بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش : مکانیک خاک و پی

عنوان :

بررسی تاثیر عمق و ضخامت لایه روانگرا بر ظرفیت باربری پی‌های سطحی

استاد راهنما :

دکتر عیسی شوش پاشا

استاد مشاور :

دکتر علیرضا میرزا گل تبار

پژوهشگر :

موتا صفر پور

تابستان 91

تقدیم به :

تشکر و قدردانی :

بسمه تعالی

در تاریخ :

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای موتا صفرپور از پایان نامه خود دفاع نموده و با

نمره بحروف و با درجه

مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما

بسمه تعالی

دانشکده فنی و مهندسی

××

××××××××××××××××

نام واحد دانشگاهی: تهران مرکزی	**کد واحد: ۱۰۱**	**کد شناسایی پایان نامه:**

عنوان پایان نامه: بررسی تاثیر عمق و ضخامت لایه روانگرا بر ظرفیت باربری پی‌های سطحی

نام و نام خانوادگی دانشجو: موتا صفرپور **شماره دانشجویی: ۸۷۰۸۵۱۴۳۰۰۰** **رشته تحصیلی: مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی**	**تاریخ شروع پایان نامه:** **تاریخ اتمام پایان نامه:**

استاد / ~~استادان~~ راهنما: دکتر عیسی شوش پاشا

استاد / ~~استادان~~ مشاور: دکتر علیرضا میرزا گل تبار

آدرس و شماره تلفن:

چکیده پایان نامه: در این تحقیق اثرات عمق و ضخامت لایه‌های روانگرا بر ظرفیت باربری پی‌های سطحی، با استفاده از نرم افزار FLAC3D مورد ارزیابی قرار گرفته است. خصوصیات ماسه بابلسر برای تحلیل های پارامتریک به کار گرفته شده است ؛در این مقاله لایه روانگرا به ضخامتهای ۴و ۶ و۸ متر در اعماق ۴ و ۶ و ۸ متر در نظر گرفته شده است و چهار عرض پی ۲، ۴، ۸ و ۱۲ متر در مدلسازی استفاده شده است .در هر یک از مدل ها بارهای سطحی یکنواخت ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوپاسکال اعمال شده است. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از معادلات ظرفیت باربری ترزاقی و ریچارد در خاک های روانگرا جواب‌های دست بالا و در جهت عدم اطمینان می‌باشند و با افزایش عمق و یا کاهش عرض پی بر میزان ظرفیت باربری افزوده می‌شود.

نظر استاد راهنما برای چاپ در پژوهش نامه دانشگاه

مناسب است

مناسب نیست

تاریخ و امضاء:

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات طرح ۱

۱-۱ مقدمه و بیان مسئله ۱

۱-۲ هدف تحقیق ۱

۱-۳ اهمیت موضوع و انگیزه انتخاب آن ۲

۱-۴ سوالات و فرضیه‌های تحقیق ۲

۱-۵ مدل تحقیق ۳

۱-۶ تعاریف عملیاتی متغیرها و واژه‌های کلیدی ٤

۱-۷ روش تحقیق ٤

۱-۸ قلمرو تحقیق ٥

۱-۹ جامعه و تعداد نمونه ٥

۱-۱۰ محدودیت‌ها و مشکلات تحقیق ٦

فصل دوم : مطالعات نظری ۷

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ مکانیزم روانگرایی ۸

۲-۳ مثال‌هایی از خرابی ۱۱

۲-۴ روش‌های کاهش روانگرایی ۲۳

۲-۴-۱ *کاهش روانگرایی از طریق زوال فشار آب منفذی* ۲٤

۲-۵ مطالعات پیشین انجام شده ۲٦

۲-۶ بررسی مکانیزم پدیده روانگرایی و پدیدههای وابسته ۳۲

۲-۶-۱ *روانگرایی جریانی* ۳۳

۲-۶-۲ *جابجایی دوره‌ای* ۳۳

۲-۷ عوامل موثر بر پدیده روانگرایی ۳٤

۲-۸ مفاهیم پایه رفتار زهکشی نشده ماسه و پدیده روانگرایی ۳٤

۲-۸-۱ *نسبت تخلخل بحرانی* ۳٥

۲-۸-۲ *حالت پایدار تغییرشکل* ۳۸

۲-۸-۳ *سطح روانگرایی جریانی* ٤١
۲-۸-۳-۱ توجیه مکانیزم پدیده روانگرایی جریانی با استفاده از ایده سطح روانگرایی جریانی ٤٢
۲-۸-۳-۲ توجیه پدیده جابجایی دوره‌ای با استفاده از ایده سطح روانگرایی جریانی ٤٧

