترک بین خاک و سازه.....

فصل ۴- تشریح و صحت‌سنجی مدل..... ۶۱

۶۱	۱-۴	مقدمه.....
۶۲	۲-۴	مدل‌سازی روسازه.....
۶۵	۳-۴	مدل‌سازی فونداسیون و شمع‌ها.....
۶۶	۴-۴	مدل‌سازی لایه‌خاکی و فصول مشترک.....
۷۰	۵-۴	بار گذاری زلزله.....
۷۲	۶-۴	ارزیابی صحت مدل.....

فصل ۵- تحلیل عددی اثر متقابل روسازه و اندرکنش شمع-خاک..... ۷۸

۷۸	۱-۵	مقدمه.....
۷۹	۲-۵	تأثیر نوع خاک بر تحلیل اندرکنش شمع-خاک-سازه.....
۸۲	۱-۲-۵	تأثیر نوع خاک بر رفتار روسازه.....
۸۹	۲-۲-۵	تأثیر نوع خاک بر رفتار شمع-خاک.....
۹۴	۳-۲-۵	تأثیر ضخامت لایه‌های سخت و نرم در خاک‌های لایه‌ای.....
۹۶	۳-۵	اثر اندرکنش سینماتیکی بر پاسخ در تراز سطح زمین.....
۹۶	۱-۳-۵	تأثیر اندرکنش سینماتیکی بر تاریخچه و ماکزیمم شتاب در تراز سطح زمین.....

۱۰۲.....	۵-۳-۲- اثر اندرکنش سینماتیکی بر پاسخ در تراز سطح زمین (با مقایسه طیف فوریه)
۱۰۸.....	۵-۴- اثر اندرکنش اینرسیال بر رفتار روسازه
۱۰۸.....	۵-۴-۱- اثر اندرکنش اینرسیال بر تحریک روسازه (با مقایسه طیف فوریه)
۱۱۵.....	۵-۴-۲- تأثیر اندرکنش اینرسیال بر عکس‌العمل روسازه (برش، خمش و جابجایی)
۱۱۹.....	۵-۵- تأثیر ضخامت کلاهک گروه شمع بر سیستم شمع-خاک-سازه
۱۱۹.....	۵-۵-۱- تأثیر ضخامت کلاهک گروه شمع بر پاسخ روسازه
۱۲۱.....	۵-۵-۲- تأثیر ضخامت کلاهک گروه شمع بر رفتار شمع-خاک
۱۲۲.....	۵-۶- تأثیر جرم کلاهک گروه شمع بر سیستم شمع-خاک-سازه
۱۲۴.....	۵-۷- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات گذشته و آیین‌نامه‌ها
۱۲۶.....	۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای گسترش تحقیق
۱۲۶.....	۶-۱- مقدمه
۱۲۷.....	۶-۲- نتیجه‌گیری
۱۲۸.....	۶-۳- پیشنهادات برای گسترش تحقیق
۱۳۰.....	فهرست مراجع

