بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تأثیر پارامترهای خاک وشمع در تحلیل دینامیکی سه بعدی غیر خطی بر اندرکنش

اساتید راهنما:

جناب آقای دکتر حمیدرضا صبا، جناب آقای دکترساسان محاسب

دانشجو:

آیدا رنجبرفر

1391

پیشگفتار

ضرورت احداث گروه شمع به عنوان پی در سازه‌های مختلف، از دیرباز متداول بوده است. در زمین‌های سست و نشست‌پذیر و هم‌چنین در شرایط اجرایی مشکل همواره استفاده از شمع به عنوان یکی از گزینه‌های مطرح برای نوع پی بیان می‌شود. به‌طور کلی شمع‌ها عناصر ستونی نسبتاً لاغری هستند که جهت انتقال بارهای فشاری، کششی و یا حتی جانبی از سطح زمین به لایه‌های سخت‌تر زمین به‌کار برده می‌شوند. هرچند که این مورد یکی از مهم‌ترین دلایل استفاده از پی‌های شمعی می‌باشد، ولی تنها دلیل کاربرد این‌گونه پی‌ها نمی‌باشد. افزایش مقاومت سازه‌ها در خاک‌های ضعیف در برابر بارگذاری جانبی در قسمت پی و تراز پایه سازه‌ها نیز می‌تواند به‌عنوان موارد کاربرد گروه شمع در سازه‌ها باشد. از آن‌جا که انتخاب نوع سیستم پی با توجه به ملاحظات اقتصادی و مشکلات اجرایی باید با بررسی‌ها و مطالعات دقیق فنی همراه باشد، بررسی میزان و نوع بارهای وارده و ویژگی نوع لایه‌های خاک در اولویت اول مطالعات است. پس از آن باید به انتخاب سیستم پی شامل نوع شمع، تعداد و نحوه‌ی قرارگیری در پلان، طول، قطر و نحوه‌ی اتصالات شمع ها توجه شود.

با توجه به پیچیدگی رفتار شمع، موضوعات مختلف در خصوص شمع ها همواره مورد تحقیق بوده است. در این تحقیق به بررسی تأثیر برخی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تحلیل دینامیکی گروه شمع پرداخته شده است.

در حالت متداول یک تحلیل دینامیکی فرض می‌شود که حرکت اعمال شده بر پای سازه free field motion یعنی مساوی با حرکت آزاد زمین می‌باشد. این فرض تنها در سازه‌های قرارگرفته بر روی سنگ بسیار سخت صحیح می‌باشد. چون که سختی بسیار بالای سنگ باعث می‌شود که این توده به‌عنوان یک جسم صلب عمل کرده و امواج زلزله را از لایه‌های پایینی زمین گرفته و عیناً به بالا منتقل می کند. در صورتی‌که در واقعیت، رفتار خاک متفاوت است و خاصیت دینامیکی توده‌ی خاک در زیر سازه، باعث به‌وجود آمدن نیروی متفاوت با حالت انتهاگیرداری در پی می شود. بنابراین با استناد به کلیه‌ی موارد ذکر شده در فوق، لزوم در نظر گرفتن اثر اندرکنش در محاسبه‌ی نیروها و تغییر مکان‌ها مشخص می گردد.

به منظور تحلیل پدیده‌ی اندرکنش خاک- سازه در زمان وقوع زلزله انتخاب مدل مناسب برای خاک از جمله ضروریات مهندسی زلزله می‌باشد. برای تحلیل پدیده‌ی اندرکنش باید حرکت زمین را در سطح پی سنگ اعمال نموده و سیستم خاک- شمع- سازه را به صورت یکپارچه مورد بررسی قرار داد. از جمله روش های تحلیل اندرکنش خاک- شمع روش مخروط می‌باشد که در این روش سختی دینامیکی پی با در نظر گرفتن امواج مخروطی از پی محاسبه شده و معادلات تعادل دینامیکی با لحاظ‌کردن ماتریس سختی دینامیکی خاک و سازه به‌دست می‌آید که این روش با توجه به فرضیات ذر نظر گرفته شده در تحلیل با تقریب‌هایی مواجه است. اما به دلیل زمان کم آنالیز که حدود 0/002 زمان آن در روش‌های عددی است به‌عنوان روشی در تحلیل اندرکنش می‌تواند به‌کار گرفته شود که در این تحقیق در یکی از مدل‌ها به آن پرداخته شده است.

این پایان‌نامه در 5 فصل گردآوری شده است که در ادامه به تفصیل به آن‌ها پرداخته می‌شود.

