



راهنمای جامع

آزمایشگاه مکانیک خاک، مهندسی خاک و ژئوتکنیک

شامل ۶۰۰۰ نکته فنی و کارشناسی

ویرایش ۱۴۰۱ با تجدید نظر و اضافات



مؤلف: مهندس داریوش مرادی

(کارشناس ارشد ژئوتکنیک 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.
 مشخصات ظاهری: ۳۹۶ ص.
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۶۰-۹
 وضعیت فهرست نویسی: فیبا
 موضوع: خاک -- مکانیک -- آزمایش ها -- Soil -- Experiments -- mechanics
 موضوع: مهندسی ژئوتکنیک -- Geotechnical engineering
 موضوع: زمین شناسی مهندسی -- Engineering geology
 رده بندی کنگره: TAV10
 رده بندی دیویی: ۶۲۴/۱۵۱۳۶۰۷۸
 شماره کتابشناسی ملی: ۵۹۷۰۳۶۴

راهنمای جامع
 آزمایشگاه مکانیک خاک،
 مهندسی خاک و ژئوتکنیک



نشر نوآور

مؤلف: مهندس داریوش مرادی
 ناشر: نوآور
 شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
 مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۶۰-۹

مرکز بخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای
 ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸،
 طبقه اول، واحد ۳ 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 منحصراً 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/>

فهرست مطالب

۴. روش آزمون.....	۵۴	مقدمه.....	۹
۵. گزارش.....	۵۴	پیشگفتار.....	۱۰
فصل پنجم/ روش آزمون استاندارد برای توزیع اندازه ذرات خاک‌های ریزدانه با استفاده از تحلیل رسوب‌گذاری (هیدرومتری).....	۵۵	بخش اول / آزمایشات آزمایشگاهی.....	۱۵
۱. محدوده کاربرد.....	۵۵	فصل اول/ نمونه‌برداری از مصالح سنگی.....	۱۶
۲. تعاریف.....	۵۷	۱. محدوده کاربرد.....	۱۶
۳. خلاصه‌ای از روش آزمون.....	۵۸	۲. دستورالعمل‌های نمونه‌برداری.....	۱۶
۴. اهمیت و کاربرد.....	۵۸	۳. تعداد و وزن نمونه‌های صحرائی.....	۱۸
۵. آماده‌سازی نمونه آزمون.....	۵۹	۴. نحوه انتقال نمونه‌ها.....	۱۹
۶. رابطه کالیبراسیون.....	۶۰	۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون.....	۲۰
۷. شرح روش آزمون.....	۶۲	فصل دوم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین آزمایشگاهی درصد رطوبت وزنی خاک و سنگ.....	۲۳
۸. محاسبات.....	۶۳	۱. محدوده کاربرد.....	۲۳
۹. گزارش.....	۶۶	۲. تعاریف.....	۲۳
۱۰. دقت و خطا.....	۶۷	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....	۲۳
فصل ششم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین مشخصات واگرایی خاک رس با استفاده از هیدرومتری دوگانه (مضاعف).....	۶۸	۴. محاسبات.....	۲۴
۱. محدوده کاربرد.....	۶۸	۵. گزارش.....	۲۴
۲. تعاریف.....	۶۸	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون.....	۲۴
۳. شرح مختصری از روش آزمون.....	۶۸	فصل سوم/ روش آزمون استاندارد برای تحلیل اندازه ذرات خاک‌ها (دانه‌بندی قدیم).....	۲۸
۴. محاسبات.....	۶۹	۱. محدوده کاربرد.....	۲۸
۵. گزارش.....	۶۹	۲. تعاریف.....	۲۸
فصل هفتم/ روش آزمایشگاهی تخمین واگرایی خاک‌های رسی به روش کرامب.....	۷۰	۳. شرح مختصری از روش آزمون.....	۲۹
۱. هدف.....	۷۰	۴. محاسبات.....	۳۰
۲. الزامات.....	۷۰	۵. گزارش.....	۳۷
۳. تجهیزات.....	۷۱	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون.....	۳۷
۴. مواد و واکنش‌گرها.....	۷۱	فصل چهارم/ روش آزمون استاندارد توزیع اندازه ذرات خاک با الک (جدید).....	۵۰
۵. نمونه‌گیری و نمونه‌های آزمایش.....	۷۱	۱. اهمیت کاربرد.....	۵۰
۶. روش آزمایش.....	۷۲	۲. تجهیزات آزمایش.....	۵۱
۷. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون.....	۷۳	۳. نمونه برداری.....	۵۳

۵. گزارش ۱۲۵

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۲۵

فصل دوازدهم/ روش آزمون استاندارد برای

تعیین ارزش ماسه‌ای خاک‌ها و مصالح سنگی

ریزدانه (SE) ۱۲۸

۱. محدوده کاربرد ۱۲۸

۲. تعاریف ۱۲۸

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۱۲۸

۴. محاسبات ۱۲۹

۵. گزارش ۱۲۹

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۳۰

فصل سیزدهم/ روش آزمون استاندارد برای

تعیین دانسیته و وزن مخصوص خاک در محل،

با استفاده از روش بطری ماسه ۱۳۳

۱. محدوده کاربرد ۱۳۳

۲. شرح مختصری از روش آزمون ۱۳۳

۳. محاسبات ۱۳۴

۴. گزارش ۱۳۵

۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۳۶

فصل چهاردهم/ روش آزمون استاندارد برای

شناسایی و طبقه‌بندی خاکهای رس واگرا با

استفاده از آزمایش Pin Hole (سوراخ سوزنی)

..... ۱۴۵

۱. محدوده کاربرد ۱۴۵

۲. تعاریف ۱۴۵

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۱۴۵

۴. محاسبات ۱۴۷

۵. گزارش ۱۴۹

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۵۰

فصل هشتم/ روش‌های آزمون استاندارد برای تعیین

حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری

خاک‌ها ۷۴

۱. محدوده کاربرد ۷۴

۲. تعاریف ۷۵

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۷۶

۴. محاسبات ۷۹

۵. گزارش ۸۲

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۸۲

فصل نهم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین

مشخصات تراکم آزمایشگاهی خاک ۹۰

۱. محدوده کاربرد ۹۰

۲. تعاریف ۹۰

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۹۱

۴. محاسبات ۹۳

۵. گزارش ۹۴

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۹۵

فصل دهم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین

CBR (نسبت باربری کالیفرنیا) خاک‌های متراکم

شده در آزمایشگاه ۱۰۷

۱. محدوده کاربرد ۱۰۷

۲. شرح مختصری از روش آزمون ۱۰۷

۳. محاسبات ۱۰۸

۴. گزارش ۱۱۰

۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۱۱۱

۶. نکات فنی و کارشناسی برای ارزیابی آزمایش و گزارش

CBR ۱۱۵

فصل یازدهم/ روش آزمون استاندارد برای

تعیین چگالی ویژه (وزن مخصوص نسبی)

