



جهاد دانشگاهی استان کرمان

بیمازی خاک‌ها

تألیف

دکتر سید مرتضی سرنای

(استاد دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان)

مهندس محمد بهرامی

(دانشجوی دکتری مکانیک خاک و پی دانشگاه شهید باهنر کرمان)

سرشناسه	م: مرندي، سيد مرتضي، ۱۳۳۳ -
عنوان و نام پديد آور	بهسازي خاک ها / تاليف: سيد مرتضي مرندي، محمد بهرامي.
مشخصات نشر	کرمان، جهاد دانشگاهي، سازمان انتشارات، واحد کرمان- ۱۳۹۵
مشخصات ظاهري	م: ۳۶۵ ص، مصور، جدول، نمودار
شابک	۹-۶۹-۶۷۸۹-۶۰۰-۹۷۸
وضعيت فهرست نويسي	فيا:
يادداشت	کتابنامه: ص. ۳۴۲.
موضوع	خاک - بهسازي
موضوع	Soil remediation:
موضوع	خاک - تثبيت
موضوع	Soil stabilization
موضوع	خاک - مکانيک
موضوع	soil mechanics
شناسه افزوده	بهرامي، محمد، ۱۳۳۷ -
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهي، سازمان انتشارات، واحد کرمان
شناسه افزوده	Press Organization JahadeDan... Kerman Branch:
رده بندي کنگره	۱۳۹۵ ب ۴ م / TD۸۷۸

نام کتاب	بهسازي خاک ها
تاليف	سيد مرتضي مرندي، محمد بهرامي
شماره کتابشناسي ملي	4416871:
ناشر	جهاد دانشگاهي استان کرمان
تاريخ انتشار	۱۳۹۵:
تيراژ	۱۰۰۰:
نوبت چاپ	اول:
قيمت	۱۴۸۰ تومان

توسعه همه جانبه‌ی کشور عزیزمان ایران مستلزم توسعه‌ی تحقیق، پژوهش و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین است که بخش عمده‌ای از این مسئولیت بزرگ، بر عهده‌ی استادان، محققان، دانشجویان و مؤسسات علمی و تحقیقاتی است. جهاد دانشگاهی نیز به عنوان نهادی برخاسته از انقلاب اسلامی با اهداف علمی، پژوهشی و فرهنگی، چاپ و نشر کتب علمی و دانشگاهی که نتیجه‌ی تحقیق، پژوهش و تلاش علمی و اندیشمندانه‌ی همکاران محترم عضو هیئت علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی می‌باشد را در کنار دیگر مسئولیت‌های خطیر خود، رسالتی مهم تلقی می‌نماید. امید که خداوند متعال ما را در انجام این مهم، بیش از پیش یاری فرماید.

دکتر رضا کامیاب مقدس
رئیس جهاد دانشگاهی استان کرمان

پیشگفتار مولفین

با توجه به ارزش روز افزون زمین در مناطق شهری و از طرفی نیاز مبرم به توسعه و ایجاد سازه‌ها و تاسیسات جدید با بارگذاری‌های مختلف، احداث پی‌ها را به روش مرسوم و متداول بخصوص در خاک‌های ضعیف با افزایش هزینه مواجه کرده و در پاره‌ای مواقع مشکلات زیست محیطی نیز بوجود آورده‌است. برای رفع این مشکلات، انجام عملیات بهسازی و بهبود خصوصیات خاک محل، ضروری است. پیشرفت‌های عمده‌ای که در روش‌های اصلاح زمین بوقوع پیوسته، باعث حل مشکلات فنی و اقتصادی ساخت و سازها شده و این شاخه از دانش مهندسی ژئوتکنیک تبدیل به فرآیندی در حال گسترش شده‌است. در اکثر موارد در صورت شناخت و استفاده درست از روش‌های اصلاح - اکوتربیا مشکل مد نظر، رفع می‌گردد. بویژه، فن تزریق در فضاها و خالی و شکاف - های زمین، بطور گسترده، برای کنترل حرکت زمین در اثر تونل سازی مورد استفاده قرار گرفته - است. این درحالی است که تکنولوژی‌های اختلاط خاک، اجرای ستون‌های سنگی و تراکم دینامیکی با کاربردهای فراوانی، بر اثر بار آمریکای شمالی افزایش یافته‌است. کتاب بهسازی خاک - ها برای مهندسين ژئوتكنيک، راه و ساختمان، مهندسين مشاور طراح و پيمانكاري که مشغول انجام پروژه‌هائي نظير تزريق، بهسازی زمین، شمع کوبی و مهندسي محيط زیست هستند و استفاده دانشجويان بعنوان يک مرجع مناسب، تاليف شد. امید است این کتاب بتواند برای مهندسين عمران، مهندسين مشاور و طراحان ساختمان‌ها و سازه‌ها با اهمیت مؤثر و مفید باشد.

