

بسمه تعالی



دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان پایان نامه:

ارزیابی رفتار شالوده‌های استوکی بر خاکهای روانگرا

استاد راهنما:

آقای دکتر مسعود دهقانی

استاد مشاور:

آقای مهندس مهدی عبادی

دانشجو:

محمد موحدنژاد

خرداد ۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر بزرگوارم

که الطاف بی دریغش را توان پاسخ نیست

مادر مهربانم

که تار و پود وجودم سرشار از عشق اوست

و

همسر عزیزتر از جانم

که زندگی بدون او برایم بی معناست

تقدیر و تشکر

از راهنمایی‌های استاد بزرگوارم، آقای دکتر مسعود دهقانی سپاسی ویژه دارم و همچنین از راهنمایی‌های استاد مشاور گرامی‌ام، آقای مهندس عبادی کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

| | |
|-----|---|
| ۱ | فصل اول: کلیاتی در مورد پی های سطحی |
| ۱-۱ | مقدمه |
| ۲ | انواع پی |
| ۲-۱ | پی های سطحی |
| ۵ | انواع گسیختگی در خاک بر اثر اعمال بار نهایی |
| ۶-۱ | نشست بر اثر اعمال بار نهایی |
| ۱۱ | ظرفیت باربری مجاز و نهائی |
| ۱۳ | اهمیت و معرفی کار حاضر |
| ۱۵ | فصل دوم: عوامل مهم بر طراحی پی های سطحی |
| ۱۶ | مقدمه |
| ۱۷ | ظرفیت باربری بر اساس گسیختگی |
| ۱۷ | ۱-۲-۲ فرضیه ظرفیت باربری Terzaghi |
| ۳۱ | ۲-۲-۲ فرضیه ظرفیت باربری Terzaghi برای گسیختگی برشی موضعی |
| ۳۲ | ۳-۲-۲ فرضیه ظرفیت باربری Meyerhof |
| ۴۶ | ظرفیت باربری بر اساس نشست |
| ۴۸ | ۱-۳-۲ پی های سخت و انعطاف پذیر |
| ۵۲ | ۲-۳-۲ نشست زیر یک سطح مستطیلی |
| ۵۵ | ۳-۳-۲ پارامترهای ارتجاعی |
| ۵۸ | ۴-۳-۲ نشست پی ها روی ماسه |
| ۶۱ | ۵-۳-۲ اصول کلی نشست تحکیمی |
| ۶۳ | ۶-۳-۲ روابط محاسبه نشست تحکیمی اولیه |
| ۶۸ | ۷-۳-۲ نشست تحکیمی ثانویه |
| ۷۰ | ۸-۳-۲ نشست پی ها روی ماسه بر اثر بار زلزله |
| ۷۲ | ۹-۳-۲ نشست پی ها بر اثر بار سیکلیک- خاک دانه ای |
| ۷۵ | ۴-۲ اثر عوامل مختلف بر ظرفیت باربری |
| ۷۵ | ۱-۴-۲ اثر مقیاس |
| ۷۷ | ۲-۴-۲ اثر تراز آب |
| ۷۸ | ۳-۴-۲ اثر تراکم پذیری خاک |
| ۸۱ | ۴-۴-۲ اثر آب شدن یخ های خاک در فصل بهار بر ظرفیت باربری |
| ۸۱ | ۵-۴-۲ پی های تحت اثر بار مایل [فرضیه Meyerhof (پی ممتد)] |
| ۸۵ | ۶-۴-۲ معادله کلی ظرفیت باربری |
| ۸۸ | ۷-۴-۲ پی ممتد با بار خروج از مرکز |

| | |
|-----|--|
| ۹۵ | ۸-۴-۲ ظرفیت باربری برای پی های واقع در خاکهای لایه ای..... |
| ۹۹ | ۵-۲ تعیین ظرفیت باربری لرزه ای..... |
| ۱۰۴ | ۶-۲ ضوابط آئین نامه بتن ایران..... |
| ۱۰۴ | ۱-۶-۲ ترکیبات بارگذاری..... |
| ۱۰۵ | ۲-۶-۲ مقاومت محاسباتی مصالح ساختمانی..... |
| ۱۰۵ | ۳-۶-۲ نمودار تنش - کرنش و محاسبات خمشی..... |
| ۱۰۶ | ۴-۶-۲ مطالعات برشی..... |
| ۱۰۷ | ۵-۶-۲ ظرفیت باربری بر اساس آیین نامه های ساختمانی..... |
| ۱۰۸ | ۶-۶-۲ ضرائب ایمنی در طراحی پی..... |
| ۱۱۰ | ۷-۲ پدیده روانگرایی..... |
| ۱۱۳ | فصل سوم: انواع شالوده های سطحی بر اساس عملکرد مورد نیاز..... |
| ۱۱۴ | ۱-۳ مقدمه..... |
| ۱۱۴ | ۲-۳ شالوده های منفرد..... |
| ۱۱۴ | ۳-۳ شالوده های دو ستونی..... |
| ۱۱۵ | ۴-۳ شالوده نواری..... |
| ۱۱۶ | ۵-۳ شالوده شبکه ای..... |
| ۱۱۶ | ۶-۳ شالوده های گسترده..... |
| ۱۱۷ | ۷-۳ پی های پوسته ای..... |
| ۱۱۷ | ۸-۳ پی های کلاف دار (باسکولی)..... |
| ۱۱۸ | فصل چهارم: مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه رفتار پی های سطحی بر خاکهای روانگرا..... |
| ۱۱۹ | ۱-۴ مقدمه..... |
| ۱۱۹ | ۲-۴ مدل عددی و شبیه سازی شمع در خاک روانگرا..... |
| ۱۲۴ | ۳-۴ تغییرات ظرفیت باربری پی های سطحی در زلزله..... |
| ۱۲۹ | ۴-۴ بررسی عددی اثر تراکم خاک بر کاهش روانگرایی و تأثیر آن بر نشست پی های سطحی..... |
| ۱۳۷ | ۵-۴ ارزیابی میزان روانگرایی که باعث خرابی در کناره پی می شود..... |
| ۱۴۲ | ۶-۴ آنالیز تنش موثر بر پاسخ های لرزه ای پی های سطحی بر ماسه های روانگرا..... |
| ۱۵۰ | فصل پنجم: روشهای محاسباتی جهت تحلیل عملکرد پی های سطحی طراحی شده..... |
| ۱۵۱ | ۱-۵ مقدمه..... |
| ۱۵۱ | ۲-۵ روش تفاوتهای محدود..... |
| ۱۵۵ | ۳-۵ روش اجزای محدود..... |
| ۱۵۶ | ۱-۳-۵ معادلات اصلی..... |
| ۱۶۳ | فصل ششم: محاسبات عددی و معرفی نرم افزار Quake/w..... |
| ۱۶۴ | ۱-۶ مقدمه..... |

