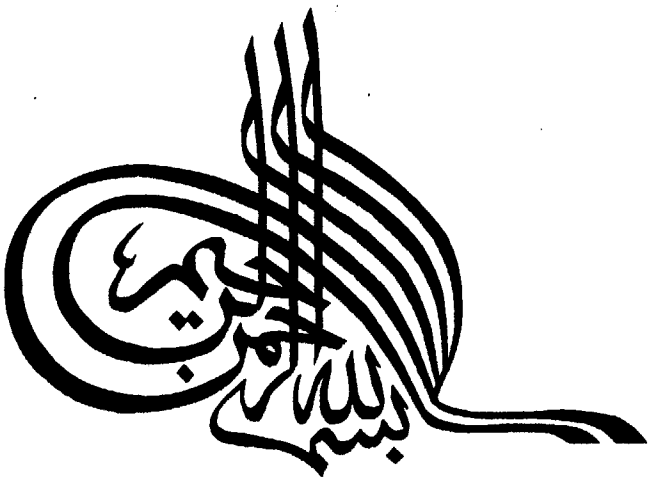

٣٧٩١٤

۱۱

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران ۱۳۸۰/۸/۳۰

گرایش خاک و پی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

عنوان:

بررسی رفتار روانگرایی ماسه‌های لای‌دار با ساختار لایه لایه با استفاده از آزمایشات سه محوری استاتیکی

011681

۳۷۹۱٤

استاد راهنما:

دکتر محمد حسن بازیار

دانشجو:

احمدرضا طبیب نژاد

۳۷۹۱٤
دی ماه ۱۳۷۹

تقدیم به

پدر و مادر عزیز

و همسر مهربانم

چکیده :

تاکنون مطالعات محدودی در زمینه رفتار روانگرایی رسوبات لایه‌لایه لای و ماسه صورت گرفته است. در حالیکه این رسوبات به فراوانی در نهشته‌های طبیعی یافت شده و وقوع روانگرایی در حین زلزله در آنها گزارش شده است.

اهداف مورد نظر در این تحقیق بررسی اثر آرایش لایه‌ها و مقدار ریزدانه‌ها(لای) بررفتار روانگرایی نمونه‌های لایه‌لایه و همگن ماسهٔ لای‌دار، مقایسه رفتار روانگرایی نمونه‌های لایه‌لایه و همگن و بررسی اثر ساختار خاک بر رفتار روانگرایی نمونه‌های لایه‌لایه بوده است.

برای دستیابی به این اهداف یک برنامه آزمایشاهی شامل ۲۷ آزمایش سه محوری فشاری زهکشی نشده با کنترل کرنش بر روی نمونه‌های ماسهٔ لای‌دار با درصد لای و آرایش متفاوت لایه‌ها صورت گرفته است.

نمونه‌ها به دو روش تراکم کاهش یافته (Undercompaction) (برای نمونه‌های همگن و لایه‌لایه) و رسوبگذاری در آب (Water sedimentation) (برای نمونه‌های لایه‌لایه) تهیه شده‌اند.

مقدار ریزدانه‌ها بین ۲۰ تا ۶۰ درصد تغییر داده شد و سه آرایش لایه‌های متفاوت مورد آزمایش قرارگرفتند. هر نوع از نمونه‌ها با درصد لای و آرایش لایه‌های مربوطه، در سه تنش همه جانبهٔ ۱۵۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ کیلوپاسکال مورد آزمایش قرارگرفتند.

نتایج نشان دادند که پتانسیل روانگرایی نمونه‌های ماسهٔ لای‌دار بیشتر تحت تأثیر مقدار ریزدانه‌هاست تا آرایش لایه‌های لای و ماسه، ضمناً افزایش درصد لای در ابتدا باعث افزایش پتانسیل روانگرایی نمونه‌ها شده و در ادامه، افزایش بیشتر درصد لای پتانسیل روانگرایی نمونه‌ها راکاهش می‌دهد. همچنین مشاهده شد که ساختار ایجاد شده در خاک در حین نمونه سازی، می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رفتار و پتانسیل روانگرایی نمونه‌ها داشته باشد.

تقدیر و تشکر:

اکنون که به لطف خداوند ثمره تلاشم را در عرصه تحصیل تقدیم می‌کنم، بر خود لازم می‌دانم که از کلیهٔ آموزگاران و اساتید دلسوز و محترمی که در دوران تحصیلم افتخار شاگردیشان را داشته‌ام، تشکر کرده و با تقدیم این رساله پاسخگوی گوشه‌ای از زحمات فداکارانه ایشان باشم.

نهایت امتنان را از استاد ارجمند جناب آقای دکتر بازیار دارم که چنانچه حسن و رجحانی در این مجموعه ملاحظه می‌گردد، نتیجه زحمات بیدریغ و راهنماییهای ارزشمند ایشان در مدت تحصیل و تکمیل این رساله است.

