



شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)
دفتر پژوهش و تحقیقات علمی

ظرفیت باربری و نشست پی‌های رینگ

تدوین و گردآوری:

غلامحسین توکلی مهرجردی

حسین جمشیدی

زیر نظر: معاونت آموزشی و پژوهشی

ناشر: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)



شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)

سرشناسنامه: توکلی مهرجردی، غلامحسین، ۱۳۶۱-
عنوان و نام پدیدآور: ظرفیت باربری و نشست پی‌های رینگی/ تدوین و گردآوری: غلامحسین توکلی
مهرجردی، حسین جمشیدی، زیر نظر معاونت آموزشی و پژوهشی.
مشخصات نشر: تهران: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)، دفتر پژوهش و
تحقیقات علمی، ۱۳۸۹.

مشخصات ظاهری: د، ۲۵۶ص، مصور، جدول، نمودار

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۰۴-۵۴۷۶-۳

وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا

موضوع: پی‌سازی

موضوع: نشست سازه‌ها

شناسه افزوده: جمشیدی، حسین، ۱۳۵۵-

شناسه افزوده: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)، دفتر پژوهش و تحقیقات علمی،

شناسه افزوده: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)، معاونت آموزشی و پژوهشی.

رده‌بندی کنگره: ۱۳۸۹ ۴ظفت/۲۸۷۷۵ رده‌بندی دیویی: ۶۲۴/۱۵

شماره کتابشناسی ملی: ۲۱۸۶۹۶۰

ظرفیت باربری و نشست پی‌های رینگی

تدوین و گردآوری: غلامحسین توکلی مهرجردی، حسین جمشیدی

طراحی روی جلد: دفتر پژوهش و تحقیقات علمی

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۰۴-۵۴۷۶-۳

سال چاپ: ۱۳۸۹

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۱۵۰۰ جلد

قیمت: ۸۰۰۰ تومان

چاپ: چاپ عطا

ناشر: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)

تهران خیابان کارگر شمالی، بالاتر از بزرگراه جلال آل احمد، جنب کوی دانشگاه

صندوق پستی: ۱۱۳۶۵/۱۸۴۷ تلفن: ۸۸۰۰۷۹۵۳-۸۸۰۰۲۵۴۲۰ دورنگار: ۸۸۰۲۵۴۲۰

www.tsml.ir

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیش‌گفتار

خدای را سپاس که با لطف و عنایت خود توفیق خدمتی دیگر را به ما ارزانی داشت و فرصت گردآوری و انتشار این کتاب را عطا فرمود.

بدون شک پیشرفت فرهنگ و گسترش علم در هر جامعه، از عوامل حفظ و بقای آن جامعه می‌باشد. اهمیت ارتقاء دانش فنی بخش‌های مختلف مهندسی کشور، کلیه دست‌اندرکاران این بخش‌ها را موظف می‌نماید تا سهمی در رسیدن به این هدف داشته، در این راه از هیچ کوشش و تلاشی دریغ نمایند.

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک با پیشینه بیش از ۵۰ سال و حضور در ۳۰ مرکز استان، حدود ۲۰۰ شعبه در شهرستان‌ها و بیش از ۱۰۰۰ آزمایشگاه مستقر در پروژه‌های عمرانی در سرتاسر کشور و ارائه خدمات در زمینه کنترل کیفیت و آزمایش‌های مصالح ساختمانی، کاوش‌های صحرایی، خدمات مهندسی ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، فعالیت‌های پژوهشی و تحقیقات کاربردی، تدوین استانداردها و... نیز به نوبه خود به ایفای نقش و انجام وظیفه در امر حمایت از تحقیقات و مطالعات، انتشار متون علمی و تدوین دستورالعمل‌های مورد نیاز در زمینه خدمات مهندسی ژئوتکنیک و مقاومت مصالح می‌پردازد.

از این رو این شرکت برپایه برنامه استراتژی خود بر آن شد تا در پی انتشار آثار پیشین خود و در جهت تهیه و توسعه منابع علمی و فنی مورد نیاز پژوهشگران، مهندسان و دانشجویان محترم در رشته مهندسی عمران، این کتاب را گردآوری و منتشر نماید.

کتاب حاضر گردآوری شده از مطالعات محققین مختلف بین سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۰۷ در زمینه ظرفیت باربری و نشست پی‌های رینگی است و با توجه به پراکندگی، محدودیت و دشواری دسترسی مهندسان ژئوتکنیک به منابع و مراجع در این زمینه می‌تواند به عنوان مجموعه‌ای راهنما و کاربردی در مورد ظرفیت باربری و نشست پی‌های رینگی در نوع خود اثری بدیع و کمیاب باشد.

این کتاب مشتمل بر پنج فصل می‌باشد. فصل اول و دوم به کلیات و نشست شالوده‌های سطحی می‌پردازد. فصل سوم و چهارم این کتاب در برگیرنده ظرفیت باربری و نشست پی‌های رینگی می‌باشد. در این دو فصل به ارائه عوامل مؤثر بر

ظرفیت باربری و نشست پی‌های رینگی بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، عددی و تحلیلی پرداخته شده و مکانیزم گسیختگی و علت تفاوت در ضریب ظرفیت باربری به دست آمده از آزمایش‌ها و محاسبات عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت در فصل پنجم به مقایسه اقتصادی پی دایره‌ای و پی رینگی، ارایه یک مثال و در پایان جمع‌بندی مهمترین نکات یاد شده در فصول قبل پرداخته شده است.

