

۱۳۷۸ / ۱۰ / ۲۵

بسم الله الرحمن الرحيم

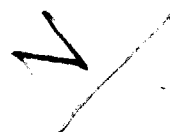
ظرفیت باربری پی حلقوی روی خاکهای ماسه‌ای

بوسیله
محمدرضا رضوی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای
تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته
مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی
از
دانشگاه شیراز
شیراز، ایران



۱۴۷۷۹

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

امضاء اعضاء کمیته پایان نامه :

دکتر نادر هاتف، استادیار مهندسی راه و ساختمان (رئیس کمیته).....

دکتر ارسلان قهرمانی، استاد مهندسی راه و ساختمان.....

دکتر قاسم حبیب آگهی، دانشیار مهندسی راه و ساختمان.....

شهریورماه ۱۳۷۸

۲۷۴۶۷

تقدیم به مادر، پدر،
همسر، خواهر و برادرانم

۲۷۴۶۷

سپاسگزاری

از راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی‌دریغ جناب آقای دکتر نادر هاتف که بدون همکاری‌های مستمر ایشان، انجام این تحقیق میسر نبود، کمال تشکر را دارم.

اساتیدگرامی جناب آقای دکتر قهرمانی و جناب آقای دکتر حبیب‌آگهی با راهنمایی‌های ارزشمندشان کمک فراوانی به هرچه بهتر شدن این تحقیق نمودند که بدینوسیله از ایشان نیز تشکر و قدردانی می‌کنم.

در طرح و ساخت وسایل آزمایشگاهی آقایان مهندس سروش تیمناک و سیامک تیمناک و دوستان ایشان در شرکت مهندسی فرنودسار نقش مهمی را ایفا نمودند که بدینوسیله از زحمات ایشان قدردانی می‌کنم.

از همکاری آقایان مهندس هنرپروران در تایپ این پایان‌نامه و مهندس نقشینه در انجام آزمایش‌ها نیز تشکر می‌کنم.

چکیده

ظرفیت باربری پی حلقوی روی خاک‌های ماسه‌ای

توسط

محمدرضا رضوی

در این پایان‌نامه ظرفیت باربری پی حلقوی بر روی خاک‌های ماسه‌ای تحت اثر بارگذاری استاتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. ظرفیت باربری پی حلقوی در آزمایشگاه، بر اساس نسبت قطر داخلی به خارجی پی، زبری کف پی، ضخامت لایه ماسه‌ای زیر پی، دانه‌بندی ماسه و مقدار آب با ساخت مخزنی استوانه‌ای برای ماسه و یک سیستم بارگذاری استاتیکی جهت بارگذاری روی پی و انجام آزمایش‌های مختلف و متعدد حاصل شده است. شکل پوش گسیختگی خاک زیر پی نیز در آزمایشگاه بدست آمد و بر اساس آن یک رابطه نیمه تجربی برای ظرفیت باربری، حاصل شد که با نتایج حاصل از آزمایشگاه و نیز تحقیقاتی که قبلاً انجام شده است، تطابق بسیار خوبی را نشان می‌دهد. نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از یک مدلسازی اجزای محدود بوسیله نرم‌افزار NISA-II، مقایسه شدند که در این مورد هم نتایج مشابه بوده و با یکدیگر مطابقت دارند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست جداول
نه	فهرست اشکال
۱	فصل اول : مقدمه
۵	فصل دوم : مروری بر تحقیقات گذشته
۵	۱-۲- تحقیقات انجام شده توسط K. E. EGOROV
۸	۲-۲- تحقیقات انجام شده توسط ، Kitaykina ،Konovalov ،Egorov Zinovyev و Salinkov
۱۲	۳-۲- تحقیقات انجام شده توسط OHRI ، DUBEY و PUROHIT
۱۵	فصل سوم : روش تحقیق
۱۵	۱-۳- مقدمه
۱۵	۲-۳- پی های حلقوی
۱۸	۳-۳- محفظه خاک
۱۸	۴-۳- سیستم بارگذاری
۱۹	۵-۳- نحوه اعمال بار از اهرم به پی

