شناسایی خاک‌های مسئله‌دار و روش‌های بهسازی خاک

ویژه دانشجویان و مهندسین عمران و ژئوتکنیک



مولفان:
دکتر فریدون خسروی
دکتر علی اصغر فیروزی
مهندس علیرضا حسینی

سرشناسه: خسروی، فریدون، ۱۳۳۵-
عنوان و نام پدیدآور: شناسایی خاک‌های مسئله‌دار و روش‌های بهسازی خاک : ویژه دانشجویان و مهندسین عمران و ژئوتکنیک/ مولفین فریدون خسروی، علی‌اصغر فیروزی، علیرضا حسینی.
مشخصات نشر: تهران : نوآور، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری: ۳۰۴ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۲-۶
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: خاک‌شناسی - - Soil science
موضوع: خاک -- بهسازی - - Soil remediation
موضوع: خاک -- تثبیت - - Soil stabilization
شناسه افزوده: فیروزی، علی‌اصغر، ۱۳۵۶-
شناسه افزوده: firoozi, aliasghar
شناسه افزوده: حسینی، علی‌رضا، ۱۳۷۱-
شناسه افزوده: hosseini, alireza
رده بندی کنگره: ۵۹۱S/خ۵ش۹ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی: ۴/۶۳۱
شماره کتابشناسی ملی: ۵۵۸۰۵۸۶

شناسایی خاک‌های مسئله‌دار و روش‌های بهسازی خاک

مولفان: دکتر فریدون خسروی، علی اصغر فیروزی، علیرضا حسینی
ناشر: نوآور
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
نوبت چاپ: اول ـ ۱۳۹۸
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۲-۶

نشرنوآور

ناشر همکار: پارسیا

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲ـ ۶۶۴۸۴۱۹۱ www. noavarpub. com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.
www.noavarpub.com https://telegram.me/noavarpub https://www.instagram.com/noavarpub/

فـهرست مطالب

پیشگفتار ۱۵
فصل اول / کلیات ۱۷
۱-۱- مقدمه ۱۷
۱-۲- هدف از بهسازی زمین ۱۸

فصل دوم / شناسایی خاک‌های مسئله‌دار ۲۰
۲-۱- مقدمه ۲۰
۲-۲- خاک رمبنده ۲۰
۲-۲-۱- عوامل موثر بر میزان رمبندگی خاک ۲۱
۲-۲-۲- ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های رمبنده (لس‌ها) ۲۳
۲-۲-۳- معیارهای شناسایی خاک‌های رمبنده ۲۶
۲-۲-۴- پراکندگی خاک‌های رمبنده در ایران ۲۹
۲-۲-۵- روش‌های اصلاح خاک‌های رمبنده ۳۰
۲-۲-۶- مدل رفتاری خاک‌های رمبنده ۳۰
۲-۲-۷- کدنویسی و مثال کاربردی تعیین پتانسیل رمبندگی ۳۵
۲-۳- خاک واگرا ۳۹
۲-۳-۱- فرایند واگرایی ۳۹
۲-۳-۲- ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک‌های واگرا ۴۰
۲-۳-۳- شناسایی خاک‌های واگرا ۴۰
۲-۳-۴- روش‌های اصلاح خاک‌های واگرا ۴۴
۲-۳-۵- کدنویسی و مثال کاربردی تعیین پتانسیل واگرایی ۴۴
۲-۴- خاک‌های روانگرا ۴۸
۲-۴-۱- استعداد روانگرایی ۵۰
۲-۴-۲- عوامل موثر بر روانگرایی خاک ۵۲
۲-۴-۳- مطالعات آزمایشگاهی جهت شبیه سازی شرایط صحرایی برای روانگرایی خاک ۵۵
۲-۴-۴- روابط بررسی روانگرایی خاک ۵۶
۲-۴-۵- اثرات روانگرایی ۶۱
۲-۴-۶- روش‌های بهسازی خاک‌های روانگرا ۶۴
۲-۴-۷- کدنویسی و مثال‌های کاربردی برنامه تعیین روانگرایی خاک ۶۴
۲-۵- خاک متورم شونده ۷۰
۲-۵-۱- فرایند تورم ۷۰
۲-۵-۲- عوامل موثر بر تورم خاک‌های رسی ۷۱
۲-۵-۳- معیارهای شناسایی خاک‌های متورم‌شونده ۷۲
۲-۵-۴- تاثیر شرایط ساختگاه بر تورم ۷۹
۲-۵-۵- روش‌های اصلاح خاک‌های متورم‌شونده ۸۰
۲-۵-۶- کدنویسی و مثال کاربردی تعیین پتانسیل تورم ۸۰

فصل سوم / روش‌های بهسازی خاک ۸۵

۳-۱- مقدمه ۸۵
۳-۲- تراکم دینامیکی ۸۵
۳-۲-۱- روش اجرای تراکم دینامیکی ۸۶
۳-۲-۲- مطالعات اولیه جهت طراحی ۸۸
۳-۲-۳- طراحی تراکم دینامیکی ۹۳
۳-۲-۴- مدل رفتاری تراکم دینامیکی ۹۵
۳-۲-۵- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی تراکم دینامیکی ۱۰۰
۳-۳- تراکم انفجاری ۱۰۵
۳-۳-۱- فرایند روش بهسازی انفجاری ۱۰۵
۳-۳-۲- پارامترهای موثر بر تراکم انفجاری ۱۰۷
۳-۳-۳- طراحی بهسازی به روش انفجار ۱۰۸
۳-۳-۴- ابزاربندی و اجرا ۱۱۰
۳-۳-۵- عوارض ژئوتکنیکی بهسازی به روش انفجار ۱۱۱
۳-۳-۶- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی تراکم انفجاری ۱۱۳
۳-۴- ستون سنگی ۱۱۶
۳-۴-۱- انواع روش‌های اجرای ستون سنگی ۱۱۶
۳-۴-۲- روش‌های تسلیح ستون‌های سنگی ۱۲۰
۳-۴-۳- طراحی ستون سنگی ۱۲۲
۳-۴-۴- رفتار ستون‌های سنگی ۱۲۶
۳-۴-۵- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی ستون سنگی ۱۲۷
۳-۵- پیش بارگذاری ۱۳۲
۳-۵-۱- پیش بارگذاری با استفاده از خاکریز ۱۳۳
۳-۵-۲- پیش بارگذاری توسط خلاء یا ایجاد مکش ۱۳۴
۳-۵-۳- زهکشی در پیش بارگذاری ۱۳۷
۳-۵-۴- طراحی پیش بارگذاری و تحکیم شعاعی ۱۴۰
۳-۵-۵- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی پیش بارگذاری با زهکش ۱۴۳
۳-۶- نیلینگ (میخ‌کوبی) ۱۴۹
۳-۶-۱- مراحل ساخت دیواره نیلینگ ۱۴۹
۳-۶-۲- مزایا و معایب روش نیلینگ ۱۵۲
۳-۶-۳- ملاحظات فنی ساخت دیواره نیلینگ ۱۵۳
۳-۶-۴- عوامل موثر بر پایداری نیلینگ ۱۵۵
۳-۶-۵- طراحی سیستم نیلینگ ۱۵۷
۳-۶-۶- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی نیلینگ ۱۷۰
۳-۷- سپرکوبی ۱۷۸
۳-۷-۱- روش اجرا ۱۷۸
۳-۷-۲- انواع مصالح مورد استفاده در سپرکوبی ۱۸۰
۳-۷-۳- مزایا و معایب روش سپرکوبی ۱۸۳
۳-۷-۴- طراحی سپرکوبی ۱۸۳
۳-۷-۵- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی سپرکوبی ۱۸۶

۳-۸- خاک مسلح ۱۹۱
۳-۸-۱- اجزای خاک مسلح ۱۹۲
۳-۸-۲- عناصر تسلیح خاک ۱۹۴
۳-۸-۳- مزایا و معایب خاک مسلح ۱۹۶
۳-۸-۴- طراحی خاک مسلح ۱۹۶
۳-۸-۵- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی خاک مسلح ۲۰۲
۳-۹- بهسازی به روش انجماد ۲۰۸
۳-۹-۱- اصول انجماد خاک ۲۰۹
۳-۹-۲- فرایند انجماد خاک ۲۱۱
۳-۹-۳- مزایا و معایب روش انجماد ۲۱۳
۳-۹-۴- طراحی سیستم انجماد خاک ۲۱۴
۳-۹-۵- مطالعه موردی ۲۱۸
۳-۱۰- بهسازی به روش شیمیایی ۲۲۰
۳-۱۰-۱- بهسازی شیمیایی با استفاده از سیمان ۲۲۱
۳-۱۰-۲- بهسازی شیمیایی با استفاده از آهک ۲۲۲
۳-۱۰-۳- بهسازی شیمیایی با استفاده از پلیمرها ۲۲۴
۳-۱۰-۴- بهسازی شیمیایی با استفاده از خاکستر بادی ۲۲۸
۳-۱۰-۵- بهسازی شیمیایی با استفاده از مواد نانو ۲۲۹
۳-۱۰-۶- بهسازی شیمیایی با استفاده از نمک‌ها ۲۴۷

