

شماره رجیستر

۱۴۴۳۱۲۰



شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)
دفتر نظامات آموزشی - پژوهشی و تدوین ضوابط و استانداردها

راهنمای طرح و اجرای ستون‌های سنگی

تدوین و گردآوری:

حسین جمشیدی

زیر نظر: معاونت فنی و نظارت مهندسی

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



شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)

سرشناسه: جمشیدی، حسین، ۱۳۵۵-

عنوان و نام پدیدآور: راهنمای طرح و اجرای ستون‌های سنگی/ تدوین و گردآوری حسین جمشیدی؛ زیر نظر معاونت فنی و نظارت مهندسی [شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک].

مشخصات نشر: تهران: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: ۳۱۴ ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۳۰۰۰۰۰ ریال ۲-۹-۹۵۸۷۶-۶۰۰-۹۷۸.

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: Design and Construction Guideline of Stone Columns

موضوع: ستون‌های سنگی

موضوع: خاک - بهاری

شناسه افزوده: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، معاونت فنی و نظارت مهندسی

رده‌بندی کنگره: ۲/۱۳۹۴ ج ۷۸/۲

رده‌بندی دیویی: ۶۲۸/۵

شماره کتابشناسی ملی: ۴۱۲۰۵۴

راهنمای طرح و اجرای ستون‌های سنگی

تدوین و گردآوری: حسین جمشیدی

طراحی روی جلد: دفتر نظامات آموزشی- پژوهشی، زمین ضوابط و استانداردها

شابک: ۳۰۰۰۰۰ ریال ۲-۹-۹۵۸۷۶-۶۰۰-۹۷۸.

چاپ: اسری

سال چاپ: ۱۳۹۴

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۲۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۰۰ ۰۰۰ ریال

ناشر: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (وابسته به وزارت راه و شهرسازی)

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

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

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. لزوم ارتقای 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 ننمایند.

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک با پیشینه بیش از شصت سال حضور در مراکز استان‌ها، شهرستان‌ها و آزمایشگاه‌های مستقر در پروژه‌های عمرانی و ارایه خدمات در زمینه کنترل کیفیت و آزمایش‌های مصالح ساختمانی، کاوش‌های صحرایی، خدمات مهندسی ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، فعالیت‌های پژوهشی و تحقیقات کاربردی، تدوین استاندارد ملی به ایفای نقش و انجام وظیفه در انتشار متون علمی و تدوین دستورالعمل‌های مورد نیاز در زمینه خدمات مهندسی ژئوتکنیک و مقاومت مصالح نموده است.

کتاب پیش رو به بررسی طرح و اجرای ستون‌های سنگی که یکی از روش‌های بهسازی زمین می‌باشد و برای بهسازی زمین‌های حاوی رس‌های نرم، لای‌ها و همچنین برای ماسه‌های لای‌دار سست مناسب هستند، می‌پردازد. در تهیه این مجموعه سعی شده است تا از کتب، آیین‌نامه‌ها، راهنما، تصاویر و روش‌های فنی، استانداردها، مقالات و گزارش‌های مختلف تدوین شده در خصوص ستون‌های سنگی استفاده شود.

این کتاب دارای هفت فصل است. در فصل اول ضمن بیان کلیاتی در خصوص انواع روش‌های بهسازی، تاریخچه و کاربردهای ستون‌های سنگی بیان شده و در ادامه روش‌های مختلف ساخت این ستون‌ها تشریح می‌گردد. توضیحات کلی درباره فرآیند رعاش، تجهیزات ساخت ستون‌های سنگی و کارایی آن نسبت به نوع خاک، از دیگر مطالب مهم فصل اول است. فصل دوم به شرح مکانیسم گسیختگی، نحوه آرایش ستون‌های سنگی، مفهوم سلول واحد و برآورد ظرفیت باربری و نشست ستون‌های سنگی منفرد و گروه آنها، اختصاص دارد. در قسمت پایانی این فصل، در خصوص

تحلیل پایداری شیروانی‌های واقع بر ستون‌های سنگی، مطالبی بیان شده است. فصل سوم به موضوع نظارت بر ساخت، دستورالعمل‌های کمکی و آزمون‌های پذیرش می‌پردازد. فصل چهارم حاصل تلفیق نتایج مطالعات انجام شده در زمینه طراحی ستون‌های سنگی می‌باشد. در فصل پنجم و ششم به ترتیب به مثالها و مطالعات موردی پرداخته شده و نهایتاً در فصل هفتم نتیجه‌گیری ارائه شده است.

