

۲۰۸۹۹۹۲



راهنمای جامع

آزمایشگاه مکانیک خاک،
مهندسی خاک و ژئوتکنیک

شامل ۵۰۰۰ نکته فنی و کارشناسی



مؤلف: مهندس داریوش مرادی

(کارشناس ارشد آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی)

تحت نظارت و مشاوره فنی: دکتر علی فاخر

(عضو هیأت علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران و کمیته‌های تخصصی مهندسی عمران)



سرشناسه:	مرادی، داریوش، ۱۳۴۹-
عنوان و نام پدیدآور:	راهنمای جامع آزمایشگاه مکانیک خاک، مهندسی خاک و ژئوتکنیک.../ مولف داریوش مرادی.
مشخصات نشر:	تهران: نوآور، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری:	۳۶۸ ص.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۶۰-۹
وضعیت فهرست نویسی:	فیبا
موضوع:	مکانیک -- آزمایش ها -- mechanics -- Experiments Soil
موضوع:	مهندسی ژئوتکنیک -- Geotechnical engineering
موضوع:	زمین شناسی مهندسی -- Engineering geology
رده بندی کنگره:	TAY۱۰
رده بندی دی سی:	۶۲۴/۱۵۱۳۶۰۷۸
شماره کتبشناسی ملی:	۵۹۷۰۳۶۴

راهنمای جامع

آزمایشگاه مکانیک خاک،

مهندسی خاک و ژئوتکنیک



نشر نوآور

مؤلف: مهندس داریوش مرادی

ناشر: نوآور

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۸

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۶۰-۹

قیمت به همراه DVD: ۷۵۰۰۰ تومان

مرکز پخش:

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

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و
مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصرأ متعلق به نشر
نوآور می باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل
هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع
انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، 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 می گیرند.

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/

فہرست مطالب

رسوب گذاری (هیدرومتری) ۴۴

۱. محدوده کاربرد ۴۴

۲. تعاریف ۴۶

۳. خلاصه‌ای از روش آزمون ۴۷

۴. اهمیت و کاربرد ۴۷

۵. آماده‌سازی نمونه آزمون ۴۸

۶. رابطه کالیبراسیون ۴۹

۷. شرح روش آزمون ۵۱

۸. محاسبات ۵۲

۹. گزارش ۵۵

۱۰. دقت و خطا ۵۶

فصل پنجم / روش آزمون استاندارد برای تعیین مشخصات واگرای خاک رس با استفاده از هیدرومتری دوگانه (مضاعف) ۵۷

۱. حدود کاربرد ۵۷

۲. تعاریف ۵۷

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۵۷

۴. منابع ۵۸

۵. گزارش ۵۸

ع نکات فنی و کاشی مرتبط با آزمون ۵۸

فصل ششم / روش‌های آزمون استاندارد برای
تعیین حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری
خاک‌ها ۶۰

۱. محدوده کاربرد ۶۰

۲. تعاریف ۶۱

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۶۲

۴. محاسبات ۶۵

۵. گزارش ۶۸

۶ نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۶۸

۹. مقدمه

۱۰. پیشگفتار

بخش اول / آزمایشات آزمایشگاهی ۱۵
فصل اول / نمونه‌برداری از مصالح سنگی ۱۶
۱. نمونه‌برداری ۱۶
۲. دستور عمل ۱۶
۳. تعداد و وزن نمونه‌های صحرائی ۱۸
۴. نحوه انتقال نمونه‌ها ۱۹
۵. نکات فنی و کارشناسی ۲۰

فصل دوم / روش آزمون است. باید به این تعیین
آزمایشگاهی درصد رطوبت وزنی خاک و سنگ ... ۲۲

۱. محدوده کاربرد ۲۲

۲. تعاریف ۲۲

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۲۲

۴. محاسبات ۲۳

۵. گزارش ۲۳

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۲۳

فصل سوم / روش آزمون استاندارد برای تحلیل
ابتدایه ذرات خاک‌ها (دانه‌بندی) ۲۷

۱. محدوده کاربرد ۲۷

۲. تعاریف ۲۷

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۲۸

۴. محاسبات ۲۹

۵. گزارش ۳۳

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۳

فصل چهارم / روش آزمون استاندارد برای توزیع اندازۀ ذرات خاک‌های ریزدانه با استفاده از تحلیل



۳. شرح مختصری از روش آزمون ۱۱۴
 ۴. محاسبات ۱۱۵
 ۵. گزارش ۱۱۵
 ۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۱۶

فصل یازدهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین دانسیته و وزن مخصوص خاک در محل، با استفاده از روش بطری ماسه ۱۱۹

