

بہسازی خاک با نگرشی ویژه به سدهای خاکی



مؤلفان:

احسان مہدوی صفت، جواد غفاری،

نوید گنجیان، محسن کرباسچی

به سرپرستی سعید محمد



وزارت نیرو
قراکاه سازندہ حاتم آباد



شرکت مهندسی سپاسد
SEPASAD ENGINEERING CO.

عنوان و نام پدیدآور	بهسازی خاک با تگرشی ویژه به سدهای خاکی / مؤلفان احسان مهدوی صفت ...
مشخصات نشر	[و دیگران] به سرپرستی سعید محمد؛ [به سفارش] شرکت مهندسی سپاسد.
مشخصات ظاهری	تهران: سپاه پاسداران انقلاب اسلامی، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا (ص)، قرب مرکز، ۱۳۹۳.
شابک	۲۴۰ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).
وضعیت فهرست نویسی	۱۲۰۰۰۰ ریال 978-600-6741-18-5
یادداشت	فیبا
یادداشت	مؤلفان احسان مهدوی صفت، جواد غفاری، نوید گنجیان، محسن کرباسچی.
موضوع	کتابنامه: ص. ۲۲۱-۲۴۰
موضوع	خاک -- بهسازی
موضوع	سدهای خاکی
موضوع	خاک -- تثبیت
شناسه افزوده	مهدوی صفت، احسان، ۱۳۶۱-
شناسه افزوده	محمد، سعید، ۱۳۴۷-
شناسه افزوده	شرکت مهندسی سپاسد
شناسه افزوده	سپاه پاسداران انقلاب اسلامی، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا (ص)، قرب مرکز
رده بندی کنگره	۱۳۹۳ ب۹ / TD۸۷۸
رده بندی دیویی	۶۲۸/۵۵
شماره کتابشناسی ملی	۳۶۰۸۰۸۲

بهسازی خاک با تگرشی ویژه به سدهای خاکی

مؤلفان: احسان مهدوی صفت، جواد غفاری، نوید گنجیان، محسن کرباسچی

به سرپرستی سعید محمد

چاپ نخست: ۱۳۹۳؛ شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۲۰۰۰۰ ریال

چاپ و نظارت: امید انقلاب

ناظر فنی: ارتباطات و روابط بین الملل سپاسد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۷۴۱-۱۸-۵

دفتر مرکزی شرکت مهندسی سپاسد: میدان ونک، ابتدای خیابان ملاصدرا، نیش خیابان شاد، پلاک ۱۱

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۴۳۷۵۰؛ نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۴۳۷۰۰؛ کدپستی: ۱۴۳۵۷۶۳۳۱۱

www.sepasad.ir

Email: info@sepasad.ir

نشانی وبگاه:

يرفع الله الذين آمنوا منكم و الذين اوتوا العلم درجات
خداوند مقام اهل ايمان و دانشمندان عالم را در دو جهان رفيع مي گرداند.

«سوره مبارکه مجادله آیه ۱۱»

سخن ناشر

یکی از راه‌های کمال و نزدیکی به ذات مقدس الهی کسب علم و دانش است. علمی که به تعبیر استاد شهید- دکتر مرتضی مطهری- زیبایی عقل است؛ علمی که انسان خداجو در آن نشانه‌های معبود را می‌جوید؛ علمی که هرچه فروز تر می‌شود، صاحب آن را به خداوند جان و خرد نزدیکتر می‌کند.

دانش و تجربه سازمان‌ها در زمره گرانبهاترین سرمایه‌های آنها محسوب می‌شود. به تبع آن ثبت، نگهداری، توسعه و به‌کارگیری مطلوب و هدفمند این دانش امری ضروری است و به همین دلیل است که توجه بسیاری از مراکز علمی جهان - به‌ویژه فنی مهندسی - را معطوف خود ساخته است.

