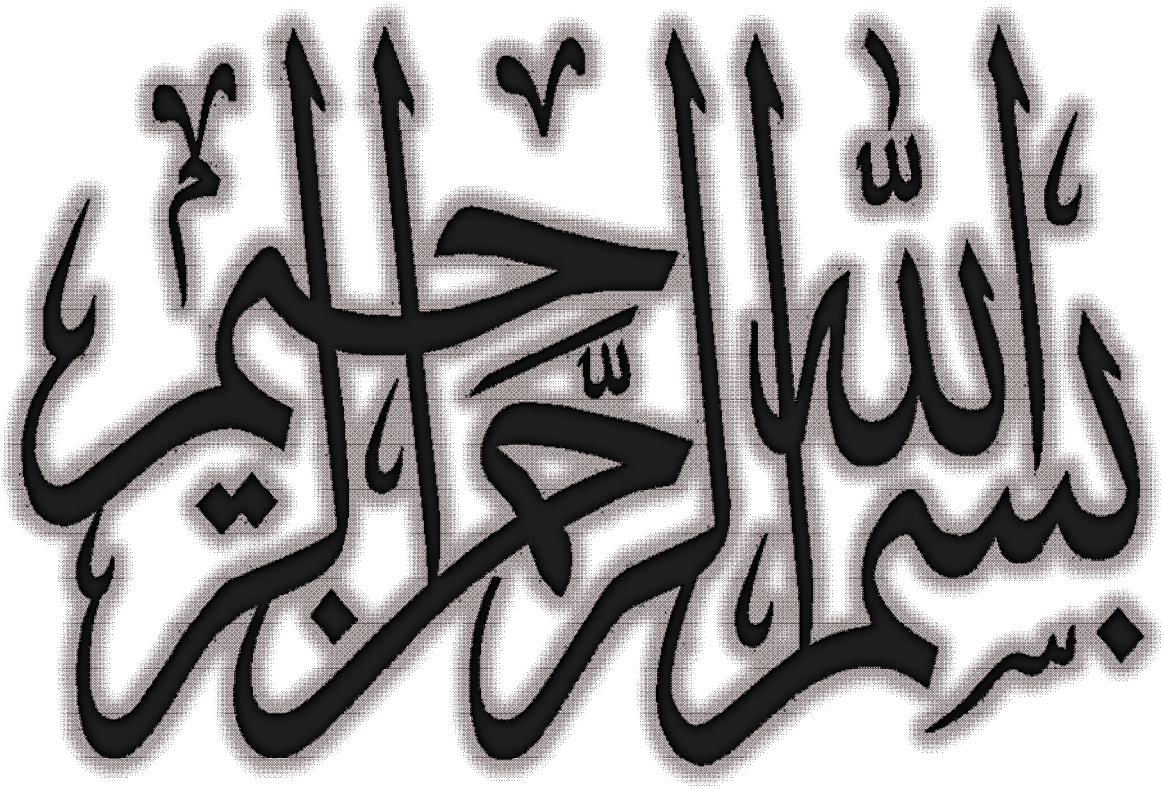
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی
دانشکده فنی و مهندسی ، گروه مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجة کارشناسی ارشد (M.Sc)
گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان :

تحلیل ظرفیت باربری محوری و رفتار شمع های بتن مسلح مستقر در خاکهای مستعد روانگرایی

استاد راهنما :
دکتر فرزین کلانتری

استاد مشاور :
دکتر محمود قضاوی

پژوهشگر :
احسان مهدوی

زمستان ۱۳۹۱

Islamic Azad University
Central Tehran Branch

Faculty of Technology & Engineering - Department of Civil Engineering

"M.Sc" Thesis

On Geotechnical Engineering

Subject :

Analysis of Axial Bearing Capacity and Behaviour of RC Piles in The Liquefiable Soils

Thesis Advisor :
Dr. Farzin Kalantari

Consulting Advisor :
Dr. Mahmoud Ghazavi

: By
Ehsan Mahdavi

Winter 2013

"من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق"

"انسانی که از بندگاه خدا تشکر نکند، از خداوند نیز تشکر نخواهد کرد"

بعد از حمد و سپاس بی کران به پیشگاه خداوند متعال که توفیق تدوین رسالة پژوهش حاضر را عنایت فرمود، بر خود لازم می دانم که از زحمات اساتید عزیز و فرزانه ام، خصوصاً جناب آقای دکتر **فرزین کلانتری** که با تقبل راهنمایی این پایان نامه، بندة حقیر را مدیون خویش فرمودند و همچنین جناب آقای **دکتر محمود قضاوی** که زحمت مشاورة این پایان نامه را بر دوش کشیدند و بنده را در رفع ابهامات علمی یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین جا دارد از زحمات **پدر و مادر عزیزم** که در سخت ترین لحظات زندگی، همواره پشتیبان مادی و معنوی بنده بودند و نیز **خواهران عزیزم** که در تایپ و ویرایش این تحقیق مرا یاری نمودند، خالصانه سپاسگزاری کنم.