۱. محدوده کاربرد ۱۱۹
 ۲. شرح مختصری از روش آزمون ۱۱۹
 ۳. محاسبات ۱۲۰
 ۴. گزارش ۱۲۱
 ۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۲۲

فصل دوازدهم / روش آزمون استاندارد برای شناسایی و طبقه‌بندی خاک‌های رس و اگر با استفاده از آزمایش Pin Hole (سوراخ سوزنی) ۱۳۱

۱. محدوده کاربرد ۱۳۱
 ۲. تعاریف ۱۳۱
 ۳. شرح مختصری از روش آزمون ۱۳۱
 ۴. محاسبات ۱۳۳
 ۵. گزارش ۱۳۵
 ۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۳۶

فصل سیزدهم / روش آزمون استاندارد برای اندازه‌گیری پتانسیل رهمندگی خاک‌ها ۱۳۸

۱. محدوده کاربرد ۱۳۸
 ۲. تعاریف ۱۳۸
 ۳. شرح مختصری از روش آزمون ۱۳۹
 ۴. محاسبات ۱۳۹
 ۵. گزارش ۱۴۰
 ۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۴۱

فصل چهاردهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین نفوذپذیری خاک‌های دانده‌ای (بار

فصل هفتم / روش آزمون استاندارد برای تعیین مشخصات تراکم آزمایشگاهی خاک ۷۶

۱. محدوده کاربرد ۷۶
 ۲. تعاریف ۷۶
 ۳. شرح مختصری از روش آزمون ۷۷
 ۴. محاسبات ۷۹
 ۵. گزارش ۸۰
 ۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۸۱

فصل هشتم / روش آزمون استاندارد برای تعیین CBR (نسبت باربری) آلیفر خاک‌های متراکم شده در آزمایشگاه ۹۳

۱. محدوده کاربرد ۹۳
 ۲. شرح مختصری از روش آزمون ۹۳
 ۳. محاسبات ۹۳
 ۴. گزارش ۹۶
 ۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۹۷
 ۶. نکات فنی و کارشناسی برای ارزیابی آزمایش و گزارش CBR ۱۰۲

فصل نهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین چگالی ویژه (وزن مخصوص نسبی) ذرات جامد خاک با استفاده از پیکنومتر ۱۰۸

۱. محدوده کاربرد ۱۰۸
 ۲. تعاریف ۱۰۸
 ۳. شرح مختصری از روش آزمون ۱۰۸
 ۴. محاسبات ۱۰۹
 ۵. گزارش ۱۱۱
 ۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۱۱

فصل دهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین ارزش ماسه‌ای خاک‌ها و مصالح سنگی ریزدانه ۱۱۴

۱. محدوده کاربرد ۱۱۴
 ۲. تعاریف ۱۱۴

۱۷۴.....	۵. گزارش.....
۱۷۵.....	۶ نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل هجدهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین ضریب اصطکاک خاک و ژئوسیتیک یا ژئوسیتیک و ژئوسیتیک با استفاده از دستگاه برش مستقیم..... ۱۹۰	
---	--

۱۹۰.....	۱. محدوده کاربرد.....
۱۹۰.....	۲. تعاریف.....
۱۹۱.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....
۱۹۳.....	۴. تجهیزات آزمایش.....
۱۹۴.....	۵. محاسبات.....
۱۹۷.....	۶. گزارش.....
۱۹۷.....	۷. دقت و خطا.....

فصل نوزدهم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش فشاری سه محوری در خاکها به روش های CU و UU..... ۱۹۸	
--	--

۱۹۸.....	۱. محدوده کاربرد.....
۱۹۹.....	۱. تعاریف.....
۱۹۹.....	۲. شرح مختصری از روش آزمون.....
۲۰۶.....	۴. محاسبات.....
۲۰۹.....	۵. گزارش.....
۲۱۰.....	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل بیستم / روش آزمون استاندارد برای تعیین ویژگی های تحکیم یک بعدی خاکها با استفاده از روش بارگذاری افزایشی..... ۲۳۵	
--	--

۲۳۵.....	۱. محدوده کاربرد.....
۲۳۶.....	۲. تعاریف.....
۲۳۷.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....
۲۳۹.....	۴. محاسبات.....
۲۴۲.....	۵. گزارش.....
۲۴۳.....	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

ثابت) و دستورالعمل تعیین نفوذپذیری خاکهای ریزدانه (بار افتان)..... ۱۴۳	
--	--

۱۴۳.....	۱. محدوده کاربرد.....
۱۴۳.....	۲. تعاریف.....
۱۴۴.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....
۱۴۵.....	۴. محاسبات.....
۱۴۷.....	۵. گزارش.....
۱۴۷.....	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل پانزدهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین توزیع یا نشانه یک بعدی خاکهای چسبنده..... ۱۵۶	
--	--