- فصل اول: مقدمه و تاریخچه‌ی موضوع
- فصل دوم: مروری بر کارهای صورت گرفته

- فصل سوم: مروری بر نرم‌افزارها
- فصل چهارم: تفسیر، تحلیل و بررسی نتایج
- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات

فصل اول شامل ادبیات فنی موضوع است که شامل مباحث انواع شمع‌ها از نقطه‌نظرهای مختلف، روش‌های اجرای شمع، مزایا و معایب شمع‌های درجاریز، ظرفیت باربری شمع، گروه شمع و انواع روش‌های محاسبه‌ی سختی دینامیکی می‌باشد. در فصل دوم با مروری بر کارهای انجام گرفته در قالب مقالات علمی داخلی و خارجی به بررسی موضوع تحلیل دینامیکی پی‌های عمیق با اثر اندرکنش پرداخته شده است. در ادامه در فصل سوم با مروری بر مبانی نرم‌افزارهای FLAC3D و FLAC2D و CONAN به مزایای استفاده از این نرم‌افزارها و نحوه‌ی مدل‌سازی و المان‌های به کار رفته در مدل‌سازی پرداخته شده و مدل مخروط به عنوان صحت‌سنجی برنامه مورد استفاده قرار گرفت. در فصل چهارم برای بررسی عوامل تغییر نسبت فاصله به قطر شمع‌ها در گروه، طول شمع‌ها، قطر شمع‌ها و اثر نوع خاک مورد استفاده در تحلیل بر پاسخ دینامیکی خاک در برابر زلزله به تحلیل مدل‌هایی بر این اساس پرداخته شد.

در فصل پنجم با توجه به نتایج فصل قبلی به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از انجام مدل‌سازی‌ها در اثر تغییر پارامترهای فوق بر رفتار دینامیکی گروه شمع پرداخته شد.

در این پایان‌نامه به بررسی گروه شمع قائم به عنوان عضوی برای انتقال بارهای سطحی به ترازهای پایین‌تر توده‌ی خاک پرداخته شده است. برای این کار، یک گروه شمع قائم 3×3 با کلاهک با ابعاد مناسب در یک محیط خاکی مدل‌سازی شده‌است. ابعاد محیط خاکی با انجام سعی و خطا، با توجه به صرفه‌جویی در وقت و کاهش حجم معادلات کامپیوتری و نیز جلوگیری از تداخل امواج حاصل از تحلیل دینامیکی به صورت 2L ×4Mدر نظر گرفته شد که M طول بعد کلاهک و L طول شمع‌ها می‌باشد. به منظور تحلیل دینامیکی از رکورد زلزله‌ی تهران که طیف آن توسط مؤسسه‌ی زلزله شناسی تهران برای بهسازی پروژه‌های بزرگی مانند هتل آزادی تهران طراحی شده است، استفاده گردید. این زلزله که زمان آن 20S است دارای حداکثر شتاب $5/75\ m/s^2$ می‌باشد. در این تحقیق به منظور صرفه‌جویی در زمان تحلیل ها از رکورد شتاب- زمان 10s اول این زلزله که زمان بحرانی آن می‌باشد، استفاده شد.

با توجه به زمان زیاد تحلیل سه بعدی گروه شمع در برنامه‌ی FLAC3D، که برای یک مدل نام‌برده در فصل سوم این تحقیق حدود 4300 دقیقه زمان لازم داشت، آنالیز همان مدل در برنامه‌ی FLAC2D به زمانی حدود 80 دقیقه نیاز داشت. پس از مقایسه‌ی نتایج این دو مدل و این‌که با توجه به فرضیات و محدودیت های مدل دو بعدی نتایج قابل قبولی محسوب می‌شد، سایر مدل‌سازی‌ها در فصل چهارم در برنامه‌ی FLAC2D انجام شد.

برای بررسی عوامل مؤثر در تحلیل دینامیکی گروه شمع 3×3 عوامل زیر به تفضیل مورد بررسی ومدل‌سازی قرار گرفتند:

1) اثر تغییر در نسبت فاصله به قطر شمع‌ها در گروه شمع: با ثابت نگه داشتن طول و قطر شمع‌ها، مدل‌های مختلفی با نسبت فاصله به قطرهای ۵،۷، 10 مورد بررسی قرار گرفتند.

2) اثر تغییر طول شمع‌ها در گروه شمع: در بخشی دیگر از تحقیق با ثابت نگه داشتن فاصله به قطر 5 و قطر ثابت 0/6 m مدل‌های مختلفی با طول‌های 10m، 15mو 20m مورد آنالیز قرار گرفتند.
3) اثر تغییر قطر شمع‌ها در گروه شمع: برای مطالعه‌ی اثر قطرهای مختلف بر تحلیل دینامیکی گروه شمع 3×3 مدل‌های مختلفی با قطرهای 0/6 m، 1m، 1/5 mمورد تحلیل قرار گرفتند.
4) اثر نوع خاک مورد بررسی: برای مطالعه‌ی تأثیر نوع خاک بستر در این تحقیق در تمامی موارد بالا از شش نوع خاک: ماسه متراکم، ماسه متوسط، ماسه شل، رس سفت، رس متوسط و رس نرم استفاده گردید که به نوبه‌ی خود انواع مختلف مدل‌سازی و بررسی را شامل شد.