از کارشناسان دفتر پژوهش و تحقیقات علمی آقایان مهندس غلامحسین توکلی مهرجردی و مهندس حسین جمشیدی جهت تدوین و گردآوری، آقای مهندس علی محمد اسمعیلی جهت بازخوانی و ویراستاری آن و آقای پرفسور نادر هاتف (استاد دانشگاه شیراز) که در بررسی نسخه نهایی کتاب فعالیت نمودند، صمیمانه قدردانی می‌گردد. همچنین لازم است از زحمات آقای محسن پروین که در تایپ و طرح روی جلد کتاب انجام وظیفه نمودند تشکر و قدردانی شود.

از همه استادان، پژوهشگران، کارشناسان، دانشجویان و علاقه‌مندان درخواست می‌شود با ارسال پیشنهادهای خود ما را در بهبود کیفیت کتاب حاضر یاری نمایند.

گامران رحیم‌اف

رئیس هیئت مدیره و مدیرعامل

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱ نشست و تنش تماسی ۳
- ۳-۱ انواع گسیختگی های برشی ۴
- ۴-۱ تشخیص حالت گسیختگی ۶
- ۵-۱ روش های تحلیل پی های سطحی ۷
- ۶-۱ خلاصه ۸

فصل دوم: نشست شالوده های سطحی

- ۱-۲ مقدمه ۱۳
- ۲-۲ نکات کلی در مورد روش های متداول پیش بینی نشست پی های سطحی ۱۴
- ۱-۲-۲ دقت و قابلیت اطمینان روش های مختلف ۱۵
- ۳-۲ روش های سستی پیش بینی نشست آنی پی های سطحی ۱۶
- ۱-۳-۲ ترزاقی و پک (۱۹۴۸) و روش های مربوطه ۱۶
- ۲-۳-۲ اشمرتمن (۱۹۷۰) و روش های مربوطه ۱۹
- ۳-۳-۲ روش Burland & Burbidge (۱۹۸۵) ۲۰
- ۴-۲ پیشرفت های اخیر در روش های پیش بینی نشست آنی پی ها ۲۲
- ۱-۲-۱ روش Berardi & Lancellotta (۱۹۹۱) ۲۳
- ۲-۲-۱ روش Mayne & Poulos (۱۹۹۹) ۲۵
- ۵-۲ شیوه احتمالاتی Sivakugan & Jonson (۲۰۰۴) برای پیش بینی نشست آنی پی ها ۲۶

۲۷	۶-۲ پیش‌بینی نشست آنی پی دایره‌ای براساس نظریه الاستیسیته
۲۷	۱-۶-۲ بار با شدت یکنواخت روی یک سطح بارگذاری دایره‌ای
۳۱	۲-۶-۲ نشست آنی در زیر پی دایره‌ای صلب تحت بار متمرکز
۳۴	۳-۶-۲ نشست آنی پی دایره‌ای واقع بر خاک ناهمگن
۳۵	۴-۶-۲ اثر عمق استقرار پی بر نشست
۳۶	۷-۲ پیش‌بینی نشست آنی پی رینگی بر اساس نظریه الاستیسیته
۳۹	۸-۲ روابط تجربی برای مدول الاستیسیته مورد استفاده در پیش‌بینی نشست آنی پی‌ها
۴۰	۹-۲ روش‌های پیش‌بینی نشست تحکیمی پی‌های سطحی
۴۲	۱۰-۲ نشست مجاز
۵۳	۱۱-۲ ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی
۵۴	۱۲-۲ ضرایب ظرفیت باربری شالوده‌های دایره‌ای
۶۸	۱۳-۲ خلاصه
	فصل سوم: ظرفیت باربری پی‌های رینگی
۷۱	۱-۳ مقدمه
۷۲	۲-۳ بررسی عوامل موثر بر ظرفیت باربری پی‌های رینگی
۷۲	۱-۲-۳ تاثیر نسبت قطر داخلی به قطر خارجی
۸۰	۲-۲-۳ تاثیر ضخامت لایه خاک
۸۲	۳-۲-۳ تاثیر تغییر دانه‌بندی
۸۳	۴-۲-۳ تاثیر نیروی جانبی
۹۰	۵-۲-۳ تاثیر زبری کف پی
۱۰۷	۶-۲-۳ تاثیر خاک مسلح