فصل سوم : ابزار تحقیق ۵۰

۳-۱ مقدمه ۵۰
۳-۲ شناخت نرم افزار ۵۱
۳-۳ مکانیزم استفاده از نرم افزار ۵۳
۳-۳-۱ *ایجاد شبکهٔ گرهای تفاضل محدود (مش بندی)* ۵۳
۳-۳-۲ *تخصیص رفتار و خصوصیات مصالح* ۵۵
۳-۳-۳- *شرایط مرزی* ٥٦
۳-۳-۴ *شرایط اولیه* ۵۷
۳-۴ مقدمه‌ای بر تحلیل دینامیکی مدل ۵۷
۳-۵ تولید فشار آب منفذی دینامیکی و شبیه سازی روانگرایی لایهٔ خاک ۵۸
۳-۶ مراحل مدلسازی خاک در نرم‌افزار FLAC 3D ۵۹
۳-۶-۱- *مدلسازی هندسه وشرایط مرزی* ۵۹
۳-۶-۲- *تعریف خصوصیات خاک* ٦٠
۳-۶-۳- *اعمال تنش‌های اولیه* ٦١
۳-۷- تحلیل دینامیکی در نرم‌افزار FLAC 3D ٦٢
۳-۷-۱- *مرزهای ساکن* ٦٢
۳-۷-۲- *میدان آزاد* ٦٦
۳-۷-۳- *میرایی* ٦٩

فصل چهارم : تجزیه و تحلیل تحقیق ۷۲

۴-۱ مقدمه ۷۲
۴-۲ صحت سنجی نرم افزار ۷۲
۴-۲-۱ *آشنایی با پروژه VELACS* ۷۲
۴-۲-۲ *خصوصیات مدل صحت سنجی* ۷۵
۴-۲-۳ *مقایسه نتایج* ۸۰

۴-۳ تحلیل‌های پارامتریک ۸۲
۴-۳-۱ *خصوصیات ماسه بابلسر* ۸۲
۴-۳-۲ *خصوصیات هندسی مدل* ۸۶
۴-۳-۳ *خصوصیات ارتعاش ورودی* ۸۸
۴-۴ تعیین ظرفیت باربری از روی نتایج خروجی نرم افزار ۸۹
۴-۴-۱ *معیار تغییرمکان (نشست)* ۹۰
۴-۴-۲ *معیار گسیختگی* ۹۱
۴-۵ ظرفیت‌های باربری تعیین شده و تاثیرات عمق و ضخامت لایه سست بر آن : ۹۵
۴-۶ مقایسه ظرفیت‌های باربری تعیین شده در این تحقیق با معادلات ظرفیت باربری ترزاقی و ریچارد ۱۰۷
۴-۷ تغییرات فشار آب منفذی در حین ارتعاشات ۱۰۸
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۱
۵-۱ نتایج تحقیق ۱۱۱
۵-۲ پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده ۱۱۲
فهرست منابع ۱۱۳

فهرست جداول

جدول ۲ – ۱ : طبقه‌بندی خسارات ناشی از روانگرایی بر اساس علت خرابی ۱۷

جدول ٤ – ۱ : خصوصیات ماسه سست NEVADA مدل شماره ۱ VELACS که برای مدلسازی عددی استفاده شده است ٧٦

جدول ٤ – ۲ : خصوصیات ماسه بابلسر مربوط به ماسه‌های سست و متراکم بر اساس نتایج آزمایشات ۸۳