۱۵۶.....	۱. محدوده کاربرد.....
۱۵۶.....	۲. تعاریف.....
۱۵۷.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....
۱۵۹.....	۴. محاسبات.....
۱۶.....	۵. گزارش.....
۱۶.....	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل شانزدهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین مقاومت فشاری محصورنشده خاک چسبنده..... ۱۶۳	
---	--

۱۶۳.....	۱. محدوده کاربرد.....
۱۶۴.....	۲. تعاریف.....
۱۶۴.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....
۱۶۵.....	۴. محاسبات.....
۱۶۶.....	۵. گزارش.....
۱۶۷.....	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل هفدهم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش برش مستقیم خاکها..... ۱۷۱	
---	--

۱۷۱.....	۱. محدوده کاربرد.....
۱۷۳.....	۲. تعاریف.....
۱۷۳.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....
۱۷۴.....	۴. محاسبات.....

۶ نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۲۸۴

فصل پنجم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش

بارگذاری صفحه‌ای ۲۸۹

۱. محدوده کاربرد ۲۸۹

۲. تعاریف ۲۹۰

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۲۹۱

۴. محاسبات ۲۹۲

۵. آزمایش تعیین مدول عکس‌العمل لایه‌های بستر

..... ۲۹۳

۶ نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۲۹۶

فصل ششم / روش آزمون استاندارد برای تعیین

مقاومت برشی نمونه‌های سنگی با شرایط طبیعی

محل (برش برجا) و مصالح خاکی ۲۹۹

۱. اهمیت و محدوده کاربرد ۲۹۹

۲. روش و تعداد انجام آزمایش ۳۰۰

۳. عمق انجام آزمایش ۳۰۰

۴. آماده‌سازی ۳۰۱

۵. ابعاد ۳۰۱

۶. خروجی و تفسیرات انجام آزمایش ۳۰۱

فصل هفتم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش

برش پره صحرایی در خاک ۳۰۳

۱. محدوده کاربرد ۳۰۳

۲. تعاریف ۳۰۴

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۳۰۴

۴. محاسبات ۳۰۶

۵. گزارش ۳۰۷

۶ نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۰۷

فصل هشتم / روش آزمون استاندارد برای

اندازه‌گیری صحرایی مقاومت الکتریکی خاک، با

استفاده از روش چهار الکترودی و غیره ۳۱۱

۱. محدوده کاربرد ۳۱۱

بخش دوم / آزمایشات صحرایی .. ۲۶۳

فصل اول / مقدمه‌ای بر آزمایش‌های صحرایی

مطالعات مکانیک خاک و خدمات ژئوتکنیک

..... ۲۶۴

۱. محدوده کاربرد ۲۶۴

۲. پیوست‌ها ۲۶۵

فصل دوم / روش آزمون استاندارد برای تعیین

CBR (نسبت بار به کالیفرنیا) خاک‌ها در محل ۲۷۰

۱. محدوده کاربرد ۲۷۰

۲. شرح مختصری از روش آزمون ۲۷۰

۳. محاسبات ۲۷۱

۴. گزارش ۲۷۱

۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۲۷۳

فصل سوم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش

ضربه و نفوذ استاندارد SPT ۲۷۴

۱. محدوده کاربرد ۲۷۴

۲. تعاریف ۲۷۴

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۲۷۵

۴. گزارش ۲۷۶

۵. محاسبات ۲۷۶

۶. تکرارپذیری آزمون SPT ۲۷۸

۷. بهره‌برداری‌های مستقیم از نتایج SPT در ژئوتکنیک

..... ۲۷۸

۸. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۲۷۸

فصل چهارم / روش آزمون استاندارد مربوط به

آزمایش‌های نفوذ مخروط اصطکاکی و مخروط شبه

استاتیکی در خاک ۲۸۲

۱. محدوده کاربرد ۲۸۲

۲. اصطلاحات مرتبط با آزمون ۲۸۳

۳. ملاحظات ۲۸۳

۴. گزارش ۲۸۳

۵. دقت و خطا ۲۸۴



۳۲۸.....	۱. محدوده کاربرد
۳۳۰.....	۲. شرح مختصری از روش آزمون
۳۳۱.....	۳. محاسبات
۳۳۳.....	۴. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل دوازدهم / روش آزمون استاندارد تعیین نفوذپذیری در توده‌های سنگی درزه‌دار با آزمایش فشار آب (لوزان)..... ۳۳۴

۳۳۴.....	۱. محدوده کاربرد
۳۳۵.....	۲. تعاریف
۳۳۵.....	۳. ملاحظات مهم
۳۳۷.....	۴. شرح مختصری از روش آزمون
۳۳۷.....	۵. محاسبات
۳۳۸.....	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

