

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: کمیل خاکپور

را با عنوان: بررسی اثر پدیده روانگرایی بر پی‌های شمعی

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی تأیید می‌کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	دانشیار	دکتر علی کمک پناه	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر محمد علیایی	۲- استاد مشاور
	-	-	۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر علی اکبر گلشنی	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر رضا مهین روستا	۵- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر علی اکبر گلشنی	۶- نماینده گروه

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

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 با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

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، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

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

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

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 فعالیت های 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 گرایش خاک و پی است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر علی کمک پناه، مشاوره جناب آقای دکتر محمد علیایی 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 را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه 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 کتاب های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب کمیل خاکپور دانشجوی رشته عمران گرایش خاک و پی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته عمران گرایش خاک و پی

بررسی اثر پدیده روانگرایی بر پی‌های شمعی

نگارنده:

کمیل خاکپور

استاد راهنما:

دکتر علی کمک پناه

استاد مشاور:

دکتر محمد علیایی

تقدیم بہ

پدر و مادر

عزیز و مہربانم

و خواہران

دلسوز و فداکارم

کہ در تمام مراحل زندگی مشوق و یاور من بودند

شکر و قدردانی

"من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق"

نخارش و تدوین هر مجموعه ای بدون تردید افزون بر پوشش و پرورش گری های نگارنده آن، حاصل افکار و اندیشه های است که برخی آن را مطرح کرده اند، برخی آن را بطن داده اند و برخی دیگر نکات مبهم آن را روشن ساخته اند. نخارش این مجموعه نیز به هیچ وجه از این قاعده خارج نبوده و از این رو بر خود وظیفه می دانم که از زحمات افراد زیادی که از اندیشه ها و توصیه های آنان بهره بردم، قدردانی نمایم.

عذر تقصیر کلمات، که یارای انتقال معنا از قلب این نوآموخته را در برابر آن معلمان دلسوز و فداکار ندارد.

استاد بزرگوارم، جناب آقایان

دکتر علی کجک پناه

دکتر محمد علیایی

با لطف خداوند و راهنمایی شایسته بزرگواران، پایان نامه کارشناسی ارشد خود را مکتوب کرده و آن را به خدمت شاعر عزیزان تقدیم می دارم. از صمیم قلب از الطاف و زحمات شما شاکریم و خود را همواره در حرود دیدگاه علمی و اخلاقی ساگرد شامی دانم.

همچنین از زحمات و راهنمایی های استاد بزرگوارم، آقایان دکتر رضا مبین روستا، دکتر سید شهاب الدین شربی، دکتر محمود زیدانی و دکتر علی اکبر گلشنی که در بهر نشست این پایان نامه مرایاری کردند، کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم، دکتر مهدی آشتیانی، دکتر جواد هدایتی و مهندس سارا عمامی که بارها راهنمایی های ارزنده خود مرا در انجام این تحقیق یاری نموده اند، پاسکزاری می کنم.

در ضمن تمامی نقاط ضعف این مجموعه متوجه نگارنده آن است.

کمیل خاکپور

بهار ۱۳۸۹

چکیده

در زلزله‌های بزرگ مشاهده می‌شود، که حضور لایه روانگرا سبب آسیب‌های جدی در پی‌های شمعی شده است. با توجه به کاربرد وسیع پی‌های شمعی، ایمنی شمع‌ها در زمان زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مطالعات پس از وقوع زلزله در خاک روانگرا نشان داده است که گسیختگی‌ها فقط در سرشمع‌ها بوجود نیامده است بلکه در قسمت‌های پایین‌تر نیز، ترک و گسیختگی مشاهده شده است. نتایج بدست آمده از این پدیده نشان داد که هم نیروی ناشی از سازه و هم اندرکنش سینماتیکی بین شمع و خاک نقش مهمی در رفتار مکانیکی شمع‌ها دارد. از آنجایی که تأثیر روسازه در تحلیل‌های اندرکنش شمع - خاک مؤثر است در نتیجه تحلیل باید براساس اندرکنش شمع - خاک - سازه صورت گیرد.