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: نیروهای جانبی مجاز پیشنهاد شده برای شمع های قائم، kg/cm^2 مک نولتی (۱۹۵۶) [۲].	۳۰
جدول ۱-۳: مقادیر پیشنهادی نسبت‌های میرایی اجزاء سازه‌ای [۳۴].	۵۷
جدول ۲-۳: میرایی داخلی خاک‌ها [۳۵].	۵۸
جدول ۳-۳: ضریب اصطکاک قالب‌های بتنی روی خاک [۳۷].	۵۹
جدول ۴-۳: مقادیر زاویه اصطکاک بین شمع و خاک برای شرایط مختلف فصل مشترک [۴۲].	۶۰
جدول ۱-۴: ابعاد مقاطع جعبه‌ای ستون‌های سازه فولادی.	۶۴
جدول ۲-۴: ابعاد مقاطع I شکل تیرهای سازه فولادی.	۶۴
جدول ۳-۴: مشخصات فولاد ساختمانی St 37 به کار برده شده در سازه مدل با رفتار الاستوپلاستیک.	۶۴
جدول ۴-۴: مشخصات بتن مسلح به کار برده شده در فونداسیون و شمع‌های مدل با رفتار الاستیک.	۶۶
جدول ۵-۴: مشخصات لایه‌های خاکی شبیه‌سازی شده در تحقیق حاضر.	۶۸
جدول ۱-۵: ماکزیمم برش (N) و ممان پایه (N.m) در جهت X در ستون‌ها ناشی از زلزله ویتیرناروز واقع بر ماسه متراکم.	۷۹
جدول ۲-۵: لنگر ماکزیمم شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر (N.m) [۴].	۹۵
جدول ۳-۵: نیروی ماکزیمم شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر (N) [۴].	۹۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: تاثیر اندرکنش خاک-سازه روی ضریب لرزه‌ای در برش پی (Fenves and Serino, 1992) ... ۲	۲
شکل ۲-۱: حالت‌های خرابی فونداسیون گروه شمع تحت نیروی زلزله [۶]..... ۷	۷
شکل ۱-۲: منحنی p-y شمع‌های تحت بار جانبی [۲]..... ۱۴	۱۴
شکل ۲-۲: شکل شماتیک حالت‌های مختلف پاسخ لرزه‌ای شمع منفرد [۱۰]..... ۱۵	۱۵
شکل ۳-۲: Gap در سطح زمین به خاطر بار جانبی [۱۵]..... ۱۸	۱۸
شکل ۴-۲: ماتریس سختی شمع انعطاف پذیر (Kriger and Wright, 1980)..... ۱۹	۱۹
شکل ۵-۲: نحوه انتخاب مقدار سختی سکانتی در جابجایی تراز طراحی، با استفاده از منحنی نیرو-تغییرمکان شمع-خاک با رفتار غیر خطی (Kriger and Wright, 1980)..... ۲۰	۲۰
شکل ۶-۲: نمودارهای تغییرمکان-بار مربوط به خاک-شمع برای مدهای مختلف بارگذاری..... ۲۱	۲۱
شکل ۷-۲: مفهوم زیرسازه‌ها که عبارت از سه جزء است: تعریف مساله - تفکیک مساله به دو حالت اینرسیال و سینماتیک-تحلیل دو مرحله ای اندر کنش اینرسیال (Gazetas , Dobry , 1984) [۱۸]..... ۲۲	۲۲
شکل ۸-۲: شمایی از الگوی حل افزایش وابسته و متوالی..... ۲۳	۲۳
شکل ۹-۲: نمونه‌ای از مدل BNWF..... ۲۶	۲۶
شکل ۱۰-۲: مدل‌های میرایی تابشی در حالت‌های یک بعدی و دوبعدی (Gazetas and Dobry, 1984) [۱۸]..... ۳۰	۳۰
شکل ۱۱-۲: مش‌بندی المان محدود مدل در برنامه pile-3D..... ۳۱	۳۱
شکل ۱-۳: مرتبه‌های اول و دوم سه نوع مختلف از المان‌های (continuum) solid..... ۳۵	۳۵
شکل ۲-۳: چگونگی لایه‌ها در مقاله نواک و میتوالی (a) لایه همگن (b) لایه مرکب [۲۶]..... ۳۷	۳۷
شکل ۳-۳: مثال‌های شرایط مرزی با المان کلومین (a) مرز مستقیم با شمع (b) مرز با گره‌های شبکه المان محدود [۲۶]..... ۳۸	۳۸
شکل ۴-۳: پارامترهای بدون بعد S_1 و S_2 برای لایه همگن [۲۶]..... ۳۸	۳۸
شکل ۵-۳: سه نوع از المان‌های نامتناهی سه بعدی [۲۷]..... ۳۹	۳۹
شکل ۶-۳: مدل تحلیل لرزه‌ای سازه‌های سطحی و مرزهای میدان آزاد [۲۵]..... ۴۰	۴۰
شکل ۷-۳: مرزهای کناری و گوشه‌ای میدان آزاد در نرم افزار $FLAC^{3D}$ [۲۵]..... ۴۲	۴۲
شکل ۸-۳: رفتار حجمی الاستیک متخلخل [۲۷]..... ۴۴	۴۴
شکل ۹-۳: تغییرات مدول الاستیک با عمق در (A) رس عادی تحکیم یافته (B) خاک غیر چسبنده (C) رس بیش تحکیم یافته [۳۰]..... ۴۵	۴۵
شکل ۱۰-۳: معیار تسلیم در صفحه p-t با شکل‌های (a) خطی (b) هذلولی (c) نمایی [۲۷]..... ۴۷	۴۷
شکل ۱۱-۳: سطوح تسلیم در مدل خطی دراکر-پراگر [۲۷]..... ۴۹	۴۹
شکل ۱۲-۳: شمایی از سخت‌شوندگی و جریان برای مدل خطی دراکر-پراگر در صفحه p-t [۲۷]..... ۵۰	۵۰