پیوست الف / نکات فنی و مهندسی عمومی در مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک..... ۳۴۰

۳۵۵.....	۱. وسعت ب / جداول کاربردی در آزمایش‌های مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک
۳۶۶.....	۲. منابع و مآخذ

۳۱۲.....	۲. تعاریف
۳۱۲.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون
۳۱۳.....	۴. محاسبات
۳۱۴.....	۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل نهم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش پرسیمتری در خاک‌ها..... ۳۱۵

۳۱۵.....	۱. محدوده کاربرد
۳۱۶.....	۲. ملاحظات مهم
۳۱۸.....	۳. شرح مختصری از روش آزمون
۳۱۹.....	۴. گزارش
۳۱۹.....	۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل دهم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش دیلاتومتری تخت (اسپا سنجی یا اتیساتسنجی)..... ۳۲۳

۳۲۳.....	۱. محدوده کاربرد
۳۲۴.....	۲. شرح مختصری از روش آزمون
۳۲۶.....	۳. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

فصل یازدهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین نفوذپذیری خاک‌ها و مصالح آبرفتی با روش لوفران..... ۳۲۸

اغلب، ۲ تا ۳ درصد هزینه کل پروژه‌های عمرانی، صرف مطالعات ژئوتکنیک و آزمایش‌های کنترل کیفی می‌گردد، که در صورت صحت و سلامت نتایج، ۹۸ درصد الباقی را با اطمینان، بیمه و ضمانت می‌نماید. برج پیزا، نمونه کاری بود که بدون مطالعات و انجام آزمایش‌های کنترلی، کج شد!

این کتاب، عمدتاً، با هدف نوعی بومی‌سازی در استانداردها و دستورالعمل‌ها، به عنوان ابزاری برای مهندسين اجرايي، محققين صحرایی، دانشجویان و دانش‌آموختگان مهندسی عمران، تهیه، تألیف و تدوین گردیده است. واژه بومی‌سازی استاندارد، به صورت کاربردی، در تمامی زوایای نوشتاری این کتاب، مشاهده می‌گردد.

به طور کلی، در این کتاب، بر روی جزئیات نکاتی که معمولاً به آسانی، برداشت غلطی از آنها در آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی می‌شود، تأکید فراوانی به عمل آمده است. بنابراین، مؤلف تلاش کرده است تا روش‌ها و نکاتی را برای اصلاح این گونه خطاها، به نحوی ارائه دهد، از طریق آنها بتوان نتایج غلط را مرتفع نمود.

اگرچه نشریات متعددی در ارتباط با مسائل تئوری آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی چاپ شده است، به طرز مستمر، تهیه و ارائه می‌گردد، لیکن، اکثر آنها، به ویرایش ترجمه تحت‌اللفظی مطالب و استانداردها پرداخته‌اند و تاکنون، شاهد اثری که مبتنی بر دخالت تجربه تخصصی آزمایشات و صنعت، بومی‌سازی دستورالعمل‌ها و استانداردها باشد، نبوده‌ایم. لذا، هنوز هم، مسائل ناگفته بسیاری در این زمینه‌ها وجود دارد.

کتاب حاضر، علاوه بر ارزش و آرایایی که برای خوانندگان دربردارد، بر اساس همین دیدگاه اخیر تهیه شده است، به نحوی که نتیجه ۲۶ سال عملیات آزمایشگاهی، در کنار استانداردهای بین‌المللی بومی‌شده تخصصی، اطلاعات تجویزات موجود، منجر به حصول نتایج قابل اعتماد در حوزه فنی و مهندسی می‌شود. انتظار می‌رود که کتاب حاضر، برای دانشجویان، دانش‌آموختگان مهندسی عمران، کارشناسان مکاتبات خاک و پی (ژئوتکنیک)، شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات آزمایشگاهی و مطالعات ژئوتکنیک، مهندسين مشاور و پیمانکاران مرتبط با عملیات خاکی و ... مفید واقع گردد، سهمی مؤثر در پیشبرد فعالیت‌های آنها برآورد.

از قبول زحمت اظهارنظر و بازبینی مطالب، توسط استاد فرهیخته و گرانقدر، جناب آقای دکتر علی فاخر، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از دقت نظر و زحمات بی‌شائبه سرکار خانم مهندس مریم مختاری ملک‌آبادی، در ترجمه متون استاندارد، تایپ، ویرایش و تصویرنگاری نیز صمیمانه سپاسگزارم. همچنین، از همکاری و محبت بی‌دریغ اخوان نصیرنیا (دفتر انتشارات وزین نوآور)، بینهایت ممنونم.

داریوش مرادی

Noavar33@yahoo.com