۱۱۷	۳-۳ معادلات تعیین ظرفیت باربری پی‌های رینگ
۱۱۷	۱-۳-۳ معادلات Karaulov بر اساس تنوری تعادل حدی
۱۲۱	۲-۳-۳ معادلات Karaulov بر اساس مطالعات آزمایشگاهی
۱۲۵	۳-۳-۳ معادلات هاتف-رضوی
۱۲۹	۴-۳ مکانیزم گسیختگی برای پی‌های رینگ
۱۳۰	۵-۳ تفاوت در مقادیر N_p گزارش شده
۱۳۳	۶-۳ خلاصه
	فصل چهارم: نشست پی‌های رینگ
۱۳۷	۱-۴ مقدمه
۱۳۷	۲-۴ مطالعات آزمایشگاهی تعیین نشست پی‌های رینگ
۱۳۷	۱-۲-۴ بررسی تأثیر اندازه قطر پی
۱۵۱	۳-۴ مطالعات عددی تعیین نشست پی‌های رینگ
۱۵۱	۱-۳-۴ تعیین تنش‌ها و تغییر شکل‌های زیر پی رینگ با استفاده از روش اجزاء محدود
۱۷۳	۴-۴ مطالعات تحلیلی تعیین نشست پی‌های رینگ
۱۷۳	۱-۴-۴ استفاده از معادلات انتگرال در محاسبه تغییر شکل و مقدار تنش عکس‌العمل در کف پی‌های رینگ
۱۸۳	۲-۴-۴ تغییر مکان‌ها و تنش‌های موجود در بستر یک پی رینگ با بارگذاری متقارن با استفاده از روش معادلات انتگرال نوع دوم
۱۸۸	۳-۴-۴ تعیین فشار نامتقارن صفحه رینگ بر روی نیم فضای الاستیک با استفاده از روش تبدیل‌های انتگرالی
۱۹۷	۴-۴-۴ تعیین نشست صفحه رینگ شکل در نیم فضای الاستیک با استفاده از روش توابع هارمونیک

۲۰۳	۵-۴ تعیین سختی دینامیکی پی‌های رینگ
۲۱۹	۶-۴ خلاصه
	فصل پنجم: مثال موردی و جمع‌بندی
۲۲۳	۱-۵ مقدمه
۲۲۳	۲-۵ مقایسه اقتصادی پی دایره‌ای و پی رینگ
۲۲۴	۳-۵ محاسبه ظرفیت باربری و نشست یک پی رینگ
۲۲۵	۱-۳-۵ محاسبات ظرفیت باربری
۲۲۵	۱-۱-۳-۵ روش بازدهی رینگ
۲۲۶	۲-۱-۳-۵ استفاده از نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی
۲۲۸	۲-۳-۵ محاسبه نشست پی رینگ
۲۲۹	۴-۵ جمع‌بندی مهمترین نکات در راستای طراحی ژئوتکنیکی پی‌های رینگ
۲۳۵	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ توزیع تنش و چگونگی نشست در زیر پی‌های صلب و انعطاف‌پذیر ۴
- شکل ۲-۱ انواع الگوهای گسیختگی در زیر پی‌ها ۵
- شکل ۳-۱ حالت‌های گسیختگی برشی شالوده دایره‌ای واقع بر ماسه
Chattahoochee ۶
- شکل ۱-۲ درستی و اعتبار در پیش‌بینی‌های نشست ۱۵
- شکل ۲-۲ نمودار فشار-نشست صفحه مربعی ۳۰۰ میلی‌متری در ماسه‌هایی با
 $N_{60} = 10, 30, 50$ ۱۸
- شکل ۳-۲ تغییرات I_z به Z برای (a) اشمرتمن (۱۹۷۰)، (b) اشمرتمن و همکاران
(۱۹۷۸) و (c) ترزافی و همکاران (۱۹۹۶) ۲۰
- شکل ۴-۲ (a) تغییرات K_E نسبت به D_r برای $\delta/B = 0.1$ درصد و (b) تغییرات
نسبت به δ/B $[K_{E(\delta/B)} / K_{E(\delta/B=0.1\%)}]$ ۲۵
- شکل ۵-۲ راه‌حل مین و پولس: (a) پی بر روی یک لایه تراکم‌پذیر و (b) تغییرات
 I_G با E_0/K_B' و H_g/B' ۲۶
- شکل ۶-۲ نمودار طراحی احتمالاتی ۲۷
- شکل ۷-۲ بار با شدت یکنواخت روی یک سطح بارگذاری دایره‌ای ۲۸
- شکل ۸-۲ حباب تنش برای تنش قائم و برشی به علت بار با شدت یکنواخت
بر روی سطح بارگذاری دایره‌ای ۳۰
- شکل ۹-۲ تغییر شکل سطحی یک لایه عمیق الاستیک ۳۱
- شکل ۱۰-۲ تنش وارد شده بر پی دایره‌ای با شعاع a ۳۲
- شکل ۱۱-۲ پی دایره‌ای صلب واقع بر یک لایه خاک الاستیک ۳۳
- شکل ۱۲-۲ ضرایب نشست برای پی دایره‌ای صلب واقع بر یک لایه خاک ۳۳
- شکل ۱۳-۲ پی دایره‌ای واقع بر خاک ناهمگن ۳۴
- شکل ۱۴-۲ نمودار ضریب تاثیر برای بار دایره‌ای وارد بر خاک ناهمگن ۳۵

