

۱۸۲۹۹۹
۱۴۰۱/۷/۷

مهندسی ژئوتکنیک

مبانی و روش‌های بهسازی زمین

جلد اول

روش‌های مکانیکی و هیدرولیکی

www.ketab.ir

تألیف

دکتر حسن رحیمی

دکتر نادر عباسی



شماره مسلسل ۱۰۶۹۲

شماره انتشار ۴۳۹۶

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: رحیمی، حسن، ۱۳۲۵
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی ژئوتکنیک مبانی و روش‌های بهسازی زمین؛ جلد اول: (روش‌های مکانیکی و هیدرولیکی)
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۵۴۸ ص.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۴۳۹۶.
شابک دوره	: 978-964-03-0173-9
شابک جلد اول	: 978-964-03-0174-6
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتاب در مورد بهسازی زمین و مسلح‌سازی است.
شناسه افزوده	: عباسی، نادر، ۱۳۴۹
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات. University of Tehran. Press
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۵۳۸۶۷۰

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.
(این کتاب با کاغذ حمایتی به چاپ رسیده است.)



عنوان: مهندسی ژئوتکنیک مبانی و روش‌های بهسازی زمین؛ جلد اول: (روش‌های مکانیکی و هیدرولیکی)

تألیف: دکتر حسن رحیمی - دکتر نادر عباسی

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

بها: ۱۶۰۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press @ ut. ac. ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir

بخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست مطالب

پیشگفتار..... ز

فصل اول: کلیات..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۱

۲-۱- ضرورت بهسازی زمین..... ۱

۱-۲-۱- دلایل ایجاد ضعف در لایه‌های خاکی و سنگی..... ۲

۲-۲-۱- مشکلات و ضعف‌ها در لایه‌های سنگی..... ۵

۳-۲-۱- مشکلات و ضعف‌ها در لایه‌های خاکی..... ۹

۳-۱- تاریخچه کاربرد روش‌های بهسازی زمین..... ۱۲

۴-۱- طبقه‌بندی روش‌های بهسازی زمین..... ۱۴

۵-۱- انتخاب و اجرای گزینه‌های بهسازی..... ۲۱

۶-۱- مزایا و محدودیت‌های روش‌های بهسازی زمین..... ۲۴

۷-۱- برنامه‌ریزی و انتخاب روش بهسازی زمین..... ۲۷

۸-۱- منابع علمی فصل اول..... ۳۰

فصل دوم: تراکم سطحی..... ۳۳

۱-۲- مقدمه..... ۳۳

۲-۲- اثر تراکم بر ویژگی‌های خاک‌ها..... ۳۳

۳-۲- تاریخچه شناخت و کاربرد روش‌های تراکم خاک..... ۳۳

۴-۲- مبانی تراکم خاک..... ۳۴

۴-۲-۱- اجزای خاک..... ۳۵

۴-۲-۲- ساختمان خاک..... ۴۰

۴-۲-۱- ساختمان خاک‌های درشت‌دانه یا غیرچسبنده..... ۴۰

۴-۲-۲- ساختمان خاک‌های ریزدانه یا چسبنده..... ۴۳

۴-۲-۳- ساختمان خاک‌های مخلوط..... ۴۵

۴-۲-۵- مکانیسم و مبانی تراکم خاک‌ها..... ۴۶

۴۶	۲-۵-۱- متراکم‌سازی خاک‌های درشت‌دانه.....
۴۷	۲-۵-۲- متراکم‌سازی خاک‌های ریزدانه.....
۴۸	۲-۵-۳- متراکم‌سازی خاک‌های مخلوط.....
۴۸	۲-۶-۱- تئوری تراکم.....
۵۰	۲-۶-۱- مبانی آزمایش پراکتور.....
۵۳	۲-۶-۲- آزمایش تراکم استاندارد پراکتور.....
۵۸	۲-۶-۳- آزمایش تراکم استاندارد اصلاح‌شده (پراکتور اصلاح‌شده).....
۶۲	۲-۶-۴- آزمایش تراکم کوچک مقیاس هاروارد.....
۶۵	۲-۶-۵- انتخاب نوع آزمایش تراکم.....
۶۸	۲-۶-۶- تراکم خاک‌های درشت‌دانه (غیرچسبنده).....
۶۸	۲-۶-۷- محدودیت‌های آزمایش‌های تراکم خاک.....
۷۰	۲-۶-۸- ویژگی‌های منحنی تراکم.....
۸۰	۲-۶-۹- رابطه مشخصات تراکمی با سایر ویژگی‌های خاک.....
۸۴	۲-۷-۱- ویژگی‌های خاک متراکم‌شده.....
۸۵	۲-۷-۱- آرایش ذرات خاک.....
۸۶	۲-۷-۲- نفوذپذیری.....
۸۸	۲-۷-۳- مقاومت برشی.....
۹۱	۲-۷-۴- تغییر شکل‌پذیری.....
۹۱	۲-۷-۴-۱- نشست‌پذیری و رمبندگی.....
۹۳	۲-۷-۴-۲- تورم‌پذیری.....
۹۵	۲-۷-۴-۳- انقباض‌پذیری.....
۹۸	۲-۸-۱- تراکم صحرائی خاک‌ها.....
۹۸	۲-۸-۱- شیوه‌های تراکم صحرائی خاک‌ها.....
۱۰۰	۲-۸-۲- انواع کوبنده‌ها و غلتک‌های تراکم صحرائی.....
۱۰۶	۲-۸-۳- غلتک‌های ماشینی.....
۱۰۸	۲-۸-۴- کوبنده‌ها و غلتک‌های دستی.....
۱۱۲	۲-۸-۵- مقدار انرژی تراکمی صحرائی.....
۱۱۳	۲-۸-۶- انتخاب شیوه تراکم صحرائی و عوامل مؤثر بر آن.....
۱۲۵	۲-۹- معیارهای کنترل تراکم خاک.....