در پایان از کارشناس دفتر نظامات آموزشی-پژوهشی و تدوین ضوابط و استانداردهای شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک آقای مهندس حسین جمشیدی جهت تدوین و گردآوری این نوشتار، آقایان مهندس علی محمد اسماعیلی و مهندس محسن اسماعیلی طاهری جهت بازخوانی و ویراستاری این نوشتار و آقای محمد پروین جهت صفحه‌آرایی و طرح روی جلد کتاب تشکر و قدردانی می‌گردد. از همه استادان، پژوهشگران، کارشناسان، دانشجویان و علاقه‌مندان درخواست می‌شود با ارائه پیشنهادهای خود ما را در بهبود کیفیت کتاب حاضر یاری نمایند.

سید رضا حسینی

رئیس هیأت مدیره و مدیر عامل

فهرست مطالب

فصل اول- ستون‌های سنگی، انواع و کاربردها

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱ تاریخچه ۹
- ۳-۱ کاربردهای ستون‌های سنگی ۱۳
- ۴-۱ مصالح مختلف ساخت ستون‌های سنگی ۱۸
 - ۴-۱-۱ جاذب رطوبت ارتعاشی (تر) ۱۸
 - ۴-۱-۲ جاذب ارتعاشی ۲۰
 - ۴-۱-۳ پایه‌های سنگریزه‌ای کبشی ۲۲
 - ۴-۱-۴ شمع‌های تراکم ماسه‌ای ۲۳
 - ۴-۱-۵ ستون‌های ملاتی ارتعاشی ۲۴
 - ۴-۱-۶ ستون‌های بتنی ارتعاشی ۲۴
 - ۴-۱-۷ ستون‌های ماسه‌ای یا شنی روکش شده با رتوتکستایل ۲۴
- ۵-۱ فرآیند ارتعاش ۲۹
- ۶-۱ دستگاه ارتعاش و تجهیزات ۳۵
- ۷-۱ دانه‌بندی و ارتعاش عمقی ۳۷
- ۸-۱ پایش و آزمودن ۴۱

فصل دوم- مکانیسم گسیختگی، ظرفیت باربری و نشست ستون‌های سنگی

- ۱-۲ مقدمه ۴۵
- ۲-۲ مکانیسم‌های گسیختگی ستون‌های سنگی منفرد ۵۰
- ۳-۲ مکانیسم‌های گسیختگی گروه ستون‌های سنگی ۵۲