جدول ٤ – ۳ : خصوصیات ماسه‌های سست و متراکم محاسبه شده از داده‌های آزمایش ۸۵

جدول ٤ – ٤ : خصوصیات خاک که برای مدلسازی استفاده شده است ۸٦

جدول ۴ – ۵ : اهمیت نشست‌های مختلف در هنگام روانگرایی ۹۰

جدول ۴ – ۶ : نتایج ظرفیت‌های باربری محاسبه به سه روش مختلف ۹٦

فهرست نمودارها

نمودار ۲ – ۱ : ضریب نرمالیزه شده تراکم حجمی در برابر نسبت فشار آب منفذی برای ماسه‌های با چگالی مختلف .. ۲۵

نمودار ۲ – ۲ : رفتار نمونه های سست و متراکم در آزمایش سه محوری کرنش کنترل شده. ۳۵

نمودار ۲ – ۳ : خط CVR در مختصات حسابی. ۳٦

نمودار ۲ – ٤ : استفاده از خط CVR به عنوان مرز بین خاک‌های مستعد و غیر مستعد برای روانگرایی. ۳۷

نمودار ۲ – ۵ : رفتار اتساعی، روانگرایی محدود و روانگرایی در آزمایش‌های بارگذاری یکنواخت. ۳۸

نمودار ۲ – ٦ : خط حالت پایدار در فضای سه بعدی. ٤۰

نمودار ۲ – ۷ : خط حالت پایدار بر اساس فشار همه جانبه موثر و مقاومت حالت پایدار. ٤۰

نمودار ۲ – ۸ : مرز بین خاک‌های مستعد و غیر مستعد برای روانگرایی جریانی. ٤۱

نمودار ۲ – ۹ : پاسخ نمونه یکنواخت تحکیم شده از ماسه سست و اشباع ٤۲

نمودار ۲ – ۱۰ : پاسخ نمونه‌های یکنواخت تحکیم شده تا نسبت تخلخل یکسان در فشار همه جانبه موثر متفاوت. ... ٤٤

نمودار ۲ – ۱۱ : FLS در فضای مسیر تنش. ٤۵

نمودار ۲ – ۱۲ : شروع روانگرایی جریانی در بارگذاری یکنواخت و متناوب. ٤٦

نمودار ۲ – ۱۳ : ناحیه مستعد برای (A) روانگرایی جریانی و (B) جابجایی دوره‌ای ٤۷

نمودار ۲ – ١٤ : حالت‌های ممکن برای پدیده جابجایی دوره‌ای. ٤٨

نمودار ۳ – ۱ : تغییرات ضریب میرایی بحرانی نرمالایز شده با فرکانس زاویه‌ای ۷۱

نمودار ٤ – ۱ : مقایسه اضافه فشار آب اندازه گیری شده از آزمایش سانتریفیوژ و اضافه فشار آب محاسبه شده با استفاده از نرم افزار در عمق ۵ متری نمونه ۸۱

نمودار ٤ – ۲ : تاریخچه زمانی شتاب اعمالی به کف مدل ۸۹

نمودار ٤ – ۳ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری، برای ضخامت و عمق ۴ متر لایه روانگرا ۹۷

نمودار ۴ – ۴ : تغییرات نسبت فشار آب در وسط لایه روانگرا به تنش کل برای سربارهای مختلف پی ۹۸

نمودار ٤ – ۵ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت ۶ و عمق ۴ متر لایه روانگرا ۹۹

نمودار ٤ – ٦ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت ۸ و عمق ۴ متر لایه روانگرا ۱۰۰

نمودار ٤ – ۷ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت ۴ و عمق ۶ متر لایه روانگرا ۱۰۱

نمودار ٤ – ۸ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت و عمق ۶ متر لایه روانگرا ۱۰۲

نمودار ٤ – ۹ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت ۸ و عمق ۶ متر لایه روانگرا ۱۰۳

نمودار ٤ – ۱۰ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت ۴ و عمق ۸ متر لایه روانگرا ۱۰۳

نمودار ٤ – ۱۱ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت ۶ و عمق ۸ متر لایه روانگرا ۱۰٤

نمودار ٤ – ۱۲ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری ، برای ضخامت و عمق ۸ متر لایه روانگرا ۱۰٤

