



دانشگاه گیلان  
دانشکده فنی

دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی رفتار باربری دینامیکی پی های سطحی واقع بر بستر آبرفتی شهر رشت

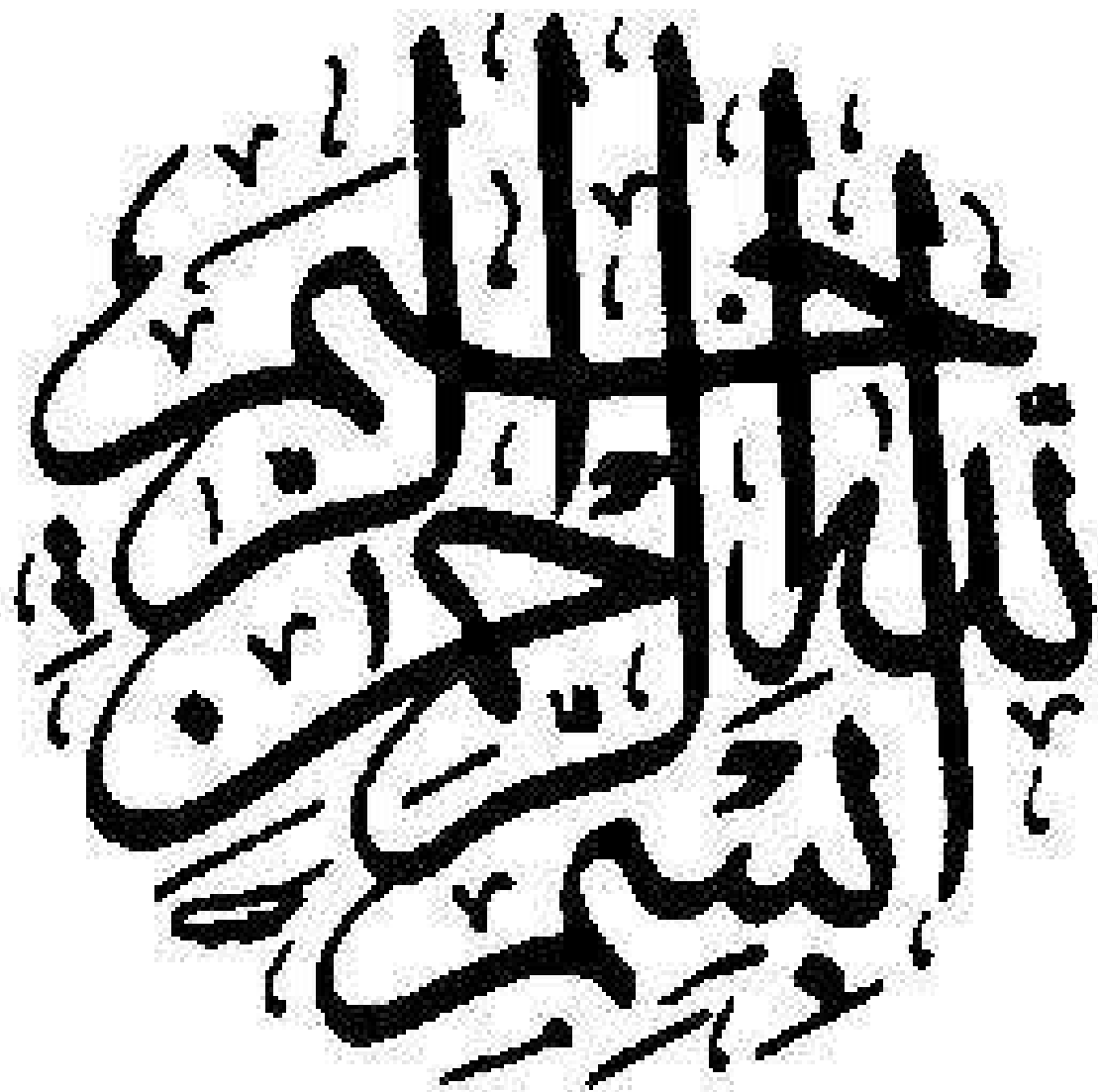
از

علیرضا خسروانی مقدم

استاد راهنما

دکتر علی قربانی

شهریور ۱۳۹۰



دانشکده  
گروه عمران  
گرایش خاک و پی

بررسی رفتار باربری دینامیکی پی های سطحی  
واقع بر بستر آبرفتی شهر رشت

از  
علیرضا خسروانی مقدم

استاد راهنما  
دکتر علی قربانی  
استادان مشاور  
دکتر رضا صالح جلالی  
دکتر محمد حسن بازیار

شهریور ۱۳۹۰

## تقدیم پایان نامه

این پایان نامه ۱۶۰ صفحه ای را که بخاطر آن ۱۶۸ بار مسیر تهران - رشت را در طی ۳ سال پیمودم، به مادر و پدرم که تنها سرمایه زندگیم می باشند، تقدیم می کنم.

## تقدیر و تشکر

بدینوسیله از استاد محترم پروژه جناب آقای دکتر علی قربانی که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه مشوق و راهنمای اینجانب بوده اند، تشکر می نمایم. همچنین از اساتید مشاور جناب آقای دکتر رضا صالح جلالی و دکتر محمدحسن بازیار و نیز اساتید محترم دوره کارشناسی ارشد مکانیک خاک به خاطر راهنماییهای ارزنده شان جهت پربار شدن این تحقیق سپاسگزارم.

در پایان از همکاری های شرکت مهتاب قدس و آزمایشگاه مکانیک خاک اداره راه استان گیلان و همینطور مهندس داود صالحی در به انجام رساندن قسمتی از این پژوهش کمال تشکر را دارم.