ذرات جامد خاک با استفاده از پیکنومتر ۱۲۲

۱. محدوده کاربرد ۱۲۲

۲. تعاریف ۱۲۲

۳. شرح مختصری از روش آزمون ۱۲۲

۴. محاسبات ۱۲۳

۳. شرح مختصری از روش آزمون..... ۱۸۳

۴. محاسبات..... ۱۸۳

۵. گزارش..... ۱۸۴

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون..... ۱۸۵

فصل نوزدهم/ روش آزمون استاندارد برای آزمایش برش مستقیم خاکها..... ۱۹۰

۱. محدوده کاربرد..... ۱۹۰

۲. تعاریف..... ۱۹۱

۳. شرح مختصری از روش آزمون..... ۱۹۱

۴. محاسبات..... ۱۹۳

۵. گزارش..... ۱۹۳

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون..... ۱۹۴

فصل بیستم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین ضریب اصطکاک خاک و ژئوسینتتیک یا ژئوسینتتیک و ژئوسینتتیک با استفاده از دستگاه برش مستقیم..... ۲۱۲

۱. محدوده کاربرد..... ۲۱۲

۲. تعاریف..... ۲۱۳

۳. شرح مختصری از روش آزمون..... ۲۱۳

۴. تجهیزات آزمایش..... ۲۱۵

۵. محاسبات..... ۲۱۶

۶. گزارش..... ۲۱۹

۷. دقت و خطا..... ۲۱۹

فصل بیست و یکم/ روش آزمون استاندارد برای آزمون فشاری سه محوری در خاکها به روشهای CU، CD و UU..... ۲۲۰

۱. محدوده کاربرد..... ۲۲۰

۲. تعاریف..... ۲۲۱

۳. شرح مختصری از روش آزمون..... ۲۲۱

۴. محاسبات..... ۲۲۸

۵. گزارش..... ۲۳۱

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون..... ۲۳۲

فصل پانزدهم/ روش آزمون استاندارد برای روش آزمون استاندارد برای پتانسیل رمبندگی خاکها..... ۱۵۲

۱. محدوده کاربرد..... ۱۵۲

۲. تعاریف..... ۱۵۲

۳. شرح مختصری از روش آزمون..... ۱۵۳

۴. محاسبات..... ۱۵۳

۵. گزارش..... ۱۵۴

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون..... ۱۵۵

فصل شانزدهم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین نفوذپذیری خاکهای دانه‌ای (بار ثابت) و دستورالعمل تعیین نفوذپذیری خاکهای ریزدانه (بار افتان)..... ۱۵۷

۱. محدوده کاربرد..... ۱۵۷

۲. تعاریف..... ۱۵۷

۳. شرح مختصری از روش آزمون..... ۱۵۸

۴. محاسبات..... ۱۵۹

۵. گزارش..... ۱۶۱

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون..... ۱۶۱

فصل هفدهم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین تورم یا نشست یکبُعدی خاکهای چسبنده..... ۱۷۳

۱. محدوده کاربرد..... ۱۷۳

۲. تعاریف..... ۱۷۳

۳. شرح مختصری از روش آزمون..... ۱۷۴

۴. محاسبات..... ۱۷۶

۵. گزارش..... ۱۷۷

۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون..... ۱۷۷

فصل هجدهم/ روش آزمون استاندارد برای تعیین مقاومت فشاری محصورنشده خاک چسبنده..... ۱۸۱

۱. محدوده کاربرد..... ۱۸۱

۲. تعاریف..... ۱۸۲

۷. بهره برداری‌های مستقیم از نتایج SPT در ژئوتکنیک ۳۰۶	فصل بیست و دوم / روش آزمون استاندارد برای تعیین ویژگی‌های تحکیم یک‌بعدی خاک‌ها با استفاده از روش بارگذاری افزایشی ۲۶۱
۸. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۰۶	۱. محدوده کاربرد ۲۶۱
فصل چهارم / روش آزمون استاندارد مربوط به آزمایش‌های نفوذ مخروط اصطکاکی و مخروط شبه استاتیکی در خاک ۳۱۰	۲. تعاریف ۲۶۲
۱. محدوده کاربرد ۳۱۰	۳. شرح مختصری از روش آزمون ۲۶۳
۲. اصطلاحات مرتبط با آزمون ۳۱۱	۴. محاسبات ۲۶۵
۳. ملاحظات ۳۱۱	۵. گزارش ۲۶۸
۴. گزارش ۳۱۱	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۲۶۹
۵. دقت و خطا ۳۱۲	بخش دوم / آزمایشات صحرایی ۲۹۱
۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۱۳	فصل اول / مقدمه‌ای بر آزمایش‌های صحرایی مطالعات مکانیک خاک و خدمات ژئوتکنیک ۲۹۲
فصل پنجم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش بارگذاری صفحه‌ای ۳۱۷	۱. محدوده کاربرد ۲۹۲
۱. محدوده کاربرد ۳۱۷	۲. پیوسته‌ها ۲۹۳
۲. تعاریف ۳۱۸	فصل دوم / روش آزمون استاندارد برای تعیین CBR (نسبت باربری کالیفرنیا) خاک‌ها در محل ۲۹۸
۳. شرح مختصری از روش آزمون ۳۱۹	۱. محدوده کاربرد ۲۹۸
۴. محاسبات ۳۲۰	۲. شرح مختصری از روش آزمون ۲۹۸
۵. آزمایش تعیین مدول عکس‌العمل لایه‌های بستر ۳۲۱	۳. محاسبات ۲۹۹
۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۲۴	۴. گزارش ۳۰۰
فصل ششم / روش آزمون استاندارد برای تعیین مقاومت برشی نمونه‌های سنگی با شرایط طبیعی محل (برش برجا) و مصالح خاکی ۳۲۷	۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۰۰
۱. اهمیت و محدوده کاربرد ۳۲۷	فصل سوم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش ضربه و نفوذ استاندارد SPT ۳۰۲
۲. محل و تعداد انجام آزمایش ۳۲۸	۱. محدوده کاربرد ۳۰۲
۳. عمق انجام آزمایش ۳۲۸	۲. تعاریف ۳۰۲
۴. ابعاد گالری ۳۲۹	۳. شرح مختصری از روش آزمون ۳۰۳
۵. ابعاد و تعداد جعبه آزمایش ۳۲۹	۴. گزارش ۳۰۴
۶. خروجی و تجهیزات انجام آزمایش ۳۲۹	۵. محاسبات ۳۰۴
فصل هفتم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش برش پره صحرایی در خاک چسبنده ۳۳۱	۶. تکرارپذیری آزمون SPT ۳۰۶
۱. محدوده کاربرد ۳۳۱	
۲. تعاریف ۳۳۲	