| | |
|-----|--|
| ۱۶۵ | ۲-۶ مش بندی (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... |
| ۱۶۵ | ۱-۲-۶ انتگرال عددی..... |
| ۱۶۶ | ۲-۲-۶ شکل‌های المان..... |
| ۱۶۷ | ۳-۲-۶ نواحی..... |
| ۱۶۷ | ۱-۳-۲-۶ انواع ناحیه..... |
| ۱۶۷ | ۲-۳-۲-۶ نقاط ناحیه..... |
| ۱۶۸ | ۳-۶ خواص مواد..... |
| ۱۶۸ | ۱-۳-۶ سختی خاک (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... |
| ۱۶۸ | ۲-۳-۶ مدل های رفتاری..... |
| ۱۶۸ | ۱-۲-۳-۶ مدل الاستیک خطی..... |
| ۱۶۹ | ۲-۲-۳-۶ مدل غیر خطی..... |
| ۱۶۹ | ۳-۳-۶ تابع کاهش G |
| ۱۷۱ | ۴-۳-۶ تابع نسبت تعدیل..... |
| ۱۷۲ | ۵-۳-۶ تابع فشار حفره ای..... |
| ۱۷۴ | ۶-۳-۶ تابع تعداد سیکل..... |
| ۱۷۵ | ۷-۳-۶ تابع تصحیح سربار..... |
| ۱۷۶ | ۸-۳-۶ تابع تصحیح تنش برشی..... |
| ۱۷۷ | ۴-۶ شرایط مرزی (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... |
| ۱۷۷ | ۱-۴-۶ اطلاعات شتاب نگاشت..... |
| ۱۷۸ | ۲-۴-۶ اساس شرایط مرزی..... |
| ۱۷۸ | ۳-۴-۶ تعدیل شرایط مرزی..... |
| ۱۷۸ | ۵-۶ انواع آنالیز (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... |
| ۱۷۸ | ۱-۵-۶ شرایط در جای اولیه..... |
| ۱۷۹ | ۱-۱-۵-۶ k_0 و وزن مخصوص خاک..... |
| ۱۷۹ | ۲-۱-۵-۶ فشار آب حفره ای اولیه..... |
| ۱۷۹ | ۲-۵-۶ آنالیز دینامیکی..... |
| ۱۷۹ | ۱-۲-۵-۶ نیروهای لرزه ای..... |
| ۱۸۰ | ۲-۲-۵-۶ مراحل زمانی..... |
| ۱۸۱ | فصل هفتم: پی‌های استوکی، مدلسازی و بحث در نتایج |
| ۱۸۲ | ۱-۷ مقدمه..... |
| ۱۸۳ | ۲-۷ بحثی تئوری بر رفتار شالوده های استوکی..... |
| ۱۸۴ | ۳-۷ مدلسازی عددی..... |
| ۱۸۴ | ۱-۳-۷ کلیات..... |