۲۸	.....۲-۲-۳- معیارهای لازم جهت طراحی یک پی
۲۸	.....۳-۲-۳- ظرفیت باربری نهایی استاتیکی
۳۰	.....۳-۳- اثر تمایل بار بر ظرفیت باربری پی
۳۱	.....۱-۳-۳- روش جانבו و مایر هوف
۳۲	.....۲-۳-۳- روش مایر هوف
۳۳	.....۳-۳-۳- روش هانسن و وسیک
۳۴	.....۴-۳- اثر لنگر (بار قائم خارج از مرکز) بر ظرفیت باربری پی
۳۵	.....۱-۴-۳- روش پیشنهادی هانسن و مایر هوف
۳۵	.....۲-۴-۳- روش پاراکاش و ساران
۳۹	.....۵-۳- اثر نیروی اینرسی بر ظرفیت باربری پی
۳۹	.....۱-۵-۳- روش سارما و آیوسیفلیس
۴۱	.....۲-۵-۳- روش ریچاردز و همکاران
۴۳	.....۳-۵-۳- روش سوبرا
۴۴	.....۴-۵-۳- روش دورمبو و پکر
۴۵	.....۶-۳- روشهای تعیین ظرفیت باربری دینامیکی
۴۶	.....۱-۶-۳- استفاده از چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی معادل
۴۶	.....۲-۶-۳- تحلیل دینامیکی بارهای افقی
۴۷	.....۱-۲-۶-۳- تعادل دینامیکی
۴۸	.....۲-۲-۶-۳- حل معادله حرکت
۵۰	.....۳-۶-۳- روش مرلوس و رومو

#### فصل چهارم- بررسی مدل رفتاری لرزه ای مناسب برای خاکهای چسبنده (مورد مطالعاتی-شهر رشت)

۵۳	.....۱-۴- مقدمه
۵۴	.....۲-۴- رفتار خاکهای چسبنده (رسی)
۵۴	.....۱-۲-۴- رفتار تحت فشار
۵۵	.....۲-۲-۴- رفتار برشی
۵۸	.....۳-۲-۴- تاثیر مسیر تنش
۵۹	.....۴-۲-۴- غیر همسانی
۵۹	.....۳-۴- رفتار لرزه ای خاکهای چسبنده
۵۹	.....۱-۳-۴- وابستگی مشخصات تغییر شکل به کرنش برشی
۶۰	.....۲-۳-۴- آزمایشات دینامیکی بروی خاکها
۶۰	.....۱-۲-۳-۴- دستگاه برش مستقیم سیکلی
۶۲	.....۲-۲-۳-۴- آزمایش سه محوری تناوبی Cyclic Triaxial Test
۶۳	.....۳-۲-۳-۴- آزمایش ستون شدید

- ۶۳ ..... ۳-۳-۴- تغییرات مدول برشی طی بارگذاری سیکلی
- ۶۶ ..... ۴-۳-۴- وابستگی مدول برشی به دامنه کرنش سیکلی
- ۶۷ ..... ۵-۳-۴- روابط تعیین مدول برشی اولیه
- ۶۹ ..... ۴-۴- مدل رفتاری ارتجاعی خطی
- ۶۹ ..... ۱-۴-۴- محدودیت های مدل های الاستیک در بازنمایی رفتار واقعی خاکها
- ۷۰ ..... ۵-۴- مدل رفتاری ارتجاعی - خمیری کامل
- ۷۰ ..... ۱-۵-۴- رفتار تک محوری یک ماده الاستوپلاستیک خطی با سخت شوندگی و نرم شوندگی
- ۷۱ ..... ۲-۵-۴- گسترش به فضای کلی تنش و کرنش
- ۷۲ ..... ۶-۴- مدل رفتاری ارتجاعی - خمیری با سخت شوندگی
- ۷۲ ..... ۱-۶-۴- کلیات
- ۷۳ ..... ۲-۶-۴- مدل رفتاری سخت شوندگی مورد استفاده در تحلیل
- ۷۵ ..... ۳-۶-۴- رفتار سهموی برای آزمایش بارگذاری سه محوری استاندارد
- ۷۶ ..... ۴-۶-۴- تقریب سازی هذلولی با مدل رفتاری سخت شوندگی
- ۷۹ ..... ۵-۶-۴- کرنش حجمی پلاستیک برای حالت تنش سه محوری
- ۷۹ ..... ۶-۶-۴- پارامترهای مدل رفتاری سخت شوندگی خاک
- ۸۱ ..... ۷-۶-۴- پارامترهای پیشرفته (Advanced Parameters)
- ۸۱ ..... ۸-۶-۴- کلاسیک سطح تسلیم در مدل رفتاری سخت شوندگی
- ۸۴ ..... ۷-۴- مدل خاک سخت شونده با سختی کرنش کوچک (HS-SMALL)
- ۸۵ ..... ۱-۷-۴- توصیف سختی کرنش کوچک با قانون هذلولی
- ۸۶ ..... ۲-۷-۴- به کارگیری رابطه Hardin-Drnevich در مدل خاک سخت شونده
- ۸۷ ..... ۳-۷-۴- مقایسه بارگذاری اولیه با باربرداری - بارگذاری مجدد
- ۸۸ ..... ۴-۷-۴- پارامترهای مدل HS-small
- ۸۹ ..... ۸-۴- معادلات تعادل دینامیکی و حل آنها
- ۸۹ ..... ۱-۸-۴- معادله اساسی رفتار دینامیکی
- ۹۱ ..... ۲-۸-۴- حل معادلات دینامیکی تعادل
- ۹۱ ..... ۳-۸-۴- بکار بستن طرح انتگرال در PLAXIS
- ۹۲ ..... ۴-۸-۴- مرحله زمانی بحرانی
- ۹۳ ..... ۵-۸-۴- مرزهای مدل
- ۹۳ ..... ۶-۸-۴- مرزهای جاذب
- ۹۳ ..... ۷-۸-۴- تنش های اولیه و افزایش های تنش
- ۹۴ ..... ۹-۴- مورد مطالعاتی اول - مدلسازی استاتیکی آزمایش سه محوری خاک هسته سد گتوند علیا
- ۹۴ ..... ۱-۹-۴- کلیات
- ۹۵ ..... ۲-۹-۴- مشخصات دانه بندی طرح
- ۹۵ ..... ۳-۹-۴- نتایج آزمایشات سه محوری