نمودار ٤ – ۱۳ : تاثیر عرض پی بر ظرفیت باربری برای ضخامت و عمق لایه روانگرای مختلف ۱۰۵

نمودار ٤ – ١٤ : تاثیر عمق لایه سست بر ظرفیت باربری برای عرض پی و ضخامت لایه روانگرای مختلف ۱۰٦

نمودار ٤ – ۱۵ : تاثیر ضخامت لایه سست بر ظرفیت باربری برای عرض پی و عمق لایه سست مختلف ۱۰۷

نمودار ٤ – ١٦ : فشار آب در عمق ۱۰ متری درون لایه ماسه‌ای روانگرا ۱۰۹

نمودار ٤ – ۱۷ : فشار آب در عمق ۳ متری درون لایه ماسه‌ای متراکم ۱۱۰

فهرست اشکال

شکل۲ – ۱ : دیاگرام شماتیکی از آرایش ذرات در خاک‌های ماسه‌ای اشباع ۹

شکل۲ – ۲ : خرابی پلی در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا با تغییر مکان ۲ متری زمین ۱۱

شکل۲ – ۳ : برش شمع بوسیله تغییر مکان زمین در زلزله ۱۹۹۵ کوبه ۱۲

شکل۲ – ٤ : خرابی‌های رایج سازه‌هایی فونداسیون شمعی در زلزله ۱۹۹۵ کوبه ۱۲
شکل۲ – ٥ : خرابی شمع اصطکاکی و اتکایی در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا ۱۳
شکل۲ – ٦ : خرابی پل یاچیو در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا ۱٤
شکل۲ – ۷ : نشست آپارتمان‌ها بعلت روانگرا شدن خاک زیر پی در زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا ۱٤
شکل۲ – ۸ : نشست آپارتمان و تکیه آن به ساختمان مجاور بعلت روانگرا شدن خاک زیر پی در زلزله ترکیه ۱٥
شکل۲ – ۹ : نشست پیاده رو بعلت روانگرای در زلزله نیشینومیا ۱٥
شکل۲ – ۱۰ : خرابی جاده بعلت روانگرایی در زلزله کاستاریکا ۱٦
شکل۲ – ۱۱ : جوشش ماسه در زلزله نیشینومیا ۱٦
شکل۲ – ۱۲ : تصویر شماتیکی نحوه خرابی‌های تاسیسات ساحلی و بندری–زمین ها و مهارها ۲۰
شکل۲ – ۱۳ : تصویر شماتیکی نحوه خرابی‌های تاسیسات ساحلی و بندری–سپر، پی و خاک زیرین ۲۱
شکل۲ – ۱٤ : تصویر شماتیکی نحوه خرابی‌های پی های شمعی ۲۲
شکل۲ – ۱٥ : تصویر شماتیکی نحوه خرابی‌های خمش شمع‌ها و سازه‌های سطحی ۲۳
شکل۲ – ۱٦ : انواع تکنیک‌های تراکم ماسه‌های اشباع برای جلوگیری روانگرایی ناشی از زلزله ۲٤
شکل۲ – ۱۷ : زهکش‌های قائم که برای کاهش خطر روانگرایی در ماسه سست اشباع قرار داده می‌شود ۲٤

شکل ۳ – ۱ : ابعاد کلی مدل ٦۱
شکل ۳ – ۲ : انواع بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی مناسب در FLAC 3D (کف غیرصلب، ورودی از نوع تنش یا نیرو) ٦٥
شکل ۳ – ۳ : انواع بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی مناسب در FLAC 3D (کف صلب، ورودی از نوع شتاب یا سرعت) ٦٥
شکل ۳ – ٤ : مدلی از تحلیل ارتعاشی و آرایش میدان آزاد ٦۸

شکل ٤ – ۱ : نمایش شماتیک برخی از مدل‌های پروژه VELACS ۷٤
شکل ٤ – ۲ : ارتعاش ورودی به کف مدل ۷٥
شکل ٤ – ۳ : ابعاد PROTOTYPE مدل ۱ آزمایش VELACS ۷٦
شکل ٤ – ٤ : مدل مش بندی شده لایه‌های ماسه‌ای ۸۷
شکل ٤ – ٥ : نیروهای عمل و عکس العمل وارده به توده خاک برای محاسبه ظرفیت باربری ۹۳