کتاب حاضر بطور قطع خالی از نقص نیست، لذا از متخصصان گرامی خواهشمند است نظرات سازنده خود را جهت بهبود کیفی این کتاب به مولفان منعکس نمایند. مولفان از رئیس محترم جهاد دانشگاهی استان کرمان جناب آقای دکتر رضا کامیاب مقدس که امکان چاپ این کتاب را میسر ساختند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین از سرکار خانم پروین صفاپور که در تکمیل این کتاب ما را یاری نموده‌اند تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

دکتر سید مرتضی مرندي

مهندس محمد بهرامی

ردیف	عنوان	صفحه
	فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	روش‌های بهسازی خاک‌ها	۳
۳-۱	منابع و مراجع	۵
	فصل دوم: روش‌های بهسازی لرزه‌ای عمیق	۷
۱-۲	مقدمه و تاریخچه	۷
۲-۲	فرایندهای لرزه‌ای	۱۰
۳-۲	تجهیزات و وسایل لرزه‌ای	۱۹
۴-۲	محافظت نفی و طراحی	۲۲
۱-۴-۲	تراکم لرزه‌ای	۲۲
۲-۴-۲	ستون‌های سنگی ایجاد شده با روش جایگزینی لرزه‌ای	۲۷
۵-۲	کاربردها و محدودیت‌ها	۴۲
۶-۲	آزمایش‌ها و نظارت	۴۳
۷-۲	سوابق کارهای انجام شده	۴۷
۱-۷-۲	تراکم لرزه‌ای در سنگاپور (۲۰۰۲)	۴۷
۲-۷-۲	ستون‌های سنگی زیر خاکریز واقع در بند	۵۲
۳-۷-۲	نقش ستون‌های سنگی لرزه‌ای در جلوگیری از روانگرایی در فیلیپین	۵۳
۴-۷-۲	نقش ستون‌های سنگی لرزه‌ای در جلوگیری از روانگرایی در آمریکا	۵۴
۵-۷-۲	ستون‌های لرزه‌ای بتنی در آلمان (۲۰۰۱)	۵۶
۸-۲	نتیجه‌گیری	۵۷
۹-۲	منابع و مراجع	۵۸

فصل سوم: اختلاط خاک درجا

۶۳	مقدمه	۱-۳
۶۳	طبقه‌بندی و توسعه تاریخی	۲-۳
۶۷	تجهیزات و اجرا	۳-۳
۸۸	اختلاط عمیق روش خشک	۱-۳-۳
۹۲	اختلاط سطحی روش خشک	۲-۳-۳
۹۶	اختلاط عمیق مکانیکی روش تر	۳-۳-۳
۱۰۶	اختلاط سطحی مکانیکی روش تر	۴-۳-۳
۱۰۹	روش اختلاط ترکیبی روش تر	۵-۳-۳
۱۱۴	فرآیند نصب	۶-۳-۳
۱۱۶	جزئیات مربوط به اجرا و ساخت	۷-۳-۳
۱۱۶	تعداد شافت‌ها	۱-۳-۳
۱۱۷	شکل و جهت تیغه‌های اختلاط	۲-۳-۳
۱۱۹	عمق، نازل‌های تزریقی	۳-۳-۳
۱۲۰	درخت اختلاط	۴-۳-۳
۱۲۲	کنترل مصالح چسب	۵-۳-۳
۱۲۴	کنترل درخت سازه	۶-۳-۳
۱۲۵	کاربردها و محدودیت‌ها	۴-۳
۱۲۵	حوزه‌های کاربرد	۱-۴-۳
۱۲۶	الگوهای مربوط به اجرای اختلاط عمیق خاک	۲-۴-۳
۱۳۰	تقویت پی	۳-۴-۳
۱۳۲	سیستم‌های نگهدارنده	۴-۴-۳
۱۳۵	بهبودی زمین	۵-۴-۳
۱۳۷	کاهش روانگرایی	۶-۴-۳
۱۳۸	دیوارهای جداکننده هیدرولیکی	۷-۴-۳
۱۴۰	اصلاح زیست محیطی	۸-۴-۳
۱۴۲	مزایا و محدودیت‌ها	۹-۴-۳