مدل‌های متعددی برای تولید فشار آب حفره‌ای ارائه شده است و از آنجایی که این مدل‌ها برای نمونه‌های خاصی در آزمایشگاه تعریف شده‌اند در شبیه‌سازی عددی کاربرد زیادی ندارند زیرا در برنامه‌های عددی مدل باید جامع و کلی باشد. در این تحقیق جهت مدل‌سازی روانگرایی، از مدل فین به دلیل سادگی و مطابقت آن با مسائل واقعی استفاده شده است.

در این تحقیق از روش تفاضل محدود (FDM)، جهت بررسی تأثیر ضخامت لایه روانگرا، شیب لایه روانگرا و تراز آب زیرزمینی بر پی‌های شمعی استفاده شده است. نتیجه بیانگر آن است که با افزایش شیب لایه روانگرا، لنگر خمشی ماکزیمم، افزایش می‌یابد ولی شیب این نمودارها در ترازهای آب پایین (نزدیک به سطح زمین) بیشتر است. این نوع رفتار در نیروی برشی ایجاد شده در شمع‌ها نیز مشاهده شده است.

کلید واژه: شمع، خاک روانگرا، تفاضل محدود، تحلیل دینامیکی، مدل فین

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	د
فهرست شکل‌ها.....	ه
فصل ۱- مقدمه و کلیات.....	۱
۱-۱- پیشگفتار.....	۱
۲-۱- پی‌های عمیق (شمع‌ها).....	۷
۳-۱- هدف از تحقیق حاضر.....	۸
۴-۱- ساختار پایان‌نامه.....	۸
فصل ۲- مطالعه و بررسی متون علمی و فنی.....	۱۰
۱-۲- مطالعات صحرایی.....	۱۰
۱-۱-۲- مکانیزم خرابی ناشی از خمش.....	۱۱
۲-۱-۲- مکانیزم خرابی ناشی از کمانش.....	۱۳
۲-۲- مطالعات آزمایشگاهی روی مدل‌های فیزیکی.....	۱۳
۳-۲- مطالعات عددی.....	۱۵
فصل ۳- مطالعه پدیده روانگرایی.....	۱۹
۱-۳- مقدمه.....	۱۹
۲-۳- تاریخچه مطالعات.....	۱۹
۳-۳- مکانیسم روانگرایی.....	۱۹
۴-۳- پدیده‌های مرتبط با روانگرایی.....	۲۲
۱-۴-۳- روانگرایی جریان‌ی.....	۲۲
۲-۴-۳- تحرک سیکلی.....	۲۳
۵-۳- خاک‌های مستعد روانگرایی.....	۲۳
۱-۵-۳- معیار تاریخی.....	۲۳
۲-۵-۳- عوامل زمین‌شناسی.....	۲۴
۳-۵-۳- بافت و ساختمان خاک.....	۲۴
۴-۵-۳- شرایط اولیه خاک.....	۲۴
۱-۴-۵-۳- مفهوم نسبت تخلخل بحرانی.....	۲۴
۲-۴-۵-۳- مفهوم تغییر شکل حالت پایدار.....	۲۵
۶-۳- ضوابط آیین‌نامه‌ای در طراحی شمع‌ها در خاک‌های روانگرا.....	۲۹
۷-۳- مقاومت برشی خاک در حالت روانگرا.....	۳۲
۸-۳- روش‌های ارزیابی پتانسیل روانگرایی.....	۳۲