۳. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۵۴	۳. شرح مختصری از روش آزمون ۳۳۲
فصل یازدهم / روش آزمون استاندارد برای تعیین	۴. محاسبات ۳۳۴
نفوذپذیری خاک‌ها و مصالح آبرفتی با روش لوفران	۵. گزارش ۳۳۵
۳۵۶.....	۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۳۵
۱. محدوده کاربرد ۳۵۶	فصل هشتم / روش آزمون استاندارد برای
۲. شرح مختصری از روش آزمون ۳۵۸	اندازه‌گیری صحرائی مقاومت الکتریکی خاک، با
۳. محاسبات ۳۵۹	استفاده از روش چهار الکترودی و نبر ۳۳۹
۴. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۶۱	۱. محدوده کاربرد ۳۳۹
فصل دوازدهم / روش آزمون استاندارد تعیین	۲. تعاریف ۳۴۰
نفوذپذیری در توده‌های سنگی درزه‌دار با آزمایش	۳. شرح مختصری از روش آزمون ۳۴۰
فشار آب (لوژن) ۳۶۲	۴. محاسبات ۳۴۱
۱. محدوده کاربرد ۳۶۲	۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۴۲
۲. تعاریف ۳۶۳	فصل نهم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش
۳. ملاحظات مهم ۳۶۳	پرسیومتری در خاک‌ها ۳۴۳
۴. شرح مختصری از روش آزمون ۳۶۵	۱. محدوده کاربرد ۳۴۳
۵. محاسبات ۳۶۵	۲. ملاحظات مهم ۳۴۴
۶. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۶۶	۳. شرح مختصری از روش آزمون ۳۴۶
پیوست الف / نکات فنی و مهندسی عمومی در	۴. گزارش ۳۴۷
مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک ۳۶۸	۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون ۳۴۷
پیوست ب / جداول کاربردی در آزمایش‌های	فصل دهم / روش آزمون استاندارد برای آزمایش
مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک ۳۸۳	دیپلاتومتری تخت (اتساع‌سنجی یا
منابع و مأخذ ۳۹۴	انبساط‌سنجی) ۳۵۱
	۱. محدوده کاربرد ۳۵۱
	۲. شرح مختصری از روش آزمون ۳۵۲

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتایی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به کار 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 کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرا از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه 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 ویرایش‌شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات در ست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه 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

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 اجرایی، 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 این‌گونه خطاها، به نحوی ارائه دهد که از طریق آنها بتوان نتایج غلط را مرتفع نمود.

اگرچه کتب و نشریات متعددی در ارتباط با مسائل تئوری آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی خاک، به طور 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 مزایایی که برای خوانندگان دربردارد، بر اساس همین دیدگاه اخیر تهیه شده است، به نحوی که تجربه ۲۸ سال عملیات آزمایشگاهی، در کنار استانداردهای بین‌المللی بومی‌شده تخصصی، با انطباق تجهیزات موجود، منجر به حصول نتایج قابل اعتماد در حوزه فنی و مهندسی می‌شود. انتظار می‌رود که کتاب حاضر، برای دانشجویان، دانش‌آموختگان مهندسی عمران، کارشناسان مکانیک خاک و پی (ژئوتکنیک)، شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات آزمایشگاهی و مطالعات ژئوتکنیک، مهندسين مشاور و پیمانکاران مرتبط با عملیات خاکی و ... مفید واقع گردد و گامی مؤثر در پیشبرد فعالیت‌های آنها بردارد.

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 و جناب آقای مهندس محسن پروین 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

Darvishboss01@yahoo.com

جهت حصول نتایج درست و معتبر از توده‌های متنوع رفتاری، مانند خاک‌ها، نیاز به رعایت فلوچارتی خاص، به نام استاندارد یا دستورالعمل می‌باشد. التزام رعایت استاندارد نیز، نیازمند تدارک تجهیزات با مشخصات ویژه و کالیبره می‌باشد. تلفیق تجربیات عملی آزمایشات با دانش آکادمیک، می‌تواند قضاوت درستی در مهندسی عمران و به ویژه، نتایج آزمون عایدمان کند. در این کتاب، از اصل بومی‌سازی دستورالعمل‌های آزمایشات، به نحوی که از تمامی عوامل ایجاد خطا پرهیز شود، پیروی می‌گردد. برای روشن شدن موضوع، اشاره می‌دارم که صرفاً انجام عملی آزمایش، معیار نمی‌باشد و توجه به تمامی زوایای یک گزارش در اعلام نتیجه، می‌بایست مدنظر قرار گیرد. به عنوان مثال:

۱. آیا می‌دانید اگر نمونه‌گیری مصالح جهت آزمایشات، طبق استانداردهای AASHTO-T2 و ASTM-D75 انجام نشود، نتیجه آزمایش دومیلیون تومانی سه‌محوری CD، اعتباری ندارد؟ آیا اطلاع دارید که نمونه‌گیری از دیپوی خاک ماسه‌ای، با خاکریز دیپو شده تفاوت دارد؟ آیا اشراف دارید که نمونه‌گیری از روی تسمه نقاله، با نمونه‌گیری از محل تخلیه تسمه نقاله، اختلاف دارد؟ آیا می‌دانید نمونه‌گیری از معادن، باید به چه صورتی باشد که نمونه، معرف حجم واقعی معدن باشد؟
۲. آیا می‌دانید در امور ژئوتکنیک، برای برخی آزمایشات، نباید خاک را در دمای 5 ± 11 درجه سانتیگراد خشک نمود؟
۳. آیا برای یک بار هم که شده، ابعاد چشمه‌های الک را با مندرجات استاندارد انطباق داده‌اید؟
۴. آیا اطلاع دارید که آزمایش هیدرومتری به روش ASTM-D422، از سال ۲۰۱۶ منسوخ شده و استاندارد ASTM-D7928، جایگزین آن شده است؟
۵. آیا اطلاع دارید که پس از تغییر استاندارد آزمایش هیدرومتری، از ASTM-D422، به ASTM-D7928، استاندارد جدید دانه‌بندی با الک نیز، به شماره ASTM-D6913 تدوین شده است؟
۶. آیا از شرایط فاسد شدن پودر هگزامتافسفات سدیم در آزمایش هیدرومتری که منجر به نتایج غیرواقعی می‌شود، خبر دارید؟ آیا یک بار، فرمول شیمیایی پودر را آنالیز کرده‌اید (مخصوصاً پودرهای ارزان‌قیمت فلّه‌ای)!
۷. آیا تاکنون فلاسک مخصوص آزمایش هیدرومتری مضاعف را مشاهده نموده‌اید؟
۸. آیا مشخصات دستگاه و تجهیزات آزمایشات حدود آتربرگ را با جداول مربوطه کنترل نموده‌اید؟
۹. آیا از حذف روش D در استاندارد ASTM تراکم خاک و همچنین، عملیات جابجایی، اطلاع دارید؟
۱۰. آیا از توصیه‌های آزمایش G_s خاک‌های ریزدانه (به طور مثال، در آزمایش تحکیم) آگاهی دارید؟
۱۱. آیا از تغییرات نمونه‌گیری آزمایش SE باخبر هستید؟
۱۲. آیا از ملاحظات الزامی آزمایش چاله دانسیته اطلاع دارید؟
۱۳. آیا فیلم کامل فارسی آزمایش سوراخ سوزنی (Pin Hole) را مشاهده نموده‌اید؟
۱۴. آیا می‌دانید اندازه‌گیری پتانسیل رمبندگی با دستگاه تحکیم، به دو روش انجام می‌شود؟
۱۵. آیا می‌دانید تدارک مقدمات آزمایش نفوذپذیری بار ثابت، چند ساعت و انجام آزمایش آن، چند دقیقه طول می‌کشد؟
۱۶. آیا می‌دانید در آزمایش تورم، روش آزمایش، بر اساس مجهول مورد درخواست، تعیین می‌گردد؟
۱۷. آیا می‌دانید ملاحظات آزمایش تک‌محوری و سایر موارد، از خود آزمایش، مهمتر می‌باشند؟
۱۸. آیا می‌دانید استاندارد برش مستقیم، تغییرات اساسی و قابل توجهی پیدا کرده است؟
۱۹. آیا می‌دانید در صورت استفاده از مصالح مسلح‌کننده مانند ژئوسینتتیک‌ها در خاک، آزمایش برش مستقیم، مطابق استاندارد ASTM-D5321 انجام می‌شود؟
۲۰. آیا می‌دانید که سه روش آزمایش سه‌محوری UU، CU و CD با جزئی‌ترین نکاتی که تاکنون شنیده‌اید، در این کتاب، عنوان شده است؟
۲۱. آیا می‌دانید اگر از دستگاه تحکیم که کالیبره نشده است، استفاده گردد، نتایج آزمایش، به هیچ عنوان مورد قبول نمی‌باشند؟

۲۲. آیا می‌دانید با یک نگاه به منحنی دانه‌بندی، می‌توان نتایج دانه‌بندی با الک، دانه‌بندی هیدرومتری و حدود آتبرگ، همراه با طبقه‌بندی را کنترل نمود؟
۲۳. آیا می‌دانید که چندین سال است، ضرایب تصحیح، کالیبراسیون و غلظت محلول آزمایش هیدرومتری، تغییر کرده است؟
۲۴. آیا می‌دانید موضوعات تهیه نمونه، تجهیزات مناسب و انجام صحیح آزمایش، در آزمایش‌های حدود آتبرگ، رعایت فنی و مهندسی نمی‌گردد؟
۲۵. آیا از روش ترسیمی حد انقباض و نتیجه‌گیری انقباض خطی و حجمی آگاهی دارید؟
۲۶. آیا در آزمایش تراکم، از جدول دیکته‌کننده روش آزمایش استفاده می‌کنید؟ از روش استاندارد جایگزین مصالح درشت‌دانه، اطلاع دارید؟
۲۷. آیا از فرآیندهای صحیح و مهندسی تهیه نمونه، تورم‌سنجی، گسیختگی، رسم منحنی و کنترل نتایج آزمایش CBR، آگاهی دارید؟
۲۸. آیا از جزئیات کامل سه بخش مختلف آزمایش G_s ، به همراه روش‌ها و تجهیزات مربوطه اطلاع دارید؟
۲۹. آیا می‌دانید به چندین علت فنی و مهندسی، می‌توان آزمایش چاله دانسیته را انجام نداد، ولیکن، گزارش نمود؟
۳۰. آیا می‌دانید با ترکیب ۴ آزمایش آزمایشگاهی و صحرایی، می‌توان در خصوص واگرایی خاک رس نتیجه گرفت؟
۳۱. آیا می‌دانید امتیازات فراوان آزمایشات صحرایی CBR، لوفران (نفوذپذیری آبرفت) و لوژان (نفوذپذیری سنگ‌های درزه‌دار)، نسبت به آزمایشات آزمایشگاهی چیست؟
۳۲. آیا می‌دانید روش‌های CU، UU و CD آزمایش سه‌محوری، در کدامین مقاطع پروژه‌های عمرانی مصداق دارند؟
۳۳. آیا تاکنون فیلم کامل فارسی فازهای نمونه‌گیری، کاشت نمونه، اشباع، تحکیم و بارگذاری آزمایش سه‌محوری را مشاهده نموده‌اید؟
۳۴. آیا از ایرادات رایج آزمایش‌های SPT، CPT و PLT در ایران، که با استاندارد مغایرت دارند، اطلاع دارید؟
۳۵. آیا از ملاحظات فنی و شرایط انطباق و نتیجه‌گیری صحیح آزمایش برش برجا، آگاهی دارید؟
۳۶. آیا از تفاوت‌های روش استاندارد آزمایشات V.S.S، PLT و مدول عکس‌العمل بستر، اطلاع دارید؟
۳۷. آیا از شرایط تلفیق نتایج آزمایش برش پره صحرایی و آزمایشگاهی و ملاحظات فنی آن، آگاهی دارید؟
۳۸. آیا از تکنیک‌های آب‌بندی، تجهیزات فنی و روش‌های اصولی آزمایشات نفوذپذیری صحرایی، مطابق با وضعیت موجود، اطلاعی دارید؟
۳۹. آیا آگاهی دارید که چندین سال است استانداردهای جدید آزمایش‌های لوفران (ASTM-D4631) و لوژان (ASTM-D4630)، جایگزین دستورالعمل‌های آزمایشات نفوذپذیری صحرایی شرکت مه‌اب قدس وزارت نیرو شده‌اند؟
۴۰. آیا از انتخاب فنی روش اصولی آزمایش پرسیمتری و دیلاتومتری مرتبط با مقطع، باخبر می‌باشید؟ در کتابی که پیش رو دارید، به پاسخ تمام این سؤالات دست خواهید یافت. در این کتاب، قریب به ۶۰۰۰ نکته فنی، همراه با لوح فشرده، شامل فیلم‌های آموزشی، تصاویر، جداول فنی و مهندسی، فایل‌های استاندارد و Power Point‌های علوم مختلف مهندسی عمران، آزمایشگاه مکانیک خاک، مهندسی خاک و ژئوتکنیک ارائه شده است که ماحصل ۲۸ سال سابقه تخصصی در این حوزه می‌باشد.