۹۷	.....۴-۹-۴ پارامترهای مصالح بدنه سد برای مدل.....
۹۸	.....۴-۹-۵-مراحل مدلسازی اجزای محدود.....
۹۸	.....۴-۹-۱-۵-تعیین هندسه مدل.....
۹۹	.....۴-۹-۲-۵-بارگذاری مدل.....
۹۹	.....۴-۹-۳-۵-مش بندی.....
۹۹	.....۴-۹-۴-۵-تعریف فازهای محاسباتی.....
۹۹	.....۴-۹-۶-۹-مقایسه نتایج.....
۱۰۰	.....۴-۱۰-۱-مورد مطالعاتی دوم - مدلسازی استاتیکی آزمایش سه محوری استاتیکی خاک رشت.....
۱۰۰	.....۴-۱۰-۱-۱-کلیات.....
۱۰۱	.....۴-۱۰-۲-سیمای طرح و مشخصات محل نمونه گیری.....
۱۰۳	.....۴-۱۰-۳-مشخصات دانه بندی طرح.....
۱۰۳	.....۴-۱۰-۴-نتایج آزمایشات سه محوری.....
۱۰۴	.....۴-۱۰-۵-پارامترهای مصالح برای مدل HS.....
۱۰۵	.....۴-۱۰-۶-مراحل مدلسازی اجزای محدود.....
۱۰۵	.....۴-۱۰-۱-۶-تعیین هندسه مدل.....
۱۰۶	.....۴-۱۰-۲-۶-بارگذاری مدل.....
۱۰۶	.....۴-۱۰-۳-۶-مش بندی.....
۱۰۶	.....۴-۱۰-۴-۶-تعریف فازهای محاسباتی.....
۱۰۶	.....۴-۱۰-۷-مقایسه نتایج.....
۱۰۷	.....۴-۱۱-۱-مورد مطالعاتی سوم - مدلسازی آزمایش سه محوری سیکلی مصالح هسته سد گتوند علیا.....
۱۰۷	.....۴-۱۱-۱-۱-کلیات.....
۱۰۸	.....۴-۱۱-۲-نمونه های مورد آزمایش.....
۱۰۹	.....۴-۱۱-۳-آزمایش سه محوری تناوبی <i>Cyclic Triaxial Test</i> .....
۱۱۰	.....۴-۱۱-۴-پارامترهای مصالح بدنه سد برای مدل Hardening Soil with small strain stiffness.....
۱۱۲	.....۴-۱۱-۱-۴-مقدار میرایی خاک.....
۱۱۴	.....۴-۱۱-۵-مراحل مدلسازی آزمایش سه محوری سیکلی با استفاده از مدل رفتاری HS-Small.....
۱۱۴	.....۴-۱۱-۱-۵-تعیین هندسه مدل.....
۱۱۴	.....۴-۱۱-۲-۵-بارگذاری مدل.....
۱۱۵	.....۴-۱۱-۳-۵-اختصاص مشخصات مصالح.....
۱۱۵	.....۴-۱۱-۴-۵-مش بندی.....
۱۱۵	.....۴-۱۱-۵-۵-تعریف فازهای محاسباتی.....
۱۱۶	.....۴-۱۱-۶-۹-مقایسه نتایج.....

فصل پنجم - مدلسازی استاتیکی و دینامیکی شالوده های سطحی واقع بر روی خاکهای چسبنده (مورد مطالعاتی-شهر رشت)

۱۱۷	۱-۵- مقدمه
۱۱۷	۲-۵- مدل‌سازی استاتیکی شالوده سطحی واقع بر بستر رسی شهر رشت
۱۱۷	۱-۲-۵- کلیات
۱۱۸	۲-۲-۵- مشخصات خاک
۱۱۸	۳-۲-۵- مراحل مدل‌سازی اجزای محدود
۱۱۸	۱-۳-۲-۵- تعریف هندسه مدل
۱۱۹	۲-۳-۲-۵- بارگذاری و مش بندی
۱۱۹	۳-۳-۲-۵- تعریف مشخصات مصالح
۱۱۹	۴-۳-۲-۵- تعریف فاز محاسباتی
۱۱۹	۴-۲-۵- مقایسه نتایج
۱۲۱	۵-۲-۵- مطالعه پارامتریک اثر بار قائم برون محور بر ظرفیت باربری شالوده های سطحی
۱۲۱	۳-۵- مدل‌سازی دینامیکی شالوده سطحی واقع بر بستر رسی شهر رشت
۱۲۱	۱-۳-۵- کلیات
۱۲۲	۲-۳-۵- سیمای طرح و مشخصات خاک
۱۲۲	۳-۳-۵- مدل رفتاری مورد استفاده برنامه
۱۲۳	۴-۳-۵- پارامترهای خاک محل برای مدل
۱۲۳	۵-۳-۵- تعیین پارامترهای میرایی مصالح
۱۲۵	۶-۳-۵- اختصاص مرزهای جاذب
۱۲۵	۷-۳-۵- انتخاب زلزله برای تحلیل دینامیکی
۱۲۷	۸-۳-۵- مراحل مدل‌سازی دینامیکی
۱۲۷	۱-۸-۳-۵- تعریف هندسه مدل
۱۲۸	۲-۸-۳-۵- تعریف مرزهای جاذب
۱۲۹	۳-۸-۳-۵- نحوه اعمال بارگذاری زلزله
۱۲۹	۴-۸-۳-۵- تعریف مشخصات مصالح برای مدل رفتاری
۱۲۹	۵-۸-۳-۵- ایجاد مش بندی
۱۳۰	۶-۸-۳-۵- تعریف فازهای محاسباتی
۱۳۰	۹-۳-۵- مطالعه پارامتریک بر روی پی سطحی تحت بار لرزه ای

## فصل ششم- بررسی و تحلیل نتایج

۱۳۲	۱-۶- مقدمه
۱۳۲	۲-۶- آنالیز استاتیکی
۱۳۲	۱-۲-۶- بررسی ظرفیت باربری استاتیکی پی های سطحی واقع بر بستر رسی شهر رشت
۱۳۴	۲-۲-۶- بررسی ظرفیت باربری تحت بار با خروج از مرکزیت
۱۳۶	۳-۲-۶- ضرایب ظرفیت باربری برای پی سطحی با بار برون محور