فصل چهارم / دیوارهای حائل ۲۵۰
۴-۱- مقدمه ۲۵۰
۴-۲- دیوار حائل وزنی ۲۵۰
۴-۲-۱- کلیات ۲۵۰
۴-۲-۲- عوامل مؤثر در دوران و جابه جایی لرزه‌ای دیوارهای حائل وزنی ۲۵۱
۴-۲-۳- مصالح دیوار حائل وزنی ۲۵۴
۴-۲-۳-۱- بتن ۲۵۴
۴-۲-۳-۲- مصالح بنایی ۲۵۵
۴-۲-۴- طراحی دیوار حائل وزنی ۲۵۶
۴-۲-۵- کدنویسی طراحی دیوار حائل وزنی ۲۶۲
۴-۳- دیوار حائل طره‌ای ۲۶۶
۴-۳-۱- کلیات ۲۶۶
۴-۳-۲- استاندارد مصالح مورد استفاده ۲۶۸
۴-۳-۳- طراحی دیوار حائل طره‌ای ۲۶۸
۴-۳-۳-۱- پایداری در برابر واژگونی ۲۶۹
۴-۳-۳-۲- پایداری در برابر لغزش ۲۷۰
۴-۳-۳-۳- طراحی سازه‌ای ۲۷۱
۴-۳-۴- ملاحظات اجرایی ۲۷۳
۴-۳-۵- کدنویسی و مثال کاربردی طراحی دیوارحائل طره‌ای ۲۷۴

۴-۴- دیوار حائل طره‌ای پشت‌بنددار ۲۸۲
۴-۴-۱- طراحی دیوارحائل طره‌ای پشت‌بنددار ۲۸۳
۴-۴-۲- کدنویسی طراحی دیوارحائل طره‌ای پشت‌بنددار ۲۸۴
۴-۵- نکات دیوارهای حائل ۲۸۶
۴-۵-۱- عوامل موثر در انتخاب نوع دیوارحائل ۲۸۶
۴-۵-۲- علل خرابی دیوارهای حائل ۲۸۷
۴-۵-۳- زهکشی ۲۸۸

پیوست‌ها / مشخصات انواع سپرها ۲۹۰
منابع و مآخذ ۲۹۳

فـهرست جداول

جدول (۲-۱) تاثیر دست‌خوردگی نمونه بر پارامترهای مقاومتی خاک رمبنده (Pye,1997) ۲۳
جدول (۲-۲)شاخص پتانسیل رمبندگی بر اساس معیار کلونجر (Clevenger, 1958) ۲۷
جدول (۲-۳) شاخص تعیین رمبندگی ۲۹
جدول (۲-۴) ارزیابی واگرایی خاک بر اساس معیار ESP (Sherard et al, 1977) ۴۲
جدول (۲-۵) ارزیابی واگرایی خاک براساس معیار SAR (Sherard, 1977) ۴۲
جدول (۲-۶) معیار آزمایش پین هول بر اساس ASTM D4647-93 ..... ۴۳
جدول (۲-۷) تعیین واگرایی بر اساس تقسیم بندی واگرایی در آزمایش پین هول (ASTM D4647-93) ۴۳
جدول (۲-۸) طبقه‌بندی کیفی پتانسیل واگرایی حاصل از آزمایش پین هول، طبق پیشنهاد شرارد و همکارانش ۴۳
جدول (۲-۹) طبقه‌بندی کیفی پتانسیل واگرایی حاصل از آزمایش پین هول، طبق پیشنهاد کندل (Knodel, 1991).. ۴۴
جدول (۲-۱۰) طبقه‌بندی کیفی واگرایی حاصل از آزمایش پین هول، طبق پیشنهاد سازمان حفاظت محیط زیست ۴۴
جدول (۲-۱۱) تعداد سیکل‌های عمده تنش N مربوط به τ_{av} ۵۷
جدول (۲-۱۲) تفسیر کیفی پتانسیل تورم بر اساس شاخص تورم ASTM (Chen, 1975) ۷۳
جدول (۲-۱۳) طبقه‌بندی پتانسیل تورم با استفاده از نشانه خمیری ۷۳
جدول (۲-۱۴) طبقه بندی پتانسیل تورم با استفاده از حد روانی ۷۴
جدول (۲-۱۵) طبقه‌بندی کیفی خاک‌های متورم‌شونده بر اساس سیستم USBR (Holtz and Gibss, 1956) ۷۵
جدول (۲-۱۶) طبقه‌بندی کیفی خاک‌های متورم‌شونده بر اساس معیار چن (Chen, 1988) ۷۶
جدول (۲-۱۷) طبقه‌بندی کیفی خاک‌های متورم‌شونده بر اساس معیار استرالیایی ۷۷
جدول (۲-۱۸) طبقه‌بندی کیفی خاک‌های متورم‌شونده بر اساس معیار استنن (Snethen, 1977) ۷۷
جدول (۲-۱۹) طبقه‌بندی کیفی خاک‌های متورم‌شونده بر اساس معیار امسیکین (MCkeen, 1992) ۷۸
جدول (۳-۱) مقادیر حداکثر بهبود در خاک‌های مختلف تحت آزمایش‌های SPT، CPT و PMT (FHWA, 1986) . ۹۲
جدول (۳-۲) مقادیر n (Lukas, 1995) ۹۳
جدول (۳-۳) میزان انرژی مورد نیاز برای انجام تراکم دینامیکی (FHWA, 1986) ۹۴
جدول (۳-۴) فاکتور C_F (FHWA, 2015) ۱۶۷
جدول (۳-۵) مقادیر RF_{FP} با توجه به مشخصات مقاومتی برای لایه موقت نما (FHWA, 2015) ۱۶۸
جدول (۳-۶) مقادیر RF_{FP} با توجه به مشخصات مقاومتی برای لایه دائمی نما ۱۶۸
جدول (۳-۸) تعیین مقدار تغییرشکل قائم و افقی دیواره گود ۱۶۹
جدول (۳-۹)مقدار تقریبی سیمان لازم جهت تثبیت خاک‌های مختلف(Mitchell, 1993). ۲۲۱
جدول (۳-۱۰) مشخصات کیفی منومرهای رایج (Oldring, 1987) ۲۲۵
جدول (۳-۱۱) اثر افزودن UF و SUMF در غلظت‌های متفاوت روی مقاومت فشاری (Shawqui et al, 1998) ۲۲۶
جدول (۳-۱۲) طیف XRF سیمان ۲۴۲
جدول (۴-۱) مشخصات ملات‌های مورد استفاده در دیوارهای حائل بنایی (ضابطه شماره ۳۰۸) ۲۵۵
جدول (۴-۲) وزن مخصوص مصالح مورد استفاده در ملات (ضابطه شماره ۳۰۸) ۲۵۶