داریوش مرادی متولد ۱۳۴۹/۳/۲۹، زاده تهران، با اصالت کرمانشاهانی، دارای دانشنامه‌های کارشناسی مهندسی عمران (گرایش مکانیک خاک) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کارشناسی مهندسی عمران- عمران از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج و کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مکانیک خاک و پی (ژئوتکنیک)، از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، با پایان‌نامه برتر سال با موضوع آزمایشگاهی ستون سنگی در دستگاه برش مستقیم است. از سال ۱۳۷۲، فعالیت رسمی خود را با آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی (راه و ترابری سابق)، به ترتیب در استان‌های تهران، کردستان، لرستان، کرمانشاه و مجدداً تهران، شروع نموده و تاکنون ادامه داده است.

از بدو استخدام در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، مطابق با فلوجارت سازمانی، در پُست‌های کارشناس مکانیک خاک، رئیس گروه ارشد کاوش‌های صحرایی، کارشناس آزمایشات مهندسی خاک، کارشناس مطالعات مسیر، کارشناس ژئوتکنیک، کارشناس مسئول گزارشات مکانیک خاک و ژئوتکنیک، معاون فنی استان و معاون مدیرکل آزمایشگاه مکانیک خاک و سنگ ستاد مرکزی، ایفای نقش نموده است. در سالیان اخیر، چندین مأموریت سازمانی، به شرح ذیل سپری نموده است: مدیر کل دفتر فنی شرکت مهندسی مشاور ساخت‌آزما (وابسته به بنیاد مسکن انقلاب اسلامی)، دبیرخانه ژئوتکنیک مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی وزارتخانه راه و شهرسازی، مدیر اجرایی بیمارستان ۲۶۰ تختخوابی کرج در سازمان مجری ساختمان‌ها و تأسیسات دولتی و عمومی وزارت راه و شهرسازی و کارشناس مسئول ژئوتکنیک امور مهندسی شرکت مادر تخصصی توسعه و تجهیز وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. تخصص نامبرده در کلیه آزمایشات مکانیک خاک، مهندسی خاک، آزمایشات ژئوتکنیک صحرایی و مطالعات مسیر، با مراتب نصب و راه‌اندازی تجهیزات، آموزش کلاسیک و انجام عملی تمامی آزمایشات، بوده و می‌باشد.

وی، از سال ۱۳۷۸، در دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی، از جمله، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشگاه لرستان، دانشگاه رازی و در حال حاضر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، به تدریس واحدهای آزمایشگاهی و نظری مهندسی عمران و همچنین، راه‌اندازی تعداد زیادی از دستگاه‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی بلااستفاده، اشتغال داشته است.

از سال ۱۳۸۵ لغایت ۱۴۰۱ و به محض حضور در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک ستاد مرکزی وزارت راه و شهرسازی تهران، با برنامه‌ای مشخص، بالغ بر ۱۴۲ مأموریت فنی به تمامی آزمایشگاه‌های فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی را به منظور راه‌اندازی اصولی تجهیزات، کالیبراسیون دستگاه‌ها، آموزش کارشناسان و اپراتورها و انجام عملی آزمایشات در سطح کشور و حتی پروژه‌های سدسازی، به انجام رسانیده است. در همین بین، مدرّس ۹ دوره آموزشی ضمن خدمت آزمایشات مکانیک خاک، آزمایش‌های مهندسی خاک و آزمایشات مطالعات مسیر (CBR)، در دفتر آموزش آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی، برای کارشناسان مکانیک خاک و ژئوتکنیک استان‌های کشور بوده است.

نامبرده با داشتن پروانه اشتغال به کار پایه یک نظام مهندسی ساختمان، در فعالیت‌های کارگروه تخصصی ژئوتکنیک، تدریس دوره‌های تخصصی غیراجباری و بازرسی‌های ژئوتکنیک عملیاتی صحرائی و آزمایشگاهی سازمان نظام مهندسی ساختمان استان تهران، همواره حضوری چشمگیر و مثمر داشته است.

از دیگر فعالیت‌های ایشان، مشاوره فنی و انجام آزمایشات پایان‌نامه‌های آزمایشگاهی در مقاطع دکتری و کارشناسی ارشد می‌باشد که با توجه به آموزش عملی آزمایشات به دانشجویان، منجر به ایجاد ابتکار و خلاقیت در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی عمران گردیده است.