فرصت را غنیمت دانسته و در اینجا از دیگر اساتید گرانقدر دورة کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه آزاد تهران مرکز، جناب آقایان دکتر ابوالفضل اسلامی، دکتر احمد نیکنام، دکتر سعید قربان بیگی، دکتر محمد رضا عطرچیان، دکتر محمد فرید آستانه و دکتر مهدی سیاوش نیا که بنده را در کلاس های درس به حضور پذیرفتند و همچنین از مدیر محترم گروه عمران، جناب آقای دکتر شهریار طاووسی تفرشی که زحمت داوری این پایان نامه را به عهده داشتند، قدردانی می نمایم.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمهٔ ایثار و از خودگذشتگی ؛

به پاس عاطفهٔ سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است ؛

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید ؛

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند ؛

این مجموعه را به

پدر و مادر عزیزم

تقدیم می کنم .

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۳
۱-۳- اهداف تحقیق ۴
۱-۴- روش انجام تحقیق ۵
۱-۵- ساختار پایان نامه ۶
فصل دوم : پدیدهٔ روانگرایی خاک و مفاهیم مرتبط با آن ۸
۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- سابقهٔ مطالعات ۹
۲-۳- پدیدهٔ روانگرایی ۱۰
۲-۴- مکانیزم روانگرایی ۱۰
۲-۵- پدیده های مرتبط با روانگرایی ۱۴
۲-۵-۱- روانگرایی جریانی ۱۴
۲-۵-۲- تحرک سیکلی ۱۴
۲-۶- پتانسیل روانگرایی خاکها ۱۶
۲-۶-۱- معیار تاریخی ۱۶
۲-۶-۲- معیار زمین شناسی ۱۷
۲-۶-۳- معیار ساختاری ۱۷
۲-۶-۴- معیار حالت ۱۷
۲-۷- روشهای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاکها ۱۸
۲-۷-۱- روانگرایی خاکهای ماسه ای ۱۹
۲-۷-۲- روانگرایی خاکهای رسی ۲۰
۲-۸- مشخصات مکانیکی خاکهای روانگرا ۲۲
۲-۸-۱- مقاومت برشی خاک در حالت روانگرایی ۲۳
۲-۸-۲- ضریب عکس العمل بستر در خاکهای روانگرا ۲۴
۲-۹- تأثیر وقوع پدیدهٔ روانگرایی خاک بر سازه ها ۲۵
۲-۱۰- مروری بر خسارات وارده به سازه ها در طی زلزله های گذشته ۲۷
۲-۱۰-۱- زلزلهٔ نیگاتا ژاپن در ۱۶ ژوئن ۱۹۶۴ ..... ۲۷
۲-۱۰-۲- زلزلهٔ آلاسکا در ۲۷ مارس ۱۹۶۴ ..... ۲۸

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۲-۱۰-۳- زلزلهٔ لوماپریتای کالیفرنیا در ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ ..... ۲۹
۲-۱۰-۴- زلزلهٔ کوبه ژاپن در ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ ..... ۳۰
فصل سوم : بررسی رفتار شمع ها در خاکهای مستعد روانگرایی ۳۳
۳-۱- مقدمه ۳۴
۳-۲- تأثیر روانگرایی خاک بر پی های شمعی ۳۵
۳-۳- ضوابط آئین نامه ای طراحی شمع ها در خاکهای روانگرا ۴۰
۳-۴- یافته های اخیر در مورد نحوهٔ گسیختگی شمع ها در خاکهای روانگرا ۴۷
۳-۵- مکانیزم های مختلف گسیختگی شمع ها در خاکهای مستعد روانگرایی ۴۹
۳-۵-۱- مکانیزم گسیختگی برشی ۵۰
۳-۵-۲- مکانیزم گسیختگی خمشی ۵۰
۳-۵-۳- مکانیزم گسیختگی کمانشی ۵۰
۳-۵-۴- مکانیزم گسیختگی دینامیکی ۵۱
۳-۶- مدلسازی کمانشی شمع در خاکهای مستعد روانگرایی ۵۲
۳-۷- بررسی رفتار شمع ها در چند نمونه سازه تحت اثر زلزله و روانگرایی ۶۵
۳-۷-۱- بررسی ساختمان ۱۰ طبقهٔ هوکوریکو در طی زلزلهٔ ۱۹۶۴ نیگاتا ۶۵
۳-۷-۲- بررسی تخریب ساختمان ۴ طبقهٔ N.H.K در طی زلزلهٔ ۱۹۶۴ نیگاتا ۶۷
۳-۷-۳- بررسی تخریب پل یاچیو در طی زلزلهٔ ۱۹۶۴ نیگاتا ۶۹
فصل چهارم : روشهای تعیین ظرفیت باربری محوری شمع ها ۷۳
۴-۱- مقدمه ۷۴
۴-۲- معیارهای طراحی شمع ۷۵
۴-۲-۱- ظرفیت باربری شمع ۷۵
۴-۲-۲- نشست ۷۵
۴-۲-۳- مقاومت سازه ای ۷۶
۴-۳- مکانیزم توزیع بار محوری در شمع ۷۶
۴-۴- ظرفیت باربری محوری فشاری ۷۸
۴-۵- مقاومت نوک (کف) شمع ۷۹
۴-۵-۱- روش مایرهوف (*Meyerhof*) ۸۱
۴-۵-۲- روش وسیک (*Vesic*) ۸۳