فـهرست اشکال

شکل (۲-۱) رابطه بین دانسیته نسبی و میزان رمبندگی خاک(Sohby, 1987) ۲۱
شکل (۲-۲) تأثیر نسبت درصدهای مختلفی از ذرات ماسه و سیلت بر رمبندگی خاک(Sohby, 1987) ۲۲
شکل (۲-۳) نتایج آزمایش فشاری تک محوری خاک رمبنده دست نخورده (A) و دست خورده (B) (Pye,1997) ۲۳
شکل (۲-۴) تاثیر مرطوب شدگی خاک با دانسیته متفاوت بر روی پارامترهای مقاومت برشی (Bell, 2002) ۲۵
شکل (۲-۵) ارتباط بین مقاومت فشاری تک محوری q_u و درصد رطوبت w برای لس‌های دست نخورده (Pye, 1995) ۲۵
شکل (۲-۶) رفتار لس در آزمایش سه محوری (Bell, 2002) ۲۶
شکل (۲-۷) نقشه پراکندگی خاک‌های رمبنده در ایران ۳۰
شکل (۲-۸) رویه حالت خاک رمبنده متناظر با متغیرهای مکش ماتریک، تنش قائم خالص و نسبت تخلخل ۳۲
شکل (۲-۹) جریان یک بعدی آب از طریق المان خاک رمبنده (Fredlund and Gan, 1994) ۳۲
شکل ۲-۱۰) متغیرهای شبکه استفاده شده در محیط شرایط FDM (Fredlund and Gan, 1994)..... ۳۴
شکل (۲-۱۱) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت تعیین پتانسیل رمبندگی..... ۳۷
شکل (۲-۱۲) خروجی مثال (۲-۱) با استفاده از برنامه MATLAB ۳۸
شکل (۲-۱۳) تعیین واگرایی بر اساس معیار شرارد (Sherard et al, 1977) ۴۱
شکل (۲-۱۴) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت تعیین واگرایی خاک..... ۴۷
شکل (۲-۱۵) خروجی مثال (۲-۲) با برنامه MATLAB ۴۸
شکل (۲-۱۶) وقوع روانگرایی در اندونزی..... ۴۹
شکل (۲-۱۷) رابطه میان فاصله کانونی و گشتاور بزرگای زلزله‌های کم عمق در ساختگاه‌هایی کـه روانگرایـی در آن‌هـا مشاهده شده است (Kramer,1996). ۵۰
شکل (۲-۱۸) نمونه نتایج آزمایش سه محوری بر روی یک نوع ماسه (Prakash,1981) ۵۳
شکل (۲-۱۹) اثر تنش برشی ناشی از زلزله روی جزئی از خاک (Das, 1993)..... ۵۵
شکل (۲-۲۰) تنس برشی بیشینه در آزمایش برش ساده متناوب (Das,1993)..... ۵۶
شکل (۲-۲۱) محدوده ضرورت کاهش تنش برشی C_d برای تغییرشکل طبیعی خاک (Seed and Idriss,1971)..... ۵۷
شکل (۲-۲۲) منحنی تغییرات C_r نسبت به تراکم نسبی (Das,1993) ۵۸
شکل (۲-۲۳) نمودار تعیین نسبت تنش بر اساس اندازه توزیع ذرات و سیکل آزمایش (Das,1993) ۵۸
شکل (۲-۲۴) محدوده وقوع روانگرایی خاک منطقه (نائینی، دینامیک خاک)..... ۵۹
شکل (۲-۲۵) تغییرات $\left(\frac{\tau_h}{\sigma v}\right)$ با استفاده از مقادیر $N^{'}$ و M (Seed,1979)..... ۶۰
شکل (۲-۲۶) نمودار ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر مبنای سرعت موج برشی و شتاب بیشینه زمین (Kramer,1996)..... ۶۱
شکل (۲-۲۷) ارتعاشات زمین (الف) قبل از زلزله و (ب) پس از زلزله (Kramer,1996)..... ۶۲
شکل (۲-۲۸) (الف) رابطه بین ضخامت لایه روانگرا و ضخامت لایه واقع بر روی آن در ساختگاه‌هایی کـه بـرای آن‌هـا روانگرایی در سطح زمین مسطح مشاهده شده است؛ (ب) راهنما برای ارزیابی ضخامت لایه‌های مربوط(Kramer,1996) ۶۳
شکل (۲-۲۹) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت تعیین روانگرایی خاک..... ۶۶

شکل (۲-۳۰) تغییرات تنش‌های برشی نسبت به عمق در مثال (۲-۳) ۶۷
شکل (۲-۳۱) خروجی مثال‌های (۲-۳)، (۲-۴) و (۲-۵) با برنامه MATLAB ۶۹
شکل (۲-۳۲) تورم لایه‌های رسی (Das, 1984) ۷۱
شکل (۲-۳۳) نمودار طبقه‌بندی پتانسیل تورم بر اساس پیشنهادی ویلیامز (Williams and Donaldson,1980) ۷۴
شکل (۲-۳۴) طبقه‌بندی پتانسیل تورم بر اساس حد روانی و دانسیته خشک (Chen, 1988) ۷۵
شکل (۲-۳۵) تعیین پتانسیل تورم به روش USBR ۷۶
شکل (۲-۳۶) طبقه‌بندی پتانسیل تورم بر حسب عدد فعالیت و درصد رس (Seed et al, 1962) ۷۷
شکل (۲-۳۷) روش دپارتمان نیروی دریایی امریکا جهت پیش بینی پتانسیل تورم (Nelson et al, 2015) ۷۹
شکل (۲-۳۸) ناحیه خطی خاک متورم‌شونده در شهر دنور (Nelson, 2015) ۷۹
شکل (۲-۳۹) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت تعیین پتانسیل تورم ۸۳
شکل (۲-۴۰) خروجی مثال (۲-۶) با برنامه MATLAB ۸۴
شکل (۳-۱) نحوه انجام تراکم دینامیکی (Lukas, 1995) ۸۶
شکل (۳-۲) اجرای تراکم دینامیکی به روش نیمه محدود ۸۷
شکل (۳-۳) طبقه‌بندی خاک‌ها برای تراکم دینامیکی (Lukas, 1995) ۸۹
شکل (۳-۴) تعیین سرعت تراکم دینامیکی در فواصل معین از محل اجرا (Dise et al, 1994) ۹۰
شکل (۳-۵) تغییرات جانبی خاک (الف) در فاصله ۳ متری (ب) در فاصله ۶ متری محل اصابت وزنه (FHWA, 1986) ۹۱
شکل (۳-۶) نواحی سه‌گانه فرض شده در مدل (Thilakasiri, 1996) ۹۶
شکل (۳-۷) منحنی تنش-کرنش آزمایشگاهی ستون خاک زیر کوبه (Chow et al, 1992) ۹۷
شکل (۳-۸) محدوده تغییرات ضریب α برای خاک‌های عادی تحکیم‌یافته (Schemertmann, 1986) ۹۸
شکل (۳-۹) محدوده تغییرات α برای خاک‌های پیش تحکیم‌یافته (Schemertmann, 1986) ۹۹
شکل (۳-۱۰) سطح تسلیم مدل کلاهک دار (Dimaggio and Sandler, 1971) ۹۹
شکل (۳-۱۱) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی تراکم دینامیکی ۱۰۳
شکل (۳-۱۲) خروجی مثال (۳-۱) توسط برنامه MATLAB ۱۰۴
شکل (۳-۱۳) مقایسه محدوده عملکرد روش‌های متداول بهسازی عمیق با تراکم دینامیکی (Narsilio et al, 2009) ۱۰۵
شکل (۳-۱۴) تاریخچه سیکل انقباض و انبساط حباب گاز (شعاع حباب، جابجایی) (Ivanov, 1976) ۱۰۶
شکل (۳-۱۵) مراحل کلی تغییرات فشار آب حفره‌ای بر اثر انفجار ۱۰۷
شکل (۳-۱۶) (الف) چینش، فازبندی و زمان‌بندی چاه‌های انفجاری در پلان؛ (ب) مقطع (شاکران و اسلامی، ۱۳۹۲) ۱۰۸
شکل (۳-۱۷) ابزارآلات مورد نیاز برای یک تراکم انفجاری (Ivanov, 1976) ۱۱۱
شکل (۳-۱۸) جوشش ماسه پس از تراکم انفجاری ۱۱۲
شکل (۳-۱۹) تاثیر تراکم انفجاری در افزایش مقاومت نوک CPT و افزایش دانسیته نسبی (Rogres et al, 1990) ..۱۱۳
شکل (۳-۲۰) نمونه ورودی برنامه طراحی تراکم انفجاری ۱۱۴
شکل (۳-۲۱) خروجی مثال (۳-۲) توسط برنامه MATLAB ۱۱۵
شکل (۳-۲۲) روش جایگزینی ارتعاشی و تغذیه مصالح از بالا ۱۱۷
شکل (۳-۲۳) روش جابجایی ارتعاشی و تغذیه مصالح از پایین ۱۱۸
شکل (۳-۲۴) نحوه اجرای ستون سنگی در خاک‌های ریزشی به روش پایه‌های دانه‌ای کوبشی (Collin, 2007) ۱۱۹
شکل (۳-۲۵) مراحل اجرای روش پایه‌های دانه‌ای کوبشی به روش جابجایی کامل (IBC, 2014) ۱۱۹