وی در طول ۲۸ سال خدمت فنی و تخصصی در حوزه آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی و گذراندن بیش از ۱۷۴۴ ساعت آموزش دوره‌های تخصصی و عملیاتی، با در اختیار داشتن چندین هارد اکسترنال از فایل‌های فنی و مهندسی، جزوات و یادداشتهای فنی دوره‌های آموزشی، همّت نموده است که تمام دانش و تجربیات خود را در اختیار علاقمندان علوم مهندسی در این مرز و بوم قرار دهد. باشد که افاقه نماید و روح جمیع شهدای اسلام و سردار دلها، حاج قاسم سلیمانی شاد گردد.

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی‌دی‌اف از کتاب، 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 و غیرقانونی بوده و شرعاً نیز حرام است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی‌دی‌اف و موارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هر گونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، آفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤذرعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،

از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۲-۰۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۲۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضييع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

بخش اول

آزمایشات آزمایشگاهی

نمونه برداری از مصالح سنگی^۱

۱. محدوده کاربرد

این روش، شامل نمونه برداری از مصالح سنگی (درشت و ریزدانه) برای مطالعات اولیه در مورد شناسایی ذخایر یا ظرفیت معادن و همچنین کنترل مصالح استخراج شده از آن می باشد و کنترل عملیات در محل مصرف مصالح استخراجی و تطابق یا عدم آن با استانداردهای تعریف شده می باشد. ذکر این نکته لازم است که روش های نمونه برداری و آزمایشات تأیید و کنترل مصالح، با توجه به نوع سازه متغیر بوده و رعایت استانداردهای ASTM-E105 و ASTM-D3665 جهت استفاده به عنوان راهنما ضروری است. نمونه برداری، به اندازه انجام آزمایش از اهمیت زیادی برخوردار است و شخص نمونه بردار باید دقت زیادی به عمل آورد تا بتواند نمونه هایی که معرف و نماینده مصالح می باشند، جمع آوری نماید. نمونه هایی که جهت انجام آزمایشات کنترل کیفی به آزمایشگاه ارسال می شوند، باید از آخرین مرحله تولید مصالح اخذ گردند و در صورتی که تغییرات قابل توجهی در مصالح به چشم می خورد، باید ابتدا مورد بازرسی و بررسی قرار گیرند.

۲. دستورالعمل های نمونه برداری

الف) نمونه برداری از مصالح در حال جریان (مسیر تخلیه بین دانه ها یا خروجی نوارهای

نقاله)

محل هایی را برای نمونه برداری به روش اتفافی بر اساس استاندارد ASTM-D3665 باید انتخاب کرد. حداقل سه مقدار تقریباً مساوی از فواصل تقریباً مساوی، در هر بخش اخذ شده و سپس با هم ترکیب می شوند، به صورتی که وزن نهایی نمونه های اخذ شده، از وزن توصیه شده در استاندارد، کمتر نباشد. لازم به ذکر است که نمونه ها باید از مقطع عرضی جریان اخذ شوند. برای نمونه برداری، معمولاً از یک سری سینی به ابعاد مناسب استفاده می شود. این سینی ها در مقطع عرضی جریان قرار داده می شوند و برای اخذ نمونه های مورد نیاز به کار می روند.

ب) نمونه برداری از روی نوار نقاله

جهت نمونه گیری به روش اتفافی، محل هایی روی نوار بر اساس ASTM-D3665 باید انتخاب شوند. حداقل سه مقدار تقریباً مساوی از فواصل تقریباً مساوی، از هر واحد اخذ شده و سپس با هم ترکیب می شوند، به صورتی که وزن نهایی نمونه حاصل، از وزن توصیه شده در استاندارد، کمتر نباشد. هنگام نمونه برداری، ابتدا باید تسمه نقاله را متوقف کرده و دو ورق یک اندازه که یک ضلع آنها مشابه مقطع تسمه نقاله باشد، تهیه کرده و آنها را به صورتی روی تسمه نقاله قرار داد که مصالح بین دو ورق

1. ASTM-D75(AASHTO-T2): Standard Practice for Sampling Aggregates



روی مسیر، در حدود وزن موردنیاز در استاندارد باشد، سپس، مصالح بین دو ورق را با دقت جمع آوروی نموده، حتی باید ذرات ریز باقیمانده روی تسمه نقاله را نیز با یک برس (فرچه یا قلم‌مو) جمع کرده و به نمونه اضافه نمود.

ج) نمونه برداری از محل‌های ذخیره مصالح و تولیدی

حتی‌المقدور سعی شود از مصالح درشت‌دانه یا مخلوط درشت و ریزدانه که به صورت دپو انباشته شده‌اند و همچنین از وسایل انتقال‌دهنده مصالح، نمونه برداری انجام نشود. چنانچه نمونه برداری از محل‌های ذخیره مصالح درشت یا ترکیبی از مصالح درشت و ریز، ضروری به نظر می‌رسد، باید یک روش نمونه‌گیری خاص انجام شود. در این روش، شخص نمونه‌بردار، باید از منطبق بودن نمونه‌ها با کلیه قسمت‌های محل موردنظر اطمینان داشته باشد. در این خصوص، باید برای تهیه یک نمونه، چند بار از مصالح برداشته و پس از مخلوط کردن، چند نمونه برای شناسایی کل مصالح لازم است. در دپوهای مصالح درشت‌دانه یا مخلوط درشت و ریزدانه، تا حد ممکن سعی شود از وسایل نمونه‌گیری موتوری استفاده شود. با این وسایل، ابتدا از سطوح و لایه‌های مختلف دپو اصلی، یک دپو جداگانه جهت نمونه برداری نهایی تشکیل می‌شود. سپس، از قسمت‌های مختلف دپوی کوچک، مقادیری اخذ و پس از ترکیب آنها، نمونه اصلی حاصل می‌گردد. اگر تعیین میزان تغییرات در مصالح دپوی اصلی لازم باشد، باید نمونه‌های مجزایی از سطوح مختلف دپو اخذ گردد.