۱۳۸	.....	۳-۶- آنالیز دینامیکی
۱۳۹	.....	۳-۶-۱- بررسی تغییرات شتاب
۱۴۰	.....	۳-۶-۲- توزیع تنشها
۱۴۲	.....	۳-۶-۳- توزیع تغییر مکانها
۱۴۳	.....	۳-۶-۴- بررسی دوران پی در اثر اعمال بار زلزله
۱۴۴	.....	۶-۴- ظرفیت باربری نهایی لرزه ای پی های سطحی
۱۴۵	.....	۶-۴-۱- اثر شتاب بر ظرفیت باربری پی های سطحی
۱۴۶	.....	۶-۴-۲- ضرایب ظرفیت باربری لرزه ای جهت خاک رشت
۱۴۷	.....	۶-۴-۳- مقایسه نتایج

### فصل هفتم- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۱۴۹	.....	مقدمه
۱۵۰	.....	نتیجه گیری
۱۵۱	.....	پیشنهاد برای تحقیقات آتی
۱۵۲	.....	مراجع

## فهرست شکل ها

### فصل اول

شکل ۱-۱- واژگونی یک سازه در اثر زلزله سپتامبر سال ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی ..... ۲

### فصل دوم

شکل ۱-۲- نظریه بازگشت الاستیک راید ..... ۵

شکل ۲-۲- مرکز و کانون زلزله و گسل ..... ۶

شکل ۳-۲- موقعیت گسلهای واقع در استان گیلان ..... ۱۸

شکل ۴-۲- تعداد زلزله های ثبت شده در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر رشت در ۱۰۰ سال اخیر ..... ۱۹

شکل ۵-۲- تعداد زلزله های ثبت شده در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر رشت در ۱۰۰ سال اخیر ..... ۲۰

شکل ۶-۲- نقشه پهنه بندی نوع خاک شهر رشت ..... ۲۲

### فصل سوم

شکل ۱-۳- شکل کلی یک پی نواری ..... ۲۵

شکل ۲-۳- مکانیسم گسیختگی برشی کلی ..... ۲۶

شکل ۳-۳- مکانیسم گسیختگی برشی موضعی ..... ۲۷

شکل ۴-۳- مکانیسم گسیختگی برشی سوراخ کننده ..... ۲۷

شکل ۵-۳- گسیختگی در زیر پی نواری سطحی بر روی خاک مختلط ( $C, \phi \neq 0$ ) ..... ۲۹

شکل ۶-۳- نیروی موثر بر یک پی تحت بار متمایل ..... ۳۱

شکل ۷-۳- تغییرات ضریب  $N_h$  بر حسب زاویه اصطکاک خاک ..... ۳۲

شکل ۸-۳- مکانیسم گسیختگی در نظر گرفته شده برای تعیین ظرفیت باربری توسط محققین مختلف ..... ۳۲

شکل ۹-۳- یک پی تحت اثر بار خارج از مرکز  $Q$  ( $e < \frac{B}{6}$ ) ..... ۳۴

شکل ۱۰-۳- ضریب ظرفیت باربری  $N_c$  بر حسب  $\phi$  برای مقادیر  $e/B$  مختلف ..... ۳۶

شکل ۱۱-۳- ضریب ظرفیت باربری  $N_q$  بر حسب  $\phi$  برای مقادیر  $e/B$  مختلف ..... ۳۷

شکل ۱۲-۳- ضریب ظرفیت باربری  $N_\gamma$  بر حسب  $\phi$  برای مقادیر  $e/B$  مختلف ..... ۳۷

شکل ۱۳-۳- نشست و دوران یک پی تحت اثر بار خارج از مرکز ..... ۳۸

شکل ۱۴-۳- هندسه سطح لغزش بحرانی در روش سارما ..... ۳۹

شکل ۱۵-۳-  $N_q$  بر حسب  $K_c$  (ضریب شتاب بحرانی) و زاویه اصطکاک خاک ..... ۴۰

شکل ۱۶-۳-  $N_c$  بر حسب  $K_c$  و زاویه اصطکاک داخلی خاک ..... ۴۰

شکل ۱۷-۳-  $N_\gamma$  بر حسب  $K_c$  و زاویه اصطکاک داخلی خاک ..... ۴۰

شکل ۱۸-۳- میدان لغزش ساده شده استاتیکی با گوه های کولمب ( $\delta \neq 0$ ) ..... ۴۱

شکل ۱۹-۳- مکانیزم کولمب (با اصطکاک دیوار،  $\delta$ ) ..... ۴۲

شکل ۲۰-۳- شتاب بحرانی  $K_h^*$  برای شروع نشست پی ( $C=0$ ) ..... ۴۳

- شکل ۳-۲۱- مکانیزم گسیختگی و دیاگرام سرعت مربوطه..... ۴۴
- شکل ۳-۲۲- مکانیزم گسیختگی در روش دورمیو و پکر..... ۴۵
- شکل ۳-۲۳- سطح لغزش در روش کامار..... ۴۷
- شکل ۳-۲۴- بار دینامیکی مورد استفاده در روش کامار..... ۴۹
- شکل ۳-۲۵- پارامترهای سیستم سازه - خاک و سطح گسیختگی در روش مرلوس و رومو..... ۵۰