از دوست و استاد عزیزم جناب آقای دکتر نائینی که با همکاری‌های صمیمانه خود در کلیه مراحل انجام این تحقیق مرا یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از اساتید محترم آقایان دکتر جعفری و دکتر غیاثیان که با مطالعه این مجموعه و ارائه نظرات خود، موجب بهبود این پروژه گشتند، تشکر فراوان دارم.

از کلیه مسئولین و کارکنان آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه علم و صنعت ایران که در مدت انجام این تحقیق، موجب فراهم نمودن تسهیلات اجرایی کار گشتند، بسیار سپاسگذارم.

احمدرضا طبیب نژاد

فهرست عناوین

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱

۱ـ مقدمه ۱

فصل دوم ۷

۲ـ مفاهیم کلی ۸

۱ـ۲ـ روانگرایی استاتیکی (Static Liquefaction) ۸

۲ـ۲ـ مفهوم حالت دائمی (Steady state) ۱۰

۱ـ۲ـ۲ـ حالت شبه دائمی (Quasi - steady state) ۱۳

۳ـ۲ـ خط حالت دائمی SSL و خصوصیات آن ۱۴

۱ـ۳ـ۲ـ خط حالت شبه دائمی (Qssl) ۱۸

۴ـ۲ـ خط حالت دائمی و پتانسیل روانگرایی ۱۹

فصل سوم ۲۲

۳ـ تاریخچه ۲۳

۱ـ۳ـ مطالعات انجام شده در زمینهٔ رونگرایی ماسه‌های خالص ۲۳

۲ـ۳ـ مطالعات انجام شده در زمینهٔ روانگرایی ماسه‌های لای‌دار ۳۰

۳ـ۳ـ مطالعات انجام شده در زمینهٔ روانگرایی رسوبات لایه لایهٔ و ماسه ۳۴

۴ـ۳ـ جایگاه تحقیق حاضر ۴۱

عنوان | صفحه

۱-۴-۳-انتاخب مصالح ۴۱

۲-۴-۳-روش‌های نمونه سازی ۴۱

۳-۴-۳-بارگذاری نمونه‌ها ۴۴

فصل چهارم ۴۶

۴-معرفی جزئیات آزمایشگاهی ۴۷

۱-۴-مقدمه ۴۷

۲-۴-راه‌اندازی سیستم اندازه‌گیری کامپیوتر ۴۸

۳-۴-روش انجام آزمایشات ۴۹

۱-۳-۴-روشهای مختلف نمونه‌سازی ۴۹

۱-۱-۳-۴-روش تراکم کاهش یافته(Undercompaction) ۵۰

۲-۱-۳-۴-روش رسوبگذاری در آب(Water sedimentation) ۵۲

۲-۳-۴-آماده‌سازی نمونه جهت شروع آزمایش ۵۶

۳-۳-۴-اندازه‌گیری ابعاد نمونه ۵۷

۴-۳-۴-اشباع کردن نمونه ۵۷

۵-۳-۴-تحکیم نمونه ۵۹

۶-۳-۴-بارگذاری نمونه ۶۰

۷-۳-۴-ثبت داده‌ها ۶۰

عنوان **صفحه**

۸-۳-۴- تعیین نسبت تخلخل ۶۰

۹-۳-۴- مصالح مورد آزمایش ۶۲

۱۰-۳-۴- برنامه آزمایشگاهی ۶۴

فصل پنجم ۶۹

۵- نتایج آزمایشات مربوط به نمونه‌های تهیه شده به روش تراکم کاهش یافته(Undercompaction) ۷۰

۱-۵- رفتار نمونه‌ها تحت اثر بارگذاری ۷۰

۱-۱-۵- تأثیر آرایش لایه‌ها و مقادیر ریزدانه‌ها بر مقاومتهای حداکثر و حالت دائمی ۷۸