شکل (۳-۲۶) مسلح کردن افقی ستون‌های سنگی ۱۲۰
شکل (۳-۲۷) نمونه‌ای از ستون سنگی محصورشده با ژئوگرید ۱۲۱
شکل (۳-۲۸) تاثیر سختی ژئوگرید بر مقدار نشست ستون سنگی (Murugesan and Rajagopal, 2006) ۱۲۲
شکل (۳-۲۹) تاثیر عمق ژئوگرید بر مقدار نشست ستون سنگی (Murugesan and Rajagopal, 2006) ۱۲۲
شکل (۳-۳۰) تعیین قطر ستون سنگی با استفاده از مقاومت برشی زهکشی نشده خاک(Besancon, 1984) ۱۲۳
شکل (۳-۳۱)ستون‌های سنگی با آرایش مربعی و مثلثی (Zahmatkesh and Choobbasti, 2010) ۱۲۳
شکل (۳-۳۲) مقدار q̄ برای هنگامیکه q>0 می‌باشد (Anderson, 2004) ۱۲۴
شکل (۳-۳۳) مقدار q̄ برای هنگامیکه q=0 می‌باشد (Anderson, 2004) ۱۲۵
شکل (۳-۳۴) (الف) تغییرشکل ستون‌ها پس از اعمال بار در مدل فیزیکی – (ب) تغییرشکل حاصل از تحلیل عددی (تبرساز و سروش، ۱۳۸۹) ۱۲۷
شکل (۳-۳۵) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی ستون سنگی ۱۳۰
شکل (۳-۳۶)خروجی مثال (۳-۳) توسط برنامه MATLAB ۱۳۲
شکل (۳-۳۷) چگونگی عملکرد تکنیک پیش بارگذاری ۱۳۳
شکل (۳-۳۸) پیش بارگذاری با استفاده از روش خاکریز ۱۳۴
شکل (۳-۳۹) پیش بارگذاری به روش ایجاد خلاء ۱۳۴
شکل (۳-۴۰) فرایند تحکیم (الف) در حالت پیش بارگذاری با خلاء (ب) با خاکریز (Indraratna et al, 2006) ۱۳۵
شکل (۳-۴۱) مقایسه تنش ایجاد شده در خاک در دو روش خاکریز و خلاء ۱۳۶
شکل (۳-۴۲) پروفیل تنش‌های عمودی خاک (الف) در حالت شرایط اولیه (ب)همراه با خاکریز (ج) همراه با خلاء ۱۳۶
شکل (۳-۴۳) زهکشی در پیش بارگذاری ۱۳۷
شکل (۳-۴۴) تاثیر فاصله زهکش‌های عمودی بر سرعت تحکیم (Saowapakpiboon et al, 2010) ۱۳۸
شکل (۳-۴۵) نمونه زهکش قائم پیش ساخته ۱۳۹
شکل (۳-۴۶) نصب زهکش‌های قائم پیش ساخته ۱۳۹
شکل (۳-۴۷) نتایج درصد تحکیم در طول زمان برای طول‌های مختلف زهکش (فخاریان و تسلطی، ۱۳۹۳) ۱۴۰
شکل (۳-۴۸) مشخصات چاه‌های زهکش (Das, 1997) ۱۴۲
شکل (۳-۴۹) زهکش نواری و دست خوردگی خاک اطراف به همراه پارامترهای مربوط (Das, 1997) ۱۴۳
شکل (۳-۵۰) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت تخمین نشست تحکیمی و طراحی زهکش ۱۴۶
شکل (۳-۵۱) خروجی مثال (۳-۴) توسط برنامه MATLAB ۱۴۸
شکل (۳-۵۲) تصویری از نصب میخ‌ها و دوغاب‌ریزی ۱۵۰
شکل (۳-۵۳) نمونه‌ای از پوشش شبکه مسلح و لایه شاتکریت موقت ۱۵۰
شکل (۳-۵۴) مراحل ساخت دیوار نیل شده در خاک (FHWA0-IF-03-017) ۱۵۱
شکل (۳-۵۵) (الف) نمونه میخ خودحفار – (ب) ایجاد کاور برای تزریق ۱۵۲
شکل (۳-۵۶) خرابی یک گود به دلیل نشت لوله آب ۱۵۴
شکل (۳-۵۷) تاثیر طول میخ بر ضریب اطمینان کلی (جیریایی و نظری، ۱۳۹۴) ۱۵۶
شکل (۳-۵۸) (الف) تاثیر چسبندگی بر ضریب اطمینان – (ب) تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر ضریب اطمینان ۱۵۶
شکل (۳-۵۹) (الف) تاثیر قطر گمانه بر ضریب اطمینان – (ب) تاثیر فاصله میخ‌ها بر ضریب اطمینان ۱۵۷
شکل (۳-۶۰) تاثیر نوع چیدمان بر طول نیلینگ (FHWA, 2015) ۱۵۸

شکل (۳-۶۱) تعیین طول نیل و حداکثر نیروی کششی نیل در (الف) شیب دیوار صفر و شیب خاکریز صفر – (ب) شیب دیوار صفر و شیب خاکریز ۱۰ – (ج) شیب دیوار ۱۰ و شیب خاکریز صفر – (د) شیب دیوار ۱۰ و شیب خاکریز ۱۰ – (ه) شیب دیوار صفر و شیب خاکریز ۳۰ – (و) شیب دیوار ۱۰ و شیب خاکریز ۳۰ (FHWA, 2015) ۱۶۵
شکل (۳-۶۲) تعیین C_{1L} و C_{1F} برای قطرهای حفاری مختلف (FHWA, 2015) ۱۶۶
شکل (۳-۶۳)ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی سیستم نیلینگ ۱۷۴
شکل (۳-۶۴) خروجی مثال (۳-۵) توسط برنامه MATLAB ۱۷۷
شکل (۳-۶۵) نمایی از صفحات فلزی مورد استفاده در روش سپرکوبی ۱۷۸
شکل (۳-۶۶) نمایی از سپرکوبی در داخل خاک ۱۷۹
شکل (۳-۶۷) نمایی از برداشت خاک داخل گود پایدارشده به روش سپرکوبی ۱۷۹
شکل (۳-۶۸) نمایی از پایدارسازی گود به روش سپرکوبی ۱۸۰
شکل (۳-۶۹) نمونه اجراشده سپر چوبی ۱۸۱
شکل (۳-۷۰) نمونه اجرا شده سپر بتنی ۱۸۱
شکل (۳-۷۱) نمونه اجراشده سپرکوبی فلزی ۱۸۲
شکل (۳-۷۲) پروفیل تغییرشکل دیوار و زمین (الف) گودبرداری بدون مهار جانبی، (ب) گودبرداری با مهارجانبی ۱۸۴
شکل (۳-۷۳) برایند نیروهای وارد بر سپر فلزی ۱۸۵
شکل (۳-۷۴) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی سپرکوبی ۱۸۸
شکل (۳-۷۵) خروجی مثال (۳-۶) توسط برنامه MATLAB ۱۹۱
شکل (۳-۷۶) اجزای خاک مسلح با ژئوگرید ۱۹۳
شکل (۳-۷۷) عناصر تشکیل دهنده دیوار خاک مسلح با تسمه ۱۹۴
شکل (۳-۷۸) نمونه‌ای از اجرای خاک مسلح با تسمه ۱۹۵
شکل(۳-۷۹) نمونه‌ای از دیوار حائل خاک مسلح ژئوگریدی ۱۹۵
شکل (۳-۸۰) تحلیل دیوار خاک مسلح (نشریه ۳۰۸) ۱۹۷
شکل (۳-۸۱) کنترل پایداری دیوار خاک مسلح (نشریه ۳۰۸) ۲۰۱
شکل (۳-۸۲) حالات ناپایداری کلی سازه و بارهای وارده (نشریه ۳۰۸) ۲۰۱
شکل (۳-۸۳) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی خاک مسلح با تسمه ۲۰۵
شکل (۳-۸۴) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی خاک مسلح با ژئوتکستایل ۲۰۵
شکل (۳-۸۵) خروجی مثال (۳-۷) توسط برنامه MATLAB ۲۰۸
شکل (۳-۸۶) نحوه تشکیل دیواره یخی (Han, 2009) ۲۱۰
شکل (۳-۸۷) گستره کاربرد روش‌های مختلف بهسازی برای خاک‌های با دانه‌بندی مختلف (Harris, 1995) ۲۱۰
شکل (۳-۸۸) نمونه‌ای از کاربرد روش انجماد در پایداری فضای زیرزمین ۲۱۱
شکل (۳-۸۹) روش غیر مستقیم انجماد خاک ۲۱۲
شکل (۳-۹۰) انجماد خاک به روش مستقیم با استفاده از نیتروژن مایع (Sivakumar, 2008) ۲۱۳
شکل (۳-۹۱) رابطه بین زمان موردنیاز انجماد و فاصله لوله‌های انجماد (Johansson, 2009) ۲۱۴
شکل (۳-۹۲) تخمین زمان موردنیاز در انجماد مستقیم (Johansson, 2009) ۲۱۵
شکل (۳-۹۳) رابطه بین حجم مورد نیاز نیتروژن و حجم خاک منجمد (Johansson, 2009) ۲۱۵
شکل (۳-۹۴) (الف) نمودار تنش-کرنش برای خاک با شرایط عادی- (ب) نمودار تنش-کرنش برای خاک منجمد ۲۱۶