## فصل چهارم

- شکل ۴-۱- نتایج تحکیم یک بعدی بر روی رس پاپادی..... ۵۴
- شکل ۴-۲- مسیر تنش موثر در آزمایش سه محوری روی رس لایه ای Pentre..... ۵۵
- شکل ۴-۳- مدول یانگ زهکشی نشده برای رس..... ۵۶
- شکل ۴-۴- وابستگی سختی رس به وضعیت تنش..... ۵۶
- شکل ۴-۵- مسیر های تنش در آزمایشات رس..... ۵۷
- شکل ۴-۶- سختی  $K'_{tan}$  برای رس..... ۵۷
- شکل ۴-۷- سختی برشی  $G'_{tan}$  برای رس..... ۵۸
- شکل ۴-۸- تاثیر غیر ایزوتروپی بر روی مقاومت زهکشی نشده رس بوستن..... ۵۸
- شکل ۴-۹- نحوه تغییرات وضعیت تنش و تغییر شکلها در یک المان خاک به هنگام زلزله..... ۶۰
- شکل ۴-۱۰- دستگاه برش مستقیم اصلاح شده توسط موسسه ژئوتکنیک نروژ..... ۶۱
- شکل ۴-۱۱- مشخصات و وضعیت تنشها در نمونه خاک در دستگاه برش ساده پیچشی..... ۶۱
- شکل ۴-۱۲- سیستم بارگذاری در آزمایش سه محوری سیکلی..... ۶۳
- شکل ۴-۱۳- منحنی تنش کرنش در بارگذاری سیکلی..... ۶۴
- شکل ۴-۱۴- منحنی هیستریزس و منحنی اسکلتون..... ۶۴
- شکل ۴-۱۵- نمودار افت سختی برشی با افزایش دامنه کرنش برشی..... ۶۵
- شکل ۴-۱۶- منحنی ساده شده هیستریزس خاک..... ۶۵
- شکل ۴-۱۷- منحنی افت مدول برشی برای رس..... ۶۶
- شکل ۴-۱۸- اثر تاریخچه تحکیم بر مدول برشی وابسته به کرنش خاک رس..... ۶۷
- شکل ۴-۱۹- بارگذاری تک محوری یک ماده الاستوپلاستیک خطی کامل..... ۷۰
- شکل ۴-۲۰- بارگذاری تک محوری یک ماده الاستوپلاستیک خطی سخت شونده..... ۷۱
- شکل ۴-۲۱- بارگذاری تک محوری یک ماده الاستوپلاستیک خطی نرم شونده..... ۷۱
- شکل ۴-۲۲- رابطه تنش کرنش هذلولی در بارگذاری آزمایش سه محوری زهکشی شده استاندارد..... ۷۷
- شکل ۴-۲۳- توالی سطح تسلیم برای مقادیر متفاوت پارامتر سخت شوندگی  $\gamma^P$ ..... ۷۸
- شکل ۴-۲۴- سطوح سیلان مدل خاک سخت شونده در صفحه  $\bar{q}$ -p..... ۸۳
- شکل ۴-۲۵- نمایش طرح سیلان کلی مدل خاک سخت شونده در فضای تنش اصلی..... ۸۳
- شکل ۴-۲۶- نمودار سختی در برابر کرنش خاک برای محدوده کرنشهای آزمایشگاهی و کارگاهی..... ۸۴

- شکل ۴-۲۷- نتایج بدست آمده از روابط Hardin-Drnevich و مقایسه آن با داده های آزمایشگاهی توسط سانتوس و کوریا  
 ۸۵.....
- شکل ۴-۲۸- حد پایین در منحنی افت سختی مورد استفاده در مدل HS-small  
 ۸۷.....
- شکل ۴-۲۹- سمت چپ: رفتار هیستریزیس مصالح، سمت راست: نمودار افت سختی مدل HS-small در بارگذاری اولیه و  
 باربرداری و بارگذاری مجدد.....  
 ۸۷.....
- شکل ۴-۳۰- پارامترهای سختی مدل از قبیل  $E_{ur}$ ،  $E_{50}$  و  $E_0$  را در آزمایش سه محوری.....  
 ۸۸.....
- شکل ۴-۳۱- تغییر نسبت میرایی بحرانی نرمال شده با فرکانس زاویه ای .....  
 ۹۰.....
- شکل ۴-۳۲- پوش دانه بندی مصالح هسته سد گتوند علیا.....  
 ۹۵.....
- شکل ۴-۳۳- شکل شماتیک آزمایش سه محوری استاتیکی.....  
 ۹۶.....
- شکل ۴-۳۴- نمودار تنش - کرنش برای فشار همه جانبه ۱ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.....  
 ۹۶.....
- شکل ۴-۳۵- نمودار تنش - کرنش برای فشار همه جانبه ۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.....  
 ۹۶.....
- شکل ۴-۳۶- نمودار تنش - کرنش برای فشار همه جانبه ۷ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.....  
 ۹۷.....
- شکل ۴-۳۷- تقریب هیپربولیک براساس نتایج آزمایش سه محوری.....  
 ۹۷.....
- شکل ۴-۳۸- هندسه مدل آزمایش سه محوری به همراه نحوه بارگذاری در نرم افزار Plaxis.....  
 ۹۸.....
- شکل ۴-۳۹- مش بندی آزمایش سه محوری در نرم افزار Plaxis.....  
 ۹۹.....
- شکل ۴-۴۰- مقایسه نمودار تنش - کرنش نتایج آزمایش سه محوری سد گتوند و نتایج مدل سازی در فشار همه جانبه ۱۰۰  
 کیلو پاسکال .....  
 ۱۰۰.....
- شکل ۴-۴۱- مقایسه نمودار تنش - کرنش نتایج آزمایش سه محوری سد گتوند و نتایج مدل سازی در فشار همه جانبه ۴۰۰  
 کیلو پاسکال .....  
 ۱۰۰.....
- شکل ۴-۴۲- نقشه پهنه بندی نوع خاک شهر رشت.....  
 ۱۰۱.....
- شکل ۴-۴۳- حفر گمانه دستی جهت نمونه گیری و مهرموم کزدن نمونه گیرها.....  
 ۱۰۲.....
- شکل ۴-۴۴- نمودار دانه بندی خاک نمونه برداری شده شهر رشت.....  
 ۱۰۳.....
- شکل ۴-۴۵- نمودار تنش - کرنش برای فشار همه جانبه ۵۰ کیلو پاسکال شهر رشت.....  
 ۱۰۳.....
- شکل ۴-۴۶- نمودار تنش - کرنش برای فشار همه جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال شهر رشت.....  
 ۱۰۴.....
- شکل ۴-۴۷- نمودار تنش - کرنش برای فشار همه جانبه ۱۵۰ کیلو پاسکال شهر رشت.....  
 ۱۰۴.....
- شکل ۴-۴۸- شکل ساده شده آزمایش سه محوری.....  
 ۱۰۶.....
- شکل ۴-۴۹- مقایسه نمودار تنش - کرنش نتایج آزمایش سه محوری رس رشت و نتایج مدل سازی در فشار همه جانبه ۵۰  
 کیلو پاسکال .....  
 ۱۰۷.....
- شکل ۴-۵۰- مقایسه نمودار تنش - کرنش نتایج آزمایش سه محوری رس رشت و نتایج مدل سازی در فشار همه جانبه ۱۰۰  
 کیلو پاسکال .....  
 ۱۰۷.....
- شکل ۴-۵۱- پوش دانه بندی مصالح هسته سد گتوند علیا.....  
 ۱۰۸.....
- شکل ۴-۵۲- نتایج آزمایش سه محوری سیکلی در تنش همه جانبه ۴۰۰ کیلو پاسکال.....  
 ۱۰۹.....
- شکل ۴-۵۳- تغییرات سختی برشی و میرایی با کرنش برشی در تنش همه جانبه ۴۰۰ کیلو پاسکال برای رس هسته سد گتوند.....  
 ۱۱۰.....
- شکل ۴-۵۴- نحوه استخراج کرنش برشی ۰.۷٪ از روی نمودار سختی برشی به کرنش برشی.....  
 ۱۱۱.....