۲۱	۳-۶- ماسه
۲۲	۳-۶-۱- جرم حجمی خاک
۲۲	۳-۶-۲- پارامترهای مکانیکی خاک با استفاده از آزمایش برش مستقیم
۲۴	۳-۷- نحوه پر کردن مخزن
۲۴	۳-۸- نحوه انجام آزمایش ظرفیت باربری پی
۲۶	۳-۹- نحوه بدست آوردن پوش گسیختگی
۲۸	فصل چهارم: نتایج
۲۸	۴-۱- روش بدست آوردن ظرفیت باربری نهایی از روی نمودار p-s
۲۸	۴-۲- وضعیت کلی نمودارها
۳۰	۴-۳- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با نسبت قطر داخلی به خارجی پی
۳۴	۴-۴- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با ضخامت لایه ماسه‌ای
۳۶	۴-۵- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با تغییر زبری کف پی
۳۸	۴-۶- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با تغییر دانه بندی
۴۰	۴-۷- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با مقدار آب
۴۰	۴-۸- پوش گسیختگی خاک زیر پی
۴۶	فصل پنجم: بحث، نتیجه گیری و پیشنهادها
۴۶	۵-۱- مقدمه
۴۶	۵-۲- ارتباط بین ظرفیت باربری نهایی و نسبت قطر داخلی به خارجی پی

۴۸	۳-۵- رابطه نیمه تجربی ظرفیت باربری
	۴-۵- نتیجه تحلیل عددی پی ها توسط مدل اجزای
۵۵	محدود
۵۶	۵-۵- ارتباط بین ظرفیت باربری نهایی و ضخامت لایه ماسه
۵۸	۶-۵- تأثیر زبری کف پی در مقدار ظرفیت باربری نهایی
۵۹	۷-۵- تأثیر دانه بندی خاک در ظرفیت باربری نهایی
۵۹	۸-۵- ارتباط بین ظرفیت باربری نهایی و مقدار آب (w)
۶۰	۹-۵- پیشنهادها
	پیوست الف- محدوده تأثیر تنش های زیر پی و نمودار آزمایش های تنش-نشست
۶۱	تنش-نشست
	پیوست ب- اثبات رابطه نیمه تجربی ظرفیت باربری نهایی پی حلقوی روی ماسه
۶۵	روی ماسه
۸۷	فهرست منابع صفحه چکیده و صفحه عنوان به زبان انگلیسی

فهرست جداول

صفحه	جدول
۸	جدول ۱-۲ - مقادیر $\omega(n)$ به ازای مقادیر مختلف n
۱۳	جدول ۲-۲ - مشخصات بی‌های حلقوی مورد استفاده در آزمایش‌ها
۱۶	جدول ۱-۳ - مشخصات بی‌های حلقوی ساخته شده
۵۱	جدول ۱-۵ - ضریب λ بر حسب ϕ
۷۳	جدول ب-۱ - ضریب λ بر حسب ϕ

فهرست اشکال

صفحه	شکل
۵	شکل ۱-۲- پی حلقوی در نظر گرفته شده توسط Egorov
۷	شکل ۲-۲- توزیع تنش تماسی زیر پی، در حالت الاستیک برای مقادیر مختلف n
۹	شکل ۳-۲- ضریب k بر حسب مقادیر مختلف n و نسبت عمق به شعاع خارجی پی
۱۷	شکل ۱-۳- نمونه‌ای از پی‌های حلقوی مورد استفاده در آزمایش‌ها
۲۰	شکل ۲-۳- مشخصات دستگاه بارگذاری
۲۱	شکل ۳-۳- مخزن خاک و سیستم بارگذاری در حین آزمایش
۲۳	شکل ۴-۳- نمودار دانه‌بندی ماسه درشت دانه
۲۳	شکل ۵-۳- نمودار دانه‌بندی ماسه ریز دانه
۲۵	شکل ۶-۳- سیستم اعمال نیرو و اندازه‌گیری کننده نشست پی
۲۶	شکل ۷-۳- خاک بستر زیر پی پس از خاتمه آزمایش
۲۷	شکل ۸-۳- ریختن چهار لایه سنگ خرد شده با رنگ‌های مختلف در محدوده اثر پی، برای بدست آوردن پوش گسیختگی