- شکل ۲-۱۵ بارهای وارد شده در زیر سطح در یک لایه الاستیک عمیق ۳۵
- شکل ۲-۱۶ ضرایب کاهش عمق برای پی‌های دایره‌ای مدفون ۳۶
- شکل ۲-۱۷ سطح بارگذاری شده رینگ تحت بار با شدت یکنواخت ۳۶
- شکل ۲-۱۸ تنش قائم در زیر مرکز یک سطح بارگذاری رینگ با شدت یکنواخت ۳۸
- شکل ۲-۱۹- (a) کج‌شدگی به خاطر نشست غیریکنواخت، (b) انحراف زاویه‌ای و خمش، (c) تعریف شعاع انحناء ۴۳
- شکل ۲-۲۰ گسترش ترک ناشی از فرونشست یا بالا آمدگی ۴۴
- شکل ۲-۲۱ مثال‌هایی از عمل ایجاد نشست‌های غیریکنواخت و گسترش ترک ۴۶
- شکل ۲-۲۲ علانم بکار گرفته شده در ظرفیت باربری قائم پی‌های مخروطی ۶۴
- شکل ۲-۲۳ مقایسه N_p این نتایج بولتون و لئو (۱۹۹۳) و کسیدی و هولسی (۲۰۰۲) ۶۵
- شکل ۲-۲۴ تغییرات ضریب ظرفیت باربری N_p یا ϕ ۶۷
- شکل ۳-۱ منحنی دانه‌بندی مصالح ۷۳
- شکل ۳-۲ مدل پی رینگ ۷۳
- شکل ۳-۳ منحنی بار-نشست برای پی رینگ با قطر خارجی $D=80\text{mm}$ و $\gamma_d=1.8 \frac{gr}{cm^3}$ ۷۴
- شکل ۳-۴ منحنی بار-نشست برای پی رینگ با قطر خارجی $D=120\text{mm}$ و $\gamma_d=1.8 \frac{gr}{cm^3}$ ۷۴
- شکل ۳-۵ منحنی بار-نشست برای پی رینگ با قطر خارجی $D=120\text{mm}$ و $\gamma_d=1.7 \frac{gr}{cm^3}$ ۷۵
- شکل ۳-۶ منحنی بار-نشست برای پی رینگ با قطر خارجی $D=100\text{mm}$ و $\gamma_d=1.66 \frac{gr}{cm^3}$ ۷۵

- ۷۶ شکل ۷-۳ منحنی بار- نشست برای پی رینگ با قطر خارجی $D=75\text{mm}$ و

$$\gamma_d = 1.66 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$
- ۷۶ شکل ۸-۳ منحنی بار- نشست برای پی رینگ با قطر خارجی $D=75\text{mm}$ و

$$\gamma_d = 1.60 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$
- ۷۷ شکل ۹-۳ منحنی تغییرات ضریب بازدهی رینگ متوسط (F_r) و نسبت $\frac{d}{D}$
 (برای سطوح متغیر ولی با قطر خارجی یکسان)
- ۷۸ شکل ۱۰-۳ تغییرات ضریب بازدهی رینگ متوسط نسبت به مقدار $\frac{d}{D}$ (برای
 سطوح ثابت ولی با قطر خارجی متفاوت)
- ۸۱ شکل ۱۱-۳ نمودار دانه بندی ماسه ریزدانه و درشت دانه
- ۸۲ شکل ۱۲-۳ تغییرات ظرفیت باربری پی با تغییر نسبت قطر داخلی به خارجی
 پی برای ضخامت های مختلف لایه خاکی
- ۸۳ شکل ۱۳-۳ مقایسه ظرفیت باربری بر حسب دو نوع دانه بندی ریز و درشت
 برای پی با قطر خارجی ۱۵ سانتی متر و نسبت قطر داخلی به خارجی
 0.4
- ۸۳ شکل ۱۴-۳ مقایسه ظرفیت باربری بر حسب دو نوع دانه بندی ریز و درشت
 برای پی با قطر خارجی ۱۳/۲ سانتی متر و نسبت قطر داخلی به
 خارجی 0.53
- ۸۴ شکل ۱۵-۳ دستگاه آزمایش
- ۸۵ شکل ۱۶-۳ منحنی فشار- نشست برای پی با قطر خارجی ۲۰ سانتی متر و
 $n = 0.4$
- ۸۶ شکل ۱۷-۳ اثر نسبت قطر داخلی به قطر خارجی پی رینگ بر روی ظرفیت
 باربری
- ۸۷ شکل ۱۸-۳ اثر نسبت قطر داخلی به قطر خارجی پی رینگ بر روی نشست
 تحت فشار ثابت

۸۷ شکل ۱۹-۳ منحنی بار جانبی به تغییر مکان جانبی تحت بار قائم ثابت و

$$\frac{h}{B} = ۰.۱۳ \text{ و } n = ۰.۱۲$$

۸۸ شکل ۲۰-۳ منحنی بار جانبی به کج شدگی پی برای مقادیر مختلف بار قائم ثابت
 و
$$\frac{h}{B} = ۰.۱۳ \text{ و } n = ۰.۱۲$$

۸۸ شکل ۲۱-۳ اثر نسبت قطر داخلی به قطر خارجی پی رینگی بر روی ظرفیت
 باربری جانبی تحت بار قائم ثابت و
$$\frac{h}{B} = ۰.۱۳$$

۸۹ شکل ۲۲-۳ اثر بار قائم ثابت بر روی ظرفیت باربری جانبی برای مقادیر مختلف

$$n = ۰.۱۴ \text{ و } \frac{h}{B}$$

۹۰ شکل ۲۳-۳ تغییرات تغییر مکان جانبی با مقدار $\frac{h}{B}$ برای مقادیر ثابت P و

$$n = ۰.۱۴$$

۹۰ شکل ۲۴-۳ تغییرات کج شدگی پی با مقدار $\frac{h}{B}$ برای مقادیر ثابت P و $n = ۰.۱۴$