۲-۱-۵- اثر تنش همه جانبهٔ تحکیمی بر مقاومتهای حداکثرو حالت دائمی ۸۱

۲-۵- خطوط حالت دائمی و پتانسیل روانگرایی ۸۲

۱-۲-۵- نمونه‌های لایه لایه (اثر آرایش لایه‌ها) ۸۴

۲-۲-۵- نمونه‌های همگن(اثر مقدار ریزدانه) ۸۵

۳-۲-۵- مقایسهٔ نمونه‌های لایه لایه و همگن ۸۵

۴-۲-۵- شیب خطوط حالت دائمی ۸۶

۳-۵- زوایای اصطکاک حالت دائمی ۸۸

فصل ششم ۹۱

۶- نتایج آزمایشات مربوط به نمونه‌های تهیه شده به روش رسوبگذاری در

عنوان | صفحه

آب(WaterSedimentation)..... ۹۲

۱ـ۶ـ رفتار نمونه‌ها تحت اثر بارگذاری..... ۹۲

۱ـ۱ـ۶ـ تأثیر آرایش لایه‌ها بر مقاومتهای حداکثر و حالت دائمی..... ۹۷

۲ـ۱ـ۶ـ اثر تنش همه جانبهٔ تحکیمی بر مقاومتهای حداکثر و حالت دائمی..... ۹۸

۲ـ۶ـ خطوط حالت دائمی و پتانسیل روانگرایی..... ۹۸

۱ـ۲ـ۶ـ اثر آرایش لایه‌ها بر پتانسیل روانگرایی..... ۹۹

۲ـ۲ـ۶ـ شیب خطوط حالت دائمی..... ۱۰۰

۳ـ۶ـ زوایای اصطکاک حالت دائمی..... ۱۰۱

فصل هفتم..... ۱۰۲

۷ـ جمع بندی و نتیجه گیری..... ۱۰۳

فهرست نمودارها و تصاویر

شکل **عنوان** **صفحه**

فصل دوم:

۲-۱ نمودار تنش -کرنش و مسیر تنش شماتیک برای رفتار روانگرایی استاتیکی جزئی ۹

۲-۲ مفهوم نسبت تخلخل بحرانی ۱۲

۲-۳ حالت شبه دائمی (Qss)..... ۱۳

۲-۴ خط حالت دائمی (SSL) و مسیرهای آزمایشات زهکشی شده و زهکشی‌نشده ۱۵

۲-۵ مقایسهٔ شیب خط (SSL) و خط تراکم (تحکیم) خاکهای ماسه‌ای ۱۸

۲-۶ خط حالت دائمی و نواحی روانگرا و غیر روانگرا ۱۹

فصل سوم:

۳-۱ ناحیه بندی رفتاری ماسه‌ها در فضای لگاریتم تنش مؤثر حداقل - نسبت تخلخل (کاسترو ۱۹۶۹) ۲۴

۳-۲ نمودارهای تنش انحرافی و فشار آب حفره‌ای در مقابل کرنش محوری و مسیر تنش (کاسترو ۱۹۶۹)..... ۲۴

فصل چهارم:

۴-۱ منحنی‌های دانه بندی مصالح مورد آزمایش ۶۴

فصل پنجم:

۵-۱ نمایش الگوی رفتاری نمونه‌ها (a) نمودار تنش -کرنش، (b) نمودار فشار آب حفره‌ای در مقابل کرنش محوری و (c) مسیر تنش ۷۱

۵-۲ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۱۵۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۷۵

۵-۳ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۳۰۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۷۶

۵-۴ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۵۰۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۷۷

۵-۵ خطوط حالت دائمی نمونه‌های تهیه شده به روش تراکم کاهش یافته (a) در فضای $e\text{-}\log\sigma'_3$, (b) در فضای $e\text{-}\log S_{us}$..... ۸۳

فصل ششم:

۶-۱ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۱۵۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۹۴

شکل	عنوان	صفحه

۶-۲ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۳۰۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۹۵
۶-۳ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۵۰۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۹۶
۶-۴ خطوط حالت دائمی نمونه‌های تهیه شده به روش رسوبگذاری در آب (a) در فضای $e\text{-}\log\sigma'_3$, (b) در فضای $e\text{-}\log S_{us}$ ۹۹

هفتم

۷-۱ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۱۵۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۱۰۵
۷-۲ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۳۰۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۱۰۶
۷-۳ نمونه‌های تحکیم یافته تا فشار تحکیمی ۵۰۰kpa، (a) نمودارهای تنش -کرنش، (b) فشار آب حفره‌ای -کرنش و (c) مسیرهای تنش ۱۰۷
۷-۴ خطوط حالت دائمی کلیه نمونه‌های مورد آزمایش (a) در فضای $e\text{-}\log\sigma'_3$, (b) در فضای $e\text{-}\log S_{us}$ ۱۰۸

فهرست جداول

جدول **عنوان** **صفحه**

فصل چهارم:
۴-۱ نمایش شماتیک آرایش لایه‌های لای و ماسه برای نمونه‌های تهیه شده به روش رسوبگذاری در آب ۵۳
۴-۲ برنامه‌های آزمایشگاهی ۶۷

فصل پنجم:
۵-۱ مقادیر عددی مقاومتهای حداکثر و حالت دائمی نمونه‌های تهیه شده به روش تراکم کاهش یافته ۷۸
۵-۲ زوایای اصطکاک و α'_s برای نمونه‌های تهیه شده به روش تراکم کاهش یافته ۸۹

فصل ششم:
۶-۱ مقادیر عددی مقاومتهای حداکثر و حالت دائمی نمونه‌های تهیه شده به روش رسوبگذاری در آب ۹۷
۶-۲ زوایای اصطکاک و α'_s برای نمونه‌های تهیه شده به روش رسوبگذاری در آب ۱۰۱