فصل ۴ - مدل‌های رفتاری استفاده شده در این تحقیق.....	۴۰
۱-۴- معیار تسلیم موهر کولمب.....	۴۰
۲-۴- مدل موهر کولمب در نرم افزار FLAC.....	۴۱
۱-۲-۴- تابع تسلیم و تابع پتانسیل.....	۴۲
۲-۲-۴- اصلاحات پلاستیک.....	۴۴
۳-۴- مدل فین جهت تولید فشار آب حفره‌ای.....	۴۵
فصل ۵ - معرفی نرم افزار FLAC2D.....	۴۸
۱-۵- مقدمه.....	۴۸
5-2- حوزه کاربرد برنامه FLAC2D.....	۴۸
۳-۵- تفاضل محدود.....	۴۹
۴-۵- روش تفاضل محدود صریح.....	۴۹
۵-۵- آنالیز لاگرانژی.....	۵۰
۶-۵- ملاحظات مدل سازی دینامیکی.....	۵۰
۱-۶-۵- بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی.....	۵۱
۲-۶-۵- مرزهای آرام.....	۵۲
۳-۶-۵- مرزهای میدان آزاد.....	۵۲
۴-۶-۵- میرایی میکانیکی.....	۵۳
۱-۴-۶-۵- میرایی طبیعی به همراه مدل موهر کولمب.....	۵۴
۲-۴-۶-۵- میرایی هیسترتیک و مدل موهر کولمب.....	۵۶
۵-۶-۵- انتقال موج.....	۵۸
فصل ۶ - پارامترهای سطح مشترک شمع و خاک.....	۵۹
۱-۶- مقدمه.....	۵۹
۲-۶- المان شمع.....	۵۹
۱-۲-۶- رفتار فنرهای برشی.....	۵۹
۲-۲-۶- رفتار فنرهای نرمال.....	۶۰
۳-۶- تعیین پارامترهای سطح مشترک شمع و خاک.....	۶۲
۴-۶- محاسبه پارامترهای نرمال سطح مشترک شمع و خاک برای این تحقیق.....	۶۳
فصل ۷ - فرایند مدل سازی.....	۷۱
۱-۷- مقدمه.....	۷۱
۲-۷- تعیین فرکانس طبیعی مدل.....	۷۱
۳-۷- مدل سازی.....	۷۲
۱-۳-۷- مرحله اول مدل سازی.....	۷۴
۲-۳-۷- مرحله دوم مدل سازی.....	۷۴
۳-۳-۷- مرحله سوم مدل سازی.....	۷۵

۷۶	.....مرحله چهارم مدل سازی	۴-۳-۷
۷۸	.....نتیجه گیری و پیشنهادات	۸-۸
۷۸	.....نتیجه گیری	۸-۱
۸۲	.....موضوعات در حال مطالعه و بررسی	۸-۲
۸۳	.....پیشنهادات برای ادامه تحقیق	۸-۳
۸۴	.....فهرست مراجع	