- شکل ۴-۵۵- تقریب رابطه Hardin-Drenevich جهت تغییرات سختی برشی با کرنش برشی در تنش همه جانبه ۴۰۰ کیلو پاسکال برای رس هسته سد گتوند..... ۱۱۲
- شکل ۴-۵۶- ضریب آلفا و بتا برای اعماق مختلف در نهشه های رسی (آمروسی و بولدینی)..... ۱۱۳
- شکل ۴-۵۷- هندسه و نحوه بارگذاری مدل..... ۱۱۴
- شکل ۴-۵۸- نحوه مش بندی مدل..... ۱۱۵
- شکل ۴-۵۹- نمودار تنش-کرنش مدل مربوط به آزمایش سه محوری سیکلی توسط نرم افزار Plaxis..... ۱۱۶
- شکل ۴-۶۰- نمودار تنش-کرنش آزمایش سه محوری سیکلی بر روی مصالح هسته سد گتوند علیا..... ۱۱۶

### فصل پنجم

- شکل ۵-۱- هندسه مدل شالوده سطحی واقع بر بستر رسی..... ۱۱۸
- شکل ۵-۲- مش بندی مدل استاتیکی پی بر روی بستر رسی شهر رشت در نرم افزار Plaxis..... ۱۱۹
- شکل ۵-۳- کنتور جابجایی قائم در زیر پی..... ۱۲۰
- شکل ۵-۴- نمودار مقایسه ظرفیت باربری استاتیکی بدست آمده از مدلسازی و روابط موجود برای عرضهای مختلف شالوده سطحی..... ۱۲۰
- شکل ۵-۵- هندسه مدل پی تحت بار قائم برون محور..... ۱۲۱
- شکل ۵-۶- ضریب آلفا و بتا برای اعماق مختلف در نهشه های رسی (آمروسی و بولدینی)..... ۱۲۴
- شکل ۵-۷- الف - تاریخچه زمانی شتاب رکورد زلزله طرح..... ۱۲۶
- شکل ۵-۷- ب - تاریخچه زمانی سرعت رکورد زلزله طرح..... ۱۲۶
- شکل ۵-۷- پ - تاریخچه زمانی تغییر مکان رکورد زلزله طرح..... ۱۲۷
- شکل ۵-۷- ت - طیف پاسخ شتاب با منظور کردن میرایی ۵ درصد..... ۱۲۷
- شکل ۵-۸- هندسه سیستم خاک - پی - سازه تعریف شده در نرم افزار Plaxis..... ۱۲۸
- شکل ۵-۹- اندازه مش بندی در مدلسازی دینامیکی پی سطحی..... ۱۳۰

### فصل ششم

- شکل ۶-۱- نمودار تنش- تغییر مکان برای پی به عرض ۱ متر تحت بار محوری فشاری..... ۱۳۳
- شکل ۶-۲- نمودار مقایسه ظرفیت باربری استاتیکی بدست آمده از مدلسازی و روابط موجود برای عرضهای مختلف پی نوار..... ۱۳۳
- شکل ۶-۳- کانتور تنش قائم زیر پی با بار برون محور  $e/B=0.4$ ..... ۱۳۴
- شکل ۶-۴- توزیع تنش قائم در زیر پی..... ۱۳۵
- شکل ۶-۵- نمودار ظرفیت باربری نهایی پی سطحی (عرض ۱ متر) به ازای برون محوری مختلف برای زوایای اصطکاک داخلی ۰ تا ۳۰ درجه..... ۱۳۵
- شکل ۶-۶- نمودار ظرفیت باربری نهایی پی سطحی (عرض ۲ متر) به ازای برون محوری مختلف برای زوایای اصطکاک داخلی ۰ تا ۳۰ درجه..... ۱۳۶
- شکل ۶-۷- ضریب ظرفیت باربری  $N_c$  برحسب  $\phi$  برای مقادیر مختلف  $e/B$ ..... ۱۳۷
- شکل ۶-۸- ضریب ظرفیت باربری  $N_{\gamma}$  برحسب  $\phi$  برای مقادیر مختلف  $e/B$ ..... ۱۳۷
- شکل ۶-۹- ضریب ظرفیت باربری  $N_c$  برحسب  $\phi$  برای مقادیر مختلف  $e/B$  (روش پراکاش و ساران)..... ۱۳۸