فصل اول : کلیات طرح

۱-۱ مقدمه و بیان مسئله

زمانی که پی سطحی بر خاک‌های ماسه‌ای با تراز آب زیر زمینی بالا قرار می‌گیرد، خطر وقوع روانگرایی مهمترین مسئله‌ای است که باید در نظر گرفته شود. خاک منطقه‌ای نظیر بابلسر که در ساحل دریای مازندران قرار دارد، کاملا دارای این خصوصیت می‌باشد.

ظرفیت باربری و نشست دو عامل مهمی است که در طراحی هر پی از جمله پی‌های سطحی مورد توجه قرار می‌گیرد تعیین میزان ظرفیت باربری پی‌ها علاوه بر نوع و نحوه گسیختگی خاک زیر پی، به نشست‌های آن نیز وابسته است. به عبارت دیگر ظرفیت باربری یک پی را در صورتی میتوان مجاز دانست که پی نشست قابل قبول و در محدوده مجاز داشته باشد.

۱-۲ هدف تحقیق

با توجه به مقدمه بیان شده، هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی تاثیر ضخامت و عمق لایه مستعد روانگرایی و عرض پی‌های سطحی بر میزان ظرفیت باربری پی‌های مستقر بر لایه‌های روانگراست. و ظرفیت باربری بدست آمده با توجه به معیار نشست مجاز پی تعیین شده است.

۱-۳ اهمیت موضوع و انگیزه انتخاب آن

برای طراحی بسیاری از سازه‌ها و ساختمان‌ها، به دلایل مختلف از پی سطحی استفاده می‌شود. از جمله این دلایل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- بار کم وارده بر پی ناشی از سازه
۲- اهمیت کم ساختمان
۳- باربری مناسب لایه‌های سطحی
۴- و ...

از این رو در مناطقی که سطح آب زیر زمینی بالا بوده و لایه‌های ماسه‌ای سست در لایه‌بندی پروفیل خاک زیر پی قرار دارند، باید امکان کاهش ظرفیت باربری پی سطحی در اثر ایجاد اضافه فشار آب منفذی بررسی شود. عواملی بسیاری بر میزان افزایش فشار آب منفذی و در نتیجه میزان کاهش باربری پی سطحی نقش دارند. تراکم نسبی لایه‌های مختلف، نفوذپذیری، تخلخل، سطح آب زیرزمینی، میزان تنش قائم و تخلخل بحرانی لایه‌های ماسه‌ای عوامل تاثیرگذاری بر پدیده روانگرایی هستند. عوامل مهم هندسی نیز بر این پدیده موثرند. انگیزه انتخاب موضوع این تحقیق بررسی تاثیرات پارامترهای هندسی است. این پارامتر ها عبارتند از :

۱- عمق قرارگرفتن لایه ماسه‌ای سست در بین لایه‌های ماسه‌ای متراکم.
۲- ضخامت لایه سست مستعد روانگرایی نسبت به ضخامت سایر لایه‌ها و عرض پی.
۳- عرض پی سطحی که به ضورت گسترده بارگذاری می‌شود.

۱-۴ سوالات و فرضیه‌های تحقیق

در این تحقیق، با شبیه‌سازی عددی رفتار نمونه‌های ماسه‌ای خاک بابلسر در حین زلزله، سعی شده تا به سوالات زیر پاسخ داده شود:

۱- عمق لایه ماسه‌ای با قابلیت روانگرایی به چه اندازه باشد تا اضافه فشار ناشی از زمین‌لرزه تاثیر چشمگیری بر ظرفیت باربری پی سطحی نداشته باشد.

۲- کاهش عمق لایه روانگرا به چه اندازه بر ظرفیت باربری و نشست پس سطحی اثر دارد؟
۳- ضخامت لایه مستعد روانگرایی نسبت به ضخامت سایر لایه‌های متراکم چه تاثیری بر ظرفیت باربری پی سطحی و نشست آن خواهد داشت؟
۴- عرض پی به چه میزان بر ظرفیت باربری و نشست نهایی موثر است؟

به این سوالات و بسیاری پرسش‌های دیگر با انجام تحقیق حاضر پاسخ داده شده است.