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- مهمترین زلزله‌های قرن بیستم همراه با خسارت‌های وارده.....	۶
جدول ۱-۲: خلاصه تعدادی از مطالعات انجام شده در زمینه بررسی عملکرد شمع‌ها در خاک روانگرا... ۱۸	۱۸
جدول ۱-۳- مقادیر پیشنهادی مقاومت برشی خاک روانگرا بر اساس تحقیقات سید و هاردر در سال ۱۹۹۰.....	۳۲
جدول ۱-۶: پارامترهای خاک.....	۶۴
جدول ۲-۶: نیروی نرمال ماکزیمم بر واحد طول و حاصلضرب تنش مؤثر همه‌جانبه ماکزیمم در محیط شمع برای ماسه سست در عمق‌های ۳، ۵ و ۷ متری.....	۶۶
جدول ۳-۶: پارامترهای نرمال سطح مشترک شمع و ماسه سست.....	۶۷
جدول ۴-۶: نیروی نرمال ماکزیمم بر واحد طول و حاصلضرب تنش مؤثر همه‌جانبه ماکزیمم در محیط شمع برای ماسه متراکم در عمق‌های ۱۱، ۱۲.۵ و ۱۴ متری.....	۶۹
جدول ۵-۶: پارامترهای نرمال سطح مشترک شمع و ماسه متراکم.....	۷۰
جدول ۶-۶: پارامترهای نرمال سطح مشترک شمع و خاک.....	۷۰
جدول ۱-۷: فرکانس و پریود طبیعی قاب یک درجه آزادی.....	۷۲
جدول ۲-۷: مشخصات شمع.....	۷۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: (الف) گسیختگی یک ساختمان مسکونی در زلزله بیوج هند (۲۰۰۱) - (ب): کج شدن ساختمان بلند در زلزله کوبه (۱۹۹۵) - (ج) کج شدن ساختمان در زلزله Koeceli ترکیه (۱۹۹۹)..... ۱	۱
شکل ۲-۱: (الف) پلی در ایالات متحده بعد از زلزله آلاسکا (۱۹۶۴) - (ب) پل شوا در ژاپن بعد از زلزله نیگاتا (۱۹۶۴) - (ج) مخازنی در ژاپن بعد از زلزله کوبه (۱۹۹۵)..... ۲	۲
شکل ۳-۱: گسیختگی در شمع در اثر پدیده روانگرایی..... ۳	۳
شکل ۴-۱: (الف) پدیده گسترش جانبی در اطراف پایه پل در زلزله کوبه (۱۹۹۵) (ب) پدیده گسترش جانبی در زلزله بیوج (۲۰۰۱)..... ۳	۳
شکل ۵-۱: گسیختگی پل شوا..... ۴	۴
شکل ۶-۱: طرح اجمالی از گسیختگی پل شوا..... ۴	۴
شکل ۷-۱: تاریخچه زمانی پارامترهای مختلف برای شمع واقع در خاک روانگرا..... ۵	۵
شکل ۱-۲: خرابی وارده به شمع‌های شماره ۱ (شمع اصطکاکی) و شماره ۲ (شمع اتکایی) در زلزله نیگاتا (۱۹۶۴)..... ۱۰	۱۰
شکل ۲-۲: مدل‌سازی یک بعدی سازه-شمع - خاک (روش وینکلر)..... ۱۵	۱۵
شکل ۱-۳: شماتیک از آرایش ذرات خاک ماسه‌ای اشباع..... ۲۱	۲۱
شکل ۲-۳: کاربرد خط CVR به عنوان مرز بین خاک مستعد روانگرا و غیرمستعد روانگرا (σ'_{3c}): تنش مؤثر همه‌جانبه اولیه)..... ۲۵	۲۵
شکل ۳-۳: روانگرایی محدود و اتساع در آزمایش با بارگذاری یکنواخت..... ۲۶	۲۶
شکل ۴-۳: رفتار زهکشی نشده ماسه‌ی Toyoura در حالت الف) سست، ب) نیمه متراکم، ج) متراکم..... ۲۷	۲۷
شکل ۵-۳: خط حالت پایدار در صفحه τ ، σ' و e ۲۷	۲۷
شکل ۶-۳: همبستگی بین مقاومت سیکلی و عدد SPT..... ۲۸	۲۸
شکل ۷-۳: تاریخچه عدد SPT برای خاک‌های غیرچسبنده با درصد ریزدانه بین ۵ تا ۱۵ درصد و منحنی‌های ارائه شده برای ماسه تمیز و ماسه با درصد ریزدانه ۱۵ درصد..... ۲۹	۲۹
شکل ۸-۳: مقایسه شماتیک دو روش برای اعمال بار ناشی از حرکت جانبی خاک..... ۳۰	۳۰
شکل ۹-۳: رابطه بین ضریب m_p و نسبت اضافه فشار آب حفره‌ای..... ۳۱	۳۱
شکل ۱۰-۳: توزیع فشار جانبی خاک بر اساس JRA..... ۳۱	۳۱
شکل ۱۱-۳: رابطه بین نسبت مقاومت تناوبی و $(N_1)_{60}$ برای زلزله با بزرگی ۷.۵ ریشتر..... ۳۴	۳۴