شرکت مهندسی سپاسد نیز در راستای رسالت خود در امر خدمت به جامعه علمی و انتشار دانش کسب‌شده، و با فصل الخطاب قراردادن فرمایش مقام معظم رهبری درخصوص ثبت دانش، که می‌فرمایند: "همچنان‌که شاهد بودیم، بعضی از بخش‌ها تجربیات فنی را کتاب می‌کنند و نگه می‌دارند، این دانش بایستی نهادینه و ثبت گردد و برای آینده محفوظ بماند"، تهیه و تدوین تجارب خود را در دستور کار قرار داده‌اند. این شرکت مهندسی بنا به بیش از دو دهه تجربه گران‌سنگ در زمینه اجرای پروژه‌های عظیم ملی بر آن شده است. لذا تجربه و دانش متخصصان خود را در اختیار مجمع‌های علمی، استادان دانشگاهی و پژوهشگران علاقه‌مند به این مباحث قرار دهد. بدیهی است که در این ارتباط شکاف میان مباحث نظری آکادمیک و مباحث عملی و کارگاهی کمتر می‌شود.

در پایان با سپاس از زحمات دست‌اندرکاران و همکاران محترم در تحقق این مهم، امید است مجموعه تلاش‌های صورت گرفته مورد رضایت خداوند متعال - صاحب لوح و قلم - و امام عصر (عج) و استادان محترم علم و فن قرار گیرد.

پیشگفتار

عدم دسترسی به مصالح مناسب و یا بستر قابل انکسار برای احداث سدهای خاکی در اغلب اوقات استفاده مناسب از روش‌های بهسازی خاک را ایجاب می‌نماید. کاربرد این روش‌های بهسازی خاک و یا استفاده از مصالح نوین به جای بخشی از مصالح خاکی موجب کاهش هزینه‌ها و نیز بالا رفتن کیفیت اجرا می‌گردد. اهمیت این مطلب ممکن است تا حدی باشد که حتی بتواند نوع سد و اقتصاد طرح را تحت تأثیر قرار دهد. علیرغم این موضوع، هنوز تجربیات موجود در این زمینه گردآوری و تدوین نگردیده و کتابی با این مضمون منتشر نشده است. لذا بررسی دقیق روش‌های بهسازی مناسب و یا مصالح نوین برای کارفرمایان و دیگر ارگان‌های طرح، به ویژه پیمانکاران اجرای سد، جهت اصلاح و بهینه نمودن روند اجرایی و کنترل کیفیت مناسب، بسیارثمرر و ضروری است.

هدف این کتاب معرفی روش‌های بهسازی قابل استفاده در اجزای مختلف سدهای خاکی و گاه‌بستر سدها، با تکیه بر هر دو جنبه تئوریک و اجرایی، خواهد بود.

به عنوان بخشی از اهداف تدوین کتاب می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بررسی و ارائه مشخصات فنی مورد نیاز برای عناصر مختلف سدهای خاکی.
 - ارائه مختصر روش‌های مختلف بهسازی خاک و بررسی روش‌های قابل استفاده در سدهای خاکی
 - امکان‌سنجی استفاده از مصالح نوین جایگزین مصالح خاکی در شرایط خاص
 - جمع‌آوری دانش فنی موجود در این زمینه در پروژه‌های مختلف اجرا شده و در دست اجرا.
- لازم می‌دانم از اعضای محترم هسته مطالعاتی و همکاران گروه سیامد که در مراحل تدوین، تأیید و تصویب این مجموعه کتب زحمات زیادی را متحمل شده‌اند، تشکر نمایم.

سید یحیی روحانی

مدیرعامل موسسه مهندسين مشاور توسعه

تابستان ۱۳۹۲

فهرست

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱ برداشت و جایگزینی	۲
۳-۱ روش های متراکم سازی (densification technique)	۲
۱-۳-۱ روش های ارتعاشی (vibro techniques)	۳
۲-۳-۱ تراکم دینامیکی (dynamic compaction)	۵
۳-۳-۱ تراکم به وسیله انفجار (blasting)	۶
۴-۳-۱ تزریق تراکمی (compaction grouting)	۷
۵-۳-۱ پیش بارگذاری pre loading	۸
۴-۱ روش های مسلح کردن (reinforcement techniques)	۹
۱-۴-۱ ستون های شنی (stone columns)	۹
۲-۴-۱ شمع های تراکمی (compaction piles)	۱۱
۳-۴-۱ اجزای تداخلی (drilled inclusions)	۱۱
۵-۱ روش های اختلاط یا تزریق (grouting/mixing techniques)	۱۲
۱-۵-۱ تزریق نفوذی (permeation grouting)	۱۲
۲-۵-۱ تزریق داخلی (intrusion grouting)	۱۳
۳-۵-۱ اختلاط خاک (soil mixing)	۱۳
۴-۵-۱ تزریق با فشار (jet grouting)	۱۵
۵-۵-۱ تزریق الکتروشیمیایی	۱۸
۶-۱ روش های زهکشی (drainage techniques)	۱۸
فصل دوم: تراکم دینامیکی بستر	۱۹
۱-۲ مقدمه	۱۹
۲-۲ تراکم دینامیکی به روش سقوط وزنه (کوبش سنگین)	۲۰
۱-۲-۲ شناسایی زمین و بررسی قابلیت کوبش سنگین	۲۱

