

شماره درج شده

۱۴۴۳۱۲۲



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

راهنمای طرح و اجرای ژئوتکستایل در امسازی و ابنیه فنی

تدوین و گردآوری: غلامحسین توکلی مهرجردی

زیر نظر: معاونت آموزشی و پژوهشی

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



شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)

سرشناسه: توکلی مهرجردی، غلامحسین، ۱۳۶۱ -

عنوان و نام پدیدآور: راهنمای طرح و اجرای ژئوتکتایل در راهسازی و ابنیه فنی / تدوین و گردآوری غلامحسین توکلی مهرجردی؛ زیر نظر معاونت آموزشی و پژوهشی شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص)؛ [برای] شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (سهامی خاص) دفتر نظامات آموزشی - پژوهشی و تدوین ضوابط استانداردها.
مشخصات نشر: تهران: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: خ، ۳۵۳ ص: مصور، جدول.

شابک: ۳۵۰۰۰ ریال: ۳-۴-۹۵۸۷۶-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه: ص. ۳۴۹-۳۵۳.

موضوع: ژئوتکتایل‌ها

موضوع: ژئوتکتایل‌ها -- آزمایش

موضوع: راه‌سازی

شناسه افزوده: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک. معاونت آموزشی و پژوهشی

شناسه افزوده: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک. دفتر نظامات آموزشی - پژوهشی و

تدوین ضوابط و استانداردها

شناسه افزوده: شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

رده‌بندی کنگره: TA ۵۵/۸۷۹:۱۳۹۴ **رده‌بندی دیویی:** ۶۲۴/۱۸۹۲۳

شماره کتابشناسی ملی: ۰۰۳۰۲۸

راهنمای طرح و اجرای ژئوتکتایل در راهسازی و ابنیه فنی

تدوین و گردآوری: غلامحسین توکلی مهرجردی

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

شابک: ۳-۴-۹۵۸۷۶-۶۰۰-۹۷۸

سال چاپ: ۱۳۹۴

نوبت چاپ: اول

تیراژ ۲۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۵۰ ۰۰۰ 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: ۸۸۰۰۷۹۵۳-۸۸۰۲۵۴۲۰ دورنگار:

www.tsml.ir

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیش گفتار

در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی استفاده از خاک مسلح با ورود محصولات ژئوسنتتیک رونق گرفت. ژئوسنتتیک‌های اولیه در سال ۱۹۶۰ در آمریکا به عنوان فیلتر و در اروپا به عنوان مسلح‌کننده مورد استفاده قرار گرفتند. از سال ۱۹۸۲ با تأسیس مجمع بین‌المللی ژئوسنتتیک، کنفرانس‌های جهانی هر چهار سال یکبار برگزار می‌شود. استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در سراسر دنیا رایج بوده، به طور مستمر در حال رشد می‌باشد.

طبیعت پلیمری این محصولات، استفاده از آنها را در زمین‌هایی که دوام مصالح اهمیت دارد و همچنین در شرایط بد محیطی ممکن می‌سازد. به همین دلیل موارد کاربرد آنها در مهندسی عمران بسیار وسیع و متنوع است و به طور معمول، در ژئوتکنیک، حمل و نقل، محوطه زیست و هیدرولیک همانند جاده‌ها، فرودگاه‌ها، راه‌آهن، خاکریزها، سازه‌های نگهبان، مخازن، کانالها، سدها، کنترل فرسایش، کنترل رسوب و دفینه‌های زباله کاربرد می‌دارند.

با توسعه و رشد کاربرد تسلیح خاک به نفع مهندسی خاک و پی‌نیاز به دستیابی به روش‌های تحلیل و طراحی بهینه دارد تا بتواند سازه‌های مربوطه را به طور دقیق و بهینه اجرا نماید. بدین منظور، شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک بر پایه برنامه استراتژی خود بر آن شد تا در جهت توسعه منابع علمی و فنی مورد نیاز پژوهشگران، مهندسان و دانشجویان محترم در رشته مهندسی عمران، این کتاب را گردآوری و منتشر نماید.

در تدوین این کتاب کوشش شده است تا با بهره‌گیری از تحقیقات، گزارش‌های فنی و استانداردهای موجود، منبع مناسبی برای طراحی سازه‌های خاکی مسلح شده با ژئوتکستایل با تأکید بر صنعت راهسازی و ابنیه فنی آن فراهم آید.