شکل (۳-۹۵) (الف) تاثیر دما بر چسبندگی خاک یخ زده – (ب) تاثیر زمان بر چسبندگی خاک یخ زده ۲۱۷
شکل (۳-۹۶) تاثیر دما بر روی مقاومت فشاری و کششی خاک یخ زده (Jessberger, 1980) ۲۱۷
شکل (۳-۹۷) استفاده از روش غیرمستقیم انجماد خاک در نیورگاه هسته‌ای فوکوشیما ژاپن ۲۱۹
شکل (۳-۹۸) کاربرد روش انجماد خاک در مترو کوپنهاگن دانمارک (صعصعی و همکاران، ۱۳۹۵) ۲۱۹
شکل (۳-۹۹) حفر تونل خط متروی نیویورک ۲۲۰
شکل (۳-۱۰۰) حفر معدن نیکل و قلع با استفاده از روش انجماد خاک در کوبک کانادا ۲۲۰
شکل (۳-۱۰۱) اثر زمان روی مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده با آهک ۲۲۳
شکل (۳-۱۰۲) تعیین مقدار آهک بهینه برای فرایند تثبیت (Materials and Test Devision of Indiana) ۲۲۴
شکل (۳-۱۰۳) تاثیر مقدار پلیمر بر ضریب چسبندگی خاک ماسه‌ای و ماسه‌لای‌دار (Naeini and Mahdavi, 2010) ۲۲۶
شکل (۳-۱۰۴) تاثیر وجود لای بر چسبندگی خاک تثبیت شده با پلیمر (Naeini and Mahdavi, 2010) ۲۲۷
شکل (۳-۱۰۵) تاثیر پلیمر بر ضریب اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای و ماسه‌لای‌دار (Naeini and Mahdavi, 2010)..... ۲۲۷
شکل (۳-۱۰۶) نمایی از چگونگی تولید نانو مواد (Sanchez and Sobolev, 2010)..... ۲۲۹
شکل (۳-۱۰۷) عکس SEM بعد از افزودن نانوسیلیس به خاک و سیمان (Firoozi, 2015)..... ۲۳۱
شکل (۳-۱۰۸) نمونه‌ای از دستگاه SEM..... ۲۳۲
شکل (۳-۱۰۹) مراحل تهیه نمونه SEM ۲۳۳
شکل (۳-۱۱۰) نمونه EDX از کائولینیت ۲۳۴
شکل (۳-۱۱۱) نمونه عملکرد دستگاه AFM ۲۳۵
شکل (۳-۱۱۲) طرح شماتیک سیستم عیب یابی دستگاه AFM..... ۲۳۶
شکل (۳-۱۱۳) شماتیک وابستگی وضوح به نوک دستگاه..... ۲۳۶
شکل (۳-۱۱۴) نمونه دستگاه میکروسکوپ اتمی AFM ۲۳۷
شکل (۳-۱۱۵) آماده‌سازی کانی‌های رسی با ته نشینی به روش ثقلی ۲۳۸
شکل (۳-۱۱۶) شماتیک روش انجام XRD ۲۴۰
شکل (۳-۱۱۷) شماتیک دستگاه XRD..... ۲۴۱
شکل (۳-۱۱۸) نمونه دستگاه TEM ۲۴۳
شکل (۳-۱۱۹) نمونه تصویر TEM از تاثیر نانوسیلیس بر بتن (Lie et al, 2004) ۲۴۴
شکل (۳-۱۲۰) تاثیر افزودن نانو رس بر حدود اتربرگ خاک (طبرسا، ۱۳۹۶)..... ۲۴۵
شکل (۳-۱۲۱) تاثیر افزودن نانورس بر منحنی تراکم خاک (طبرسا، ۱۳۹۶)..... ۲۴۶
شکل (۳-۱۲۲) منحنی آزمایش تک محوری نمونه‌های تثبیت شده با نانو رس (طبرسا، ۱۳۹۶) ۲۴۶
شکل (۳-۱۲۳) اثر نانو رس بر چسبندگی خاک (طبرسا، ۱۳۹۶)..... ۲۴۷
شکل (۳-۱۲۴) منحنی شاخص رمبندگی خاک (معیار ابلف) با درصدهای مختلفی از نمک‌های سدیم‌کلرید و کلسیم .۲۴۸
شکل (۳-۱۲۵) منحنی شاخص رمبندگی خاک (معیار فدا) با درصدهای مختلفی از نمک‌های سدیم‌کلرید و کلسیم ...۲۴۹
شکل (۴-۱) ابعاد تقریبی دیوار وزنی برای طراحی اولیه (DAS, 1993) ۲۵۱
شکل (۴-۲)تاثیر هندسه دیوار بر جابه‌جایی لرزه‌ای دیوار (غفارپور جهرمی، ۱۳۹۶) ۲۵۲
شکل (۴-۳) تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک کف دیوار حائل بر جابه‌جایی لرزه‌ای دیوار (غفارپور جهرمی، ۱۳۹۶) ۲۵۲
شکل (۴-۴) تاثیر ضریب الاستیسیته خاک بر جابه‌جایی لرزه‌ای دیوار (غفار پور جهرمی، ۱۳۹۶) ۲۵۳
شکل (۴-۵) حداکثر جابه‌جایی بالای دیوار نسبت به سختی خاک (Kamal, 2015)..... ۲۵۳

شکل (۴-۶) تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاکریز بر جابه‌جایی لرزه‌ای دیوار (غفارپور جهرمی، ۱۳۹۶) ۲۵۴
شکل (۴-۷) فشار جانبی کولمب در حالت عادی و در حالت همراه با سربار (راهنمای طراحی دیوار حائل) ۲۵۷
شکل (۴-۸) نقطه اثر برایند فشارهای محرک (Das and Ramana, 2011) ۲۵۹
شکل (۴-۹) محل اثر نیروها بر اساس روش سید و وایتمن (Das and Ramana, 2011) ۲۵۹
شکل (۴-۱۰) نمودار جریان طراحی دیوار حائل (ضابطه نشریه ۳۰۸) ۲۶۲
شکل (۴-۱۱) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی دیوار حائل وزنی ۲۶۶
شکل (۴-۱۲) شماتیک یک نمونه دیوار حائل طره‌ای ۲۶۷
شکل (۴-۱۳) ابعاد تقریبی دیوار حائل طره‌ای برای طراحی اولیه (نشریه ۳۰۸) ۲۶۷
شکل (۴-۱۴) ملاحظات پایداری دیوارهای حائل طره‌ای (راهنمای طراحی دیوار حائل طره‌ای) ۲۶۹
شکل (۴-۱۵) نیروهای موردنیاز در تحلیل پایداری واژگونی دیوارهای حائل طره‌ای با کف افقی ۲۷۰
شکل (۴-۱۶) نمونه میلگردهای افقی حرارتی بکار رفته در دیوار ۲۷۳
شکل (۴-۱۷) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی دیوار حائل طره‌ای ۲۷۷
شکل (۴-۱۸) خروجی مثال (۱-۴) توسط برنامه MATLAB (با نقشه سازه‌ای) ۲۸۲
شکل (۴-۱۹) نمونه دیوارحائل طره‌ای پشت‌بنددار ۲۸۳
شکل (۴-۲۰) ابعاد دیوار حائل طره‌ای پشت‌بنددار (راهنمای طراحی دیوار حائل) ۲۸۳
شکل (۴-۲۱) ورودی برنامه MATLAB ساخته شده جهت طراحی دیوار حائل ۲۸۶
شکل (۴-۲۲) زهکشی دیوارهای حائل ۲۸۹

فراخوان مساعدت فرهنگی و علمی

خوانندهٔ فرهیخته و بزرگوار

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلّفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همّت خود را برای ارائهٔ کتابی درخور و شایستهٔ شما فرهیختهٔ گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیّت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

بااین‌وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائهٔ اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرّا از نقص و اِشکال دانست. ازسوی‌دیگر، این انتشارت بنابه تعهّدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلّم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، ازهرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشرهٔ خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا دراین راستا، از شما فرهیختهٔ گرامی تقاضا داریم درصورتی‌که حین مطالعهٔ کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شدهٔ خود را با هزینهٔ انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگهٔ جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگهٔ مزبور را با ذکر نام و شمارهٔ تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اِعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارترشدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهّدانه و مسئولانهٔ شما خوانندهٔ فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکّر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، درصورتی‌که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخهٔ دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شدهٔ آن و نیز از سایر کتب منتشرهٔ خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و درصورتی‌که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدّمهٔ چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

پیشگفتار

در سال‌های اخیر، رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای تهیه مسکن و توسعه صنعت ساختمان، با توجه به ساخت و ساز در شهرهای بزرگ، بدون رعایت مسائل زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی، مشکلات فنی و مهندسی زیادی را به همراه داشته که یکی از مهم‌ترین آن‌ها خاک‌های مسئله‌دار می‌باشد. خاک‌های مسئله‌دار، خاک‌هایی هستند که در پروژه‌های عمرانی مشکلات فنی و مهندسی زیادی از قبیل ریزش و یا ترک‌خوردگی ساختمان‌ها، نشست ناهمگون ساختمان، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی که در نقاط پست می‌تواند به دلیل ایجاد تورم ساختگاه مشکلاتی برای پی ساختمان‌ها به وجود آورد را به همراه دارند. از این‌رو این نوع خاک‌ها جهت آمادگی برای ساخت و ساز نیازمند بهسازی می‌باشند. در واقع بازسازی کنترل شده خاک درجا برای استفاده مجدد در یک ساختار جدید ژئوتکنیکی و یا بهبود وضعیت ساختار فعلی، از جمله اهداف بهسازی می‌باشد. این مهم به روش‌های متعددی انجام‌پذیر است.