| | | | |
|-----|-------|---------|--|
| ۱۸۴ | ..... | ۲-۳-۷ | مش بندی |
| ۱۸۵ | ..... | ۳-۳-۷ | ابعاد مدل و شرایط مرزی |
| ۱۸۶ | ..... | ۴-۳-۷ | مشخصات خاک های مورد استفاده در تحلیل ها |
| ۱۸۷ | ..... | ۵-۳-۷ | مراحل Run نرم افزار |
| ۱۸۷ | ..... | ۴-۷ | اثر تغییرات تراز آب زیرزمینی در رفتار پی های استوکی بر خاک های روانگرا |
| ۱۸۷ | ..... | ۱-۴-۷ | مراحل تحلیل |
| ۱۸۸ | ..... | ۲-۴-۷ | نتایج |
| ۱۹۰ | ..... | ۳-۴-۷ | بحث در نتایج |
| ۱۹۱ | ..... | ۵-۷ | اثر تغییرات عمق لایه بالایی در رفتار پی های استوکی بر خاک های روانگرا |
| ۱۹۱ | ..... | ۱-۵-۷ | مراحل تحلیل |
| ۱۹۲ | ..... | ۲-۵-۷ | نتایج |
| ۱۹۴ | ..... | ۳-۵-۷ | بحث در نتایج |
| ۱۹۵ | ..... | ۶-۷ | اثر تغییرات مدول الاستیسیته در رفتارهای پی استوکی بر خاک های روانگرا |
| ۱۹۵ | ..... | ۱-۶-۷ | مراحل تحلیل |
| ۱۹۶ | ..... | ۲-۶-۷ | نتایج |
| ۱۹۹ | ..... | ۳-۶-۷ | بحث در نتایج |
| ۱۹۹ | ..... | ۷-۷ | اثر تغییرات ابعاد پی استوکی در رفتار آنها بر خاک های روانگرا |
| ۱۹۹ | ..... | ۱-۷-۷ | مراحل تحلیل |
| ۲۰۰ | ..... | ۲-۷-۷ | نتایج |
| ۲۰۱ | ..... | ۳-۷-۷ | بحث در نتایج |
| ۲۰۱ | ..... | ۸-۷ | ارزیابی رفتار پی سطحی نسبت به پی استوکی بر خاک های روانگرا |
| ۲۰۱ | ..... | ۱-۸-۷ | مراحل تحلیل |
| ۲۰۳ | ..... | ۲-۸-۷ | نتایج |
| ۲۰۵ | ..... | ۳-۸-۷ | بحث در نتایج |
| ۲۰۶ | ..... | ۹-۷ | مدلسازی مطالعه شهیر و پاک (۲۰۰۹) |
| ۲۰۶ | ..... | ۱-۹-۷ | کلیات |
| ۲۰۶ | ..... | ۲-۹-۷ | مش بندی |
| ۲۰۷ | ..... | ۳-۹-۷ | ابعاد مدل و شرایط مرزی |
| ۲۰۸ | ..... | ۴-۹-۷ | مشخصات خاک مورد استفاده در مدلسازی |
| ۲۰۹ | ..... | ۵-۹-۷ | اثر تراکم خاک روانگرا بر نشست پی های سطحی |
| ۲۰۹ | ..... | ۱-۵-۹-۷ | مراحل تحلیل |
| ۲۱۲ | ..... | ۲-۵-۹-۷ | نتایج |
| ۲۱۲ | ..... | ۳-۵-۹-۷ | بحث در نتایج |

| | |
|----------|--|
| ۲۱۳..... | فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات |
| ۲۱۴..... | ۱-۸ کلیات..... |
| ۲۱۵..... | ۲-۸ نتیجه گیری..... |
| ۲۱۷..... | ۳-۸ ارائه پیشنهاد جهت ادامه مطالعات..... |
| ۲۱۸..... | مراجع |

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ پی منفرد (داس، ۱۹۹۹)..... ۵
- شکل ۲-۱ گسیختگی برشی کلی در خاک (داس، ۱۹۹۹)..... ۸
- شکل ۳-۱ گسیختگی برشی موضعی در خاک (داس، ۱۹۹۹)..... ۹
- شکل ۴-۱ گسیختگی برشی منگنه ای در خاک (داس، ۱۹۹۹)..... ۱۰
- شکل ۵-۱ طبیعت گسیختگی در خاک با توجه به دانسیته نسبی ماسه (D_r) و D_f/R (داس، ۱۹۹۹)..... ۱۱
- شکل ۶-۱ تغییرات S_u / B برای پی روی سطح $(D_f / B=0)$ ماسه Vesic (داس، ۱۹۹۹)..... ۱۲
- شکل ۷-۱ نشست یک سازه (داس، ۱۹۹۹)..... ۱۴
- شکل ۱-۲ صفحه گسیختگی در خاک بر اثر اعمال بار نهایی برای یک پی سخت زیر ممتد بر اساس فرضیه Terzaghi (داس، ۱۹۹۹)..... ۱۸
- شکل ۲-۲ نیروی مقاوم روی وجه bc گوه abc نشان داده شده در شکل ۲-۱ (داس، ۱۹۹۹)..... ۲۰
- شکل ۳-۲ تعیین $P_{pq} (\phi \neq 0, \gamma = 0, q \neq 0, c = 0)$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۲۲
- شکل ۴-۲ تعیین $P_{pc} (\phi \neq 0, \gamma = 0, q = 0, c \neq 0)$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۲۵
- شکل ۵-۲ تعیین $P_{py} (\phi \neq 0, \gamma \neq 0, q = 0, c = 0)$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۲۶
- شکل ۶-۲ صفحه گسیختگی اصلاح شده در خاک زیر پی بر اثر بار نهایی (داس، ۱۹۹۹)..... ۳۱
- شکل ۷-۲ میدان خطوط لغزش برای یک پی ممتد زیر (داس، ۱۹۹۹)..... ۳۳
- شکل ۸-۲ تعیین N_γ و N_q (داس، ۱۹۹۹)..... ۳۸
- شکل ۹-۲ ضریب ظرفیت باربری Meyerhof، تغییرات N_c با m, β, ϕ (داس، ۱۹۹۹)..... ۴۰
- شکل ۱۰-۲ ضریب ظرفیت باربری Meyerhof، تغییرات N_q با m, β, ϕ (داس، ۱۹۹۹)..... ۴۱
- شکل ۱۱-۲ تعیین N_γ (داس، ۱۹۹۹)..... ۴۲
- شکل ۱۲-۲ ضریب ظرفیت باربری Meyerhof، تغییرات N_γ با m, β, ϕ (داس، ۱۹۹۹)..... ۴۵
- شکل ۱۳-۲ منحنی بار-نشست برای پی سطحی (داس، ۱۹۹۹)..... ۴۸
- شکل ۱۴-۲ فشار تماسی و نشست یک پی انعطاف پذیر: (الف) مصالح ارتجاعی (ب) خاک دانه‌ای (داس، ۱۹۹۹)..... ۴۹
- شکل ۱۵-۲ فشار تماسی و نشست یک پی سخت: (الف) مصالح ارتجاعی (ب) خاک دانه‌ای (داس، ۱۹۹۹)..... ۵۰
- شکل ۱۶-۲ گسترش فشار تماسی زیر یک پی سخت نامحدود که توسط یک مصالح ترجیحاً ارتجاعی تحمل می‌شود (داس، ۱۹۹۹)..... ۵۱
- شکل ۱۷-۲ همبستگی ضریب ارتجاعی رس در حالت زهکشی نشده (داس، ۱۹۹۹)..... ۵۷
- شکل ۱۸-۲ ماهیت تغییرات نسبت تخلخل با تنش موثر: (الف) رس عادی تحکیم یافته (ب) رس پیش تحکیم یافته (داس، ۱۹۹۹)..... ۶۲
- شکل ۱۹-۲ محاسبه نشست تحکیم اولیه (داس، ۱۹۹۹)..... ۶۴
- شکل ۲۰-۲ افزایش تنش متوسط $\Delta \sigma_{av}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۶۵