این کتاب در بر گیرنده چهار فصل است. فصل اول این کتاب به بررسی مشخصه‌های فنی ژئوتکستایل از قبیل مشخصات فیزیکی، مکانیکی و هیدرولیکی می‌پردازد. فصل دوم، به ارائه مطالعات پژوهشی انجام گرفته در زمینه استفاده از ژئوتکستایل در بستر پی‌ها می‌پردازد. فصل سوم، روش‌های طراحی بسترهای مسلح با ژئوتکستایل در دو حالت بدون رویه و رویه‌دار را ارائه می‌دهد. فصل چهارم، روش‌های تحلیل و طراحی دیوارهای نگهبان مسلح با ژئوتکستایل را در حالت‌های استاتیکی و دینامیکی ارائه می‌دهد. در تمامی بخش‌ها، به ملاحظات اجرایی و محدودیت‌ها نیز اشاره می‌شود.

در پایان از آقای دکتر غلامحسین توکلی مهرجردی جهت تدوین و گردآوری مطالب این کتاب و آقایان مهندس علی‌محمد اسمعیلی و مهندس محسن اسماعیلی طاهری جهت سرانجام ویراستاری این نوشتار و آقای محسن پروین جهت صفحه‌آرایی و طرح رزی جلد کتاب تشکر و قدردانی می‌گردد.

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

سید رضا حسینی
رئیس هیئت مدیره و مدیر عامل

فهرست مطالب

فصل اول: مشخصه‌های فنی ژئوتکستایل‌ها

۱	۱-۱- مروری بر ژئوسنتتیک‌ها
۱	۱-۱-۱- مقدمه
۵	۱-۱-۲- ژئوتکستایل‌ها
۷	۱-۱-۳- ژئوگریدها
۸	۱-۱-۴- ژئونت‌ها
۸	۱-۱-۵- ژئوممبرین‌ها
۹	۱-۱-۶- پوشش‌های رسی
۹	۱-۱-۷- ژئوفایم‌ها
۱۰	۱-۱-۸- ژئوسپری‌ها
۱۰	۱-۱-۸-۱- تاریخچه ژئوتکستایل‌ها
۱۱	۱-۱-۸-۲- زمینه‌های کاربردی ژئوتکستایل‌ها
۱۴	۱-۱-۹- سلول‌های زهکشی
۱۴	۱-۱-۱۰- ژئوکامپوزیت‌ها
۱۴	۱-۱-۱۰-۱- ترکیب ژئوتکستایل-ژئونت
۱۵	۱-۱-۱۰-۲- ترکیب ژئوتکستایل-ژئوممبرین
۱۵	۱-۱-۱۰-۳- ترکیب ژئوممبرین-ژئوگرید
۱۵	۱-۱-۱۱- کاربرد ژئوسنتتیک‌ها
۱۵	۱-۱-۱۱-۱- جداسازی
۱۶	۱-۱-۱۱-۲- تسلیح
۱۶	۱-۱-۱۱-۳- فیلتراسیون (صافی)
۱۷	۱-۱-۱۱-۴- زهکشی
۱۸	۱-۱-۱۱-۵- آب‌بندی

۲۰	۲-۱- مشخصه‌های ژئوتکستایل و روش‌های آزمون
۲۰	۱-۲-۱- مقدمه
۲۲	۲-۲-۱- خواص فیزیکی
۲۲	۱-۲-۲-۱- وزن مخصوص
۲۲	۲-۲-۲-۱- جرم در واحد سطح
۲۳	۳-۲-۲-۱- ضخامت
۲۴	۴-۲-۲-۱- سختی
۲۴	۳-۲-۱- خواص مکانیکی
۲۴	۱-۳-۲-۱- تراکم‌پذیری
۲۵	۲-۳-۲-۱- مقاومت کششی
۳۲	۳-۳-۱- مقاومت درز
۳۵	۴-۳-۲-۱- مقاومت گسیختگی سیکلی
۳۵	۵-۳-۲-۱- مقاومت رهم‌ناشیدگی
۳۵	۶-۳-۲-۱- آزمایش‌های پاره‌شدگی
۳۸	۷-۳-۲-۱- آزمایش ضربه
۳۹	۸-۳-۲-۱- آزمایش سوراخ‌شدگی
۴۱	۹-۳-۲-۱- رفتار اصطکاکی
۴۵	۴-۲-۱- خواص هیدرولیکی
۴۵	۱-۴-۲-۱- تخلخل
۴۶	۲-۴-۲-۱- درصد فضای خالی
۴۶	۳-۴-۲-۱- اندازه ظاهری چشمه‌های (اندازه معادل برای چشمه‌ها)
۴۸	۴-۴-۲-۱- نفوذپذیری در راستای عمود بر صفحه (گذردهی) ژئوتکستایل
۵۰	۵-۴-۲-۱- نفوذپذیری در راستای عمود بر صفحه ژئوتکستایل تحت بارگذاری