- شکل ۴-۱- نحوه بدست آوردن ظرفیت باربری نهایی از روی نمودار p-s
- ۲۹
- شکل ۴-۲- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با نسبت قطر داخلی به خارجی پی (n)، برای ضخامت ۹۰ سانتیمتر
- ۳۰
- لایه ماسه‌ای و کف پی با اصطکاک حداقل
- ۳۰
- شکل ۴-۳- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با نسبت قطر داخلی به خارجی پی (n)، برای ضخامت ۷۰ سانتیمتر
- ۳۱
- لایه ماسه‌ای و کف پی با اصطکاک حداقل
- ۳۱
- شکل ۴-۴- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با نسبت قطر داخلی به خارجی پی (n)، برای ضخامت ۶۰ سانتیمتر
- ۳۱
- لایه ماسه‌ای و کف پی با اصطکاک حداقل
- ۳۱
- شکل ۴-۵- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با نسبت قطر داخلی به خارجی پی (n)، برای ضخامت ۹۰ سانتیمتر
- ۳۲
- لایه ماسه‌ای و کف پی با اصطکاک حداکثر
- ۳۲
- شکل ۴-۶- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با نسبت قطر داخلی به خارجی پی (n)، برای ضخامت ۷۰ سانتیمتر
- ۳۲
- لایه ماسه‌ای و کف پی با اصطکاک حداکثر
- ۳۲
- شکل ۴-۷- تغییرات ظرفیت باربری نهایی با نسبت قطر داخلی به خارجی پی (n)، برای ضخامت ۶۰ سانتیمتر
- ۳۳
- لایه ماسه‌ای و کف پی با اصطکاک حداکثر
- ۳۳
- شکل ۴-۸- تغییرات ظرفیت باربری پی با تغییر نسبت قطر داخلی به خارجی پی و ضخامت‌های مختلف لایه ماسه‌ای برای پی با اصطکاک حداقل
- ۳۴

- شکل ۴-۹- تغییرات ظرفیت باربری پی با تغییر نسبت قطر داخلی به خارجی پی و ضخامت‌های مختلف لایه ماسه‌ای برای پی با اصطکاک حداکثر
- شکل ۴-۱۰- تغییرات ظرفیت باربری نهایی پی با زبری کف پی برای ضخامت ۹۰ سانتیمتر لایه ماسه‌ای.
- شکل ۴-۱۱- تغییرات ظرفیت باربری نهایی پی با زبری کف پی برای ضخامت ۷۰ سانتیمتر لایه ماسه‌ای
- شکل ۴-۱۲- تغییرات ظرفیت باربری نهایی پی با زبری کف پی برای ضخامت ۶۰ سانتیمتر لایه ماسه‌ای
- شکل ۴-۱۳- مقایسه ظرفیت باربری بر حسب دو نوع دانه بندی ریز و درشت برای پی با قطر خارجی ۱۵ سانتیمتر و نسبت قطر خارجی به داخلی 0.4 ، با اصطکاک حداکثر و ضخامت ۶۰ سانتیمتر لایه ماسه‌ای
- شکل ۴-۱۴- مقایسه ظرفیت باربری بر حسب دو نوع دانه بندی ریز و درشت برای پی با قطر خارجی $13/2$ سانتیمتر و نسبت قطر خارجی به داخلی 0.53 ، با اصطکاک حداکثر و ضخامت ۶۰ سانتیمتر لایه ماسه‌ای
- شکل ۴-۱۵- تغییرات ظرفیت باربری نهایی پی با قطر خارجی ۱۵ سانتیمتر و نسبت قطر داخلی به خارجی 0.6 برای ضخامت ۶۰ سانتیمتر لایه ماسه با مقدار آب صفر، ۱ و ۳ درصد
- شکل ۴-۱۶- مقطع زدن بوسیله بالا آوردن ورق پلی‌اکریل از زیر خاک
- شکل ۴-۱۷- باز کردن یک نیمه مخزن برای خالی کردن خاک یک طرف و رویت پوش گسیختگی