شکل ۳-۱۳: پاسخ بتن در بارگذاری تک محوری در (a) کشش و (b) فشار [۲۷]. ۵۳

شکل ۳-۱۴: نمودار ساده شده تنش-کرنش فولاد نرمه ساختمانی. ۵۳

شکل ۳-۱۵: سطوح تسلیم در فضای تنش‌های اصلی (a) دراکر-پراگر و فون میسز (b) موهر-کولمب و ترسکا [۳۳]. ۵۴

شکل ۳-۱۶: تغییرات نسبت‌های میرایی مودال با فرکانس طبیعی: (a) میرایی متناسب با جرم و سختی؛ (b) میرایی رایلی [۳۴]. ۵۶

شکل ۳-۱۷: تغییرات ضریب زاویه فصل مشترک با عکس نسبت تخلخل برای ماسه (دورگونولا و تامی، ۱۹۸۲) [۳۸]. ۵۹

شکل ۴-۱: پلان تیرریزی، مهاربندها و جهت تیرچه‌های سقف سازه به کار رفته در تحلیل. ۶۲

شکل ۴-۲: شمایی از سازه مدل شده در نرم‌افزار Abaqus 6.9-3. ۶۳

شکل ۴-۳: شمایی از مش‌بندی فونداسیون در نرم‌افزار Abaqus 6.9-3. ۶۵

شکل ۴-۴: شمایی از مش‌بندی شمع‌ها در نرم‌افزار Abaqus 6.9-3. ۶۶

شکل ۴-۵: شمایی از مدل و مش‌بندی لایه خاکی در نرم‌افزار Abaqus 6.9-3. ۶۷

شکل ۴-۶: ناحیه لغزش برای مدل اصطکاک کولومبی [۲۷]. ۶۹

شکل ۴-۷: شتابنگاشت ویتیرناروز در دو جهت افقی در زمان مؤثر آن (از ثانیه ۲ تا ثانیه ۱۲ شتابنگاشت اولیه). ۷۰

شکل ۴-۸: شتابنگاشت کیپ‌مندوسینو در دو جهت افقی در زمان مؤثر آن (از ثانیه ۲/۵ تا ثانیه ۱۲/۵ شتابنگاشت اولیه). ۷۱

شکل ۴-۹: شتابنگاشت نورتریج در دو جهت افقی در زمان مؤثر آن (از ثانیه صفر تا ثانیه ۱۰ شتابنگاشت اولیه). ۷۱

شکل ۴-۱۰: وضعیت تنش‌های ژئواستاتیکی افقی در جهت Y در مرزهای انتهایی مدل خاک. ۷۲

شکل ۴-۱۱: مدل‌های به کار برده شده برای صحت‌سنجی (a) مدل مقارن و پاد مقارن ماهشواری و همکارانش، ۲۰۰۵ (b) مدل مقارن بنتلی و النجار، ۲۰۰۰ [۸]، [۱۲]. ۷۳

شکل ۴-۱۲: صحت‌سنجی مدل حاضر برای بار جانبی استاتیکی (a) رفتار الاستیک خاک بدون جدادگی شمع و خاک (b) رفتار الاستیک خاک با جدادگی شمع و خاک (c) رفتار الاستوپلاستیک دراکر-پراگر خاک با جدادگی شمع و خاک. ۷۴

شکل ۴-۱۳: مقایسه پاسخ میدان آزاد به‌دست آمده از دو نرم‌افزار ABAQUS و FLAC حاصل از اعمال شتاب سینوسی. ۷۵

شکل ۴-۱۴: مقایسه فاکتور بزرگنمایی به‌دست آمده از ABAQUS، FLAC و حل یک بعدی گازتاس. ۷۶

شکل ۴-۱۵: نمودار میزان برش پایه در جهت X در ستون‌های مختلف سازه ناشی از زلزله ویتیرناروز واقع بر ماسه متراکم. ۷۹