- ۵۱ ۶-۴-۲-۱- انتقال پذیری (نفوذ پذیری در صفحه)
- ۵۵ ۷-۴-۲-۱- نگهداری خاک (پرده رسوبی)
- ۵۶ ۵-۲-۱- خواص ماندگاری (دوام و پایداری)
- ۵۶ ۱-۵-۲-۱- آزمایش خزش
- ۵۸ ۲-۵-۲-۱- آزمایش‌های خزش محصور شده
- ۵۸ ۳-۵-۲-۱- آزمایش‌های ساییدگی
- ۶۰ ۴-۵-۲-۱- آزمایش بندآمدگی جریان در بازه زمانی زیاد
- ۶۱ ۵-۵-۲-۱- آزمایش نسبت گرادیان
- ۶۲ ۲-۱- عوامل فرسایشی
- ۶۲ ۱-۱-۲-۱- ناشی از نصب
- ۶۴ ۶-۲-۱- فرسایش ناشی از دما
- ۶۴ ۳-۶-۲-۱- فرسایش ناشی از محیط شیمیایی
- ۶۵ ۴-۶-۲-۱- فرسایش ناشی از آکافت (هیدرولیز)
- ۶۵ ۵-۶-۲-۱- فرسایش محیطی
- ۶۶ ۶-۶-۲-۱- خرابی ناشی از نور خورشید
- ۶۸ ۷-۶-۲-۱- پیرشدگی
- ۶۸ ۷-۲-۱- طراحی براساس عملکرد
- ۷۰ ۳-۱- ژئوتکستایل‌ها در بازار تجاری
- ۷۰ ۱-۳-۱- مقدمه
- ۷۱ ۲-۳-۱- داده‌های فنی مورد نیاز
- ۷۱ ۳-۳-۱- تولیدکنندگان و تولید ژئوتکستایل
- ۷۱ ۱-۳-۳-۱- تولید در خارج از کشور
- ۷۲ ۲-۳-۳-۱- تولید در ایران
- ۷۵ مراجع

فصل دوم: استفاده از مسلح‌کننده‌ها در افزایش باربری

پی‌های سطحی

- ۸۰ ۲-۱- مقدمه
- ۸۰ ۲-۲- مطالعات مربوط به مسلح‌کننده‌های صفحه‌ای
- ۸۱ ۲-۲-۱- مکانیسم‌های عملکرد مسلح‌کننده
- ۸۵ ۲-۲-۲- تأثیر عرض صفحه بارگذاری
- ۸۹ ۲-۲-۳- تأثیر سختی مسلح‌کننده
- ۹۳ ۲-۲-۴- تأثیر تعداد لایه‌های مسلح‌کننده و عمق عملکرد آن
- ۱۰۳ ۲-۲-۵- تأثیر عرض مسلح‌کننده
- ۱۱۷ ۲-۲-۶- تأثیر فاصله اولین لایه از سطح خاک
- ۱۲۲ ۲-۲-۷- تأثیر فاصله بین لایه‌های مسلح‌کننده
- ۱۲۴ ۲-۲-۸- تأثیر انحراف خاک
- ۱۲۵ ۲-۲-۹- تأثیر عمق مدفون پی
- ۱۲۷ ۲-۲-۱۰- اثر مسلح‌کننده بر تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک
- ۱۳۰ ۲-۲-۱۱- ظرفیت باربری پی واقع بر روی مسلح
- ۱۳۹ ۲-۲-۱۲- نتیجه‌گیری
- ۱۴۲ ۲-۳- مطالعات مربوط به ژئوسل‌ها
- ۱۴۲ ۳-۱- مکانیزم رفتار خاک مسلح شده با ژئوسل
- ۱۴۷ ۳-۲- تأثیر عرض ژئوسل
- ۱۵۰ ۳-۳- تأثیر سختی ژئوسل (نوع ژئوتکستایل، ارتفاع و اندازه چشمه‌های ژئوسل)
- ۱۵۵ ۳-۴- تأثیر تراکم خاک
- ۱۵۷ ۳-۵- تأثیر فاصله قرارگیری ژئوسل از سطح خاک
- ۱۵۸ ۳-۶- نتیجه‌گیری