۱۲۵	۱-۹-۲ تراکم نسبی
۱۲۷	۲-۹-۲ دانسیته نسبی
۱۳۰	۱۰-۲ روش‌های تعیین میزان تراکم صحرایی
۱۳۱	۱-۱۰۰-۲ روش‌های مخرب
۱۳۱	۱-۱۰-۲ روش نمونه‌گیری دست‌نخورده با لوله جدار نازک
۱۳۳	۲-۱۰-۲ روش مخروط ماسه
۱۳۵	۳-۱۰-۲ روش بالن لاستیکی
۱۳۶	۴-۱۰-۲ جایگزینی با آب
۱۳۷	۲-۱۰-۲ روش سریع تعیین رطوبت
۱۳۸	۳-۱۰-۲ روش‌های غیرمخرب
۱۳۹	۱-۳-۱۰-۲ روش هسته‌ای
۱۴۱	۲-۳-۱۰-۲ روش تی‌دی‌آر (TDR)
۱۴۳	۴-۱۰-۲ روش‌های غیرمقیم
۱۴۳	۱-۴-۱۰-۲ سوزن پراکتور
۱۴۵	۲-۴-۱۰-۲ مخروط نفوذ دینامیکی (DCP)
۱۴۸	۳-۴-۱۰-۲ چکش کَلگ
۱۵۲	۴-۴-۱۰-۲ ژئوگِیج سفتی خاک (SSGG)
۱۵۳	۵-۴-۱۰-۲ تغییر شکل سنج سقوط وزنه (FWD)
۱۵۶	۵-۱۰-۲ سایر روش‌ها
۱۶۰	۶-۱۰-۲ مقایسه روش‌های مختلف کنترل تراکم خاک
۱۶۳	۱۱-۲ معیارهای پذیرش تراکم صحرایی
۱۶۷	۱۲-۲ منابع علمی فصل دوم
۱۷۵	فصل سوم: تراکم عمقی
۱۷۵	۱-۳ مقدمه
۱۷۵	۲-۳ روش‌های تراکم عمقی خاک‌ها
۱۷۷	۳-۳ تراکم دینامیکی
۱۷۹	۱-۳-۳ مبانی عملکرد روش تراکم دینامیکی
۱۸۶	۲-۳-۳ مکانیسم پخش انرژی ارتعاشی در خاک

۱۸۸	۳-۳-۳- عمق نفوذ تراکم دینامیکی
۱۹۵	۳-۳-۴- خاک‌های مناسب تراکم دینامیکی عمیق
۲۰۱	۳-۳-۵- محدودیت‌های روش تراکم دینامیکی
۲۰۱	۳-۳-۱- ارتعاشات زمین
۲۰۷	۳-۳-۲- تغییر شکل‌های جانبی زمین
۲۰۸	۳-۳-۳- افزایش فشار آب منفذی
۲۰۹	۳-۳-۶- تراکم دینامیکی خاک‌های چسبنده
۲۱۰	۳-۳-۷- طراحی تراکم دینامیکی عمقی
۲۱۳	۳-۳-۸- توصیه‌هایی درباره کاربرد تراکم دینامیکی عمقی
۲۱۵	۳-۴- تراکم ضربه‌ای سریع (RIC)
۲۲۱	۳-۵- تراکم ارتعاشی
۲۲۳	۳-۵-۱- اهداف کاربرد روش تراکم ارتعاشی
۲۲۲	۳-۵-۲- تاریخچه کاربرد روش تراکم ارتعاشی
۲۲۳	۳-۵-۳- موارد کاربرد روش تراکم ارتعاشی
۲۲۳	۳-۵-۴- مزایا و محدودیت‌های روش تراکم ارتعاشی
۲۲۴	۳-۵-۵- مبانی روش تراکم ارتعاشی
۲۲۵	۳-۵-۶- میل مرتعش
۲۳۲	۳-۵-۷- تراکم ارتعاشی صفحه‌ای
۲۳۳	۳-۵-۸- تراکم لرزه‌شناوری
۲۴۸	۳-۶- تراکم انفجاری
۲۵۰	۳-۶-۱- مبانی روش تراکم انفجاری
۲۵۱	۳-۶-۲- معیارهای سنجش مقدار ماده منفجره
۲۵۳	۳-۶-۳- مکانیسم تراکم خاک با روش انفجاری
۲۵۵	۳-۶-۴- خاک‌های مناسب برای تراکم انفجاری
۲۵۷	۳-۶-۵- روش اجرا
۲۶۱	۳-۶-۶- ملاحظات اجرایی
۲۶۳	۳-۷- تراکم جابه‌جایی و جایگزینی
۲۶۴	۳-۷-۱- تراکم لرزشی و جابه‌جایی
۲۶۵	۳-۷-۲- شمع‌های جابه‌جایی