- ۵۵ ۴-۲ آرایش ستون‌های سنگی
- ۵۷ ۵-۲ مفهوم سلول واحد
- ۵۸ ۱-۵-۲ قطر معادل
- ۵۹ ۲-۵-۲ نسبت سطح جایگزینی
- ۶۰ ۳-۵-۲ سلول واحد ایده‌آل
- ۶۱ ۴-۵-۲ تمرکز تنش
- ۶۳ ۶-۲ تحلیل ظرفیت باربری نهایی
- ۶۳ ۱-۶-۲ ستون سنگی منفرد
- ۶۸ ۱-۱-۶-۲ تئوری اتساع حفره
- ۶۹ ۱-۶-۲ تئوری اتساع حفره و سیک
- ۷۱ ۲-۱-۶-۲ ستون‌های سنگی کوتاه
- ۷۴ ۲-۶-۲ گروه ستون‌های سنگی
- ۷۷ ۱-۲-۶-۲ سلول واحد تعمیم یافته
- ۷۸ ۷-۲ نشست
- ۷۹ ۱-۷-۲ روش تعادلی
- ۸۲ ۲-۷-۲ روش پرایب
- ۸۷ ۳-۷-۲ روش گرین‌وود
- ۸۸ ۴-۷-۲ روش جزء به جزء
- ۹۱ ۵-۷-۲ روش اجزاء محدود
- ۹۳ ۱-۵-۷-۲ منحنی‌های طراحی
- ۹۳ الف) خاک‌های با تراکم‌پذیری کم
- ۹۶ ب) خاک‌های چسبیده تراکم‌پذیر
- ۱۰۳ ۲-۵-۷-۲ توزیع تنش در گروه ستون‌های سنگی
- ۱۰۴ ۸-۲ نرخ نشست تحکیمی اولیه
- ۱۰۹ ۹-۲ بهم‌ریختگی

۱۰-۲	نشست تحکیمی ثانویه	۱۱۱
۱۱-۲	سیستم باربری ستون‌های سنگی روکش شده با ژئوتکستایل	۱۱۲
۱-۱۱-۲	شیوه محاسبه تحلیلی	۱۱۳
۱۲-۲	تحلیل پایداری شیروانی	۱۲۰
۱-۱۲-۲	روش پروفیل	۱۲۰
۲-۱۲-۲	روش مقاومت برشی میانگین	۱۲۳
۱-۱۲-۲	روش ممان مجموع	۱۲۷
۱۳-۲	افزایش مقاومت برشی ناشی از تحکیم	۱۲۷
۱۴-۲	بحث و نتیجه‌گیری	۱۲۹
فصل سوم- نظارت میدانی رده‌های گدازه‌های کمکی		
۱-۳	مقدمه	۱۳۷
۲-۳	نظارت بر ساخت ستون‌های سنگی	۱۳۷
۱-۲-۳	خلاصه جنبه‌های مهم ساخت	۱۳۸
۲-۲-۳	راهنمای نظارت بر ساخت ستون‌های سنگی	۱۴۰
۱-۲-۲-۳	تجهیزات اجرا به روش جایگزینی ارنعاشی	۱۴۱
۲-۲-۲-۳	مصالح سنگی شکسته	۱۴۲
۳-۲-۲-۳	سکوه‌های کار ماسه‌ای	۱۴۲
۴-۲-۲-۳	صحت‌سنجی مقدار مصالح پرکننده	۱۴۳
۵-۲-۲-۳	اجرای ستون سنگی	۱۴۳
۶-۲-۲-۳	شرایط زیست‌محیطی	۱۴۶
۷-۲-۲-۳	سوابق کلی	۱۴۶
۳-۳	دستورالعمل‌های ستون‌های سنگی	۱۴۷
۱-۳-۳	دستورالعمل‌های کمکی برای ستون‌های سنگی	۱۴۸

۱۴۸.....	۱-۱-۳-۳ کلیات
۱۴۹.....	۲-۱-۳-۳ الزامات سازمان‌های نظارتی
۱۵۰.....	۳-۱-۳-۳ مصالح
۱۵۳.....	۴-۱-۳-۳ تجهیزات و روش کار
۱۵۶.....	۵-۱-۳-۳ رواداری‌ها
۱۵۷.....	۶-۱-۳-۳ موانع
۱۵۸.....	۷-۱-۳-۳ سوابق ساخت
۱۶۰.....	۴-۳ آزمون‌های پذیرش
۱۶۱.....	۱-۴-۳ کنترل قطر
۱۶۱.....	۱۰-۴-۳ پیوستگی
۱۶۱.....	۳-۴-۳ شترا حراکم
۱۶۱.....	۴-۴-۳ آزمایش بارگذاری کوتاه‌مدت
۱۶۲.....	۱-۴-۴-۳ تشریف
۱۶۴.....	۲-۴-۴-۳ تجهیزات
۱۶۵.....	۳-۴-۴-۳ انجام آزمایش
۱۶۷.....	۴-۴-۴-۳ نظارت و گزارش‌ها