- شکل ۲-۲۱ تغییرات I_{av} با a/h و b/h (داس، ۱۹۹۹)..... ۶۶
- شکل ۲-۲۲ افزایش تنش متوسط در یک لایه رس (داس، ۱۹۹۹)..... ۶۷
- شکل ۲-۲۳ محاسبه نشست تحکیمی با استفاده از روش B (داس، ۱۹۹۹)..... ۶۸
- شکل ۲-۲۴ نشست تحکیمی ثانویه (داس، ۱۹۹۹)..... ۶۹
- شکل ۲-۲۵ شتاب بحرانی k_h^* برای نشست اولیه پی (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۱
- شکل ۲-۲۶ تغییرات $\tan \alpha_{AE}$ با k_h و ϕ (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۲
- شکل ۲-۲۷ بارگذاری سیکلیک روی یک پی (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۲
- شکل ۲-۲۸ تغییرات S_e (بعد از اولین سیکل) با N ، q_u ، σ_d ، $B=75\text{mm}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۳
- شکل ۲-۲۹ تغییرات S_e (بعد از اولین سیکل) با N ، q_u ، σ_d ، $B=228\text{mm}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۳
- شکل ۲-۳۰ منحنی های هم تراز تغییرات S_e با N ، q_u ، σ_d ، $B=75\text{mm}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۴
- شکل ۲-۳۱ منحنی های هم تراز تغییرات S_e با N ، q_u ، σ_d ، $B=228\text{mm}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۵
- شکل ۲-۳۲ روند تغییر N_γ با B (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۶
- شکل ۲-۳۳ اثر تراز آب زیرزمینی بر ظرفیت باربری نهایی (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۷
- شکل ۲-۳۴ تغییرات $\lambda_{qc} = \lambda_{pc}$ با ϕ و I_r برای پی مربع ($L/B=1$) (داس، ۱۹۹۹)..... ۷۹
- شکل ۲-۳۵ تغییرات $\lambda_{qc} = \lambda_{pc}$ با ϕ و I_r برای پی با $L/B>5$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۸۰
- شکل ۲-۳۶ نواحی خمیری در خاک مجاور یک پی با بار مایل (داس، ۱۹۹۹)..... ۸۱
- شکل ۲-۳۷ تغییرات N_{cq} را برای یک خاک چسبنده خالص ($\phi=0$) ارائه شده توسط میرهوف (داس، ۱۹۹۹)..... ۸۴
- شکل ۲-۳۸ ضریب ظرفیت باربری $N_{\gamma q}$ برای خاک غیر چسبنده ($\phi=0$ و $c=0$) ارائه شده توسط میرهوف (داس، ۱۹۹۹)..... ۸۵
- شکل ۲-۳۹ عرض موثر B' (داس، ۱۹۹۹)..... ۸۸
- شکل ۲-۴۰ تعیین ضرایب فرضیه ظرفیت باربری (ساران و پراکاش) (داس، ۱۹۹۹)..... ۹۱
- شکل ۲-۴۱ ضریب ظرفیت باربری (ساران و پراکاش) برای $N_{c(e)}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۹۳
- شکل ۲-۴۲ ضریب ظرفیت باربری (ساران و پراکاش) برای $N_{q(e)}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۹۴
- شکل ۲-۴۳ ضریب ظرفیت باربری (ساران و پراکاش) برای $N_{\gamma(e)}$ (داس، ۱۹۹۹)..... ۹۴
- شکل ۲-۴۴ مکانیزم گسیختگی (سارما و یوسی فلیس، ۱۹۹۰)..... ۱۰۰
- شکل ۲-۴۵ تعیین ظرفیت باربری لرزه ای (ریچاردز و همکاران، ۱۹۹۳)..... ۱۰۱
- شکل ۲-۴۶ ضرایب اطمینان طراحی لرزه ای پی (ریچاردز و همکاران ۱۹۹۳)..... ۱۰۱
- شکل ۲-۴۷ نمودار N_{qe}/N_q بر حسب شتاب افقی زلزله (بودهو و الکارتی ۱۹۹۳)..... ۱۰۲
- شکل ۲-۴۸ مکانیزم گسیختگی چادهوری و راثو (۲۰۰۵)..... ۱۰۳
- شکل ۲-۴۹ تغییرات N_{ce} با شتاب زلزله (چادهوری و راثو ۲۰۰۵)..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱ تاریخچه زمانی R_{II} برای چهار نقطه در مدل های I و IV (چنگ و جرمیک، ۲۰۰۹)..... ۱۲۰
- شکل ۴-۲ تاریخچه زمانی R_{II} برای چهار نقطه در مدل های II و V (چنگ و جرمیک، ۲۰۰۹)..... ۱۲۰
- شکل ۴-۳ تاریخچه زمانی R_{II} برای چهار نقطه در مدل های III و VI (چنگ و جرمیک، ۲۰۰۹)..... ۱۲۱