۹۳ شکل ۲۵-۳ مدل پی رینگی همراه با شرایط مرزی مختلف

۹۳ شکل ۲۶-۳ حالت‌های مختلف مقدار δ در کف پی؛ a: پخش مقعر؛ b: پخش
 خطی؛ c: پخش محدب

۹۴ شکل ۲۷-۳ تغییرات مقدار $\frac{p}{\gamma r_0}$ با تغییر فاصله از مرکز پی رینگی با سطح
 (a) صاف و (b) زیر با توجه به پخش سهمی مقعر اصطکاک

۹۵ شکل ۲۸-۳ تغییرات مقدار N_p با تغییر فاصله از مرکز پی رینگی با سطح
 (a) صاف و (b) زیر با توجه به پخش سهمی مقعر اصطکاک

۹۶ شکل ۲۹-۳ شمای گسیختگی خاک برای پی با کف صاف با $\frac{p}{\gamma r_0} = ۰.۰۰۰۲$ و
 مقادیر $r_1/r_0 = ۰.۰۵, ۰.۷۵$

۹۶ شکل ۳۰-۳ شمای گسیختگی خاک برای پی با کف زیر، مقادیر
 مختلف $r_1/r_0 = ۰.۰۵, ۰.۷۵$ با پخش مقعر δ

- شکل ۳-۳۱ مقایسه مقادیر N_p بین نتایج بدست آمده از محققین مختلف بر روی پی رینگی ($\varphi = 31^\circ$) ۹۷
- شکل ۳-۳۲ مقایسه مقادیر N_p بین نتایج بدست آمده از محققین مختلف بر روی پی رینگی ($\varphi = 35^\circ$) ۹۸
- شکل ۳-۳۳ مقایسه مقادیر N_p بین نتایج بدست آمده از محققین مختلف بر روی پی رینگی ($\varphi = 38^\circ$) ۹۸
- شکل ۳-۳۴ مقایسه مقادیر N_p بین نتایج بدست آمده از محققین مختلف بر روی پی رینگی ($\varphi = 40^\circ$) ۹۸
- شکل ۳-۳۵ شبکه‌بندی و شرایط مرزی مدل ۹۹
- شکل ۳-۳۶ مقایسه N_p برای مقادیر مختلف r_i/r_o و $\varphi = 30^\circ$ به ترتیب برای پی رینگ صاف و زیر ۱۰۰
- شکل ۳-۳۷ بردارهای تغییر مکان برای پی رینگ صاف برای مقادیر مختلف r_i/r_o و $\varphi = 5^\circ$ درجه تحت شرایط گسیختگی ۱۰۱
- شکل ۳-۳۸ بردارهای تغییر مکان برای پی رینگ زیر برای مقادیر مختلف r_i/r_o و $\varphi = 5^\circ$ درجه تحت شرایط گسیختگی ۱۰۲
- شکل ۳-۳۹ شمای گسیختگی پی رینگ صاف برای مقادیر مختلف φ و $r_i/r_o = 0.25$ ۱۰۴
- شکل ۳-۴۰ شمای گسیختگی پی رینگ زیر برای مقادیر مختلف φ و $r_i/r_o = 0.25$ ۱۰۵
- شکل ۳-۴۱ ضریب ظرفیت باربری N'_p پی رینگ تابعی از r_i/r_o و φ به ترتیب برای حالت صاف و زیر ۱۰۶
- شکل ۳-۴۲ تغییرات ضریب ظرفیت باربری N'_p پی رینگ تابعی از r_i/r_o و φ به ترتیب برای حالت صاف و زیر ۱۰۷
- شکل ۳-۴۳ منحنی دانه‌بندی ماسه‌ها ۱۰۸
- شکل ۳-۴۴ تغییر BCR با مقدار $\frac{u}{D_o}$ برای پی دایره‌ای با $D_o = 15 \text{ cm}$ ۱۱۱

- ۱۱۱ شکل ۴۵-۳ تغییر BCR با مقدار $\frac{u}{D_o - D_i}$ برای پی رینگ با $D_o = 15 \text{ cm}$ و
 $D_i = 6 \text{ cm}$
- ۱۱۲ شکل ۴۶-۳ نتایج آزمایش برای پی دایره‌ای با $D_o = 15 \text{ cm}$ بر روی چند لایه مسلح‌کننده
- ۱۱۲ شکل ۴۷-۳ نتایج آزمایش برای پی رینگ با $D_o = 15 \text{ cm}$ و $D_i = 6 \text{ cm}$ بر روی چند لایه مسلح‌کننده
- ۱۱۳ شکل ۴۸-۳ تغییر BCR بیشینه با مقدار N برای پی دایره‌ای با $D_o = 15 \text{ cm}$
- ۱۱۳ شکل ۴۹-۳ تغییر BCR بیشینه با مقدار N برای پی رینگ با $D_o = 15 \text{ cm}$ و
 $D_i = 6 \text{ cm}$
- ۱۱۴ شکل ۵۰-۳ تغییر ظرفیت باربری پی‌های رینگ با مقدار $n = \frac{D_i}{D_o}$ در خاک غیر مسلح
- ۱۱۴ شکل ۵۱-۳ تغییر BCR با مقدار u برای پی دایره‌ای بر روی ماسه با یک لایه مسلح‌کننده
- ۱۱۵ شکل ۵۲-۳ تغییر BCR با مقدار u برای پی رینگ بر روی ماسه با یک لایه مسلح‌کننده
- ۱۱۶ شکل ۵۳-۳ تغییر BCR با مقدار مقاومت کششی مسلح‌کننده برای پی دایره‌ای با
 $D_o = 15 \text{ cm}$
- ۱۱۶ شکل ۵۴-۳ تغییر BCR با مقدار مقاومت کششی مسلح‌کننده برای پی رینگ با
 $D_i = 6 \text{ cm}$ و $D_o = 15 \text{ cm}$
- ۱۱۸ شکل ۵۵-۳ مقطعی از منطقه تعادل حدی در بستر یک پی دایره‌ای
- ۱۱۸ شکل ۵۶-۳ مقطعی از منطقه تعادل حدی در بستر یک پی رینگ
- شکل ۵۷-۳ تنش‌های تماسی (۱) پی دایره‌ای، (۲) پی رینگ $\eta = 0.5$ (۳) پی رینگ $\eta = 2$ (۴) پی رینگ $\eta = 5$