۱۶۰	۴-۲- مقایسه بین ژئوتکستایل‌های صفحه‌ای و سه‌بعدی (ژئوسل)
۱۶۷	مراجع
	فصل سوم: استفاده از مسلح‌کننده‌ها در بستر راه
۱۷۳	۳-۱- مقدمه
۱۷۷	۳-۲- مطالعات موردی
۱۷۷	۳-۲-۱- ارزیابی استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در راه با لایه سطحی درشت‌دانه
۱۸۱	۳-۲-۲- رفتار ژئوتکستایل در راه با بستر ساخته شده از دو لایه
۱۸۵	۳-۲-۳- تعبیه نه‌شماره لایه درشت‌دانه در راه مسلح شده با ژئوتکستایل
۱۹۶	۳-۳- راهنمای طراحی راه مسلح شده با ژئوتکستایل
۱۹۷	۳-۳-۱- مشخصات ژئوتکستایل در استفاده در راه
۲۰۰	۳-۳-۲- راه‌های موقت و بدون روپوش
۲۰۵	۳-۳-۱-۲- مثال - طراحی راه موقت
۲۰۶	۳-۳-۳- راه‌های دائمی
۲۰۸	۳-۳-۱-۳- مثال - طراحی راه دائمی
۲۱۱	۳-۳-۴- راه با روسازی انعطاف‌پذیر
۲۱۹	۳-۳-۱-۴- مثال - راه با روسازی انعطاف‌پذیر
۲۲۰	۳-۳-۵- پایداری شیب خاکریز راه
۲۲۸	۳-۳-۱-۵- نکاتی در مورد انتخاب ژئوسنتتیک مناسب
۲۲۸	۳-۳-۲-۵- مثال برای پایداری شیب خاکریز راه
۲۳۲	۳-۳-۶- مقایسه از دیدگاه هزینه
۲۳۳	۳-۳-۷- راهنمای خرید، حمل و نگهداری ژئوتکستایل
۲۳۴	۳-۳-۸- نکاتی در مورد اجرای ژئوتکستایل در راه‌سازی

۲۳۴	۳-۸-۱- مراحل نصب ژئوتکستایل
۲۳۸	۳-۸-۲- هم پوشانی ژئوتکستایل
۲۳۹	۳-۸-۳- درزها و وصله ها
۲۳۹	۳-۸-۴- بازرسی محل
۲۴۱	مراجع
	فصل چهارم: استفاده از مسلح کننده ها در دیوارهای نگهبان
۲۴۵	۴-۱- مقدمه ای بر دیوارهای نگهبان مسلح
۲۴۵	۴-۱-۱- تاریخچه
۲۴۷	۴-۲- فواید و معایب دیوارهای خاک مسلح
۲۵۰	۴-۳- توصیف سیستم های MSE و RSS
۲۵۰	۴-۳-۱- هندسه مسلح کننده
۲۵۱	۴-۳-۱-۲- مدال مسلح کننده
۲۵۱	۴-۳-۳- سیستم هاگدازی
۲۵۴	۴-۲- اندرکنش خاک با مسلح کننده
۲۵۴	۴-۲-۱- مقدمه
۲۵۵	۴-۲-۲- نحوه عملکرد مسلح کننده
۲۵۵	۴-۲-۲-۱- اندرکنش خاک با مسلح کننده با استفاده از مفاهیم کلی
۲۵۹	۴-۲-۳- تعیین ویژگی های مهندسی مصالح بر اساس آزمایش ها و مشاهده
۲۵۹	۴-۲-۳-۱- خاک بستر
۲۶۰	۴-۲-۳-۲- خاک در توده مسلح
۲۶۲	۴-۲-۴- مشخصات طرح سازه ای مسلح کننده های ژئوسنتتیک
۲۶۳	۴-۲-۴-۱- مشخصات هندسی
۲۶۳	۴-۲-۴-۲- مشخصات مقاومتی