کتاب حاضر شامل چهار فصل است. در فصل اول مقدمه‌ای بر شناسایی خاک‌های مسئله‌دار و اهداف استفاده از بهسازی خاک تشریح شده است. در فصل دوم روش‌های شناسایی خاک‌های مسئله‌دار با استفاده از روابط تجربی و آزمایشگاهی بیان گردیده است. فصل سوم شامل کلیه نکات اجرایی، طراحی و چگونگی انجام روش‌های پرکاربرد بهسازی خاک می‌باشد. در فصل چهارم نیز به بررسی استفاده از دیوارهای حائل در سازه‌ها و نکات اجرایی و طراحی آن‌ها پرداخته شده است. در ضمن مسائلی حل شده به روش عددی و همراه با کدنویسی روش طراحی در برنامه MATLAB به انتهای هر بخش از مطالب کتاب، جهت استفاده مهندسین گرامی آورده شده است.

و من ا.. التوفیق
مولفان

هشـــدار

کلّیهٔ حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلّفان و مصنّفان و هنرمنـدان مصوّب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامهٔ اجرایی آن مصوّب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصـراً متعلّـق بـه نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارهـا، جـداول، تصـاویر ایـن کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یـا قسـمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتـوکپی، اسـکن، تایـپ از کتـاب، تهیّـهٔ پـی دی اف از کتـاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار بـه‌صـورت اینترنتـی، سـی دی، دی وی دی، فـیلم، فایـل صوتی یا تصویری و غیره بـدون اجازهٔ کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و **شـرعاً نیـز حـرام** است، و متخلّفین تحت **پیگرد قانونی و قضایی** قرار می‌گیرند.

با توجّه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به‌صـورت فایـل ورد یـا پـی دی اف و مـوارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لـذا درصـورتی‌کـه هـر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتـب نشـر نـوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسـط کارشناسـان امـور اینترنتـی ایـن انتشارات، که مسئولیّت ادارهٔ سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و درصورت مشخص شدن هرگونه تخلّف، ضمن اینکه این کار از نظر قـانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قـانونی انتشـارات از طریـق وزارت فرهنـگ و ارشاد اسلامی، **پلیس فتا** (پلیس رسیدگی به جرایم رایانـه‌ای و اینترنتـی) و نیـز سـایر مراجـع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سـایت متخلّـف کـرده و طـیّ انجـام مراحـل قـانونی و اقـدامات قضایی، خاطیان را مـورد **پیگرد قانونی و قضـایی** قـرار داده و کلّیّـهٔ خسـارات وارده بـه ایـن انتشارات از متخلّف اخذ می‌گردد.

همچنین درصورتی‌که هر کتابفروشی، اقدام به تهیّـهٔ کپـی، جـزوه، چـاپ دیجیتـال، چـاپ ریسو، اُفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقـدام بـه فـروش آن نمایـد، ضـمن اطـلاع‌رسـانی تخلّفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مُوَزّعین محترم، از طریق وزارت فرهنـگ و ارشـاد اسلامی، اتحادیهٔ ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیـز مراجـع قـانونی و قضـایی اقـدام بـه استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلّف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیّه، استفاده و مطالعه از روی نسخهٔ غیراصلِ کتاب، از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهدهٔ هـر گونـه تخلّـف از قبیل مـوارد فـوق، مراتب را یا از طـریق تلفـن‌هـای انتشـارات نـوآور بـه شـماره‌هـای۲- ۶۶۴۸۴۱۹۱ ۰۲۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات بـه آدرس *info@noavarpub.com* و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت *www.noavarpub.com* به ایـن انتشـارات ابـلاغ نمایند، تا از تضییع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به‌عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکّر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در اکثر پروژه‌های عمرانی با انواع خاک‌ها و با مشخصات فنی متفاوت مواجه می‌شویم که بسیاری از این خاک‌ها جهت احداث سازه‌هایی با اهمیت زیاد مانند راهسازی، تونل و... نیازمند بهسازی می‌باشند. از این جمله می‌توان به خاک‌های مسئله‌دار اشاره نمود. خاک‌های مسئله‌دار خاک‌هایی بوده که در پروژه‌های عمرانی مشکلات فنی و مهندسی زیادی را به همراه دارند. در سال‌های اخیر، رشد جمعیت و افزایش تقاضا جهت تهیه مسکن و توسعه صنعت ساختمان، با توجه به ساخت و ساز در شهرهای بزرگ، بدون رعایت مسائل زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی، مشکلات فنی و مهندسی زیادی مانند ریزش و یا ترک خوردگی ساختمان‌ها، نشست ناهمگون ساختمان، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی که در نقاط پست می‌تواند به دلیل ایجاد تورم ساختگاه مشکلاتی برای پی ساختمان‌ها به‌وجود آورد را به همراه داشته باشند. خاک‌های مسئله‌دار انواع مختلفی داشته که مهم‌ترین آن‌ها شامل خاک‌های رمبنده، خاک‌های روانگرا، خاک‌های واگرا وخاک‌های متورم‌شونده می‌باشد.

خاک‌های رمبنده معمولاً ساختاری باز داشته و پیوند بین ذرات آن ضعیف می‌باشد. این خاک‌ها در شرایط آب و هوایی خشک، مستعد کاهش حجم چشم‌گیر در هنگام اشباع شدن هستند. نشست خاک‌های رمبنده در اثر اشباع شدن به کاهش ظرفیت باربری خاک‌های بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک منجر می‌شود. پراکندگی خاک‌های رمبنده شامل بسیاری از نقاط ایران از جمله شمال شرق، بخش قابل توجهی از جنوب (یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان)، اطراف تهران (ورامین) و زنجان می‌باشد.

پدیده روانگرایی خاک‌ها یکی از مشکلاتی است که در ساخت سازه‌های مختلف بر روی خاک‌های ماسه‌ای اشباع یا نزدیک به اشباع و همچنین خاک‌های دارای ثبات کم مانند لای، ماسه بسیار سست و بدون چسبندگی و خاک‌های رس بسیار حساس، رخ می‌دهد. اگر یک توده ماسه اشباع شل تحت لرزش‌های شدید ناشی از زلزله قرار گیرد، تمایل به تراکم و کاهش حجم خواهد داشت. اگر امکان زهکشی سریع این نهشته وجود نداشته باشد، امکان کاهش حجم فوری خاک وجود نداشته و در نتیجه فشار آب حفره‌ای سریعا افزایش خواهد یافت. با افزایش نوسانات، افزایش فشار آب حفره‌ای به حدی می‌رسد که با فشار سربار برابر شده و در نتیجه تنش موثر صفر می‌شود. از آنجایی‌که مقاومت برشی خاک‌های غیر چسبنده نسبت مستقیم با تنش موثر دارد، توده ماسه هیچگونه مقاومت برشی نداشته و در حالت آبگونگی قرار می‌گیرد.

خاک‌های واگرا، خاک‌های ریزدانه خاصی هستند که به محض تماس با آب، به سرعت شسته

می‌شوند. استفاده از این نوع خاک تا کنون منجر به خرابی‌های زیادی در سدهای خاکی و خاکریزها شده است. این خاک‌ها (که عموماً از نوع رس بوده) در صورت قرار گرفتن در معرض جریان آب، به سهولت شسته شده و فرسایش می‌یابند. در این گونه خاک‌ها با جریان یافتن آب در ترک‌های خاک، ذرات رس در آب معلق شده و فرسایش می‌یابند. یون سدیم قابل تعویض خاک، عامل اصلی ایجاد واگرایی در خاک‌های رسی می‌باشند. در این‌گونه خاک‌های ریزدانه ابتدا کانی‌های رسی در مجاورت آب دچار جداشدگی شده و ترک‌های ریزی در پیکره کانی‌های رسی مجتمع ایجاد می‌شود. سپس با جریان یافتن آب به داخل این شکاف‌های ریز فرسایش مکانیکی نیز ایجاد می‌گردد. در مراحل بعدی با گسترش این شکاف‌ها آب شستگی یا رگاب و نهایتاً موجب فرسایش شدید و تخریب سازه می‌گردد. بدین‌ترتیب واگرایی را می‌توان یک پدیده فیزیکی-شیمیایی دانست که در آن عواملی مانند نوع کانی‌های تشکیل دهنده خاک‌های رسی، نوع و غلظت نمک‌های محلول در آب منفذی موثر، خصوصیات شیمیایی آب و دیگر عوامل موثر می‌باشد.