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۴-۶- مقاومت اصطکاکی (جداری) شمع ۸۵
۴-۶-۱- روش β (بر اساس تنش مؤثر یا مقاومت زهکشی شده) ۸۵
۴-۶-۲- روش α (بر اساس تنش کل یا مقاومت زهکشی نشده) ۸۶
۴-۶-۳- روش λ ۸۷
۴-۷- راهنمای مهندسی پی کانادا (CFEM,1992) ۸۸
فصل پنجم : معرفی نرم افزار FLAC و مبانی نظری تحقیق ۹۰
۵-۱- مقدمه ۹۱
۵-۲- معرفی کلی روش تفاضل محدود ۹۲
۵-۳- الگوهای رفتاری موجود در نرم افزار FLAC ۹۵
۵-۴- منوهای اصلی موجود در نرم افزار FLAC ۹۸
۵-۵- مکانیزم استفاده از نرم افزار جهت مدلسازی ۹۹
۵-۵-۱- ایجاد شبکهٔ گره ای تفاضل محدود (مش بندی) ۹۹
۵-۵-۲- تخصیص رفتار و خصوصیات مصالح ۱۰۲
۵-۵-۳- شرایط مرزی و شرایط اولیه ۱۰۳
۵-۶- تحلیل دینامیکی مدل ۱۰۴
۵-۶-۱- مرزهای آرام ۱۰۶
۵-۶-۲- مرزهای منطقهٔ آزاد ۱۰۶
۵-۷- معرفی مدل فین و شبیه سازی روانگرایی لایهٔ خاک ۱۰۸
فصل ششم : مدل سازی عددی و تجزیه و تحلیل اطلاعات ۱۱۰
۶-۱- مقدمه ۱۱۱
۶-۲- بررسی ظرفیت باربری محوری شمع در حالت استاتیکی ۱۱۱
۶-۲-۱- مدل سازی شمع و خاک ۱۱۲
۶-۲-۲- بررسی میزان جابجایی شمع و خاک ۱۱۷
۶-۲-۳- تغییرات نیروی محوری و مقاومت اصطکاکی در طول شمع در حالت استاتیکی. ۱۱۹
۶-۲-۴- منحنی بار - تغییر مکان شمع ۱۲۳
۶-۲-۵- مقایسهٔ نتایج مدل عددی با روابط تئوریک تعیین ظرفیت باربری محوری شمع ۱۲۳
۶-۲-۵-۱- محاسبهٔ ظرفیت باربری نوک شمع ۱۲۴
۶-۲-۵-۲- محاسبهٔ ظرفیت باربری اصطکاکی جدار شمع ۱۲۵

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۶-۳- بررسی روانگرایی خاک مدل شده ۱۲۷
۶-۳-۱- زلزلهٔ اعمال شده به مدل ۱۲۷
۶-۳-۲- مشخصات مربوط به خاک جهت تحلیل دینامیکی..... ۱۲۹
۶-۳-۳- کنترل روانگرایی خاک مدل شده ۱۳۰
۶-۴- بررسی ظرفیت باربری محوری شمع در حالت روانگرایی خاک.....۱۳۴
۶-۴-۱- مدل سازی شمع و خاک..... .....۱۳٤
۶-۴-۲- بررسی میزان جابجایی شمع و خاک در اثر زلزله و وقوع روانگرایی..... ۱۳٤
۶-۴-۳- تغییرات نیروی محوری در طول شمع در حالت روانگرایی و مقایسه با حالت استاتیکی ۱۳٦
۶-۴-۴- تغییرات مقاومت اصطکاکی در طول شمع در حالت روانگرایی و مقایسه با حالت استاتیکی ۱۳۸
۶-۴-۵- منحنی بار - تغییر مکان شمع در حالت روانگرایی و مقایسه با حالت استاتیکی ۱۴۱
۶-۵- مطالعهٔ پارامتریک ظرفیت باربری محوری و رفتار شمع های مستقر در خاکهای مستعد روانگرایی ۱۴۲
۶-۵-۱- تأثیر نوع اتصال سر شمع بر میزان جابجایی افقی و لنگر خمشی وارده به شمع مستقر در خاک های روانگرا ۱٤۲
۶-۵-۲- تأثیر فرکانس زلزله بر میزان جابجایی افقی شمع مستقر در خاک روانگرا. ۱٤٦
۶-۵-۳- تأثیر ضخامت لایهٔ خاک روانگرا بر ظرفیت باربری محوری شمع..... ۱٤۷
۶-۵-۴- تأثیر نسبت طول به قطر شمع بر ظرفیت باربری محوری شمع در حالت روانگرایی ۱۵۰
۶-۵-۵- تأثیر سطح آب زیرزمینی بر ظرفیت باربری محوری شمع در حالت روانگرایی ۱۵۱
فصل هفتم : نتیجه گیری و ارائهٔ پیشنهاد ۱۵۲
۷-۱- مقدمه ۱۵۳
۷-۲- نتیجه گیری ۱۵۴
۷-۳- ارائه پیشنهاد ۱۵۷