پارامترهای مورد بررسی از خروجی نتایج شامل: تغییر مکان افقی، تغییر مکان قائم، نیروی برشی، نیروی محوری و لنگر خمشی در هر یک از بررسی‌های بالا برای درک رفتار گروه شمع قائم 3×3 مورد بررسی قرار گرفتند.

از تحلیل مدل‌هایی با درنظرگرفتن عوامل فوق می‌توان نتیجه گرفت:

- در بررسی اثر نسبت فاصله به قطر بر توزیع تغییرمکان ها در طول شمع می‌توان گفت، با افزایش نسبت فاصله‌بندی تغییر مکان افقی و تغییر مکان قائم در تمامی انواع خاک‌های ماسه‌ای و رسی افزایش یافت.
- در بررسی اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع نیروها و لنگر خمشی در طول شمع می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی با افزایش نسبت فاصله‌بندی مقادیر نیروی برشی، نیروی محوری و لنگر خمشی در تمامی انواع خاک‌های ماسه‌ای و رسی افزایش یافت.
- در بررسی اثر تغییر طول شمع‌ها بر توزیع تغییر مکان‌ها در طول شمع می‌توان گفت با افزایش طول شمع‌ها، تغییر مکان افقی با توجه به افزایش فشار وارده از خاک اطراف به شمع و هم‌چنین به علت مجاورت طول بیش‌تری از شمع‌ها با خاک اطراف افزایش یافت، تغییر مکان قائم نیز با افزایش طول شمع‌ها در تمامی خاک‌ها کاهش یافت.
- در بررسی اثر تغییر طول شمع‌ها بر توزیع نیروها و لنگر خمشی در طول شمع، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول شمع‌ها در گروه، نیروی برشی، نیروی محوری و لنگر خمشی افزایش یافت که این موضوع نیز با توجه به بیش‌تر شدن حجم خاک اطراف شمع‌ها توجیه‌پذیر است.
- در بررسی اثر تغییر قطر شمع‌ها بر توزیع تغییر مکان‌ها می‌توان گفت، با افزایش قطر در تمامی خاک‌ها تغییر مکان افقی افزایش یافت و تغییر مکان قائم نیز از قطر 0/6 mبه 1m، ابتدا کاهش و سپس با افزایش قطر تا 1/5 m، کاهش در تغییر مکان قائم مشاهده شد.
- در بررسی اثر تغییر قطر شمع‌ها بر توزیع نیروها و لنگر خمشی در طول شمع می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی با افزایش قطر شمع‌ها، نیروی برشی، نیروی محوری و لنگر خمشی افزایش یافت.

چکیده

به‌طور کلی شمع‌ها عناصر ستونی نسبتاً لاغری هستند که جهت انتقال بارهای فشاری، کششی و یا حتی جانبی از سطح زمین به لایه‌های سخت‌تر زمین به‌کار برده می‌شوند. از آن جا که اجرای پی‌های عمیق در شرایط نیروهای قائم وافقی وعدم وجود خاک مناسب در مجاورت سطح زمیناجتناب‌ناپذیر می‌باشد و درشرایط بروز زلزله وتأثیر بارنامنظم دینامیکی ناشی از آن موضوع به صورت بحرانی مطرح می‌گردد، لزوم بررسی وتحلیل دقیق رفتار شمع‌ها که اکثریت قریب به اتفاق در مورد سازه‌های بلند به کار می‌رود احساس شده است.

از آن‌جا که انتخاب نوع سیستم پی با توجه به ملاحظات اقتصادی و مشکلات اجرایی باید با بررسی‌ها و مطالعات دقیق فنی همراه باشد، بررسی میزان و نوع بارهای وارده و ویژگی نوع لایه‌های خاک در اولویت اول مطالعات است. پس از آن باید به انتخاب سیستم پی شامل نوع شمع، تعداد و نحوه‌ی قرارگیری در پلان، طول، قطر و نحوه‌ی اتصالات شمع ها توجه شود. با توجه به پیچیدگی رفتار شمع، موضوعات مختلف در خصوص شمع ها همواره مورد تحقیق بوده است.در این تحقیق با انجام مدلسازی های متعدد بر روی گروه شمع 3 X 3 به بررسی اثر پارامترهای:نسبت فاصله به قطر، طول و قطر شمع ها پرداخته شد. همچنین با تغییر پارامترهای خاک به اثر نوع خاک در تحلیل ها پرداخته شد. موارد مورد بررسی تغییر مکان ها، نیروهای برشی و محوری و لنگر خمشی می‌باشند.