در صورتی که وسیله نمونه‌گیری موتوری در دسترس نباشد، باید حداقل از ۳ نقطه دپو (قسمت بالایی، میانی و پایینی)، نمونه برداری انجام شود. فرورکردن یک صفحه به طور قائم روی سطح دپو و دقیقاً در بالای محل نمونه برداری، جدایی دانه‌ها را کاهش می‌دهد. در مصالح ریزدانه، هنگام نمونه برداری از محل انباشت آنها، باید لایه خارجی که ممکن است در آن جدایی اتفاق افتاده باشد، کنار زده شده و از زیر آن نمونه برداری به عمل آید. همچنین می‌توان لوله‌های نمونه‌گیری به قطر تقریبی حداقل ۳۰ میلیمتر و طول حداقل ۲ متر را به طور تصادفی حداقل در پنج نقطه از دپو فرو کرد و از جمع مصالح خارج شده، نمونه اصلی را تهیه نمود.

د) نمونه برداری از جاده‌ها (اساس - زیراساس)

محل‌هایی از جاده، با یک روش آتفاقی بر اساس استاندارد ASTM-D3665 جهت نمونه برداری انتخاب می‌شوند. از هر محل، حداقل سه مقدار تقریباً مساوی و از فواصل تقریباً مساوی، طوری انتخاب می‌شود که بتوان از ترکیب آنها نمونه‌هایی با وزن حداقل توصیه شده در استاندارد را بدست آورد. در تمام محل‌های انتخاب شده از جاده، بایستی تا پایین‌ترین عمق لایه، نمونه برداری انجام گیرد و مصالح لایه‌های زیرین با آن مخلوط نشود. سطوحی که نمونه‌ها از آن اخذ می‌شود، قبلاً علامت گذاری گردد که با گذاشتن یک ورق فلزی روی هر یک از این سطوح، تنظیم فواصل نمونه برداری راحت‌تر می‌شود.

ه) نمونه برداری سنگ از معادن یا رگه‌ها

رگه یا معدن، بایستی به منظور تعیین و تشخیص تغییرات قابل رؤیت، ابتدا مورد بازدید و بررسی قرار گیرند و اختلاف در رنگ‌ها و ساختارها ثبت گردد. در این خصوص، بایستی نمونه‌های جداگانه به وزن حداقل ۲۵ کیلوگرم از هر لایه مشخص اخذ شود. نمونه‌ها نباید شامل مواد هوازده باشند، طوری که به کیفیت آنها لطمه خورده باشد. یک قطعه یا بیشتر از هر نمونه، که دارای ابعاد $100 \times 150 \times 150$ میلیمتر بوده و هیچ‌گونه شکست یا ترکی نداشته باشد، انتخاب و یکی از وجوه صاف آن به طور واضح علامت گذاری شود.

علاوه بر اطلاعاتی که هر نمونه آزمایشگاهی باید دارا باشد، نمونه‌های اخذ شده از رگه‌ها یا معادن، باید دارای اطلاعات ذیل نیز باشند:

- مقدار تقریبی مصالح قابل دسترس؛
- مقدار و کیفیت مصالح سربار؛ و
- ثبت جزئیاتی که نشان‌دهندهٔ محدوده و محل مصالح مربوط به هر نمونه باشد.

و) نمونه‌برداری از کنار جاده‌ها یا از رسوبات شن و ماسه‌ای

ظرفیت و پتانسیل این منابع ممکن است توسط حفاری‌هایی که قبلاً انجام شده است، قابل مشاهده باشد. همچنین می‌توان بر اساس مطالعات دیگر، این ظرفیت را تعیین کرد. در این خصوص، نمونه‌ها بایستی از هر لایه که برای شخص نمونه‌بردار قابل تشخیص باشد، اخذ گردد. جهت مشاهدهٔ لایه‌ها، یک کانال قائم حفر شده و سپس از پایین تا بالا از آنها نمونه‌برداری به عمل آید. مصالح لایه‌های بالایی (سربار) و مصالح دست‌خورده، نباید با این نمونه‌ها مخلوط گردد.

ضمناً تعدادی چاهک شناسایی در موقعیت‌های مختلف معدن حفر شود تا کیفیت مصالح و مقدار رسوبات، قابل تعیین باشد. تعداد و عمق گمانه‌ها، بستگی به مقدار مصالح موردنیاز، توپوگرافی سطحی، طبیعت رسوبات، خواص مصالح و مقدار ذخیره یا پتانسیل معدن دارد و اگر مشاهدات خاصی نشان دهد که تغییرات قابل توجهی در مصالح معدن وجود دارد، باید نمونه‌های مجزایی از لایه‌ها گرفته شود. هر یک از نمونه‌های اخذ شده، باید در صورت لزوم به طور کامل مخلوط و کوارتر گردد، طوری که پس از کوارتر کردن، وزن نمونه‌های ماسه‌ای، حداقل ۱۲ کیلوگرم و وزن نمونه‌هایی که دارای مقدار قابل توجهی درشت‌دانه می‌باشند، حداقل ۳۵ کیلوگرم به دست آید.

علاوه بر اطلاعات عمومی همراه تمام نمونه‌ها، اطلاعات اضافی زیر نیز بایستی برای نمونه‌های اخذ شده از معادن ماسه و شن ثبت شوند:

- محل معدن؛
- تخمین تقریبی مقادیر قابل دسترس و مقدار و کیفیت مصالح سربار؛
- فاصلهٔ حمل مصالح تا محل پروژه و شرایط حمل (نوع جاده و ...)؛ و
- جزئیاتی که میزان و موقعیت مصالح متناظر با هر نمونهٔ اخذ شده را مشخص نماید.

۳. تعداد و وزن نمونه‌های صحرائی

تعداد نمونه‌های لازم، بستگی به بحرانی بودن یا میزان تغییرات ویژگی موردنظر در مصالح دارد. قبل از نمونه‌برداری، تعداد بخش‌هایی که باید نمونه‌برداری شوند، مشخص شود. نمونه‌های اخذ شده، باید به اندازه‌ای باشند که اطمینان دلخواه از نتایج آزمایشات وجود داشته باشد. در خصوص تعیین تعداد نمونه‌ها و رسیدن به سطح دلخواهی از اطمینان به نتایج آزمایشات، می‌توان به استانداردهای ASTM-D2334، ASTM-E105، ASTM-E122 و ASTM-E141 مراجعه کرد.