۱۴۳	طراحی	۵-۳
۱۴۳	فرآیند کلی طرح	۱-۵-۳
۱۴۶	انتخاب میان فرآیند خشک و تر اختلاط خاک	۲-۵-۳
۱۵۰	خصوصیات مهندسی خاک تثبیت‌شده	۳-۵-۳
۱۶۱	حصول مقاومت طولانی مدت و فرسودگی خاک تثبیت‌شده	۴-۵-۳
۱۶۲	مقاومت طرح خاک تثبیت‌شده	۵-۵-۳
۱۶۸	طرح ژئوتکنیک	۶-۵-۳
۱۷۲	ارزیابی کیفیت اختلاط عمیق	۶-۳
۱۸۱	بررسی‌های موردی منتخب	۷-۳
۱۸۲	خاکریز خط آهن در مالزی (DM خشک)	۱-۷-۳
۱۸۴	بن‌گراه بین شهری در ژاپن (DM خشک)	۲-۷-۳
۱۸۶	خاکریز جاده در سوئد (تثبیت توده‌ای خشک و DM خشک)	۳-۷-۳
۱۸۹	راه ترسای Trasa Zielona در لهستان (DM خشک)	۴-۷-۳
۱۹۱	دیوار شیبی بتنی در آمریکا (DM تر)	۵-۷-۳
۱۹۳	پی یک ساختمان بتنی بقیه واقع در لهستان (DM تر)	۶-۷-۳
۱۹۴	پی تکیه گاه‌های پل بزرگراهی واقع در لهستان (DM تر)	۷-۷-۳
۱۹۸	کنترل گودبرداری در ژاپن (اختلاط تر مرکب)	۸-۷-۳
۲۰۰	منابع و مراجع	۹-۷-۳

فصل چهارم: تراکم دینامیکی

۲۰۷	مقدمه	۱-۴
۲۰۷	تاریخچه	۲-۴
۲۰۸	امکانات و تجهیزات	۳-۴
۲۱۰	مجموعه اطلاعات فنی	۴-۴
۲۱۱	چگونه تراکم دینامیکی کار می‌کند	۵-۴
۲۱۲	خاک‌های دانه‌ای	۱-۵-۴
۲۱۶	خاک‌های چسبنده	۲-۵-۴
۲۲۱	عمق عملیات بهسازی	۶-۴