۲۳	۲-۲-۲ عوامل محدودکننده
۲۶	۳-۲-۲ معیارهای طراحی
۲۸	۴-۲-۲ ملاحظات طراحی
۳۵	۵-۲-۲ مدلسازی عددی تراکم دینامیکی
۳۸	۶-۲-۲ ترکیب کوبش سنگین با سایر روش‌ها
۳۹	۳-۲ مطالعات موردی استفاده از روش کوبش سنگین
۳۹	۱-۳-۲ مطالعه موردی سد Steinaker
۴۰	۲-۳-۲ عملیات تراکم دینامیکی سد گلستان ۱
۴۱	۳-۳-۲ عملیات تراکم دینامیکی سد گلستان ۲
۴۱	۴-۳-۲ تراکم دینامیکی در منطقه ویژه انرژی پارس - عسلویه (۲۰۰۳-۲۰۰۴)
۴۲	۵-۳-۲ تراکم دینامیکی در مجتمع اسکله شهید رجایی
۴۳	۴-۲ روش تراکم انفجاری
۴۴	۱-۴-۲ ملاحظات طراحی تراکم انفجاری
۴۵	۲-۴-۲ تراکم انفجاری در خاک‌های اشباع
۴۶	۳-۴-۲ بهسازی پی سد Seymour Falls واقع در ونکور کانادا
۵۱	فصل سوم: استفاده از مصالح مخلوط در هسته رسی
۵۱	۱-۳ مقدمه
۵۱	۲-۳ تاریخچه آزمایش‌های انجام‌شده بر مصالح مخلوط رسی
۵۴	۱-۲-۳ درصد کنترل‌کننده
۵۶	۲-۲-۳ نمونه همگن معادل
۵۷	۳-۲-۳ تخلخل مؤثر
۵۹	۴-۲-۳ جمع‌بندی آزمایشات
۶۲	۳-۳ کارهای تحلیلی بر روی مصالح مخلوط
۶۳	۱-۳-۳ مدل تغییرات فشار آب حفره‌ای
۶۵	۲-۳-۳ همگن‌سازی
۷۵	۴-۳ محاسبات عددی مصالح مخلوط در حوزه مسائل ژئوتکنیکی
۸۱	۵-۳ جمع‌بندی بررسی‌های تحلیلی
۸۳	فصل چهارم: استفاده از افزودنی‌ها در بهسازی خاک
۸۳	۱-۴ مقدمه
۸۵	۲-۴ تثبیت با آهک
۸۷	۱-۲-۴ بررسی واکنش‌های شیمیایی تثبیت خاک با آهک
۹۱	۲-۲-۴ عملیات تثبیت خاک با آهک