اندرکنش خاک–سازه از مسائل مهم در مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای است که به بررسی تأثیر وجود خاک در پاسخ سازه‌ها تحت بار دینامیکی می‌پردازد. درحالت معمول یک تحلیل دینامیکی فرض می‌شود که حرکت اعمال شده بر پای سازه مساوی با حرکت آزاد زمین می‌باشد. درصورتی که درعمل توده خاک به‌دلیل رفتار متفاوت با یک جسم صلب، دامنه ومحتوای فرکانسی زلزله را تغییرمی‌دهد.بنابراین می‌توان دریافت که تحلیل دینامیکی یک سازه بدون درنظرگرفتن خاک زیرین می‌تواند به نتایج غیرواقعی منجر شود. روش‌های مختلفی برای تحلیل اندرکنش خاک وسازه وجود دارد.از جمله این روش‌ها، روش مخروط است که برمبنای رفتارخطی و الاستیک خاک می‌باشد.دراین روش سختی دینامیکی پی با درنظرگرفتن تشعشع مخروطی امواج از پی، محاسبه شده وسپس معادلات تعادل دینامیکی با لحاظ کردن ماتریس سختی دینامیکی خاک وسازه به‌دست می‌آید. از حل این معادلات، خروجی‌ها شامل جابجایی ودوران پی وسازه قابل حصول است. در این تحقیق این روش به عنوان صحت سنجی موضوع مورد بررسی به کار برده شده است.

در مورد مهمترین نتایج این تحقیق می‌توان گفت که با افزایش نسبت فاصله به قطر به طور کلی تغییر مکان افقی، تغییر مکان قائم، نیروی برشی ولنگر خمشی افزایش یافت. همچنین با افزایش طول و قطر شمع ها، تغییر مکان افقی، تغییر مکان قائم، نیروی برشی، نیروی محوری و لنگر خمشی افزایش یافت در حالی که تغییر مکان قائم کاهش یافت.

کلمات کلیدی: پی‌های عمیق، اندرکنش شمع- خاک –شمع، روش مخروط،تحلیل دینامیکی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول - مقدمه وتاریخچه موضوع

مقدمه.....1

1-1-علت استفاده از پی‌ها 1

2-1-پی‌های عمیق.....3

1-2-1-قدمت استفاده ازشمع.....3

2-2-1-دلایل استفاده از پی‌های متکیبرشمع.....4

3-2-1-دسته‌بندی‌های مختلف شمع.....5

1-3-2-1-انواع شمع‌ها از نظر عملکرد سازه‌ای.....5

2-3-2-1-انواع شمع‌ها ازنظر عملکرد درفشاریا کشش.....5

3-3-2-1-انواع شمع‌ها ازنظر اجرا.....5

4-3-2-1-انواع شمع‌ها از نظر تغییرمکان ایجادشده درخاک.....6

5-3-2-1-انواع شمع‌ها ازنظر کوتاهی یا بلندی.....7

6-3-2-1-انواع شمع‌ها ازنظرجنس مصالح وشکل هندسی.....7

4-2-1-دوره‌های نصب،رهاسازی و بارگذاری شمع‌ها.....7

5-2-1-انتخاب نوع شمع.....7

6-2-1-روش اجرای شمعدرجا.....8

7-2-1-آماده‌سازی محل حفاری.....8

8-2-1-انتخاب روش حفاری.....9

9-2-1-ایجاد حوضچه گل حفاری.....9

10-2-1-انجام عملیات حفاری.....10

1-2-11-فولادگذاری.....10
1-2-12-لوله‌گذاری و بتن‌ریزی.....10
1-2-13-مزایای اجرای شمع درجا.....11
1-2-14-معایب اجرای شمع درجا.....12
1-2-15-انتخاب قطر وطول شمع.....12
1-2-16-شیب شمع‌ها.....12
1-3-گروه شمع.....13
1-3-1-کلاهک شمع.....13
1-3-2-کارایی گروه شمع.....14
1-3-2-1-خاک چسبنده.....14
1-3-2-2-خاک دانه‌ای.....14
1-3-3-اتصال شمع به صفحه کلاهک.....15
1-3-4-اتصال کف شمع.....15
1-3-5-بارگذاری شمع‌ها.....16
1-3-5-1-انواع نیروهای جانبی درشمع‌ها.....16
1-4-نشست شمع.....16
1-4-1-نشست شمع منفرد.....16
1-4-2-نشست گروه شمع.....17
1-5-ظرفیت باربری شمع.....17
1-5-1- ظرفیت باربری شمع درحالت استاتیکی.....17
1-5-2- ظرفیت ایستایی نهایی نوک شمع.....18