- شکل ۳-۱۲: ضریب K_σ در اصلاح CRR ۳۶
- شکل ۳-۱۳: رابطه ξ_R -CRR بر اساس روابط استخراجی برای روانگرایی ۳۸
- شکل ۳-۱۴: تعیین شاخص پارامتر وضعیت نسبی ۳۸
- شکل ۴-۱: سطح تسلیم معیارهای موهر کولمب و ترسکا ۴۱
- شکل ۴-۲: معیار تسلیم موهر کولمب ۴۲
- شکل ۴-۳: مدل موهر کولمب: فضای مورد استفاده در تعریف قانون جریان ۴۴
- شکل ۵-۱: سیکل محاسبات صریح ساده ۵۰
- شکل ۵-۲: انواع شرایط مرزی بارگذاری دینامیکی موجود در FLAC ۵۱
- شکل ۵-۳: مدل تحلیل دینامیکی سازه‌های سطحی با در نظر گرفتن مرزهای میدان آزاد ۵۳
- شکل ۵-۴: مدل موهر کولمب و منحنی سیکلیک تنش - کرنش ۵۵
- شکل ۵-۵: نسبت مدول و میرایی در برابر کرنش سیکلیک در مدل الاستوپلاستیک موهر کولمب ۵۶
- شکل ۵-۶: منحنی تنش - کرنش سیکلیک در مدل موهر کولمب با میرایی هیسترتیک ۵۷
- شکل ۶-۱: رفتار فنر برشی در المان شمع ۶۰
- شکل ۶-۲: رفتار فنر نرمال، در المان شمع ۶۱
- شکل ۶-۳: نشانه قراردادی برای مقاومت فنر نرمال ۶۱
- شکل ۶-۴: مدل مفهومی جهت تخمین پارامترهای فنر نرمال ۶۳
- شکل ۶-۵: نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابه‌جایی نرمال نسبی در عمق ۳ متری ۶۵
- شکل ۶-۶: نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابه‌جایی نرمال نسبی در عمق ۵ متری ۶۵
- شکل ۶-۷: نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابه‌جایی نرمال نسبی در عمق ۷ متری ۶۶
- شکل ۶-۸: نمودار معیار مقاومت نرمال لایه اول (ماسه سست) ۶۷
- شکل ۶-۹: نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابه‌جایی نرمال نسبی در عمق ۱۱ متری ۶۸
- شکل ۶-۱۰: نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابه‌جایی نرمال نسبی در عمق ۱۲.۵ متری ۶۸
- شکل ۶-۱۱: نمودار نیرو در واحد طول در برابر جابه‌جایی نرمال نسبی در عمق ۱۴ متری ۶۹
- شکل ۶-۱۲: نمودار معیار مقاومت نرمال لایه دوم (ماسه متراکم) ۷۰
- شکل ۷-۱: قاب یک درجه آزادی جهت بررسی صحت تحلیل آنالیز مودال ۷۱
- شکل ۷-۲: تاریخچه زمانی جابه‌جایی قاب ۷۲
- شکل ۷-۳: هندسه مدل ۷۳
- شکل ۷-۴: تاریخچه زمانی شتاب ۷۳
- شکل ۷-۵: کانتورهای تنش در جهت Y (σ_{yy}) ۷۴