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول (۲-۱) : مقادیر پیشنهادی مقاومت برشی خاکهای روانگرا بر اساس تحقیقات سید و هاردر در سال ۱۹۹۰ ..... ۲۳
جدول (۲-۲) : طبقه بندی خسارات ناشی از روانگرایی خاک بر اساس علت خرابی ۲۶
جدول (۳-۱) : ضریب کاهشی برای پارامترهای خاک در حالت روانگرایی برای تحلیل شرایط بارگذاری اینرسی ۴۳
جدول (۳-۲) : توصیة ACI برای تعیین k_h در خاکهای مختلف ۵۵
جدول (۳-۳) : ممان اینرسی و حداقل شعاع ژیراسیون مقاطع متداول برای شمع ها ۵۷
جدول (۳-۴) : مشخصات شمع مورد استفاده در آزمایش سانتریفیوژ ۶۰
جدول (۳-۵) : مشخصات ماسة مورد استفاده در آزمایش سانتریفیوژ ۶۱
جدول (۳-۶) : مشخصات کامل آزمایشات سانتریفیوژ و نتایج آن ۶۱
جدول (۳-۷) : مشخصات بارگذاری و زلزلة اعمالی در طی آزمایش های سانتریفیوژ ۶۲
جدول (۳-۸) : مشخصات سازه ای شمع های ساختمان هوکوریکو ۶۶
جدول (۳-۹) : مشخصات سازه ای و مقادیر بارکمانشی و ظرفیت باربری شمع های ساختمان N.H.K ۶۸
جدول (۳-۱۰) : مشخصات سازه ای شمع های پل یاچیو ۶۹
جدول (۳-۱۱) : خلاصة نتایج گزارش شده از عملکرد شمع ها در طی زلزله های گذشته ۷۱
جدول (۴-۱) : حدود I_r با توجه به نوع خاک ۸۴
جدول (۴-۲) : مقادیر β برای شمع های کوبیدنی و درجا در خاکهای مختلف (آئین نامه پی کانادا CFEM) ..... ۸۶ ،
جدول (۴-۳) : حدود ضریب N_t برای خاکهای مختلف (CFEM,1992) ۸۸
جدول (۶-۱) : پارامترهای مورد نیاز لایه های مختلف خاک در الگوی موهر – کولمب ۱۱۵
جدول (۶-۲) : پارامترهای مورد نیاز شمع بتن مسلح ۱۱۵
جدول (۶-۳) : مقادیر سختی محوری نوک و سختی برشی جداره شمع جهت استفاده در مدلسازی ۱۱۶
جدول (۶-۴) : مشخصات زلزلة منجیل (۱۳۶۹) اعمال شده به مدل ۱۲۷
جدول (۶-۵) : مقادیر پارامترهای مورد استفادة خاک برای مدل فین ۱۳۰

جدول (۶-۶) : مقایسة میزان جابجایی قائم سر شمع در حالت استاتیکی و دینامیکی (روانگرایی) ۱۳۵
جدول (۶-۷) : میزان فشار جانبی خاک بر شمع طبق روش آئین نامة JRA در مرز بالا و پایین لایة روانگرا ۱۴۹