برای مدلسازی ریاضی هر پدیده واقعی فیزیکی، معادلات حاکم شامل فرضیاتی هستند که بسیاری از آن‌ها نقش ساده‌سازی مسئله را دارند. برخی از این فرضیات که در این تحقیق موثرند عبارتند از:

۱- پیوسته ماندن محیط در حین تحلیل و استفاده از معادلات مکانیک محیط‌های پیوسته.
۲- پیروی مصالح از مدل رفتاری موهر-کلمب در حالت تحلیل استاتیکی.
۳- پیروی مصالح از مدل رفتاری فین در حالت تحلیل دینامیکی.
۴- همگن و همسان بودن هر یک از لایه‌ها.
۵- توزیع یکنواخت شتاب در تمام نقاط کف مدل.
۶- شتاب زلزله فقط از طریق کف مدل به کل محیط منتقل می‌شود و از جانب جداره‌ها امواج تنشی زلزله به محیط اثر نمی‌کنند.

۱-۵ مدل تحقیق

برای شبیه‌سازی رفتار نمونه‌ای از خاک ماسه‌ای بابلسر در حین زمین لرزه، از مدلسازی عددی استفاده شده است. این معادلات عددی با استفاده از روش تفاضل محدود حل شده‌اند. برای حل معادلات تعادل از نرم افزار FLAC3D استفاده شده تا بتوان به صورت سه بعدی آن‌ها را در نظر گرفت. به دلیل آن که پی سطحی مسئله حاضر مربعی می‌باشد، ساده‌سازی مسئله و حل آن به صورت دو بعدی، خطای قابل توجهی را وارد محاسبات می‌کند و ضروری است که شبیه‌سازی به شکل سه بعدی انجام گیرد. به منظور بررسی تاثیرات عمق و ضخامت لایه روانگرا، مدل‌هایی با عمق و ضخامت مختلف ساخته و با عرض های مختلف برای پی تحلیل شده است.

۱-۶ تعاریف عملیاتی متغیرها و واژه‌های کلیدی

در ادبیات فنی ژئوتکنیک، واژه‌های فراوانی وجود دارند که بسیاری از آن‌ها در پدیده روانگرایی نیز تکرار می‌شوند. متغیرهای زیادی در تحقیق حاضر موثرند که مهم‌ترین آن‌ها در زیر توضیح داده شده‌اند.

- عدد SPT (N) : تعداد ضربات لازم برای نفوذ دو ۱۵ سانتی متر آخر از نمونه گیر ۴۵ سانتی متری آزمایش نفوذ استاندارد.
- پارامترهای مقاومت برشی موهر کلمب : به عواملی که در معیار گسیختگی برشی موهر کلمب موثرند اطلاق می‌شود. از جمله : زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و زاویه اتساع
- روانگرایی : از بین رفتن مقاومت برشی در اثر افزایش فشار آب منفذی به اندازه تنش موثر.
- ماسه سست : ماسه‌ای که عدد SPT آن کمتر از ۲۰ باشد.
- ماسه متراکم : ماسه‌ای که عدد SPT آن بالاتر از ۲۰ باشد.
- مدل فین : مدل رفتاری اصلاح شده که قابلیت محاسبه تغییرات فشار آب منفذی در اثر کرنش‌های برشی را دارد.
- مدل عددی سه بعدی : دامنه فیزیکی مورد تاثیر مسئله که در سه جهت محور مختصات با استفاده از نقاط گرهی به مش‌های کوچک تقسیم می‌شود. معادلات حاکم از جمله معادلات تعادل و تراوش برای هر یک از این مش‌ها توسط روش تفاضل محدود حل می‌شود.
- بسیاری از پارامترهای دیگر در فصل ۳ تشریح شده‌اند.