- شکل ۴-۴ تغییر شکل و اضافه فشار آب حفره‌ای (چنگ و جرمیک، ۲۰۰۹)..... ۱۲۲
- شکل ۴-۵ نشست موارد IV و V و VI در واحد زمان (چنگ و جرمیک، ۲۰۰۹)..... ۱۲۴
- شکل ۴-۶ موقعیت مرکز چرخش در ناحیه مربعی (مرلوس و رومو، ۲۰۰۶)..... ۱۲۶
- شکل ۴-۷ سطح گسیختگی و محل نقاط چرخش (مرلوس و رومو، ۲۰۰۶)..... ۱۲۷
- شکل ۴-۸ شتاب نگاشت در مرکز سطح ساختمان، موقعیت افقی و عمودی مرکز چرخش سطح گسیختگی، تغییر مکان عمودی در دو لبه ساختمان و چرخشهای محاسبه شده (مرلوس و رومو، ۲۰۰۶)..... ۱۲۹
- شکل ۴-۹ مدل‌های انجام شده در چهار حالت تراکم (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۱۳۳
- شکل ۴-۱۰ میزان حداکثر اضافه فشار آب حفره‌ای در عمق خاک زیر خط مرکزی پی روی ۲۰ متر ماسه نوادا با تراکم نسبی ۳۰٪ (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۱۳۴
- شکل ۴-۱۱ میزان حداکثر اضافه فشار آب حفره‌ای در عمق خاک زیر خط مرکزی پی با تراکم نسبی ۸۵٪ در ۶ متر اولیه (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۱۳۴
- شکل ۴-۱۲ میزان حداکثر اضافه فشار آب حفره‌ای در عمق خاک زیر خط مرکزی پی با تراکم نسبی ۸۵٪ در ۱۴ متر اولیه (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۱۳۵
- شکل ۴-۱۳ میزان حداکثر اضافه فشار آب حفره‌ای در عمق خاک زیر خط مرکزی پی با تراکم نسبی ۸۵٪ در ۲۰ متر اولیه (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۱۳۵
- شکل ۴-۱۴ میزان نشست پی در برابر عمق تراکم (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۱۳۶
- شکل ۴-۱۵ چرخش ساختمان در طول زمان (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۱۳۷
- شکل ۴-۱۶ ساختمان مسکونی ساخته شده روی پی گسترده (جوآنگ و همکاران، ۲۰۰۵)..... ۱۳۹
- شکل ۴-۱۷ جوشش ماسه در کنار یک ساختمان مسکونی که روی پی گسترده واقع شده (جوآنگ و همکاران، ۲۰۰۵)..... ۱۴۰
- شکل ۴-۱۸ اندیس شدت خسارت (DSI) در برابر I_L برای ۳۰ مورد (جوآنگ و همکاران، ۲۰۰۵)..... ۱۴۱
- شکل ۴-۱۹ اندیس شدت خسارت (DSI) در برابر PG برای ۳۰ مورد (جوآنگ و همکاران، ۲۰۰۵)..... ۱۴۲
- شکل ۴-۲۰ a مش تغییر شکل یافته و کانتورهای کرنش برشی برای حالت گسیختگی استاتیکی. b مش تغییر شکل یافته و کانتورهای کرنش برشی برای حالت گسیختگی پس از روانگرایی (پولس و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۱۴۵
- شکل ۴-۲۱ اضافه فشار آب حفره‌ای در هنگام زلزله (پولس و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۱۴۵
- شکل ۴-۲۲ نسبت اضافه فشار آب حفره‌ای با توجه به گذشت زمان در اعماق مختلف در زیر پی (پولس و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۱۴۶
- شکل ۴-۲۳ نسبت اضافه فشار آب حفره‌ای با توجه به گذشت زمان در اعماق مختلف در زمین آزاد (پولس و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۱۴۶
- شکل ۴-۲۴ نشست در برابر گذشت زمان (پولس و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۱۴۷
- شکل ۴-۲۵ نشست در برابر نسبت عمق لایه به عرض پی ($\frac{H}{B}$) (پولس و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۱۴۸
- شکل ۴-۲۶ نتایج برای دو مقدار مختلف نفوذ پذیری ماسه (پولس و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۱۴۹
- شکل ۵-۱ المان بندی پی در روش تفاوت های محدود (رهايي، ۱۳۸۶)..... ۱۵۱
- شکل ۵-۲ منحنی تغییر شکل پی در روش تفاوت های محدود (رهايي، ۱۳۸۶)..... ۱۵۲