- شکل ۶-۷: کانتورهای فشار آب حفره‌ای ۷۵
- شکل ۷-۷: مدل مرحله سوم مدل‌سازی ۷۵
- شکل ۸-۷: منحنی تنش - کرنش در لایه غیرروانگرا ۷۶
- شکل ۹-۷: منحنی تنش - کرنش در لایه روانگرا ۷۷
- شکل ۱۰-۷: تغییرات فشار آب حفره‌ای و تنش مؤثر نسبت به زمان ۷۷
- شکل ۱-۸: لنگر خمشی ماکزیمم ایجاد شده در شمع‌ها، در برابر تراز آب زیرزمینی برای لایه روانگرا با شیب‌های مختلف ۷۹
- شکل ۲-۸: لنگر خمشی ماکزیمم ایجاد شده در شمع‌ها، در برابر شیب لایه روانگرا در ترازهای آب زیرزمینی مختلف ۸۰
- شکل ۳-۸: ماکزیمم برش ایجاد شده در شمع‌ها، در برابر تراز آب زیرزمینی برای لایه روانگرا با شیب‌های مختلف ۸۱
- شکل ۴-۸: ماکزیمم برش ایجاد شده در شمع‌ها، در برابر شیب لایه روانگرا در ترازهای آب زیرزمینی مختلف ۸۲

فصل ۱- مقدمه و کلیات

۱-۱- پیشگفتار

زلزله سبب آسیب‌های فراوانی به سازه‌های مهندسی می‌شود و اغلب سبب تلفات انسانی می‌گردد. زلزله اخیر در بیوج^۱ هند در ۲۵ ژوئن ۲۰۰۱ میلادی پنج میلیارد دلار خسارت مالی و در حدود ۲۰۰۰۰ نفر کشته بر جا گذاشت. پیش‌بینی دقیق زمان وقوع زمین لرزه سبب کاهش این خسارت‌ها می‌شود و با توجه به اینکه این امر مقدور نمی‌باشد بنابراین طراحی سازه پایدار در برابر زمین لرزه، از اهمیت خاصی برخوردار است و به عبارت دیگر سازه سبب تلفات انسانی می‌شود نه زمین لرزه.



شکل ۱-۱: (الف) گسیختگی یک ساختمان مسکونی در زلزله بیوج هند (۲۰۰۱) - (ب) کج شدن ساختمان بلند در زلزله کوبه (۱۹۹۵) - (ج) کج شدن ساختمان در زلزله Koeceli ترکیه (۱۹۹۹)

^۱ Bhuj

معمولا گسیختگی سازه‌ای در اثر زلزله، ناشی از عیب‌های سازه‌ای یا گسیختگی شالوده یا ترکیبی از این دو می‌باشد. شکل ۱-۱ (الف) نشان می‌دهد که گسیختگی ساختمان مسکونی ناشی از عیب‌های سازه‌ای از قبیل شکل‌پذیری ضعیف سازه و نامناسب بودن تیرستون‌ها می‌باشد ولی در شکل ۱-۱ (ب و ج) مشاهده می‌شود که گسیختگی شالوده سبب خسارت به سازه شده است در نتیجه شالوده نقش مهمی در پایداری سازه ایفا می‌کند. رفتار شالوده‌ها با توجه به پاسخ خاک در اثر زلزله بیان می‌شود [۱].

شکل ۲-۱ پی‌های شمعی را نشان می‌دهد که در اثر پدیده روانگرایی خسارت دیده‌اند.



الف



ج

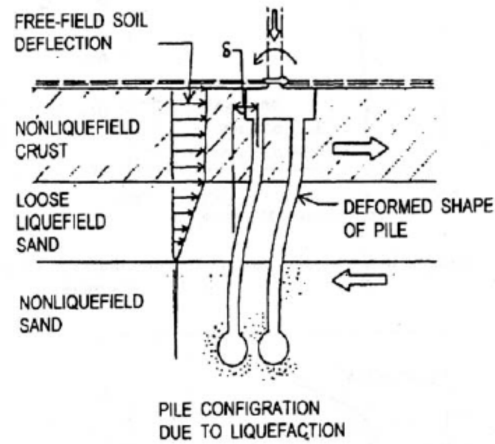
ب

شکل ۲-۱: (الف) پلی در ایالات متحده بعد از زلزله آلاسکا (۱۹۶۴) - (ب) پل شوا^۱ در ژاپن بعد از زلزله نیگاتا (۱۹۶۴) - (ج) مخازنی در ژاپن بعد از زلزله کوبه (۱۹۹۵)