- شکل ۳-۵۸ خطوط لغزش در بستر پی رینگی برای دو مکانیزم گسیختگی
داخلی و خارجی ۱۲۲
- شکل ۳-۵۹ مقطع پوش گسیختگی زیر پی و معادلات در نظر گرفته شده برای
آن ۱۲۶
- شکل ۳-۶۰ مقادیر N_p بر حسب مقادیر نسبت قطر داخلی به خارجی پی رینگی
و زاویه اصطکاک داخلی خاک (۵ تا ۳۰ درجه) ۱۲۹
- شکل ۳-۶۱ مقادیر N_p بر حسب مقادیر نسبت قطر داخلی به خارجی پی رینگی
و زاویه اصطکاک داخلی خاک (۳۵ تا ۵۰ درجه) ۱۲۹
- شکل ۳-۶۲ مکانیسم گسیختگی در زیر پی‌های رینگی ۱۳۲
- شکل ۴-۱ نسبت نشست در برابر نسبت عرض و تاثیر دانسیته نسبی در مورد
مطالعه حاضر و مطالعات قبلی ۱۳۸
- شکل ۴-۲ منحنی‌های نشست متوسط برای صفحات رینگی و صفحات دایره‌ای
به قطر ۱/۲۸ متر ۱۳۹
- شکل ۴-۳ شرایط خاک محل آزمایش ۱۴۱
- شکل ۴-۴ منحنی تنش و فشار آب حفره‌ای در مقابل کرنش محوری تحت
آزمایش تحکیم‌یافته زهکشی‌نشده ۱۴۱
- شکل ۴-۵ مسیر تنش مؤثر و پوش گسیختگی نمونه‌های سیمانی شده ۱۴۲
- شکل ۴-۶ ضرایب تاثیر برای نشست پی‌های رینگی منعطف ۱۴۴
- شکل ۴-۷ تغییرات ضریب تاثیر با فاصله از مرکز پی رینگی در مقایسه با پی
دایره‌ای ۱۴۵
- شکل ۴-۸ منحنی فشار- نشست صفحات رینگی در مقایسه با صفحه دایره‌ای
به قطر ۰/۶ متر ۱۴۵
- شکل ۴-۹ منحنی‌های فشار- نشست صفحات دایره‌ای ۱۴۶
- شکل ۴-۱۰ شرایط خاک در محل آزمایش ۱۴۸

- شکل ۴-۱۱ موقعیت صفحات بارگذاری ۱۴۸
- شکل ۴-۱۲ منحنی فشار- نشست برای صفحه به قطر ۳۰۰ میلی متر ۱۴۹
- شکل ۴-۱۳ منحنی فشار- نشست برای صفحه به قطر ۶۱۰ میلی متر ۱۴۹
- شکل ۴-۱۴ منحنی فشار- نشست برای صفحه به قطر ۱۲۸۰ میلی متر ۱۴۹
- شکل ۴-۱۵ منحنی فشار- نشست برای صفحه رینگ ۱۴۹
- شکل ۴-۱۶ مشخصات هندسه مدل ۱۵۱
- شکل ۴-۱۷ شبکه بندی مدل ۱۵۲
- شکل ۴-۱۸ مدل اجزاء محدود محیط خاکی ۱۵۷
- شکل ۴-۱۹ مقطع کلی از موقعیت زمین ۱۵۹
- شکل ۴-۲۰ شبکه اجزاء محدود برای تحلیل تاریخچه زمانی با شتاب سینوسی ۱۶۳
- شکل ۴-۲۱ شتاب های پاسخ چهار تحلیل تاریخچه زمانی ۱۶۳
- شکل ۴-۲۲ تغییر مکان قائم پی دایره ای صلب ۱۶۴
- شکل ۴-۲۳ مش بندی خاک همراه با پی رینگ ۱۶۵
- شکل ۴-۲۴ مقطع پی رینگ ۱۶۶
- شکل ۴-۲۵ سختی معادل مرزی ۱۶۷
- شکل ۴-۲۶ مجموعه مرز معادل ۱۶۷
- شکل ۴-۲۷ مش بندی به منظور مطالعه اثر عمق محیط ۱۶۸
- شکل ۴-۲۸ اثر عمق محیط بر روی سختی ۱۶۹
- شکل ۴-۲۹ اثر عمق محیط بر روی میرایی ۱۶۹
- شکل ۴-۳۰ اثر فرکانس بر روی سختی در مدهای غیرمقارن ۱۷۰
- شکل ۴-۳۱ اثر فرکانس بر روی میرایی در مدهای غیرمقارن ۱۷۱
- شکل ۴-۳۲ المان های سختی در فوریه ها با مراتب بالاتر ۱۷۲