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (۲-۱) : شکل شماتیک از آرایش ذرات در خاک های ماسه ای اشباع ۱۱
شکل (۲-۲) : ارتباط بین نسبت تنش برشی سیکلی (*CSR*) معادل با عدد *SPT* در بزرگی ۷/۵ ریشتر ۱۸
شکل (۲-۳) : کج شدگی و چرخش ساختمان کاواگیشی چو در اثر روانگرایی خاک در خلال زلزلة نیگاتا ۲۸
شکل (۲-۴) : ایجاد ترک عمیق در اتوبان در اثر زلزلة ۱۹۶۴ آلاسکا ۲۹
شکل (۲-۵) : بخش تخریب شده بزرگراه هانشین در زلزلة ۱۹۹۵ کوبه ۳۰
شکل (۲-۶) : تخریب کامل پایه های پل بزرگراه هانشین در زلزلة ۱۹۹۵ کوبه ۳۱
شکل (۲-۷) : فروریزش بخش عظیمی از بزرگراه هانشین در زلزلة ۱۹۹۵ کوبه ۳۱
شکل (۳-۱) : تاریخچة زمانی پارامترهای مختلف بر اساس تحقیقات یاسودا و بریل ۳۷
شکل (۳-۲) : خرابی یک شمع در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا با تغییر مکان در ۲ متری زمین ۳۷
شکل (۳-۳) : خرابی شمع بر اثر تغییر مکان زمین در زلزلة ۱۹۹۵ کوبه ۳۸
شکل (۳-۴) : نمونة جزئیات پروفیل خاک و شمع و محل تخریب شمع در اثر زلزلة ۱۹۶۴ نیگاتا ۳۹
شکل (۳-۵) : خرابی شمع پل یاچیو در اثر گسترش جانبی خاک در زلزلة ۱۹۶۴ نیگاتا ژاپن ۳۹
شکل (۳-۶) : طرح شماتیک روش آنالیز شبه استاتیکی BNWF برای طراحی شمع ها ۴۱
شکل (۳-۷) : رابطة بین ضریب m_p و نسبت فشار آب منفذی اضافی بر اساس تحقیقات دوبری و همکاران ۴۲
شکل (۳-۸) : چگونگی توزیع فشار جانبی خاک بر پی های شمعی بر اساس آئین نامة JRA ۴۴
شکل (۳-۹) : منحنی P-Y مربوط به خاک رس نرم برای حالت : الف) بار استاتیکی ب) بار سیکلی (API) ۴۵
شکل (۳-۱۰) : منحنی P-Y مربوط به ماسه (API,1993) ۴۶
شکل (۳-۱۱) : خرابی پل شوآ در طی زلزلة ۱۹۶۴ نیگاتا ۴۸
شکل (۳-۱۲) : شکل شماتیک انحراف تیرهای پل شوآ بر اساس طرح گسیختگی Takata و همکاران ۴۸

شکل (۳-۱۳) : مکانیزم های مختلف گسیختگی شمع (ساختمان برج بندر کاندلا بعد از زلزلة ۲۰۰۱ بیهاج) ۴۹
شکل (۳-۱۴) : مکانیزم گسیختگی شمع در اثر گسترش جانبی و ایجاد مفصل پلاستیک در شمع ۵۱
شکل (۳-۱۵) : نحوة محاسبة طول مؤثر ستونها برای شرایط مختلف مرزی بر طبق نظریة اولر ۵۳
شکل (۳-۱۶) : تعمیم روابط اولر توسط بهاتاچاریا در مورد طول مؤثر شمع ها در خاکهای روانگرا ۵۴
شکل (۳-۱۷) : پیشنهاد API (1993) جهت تعیین k_h در خاکهای ماسه ای ۵۶
شکل (۳-۱۸) : تجهیزات آزمایش سانتریفیوژ ؛ الف) جعبة آزمایش ، ب) سنسور LVDT ۵۹
شکل (۳-۱۹) : نحوة مدلسازی شمع (میلة فلزی) و روسازه (کلاهک برنجی) در آزمایش سانتریفیوژ ۵۹
شکل (۳-۲۰) : جزئیات مدلسازی و نحوة نصب سنسورها در آزمایش سانتریفیوژ ۶۰
شکل (۳-۲۱) : جزئیات شمع ها و سنسورهای نصب شده در آزمایش سانتریفیوژ SB-04 .....۶۲
شکل (۳-۲۲) : وضعیت شمع های شمارة ۱۱ و ۱۲ پس از انجام آزمایش SB-06 .....۶۳