1-5-3- ظرفیت مقاومت جلدی شمع.....18
1-5-3-1- روش α.....19
1-6- تحلیل دینامیکی.....19
1-6-1- اهمیت مسئله.....20
1-7- مروری براندرکنش.....20
1-7-1- بررسی اثرات اندرکنش خاک – سازه.....21
1-7-2- انواع مدل‌های تحلیلی.....23
1-7-3- تحلیل دینامیکی اندرکنش خاک – سازه.....23
1-8- انواع روش‌های محاسبه سختی دینامیکی.....24
1-8-1- روش‌های دقیق.....25
1-8-2- روش‌های تقریبی.....26
1-8-2-1- روش مخروط.....26
1-8-2-1-1- ویژگی‌های مدل مخروطی.....27
1-8-2-1-2- مبانی روش مخروط ویافتن معادله سختی دینامیکی.....27
1-8-2-1-2- ارزیابیدقت.....30
1-9- اهمیت تحقیق.....30
1-10- محاسبه نیروی جانبی ناشی از زلزله.....31
1-10-1- روش تحلیل استاتیکی معادل.....31
1-10-2- روش‌های تحلیل دینامیکی.....31
1-10-2-1- روش تحلیل دینامیکی طیفی یا روش تحلیل مدها.....31
1-10-2-2- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی.....32
1-10-3- معادلات حاکم برمسئله وحل.....33

1-11- خطر لرزه‌ای.....33
1-12- فرضیات تحقیق.....34
1-13- بخش‌های تحقیق.....34
جمع‌بندی.....34

فصل دوم- مروری برکارهای صورت گرفته

مقدمه.....35
2-1- مروری بر مطالعات انجام گرفته درداخل کشور.....35
2-1-1- تحلیل لرزه‌ای گروه شمع با درنظر گرفتن اندرکنش شمع- خاک – شمع.....35
2-1-2- بررسی رفتار شمع‌ها تحت اثر بارهای جانبی لرزه‌ای.....38
2-1-3- اندرکنش سیستم خاک- سازه- شمع تحت اثر بارهای لرزه‌ای.....41
2-1-4- بررسی شمع تحت اثر بارجانبی با درنظرگرفتن رفتارغیرخطی خاک‌ها.....43
2-1-5- تحلیل رفتار دینامیکی گروه شمع درمحیط همسان جانبی با استفاده از روش المان محدود.....46
2-2- مروری برمقالات خارج کشور.....49
2-2-1- تحلیل غیرخطی لرزه‌ای اندرکنش خاک –شمع –سازه.....49
2-2-2- میزان شدت برای رفتارلرزه‌ای پی‌های شمعی.....58
2-2-3- تحلیل لرزه‌ای اندرکنش خاک – سازه در ساختمان‌های واقع برخاک ماسه‌ای.....61
2-2-4- اثرات اندرکنش اینرسیایی و سینماتیک بر رفتار لرزه‌ای پی‌های شمعی.....63
جمع‌بندی.....67

فصل سوم- مروری بر نرم‌افزارها

مقدمه.....68
3-1- مبانی نرم‌افزاری برنامه FLAC.....68

3-1-1- مقایسه‌ی اجمالی با سایر روش‌ها و نرم‌افزارها.....69
3-1-2- حوزه‌ی کاربرد برنامه.....69
3-2- مبانی مدل‌سازی برنامه FLAC.....70
3-2-1- شرایط مرزی.....70
3-2-1-1- مرزهای آرام.....70
3-2-1-2- مرزهای محیط آزاد.....71
3-2-2- شرایط اولیه.....73
3-2-3- مدل رفتاری وتخصیص خصوصیات مواد.....73
3-2-3-1- مدل الاستیک همگن.....73
3-2-3-2- مدل الاستیک ناهمسانگرد.....73
3-2-3-3- مدل دراگر- پراگر.....73
3-2-3-4- رفتار موهر- کولمب.....74
3-2-4- المان‌های ساختاری.....74
3-2-4-1- المان خاک.....74
3-2-4-2- المان شمع.....74
3-2-4-3- فصل مشترک خاک و شمع در نرم‌افزار.....74
3-2-5- میرایی مکانیکی.....79
3-3- مبانی نرم‌افزاری برنامه CONAN.....81
3-4- صحت‌سنجی دینامیکی.....82
3-4-1- برخی معادلات مخروط.....83
3-4-2- برخی معادلات ضرایب میرایی و ضرایب فنر.....83