۲۲۳	ملاحظات زیست محیطی	۷-۴
۲۲۶	جنبه‌های عملی	۸-۴
۲۲۸	نشست ایجاد شده	۹-۴
۲۲۹	توصیه‌های اضافی	۱۰-۴
۲۳۳	آزمایش‌ها	۱۱-۴
۲۳۵	تاریخچه موردی کارهای انجام شده	۱۲-۴
۲۴۲	نتیجه‌گیری	۱۳-۴
۲۴۳	منابع و مراجع	۱۴-۴
۲۴۵	فصل پنجم: ستون‌های آهکی و آهکی/سیمانی	
۲۴۵	مقدمه	۱-۵
۲۴۵	روش ستون‌های آهکی	۱-۱-۵
۲۴۷	مقاومت برشی و کششی	۲-۵
۲۴۷	مقاومت برشی در مخلوط‌های خشک و تر خاک	۱-۲-۵
۲۴۸	مقاومت برشی خاک نمک‌زد شده با آهک	۲-۲-۵
۲۵۰	مقاومت برشی زهکشی نشده با آهک/سیمان	۳-۲-۵
۲۵۲	مقاومت برشی زهکشی شده با سیمان	۴-۲-۵
۲۵۴	مقاومت برشی زهکشی نشده با گچ، گچ/سیمان، گچ/سیمان/سرباره کوره بلند	۵-۲-۵
۲۵۴	مقاومت برشی زهکشی شده	۶-۲-۵
۲۵۵	مقاومت برشی زهکشی شده با آهک	۷-۲-۵
۲۵۵	مقاومت برشی زهکشی شده با آهک/سیمان	۸-۲-۵
۲۵۷	مقاومت برشی زهکشی شده با گچ	۹-۲-۵
۲۵۷	چسبندگی موثر c_{col}	۱۰-۲-۵
۲۵۷	نسبت آب به سیمان	۱۱-۲-۵
۲۵۸	مقاومت برشی پسماند	۱۲-۲-۵
۲۵۹	کرنش شکست و شکل پذیری	۱۳-۲-۵

۲۶۲	افزایش مقاومت برشی با آهک	۱۴-۲-۵
۲۶۲	افزایش مقاومت برشی با آهک و گذر زمان	۱۵-۲-۵
۲۶۳	افزایش مقاومت برشی با آهک/سیمان و سیمان در گذر زمان	۱۶-۲-۵
۲۶۴	افزایش مقاومت برشی با گچ، خاکستر آتشفشانی و مواد افزودنی دیگر	۱۷-۲-۵
۲۶۵	خراب شدن ستون‌های آهکی، آهک/سیمانی، سیمانی و ستون‌های تثبیت‌شده با افزودنی‌های دیگر	۱۸-۲-۵
۲۶۶	مقاومت کششی ستون‌های آهکی، آهک/سیمانی و سیمانی	۱۹-۲-۵
۲۶۶	مدول فشاری، مدول الاستیسته و مدول برشی	۳-۵
۲۶۶	مدول فشاری M_{col}	۱-۳-۵
۲۶۸	مدول الاستیسته E_{so}	۲-۳-۵
۲۷۰	نفوذپذیری	۴-۵
۲۷۰	نفوذپذیری خاک تثبیت شده	۱-۴-۵
۲۷۰	نفوذپذیری آهک	۲-۴-۵
۲۷۱	نفوذپذیری سیمان/آهکی	۳-۴-۵
۲۷۲	نفوذپذیری سیمان	۴-۴-۵
۲۷۳	نفوذپذیری با گچ	۵-۴-۵
۲۷۳	انتخاب روش تثبیت	۵-۵
۲۷۳	کلیات	۱-۵-۵
۲۷۳	تثبیت خاک‌های غیر آلی	۲-۵-۵
۲۷۴	تثبیت خاک‌های آلی	۳-۵-۵
۲۷۵	تثبیت "DY" و "gyttja"	۴-۵-۵
۲۷۶	تثبیت خاک‌های سولفیدی	۵-۵-۵
۲۷۷	تثبیت کردن خاک لجنی	۶-۵-۵
۲۷۹	هزینه	۷-۵-۵
۲۸۰	مقدار آهک، آهک/سیمان و سیمان مورد نیاز	۹-۵
۲۸۰	آهک مورد نیاز	۱-۶-۵
۲۸۰	مقدار آهک/سیمان مورد نیاز	۲-۶-۵
۲۸۰	مقدار سیمان مورد نیاز	۳-۶-۵