- شکل ۶-۱۰- ضریب ظرفیت باربری  $N_{\gamma}$  برحسب  $\phi$  برای مقادیر  $e/B$  مختلف (روش پراکاش و ساران) ..... ۱۳۸
- شکل ۶-۱۱- تاریخچه زمانی شتاب اعمال شده به سنگ بستر ..... ۱۳۹
- شکل ۶-۱۲- تاریخچه زمانی شتاب ایجاد شده در سطح خاک رس رشت به عمق ۱۰ متر ..... ۱۴۰
- شکل ۶-۱۳- تاریخچه زمانی شتاب ایجاد شده در سطح خاک رس رشت به عمق ۲۰ متر ..... ۱۴۰
- شکل ۶-۱۴- کنتور توزیع تنش قائم زیر پی در طول اعمال بارگذاری زلزله ..... ۱۴۱
- شکل ۶-۱۵- نمودار تنش در گوشه سمت چپ پی در برابر زمان ..... ۱۴۱
- شکل ۶-۱۶- نمودار تنش در گوشه سمت راست پی در برابر زمان ..... ۱۴۱
- شکل ۶-۱۷- توزیع تغییر مکان در زیر پی در طول اعمال بارگذاری زلزله ..... ۱۴۲
- شکل ۶-۱۸- توزیع تغییر مکان در دو گوشه پی به عرضهای ۱، ۲، ۳ و ۴ متر در طول بارگذاری زلزله ..... ۱۴۲
- شکل ۶-۱۹- نمودار میزان دوران پی در برابر زمان برای پی به عرض ۱ متر ..... ۱۴۳
- شکل ۶-۲۰- نمودار میزان دوران پی در برابر زمان برای پی به عرض ۲ متر ..... ۱۴۳
- شکل ۶-۲۱- نمودار میزان دوران پی در برابر زمان برای پی به عرض ۳ متر ..... ۱۴۴
- شکل ۶-۲۲- نمودار میزان دوران پی در برابر زمان برای پی به عرض ۴ متر ..... ۱۴۴
- شکل ۶-۲۳- نمودار ظرفیت باربری در برابر شتاب بیشینه برای پی به عرض ۱ متر ..... ۱۴۵
- شکل ۶-۲۴- نمودار ظرفیت باربری در برابر شتاب بیشینه برای پی به عرض ۲ متر ..... ۱۴۵
- شکل ۶-۲۵- نمودار  $N_c$  در برابر زاویه اصطکاک داخلی برای مقادیر مختلف شتاب بیشینه ..... ۱۴۶
- شکل ۶-۲۶- نمودار  $N_{\gamma}$  در برابر زاویه اصطکاک داخلی برای مقادیر مختلف شتاب بیشینه ..... ۱۴۷
- شکل ۶-۲۷- نمودار نسبت  $N_c$  (dynamic)/ $N_c$  (static) در مقابل شتاب بیشینه زلزله برای مقادیر مختلف زاویه اصطکاک داخلی خاک ..... ۱۴۷
- شکل ۶-۲۸- مقایسه ظرفیت باربری دینامیکی ارائه شده با روابط ریچاردز و سارما برای پی به عرض ۱ متر ..... ۱۴۸
- شکل ۶-۲۹- مقایسه ظرفیت باربری دینامیکی ارائه شده با روابط ریچاردز و سارما برای پی به عرض ۲ متر ..... ۱۴۸



## فهرست جداول

### فصل دوم

- جدول ۱-۲- مقادیر  $\Delta I$  برای انواع خاکها ..... ۱۱
- جدول ۲-۲- تناوب غالب زلزله برحسب فاصله از مرکز ..... ۱۳
- جدول ۳-۲- شتابهای اوج اندازه گیری شده برای شهرهای مختلف در زلزله منجیل ۱۳۶۹ ..... ۱۴
- جدول ۴-۲- مقدار فاکتور تقویت زمین لرزه برحسب نوع و عمق خاک ..... ۱۶
- جدول ۵-۲- ویژگیهای ژئوتکنیکی رس رشت حاصل از آزمایشهای آزمایشگاهی و درجای انجام شده اخوان (۱۳۸۷) ..... ۲۱
- جدول ۶-۲- طبقه بندی نوع زمین مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ..... ۲۲

### فصل سوم

- جدول ۱-۳- مقادیر مجاز نشست های کلی و نامتقارن پی ها ..... ۲۸
- جدول ۲-۳- منحنی تغییرات ضرایب باربری برحسب زاویه اصطکاک داخلی ..... ۳۰
- جدول ۳-۳- ضرایب تقلیل برای ظرفیت باربری پی های کم عمق تحت بارهای مایل ..... ۳۱
- جدول ۴-۳- ضرایب ظرفیت باربری برای معادله ظرفیت باربری مایرهورف ..... ۳۳
- جدول ۵-۳- فاکتورهای عمق و شکل معادله هانسن و وسیک. زیرنویس (H) برای هانسن و زیرنویس (V) برای روش وسیک ..... ۳۴

### فصل چهارم

- جدول ۱-۴- سطوح مناسب تغییر شکل نسبی جهت استفاده از روشهای مختلف صحرایی و آزمایشگاهی ..... ۵۹
- جدول ۲-۴- مقادیر  $k$  برحسب دامنه خمیری ..... ۶۸
- جدول ۳-۴- پارامترهای مورد استفاده در مدل HS جهت مدلسازی خاک هسته سد گتوند علیا ..... ۹۷
- جدول ۴-۴- ویژگیهای ژئوتکنیکی رس رشت حاصل از آزمایشهای آزمایشگاهی و درجا ..... ۱۰۱
- جدول ۵-۴- پارامترهای مورد استفاده در مدل HS جهت مدلسازی خاک رس شهر رشت ..... ۱۰۵
- جدول ۶-۴- پارامترهای استاتیکی و دینامیکی به کار رفته در مدل HS برای مدلسازی خاک هسته سد گتوند علیا ..... ۱۱۴
- جدول ۷-۴- مراحل بارگذاری مدل مربوط به آزمایش سه محوری سیکلی ..... ۱۱۵

### فصل پنجم

- جدول ۱-۵- مشخصات خاک محل حفر گمانه واقع در منطقه گلزار شهر رشت ..... ۱۱۸
- جدول ۲-۵- مشخصات خاک محل حفر گمانه واقع در منطقه گلزار شهر رشت ..... ۱۲۲
- جدول ۳-۵- پارامترهای مورد استفاده در مدل HS-Small ..... ۱۲۳
- جدول ۴-۵- پارامترهای به کار رفته در مدل HS برای خاک رس شهر رشت ..... ۱۲۹