- شکل ۳-۵ تحلیل پی نواری به روش اجزای محدود (رهای، ۱۳۸۶)..... ۱۵۶
- شکل ۴-۵ نیروی خارجی (گرهی) و داخلی عضو I (رهای، ۱۳۸۶)..... ۱۵۷
- شکل ۵-۵ الف- یک المان دلخواه از پی و نیروهای داخلی آن ب- نیروهای خارجی وارد بر یک المان دلخواه ج- برآیند نیروهای گرهی (رهای، ۱۳۸۶)..... ۱۵۹
- شکل ۶-۵ تغییر شکل عضو و ارتباط بین ممانهای انتهایی و چرخش تیر (رهای، ۱۳۸۶)..... ۱۶۰
- شکل ۱-۶ شکل های المان های قابل قبول و غیر قابل قبول (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۶۷
- شکل ۲-۶ تغییرات G حین زلزله (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۶۹
- شکل ۳-۶ تابع کاهش G (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۷۰
- شکل ۴-۶ تابع نسبت تعدیل (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۷۲
- شکل ۵-۶ تابع نسبت فشار حفره ای (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۷۳
- شکل ۶-۶ تابع تعداد سیکل (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۷۴
- شکل ۷-۶ تابع تصحیح سربار (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۷۵
- شکل ۸-۶ تابع تصحیح تنش برشی (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۷۶
- شکل ۹-۶ نمودار شتاب نگاشت (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... ۱۸۰
- شکل ۱-۷ نمونه ای از مش بندی پی استوکی..... ۱۸۵
- شکل ۲-۷ نمونه ای از شکل هندسی و شرایط مرزی مدل..... ۱۸۶
- شکل ۳-۷ جابجایی کلی نقاط برای پی به عرض ۲/۵ متر و عمق ۱/۵ متر و قطر ۱ متر..... ۱۸۸
- شکل ۴-۷ ناحیه روانگرایی برای پی به عرض ۲/۵ متر و عمق ۱/۵ متر و قطر ۱ متر..... ۱۸۸
- شکل ۵-۷ نمودار نشست پی بر حسب تغییرات تراز آب..... ۱۸۹
- شکل ۶-۷ نمودار نسبت تنش سیکلی بر حسب تغییرات تراز آب..... ۱۸۹
- شکل ۷-۷ جابجایی کلی نقاط برای پی به عرض ۳/۵ متر و عمق ۲ متر و قطر ۱/۲ متر..... ۱۹۱
- شکل ۸-۷ ناحیه روانگرایی برای پی به عرض ۳/۵ متر و عمق ۲ متر و قطر ۱/۲ متر..... ۱۹۲
- شکل ۹-۷ نمودار نشست پی بر حسب تغییرات عمق لایه بالایی..... ۱۹۳
- شکل ۱۰-۷ نسبت تنش سیکلی بر حسب تغییرات عمق لایه بالایی..... ۱۹۳
- شکل ۱۱-۷ جابجایی کلی نقاط برای پی به عرض ۱/۵ متر و عمق ۱ متر و قطر ۰/۸ متر..... ۱۹۵
- شکل ۱۲-۷ ناحیه روانگرایی برای پی به عرض ۱/۵ متر و عمق ۱ متر و قطر ۰/۸ متر..... ۱۹۶
- شکل ۱۳-۷ نشست پی با توجه به تغییرات مدول الاستیسیته خاک..... ۱۹۷
- شکل ۱۴-۷ نسبت تنش سیکلی با توجه به تغییرات مدول الاستیسیته خاک..... ۱۹۷
- شکل ۱۵-۷ نشست پی نسبت به تغییرات ابعاد پی..... ۲۰۰
- شکل ۱۶-۷ نسبت تنش سیکلی با توجه به تغییرات ابعاد پی..... ۲۰۰
- شکل ۱۷-۷ جابجایی کلی نقاط برای پی سطحی (بدون استوک) به عرض ۲/۵ متر..... ۲۰۲
- شکل ۱۸-۷ ناحیه روانگرایی برای پی سطحی (بدون استوک) به عرض ۲/۵ متر..... ۲۰۲
- شکل ۱۹-۷ نمودار نشست دو نوع پی بر حسب تغییرات تراز آب..... ۲۰۳
- شکل ۲۰-۷ نمودار نسبت تنش سیکلی دو نوع پی بر حسب تغییرات تراز آب..... ۲۰۵

- شکل ۲۱-۷ مش بندی مدل..... ۲۰۷
- شکل ۲۲-۷ هندسه مدل (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... ۲۰۸
- شکل ۲۳-۷ حالت اول خاک بدون تراکم..... ۲۱۰
- شکل ۲۴-۷ حالت دوم خاک با عمق ۶ متر تراکم..... ۲۱۰
- شکل ۲۵-۷ حالت سوم خاک با عمق ۱۴ متر تراکم..... ۲۱۱
- شکل ۲۶-۷ حالت چهارم خاک با عمق ۲۰ متر تراکم..... ۲۱۱
- شکل ۲۷-۷ نمودار مقایسه نشست پی بر حسب تراکم..... ۲۱۲

فهرست جداول

| | | |
|------|--|-----|
| جدول | ۱-۱ محدوده تقریبی مقادیر S_u برای انواع خاکها (داس، ۱۹۹۹)..... | ۱۳ |
| جدول | ۱-۲ ضرایب ظرفیت باربری نهایی Terzaghi (داس، ۱۹۹۹)..... | ۳۰ |
| جدول | ۲-۲ ضرایب ظرفیت باربری نهایی اصلاح شده Terzaghi N'_y, N'_q, N'_c (داس، ۱۹۹۹)..... | ۳۲ |
| جدول | ۳-۲ ضرایب ظرفیت باربری نهایی N_y و N_q, N_c (Meyerhof) (داس، ۱۹۹۹)..... | ۴۶ |
| جدول | ۴-۲ تغییرات I_3 (داس، ۱۹۹۹)..... | ۵۳ |
| جدول | ۵-۲ تغییرات I_4 (داس، ۱۹۹۹)..... | ۵۴ |
| جدول | ۶-۲ تغییرات I_s برای محاسبه نشست مرکزی سطحی (داس، ۱۹۹۹)..... | ۵۵ |
| جدول | ۷-۲ مقادیر پیشنهادی برای ضریب پواسون (داس، ۱۹۹۹)..... | ۵۵ |
| جدول | ۸-۲ محدوده کلی ضریب ارتجاعی ماسه (داس، ۱۹۹۹)..... | ۵۶ |
| جدول | ۹-۲ مقایسه مقادیر N_y (داس، ۱۹۹۹)..... | ۸۶ |
| جدول | ۱۰-۲ خلاصه ضرایب شکل و عمق (داس، ۱۹۹۹)..... | ۸۷ |
| جدول | ۱۱-۲ تغییرات k و a (داس، ۱۹۹۹)..... | ۸۹ |
| جدول | ۱-۴ رده‌بندی شدت آسیب ناشی از روانگرایی (جوآنگ و همکاران، ۲۰۰۵)..... | ۱۳۹ |
| جدول | ۱-۶ فاکتورهای وزنی و موقعیت نقاط انتگرال گیری برای المانهای مختلف (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... | ۱۶۵ |
| جدول | ۲-۶ فاکتورهای وزنی و موقعیت نقاط انتگرال گیری برای المانهای مختلف (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... | ۱۶۶ |
| جدول | ۳-۶ نمونه‌ای از اطلاعات شتاب نگاشت (راهنمای Quake/w، ۲۰۰۴)..... | ۱۷۷ |
| جدول | ۱-۷ مشخصات خاک های ماسه ای مطالعه حاضر..... | ۱۸۶ |
| جدول | ۲-۷ نتایج مربوط به پی استوکی با عرض ۱/۵ متر و عمق استوک ۱ متر و قطر استوک ۰/۸ متر..... | ۱۹۰ |
| جدول | ۳-۷ نتایج مربوط به پی استوکی با عرض ۲/۵ متر و عمق استوک ۱/۵ متر و قطر استوک ۱ متر..... | ۱۹۴ |
| جدول | ۴-۷ نتایج مربوط به پی استوکی با عرض ۳/۵ متر و عمق استوک ۲ متر و قطر استوک ۱/۲ متر..... | ۱۹۸ |
| جدول | ۵-۷ نتایج مربوط به پی سطحی با عرض ۲/۵ متر..... | ۲۰۴ |
| جدول | ۶-۷ خصوصیات ماسه نوادا در تراکم نسبی مختلف (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... | ۲۰۸ |
| جدول | ۷-۷ خواص ماسه نوادا (شهیر و پاک، ۲۰۰۹)..... | ۲۰۹ |