شکل ۴-۲: مقایسه فاصله ایجاد شده بین شمع و خاک (GAP) در محل A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت ویتیرناروز، در لایه رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2) و لایه نرم بر سخت (C1S) در تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه. ۸۰

شکل ۳-۵: مقایسه فاصله ایجاد شده بین شمع و خاک (GAP) در محل A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت کیپ‌مندوسینو، در لایه رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2) و لایه نرم بر سخت (C1S) در تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه. ۸۱

شکل ۴-۵: مقایسه فاصله ایجاد شده بین شمع و خاک (GAP) در محل A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت نورتریج، در لایه رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2) و لایه نرم بر سخت (C1S) در تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه. ۸۱

شکل ۵-۵: مقایسه تاریخچه شتاب در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت ویتیرناروز در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). ۸۲

شکل ۶-۵: مقایسه تاریخچه شتاب در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت کیپ‌مندوسینو در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). .. ۸۳

شکل ۷-۵: مقایسه تاریخچه شتاب در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت نورتریج در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). ۸۳

شکل ۸-۵: مقایسه تاریخچه شتاب تراز بام نسبت به تراز پی ناشی از اعمال شتابنگاشت ویتیرناروز در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). ۸۴

شکل ۹-۵: مقایسه تاریخچه شتاب تراز بام نسبت به تراز پی ناشی از اعمال شتابنگاشت کیپ‌مندوسینو در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). ۸۵

شکل ۱۰-۵: مقایسه تاریخچه شتاب تراز بام نسبت به تراز پی ناشی از اعمال شتابنگاشت نورتریج در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). ۸۵

شکل ۱۱-۵: ماکزیمم نیروی برشی پایه A3 و A4 به دست آمده از تحلیل یکپارچه در لایه‌های خاکی مختلف. ۸۶

شکل ۱۲-۵: ماکزیمم ممان خمشی پایه A3 و A4 به دست آمده از تحلیل یکپارچه در لایه‌های خاکی مختلف. ۸۷

شکل ۱۳-۵: ماکزیمم جابجایی تراز بام نسبت به پایه A4 حاصل از تحلیل یکپارچه در لایه‌های خاکی مختلف. ۸۸

شکل ۱۴-۵: مقایسه تاریخچه شتاب در تراز فونداسیون ناشی از اعمال شتابنگاشت ویتیرناروز در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). ۸۹

شکل ۱۵-۵: مقایسه تاریخچه شتاب در تراز فونداسیون ناشی از اعمال شتابنگاشت کیپ‌مندوسینو در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S). ۹۰

شکل ۵-۱۶: مقایسه تاریخچه شتاب در تراز فونداسیون ناشی از اعمال شتابنگاشت نورتریج در نمونه‌های رس بسیار نرم (C1)، رس نرم (C2)، ماسه (S)، لایه سخت بر نرم (SC1) و لایه نرم بر سخت (C1S) .. ۹۰ شکل ۵-۱۷: ماکزیمم تنش برشی گره میانی سرشمع A4 حاصل از تحلیل یکپارچه در لایه‌های خاکی مختلف. ۹۱ شکل ۵-۱۸: ماکزیمم اختلاف تنش نرمال در تار بالایی و پایینی سرشمع A4 با تحلیل یکپارچه در خاک‌های مختلف. ۹۳ شکل ۵-۱۹: ماکزیمم جابجایی نسبی سرشمع A4 به دست آمده از تحلیل یکپارچه در لایه‌های خاکی مختلف. ۹۴ شکل ۵-۲۰: جابجایی ماکزیمم شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر (m) [۴]..... ۹۶ شکل ۵-۲۱: مقایسه پاسخ سینماتیکی و میدان آزاد ناشی از شتابنگاشت ویتیرناروز در پنج لایه خاک در دو جهت افقی..... ۹۸ شکل ۵-۲۲: مقایسه پاسخ سینماتیکی و میدان آزاد ناشی از شتابنگاشت کیپ‌مندوسینو در پنج خاک در دو جهت افقی..... ۹۹ شکل ۵-۲۳: مقایسه پاسخ سینماتیکی و میدان آزاد ناشی از شتابنگاشت نورتریج در پنج خاک در دو جهت افقی. ۱۰۰ شکل ۵-۲۴: تغییرات ماکزیمم شتاب گره میانی سرشمع A4 حاصل از تحلیل شمع-خاک نسبت به تحلیل میدان آزاد..... ۱۰۱ شکل ۵-۲۵: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرشمع A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ-مندوسینو و نورتریج بر لایه رس بسیار نرم (C1) در دو تحلیل میدان آزاد و سیستم شمع-خاک..... ۱۰۳ شکل ۵-۲۶: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرشمع A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ-مندوسینو و نورتریج بر لایه رس نرم (C2) در دو تحلیل میدان آزاد و سیستم شمع-خاک..... ۱۰۴ شکل ۵-۲۷: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرشمع A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ-مندوسینو و نورتریج بر لایه ماسه متراکم (S) در دو تحلیل میدان آزاد و سیستم شمع-خاک..... ۱۰۵ شکل ۵-۲۸: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرشمع A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ-مندوسینو و نورتریج بر خاک لایه‌ای (SC1) در دو تحلیل میدان آزاد و سیستم شمع-خاک..... ۱۰۶ شکل ۵-۲۹: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرشمع A4 ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ-مندوسینو و نورتریج بر خاک لایه‌ای (C1S) در دو تحلیل میدان آزاد و سیستم شمع-خاک..... ۱۰۷ شکل ۵-۳۰: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرستون A4 در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ‌مندوسینو و نورتریج بر لایه رس بسیار نرم (C1) در دو تحلیل سازه تنها و تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه. ۱۱۰ شکل ۵-۳۱: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرستون A4 در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ‌مندوسینو و نورتریج بر لایه رس نرم (C2) در دو تحلیل سازه تنها و تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه..... ۱۱۱