۱-۷ روش تحقیق

برای بررسی اثر پارامترهای عمق و ضخامت لایه مستعد روانگرایی بر ظرفیت باربری پی‌های سطحی، از روش تحلیل پارامتریک یا به عبارت دیگر حساسیت سنجی عوامل استفاده شده است. بدین گونه که برای تعیین تاثیر عمق از ۳ مقدار ۴، ۶ و ۸ متری برای فاصله سطح زمین تا تراز بالایی لایه روانگرا استفاده شده و همچنین برای بررسی اثر ضخامت، از سه مقدار ۴، ۶ و ۸ متری برای ضخامت لایه مستعد روانگرایی استفاده شده است. لازم به ذکر است که خاک زیر پی به صورت سه لایه در

نظر گرفته شده که لایه ماسه‌ای روانگرا میانی در میان دو لایه ماسه‌ای متراکم یکسان قرار گرفته و پی سطحی در سطح زمین بار خود را به صورت گسترده بر سطح اعمال می‌کند. برای تعیین ظرفیت باربری ۴ مقدار بار گسترده یکنواخت به مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوپاسکال بر سطح پی اعمال شده و نشست‌ها اندازه‌گیری شده و باری که متناظر با نشست مجاز پی (۷.۵ سانتیمتر) است به عنوان ظرفیت باربری محاسبه شده و برای بررسی عرض پی نیز از مقادیر ۲، ۴، ۸ و ۱۲ متر برای پی مربعی استفاده شده است. پس از برقراری شرایط تعادل ژئواستاتیکی و هیدرولیکی، شتاب زلزله بر اساس رکورد تاریخچه زمانی شتاب که در فصل ۴ ارائه شده به کف مدل اعمال و پس از گذشت ۱۵ ثانیه زمان زلزله، میزان نشست‌های اندازه گیری شده است.

۱-۸ قلمرو تحقیق

با توجه به پارامترهای مختلفی که در این تحقیق از آن استفاده شده است از جمله پارامترهای ژئوتکنیکی ماسه بابلسر، وضعیت لایه بندی خاک متناسب با منطقه، حداکثر شتاب مبنای طرح شهر بابلسر، میزان بار و عرض پی، قلمرو این تحقیق می‌تواند طرز عمکلرد پی سطحی در زمین‌های مشابه باشد. همچنین به طور عامتر می‌توان از نتایج این تحقیق در هر مسئله‌ای که نیاز به تعیین ظرفیت باربری یا نشست در زیر پی سطحی مستقر بر لایه روانگرا است، استفاده کرد. مسائل پی‌های عمیق یا نواری، وجود لایه‌های چسبنده در پروفیل خاک و زمین‌هایی با تراز آب پایین در قلمرو این تحقیق نمی‌باشند.

۱-۹ جامعه و تعداد نمونه

بر اساس مطالب بیان شده در بخش‌های قبل تعداد نمونه‌های تحلیل شده به عبارت زیر است :

- سه اندازه برای عمق لایه روانگرا.
- سه اندازه برای ضخامت لایه روانگرا.
- چهار اندازه برای عرض پی مربعی.
- چهار مقدار برای بار سطحی.

در نتیجه ۴×۴×۳×۳=۱۴۴ نمونه برای تحلیل تاثیر عوامل ذکر شده ساخته شده است. همچنین قبل از ساخت مدل اصلی یک نمونه برای صحت سنجی مدل عددی و مقایسه آن با نتایج آزمایشات VELACS ساخته و تحلیل شده است.

۱-۱۰ محدودیت‌ها و مشکلات تحقیق

در انجام این پایان نامه محدودیت‌ها و نارسایی‌های ذیل وجود داشته که در صورت رفع می‌توانست کمک شایانی به کیفیت بهتر تحقیق بنماید.

۱- محدودیت‌هایی که در مدل رفتاری موهر کلمب وجود دارد.

۲- نبود توضیح جامعی در راهنمای نرم افزار جهت شبیه‌سازی مسئله پیچیده روانگرایی.