۹۴	۳-۴ تثبیت با سیمان
۹۴	۳-۴-۱ انواع خاک‌های قابل تثبیت با سیمان
۹۷	۳-۴-۲ اندرکنش سیمان و خاک
۹۷	۳-۴-۳ عملیات تثبیت خاک با سیمان
۱۰۲	۳-۴-۴ کاربرد تثبیت‌کننده سیمان در سدهای خاکی
۱۰۷	۳-۴-۵ سیمان
۱۰۸	۳-۴-۶ آب
۱۱۱	۳-۴-۴ تثبیت با قیر
۱۱۱	۳-۴-۱ نوع خاک
۱۱۱	۳-۴-۲ عملیات تثبیت خاک با قیر
۱۱۴	۳-۴-۳ کاربرد تثبیت‌کننده قیر در سدهای خاکی
۱۲۵	فصل پنجم: استفاده از ژئوستتیک‌ها در بهسازی خاک
۱۲۵	۵-۱ تاریخچه تکامل ژئوستتیک‌ها
۱۲۶	۵-۲ معرفی نقش ژئوتکستایل‌ها در پروژه‌های سدسازی
۱۲۶	۵-۲-۱ کاربرد ژئوتکستایل‌ها
۱۲۷	۵-۲-۲ معرفی محدودیت‌های اجرایی و انتخابی ژئوتکستایل‌ها
۱۲۷	۵-۲-۳ کاربری ژئوتکستایل به صورت فیلتر در سدهای خاکی
۱۳۲	۵-۳ معرفی ژئوممبرین
۱۳۲	۵-۳-۱ اهمیت ژئوممبرین‌ها
۱۳۲	۵-۳-۲ محدودیت اجرایی ژئوممبرین
۱۳۳	۵-۳-۳ کاربردهای ژئوممبرین در سدهای خاکی
۱۵۵	فصل ششم: روش‌های بهسازی با استفاده از حفاری و تزریق
۱۵۵	۶-۱ مقدمه
۱۵۵	۶-۲ کاربردهای تزریق در صنعت سدسازی
۱۵۸	۶-۳ هدف از انجام عملیات تزریق
۱۵۸	۶-۳-۱ پایدارسازی
۱۵۸	۶-۳-۲ تقویت
۱۵۹	۶-۳-۳ آب‌بندی
۱۵۹	۶-۴ انواع تزریق براساس عملکرد
۱۶۰	۶-۴-۱ تزریقات پرده آب‌بند (کاهش تراوایی در سنگ)
۱۶۱	۶-۴-۲ تزریقات تحکیمی (افزایش خواص مقاومتی و کاهش تغییرشکل‌پذیری سنگ)
۱۶۱	۶-۴-۳ تزریقات تماسی Contact grouting

۱۶۲	۴-۴-۶ تزریقات اتصالی
۱۶۲	۵-۴-۶ تزریقات درزه‌های انقباضی (ژوئن)
۱۶۳	۶-۴-۶ تزریق آزمایشی
۱۶۳	۷-۴-۶ تزریق شیمیایی
۱۶۶	۵-۶ انواع تزریق براساس روش اجرا
۱۶۷	۱-۵-۶ تزریق مهاري
۱۶۷	۲-۵-۶ تزریق سطحی
۱۶۷	۳-۵-۶ تزریق صعودی یا پایین به بالا
۱۶۷	۴-۵-۶ تزریق نزولی بالا به پایین
۱۶۸	۵-۵-۶ تزریق پرکننده
۱۶۸	۶-۵-۶ یکفیل کردن
۱۶۸	۷-۵-۶ تزریق پوششی
۱۶۸	۸-۵-۶ تزریق حفرات
۱۶۹	۹-۵-۶ تزریق خاک
۱۶۹	۱۰-۵-۶ تزریق تراکمی
۱۶۹	۱۱-۵-۶ تزریق ترمیمی
۱۶۹	۱۲-۵-۶ تزریق تحکیمی
۱۶۹	۱۳-۵-۶ تزریق تماسی
۱۷۰	۱۴-۵-۶ تزریق جدارهای (پوششی)
۱۷۰	۱۵-۵-۶ تزریق پرده‌ای
۱۷۰	۱۶-۵-۶ تزریق شکننده
۱۷۰	۱۷-۵-۶ تزریق با عمق کامل
۱۷۰	۱۸-۵-۶ شکست هیدرولیکی
۱۷۱	۱۹-۵-۶ تزریق تحمیلی
۱۷۱	۲۰-۵-۶ جت گروتینگ
۱۷۱	۲۱-۵-۶ بالابری با دوغاب گل Mudjacking
۱۷۲	۲۲-۵-۶ تزریق چندمرحله‌ای
۱۷۲	۲۳-۵-۶ تزریق نفوذی
۱۷۲	۲۴-۵-۶ تزریق مجاز
۱۷۲	۲۵-۵-۶ پس‌تزریقی
۱۷۲	۲۶-۵-۶ پیش‌تزریقی
۱۷۲	۲۷-۵-۶ تزریق محدودشده
۱۷۲	۶-۶ مراحل اجرای عملیات تزریق