- شکل ۴-۱۸- نگهداری ورق پلی‌اکریل با دست، جهت جلوگیری از
ریزش ماسه
- شکل ۴-۱۹- پوش گسیختگی زیر پی
- شکل ۴-۲۰- محدوده پوش گسیختگی و پی مورد استفاده در آزمایش
- شکل ۵-۱- مقایسه بازده پی‌های حلقوی نسبت به یک پی دایره‌ای با
قطر خارجی ۱۵ سانتیمتر
- شکل ۵-۲- مقطع پوش گسیختگی زیر پی و معادلات در نظر
گرفته شده برای آن
- شکل ۵-۳- ضرایب افزایشده و کاهشده ظرفیت باربری پی
- شکل ۵-۴- ظرفیت باربری نهایی حاصل از رابطه ۵-۱
- شکل ۵-۵- ظرفیت باربری نهایی حاصل از رابطه ۵-۱ پس از
تصحیح با ضرب ضریب افزایشده مقیاس
- شکل ۵-۶- مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزار NISA-II و آزمایشگاه
- شکل ۵-۷- مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزار NISA-II و آزمایشگاه
برای ضخامت‌های مختلف ماسه
- شکل الف-۱- تنش‌های *Octahedral* ایجاد شده در خاک زیر پی
- شکل الف-۲- نمودار آزمایش‌های انجام شده برای پی با کف صیقلی
- شکل الف-۳- نمودار آزمایش‌های انجام شده برای پی با کف زبر
- شکل ب-۱- پوش گسیختگی زیر پی حلقوی بر روی سطح یک خاک
ماسه‌ای
- شکل ب-۲- گوه گسیختگی I
- شکل ب-۳- گوه گسیختگی II
- شکل ب-۴- گوه گسیختگی III
- شکل ب-۵- گوه گسیختگی IV
- شکل ب-۶- گوه گسیختگی V

- ۷۵ شکل ب-۷- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 5^\circ$
- ۷۶ شکل ب-۸- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 10^\circ$
- ۷۷ شکل ب-۹- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 15^\circ$
- ۷۸ شکل ب-۱۰- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 20^\circ$
- ۷۹ شکل ب-۱۱- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 25^\circ$
- ۸۰ شکل ب-۱۲- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 30^\circ$
- ۸۱ شکل ب-۱۳- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 35^\circ$
- ۸۲ شکل ب-۱۴- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 40^\circ$
- ۸۳ شکل ب-۱۵- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 45^\circ$
- ۸۴ شکل ب-۱۶- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 50^\circ$
- ۸۵ شکل ب-۱۷- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 5^\circ$ تا $\phi = 30^\circ$
- ۸۶ شکل ب-۱۸- گراف N_r بر حسب n ، برای $\phi = 35^\circ$ تا $\phi = 50^\circ$

فصل اول

مقدمه

ظرفیت باربری خاک در طرح پی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. در نظر گرفتن ظرفیت باربری خاک به میزان بیشتر از مقدار واقعی چه بسا موجب وارد آمدن خسارات سنگین به سازه‌ها و یا زوال کلی آنها شده است. از طرف دیگر در نظر گرفتن آن به میزان کمتر از مقدار واقعی باعث بزرگ شدن بیش از حد ابعاد پی شده و پی را غیر اقتصادی می‌سازد.