فصل چهارم- طراحی ستون‌های سنگی

۱۶۹.....	۱-۴ مقدمه
۱۶۹.....	۲-۴ تمرکز تنش
۱۷۰.....	۳-۴ ظرفیت باربری نهایی
۱۷۱.....	۱-۳-۴ شیوه تحلیل ستون سنگی منفرد
۱۷۴.....	۲-۳-۴ شیوه تنوری کلاسیک ظرفیت باربری گروه ستون سنگی
۱۷۴.....	۳-۳-۴ شیوه تنوری اتساع جفره
۱۷۵.....	۴-۳-۴ توصیه‌های طراحی
۱۷۵.....	۴-۴ پیش‌بینی نشست

۱۷۵.....	۴-۱-۱ نشست تحکیمی اولیه
۱۸۱.....	۴-۲-۱ نرخ نشست
۱۸۲.....	۴-۳-۱ نشست تحکیمی ثانویه
۱۸۳.....	۴-۵-۱ پایداری
۱۸۷.....	۴-۶-۱ آزمون‌های بارگذاری میدانی
۱۹۳.....	۴-۷-۱ ملاحظات کلی طراحی
۱۹۳.....	۴-۷-۱ گزینشها
۱۹۴.....	۴-۷-۱ ملاحظات زیست محیطی
۱۹۴.....	۴-۷-۳ طرح
۱۹۵.....	۴-۷-۱-۱ دانه بندی خاک
۱۹۵.....	۴-۷-۳-۲ مدت بررسی خاک
۱۹۶.....	۴-۷-۳-۳ دانه بندی مصالح سنگریزه‌ای
۱۹۶.....	۴-۷-۳-۴ ظرفیت نهایی
۱۹۸.....	۴-۷-۳-۵ نسبت سطح جایگیری در آرایش ستون‌های سنگی
۱۹۸.....	۴-۷-۳-۶ قطر ستون‌های سنگی
۱۹۸.....	۴-۷-۳-۷ دانسیته مصالح سنگریزه‌ای
۲۰۱.....	۴-۷-۳-۸ تورب
۲۰۱.....	۴-۷-۳-۹ نويز و ارتعاش
۲۰۳.....	۴-۷-۳-۱۰ کاربردها در زمین لغزش

فصل پنجم - مثالها

۲۰۵.....	۵-۱ مقدمه
۲۰۷.....	۵-۲ گسیختگی موضعی
۲۰۸.....	۵-۳ گسیختگی موضعی در خاک چسبنده
۲۱۰.....	۵-۴ محاسبه نیروی برشی حدى

۵-۵ نمودارهای طراحی ۲۱۲

مثال ۱- ظرفیت باربری ۲۱۹

مثال ۲- ظرفیت باربری - گروه با آرایش مربعی ۲۲۳

مثال ۳- نشست ۱ ۲۲۶

الف) روش تعادلی ۲۲۷

ب) روش اجزاء محدود غیر خطی ۲۲۹

ج) نرخ نشست ۲۳۰

د) نشست ثانویه ۲۳۱

مثال ۴- نشست ۲ ۲۳۱

الف) نرخ نشست اولیه ۲۳۳

مثال ۵- پایداری شیب ۲۳۶

فصل ششم - مطالعات موردی

۱-۶ مقدمه ۲۴۳

۲-۶ پروژه‌های راه‌سازی ۲۴۳

۳-۶ پروژه‌های پی‌سازی ۲۵۶

فصل هفتم - نتیجه‌گیری

۱-۷ مقدمه ۲۷۹

۲-۷ کاربردها ۲۷۹

۳-۷ ساخت ستون سنگی ۲۸۰

۴-۷ نظارت ۲۸۱

۵-۷ شناسایی لایه‌های زیر سطحی و آزمایش‌ها ۲۸۲