3-4-3- بارگذاری دینامیکی.....83
3-4-3-1- دلیل انتخاب زلزله مبنای طرح.....87
3-4-3-2- فرکانس غالب زلزله.....87
3-4-3-3- مقایسه نتایج با روش عددی.....88
3-5- مقایسه زمانی تحلیل درFLAC3D وFLAC2D 89
3-6- مدل‌سازی‌های عددی.....89
3-6-1- مشخصات عمومی مدل‌ها.....89
3-6-2- ابعاد مدل.....90
3-6-2-1- علت انتخاب ابعاد2L×4M.....91
3-6-3- معرفی مدل‌های مورد مطالعه.....92
3-6-3-1- مدل‌های موردنظر در بررسی اثر تغییر فاصله به قطر شمع.....92
3-6-3-2- مدل‌های موردنظر در بررسی اثر تغییر طول شمع.....93
3-6-3-3- مدل‌های موردنظر در بررسی اثر تغییر قطر شمع.....94
4 -6-4- شمع های کناری و میانی.....95
جمع‌بندی.....97

فصل چهارم- تفسیروتحلیل وبررسی نتایج

مقدمه.....98
4-1- بررسی اثرS/Dبرتوزیع تغییرمکان افقی در طول شمع.....99
4-2- بررسی اثر نوع خاک برتوزیع تغییرمکان افقی درطول شمع درنسبت‌های مختلف فاصله‌بندی.....101
4-3- بررسی اثرS/D بر توزیع تغییرمکان قائم در طول شمع.....103
4-4- بررسی اثرS/Dبر توزیع نیروی برشی در طول شمع.....105

4-5- بررسی اثر نوع خاک بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در نسبت‌های مختلف فاصله‌بندی.....107

4-6- بررسی اثرS/D بر توزیع نیروی محوری در طول شمع.....109

4-7- بررسی اثر نوع خاک بر توزیع نیروی محوری در طول شمع در در نسبت‌های مختلف فاصله‌بندی.....112

4-8- بررسی اثرS/D بر توزیع لنگرخمشی در طول شمع.....114

4-9- بررسی اثر طول بر توزیع تغییرمکان افقی درطول شمع.....116

4-10- بررسی اثر طول بر توزیع تغییر مکان قائم در طول شمع.....118

4-11- بررسی اثر طول بر توزیع نیروی برشی در طول شمع.....120

4-12- بررسی اثر طول بر توزیع نیروی محوری در طول شمع.....123

4-13- بررسی اثر طول برتوزیع لنگرخمشی درطول شمع.....125

4-14- بررسی اثر قطر بر تغییرمکان افقی درطول شمع.....127

4-14-1- بررسی اثر نوع خاک بر تغییرمکان افقی در طول شمع در قطرهای مختلف.....130

4-15- بررسی اثر قطر بر توزیع تغییر مکان قائم درطول شمع.....132

4-16- بررسی اثر قطر بر توزیع نیروی برشی در طول شمع.....134

4-17- بررسی اثر نوع خاک بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در قطرهای مختلف شمع.....136

4-18- بررسی اثر قطر در توزیع نیروی محوری در طول شمع.....138

4-19- بررسی اثر نوع خاک بر توزیع نیروی محوری در طول شمع در قطرهای مختلف شمع.....141

4-20- بررسی اثر قطر بر توزیع لنگرخمشی درطول شمع.....143

4-21- بررسی اثر نوع خاک بر توزیع لنگرخمشی در قطرهای مختلف شمع.....145

4-22- بررسی شرایط نامتقارن آرایش هندسی گروه شمع.....147

جمع بندی.....149

فصل پنجم – نتیجه‌گیری وارائه پیشنهادات

مقدمه.....150
5-1- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....150
5-2- ارائه پیشنهادات.....153

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل اول - مقدمه وتاریخچه موضوع

1-1- ضریب کارایی برای گروه شمع‌های کوچک.....15

فصل دوم - مروری برکارهای صورت گرفته

2-1- خصوصیات مصالح شمع وخاک.....53

2-2- خصوصیات مصالح خاک وشمع (آزمایشpushover صحرایی).....55

2-3- خصوصیات مصالح شمع وخاک (آزمایشات نمونه ای شمع).....56

2-4- خصوصیات پی‌های شمعی استفاده شده در تحلیل.....60

فصل سوم – مروری برنرم‌افزارها

3-1- مشخصات کلاهک بتنی.....82

3-2- مشخصات شمع‌های بکاررفته.....83

3-3- مشخصات خاک بکاررفته.....83

3-4- مشخصات فنرها ومیراگرهای بکاررفته.....83

3-5- مقایسه نتایج روش مخروط با روش عددی.....89

3-6- مشخصات خاک های بکاررفته در مدلسازی های عددی.....90

3-7- خصوصیات شمع های بتنی در مدلسازی های عددی.....90

3-8- نتایج مطالعات انجام شده درخصوص ابعاد مدل دوبعدی.....91

3-9- مشخصات مدل‌های ساخته شده در بررسی اثر فاصله به قطر شمع‌ها.....93

3-10- مشخصات مدل‌های ساخته شده در بررسی اثر طول شمع‌ها.....94

3-11- مشخصات مدل‌های ساخته شده در بررسی اثر قطر شمع‌ها.....95

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل اول – مقدمه وتاریخچه موضوع