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (۳-۲۳) : دیاگرام شماتیک تعریف مفهوم عمق بحرانی برای شمع های مستقر در خاکهای روانگرا ۶۴
شکل (۳-۲۴) : ساختمان هوکوریکو و مشخصات لایه های خاک ۶۶
شکل (۳-۲۵) : گسیختگی شمع های ساختمان N.H.K بعد از زلزلة ۱۹۶۴ نیگاتا ۶۸
شکل (۳-۲۶) : گسیختگی شمع های پل یاچیو در زلزلة ۱۹۶۴ نیگاتا ژاپن ۶۹
شکل (۴-۱) : شکل عمومی منحنی بار- تغییر مکان برای شمع تحت بار محوری فشاری ۷۶
شکل (۴-۲) : نمودار تعادل نیروها برای یک شمع تحت بار محوری فشاری ۷۷
شکل (۴-۳) : مکانیزم های مختلف گسیختگی در پایین و اطراف نوک شمع ها ۸۰
شکل (۴-۴) : الگوی روش مایرهوف در تعیین ظرفیت باربری شمع ها ۸۱
شکل (۴-۵) : تغییرات ظرفیت باربری نوک شمع در ماسة همگن (با فرض مفهوم عمق بحرانی) ۸۱
شکل (۴-۶) : تغییرات $(L_b/B)_{cr}$ با زاویة اصطکاک داخلی خاک برای N_q^* و N_c^* ۸۲
شکل (۴-۷) : نمودار تغییرات λ بر حسب عمق نفوذ شمع ۸۷
شکل (۵-۱) : قسمت ها و منوهای اصلی موجود در نرم افزار FLAC 2D ۹۸
شکل (۵-۲) : نمایش زون ها و گریدلاین ها در شبکة تفاضل محدود ۱۰۱
شکل (۵-۳) : انواع شرایط مرزی بارگذاری دینامیکی موجود در نرم افزار FLAC 2D ۱۰۵
شکل (۵-۴) : استفاده از مرزهای منطقة آزاد در قسمت های جانبی و مرز آرام در قسمت تحتانی مدل ۱۰۷
شکل (۶-۱) : تأثیر تعداد مش ها در راستای قائم بر نشست شمع و خاک اطراف آن برای بار ۲۰۰۰ کیلونیوتن ۱۱۳
شکل (۶-۲) : تأثیر تعداد مش ها در راستای افقی بر جابجایی افقی خاک اطراف شمع برای بار ۲۰۰۰ کیلونیوتن ۱۱۳
شکل (۶-۳) : نحوة مش بندی پروفیل خاک و نصب شمع در نرم افزار FLAC 2D ۱۱۴
شکل (۶-۴) : مشخصات لایه های خاک و ابعاد مدل بکار گرفته شده ۱۱۶
شکل (۶-۵) : کانتورهای جابجایی نقاط مختلف شمع و خاک اطراف آن مربوط به سطح بار ۵۰۰ کیلونیوتن ۱۱۷
شکل (۶-۶) : کانتورهای جابجایی نقاط مختلف شمع و خاک اطراف آن مربوط به سطح بار ۲۰۰۰ کیلونیوتن ۱۱۸
شکل (۶-۷) : کانتورهای جابجایی نقاط مختلف شمع و خاک اطراف آن مربوط به سطح بار ۳۰۰۰ کیلونیوتن ۱۱۸
شکل (۶-۸) : تغییرات نیروی محوری در طول شمع برای بارهای ۱۰۰۰ ، ۱۵۰۰ ، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ کیلونیوتن ۱۲۰

شکل (۶-۹) : توزیع نیروی محوری در طول شمع در نرم افزار FLAC برای بار ۱۵۰۰ کیلونیوتن ۱۲۰
شکل (۶-۱۰) : تغییرات مقاومت اصطکاکی جداری در طول شمع برای بار ۱۰۰۰kN در حالت استاتیکی.....۱۲۱
شکل (۶-۱۱) : تغییرات مقاومت اصطکاکی جداری در طول شمع برای بار ۱۵۰۰ kN در حالت استاتیکی ۱۲۱
شکل (۶-۱۲) : تغییرات مقاومت اصطکاکی جداری در طول شمع برای بار ۲۰۰۰ کیلونیوتن در حالت استاتیکی ۱۲۲
شکل (۶-۱۳) : تغییرات مقاومت اصطکاکی جداری در طول شمع برای بار ۲۵۰۰ کیلونیوتن در حالت استاتیکی ۱۲۲
شکل (۶-۱۴) : تغییرات نیروی محوری بر حسب نشست شمع در حالت استاتیکی ۱۲۳

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (۶-۱۵) : تاریخچهٔ شتاب - زمان زلزلهٔ ۱۳۶۹ منجیل (استان گیلان) ۱۲۸
شکل (۶-۱۶) : تاریخچهٔ سرعت - زمان زلزلهٔ ۱۳۶۹ منجیل (استان گیلان) ۱۲۸
شکل (۶-۱۷) : نسبت فشار آب منفذی به تنش کل خاک تحت شتاب زلزلهٔ اعمال شده به مدل ۱۳۱
شکل (٦-۱۸) : تغییرات نسبت فشار آب منفذی اضافی به تنش مؤثر قائم اولیه ($\Delta u/\sigma_{vo}$) در طول مدت زلزله در وسط لایهٔ ماسه ای روانگرا ۱۳۱