خاک‌های تورم‌پذیر خاک‌هایی هستند که در اثر افزایش رطوبت، تغییر حجم افزایشی قابل توجهی از خود بروز می‌دهند. فشار ناشی از تورم خاک‌ها می‌تواند موجب خرابی کامل ساختمان‌های سبک و پوشش کانال‌های آبیاری و کف‌سازی‌ها شود. در واقع این خاک‌ها در جهت کاملاً مخالف با فرایند تحکیم عمل می‌کنند، یعنی به‌جای از دست دادن آب و کاهش حجم، آب را جذب کرده و افزایش حجم پیدا می‌کنند. عوامل متعددی از جمله رطوبت، نسبت تخلخل اولیه، نوع کانی‌های رسی، واحدهای درشت ساختاری و همینطور سربار موجود، در پتانسیل تورمی یک خاک متورم شونده نقش دارند. تغییر حجم این گونه خاک‌ها عمدتاً تحت تاثیر مقدار و نوع کانی‌های رسی قرار دارد، به طوری که تغییر حجم در مقیاس‌های زیاد همواره با وجود مقادیر بسیار زیادی از رس‌های فعال همراه می‌باشد. وقتی‌که این خاک‌ها در اثر کاهش رطوبت خشک می‌شوند، پدیده انقباض روی داده و افزایش رطوبت بعدی موجب تورم آن‌ها و در نتیجه جذب آب حفره‌ای می‌گردد.

بهسازی خاک، اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی یک خاک جهت تامین یک رشته اهداف از پیش تعیین‌شده می‌باشد. جهت بهسازی خاک روش‌های گوناگونی بر اساس خاک منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شده که می‌توان به تراکم سطحی، تراکم دینامیکی، روش‌های ارتعاشی عمیق، اختلاط عمیق، تزریق در خاک، استفاده از ریزشمع‌ها، الکترواسمزی، انجماد، خاک مسلح، انفجار و افزودن انواع مواد از قبیل: سیمان، نانو، پلیمر، قیر وافزودنی‌های شیمیایی نوین و سایر افزودنی‌ها اشاره نمود که انتخاب هریک از این روش‌ها بستگی به عوامل متعددی از جمله نوع خاک، درصد ریزدانه، مساحت و عمق بهسازی، مقاومت و تراکم‌پذیری خاک مورد مطالعه، نوع تجهیزات، مصالح و هزینه بهسازی دارد. اهداف متفاوتی نیز برای بهسازی خاک وجود دارند که می‌توان به افزایش ظرفیت باربری، افزایش پایداری، کاهش نفوذپذیری و کاهش نشست اشاره نمود.

فصل دوم

شناسایی خاک‌های مسئله‌دار

۲-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی سبب افزایش ساخت‌وساز در شهرها شده است. خاک‌های مسئله‌دار، خاک‌هایی هستند که در پروژه‌های عمرانی مشکلات فنی و مهندسی زیادی در حین ساخت یا هنگام بهره‌برداری آن، همچون ریزش و یا ترک خوردگی ساختمان‌ها، نشست ناهمگون را برای پی ساختمان‌ها می‌تواند به‌وجود آورد که نتیجه آن، تخریب موضعی و یا از بین رفتن کل سازه می‌باشد. این خاک‌ها دارای خصوصیاتی مانند ظرفیت باربری کم و مقاومت برشی پایین هستند. عدم بهسازی خاک‌های مسئله‌دار می‌تواند سبب آسیب دیدن سازه‌های موجود روی آن‌ها مانند روسازی راه‌ها، فرودگاه‌ها، ساختمان‌های بلندمرتبه و ... شود. برخی از انواع مهم خاک‌های مسئله‌دار شامل خاک‌های رمبنده، خاک‌های واگرا، خاک‌های روانگرا و خاک‌های متورم‌شونده می‌باشد که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۲- خاک رمبنده

در طبیعت خاک‌هایی یافت می‌شوند که تحت تنش یکسان، با افزایش درصد رطوبت میزان کاهش حجم بسیاری از خود نشان می‌دهند. این‌گونه خاک‌ها که بیشتر در نواحی گرم و خشک و مناطق بیابانی یافت می‌شوند، به خاک‌های رمبنده موسوم هستند. میزان رمبندگی ایجاد شده، بیشتر وابسته به نسبت تخلخل اولیه خاک می‌باشد. خاک‌های رمبنده، نهشته‌های سیلتی تشکیل یافته تحت شرایط آب و هوایی خشک، مستعد کاهش حجم قابل ملاحظه در هنگام مرطوب شدن هستند. عوامل اصلی ایجاد رمبندگی، عبارتند از: تخلخل بالا (بیش از ۴۰٪)، درجه اشباع پائین (زیر ۶۰٪)، میزان لای بالا (بیش از ۳۰٪، گاهاً تا ۹۰٪) و نرم‌شدگی سریع در آب (زمان باز شدگی نمونه‌های بادرفتی با فروریزش بالا کمتر از ۱دقیقه است). بنابراین نفوذ آب سطحی، نشت آب از لوله‌ها و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی ممکن است باعث به‌وقوع پیوستن نشست‌های زیاد و رمبندگی خاک گردد.

خاک‌های رمبنده از لحاظ ترکیب، خصوصیات فیزیکی، عمق توده ریزشی و تغییرشکل متفاوت بوده و عموما توسط لایه‌های کم رطوبت، تخلخل بالا و قابلیت ریزش شناخته می‌شوند. مهم‌ترین متغیرهای موثر در ارزیابی پتانسیل ریزش در آن‌ها شامل وزن مخصوص خشک، درصد رطوبت اولیه، درصد رس، درصد ماسه و ضریب یکنواختی می‌باشد. برای احداث سازه روی خاک‌های رمبنده، حذف خصوصیات ریزشی خاک در سرتاسر منطقه مورد نظر و در طول و عمق توده ریزشی به‌وسیله حذف رطوبت و عوامل موثر بر ریزش خاک، ضروری است. این نوع از خاک‌ها به رطوبت حساس بوده و در اثر

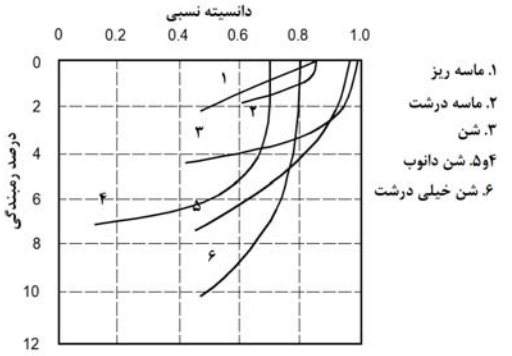
افزایش رطوبت محتوای اولیه دچار کاهش حجم شده و فرایند ریزش آن‌ها آغاز می‌شود. به این ترتیب، چنان‌چه شناسایی مشخصات تراکم و کنترل خاک‌های رمبنده به درستی انجام نگیرد، ممکن است این توده از خاک‌ها به رطوبت حساسیت نشان دهند، به‌طوریکه چنان‌چه تراکم خاک تحت چگالی کم و خشکی متوسط قرار گیرد، بیشترین قابلیت برای چگالش تحت رطوبت ایجاد می‌شود.

۲-۲-۱- عوامل موثر بر میزان رمبندگی خاک

عوامل تاثیرگذار در فروریزش خاک‌های رمبنده شامل دانسیته نسبی، درصد ذرات تشکیل دهنده خاک، درصد رطوبت، دانسیته خشک، عوامل سیمانی کننده، دست‌خوردگی نمونه، درجه اشباع اولیه، اندرکنش شیمیایی آب و خاک می‌شود. در ادامه به تفصیل برخی از این عوامل پرداخته می‌شود.

دانسیته نسبی

بررسی نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده، نشان می‌دهد که بین درصد رمبندگی خاک و دانسیته نسبی آن ارتباط مشخصی وجود دارد. این ارتباط برای خاک‌های مختلف در شکل(۲-۱) نشان داده است. به‌طوری که ملاحظه می‌شود هر چه مقدار دانسیته نسبی خاک کمتر شود مقدار درصد رمبندگی آن بیشتر خواهد شد.