1-1-پی‌های تک.....2

1-2- پی مرکب.....2

1-3- پی‌های نواری.....2

1-4- پی گسترده.....2

1-5- نمونه‌ای از پی‌های عمیق.....2

1-6- شمع‌های چوبی شناور مربوط به یک ساختمان صنعتی کوچک)Kemfert,2006(.....4

1-7- نمونه‌ای از شمع‌های کوبشی.....6

1-8- نمونه‌ای از شمع‌های درجاریز.....6

1-9- آماده‌سازی محل حفاری.....8

1-10- نمونه‌ای از دستگاه اوگر مکانیکی.....9

1-11- ایجاد حوضچه‌ی گل حفاری.....10

1-12- انجام عملیات حفاری.....10

1-13- لوله‌گذاری و بتن‌ریزی در چاه حفاری.....11

1-14 - دیسک واقع بر روی سطح نیم فضای همگن.الف) مخروط ناقص نیمه نامحدود برای حرکت قائم با انتشار موج به سمت بیرون و تعادل عنصر بی نهایت کوچک، ب) مدل پارامتر متمرکز متشکل از فنر و میراگر معمولی موازی.....28

فصل دوم- مروری بر کارهای صورت گرفته

2-1- نیروی برش پایه درمدل دوبعدی و سه‌بعدی.....51

2-2- لنگر درمدل دوبعدی و سه‌بعدی 51

2-3- فرضیات برای ارزیابی تیرمنفرد معادل (الف) سیستم خاک – گروه شمع و (ب) المان‌های بریده شده.....52

2-4- مدل اندرکنش خاک – شمع پیشنهادی (الف) سیستم خاک –گروه شمع (ب) گروه به شکل واحد رفتارکرده (ج) محیط خاکی مرکب بریده شده.....53

2-5- تأثیر فاکتورفرکانس a_L، بر پارامترهای آزاد زمین I_{Rf} وI_{If}.....54

2-6- آرایش گروه شمع در آزمایش صحرایی pushover (a) نمایش مقطع عرضی و (b) نمایش پلان.....55

2-7- بار جانبی اندازه گیری شده در برابر تغییر مکان جانبی (a) گروه 2x2 ، (b) گروه 3x2 و (c) 3x3.....56

2-8- بارجانبی اندازه‌گیری شده دربرابر تغییرمکان جانبی(a) گروه 3x3، (b) گروه 3x4و(c)گروه 3x5 57

2-9- نمایش شماتیک وظایف کلیدی در متدلوژی PBEE.....58

2-10- مدل خاک – شمع – سازه استفاده شده: (a) نمایش شماتیک مدل (b)سناریوهای بحث شده (c)منحنی های مدول کاهشی (d) منحنی های مقاومت روانگرایی (e) تقریب هیپربولیک رابطه Ø- M برای شمع.....59

2-11-ارتباط بین تغییر مکان پیک شمع و انحنا پیک شمع از 400 تحلیل اجزاء محدود غیرخطی (a) سناریو 1 (b) سناریو 3 (c) سناریو 5 (d) سناریو 6.....60

2-12- نمایش تغییر در رابطه بین انحنا پیک شمع و تغییر مکان پیک سرشمع برای شرایط مختلف شمع وخاک: (a) شمع به قطرm 4/. و (b) شمع به قطر 1/2 m.....61

2-13- مدل خاک –شمع در آزمایشات میز لرزان.....63

2-14- چیدمان مدل خاک – شمع – سازه.....64

2-15- تاریخچه زمانی مقادیر مشاهده شده در آزمایشات میز لرزان غیر روانگرا.....64

2-16- نیروی عمل‌کننده بر پی.....65

2-17- تاریخچه زمانی مقادیر مشاهده شده در آزمایشات میز لرزان روانگرا.....65

2-18- ترکیب اثرات اینرسی و سینماتیک برتنش‌های شمع.....66

2-19- مدل استفاده‌شده در تحلیل.....66

2-20- توزیع‌های مشاهده شده وتخمین زده شده لنگر خمشی در آزمایشات میز لرزان.....67

2-21- توزیع‌های مشاهده شده وتخمین زده شده تغییرمکان شمع در آزمایشات میز لرزان.....67

فصل سوم – مروری بر نرم‌افزارها

3-1- مدل آنالیز لرزه‌ای با شرایط میدان آزاد FLAC3D.....71

3-2-وجود و گوشه‌های مرز میدان آزاد در مدلFLAC3D.....72

3-3- سطح مشترک اتصال خاک – سازه برای دو جسم اتصال یافته توسط فنرهای نرمال و برشی.....75