شکل (۶-۱۹) : وضعیت تنش مؤثر در یکی از زون های لایهٔ فوقانی پروفیل خاک (عدم وقوع روانگرایی) ۱۳۲
شکل (۶-۲۰) : وضعیت تنش مؤثر در یکی از زون های لایهٔ تحتانی پروفیل خاک (عدم وقوع روانگرایی) ۱۳۳
شکل (۶-۲۱) : وضعیت تنش مؤثر در یکی از زون های لایهٔ میانی پروفیل خاک (وقوع روانگرایی) ۱۳۳
شکل (۶-۲۲) : کانتورهای جابجایی خاک اطراف شمع مربوط سطح بار ۱۵۰۰ کیلونیوتن در حالت دینامیکی ۱۳۵
شکل (۶-۲۳) : تغییرات نیروی محوری در طول شمع برای بارهای ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلونیوتن در حالت روانگرایی لایهٔ خاک ۱۳۷
شکل (۶-۲۴) : مقایسهٔ تغییرات نیروی محوری در طول شمع برای بار ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلونیوتن در حالت استاتیکی و روانگرایی خاک ۱۳۷
شکل (۶-۲۵) : تغییرات مقاومت اصطکاکی جداری در طول شمع برای بار ۱۰۰۰ کیلونیوتن در حالت روانگرایی لایهٔ خاک ۱۳۹
شکل (۶-۲۶) : تغییرات مقاومت اصطکاکی جداری در طول شمع برای بار ۱۵۰۰ کیلونیوتن در حالت روانگرایی لایهٔ خاک ۱۳۹
شکل (۶-۲۷) : مقایسهٔ تغییرات نیروی محوری در طول شمع برای بار ۱۰۰۰ کیلونیوتن در حالت استاتیکی و حالت روانگرایی ۱۴۰
شکل (۶-۲۸) : مقایسهٔ تغییرات نیروی محوری در طول شمع برای بار ۱۵۰۰ کیلونیوتن در حالت استاتیکی و حالت روانگرایی ۱۴۰
شکل (۶-۲۹) : تغییرات نیروی محوری بر حسب نشست شمع در حالت روانگرایی خاک ۱۴۱
شکل (۶-۳۰) : مقایسهٔ تغییرات نیروی محوری بر حسب نشست شمع در حالت استاتیکی و روانگرایی خاک ۱۴۲
شکل (۶-۳۱) : لنگر خمشی و جابجایی افقی ایجاد شده در شمع با سر آزاد پس از روانگرایی خاک.....۱۴۳
شکل (۶-۳۲) : لنگر خمشی و جابجایی افقی ایجاد شده در شمع با سر گیردار پس از روانگرایی خاک.....۱۴۴

شکل (۶-۳۳) : مقایسهٔ لنگر خمشی و جابجایی افقی ایجاد شده در شمع با سر آزاد و گیردار پس از روانگرایی..... ...۱۴۵
شکل (۶-۳۴) : جابجایی افقی ایجاد شده در شمع با سر آزاد پس از روانگرایی به ازای فرکانس های مختلف ۱۴۶
شکل (۶-۳۵) : تأثیر ضخامت لایهٔ خاک روانگرا بر تغییرات نیروی محوری در طول شمع بر حسب نشست ۱۴۷
شکل (۶-۳۶) : تغییرات ظرفیت باربری محوری شمع برای ضخامت های مختلف لایهٔ خاک روانگرا ۱۴۸
شکل (۶-۳۷) : تصویر شماتیک اعمال فشار جانبی خاک بر شمع در لایهٔ خاک روانگرا طبق آئین نامهٔ JRA ۱۴۹
شکل (۶-۳۸) : تأثیر نسبت طول به قطر شمع بر تغییرات نیروی محوری در طول شمع بر حسب نشست ۱۵۰
شکل (۶-۳۹) : تأثیر سطح تراز آب زیرزمینی بر تغییرات نیروی محوری در طول شمع بر حسب نشست ۱۵۱

تحلیل ظرفیت باربری محوری و رفتار شمع های بتن مسلح مستقر در خاکهای مستعد روانگرایی

چکیده:

استفاده از پی های عمیق (شمع ها) در طی دهۀ اخیر، افزایش قابل توجهی در سواحل ماسه ای کشور که غالباً دارای ساختار خاک دانه ای اشباع هستند، پیدا کرده است. تنش های زلزله در مناطقی با چنین ساختار خاک موجب افزایش فشار آب منفذی و کاهش مقاومت خاک و در نهایت ایجاد حالت روانگرایی در خاک می گردد که اثرات مخرب و پرهزینه ای را بر روی پی های عمیق خواهد گذاشت. لذا با توجه به اهمیت این موضوع، تحقیق حاضر به بررسی و تحلیل رفتار شمع ها در خاکهای روانگرا با تأکید ویژه بر ظرفیت باربری محوری فشاری پرداخته است. بدین منظور با استفاده از مدلسازی کامپیوتری، ابتدا یک مدل دو بعدی شمع و خاک در شرایط عادی و استاتیکی تولید و با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در نرم افزار Flac 2D تحلیل گردید ولی به دلیل فقدان داده در مراجع مربوطه، نتایج صحت سنجی نشده و تنها با روش های تئوریک متداول تعیین ظرفیت باربری محوری شمع ها نظیر روش مایرهوف، وسیک، α، β و λ مورد مقایسه قرار گرفت. سپس با مدلسازی روانگرایی پروفیل خاک مورد نظر بوسیلۀ اعمال زلزلۀ سال ۱۳۶۹ منجیل گیلان، ظرفیت باربری محوری شمع در شرایط روانگرایی خاک بررسی گردید. در محاسبۀ ظرفیت باربری محوری شمع، رفتار نیرو - نشست شمع نیز مورد توجه قرار گرفته است. در مدلسازی فوق، رفتار شمع مطابق با مدل الاستیک و رفتار خاک در حالت استاتیکی مطابق با مدل موهر- کلمب و در حالت دینامیکی (روانگرایی) مطابق با مدل فین در نظر گرفته شده است. جهت توزیع نیروی محوری اعمالی در طول شمع نیز از مکانیزم کاهش نیروی محوری در اثر فعال شدن مقاومت برشی خاک در اثر جابجایی شمع نسبت به خاک اطراف و انتقال بار از شمع به خاک استفاده گردید.