پیشگفتار

شرایط خاص جغرافیایی، زمین‌شناسی، اقلیمی، و توپوگرافی ایران موجب گردیده است تا بسیاری از مناطق کشور از خاک‌های مشکل‌آفرین و بیرون‌زدگی‌های سنگی بسیار هوازده و غیرمقاوم پوشیده گردد. این ویژگی‌ها تاکنون خسارات مادی فراوانی را به پروژه‌های عمرانی کشور، به‌ویژه به سازه‌های آبی که از حساسیت بیش‌تری با توجه به تماس دائم با آب برخوردارند، وارد ساخته است. تخریب کلی و جزئی بسیاری از کانال‌ها و تأسیسات انتقال آب و سایر تأسیسات زیربنایی، به‌ویژه در استان خوزستان، از جمله نمودهای بارز این ویژگی است. وجود تشکیلات ضعیف زمین‌شناسی و وفور خاک‌های مشکل‌آفرین در سطح کشور مؤلفان این کتاب را بر آن داشت تا براساس تجربیات به‌دست‌آمده در طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی و نیز با استفاده از تجربیات بین‌المللی معتبر اقدام به انتشار کتاب‌هایی در زمینه شناخت و معرفی خاک‌های مشکل‌آفرین و نیز مبانی و روش‌های بهسازی آن‌ها نمایند. بخش اول این مجموعه در قالب کتابی تحت عنوان «مهندسی ژئوتکنیک، خاک‌های مشکل‌آفرین» در سال ۱۳۹۳ به چاپ رسید و مجموعه حاضر در واقع مکمل کتاب مذکور است که تحت عنوان «مبانی و روش‌های بهسازی زمین» مترادف با واژه انگلیسی *Principals Modification and Methods of Ground* انتشار می‌یابد.

این کتاب با توجه به حجم زیاد آن و ناگزیر در دو جلد و یازده فصل به شرح زیر به‌گونه‌ای تدوین گردیده است که استفاده از هر فصل به‌طور مستقل نیز امکان‌پذیر باشد:

– جلد اول این کتاب با عنوان "روش‌های مکانیکی و هیدرولیکی" شامل شش فصل است که فصل اول دربرگیرنده کلیاتی در مورد روش‌های متداول بهسازی زمین و کاربرد آن‌هاست. فصل‌های دوم، سوم و چهارم به تشریح روش‌های مکانیکی بهسازی خاک (روش‌های تراکمی سطحی و عمیق) اختصاص یافته است. در فصل‌های پنجم و ششم این جلد روش‌های هیدرولیکی بهسازی زمین تشریح شده‌اند.

– جلد دوم با عنوان "مسلح سازی و بهسازی فیزیکی – شیمیایی" در ۵ فصل (فصل‌های هفتم تا یازدهم) تدوین شده است که فصل‌های هفتم و هشتم به روش‌های مسلح‌سازی توده‌های خاکی و سنگی اختصاص یافته و روش‌های فیزیکی و شیمیایی بهسازی زمین در فصل‌های نهم، دهم و یازدهم مورد بحث قرار گرفته‌اند.

شایان ذکر است، مطالب هر فصل به‌گونه‌ای تدوین شده است که به‌تنهایی نیز برای مهندسان و دانشجویان قابل استفاده باشد. بدیهی است که اطلاع از علوم پایه مرتبط با موضوع کتاب، به‌ویژه

زمین‌شناسی، مکانیک خاک، مکانیک سنگ، و ژئوتکنیک برای درک مطالب کتاب ضرورت تام دارد. در آخر هر فصل نیز لیست منابع علمی مورد استفاده ارائه گردیده تا خواننده برای کسب اطلاعات بیش‌تر بتواند به آن‌ها رجوع نماید.

مؤلفان، تألیف این کتاب را قدمی کوچک در ارتقای دانش مهندسی در زمینه طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی تلقی می‌نمایند و امیدوارند مطالب آن بتواند به‌خوبی مورد استفاده دانشجویان رشته‌های مهندسی و نیز مهندسان طراح و پیمانکاران مرتبط قرار گیرد. بدیهی است علی‌رغم همه کوشش‌های به‌کاربرده شده، این اثر نیز ممکن است، همچون سایر آثار مکتوب، با نواقص و خطاها و اشتباهاتی توأم باشد. تذکر و یادآوری این نواقص از طرف خوانندگان گرامی موجب سپاس نگارندگان و رفع آن‌ها در چاپ‌های بعدی خواهد شد.

بهمن ۱۳۹۸

حسن رحیمی - نادر عباسی