فصل دوم : مطالعات نظری

۲-۱ مقدمه

بسیاری از سازه‌ها به دلایل مختلف از جمله، وزن و ارتفاع کم یا اهمیت کم و خواص مقاومتی خاک، به پی‌های عمیق همانند شمع‌ها و ستون‌های سنگی نیازی ندارند. در نتیجه بارهای قائم و جانبی ناشی از این سازه‌ها توسط پی سطحی قابل انتقال به زمین می‌باشند. بسته به هندسه سازه، میزان بار آن و مقاومت زمین، انواع مختلفی از پی‌های سطحی را می‌توان اختیار کرد. یکی از مهمترین و پرکاربردترین نوع پی سطحی، پی‌های گسترده می‌باشند که در سرتاسر مساحت ساختمان و یا ابعادی بزرگتر از آن قرار می‌گیرند. اگر این نوع ساختمان‌ها در مناطقی ساخته شوند که لایه‌بندی زمین شامل ماسه سست در زیر تراز آب باشد، رخ دادن پدیده روانگرایی در حین زلزله خطر بزرگی برای پایداری آن‌هاست.

یک لایه ماسه سست و اشباع هنگامی که تحت اثر ارتعاش قرار می‌گیرد تمایل به تراکم و کاهش حجم دارد. اگر زهکشی انجام نشود فشار آب منفذی زیاد می‌گردد. با تداوم ارتعاش، فشار آب منفذی در ماسه افزوده می‌شود. زمانی خواهد رسید که بر اساس رابطه تنش مؤثر (۲-۱) فشار کل، معادل فشار آب منفذی می‌شود (داس، ۱۳۸۰) [۱]:

$$s' = s - u \qquad (۱-۲)$$

که در این رابطه s' تنش مؤثر، s تنش کل و u فشار آب منفذی است. اگر s مساوی u شود، s' صفر خواهد شد. در این حالت، ماسه هیچگونه مقاومت برشی نداشته و مانند یک مایع غلیظ در می‌آید، این پدیده روانگرایی نامیده می‌شود. در مفهومی گسترده‌تر، پدیده‌ای که در اثر آن مصالح دانه‌ای به علت ارتعاش به حالت مایع در آمده، خواه توده خاک به وسیله آب اشباع یا غیر اشباع باشد به بیان عمومی روانگرایی اطلاق می‌شود (داس، ۱۳۸۰) [۱].

۲-۲ مکانیزم روانگرایی

در خاک‌های ماسه‌ای سست قبل از اینکه زلزله و نیروهای ناشی از آن اعمال شوند، ذرات خاک دارای تماس‌های پایداری بین یکدیگر هستند. این امر موجب می‌شود که مقاومت برشی خاک ، پایداری سازه‌ای را که بر سطح زمین قرار دارد، تأمین نماید. این حالت در شکل۱-۱- الف به صورت شماتیکی نشان داده شده است. هنگامی که این خاک در اثر تنش‌های برشی ناشی از ارتعاشات زلزله، تغییر شکل می‌دهد، همچنان که در شکل ۲-۱- ب مشاهده می‌شود، تماس میان ذرات از بین می‌رود. در نتیجه، نیروهایی که اصولا به وسیله تماس‌های ذرات در امتداد قائم تحمل می‌شدند به آب منفذی منتقل می‌گردند. این حالت همان بروز شرایط روانگرایی خواهد بود. در این حالت تماس میان ذرات از بین رفته و مقاومت برشی خاک صفر می‌شود و خاک ماسه‌ای رفتاری شبیه رفتار یک مایع که وزن مخصوص آن برابر خاک اشباع است از خود نشان خواهد داد. بعد از روانگرایی همزمان با خروج آب تماس بین ذرات خاک مجدداً برقرار شده و حالتی مانند آنچه که در شکل ۲-۱- ج نشان داده شده به وجود می‌آید که همان گیرش مجدد توده خاک، لیکن پس از وقوع مقدار زیادی نشست خواهد بود. کاهش حجم در خاک نشست کرده، برابر حجم آب حفره‌ای است که از خاک خارج شده است. خاک‌های واقعی بسیار پیچیده‌تر هستند زیرا از روی هم قرار گرفتن ذرات با اندازه‌های مختلف تشکیل می‌شوند (میرمحمد حسینی، درخشندی، ۱۳۸۳) [۲].