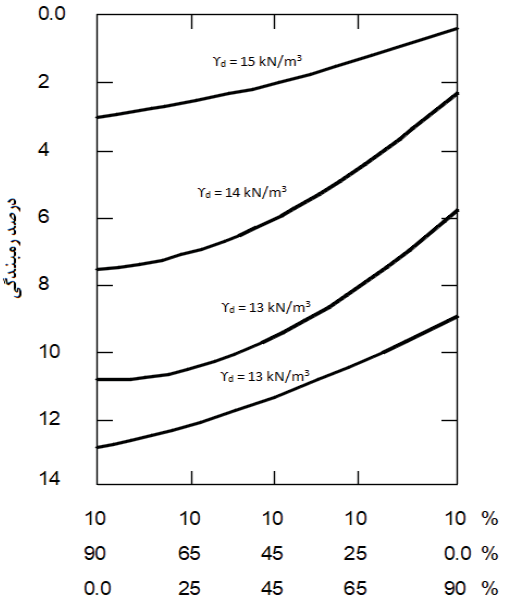


شکل (۲-۱) رابطه بین دانسیته نسبی و میزان رمبندگی خاک (Sohby, 1987)

درصد ذرات تشکیل دهنده خاک رمبنده

خاک‌های رمبنده ترکیبی از ماسه، سیلت و رس می‌باشند. صحبی و همکاران (Sohby et al)، به منظور بررسی آزمایشگاهی تأثیر نسبت درصدهای مختلف ذرات ماسه و سیلت، در میزان رمبندگی خاک‌ها ترکیبی از خاک با درصدهای متفاوت از ذرات ماسه و سیلت و درصد ثابت ذرات رس را در نظر گرفته‌اند. رطوبت اولیه خاک ۵٪ و دانسیته خشک خاک در چهار حالت (۱۲ تا ۱۵ کیلونیوتن بر

مترمکعب) در نظر گرفته شده است. همان‌طور که از نمودار شکل(۲-۲) مشخص است، با افزایش مقدار سیلت یا کاهش مقدار ماسه میزان رمبندگی خاک بین ۳ تا ۷ درصد کاهش می‌یابد.



شکل (۲-۲) تأثیر نسبت درصدهای مختلفی از ذرات ماسه و سیلت بر رمبندگی خاک(Sohby, 1987)

بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که حداکثر مقدار رمبندگی خاک در حالتی اتفاق می‌افتد که خاک ماسه‌ای دارای مقدار رس نسبتاً پایینی باشد. این موضوع را به این صورت می‌توان بیان کرد که درجه گردگوشه بودن ذرات خاک در غلتیدن و لغزش ذرات روی هم تاثیر اساسی دارند و با توجه به گرد گوشه بودن ماسه در مقابل سیلت که ذرات آن نسبتاً گوشه‌دار هستند، غلتیدن ذرات ماسه روی هم، آسان‌تر از ذرات سیلت روی هم خواهد بود و در خاک‌های ماسه‌ای و سیلتی که درصد کمی رس داشته باشند رس‌ها نقش پوشاننده ذرات ماسه و سیلت را برعهده دارند و باعث اتصال این ذرات با یکدیگر شده و حداکثر میزان رمبندگی در حالتی است که خاک ماسه‌ای و سیلت فاقد رس باشند.

تاثیر دست‌خوردگی نمونه

تجربه‌های به‌دست آمده در دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که روش نمونه‌گیری تأثیر اساسی در رفتار خاک‌های رمبنده دارد. برای این منظور مقایسه‌ای، بین نمونه‌های لس به‌دست آمده توسط

چگالی خشک

محدوده چگالی خشک در محدوده بسیار پایین تا پایین متغیر است. چگالی پایین ناشی از نسبت تخلخل و پوکی می‌باشد. چگالی خشک توده‌ای لس ناپایدار (همانند لس پئورین) بین ۱/۳۴ تا ۱/۵۵ گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر است. کلونجر (Clevenger, 1959) دریافت که چگالی لس دست نخورده در "میسوری بیسین" مقدار کمتر بوده و در محدوده ۱/۲ تا ۱/۳۶ گرم بر سانتیمترمکعب قرار دارد. هرگاه این مصالح مرطوب شده یا متراکم گردد، چگالی افزایش یافته و گاهی تا ۱/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب نیز می‌رسد.

نسبت تخلخل و پوکی

در مورد برخی از لس‌های رمبنده در چین نسبت تخلخل از ۰/۸۱ تا ۰/۸۹و پوکی از ۴۵ تا ۴۷ درصد متغیر است. با بررسی لس‌ها در لیبی، نسبت تخلخل ۰/۸۴ تا ۰/۹۱ به‌دست آمده است. ملاحظه می‌گردد که مقادیر به‌دست آمده نزدیک به هم می‌باشند و می‌توان همین محدوده را به عنوان محدوده نسبت تخلخل لس‌ها در نظر گرفت (Pye, 1995).

خواص خمیری

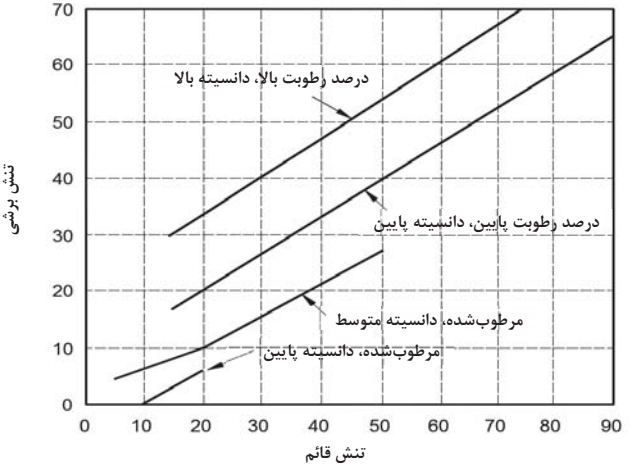
در خاک‌های لس رمبنده خاصیت خمیری از کم تا متوسط متغیر است، خاصیت خمیری در این خاک‌ها با افزایش درصد رس افزایش می‌یابد. گیبس (Gibbs, 1969) دریافتند که حدود روانی در محدوده ۲۵ تا ۳۵ درصد و مقادیر استثنایی برای لس‌های رسی تا ۴۵ درصد متغیر است. مقادیر شاخص خمیری گزارش شده بین ۵ تا ۲۲ درصد برای لس‌های رمبنده می‌باشد.

حد روانی

گریم، تعریف جدیدی از حدروانی مخصوص خاک رمبنده ارائه کرد، از نظر وی درجه رطوبتی که ذرات خاک حالت طبیعی خود را حفظ کنند ولی نیروی پیوند دهنده بین ذرات وجود نداشته باشد را حدروانی خاک می‌نامند. به‌طورکلی در خاک‌های رمبنده، خصوصاً در لس‌ها، با درصد رس پایین اگر رطوبت طبیعی خاک به رطوبت خاک در حد روانی نزدیک باشد باعث به هم خوردن اسکلت خاک و از بین رفتن استحکام آن می‌شود. گیبس و بارا (Gibbs and Brar, 1969) نشان دادند که اگر رطوبت خاک بیش از رطوبت حدروانی باشد، خاک تحت بار خارجی وارده، دچار رمبندگی خواهد شد.

مقاومت برشی

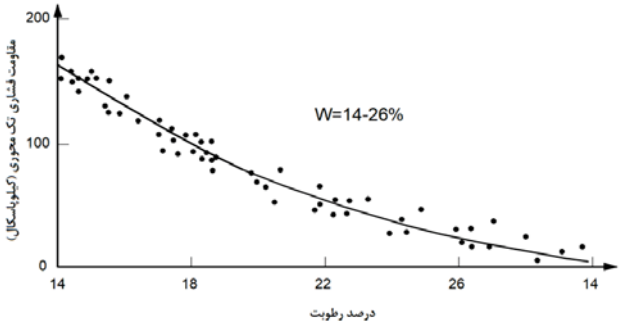
براساس تحقیقات انجام شده توسط کلونجر، مقاومت برشی لس‌ها در درصد رطوبت طبیعی قابل توجه می‌باشد. در رطوبت پایین، لس‌ها به علت قفل‌شدگی ذرات خاک و سیمان‌شدگی، دارای ضرائب مقاومت برشی (C و φ) بالایی هستند. شکل شماره (۲-۴) تأثیر مرطوب شدگی خاک با دانسیته‌های مختلف را بر پارامترهای مقاومت برشی خاک نشان می‌دهد.



شکل (۲-۴) تاثیر مرطوب شدگی خاک با دانسیته متفاوت بر روی پارامترهای مقاومت برشی (Bell, 2002)

مقاومت تک محوری

بر طبق نظر میلوویچ، مقاومت فشاری تک‌محوری لس‌ها در حالتی که خاک دچار هوازدگی نشـده و در بالای سطح آب‌های زیرزمینی قرار داشته باشند، به چند صد کیلو نیوتن بر متر مربع می‌رسد. شـکل (۲-۵) ارتباط بین مقاومت فشاری تک محوری q_u و درصد رطوبت اولیه w خاک‌های لس دست نخورده را نشان می‌دهد که با افزایش مقدار رطوبت خاک مقاومت فشاری خاک کاهش می‌یابد.



شکل (۲-۵) ارتباط بین مقاومت فشاری تک محوری q_u و درصد رطوبت w برای لس‌های دست نخورده (Pye, 1995)