شکل ۵-۳۲: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرستون A4 در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ‌مندوسینو و نورث‌ریج بر لایه ماسه متراکم (S) در دو تحلیل سازه تنها و تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه. ۱۱۲.....

شکل ۵-۳۳: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرستون A4 در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ‌مندوسینو و نورث‌ریج بر خاک لایه‌ای (SC1) در دو تحلیل سازه تنها و تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه. ۱۱۳.....

شکل ۵-۳۴: مقایسه طیف فوریه پاسخ سرستون A4 در تراز بام ناشی از اعمال شتابنگاشت‌های ویتیرناروز، کیپ‌مندوسینو و نورث‌ریج بر خاک لایه‌ای (C1S) در دو تحلیل سازه تنها و تحلیل یکپارچه شمع-خاک-سازه. ۱۱۴.....

شکل ۵-۳۵: تغییرات ماکزیمم نیروی برشی پایه A3 و A4 به دست آمده از تحلیل یکپارچه نسبت به تحلیل سازه تنها. ۱۱۵.....

شکل ۵-۳۶: تغییرات ماکزیمم ممان خمشی پایه A3 و A4 به دست آمده از تحلیل یکپارچه نسبت به تحلیل سازه تنها. ۱۱۷.....

شکل ۵-۳۷: تغییرات ماکزیمم جابجایی تراز بام نسبت به پایه A4 حاصل از تحلیل یکپارچه نسبت به تحلیل سازه تنها. ۱۱۸.....

شکل ۵-۳۸: نمودار تغییرات ماکزیمم نیروی برشی پایه A3 و A4 سازه با افزایش ضخامت کلاهک گروه شمع. ۱۱۹.....

شکل ۵-۳۹: مقایسه برش پایه حاصل از سه شتابنگاشت برای کلاهک‌های با ابعاد مختلف در تحقیق موحدخواه [۴۴]. ۱۲۰.....

شکل ۵-۴۰: نمودار تغییرات ماکزیمم ممان خمشی پایه A3 و A4 سازه با افزایش ضخامت کلاهک گروه شمع. ۱۲۰.....

شکل ۵-۴۱: نمودار تغییرات ماکزیمم جابجایی نسبی تراز بام پایه A4 سازه با افزایش ضخامت کلاهک گروه شمع. ۱۲۱.....

شکل ۵-۴۲: نمودار تغییرات ماکزیمم تنش برشی گره میانی سرشمع A4 با افزایش ضخامت کلاهک گروه شمع. ۱۲۱.....

شکل ۵-۴۳: ماکزیمم اختلاف تنش نرمال تراز بالایی و پایینی سرشمع A4 با افزایش ضخامت کلاهک گروه شمع. ۱۲۲.....