فصل هفتم
۷-۱ مقادیر عددی مقاومتهای حداکثر و حالت دائمی کلیه نمونه‌های مورد آزمایش ۱۰۹

فصل اول

«فصل اول»

۱ ـ مقدمه: یکی از پدیده‌هایی که از دیرباز باعث بروز صدمات جبران‌ناپذیر جانی و مالی می‌شده است، زلزله می‌باشد. بشر در برخوردهای اولیه با این پدیدهٔ زیان‌بار بدلیل دانش ناکافی از مبارزهٔ علمی با آن گریخته و به خرافات پناه می‌برد. اما بتدریج با پیشرفت علم و فن‌آوری، محققین به بررسی علمی این پدیده پرداختند و امروزه به پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در زمینه پیشگیری از صدمات ناشی از آن دست یافته‌اند.

یکی از مهمترین قسمتهایی که پدیدهٔ زلزله آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، خاک است و از آنجائیکه در هر سازه‌ای یکی از مهمترین عناصر و یا مهمترین عنصر (سازه‌های خاکی) در سیستم انتقال‌بار، خاک می‌باشد، لذا اثرات ناشی از وقوع زلزله بر مشخصات مکانیکی خاکها خصوصاً ظرفیت‌باربری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مشاهدهٔ خرابیهایی مانند کاهش ظرفیت باربری خاک واقع در زیر پی ساختمانها، لغزش شیبها و بدنه سدهای خاکی در حین زلزله محققین را بر آن داشت تا اثرات وقوع زلزله بر خصوصیات باربری خاکها را، بدقت مورد مطالعه قرار دهند. از نظر ژئوتکنیکی مهمترین پدیده‌ای که در اثر وقوع زلزله ممکن است در خاک رخ دهد «روانگرایی» **(liquefaction)** نام دارد.

هیزن **(Hazen)** برای اولین بار لغت روانگرایی **(liquefaction)** را بکار برد تا شکست سد کالاوراس **(Calaveras)** کالیفرنیا را در سال ۱۹۱۸ توضیح دهد. از آن پس این پدیده مورد بررسی و مطالعه بسیاری از محققین قرارگرفته است. هر چند عبارت روانگرایی در ابتدا برای توضیح شکست یک سد در اثر بارهای وزنی بکار رفت. ولی این پدیده بعدها در مورد بارهای لرزه‌ای و دینامیکی نیز بکار برده شد.

وقوع زلزله ۱۹٦٤ نیگاتا در ژاپن و واژگونی ساختمانهای بتونی در اثر از بین رفتن ظرفیت باربری خاک زیربی این ساختمانها در اثر وقوع روانگرایی و همچنین شکست سد سن فرناندوی پایینی **(lower san fernando dam)** در اثر زلزله ۱۹۷۱ و وقوع روانگرایی در قسمت پوستهٔ بالا دست این سد، از جمله رویدادهایی بودند که باعث شدند محققین برای شناخت این پدیده، تلاش بیشتری بکار برند.

آرتور کاساگرانده **(Arthur casagrande)** برای نخستین بار شکست کلی ناشی از روانگرایی را مورد بررسی قرار داد و فرضیه تخلخل بحرانی **(critical void Ratio)** را مطرح نمود.

سید **(H.B.Seed)** و کاسترو **(G.Castro)** از جمله محققین برجسته‌ای هستند که با انجام آزمایشات سه محوری استاتیکی و سیکلیک بر روی ماسه تحکیم یافته بصورت همسان و غیر همسان پدیدهٔ روانگرایی را مورد بررسی قرار دادند.

هر چند این دو محقّق هر دو برای بررسی پدیدهٔ روانگرایی از آزمایشات مشابهی استفاده نمودند، امّا تعاریف آنها از شکست خاک، با یکدیگر تفاوت اساسی دارند.

سید و همکارانش شکست خاک را بصورت ایجاد یک کرنش سیکلیک وقتی فشار آب حفره‌ای در حین بارگذاری با کنترل تنش بوجود می‌آید، تعریف کردند.

در حالیکه کاستر و همکارانش شکست را بعنوان روانگرایی کامل بدین ترتیب تعریف کردند، روانگرایی پدیده‌ایست که در آن مقاومت برشی توده‌ای از خاک هنگامیکه با حجم ثابت (شرایط زهکشی نشده) تحت تأثیر بارگذاری استاتیکی، سیکلیک و یا دینامیکی قرار می‌گیرد، کاهش می‌یابد، در چنین شرایطی تودهٔ خاک تا زمانیکه تنش برشی موجود کوچکتر یا مساوی مقاومت برشی کاهش یافته شود، کرنش‌های برشی بسیار بزرگی را