بررسی رفتار باربری دینامیکی پی های سطحی واقع بر بستر آبرفتی رشت

علیرضا خسروانی مقدم

در هنگام وقوع زلزله، لایه های خاک تحت تاثیر تنشهای برشی تناوبی قرار می گیرند. این تنشها سبب ایجاد تغییر شکل و تغییر خصوصیات رفتاری خاک می گردند. بنابراین زلزله می تواند تاثیر جدی بر پایداری پی یک سازه داشته باشد. بارهای وارد بر پی سازه علاوه بر بارهای استاتیکی عبارت از لنگر و رانش افقی می باشد. همچنین زلزله سبب ایجاد نیروی اینرسی در توده خاک زیر پی و تغییر در سختی برشی خاک خواهد شد که این عوامل، هر کدام به نوبه خود بر ظرفیت باربری پی های سطحی تاثیر می گذارند. در حالت کلی به سه روش عمده می توان ظرفیت باربری دینامیکی را تعیین نمود. این روشها عبارتند از: ۱- روش شبه استاتیکی ۲- استفاده از چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی معادل ۳- تحلیل دینامیکی.

در این پایان نامه با استفاده از نرم افزار المان محدود Plaxis v8.5 و با استفاده از مدل رفتاری الاستوپلاستیک HS-Small، رفتار باربری پی های سطحی تحت بار لرزه ای مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور با حفر گمانه دستی در شهر رشت و نمونه برداری از خاک و انجام آزمایش سه محوری پارامترهای مورد نیاز مدل رفتاری استخراج شده است. کارایی نرم افزار در ارزیابی رفتار تنش- تغییر شکل خاکهای چسبنده، با مدلسازی آزمایشات سه محوری استاتیکی و دینامیکی به اثبات رسیده است. در نهایت با مدلسازی سیستم خاک- پی، رفتار باربری و تغییر شکل پی های سطحی واقع بر خاک آبرفتی شهر رشت تحت بار لرزه ای مورد مطالعه قرار گرفته است.

**کلید واژه:** زلزله، ظرفیت باربری دینامیکی، پی سطحی، المان محدود، رس شهر رشت

## Abstract

### **The Study of Dynamic Bearing Capacity of Shallow Foundations on Rasht Alluvium Soil**

**Alireza Khosrovani Moghadam**

In earthquakes, soil layers are influenced by cyclic shear stresses. These stresses cause deformations and changes in soils properties. So earthquake could have serious impacts on the stability of structure foundations. Loads imposed to the structure foundation are statical loads, moment and horizontal load. In addition, earthquake causes inertial forces in soil under the foundation and will change its shear stiffness. These factors consequently effect bearing capacity of shallow foundations. In general, there are three methods to determine the dynamic bearing capacity: 1.Pseudo-static method 2.Using equalent cohesion and interial friction angel 3.Dynamic analysis.

In this thesis, the PLAXIS v8.5 software with HS-small elastoplastic model of soil behavior were employed and the bearing capacity of shllow foundations under seismic loading was investigated. The required parameters were obtained by drilling and sampling of some manual boreholes throughout the city of Rasht in evaluating the stress- deformation of cohesive soil have been proved with modeling static and dynamic tests. Eventually, with a model for the soil-foundation system, the bearing capacity and deformation of shallow foundations on Rasht alluvium under seismic loads, have been studied.

**Key words:** Earthquake, Dynamic Bearing Capacity , Shallow Foundation , Finite Element, Rasht Clay Soil

## فصل اول - کلیات

### ۱-۱- مقدمه

در هنگام وقوع زلزله، لایه های خاک تحت تاثیر تنش های برشی تناوبی با دامنه و بسامدهای مختلف قرار می گیرند و در نتیجه در خاک تغییر شکل های تناوبی بوجود می آید. این تغییر شکلها بر سازه های ساخته شده بر روی خاک اثر گذاشته و حتی ممکن است که سبب ایجاد خسارتهای جبران ناپذیر گردند. علاوه بر این تغییر خصوصیات مقاومتی و رفتاری تنش - تغییر شکل نسبی لایه های خاک (تحت بارگذاری تناوبی)، ممکن است که تاثیر جدی بر پایداری سد های خاکی، خاکریزها، دیوارهای حائل و شیروانی های طبیعی داشته باشد. پی های یک سازه نیز از این امر مستثنی نیستند و وقوع زلزله می تواند مسائلی را برای آنها بوجود آورد. پی های تکی، نواری، گسترده و حتی شمعها نیز ممکن است در هنگام زلزله آسیب ببینند.

اگرچه مواردی وجود دارد که گسیختگی پی ها در اثر روانگرایی خاک بوجود آمده است، ولیکن در بسیاری از موارد، گسیختگی پی ها در خاکهای متراکم و نیز خاکهای نیمه اشباع و خاکهای چسبنده روی داده است. به عنوان مثال در زلزله میاجهین-اکی (۱۹۷۸) به بزرگی  $7/8$ ، پی های تعداد زیادی از مخازن نفت به علت از دست دادن ظرفیت باربری و نشستهای زیاد، آسیبهای جدی دیدند. لازم به ذکر است که خاک منطقه از نوع ماسه ریز بوده و قبل از احداث مخازن نفت، متراکم گردیده بود. همچنین در زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی [۱] بسیاری از ساختمانها بدون اینکه آسیب سازه ای جدی بدانها وارد شود دچار نشست و واژگونی شده بودند. در صورتیکه خاک محل از نوع نهشته های رس لای دار با ضخامت زیاد بود.

با توجه به لرزه خیز بودن ایران و علی الخصوص استان گیلان که از شرایط ژئوتکنیکی خاصی نیز برخوردار می باشد، و از آنجا که تا کنون مطالعه جامعی بر روی ظرفیت باربری لرزه ای پی های سطحی واقع در بستر شهر رشت صورت نگرفته است، لذا در این پروژه سعی بر آن است که به بررسی این مهم پرداخته شود.