فصل اول

کلیاتی در مورد پی‌های سطحی

۱-۱ مقدمه

طبق تعریف پی عبارت است از سازه زیرین و بخشی از خاک مجاور آن که تحت تأثیر این سازه و بارهای وارد بر آن می باشد. مبحث ۷ مقررات ملی ساختمان نیز تعریف مشابهی از پی ارائه کرده است: مجموعه بخشهایی از سازه و خاک در تماس با آن که انتقال بر بین سازه و زمین از طریق آن صورت می گیرد پی نامیده می شود. در واقع وظیفه پی انتقال بارهای بخش های فوقانی به خاک زیر پی می باشد بنحویکه تنشهای بیش از حد و نیز نشست های اضافی ایجاد نگردد.

کلیه پی ها بمنظور انتقال بارهای سازه فوقانی به زمین طرح می شوند. بار اکثر سازه های فوقانی توسط اجزاء ستون ماندی حمل می شوند که شدت تنش در آنها در حدود 10 Mpa (ستون بتنی) تا 140 Mpa (ستون فلزی) می باشد چنین تنشهایی می بایست به خاک تکیه گاهی حمل گردد که ظرفیت باربری آن بندرت بیش از 500 Kpa و اغلب در حدود $200-250 \text{ Kpa}$ می باشد. با توجه به این ارقام می توان دریافت که این عضو واسط یعنی پی مصالحی را به یکدیگر مرتبط می سازد که مقاومت مهندسی مفید آنها تا چند صد برابر متفاوت است و این به نوبه خود اهمیت طرح صحیح و ایمن پی را نشان می دهد (روشن ضمیر، ۱۳۸۸).

۱-۲ انواع پی

فونداسیون قسمتی از سازه است که وزن ساختمان را به زمین منتقل میکند. چنانکه لایه خاکی که می خواهد وزن سازه را تحمل کند مناسب باشد، از پی گسترده استفاده می شود. هرچند اگر لایه بالایی ضعیف باشد، بارها بایستی توسط شمع به لایه های پایینی مناسب انتقال یابد. فاصله عمودی از کف پی یا شمع و سطح زمین می باشد.

تفاوت اصلی بین پی های سطحی و پی های شمعی در مقدار D_f/B آنهاست که B عرض پی می باشد.

مقدار D_f/B پی های سطحی بین ۰/۲۵ تا ۱ می باشد اما پیهای شمعی بیش از ۵ می باشد که می تواند به ۲۰ هم برسد (ترزاقی، ۱۹۹۶).

پی ها بر اساس عمق و نوع عملکرد طبقه بندی می شوند. در حالت کلی چنانچه لایه مقاوم در عمق کمی از سطح زمین قرار گرفته باشد، پی در نزدیکی سطح زمین بنا می گردد. در غیر اینصورت برای رسیدن به لایه مقاوم عمق پی افزایش می یابد. بطور کلی می توان پی ها را به چهار دسته تقسیم نمود:

۱- پی های کم عمق موسوم به پی های سطحی (shallow foundation):

به پی هایی اطلاق می گردد که نسبت عمق به عرض آنها مساوی یا کمتر از واحد است ($\frac{D}{B} \leq 1$).

در عین حال در بعضی مراجع پی های با نسبت عمق تا ۴ الی ۵ هم بعنوان پی کم عمق طبقه بندی می شوند.

۲- پی های نیمه عمیق (پی های چاهی ؛ pier foundations):

در این پی ها نسبت عمیق به عرض در محدوده $10 \leq \frac{D}{B} < (5-4)$ قرار دارد.

۳- پی های عمیق (Deep foundations):

این پی ها عمدتاً شامل پی های شمعی بوده و در آنها $\frac{D}{B} > 10$ می باشد. در مبحث ۷ مقررات ملی

ساختمان معیار دیگری برای پی عمیق عنوان شده است و آن عبارتست از اینکه هرگاه نسبت عرض به

ارتفاع پی کمتر از $\frac{1}{6}$ باشد و عمق آن از سه متر متجاوز نماید به آن پی عمیق می گویند. در موارد فوق

D عمق پی و B عرض آن می باشد.