۱۷۳	۷-۶ جانمایی تجهیزات تزریق
۱۷۴	۸-۶ عملیات حفاری
۱۷۵	۱-۸-۶ حفاری چرخشی (روتاری)
۱۷۶	۲-۸-۶ حفاری ضربه‌ای
۱۷۷	۳-۸-۶ ملزومات حفاری چال‌های تزریق
۱۷۷	۴-۸-۶ جهت چال
۱۷۷	۵-۸-۶ قطر چال‌ها
۱۷۸	۶-۸-۶ اندازه معمول چال‌ها
۱۷۸	۷-۸-۶ میزان انحراف چال
۱۷۹	۸-۸-۶ مقادیر مجاز انحراف در حفاری چال‌ها
۱۸۰	۹-۸-۶ تمیزکاری چال‌های تزریق
۱۸۰	۱۰-۸-۶ کیسینگ
۱۸۰	۱۱-۸-۶ آزمایش چال‌ها
۱۸۱	۱۲-۸-۶ چال‌های همراه مغزه‌گیری
۱۸۲	۹-۶ حفاری و تزریق در تونل‌ها
۱۸۵	۱-۹-۶ تزریق پوششی
۱۸۵	۲-۹-۶ پوشش منفرد
۱۸۵	۳-۹-۶ پوشش دوبل
۱۸۶	۴-۹-۶ فواصل بین پوشش‌ها
۱۸۶	۵-۹-۶ تزریق پرده‌ای
۱۸۶	۶-۹-۶ ترکیب روش‌ها
۱۸۶	۱۰-۶ آزمایش‌های تزریق
۱۸۶	۱-۱۰-۶ آزمایش‌های دوغاب و مصالح
۱۸۷	۲-۱۰-۶ آزمایش‌های در سایت
۱۸۷	۳-۱۰-۶ آزمایش تجهیزات تزریق
۱۸۸	۴-۱۰-۶ آزمایش‌های آب در ارتباط با کار تزریق
۱۹۱	۱۱-۶ انواع دوغاب‌های تزریق
۱۹۱	۱-۱۱-۶ محلول‌ها
۱۹۱	۲-۱۱-۶ امولسیون
۱۹۱	۳-۱۱-۶ سوسپانسیون‌ها
۱۹۲	۱۲-۶ مواد دوغاب
۱۹۲	۱-۱۲-۶ سیمان
۱۹۳	۲-۱۲-۶ آب

۱۹۵	۳-۱۲-۶ افزودنی‌ها
۱۹۵	۴-۱۲-۶ هوا
۱۹۵	۱۳-۶ تجهیزات تزریق
۱۹۵	۱-۱۳-۶ پمپ مخصوص تزریق
۱۹۶	۲-۱۳-۶ میکسر
۱۹۷	۳-۱۳-۶ همزن
۱۹۸	۴-۱۳-۶ سیستم مانیتورینگ و ثبات تزریق دوغاب سیمان
۱۹۸	۵-۱۳-۶ قیف مارش برای کنترل (تنظیم) دوغاب سیمان
۱۹۹	فصل هفتم: خاک‌های مسئله‌دار
۱۹۹	۱-۷ مقدمه
۲۰۰	۲-۷ ویژگی‌های خاک و تأثیر آن بر طراحی سدها
۲۰۳	۳-۷ خاک‌های واگرا
۲۰۳	۱-۳-۷ توصیف خاک‌های رسی واگرا
۲۰۴	۲-۳-۷ عوامل اقلیمی و جغرافیایی
۲۰۵	۳-۳-۷ سازوکار شکست ناشی از واگرایی
۲۰۶	۴-۳-۷ تجربیات مربوط به وجود خاک‌های واگرا
۲۰۷	۵-۳-۷ آزمایش‌های مرتبط با شناسایی خاک‌های واگرا
۲۱۳	۶-۳-۷ ملاحظات مهندسی
۲۱۶	۴-۷ خاک‌های متورم‌شونده
۲۱۶	۱-۴-۷ روش‌های آزمایشگاهی شناسایی خاک‌های متورم‌شونده
۲۱۷	۲-۴-۷ روش‌های کنترل تورم
۲۱۸	۵-۷ خاک‌های رمنده (فروریزی)
۲۲۱	منابع