- شکل ۳۳-۴ المان‌های میرایی در فوریه‌ها با مراتب بالاتر ۱۷۲
- شکل ۳۴-۴ بارگذاری محوری بر روی پی رینگی ۱۷۴
- شکل ۳۵-۴ فشارهای عکس‌العملی برای نیمه‌ای از پی رینگی ۱۷۷
- شکل ۳۶-۴ نمودار تغییرات فشار در زیر صفحه رینگی ۱۹۴
- شکل ۳۷-۴ نمای کلی صفحه رینگی و تعریف پارامترها ۱۹۸
- شکل ۳۸-۴ تغییر m نسبت به n ۲۰۲
- شکل ۳۹-۴ تغییر فشار عکس‌العمل نسبت به n ۲۰۳
- شکل ۴۰-۴ پی رینگی بر روی سطح زمین ۲۰۳
- شکل ۴۱-۴ المان‌های مرزی همگن و متقارن ۲۰۶
- شکل ۴۲-۴ شرایط مرزی غیرهمگن و متقارن برای منطقه پی دایره‌ای و رینگی صلب ۲۰۶
- شکل ۴۳-۴ سختی پیچشی استاتیکی ۲۰۷
- شکل ۴۴-۴ سختی استاتیکی عمودی ($v=\frac{1}{3}$) ۲۰۸
- شکل ۴۵-۴ سختی استاتیکی افقی ($v=\frac{1}{3}$) ۲۰۸
- شکل ۴۶-۴ سختی استاتیکی محیطی ($v=\frac{1}{3}$) ۲۰۹
- شکل ۴۷-۴ سختی پیچشی و ضرایب میرایی ($\frac{h}{R_r}=2; \beta=0.05$) ۲۱۰
- شکل ۴۸-۴ سختی قائم و ضرایب میرایی ($\frac{h}{R_r}=2; v=\frac{1}{3}; \beta=0.05$) ۲۱۱
- شکل ۴۹-۴ سختی افقی و ضرایب میرایی ($\frac{h}{R_r}=2; v=\frac{1}{3}; \beta=0.05$) ۲۱۲
- شکل ۵۰-۴ سختی محیطی و ضرایب میرایی ($\frac{h}{R_r}=2; v=\frac{1}{3}; \beta=0.05$) ۲۱۳
- شکل ۵۱-۴ سختی پیچشی و ضرایب میرایی ($\frac{R_1}{R_r}=0.9; \beta=0.05$) ۲۱۴
- شکل ۵۲-۴ سختی قائم و ضرایب میرایی ($\frac{R_1}{R_r}=0.9; v=\frac{1}{3}; \beta=0.05$) ۲۱۵

- شکل ۴-۵۳ سختی افقی و ضرایب میرایی ($\frac{R_1}{R_r} = 0.9$; $v = \frac{1}{3}$; $\beta = 0.05$) ۲۱۶
- شکل ۴-۵۴ سختی محیطی و ضرایب میرایی ($\frac{R_1}{R_r} = 0.9$; $v = \frac{1}{3}$; $\beta = 0.05$) ۲۱۷
- شکل ۴-۵۵ بخش حقیقی نرمی عمودی برای پی مربعی توخالی ۲۱۸
- شکل ۴-۵۶ بخش مجازی نرمی عمودی برای پی مربعی توخالی ۲۱۸
- شکل ۵-۱ مقایسه بازده پی‌های رینگی نسبت به یک پی دایره‌ای با قطر خارجی ۱۵ سانتی‌متر ۲۲۴
- شکل ۵-۲ منحنی بی‌بعد تغییرات ضریب بازدهی رینگی متوسط (F_r) و نسبت $\frac{d}{D}$ (برای سطوح متغیر ولی با قطر خارجی یکسان) ۲۲۵
- شکل ۵-۳ مقایسه مقادیر N_r بین نتایج بدست آمده از محققین مختلف بر روی پی رینگی برای $\varphi = 40^\circ$ ۲۲۷
- شکل ۵-۴ ضرایب تاثیر برای نسبت پی‌های رینگی منعطف ۲۲۹