وقتی پدیده روانگرایی رخ می‌دهد خاک مقاومت برشی خود را از دست می‌دهد. مطابق شکل ۳-۱ با حرکت لایه روانگرا، لایه غیرروانگرا که در بالای لایه روانگرا قرار دارد سبب گسیختگی خمشی در شمعه‌ها می‌شود. این نوع گسیختگی را، گسیختگی ناشی از گسترش جانبی^۲ می‌نامند. در این نوع گسیختگی لایه غیرروانگرا به شمع نیرو وارد می‌کند [۲]. شکل ۴-۱ نمونه‌هایی از پدیده گسترش جانبی را نشان می‌دهد.

¹ Showa

² Lateral spreading



شکل ۳-۱: گسیختگی در شمع در اثر پدیده روانگرایی



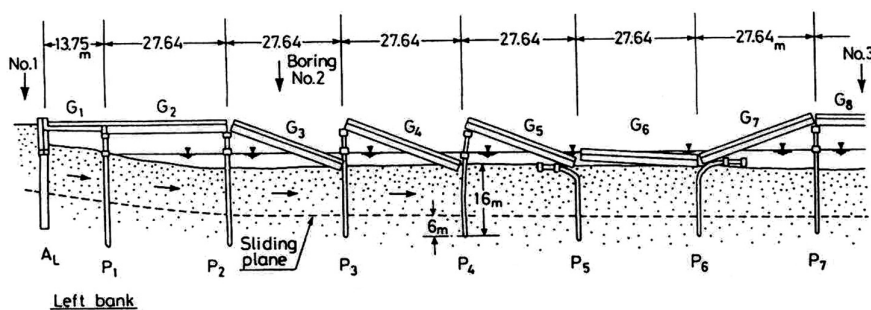
شکل ۴-۱: (الف) پدیده گسترش جانبی در اطراف پایه پل در زلزله کوبه (۱۹۹۵) (ب) پدیده گسترش جانبی در زلزله بیوج (۲۰۰۱)

هامادا [۳] و اشیهارا [۴] گسیختگی رخ داده در پل شوا که در شکل ۲-۱ (ب)، شکل ۵-۱ و شکل ۶-۱ مشاهده می‌شود به علت پدیده گسترش جانبی بیان نمودند. همان‌طور که در شکل ۶-۱ مشاهده می‌کنید، شمع P5 به سمت چپ و شمع P6 به سمت راست تغییر شکل دادند. اگر پدیده گسترش جانبی رخ داده باشد جهت تغییر شکل‌ها باید در جهت شیب باشد و همچنین شمع‌های نزدیک ساحل سالم باقی ماندند. در پدیده گسترش جانبی به علت بالا بودن لنگر خمشی در مرز بین ناحیه روانگرا و غیرروانگرا، مفصل پلاستیک اطراف این ناحیه رخ می‌دهد در حالی که در شکل ۶-۱ مشاهده می‌شود مفصل در یک سوم بالایی شمع رخ می‌دهد. زمانی شمع لاغر در خاک قرار می‌گیرد خاک اطراف به عنوان تکیه‌گاه جانبی عمل می‌کنند و با افزایش طول شمع بار مجاز شمع به علت افزایش سطح اصطکاک شمع و خاک، افزایش می‌یابد اما زمانی که در هنگام زلزله پدیده روانگرایی رخ می‌دهد تنش‌های مؤثر همه‌جانبه شمع

کاهش می‌یابد و ممکن است نتواند شرایط تکیه‌گاهی را در طول شمع تأمین نماید در این زمان بار کمانش با مربع طول شمع کاهش می‌یابد و امکان دارد کمانش سبب گسیختگی شمع شود.