ظرفیت باربری نهایی حداکثر فشار قابل تحمل توسط خاک می‌باشد که می‌تواند از طرف سازه به خاک وارد شود. ظرفیت باربری نهایی خاک نه تنها به مشخصات مکانیکی خاک بستگی دارد، بلکه تابعی است از شکل، ابعاد، صلیبیت و زبری کف پی.

حصول به یک رابطه کلی جهت ظرفیت باربری نهایی خاک، حتی با در نظر گرفتن تعداد محدودی از عوامل مؤثر در آن منجر به معادلات دیفرانسیل بسیار پیچیده‌ای می‌شود که حل آنها در حالت کلی مقدور نبوده و تنها در برخی حالات محدود میسر می‌باشد. البته امروزه با وجود روشهای عددی سودمندی مثل روش اجزای محدود، گرایش به سمت روشهای تحلیل عددی افزایش یافته است؛ ولی به هر حال نباید از نظر دور داشت که نتایج حاصل از مدلسازیهای اجزای محدود و یا روشهای مشابه، وقتی کارایی خواهند داشت که نتایج آزمایشگاهی صحت آنها را تأیید کنند.

تاکنون رابطه ظرفیت باربری نهایی خاک برای پی‌های نواری، مستطیلی و دایره‌ای با در نظر گرفتن فرضیات ساده کننده مسأله، توسط افراد مختلفی ارائه شده است که در همه آنها اهمیت شکل پی کاملاً مشهود است. در حقیقت شکل نواحی گسیختگی خاک زیر پی با شکل پی در ارتباط است و به همین علت نیز می‌توان ظرفیت باربری نهایی خاک را به طور ساده‌تر ظرفیت باربری نهایی پی با شکل مورد نظر، مثلاً "ظرفیت باربری نهایی پی دایره‌ای و مانند آن نامید.

پی حلقوی یکی از پی‌هایی است که برای سازه‌های خاصی مانند برجها، منابع آب هوایی، دودکش‌ها، مخازن نفتی، راکتورهای اتمی و سازه‌های گنبدی بسیار مفید و مناسب است و تجربیات عملی اقتصادی بودن آن را نسبت به پی دایره‌ای به خوبی نشان داده‌اند.

اگرچه پی حلقوی و دایره‌ای ظاهراً مشابه می‌باشند، اما رفتار آنها از نظر توزیع فشار تماسی روی خاک، نشست و موارد مشابه با یکدیگر کاملاً متفاوت است و به پی حلقوی نمی‌توان به دید یک پی دایره‌ای نگریست.

مطالعات انجام شده بر روی پی حلقوی بسیار محدود بوده و با آن بیشتر به صورت یک پی دایره‌ای برخورد می‌شود. همچنین از پوش گسیختگی خاک زیر آن اطلاع دقیقی در دسترس نیست. با توجه به دامنه وسیع کاربرد این پی به خصوص در ساختمان‌های مهمی مانند برج‌های مرتفع لزوم انجام تحقیقات وسیع‌تر و دقیق‌تر در مورد آن، مشخص می‌شود.

برای بدست آوردن رابطه ظرفیت باربری نهایی پی حلقوی (بر روی ماسه) از نتایج آزمایشگاهی، تئوریک و مدلسازی توسط روش اجزای محدود استفاده شده است. با توجه به امکانات موجود ابتدا مخزنی استوانه‌ای جهت شبیه‌سازی لایه ماسه‌ای و یک سیستم ساده بارگذاری استاتیکی جهت اعمال بار به پی طراحی و ساخته شده است. جهت رویت پوش گسیختگی خاک زیر پی مخزن استوانه‌ای به گونه‌ای ساخته شده است که توسط لولایی بتواند از وسط باز شود. ساخت وسیله آزمایشگاهی و انجام آزمایش‌ها وقت زیادی را به خود اختصاص داده است.