شکل ۵-۴۴: نمودار تغییرات ماکزیمم جابجایی نسبی سرشمع A4 با افزایش ضخامت کلاهک گروه شمع. ۱۲۲.....

شکل ۵-۴۵: نمودار تغییرات ماکزیمم نیروی برشی و ممان خمشی پایه A3 و A4 سازه با تغییر جرم کلاهک گروه شمع. ۱۲۳.....

شکل ۵-۴۶: نمودار تغییرات ماکزیمم جابجایی نسبی بام و سرشمع A4 با افزایش جرم کلاهک گروه شمع. ۱۲۳.....

شکل ۵-۴۷: ماکزیمم تنش برشی و اختلاف تنش نرمال تراز بالایی و پایینی شمع A4 با تغییر جرم کلاهک گروه شمع. ۱۲۴

شکل ۵-۴۸: مقایسه تأثیر اندرکنش اینرسیال بر فاکتور بزرگنمایی در مطالعه ماهشواری و همکارانش [۱۶] ۱۲۵

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

از مهمترین مسائلی که در طراحی سازه‌ها همواره ذهن مهندسان را به خود مشغول ساخته، طراحی سازه‌ها به گونه‌ای است که در مقابل بارهای جانبی مقاومت بیشتری از خود نشان دهند. برای رسیدن به این هدف، تاکنون روش‌های بسیاری برای مقاوم ساختن سازه‌ها در برابر زلزله ابداع شده است. یکی از این راه حل‌ها، احداث پی‌های عمیق و به خصوص استفاده از شمع است. اگر چه تا چند دهه پیش، پیشرفت‌های مهمی در این زمینه صورت پذیرفته بود اما زلزله‌های اخیر و آشکار شدن بعضی نقایص طراحی شمع، اهمیت تحقیق در این زمینه را بیش از پیش روشن ساخت.

شالوده‌های عمیق اعم از شمع‌های در جاریز یا کوبشی و همچنین صندوقه‌ها و پایه‌های عمیق، عموماً جهت انتقال بارهای سازه‌ای از خاک‌های نرم به لایه‌های سخت‌تر در اعماق زمین، بکار می‌روند. این پی‌ها ممکن است تحت بارهای جانبی لحظه‌ای یا متناوب ناشی از عوامل دینامیکی مختلف از قبیل زلزله، باد، موج انفجار، ضربه و یا بار ناشی از ماشین‌ها قرار گیرند. بنابراین انجام تحلیل‌های دینامیکی برای این بارهای وارده، ضروری به نظر می‌رسد.

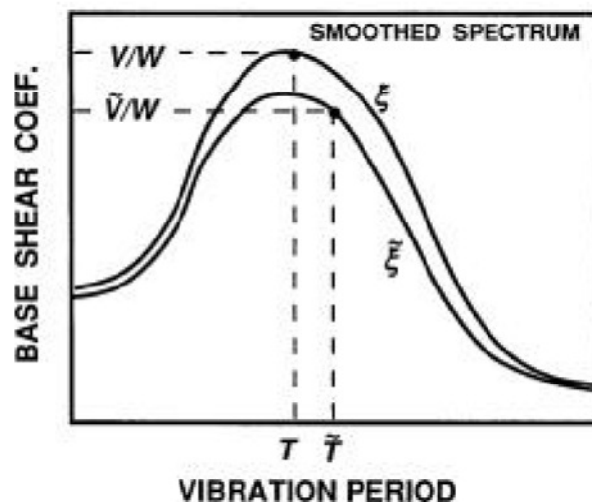
در این تحقیق شمع‌ها به عنوان مهمترین شالوده‌های عمیق، تحت بار زلزله بررسی گردیده‌اند. هنگامی که یک سازه بنا شده بر روی خاک نرم با فونداسیون شمع‌ی تحت نیروهای ناشی از زلزله قرار گیرد، خطرات زیادی فونداسیون را تهدید می‌کند. اثرات احتمالی ایجاد پدیده تشدید بین خاک‌های نرم با پیوند طولانی و سازه‌های مرتفع، می‌تواند باعث افزایش این خطرات گردد. همچنین مواردی مانند روانگرایی و یا پدیده نرم شدگی کرنشی خاک‌های نرم، تشدید کننده این خطرات می‌باشد.