شکل ۱-۵: گسیختگی پل شوا



شکل ۱-۶: طرح اجمالی از گسیختگی پل شوا [۵]

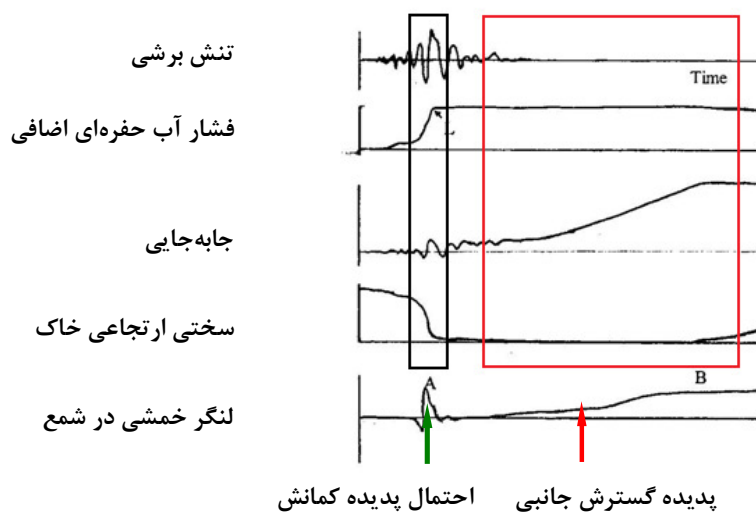
همان‌طور که در شکل ۱-۷ مشاهده می‌شود حتی در زمین‌های شیب‌دار این احتمال وجود دارد که قبل از پدیده گسترش جانبی در خاک روانگرا، کمانش سبب گسیختگی در شمع‌ها شود [۶].

در خاک‌های با پتانسیل روانگرایی، حتی قبل از آنکه خاک در حالت روانگرایی کامل و سختی خاک در حالت مینیمم قرار گیرد، فونداسیون شمعی ممکن است در معرض تکان‌های قابل توجهی قرار گیرد. در طول زمان تکان خوردن، شمع مستعد هر گونه آسیب (شامل گسترش ترک‌ها، ایجاد مفصل پلاستیک و نهایتاً شکست) می‌باشد [۷]. این آسیب‌ها را می‌توان در دو بازه زمانی متفاوت بررسی کرد. اول در مدت زمان وقوع زلزله و دوم پس از وقوع زلزله که در اثر حرکت توده خاک در زمین‌های شیب‌دار (گسترش جانبی^۱) می‌باشد. همان‌طور که شکل ۱-۷ مشاهده می‌شود حتی در زمین‌های شیب‌دار قبل از وقوع گسترش جانبی، ممکن است در یک لحظه اتکا جانبی شمع از بین رود و در اثر کاهش تنش‌های مؤثر و مقاومت برشی خاک، کمانش در شمع رخ دهد [۸]. همچنین در محدوده زمانی دوم، پس از زلزله،

¹ Lateral spreading

روانگرایی منجر به افزایش قابل توجه تغییر مکان سرشمع نسبت به حالت غیرروانگرا می‌شود. اگر پس از روانگرایی، مقاومت باقی مانده خاک از تنش‌های برشی استاتیکی بوجود آمده در اثر شیب یا یک سطح آزاد مثل ساحل رودخانه کمتر باشد، گسترش جانبی قابل توجه ممکن است رخ دهد. در اثر پدیده گسترش جانبی، توده خاک می‌تواند فشارهای ویران کننده‌ای بر شمع‌ها اعمال کند که منجر به خرابی کامل آنها شود. در طول لرزه‌های ۱۹۶۴ نیگاتا و ۱۹۹۵ کوبه، چنین خرابی‌هایی رایج و معمول بوده است [۷].

از طرف دیگر اگر یک لایه غیر روانگرا روی خاک روانگرا حرکت کند، گسترش جانبی بسیار مخرب‌تر می‌باشد [۷].



شکل ۱-۷: تاریخچه زمانی پارامترهای مختلف برای شمع واقع در خاک روانگرا