۲۸۱	رفتار ستون‌های تکی	۷-۵
۲۸۱	انتقال طول	۱-۷-۵
۲۸۲	ضرب تنش m	۲-۷-۵
۲۸۳	میانگین وزنی مقاومت برشی ستون‌های آهکی، آهک/سیمانی و سیمانی	۳-۷-۵
۲۸۳	جابجایی جانبی ستون‌های تکی	۴-۷-۵
۲۸۴	حالت‌های شکست	۵-۷-۵
۲۸۶	ظرفیت باربری ستون‌های جابجا شده جانبی (حالت شکست b)	۶-۷-۵
۲۹۰	ظرفیت باربری ستون‌های جابجا شده جانبی، مود و حالت شکست c, d و e	۷-۷-۵
۲۹۴	ظرفیت تحمل بار ستون جابجا شده جانبی، حالت شکست f	۸-۷-۵
۲۹۶	ردیف، شبکه، قوس و بلوک ستون‌ها	۸-۵
۲۹۶	شکست ردیف ستون‌ها	۱-۸-۵
۲۹۸	شکست اکستروژن (بیرون آمدگی) برای ردیف ستون	۲-۸-۵
۲۹۸	شکست برشی ردیف ستون	۳-۸-۵
۲۹۹	شکست فشاری ردیف ستون	۴-۸-۵
۳۰۰	شکست از نوع رازگونی ردیف ستون	۵-۸-۵
۳۰۱	شکست از نوع بداشدن	۶-۸-۵
۳۰۱	شکست انتقالی	۷-۸-۵
۳۰۳	شبکه‌ها، بلوک‌ها و پی صندوق	۸-۸-۵
۳۰۵	پایداری خاکریزها، شیب‌ها، ترانشه‌ها و گودبرداری‌ها	۹-۵
۳۰۵	پایداری خاکریزها	۱-۹-۵
۳۰۵	پایداری شیب‌ها	۲-۹-۵
۳۰۸	پایداری ترانشه‌ها	۳-۹-۵
۳۰۸	پایداری گودبرداری‌ها	۴-۹-۵
۳۱۱	شکست پیشرو (تدریجی)	۱۰-۵
۳۱۱	شکست تدریجی ستون‌های تک و ردیف‌های ستون	۱-۱۰-۵
۳۱۷	نشست ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها	۱۱-۵

۳۱۷	نشست ستون های تک و گروهی از ستون ها	۱-۱۱-۵
۳۱۸	محاسبات نشست	۲-۱۱-۵
۳۱۸	توزیع تنش	۳-۱۱-۵
۳۱۹	نشست گروهی ستون ها	۴-۱۱-۵
۳۲۰	نشست های مشاهده شده	۵-۱۱-۵
۳۲۲	نشست در Ska-Edeby	۶-۱۱-۵
۳۲۳	تفاوت نشست ها	۷-۱۱-۵
۳۲۵	پیش بار گذاری و اضافه سربار	۸-۱۱-۵
۳۲۶	تحکیم	۱۲-۵
۳۲۶	ضریب تحکیم	۱-۱۲-۵
۳۲۷	عت تحکیم	۲-۱۲-۵
۳۲۹	تأخیر میدرویلکی برای ستون های آهکی، آهک/سیمانی و سیمانی	۳-۱۲-۵
۳۳۰	طراحی ستون های آهکی و آهک/سیمانی	۱۳-۵
۳۳۰	حالات خدی های و سرویس دهی (SLS و ULS)	۱-۱۳-۵
۳۳۱	طراحی ستون های آهکی و آهک/سیمانی، $F_{st} > 1.2$	۲-۱۳-۵
۳۳۱	طراحی ستون های آهکی و آهک/سیمانی، $F_{st} < 1.2$	۳-۱۳-۵
۳۳۲	محدودیت های استفاده از روش های طراحی حاضر	۴-۱۳-۵
۳۳۳	تحلیل تنش مؤثر و تنش کل	۵-۱۳-۵
۳۳۴	ظرفیت باربری ستون های آهکی و آهک/سیمانی	۶-۱۳-۵
۳۳۵	مقاومت خزش ستون ها	۷-۱۳-۵
۳۳۵	ضریب اطمینان کلی	۸-۱۳-۵
۳۳۷	مقاومت برشی مشخصه	۹-۱۳-۵
۳۳۸	ضریب بار و ضرایب اطمینان نسبی	۱۰-۱۳-۵
۳۳۸	ضریب تغییرات	۱۱-۱۳-۵
۳۳۹	توزیع بار	۱۲-۱۳-۵
۳۴۲	منابع و مراجع	۱۳-۱۳-۵