در تحقیق حاضر به دو جنبه اصلی مقوله اندرکنش شمع-خاک-سازه^۱ (SSPSI) پرداخته می‌شود. یکی اینکه اندرکنش اینرسیال روسازه چه تأثیری در پاسخ روسازه می‌گذارد، و دیگر اینکه اندرکنش سینماتیکی شمع-خاک چه تأثیری بر رفتار سازه دارد.

در طراحی ساختمان‌ها در مقابل نیروی زلزله، معمولاً بطور محافظه کارانه از تأثیرات اندرکنش خاک-شمع-سازه و اثر پی‌های شمع‌ی بر روی امواج زلزله وارد شونده به ساختمان صرف‌نظر می‌گردد، که این موضوع به عنوان یک طراحی دست بالا برای تحلیل‌های طیفی مطرح می‌باشد. لیکن باید توجه داشت که صرف‌نظر کردن از اندرکنش شمع-خاک-سازه، هم ممکن است منجر به یک طرح نالیمن گردد، و هم اینکه می‌تواند باعث غیر اقتصادی شدن طرح نیز گردد. بر خلاف تصور عمومی تأثیرات اندرکنش شمع-خاک همیشه زیان بخش نیستند. بلکه ممکن است که این اثرات مطلوب نیز باشند [۱]. در شکل ۱-۱ می‌توان تأثیر مثبت اندرکنش شمع-خاک-سازه در طراحی سازه را مشاهده نمود. در این شکل W وزن روسازه، T ، \bar{T} ، V و \bar{V} به ترتیب پیوند ارتعاش و برش پایه بدون اندرکنش خاک-سازه و با آن است.

^۱ Superstructure-Pile-Soil Interaction

متأسفانه مدارک کمی از نمونه‌های حقیقی زلزله‌ها و اثرات آن روی اندرکنش شمع خاک موجود می‌باشد، و از این مقدار کم نیز، مواردی که در آن‌ها شمع‌ها مجهز به ابزار کنترل و اندازه‌گیری پاسخ دینامیکی باشد، انگشت‌شمار می‌باشند. از اینرو مدارک مستندی برای کالیبراسیون و ارزیابی روش‌های تحلیلی موجود نمی‌باشد. به دلیل این محدودیت‌ها، از آزمایشات میز لرزان و سانتریفوژ، با استفاده از مدل‌های مختلف آزمایشگاهی و شرایط کنترل شده مختلف، به منظور بدست آوردن پاسخ حقیقی یک سیستم استفاده می‌گردد. همچنین به کمک نتایج حاصل از این آزمایشات، روش‌های تحلیل دینامیکی بر روی سیستم شمع-خاک سازه، گسترش و بهبود می‌یابند.



شکل ۱-۱: تاثیر اندرکنش خاک-سازه روی ضریب لرزه ای در برش پی (Fenves and Serino, 1992).

با توجه به درجه اهمیت سازه‌های قرار گرفته روی شمع، چگونگی انجام تحلیل‌های دینامیکی و در نظر گیری اندرکنش شمع-خاک، تعیین می‌گردد. مثلاً برای سکوه‌های نفتی، نیروگاه‌های اتمی و پل‌های بزرگ، تحلیل دقیق دینامیکی سیستم خاک-شمع-سازه بوسیله روشهای تحلیلی و حتی آزمایشگاهی، لازم می‌گردد [۱].

۲-۱-۲- زمینة تحقیق

۱-۲-۱- شمع‌ها تحت بار جانبی

در طراحی پی‌های شمعی مقاوم در برابر بارهای جانبی، در اکثر حالات، معیار طراحی، باربری جانبی نهایی شمع‌ها نمی‌باشد، بلکه حداکثر تغییر مکان مجاز شمع، معیار طراحی است. تغییر مکان مجاز می‌تواند برای سازه‌های موقت و دیوارهای نگهبان مهار شده نسبتاً بزرگ باشد ولی در برخی سازه‌ها نظیر کوله‌های مهار شده پل یا پی یک سازه بلند فقط حرکت‌های کوچک مجاز می‌باشد. در گذشته مراحل طراحی با استفاده از اطلاعات تجربی برای طراحی شمع صورت می‌گرفت، برای مثال کارهایی که توسط مک نولتی (۱۹۵۶) بر شمع‌ها با مقیاس یک به یک، تحت بارگذاری جانبی صورت گرفته است از این گونه می‌باشد که در جدول ۱-۱ نشان داده شده است [۲].