3-4- جزئیات ساختمان مدل حدواسط.....75

3-5- هندسه‌ی اولیه قبل از ایجاد المان واسطه.....76

3-6- المان‌های واسطه‌ی افزوده شده.....76

3-7- هندسه‌ی نهایی مدل.....77

3-8- درجات آزادی المان PileSel.....77

3-9- رفتار مکانیکی برشی برای المان PileSel.....78

3-10- ایده‌آل سازی رفتار نرمال المان PileSel.....78

3-11- رفتار مکانیکی نرمال برای المان PileSel.....79

3-12- نمای شماتیک مدل به روش مخروط.....82

3-13- نمای شماتیک مدل در FLAC3D.....88

فصل چهارم- تفسیر تحلیل و بررسی نتایج

4-1- موقعیت تراز نقاط مورد بررسی در طول شمع.....98

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه وتاریخچه موضوع

1-1- نحوه یافتن ضریبα.....19

فصل سوم – مروری بر نرم‌افزارها

3-1- تغییرات نسبت میرایی بحرانی نسبت به فرکانس زاویه‌ای.....81

3-2- نمودارهای مورد استفاده در روش مخروط مربوط به ضرایب افقی.....84

3-3- نمودارهای مورد استفاده در روش مخروط مربوط به ضرایب عمودی و خمشی.....84

3-4-نمودار شتاب-زمان زلزله تهران.....86

3-5-نمودار شتاب-زمان زلزله طبس.....86

3-6- نمودار شتاب-زمان زلزله بم.....86

3-7-نمودار شتاب-زمان زلزله زرند کرمان.....87

3-8- نمودار فوریه.....88

3-9- تغییرات تغییر مکان افقی در طول شمع برای تحلیل‌های مختلف در انتخاب طول.....91

3-10- تغییرات تغییر مکان افقی در طول شمع برای تحلیل‌های مختلف در انتخاب عمق.....92

3-11- تغییرات تغییر مکان قائم در طول شمع برای دو تحلیل مختلف در انتخاب شمع.....96

3-12-تغییرات نیروی محوری در طول شمع برای دو تحلیل مختلف در انتخاب شمع.....96

3-13- تغییرات لنگر خمشی در طول شمع برای دو تحلیل مختلف در انتخاب شمع.....96

فصل چهارم-تفسیر و تحلیل و بررسی نتایج

4-1- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع تغییر مکان افقی شمع در ماسه متراکم.....99

4-2- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع تغییر مکان افقی شمع در ماسه با تراکم متوسط.....99

4-3- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع تغییر مکان افقی شمع در ماسه شل.....99

4-4- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع تغییر مکان افقی شمع در رس سفت.....100
4-5- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع تغییر مکان افقی شمع در رس متوسط.....100
4-6- اثر نسبت فاصله بندی بر توزیع تغییر مکان افقی شمع در رس نرم.....100
4-7- توزیع تغییر مکان افقی در خاک‌های ماسه‌ای در نسبت S/D=5.....101
4-8- توزیع تغییر مکان افقی در خاک‌های ماسه‌ای در نسبت S/D=7 101
4-9- توزیع تغییر مکان افقی در خاک‌های ماسه‌ای در نسبت S/D=10.....101
4-10- توزیع تغییر مکان افقی در خاک‌های رسی در نسبت S/D=5.....102
4-11- توزیع تغییر مکان افقی در خاک‌های رسی در نسبت S/D=7 102
4-12- توزیع تغییر مکان افقی در خاک‌های رسی در نسبت S/D=10 102
4- 13- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع تغییر مکان قائم شمع در ماسه متراکم.....103
4-14- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع تغییر مکان قائم شمع در ماسه با تراکم متوسط.....103
4-15- اثر نسبت فاصله‌بندی برتوزیع تغییر مکان قائم شمع در ماسه شل.....104
4-16- اثر نسبت فاصله‌بندی برتوزیع تغییر مکان قائم شمع در رس سفت.....104
4-17- اثر نسبت فاصله‌بندی برتوزیع تغییر مکان قائم شمع در رس متوسط.....104
4-18- اثر نسبت فاصله‌بندی برتوزیع تغییر مکان قائم شمع در رس نرم.....105
4-19- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در ماسه‌ی متراکم.....105
4-20- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در ماسه با تراکم متوسط.....106
4-21- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در ماسه شل.....106
4-22- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در رس سفت.....106
4-23- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در رس متوسط.....107
4-24- اثر نسبت فاصله‌بندی بر توزیع نیروی برشی در طول شمع در رس نرم.....107