۴- پی های ویژه (Special foundations):

شامل هر گونه پی که جزء دسته بندی فوق نباشد از قبیل پی های صندوقه ای، مهارها، ستونهای

شنی و سنگی و غیره.

۵- پی های نیمه عمیق (Pier foundations)

این پی ها حد فاصل پی های سطحی و عمیق میباشند که به آنها پی چاهی نیز اطلاق می گردد. عملکرد آنها تا حدودی مشابه پی های عمیق است زیرا بار را به یک لایه مقاوم که در عمق متوسطی از زمین قرار دارد منتقل می نمایند. برای اجرای این پی ها چاهی در زمین حفر و سپس درون آن با مصالح مناسب پر می گردد.

۶- پی های عمیق (Deep foundations)

همانطور که قبلا گفته شد اصطلاح پی عمیق و شمع مترادف یکدیگر می باشند زیر بکارگیری عمده پی عمیق بصورت شمع می باشد. شمع ها اجزاء ستون مانند عمدتا از بتن، فولاد و چوب هستند که برای انتقال بار به لایه های عمیق زمین مورد استفاده قرار می گیرند. شمع ها معمولا بوسیله یک عنصر سازه ای واسطه موسوم به سر شمع یا کلاهک (cap) بار سازه فوقانی را به زمین منتقل می نمایند. طبق مقررات ملی ساختمان سرشمع نیز بعنوان پی سطحی نامگذاری می گردد. بلحاظ نوع انتقال بار شمع ها به دو دسته شمع های اتکائی (نوک باربر)، و شمع های اصطکاکی (شناور) تقسیم می گردند.

۷- پی های ویژه (Special foundation)

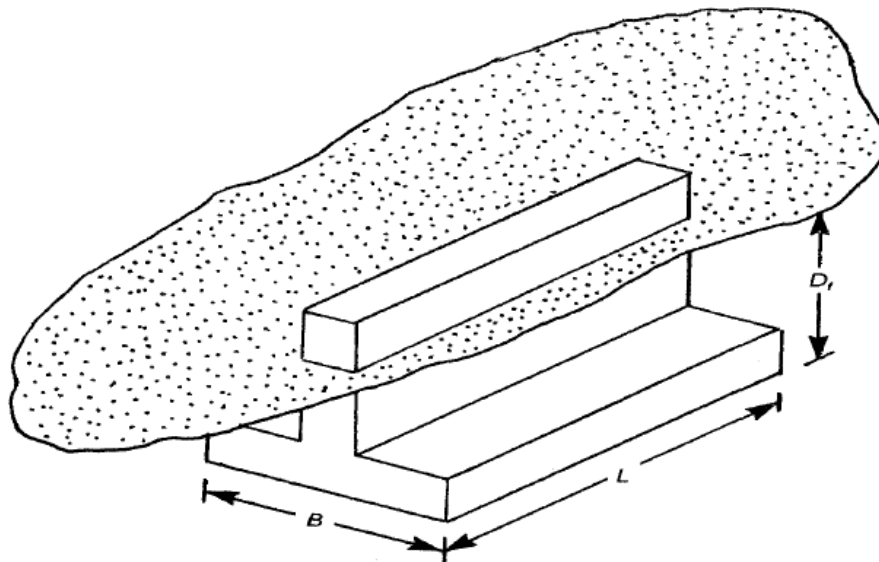
این نوع پی ها دارای انواع متفاوتی بوده که هر یک مسائل طراحی و اجرایی مخصوص بخود دارند. از انواع متداول پی های ویژه می توان پی ها صندوقه ای را نام برد (Caisson) که دارای انواع متفاوتی میباشند و معمولا از یک ستون تو خالی قطور از جنس بتن مسلح ساخته شده و با روش های مختلف در زمین نصب می شوند.

در عمل از این نوع پی ها باری سازه های دریائی استفاده شده و بصورت پیش ساخته می باشند بنحویکه بتوان آنها را بصورت شناور به محل مورد نظر حمل و سپس آنرا تثبیت نمود. تثبیت در محل با پر کردن آن از آب و یا مصالح وزین دیگر انجام می شود (روشن ضمیر، ۱۳۸۸).

۳-۱- پی های سطحی

پی های سطحی از انواع متداولی هستند که بر خاک های نرم احداث میشوند. مقدار نشست و پیش بینی نزدیک مقدار آن از دلایل مهمی است که از این پی ها استفاده میشود که از آسیبهای وارده به ساختمان جلوگیری می کند. عوامل مهمی که در ساخت این نوع پی ها وجود دارد عبارتند از: انحنا در پی، تنشهای فزاینده در میانه پی، نشست تدریجی و چرخش پی (کمفرت، ۲۰۰۶).

پی پائین ترین قسمت یک سازه است که وزن آنرا به لایه های زیرین خاک یا بستر سنگی منتقل می کند پی ها را می توان به دو دسته اصلی تقسیم نمود: پی های سطحی و پی های عمیق. پی های منفرد (شکل ۱-۱) به شکل مربع یا مستطیل که ستونها را تحمل می کنند، و پی های نواری که دیوارها و یا سازه های مشابه را تحمل می کنند عموماً به عنوان پی های سطحی تلقی می شوند.



شکل ۱-۱. پی منفرد (داس، ۱۹۹۹)

پی های گسترده نیز که به عنوان پی های سطحی در نظر گرفته می شوند، تاوره های بتن مسلح با سختی سازه ای قابل توجهی هستند که بارهای تعدادی ستون و دیوار را تحمل می کنند. هنگامی که لایه