فهرست جدول‌ها

۷	جدول ۱-۱ حالت‌های گسیختگی برای خاک‌های بدون چسبندگی
۷	جدول ۲-۱ شرایط برای حالت‌های گسیختگی
۲۳	جدول ۱-۲ تغییرات I_s
۳۰	جدول ۲-۲ ضرایب تأثیر برای تنش قائم به علت بار با شدت یکنواخت روی سطح بارگذاری دایره‌ای
۳۸	جدول ۳-۲ مقادیر I_{pz}
۳۹	جدول ۴-۲ همبستگی‌های بین E و N_{q0} برای خاک‌های دانه‌ای
۴۰	جدول ۵-۲ همبستگی‌های بین E و q_0 برای خاک‌های دانه‌ای
۴۸	جدول ۶-۲ نشست غیر یکنواخت و کج‌شدگی زاویه‌ای مجاز
۵۳	جدول ۷-۲ معیارهای قابل پذیرش نشست برای بالا آمدگی (تورم)
۵۹	جدول ۸-۲ ضرایب ظرفیت باربری
۶۲	جدول ۹-۲ ضریب ظرفیت باربری N'_c برای پی دایره‌ای با سطح زیرین صاف (s) و زیر (r)
۶۲	جدول ۱۰-۲ ضریب ظرفیت باربری N'_p برای پی دایره‌ای با سطح زیرین صاف (s) و زیر (r)
۶۵	جدول ۱۱-۲ مقادیر N_p برای $\beta = 180^\circ$ و α های مختلف
۶۶	جدول ۱۲-۲ مقادیر N_q بدست آمده
۶۷	جدول ۱۳-۲ مقایسه مقادیر N_p برای شالوده دایره‌ای با سطح زیرین زیر
۷۷	جدول ۱-۳ مقادیر ضریب بازدهی رینگی متوسط (F_r)
۷۸	جدول ۲-۳ بازدهی رینگی متوسط (F_r) برای پی با سطوح تماس ثابت
۷۹	جدول ۳-۳ ظرفیت باربری صفحات رینگی
۸۱	جدول ۴-۳ مشخصات پی‌های رینگی ساخته شده
۸۵	جدول ۵-۳ جزئیات ۶۵ آزمایش انجام شده
۹۲	جدول ۶-۳ مقادیر مختلف N_p با توجه به مقادیر مختلف δ

۹۷	جدول ۷-۳ مقایسه مقادیر N_T برای پی دایره‌ای با کف صاف
۹۷	جدول ۸-۳ مقایسه مقادیر N_T برای پی دایره‌ای با کف زبر
۱۰۳	جدول ۹-۳ تغییر مکان پی رینگ صاف برای مقادیر مختلف τ_i/τ_0 و $\varphi=0$ درجه تحت شرایط گسیختگی
۱۰۳	جدول ۱۰-۳ ضریب ظرفیت باربری N'_T پی رینگ برای مقادیر مختلف τ_i/τ_0 و φ (حالت صاف و زبر)
۱۰۸	جدول ۱۱-۳ نتایج آزمایش‌ها بر روی پی‌های مختلف در خاک مسلح
۱۰۹	جدول ۱۲-۳ مشخصات ماسه
۱۱۰	جدول ۱۳-۳ برنامه آزمایش‌ها
۱۱۵	جدول ۱۴-۳ تغییر BCR با مقدار u و z برای پی دایره‌ای بر روی ماسه با چند لایه مسلح‌کننده
۱۱۵	جدول ۱۵-۳ تغییر BCR با مقدار u و z برای پی رینگ بر روی ماسه با چند لایه مسلح‌کننده
۱۱۹	جدول ۱۶-۳ مقادیر μ_{90}
۱۲۱	جدول ۱۷-۳ مقادیر m و n
۱۲۳	جدول ۱۸-۳ مقادیر k برای q' و 40° و $\varphi=5^\circ$
۱۲۴	جدول ۱۹-۳ مشخصات خاک مورد استفاده
۱۲۵	جدول ۲۰-۳ مقادیر k برای τ_i و η های مختلف
۱۲۸	جدول ۲۱-۳ ضریب λ بر حسب φ
۱۳۹	جدول ۱-۴ مقادیر نشست پی‌های رینگ و دایره‌ای
۱۴۰	جدول ۲-۴ مقادیر I_m
۱۴۲	جدول ۳-۴ برنامه آزمایش‌های انجام شده
۱۴۶	جدول ۴-۴ نشست صفحات رینگ

- جدول ۴-۵ مقادیر مدول الاستیسیته خاک برحسب کیلوپاسکال با فرض نیم فضای همگن ۱۵۰
- جدول ۴-۶ مدول بارگذاری مجدد ۱۵۱
- جدول ۴-۷ ضرایب I_z و I_r ۱۵۳
- جدول ۴-۸ ضرایب I_w ۱۵۵
- جدول ۴-۹ خواص مصالح خاکی ۱۶۸
- جدول ۴-۱۰ مقادیر ضریب تغییر شکل $\omega(n)$ برای مقادیر مفروض (n) ۱۷۵
- جدول ۴-۱۱ مقادیر $\bar{M}_r$ با $n=0.6$ ۱۸۲
- جدول ۴-۱۲ مقادیر $\bar{M}_r$ با $n=0.6$ ۱۸۲
- جدول ۴-۱۳ مقادیر عددی تابع $\alpha(r)$ ۱۸۴
- جدول ۴-۱۴ مقادیر عددی تابع $w(\frac{r}{R_f})$ برای n های مختلف ۱۸۵
- جدول ۴-۱۵ مقادیر عددی توابع $s_1(R_f, z)$ و $s_2(R_f, z)$ برای مقادیر خاص از n و z/R_f ۱۸۷
- جدول ۴-۱۶ مقادیر عددی توابع $s_1(R_f, z)$ و $s_2(R_f, z)$ برای مقادیر مختلف n و z/R_f و ۱۸۸
- $\gamma=0.35$
- جدول ۵-۱ مقایسه مقادیر به دست آمده برای ظرفیت باربری پی رینگ ۲۲۸