- ۳-۴- طراحی دیوار نگهدارنده با خاک مسلح ۲۷۰
- ۱-۳-۴- روش‌های طراحی ۲۷۰
- ۱-۳-۴- تحلیل تنش‌های مجاز برای سازه‌های MSE ۲۷۱
- ۲-۳-۴- تحلیل تعادل حدی ۲۷۱
- ۳-۳-۴- ارزیابی تغییر شکل ۲۷۲
- ۲-۳-۴- ارزیابی پایداری خارجی ۲۷۲
- ۱-۲-۳-۴- تعریف هندسه دیوار و خواص خاک ۲۷۳
- ۲-۲-۳-۴- معیارهای اجرایی ۲۷۳
- ۳-۲-۴- اندازه اولیه ۲۷۳
- ۱-۳-۴- روش‌های خاک برای پایداری خارجی ۲۷۴
- ۱-۳-۴- پایداری لغزشی ۲۷۸
- ۶-۳-۴- گسیختگی ناشی از ظرفیت باربری ۲۸۰
- ۷-۲-۳-۴- پایداری کلی ۲۸۱
- ۸-۲-۳-۴- بارگذاری لرزه‌ای ۲۸۱
- ۹-۲-۳-۴- تخمین نشست ۲۸۶
- ۳-۳-۴- ارزیابی پایداری داخلی ۲۸۶
- ۱-۳-۳-۴- سطوح لغزش بحرانی ۲۸۷
- ۲-۳-۳-۴- محاسبه نیروی کششی بیشینه در لایه‌های مسلح‌کننده ۲۹۰
- ۳-۳-۳-۴- پایداری داخلی با توجه به گسیختگی ناشی از بیرون کشیدگی ۲۹۵
- ۴-۳-۳-۴- بارگذاری لرزه‌ای ۲۹۷
- ۵-۳-۳-۴- مقاومت اتصال ۲۹۹
- ۶-۳-۳-۴- فاصله‌گذاری مسلح‌کننده‌ها ۳۰۳
- ۴-۳-۴- طراحی المان‌های نما ۳۰۴

- ۳۰۴ ۴-۳-۱- طراحی نما از نوع بتن، فولاد و تخته
- ۳۰۵ ۴-۳-۲- طراحی نماهای انعطاف پذیر
- ۳۰۶ ۴-۳-۵- جزئیات طراحی
- ۳۰۶ ۴-۳-۱- موانع فیزیکی
- ۳۰۷ ۴-۳-۲- سیستم های زهکشی
- ۳۰۹ ۴-۳-۳- پایان دهی ساخت سازه های درجا ریز
- ۳۰۹ ۴-۳-۴- فشارهای هیدرولیکی
- ۳۱۰ ۴-۳-۵- حضور موانع در محدوده خاک مسلح
- ۳۱۲ ۴-۳-۶- جزئیات داخلی
- ۳۱۳ ۴-۲-۶- مثلاً طراحی- مسلح کننده از نوع ژئوسنتیک
- ۳۱۴ ۴-۲-۱- پایداری خارجی
- ۳۱۶ ۴-۳-۲- پایداری داخلی
- ۳۲۳ ۴-۴- نکاتی بر طرح و اجرای سازه های نگهبان مسلح
- ۳۲۳ ۴-۴-۱- ارزیابی محل
- ۳۲۳ ۴-۴-۱-۱- شناسایی منصفی
- ۳۲۳ ۴-۴-۱-۲- بررسی های میدانی
- ۳۲۴ ۴-۴-۱-۳- شناسایی زیر سطحی
- ۳۲۵ ۴-۴-۱-۴- آزمایش خاک محل در محیط آزمایشگاه
- ۳۲۶ ۴-۴-۲- ارزیابی پروژه
- ۳۲۷ ۴-۴-۱-۲- شرایط زمین شناسی و توپوگرافی
- ۳۲۷ ۴-۴-۲-۲- شرایط محیطی
- ۳۲۸ ۴-۴-۲-۳- اندازه و طبیعت سازه
- ۳۲۸ ۴-۴-۲-۴- زیبایی در اجرا
- ۳۲۹ ۴-۴-۳- ایجاد معیارهای پروژه
- ۳۳۳ ۴-۴-۴- مراحل ساخت

۳۳۳	۱-۴-۴-۴ ساخت MSEW با نمای بلوک بتنی آماده
۳۳۵	۲-۴-۴-۴ ساخت MSEW با سیستم نمای انعطاف‌پذیر
۳۳۸	۳-۴-۴-۴ ساخت شیروانی خاکی مسلح
۳۴۰	۵-۴-۴-۴ روش‌های ساخت و ملاحظات مربوط به دیوارهای MSE
۳۴۲	۶-۴-۴-۴ طراحی استاندارد MSEW
۳۴۶	۷-۴-۴-۴ نکاتی در مورد ساخت دیوار مسلح
۳۴۶	۱-۷-۴-۴ خاکبرداری دیوار
۳۴۶	۲-۷-۴-۴ آماده سازی پی
۳۴۶	۳-۷-۱-۴ افراشتن (بالا رفتن) دیوار
۳۴۷	۷-۴-۴ خاکریزی
۳۴۸	۵-۷-۴-۴ اندازه‌گیری
۳۴۹	مراجع