نتایج این تحقیق نشان می دهند که به علت تراکم خاک در اثر زلزله و وقوع روانگرایی، جابجایی سر شمع در حالت دینامیکی و روانگرایی خاک، تقریباً ۱۰ تا ۱۵ برابر جابجایی سر شمع در حالت استاتیکی شده است. همچنین ظرفیت باربری محوری شمع در حالت روانگرایی خاک به حدود ۶۰ درصد ظرفیت باربری در حالت استاتیکی تقلیل پیدا کرده است. مطالعات پارامتریک انجام شده نیز نشان دادند که نوع اتصال سر شمع، فرکانس زلزله، ضخامت لایۀ خاک روانگرا، نسبت طول به قطر شمع و سطح آب زیرزمینی از عوامل تأثیر گذار بر ظرفیت باربری محوری و رفتار شمع ها در خاکهای مستعد روانگرایی به شمار می روند.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

شمع ها یا پی های عمیق، عناصر ستونی‌نسبتاً لاغر از جنس چوب، بتن یا فولاد هستند که به صورت قائم و یا کمي شیبدار جهت انتقال بارهای ناشی از سازه های فوقانی به لایه هاي سخت تر و مقاوم تر زمین در اعماق پایین تر به کار برده مي شوند. طول یا عمق قرارگیری شمع در خاك، سطح مقطع، جنس، روش استقرار و چگونگي عملکرد شمع ها از متغیرهاي اصلي بوده که با توجه به شرایط و نیازهاي هر پروژه تعیین مي گردند.

کاربرد شمع ها برای موارد مختلف پروژه های عمرانی را می توان بصورت زیر خلاصه نمود:

۱- لایة سطحي سست، نشست پذیر، تورم زا، فروریزشي و یا بطور کلی مسئله دار باشد.

۲- پی سطحی نتواند بارهای افقی، مایل و یا نیروهای برکنش (زیرفشار) را تحمل نماید.

۳- جهت تقلیل و کنترل میزان نشست مجموعة زیرسازه در صورتی که روسازه نسبت به نشست و نیز جابجایی های غیرمجاز، حساس باشد.

۴- در مواردی که خاک زیر و اطراف پی در معرض خطر آبشستگی قرار داشته باشد.

۵- مقابله با عواقب آتی حاصل از ساخت و سازها در مجاورت پروژه و یا بناهای موجود.

۶- کنترل لغزش و رانش زمین و افزایش پایداری شیب ها.

۷- سطح آب زیرزمینی در منطقه بالا باشد و یا فشار آرتزین در لایه های خاک وجود داشته باشد، بطوری که امکان احداث پی کم عمق وجود نداشته باشد.

۸- افزایش سختی خاک زیر پی ماشین آلات برای کنترل دامنة ارتعاشات پی و همچنین کنترل فرکانس طبیعی سیستم.

۹- مقاومت در برابر نیروهای کششی یا واژگونی برای پی های زیر سطح آب و یا جلوگیری از لغزش و واژگونی سازه های بلند.

۱۰- ایجاد مهار در برابر نیروهاي افقي و زلزله یا ضربه گیري در اسکله ها.

۱۱- حفاظت سازه در مقابل اثرات مخرب ناشی از روانگرایی خاک.

از نظر نحوة اجرا، شمع ها را می توان به دو نوع شمع های کوبیدنی[۱] و شمع های درجا (ریختنی)[۲] تقسیم بندی نمود. در نوع اول، شمع با استفاده از دستگاهی بنام شمع کوب در زمین کوبیده یا رانده می شود و در نوع دوم، ابتدا چاهی در زمین حفر شده و سپس همانند یک ستون بتنی، آرماتوربندی و بتن ریزی درون چاه انجام می گیرد که این نوع شمع کاربرد بیشتری در پروژه های متداول عمرانی نظیر ساخت و ساز ابنیه دارد.

بارهای وارد بر شمع، توسط عکس العمل کف و جداری شمع تحمل می شود. در صورتی که عمدة توان باربری شمع توسط مقاومت کف آن تأمین گردد و انتهای شمع بر روی یک بستر سخت قرار گیرد، به آن شمع اتکایی و در صورتی که بخش قابل توجهی از ظرفیت باربری شمع توسط مقاومت جداری آن تأمین شود، به آن شمع اصطکاکی گفته می شود.