تأیید و کنترل آزمایشات، بر مبنای استاندارد AASHTO می‌باشد و می‌توان بر اساس دستورالعمل‌های مربوطه، مقادیر لازم برای هر آزمایش را تعیین نمود. در جدول (۱-۱)، مقادیر مناسبی از مصالح برای وقتی که دانه‌بندی و کیفیت آنها به صورت معمول باشد، مشخص شده است. جداکردن بخشی از نمونهٔ اخذ شده جهت انجام آزمایش (کاهش مقدار نمونه تا رساندن آن به مقدار لازم برای هر آزمایش)، بر اساس استاندارد AASHTO-T248 یا سایر استانداردها انجام می‌شود.



جدول (۱-۱): حداقل وزن مصالح جهت آزمایش دانه‌بندی با توجه به حداکثر اندازه اسمی ذرات

حداکثر اندازه اسمی مصالح (اینچ)	5	4	$3\frac{1}{2}$	3	$2\frac{1}{2}$	2	$1\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
حداقل وزن نمونه (کیلوگرم)	300	150	100	60	35	20	15	10	5	2	1

حداقل وزن تقریبی مصالح سنگی ریزدانه و مصالح سنگی درشت‌دانه، با توجه به حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی، به ترتیب، در جداول (۱-۲) و (۱-۳) ارائه شده است:

جدول (۱-۲): حداقل وزن تقریبی مصالح سنگی ریزدانه با توجه به حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی

حداقل وزن تقریبی نمونه‌های صحرایی (Kg)	حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی*
۵	الک نمرة ۸ ($2\frac{3}{4}$ میلی‌متر)
۱۰	الک نمرة ۴ ($4\frac{7}{8}$ میلی‌متر)

جدول (۱-۳): حداقل وزن تقریبی مصالح سنگی درشت‌دانه با توجه به حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی

حداقل وزن تقریبی نمونه‌های صحرایی (Kg)	حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی*
۱۰	$\frac{3}{8}$ اینچ ($9\frac{1}{2}$ میلی‌متر)
۱۵	$\frac{1}{2}$ اینچ ($12\frac{1}{2}$ میلی‌متر)
۲۵	$\frac{3}{4}$ اینچ (۱۹ میلی‌متر)
۵۰	1 اینچ (۲۵ میلی‌متر)
۷۵	$1\frac{1}{2}$ اینچ ($37\frac{1}{2}$ میلی‌متر)
۱۰۰	2 اینچ (۵۰ میلی‌متر)
۱۲۵	$2\frac{1}{2}$ اینچ (۶۳ میلی‌متر)
۱۵۰	3 اینچ (۷۵ میلی‌متر)
۱۷۵	$3\frac{1}{2}$ اینچ (۹۰ میلی‌متر)

* برای مصالح سنگی مورد آزمایش، حداکثر اندازه اسمی ذرات، در واقع، بزرگ‌ترین شماره الک در مشخصات دانه‌بندی است که هیچ مقداری از مصالح مجاز نیست روی آن بماند.

۴. نحوه انتقال نمونه‌ها

انتقال مصالح سنگی در جعبه‌ها و یا هر وسیله دیگر، بایستی به صورتی انجام گیرد که باعث کمترین آسیب دست‌خوردگی به نمونه‌ها شده و همچنین به خواص مصالح در حین انتقال صدمه‌ای وارد نشود. مشخصات جعبه‌های انتقال نمونه‌های مصالح سنگی، بایستی به طور جداگانه و مناسب در آنها قرار داده شود تا بتوان بر اساس آنها، گزارش صحرایی، لوگ‌های آزمایشگاهی و نتایج آزمایش را به آسانی ارائه نمود.

در نمونه‌گیری از مصالح سنگی درشت‌بارگیری شده در واگن‌ها یا دیگر وسایل، باید دقت نمود از وسایل قدرتمندی که بتواند از موقعیت و اعماق مختلف مصالح نمونه‌برداری کند، استفاده شود. هرچا چنین وسیله‌ای در اختیار نباشد، به طور کلی لازم است در سه نقطه یا بیشتر، تا عمق مناسب حفاری شود، طوری که نمونه‌های اخذ شده، معرف خواص مصالح بارگیری شده باشند. کف این حفاری‌ها، باید تقریباً هم‌تراز و هموار بوده و به ابعاد حداقل ۳۰ سانتیمتر در عرض و عمق انجام گیرد. با استفاده از بیله‌ها، حداقل در سه نقطه با فواصل تقریباً مساوی، از عمق گودال حفر شده، نمونه‌برداری شود.

۵. نکات فنی و کارشناسی مرتبط با آزمون

تعریف عمومی طبقه‌بندی AASHTO:

A-1: قلوه‌سنگ و شن و ماسه درشت؛ A-2: شن و ماسه لای‌دار و رس‌دار؛ A-3: ماسه ریزدانه؛ A-4: خاک لای‌دار با حد روانی کم؛ A-5: خاک لای‌دار با حد روانی زیاد؛ A-6: رس با حد روانی کم؛ A-7: رس با حد روانی زیاد و A-8: خاک‌های آلی ($GI < 20$ ؛ GI، شاخص گروه است).

خاکریزی زیرسازی راه، باید در گروه‌های AASHTO باشد، به جز مواردی که از مصالح سنگی یا Rock Fill استفاده گردد.

اطلاعات استخراجی از آزمایش دانه‌بندی: پیش‌بینی حرکت آب در خاک؛ میزان نفوذپذیری؛ حساسیت خاک در مقابل یخبندان؛ خاصیت موئینگی؛ مناسب بودن به عنوان فیلتر و زهکش؛ مشخص کردن اندازه دانه‌ها؛ سنجش مقاومت اولیه خاک؛ تشریح نظری خاک؛ نوع دانه‌بندی و تشخیص یکنواختی.

اتلاف مجاز مصالح در آزمایش دانه‌بندی، نباید بیشتر از ۲ درصد وزن کل مصالح باشد.

رفتار خاک‌های چسبنده، بیشتر به نوع و درصد کانی‌های رس، تاریخچه زمین‌شناسی و درصد آب موجود در آن بستگی دارد، تا این که به نحوه توزیع دانه‌بندی وابسته باشد.

بیشتر خاک‌های ریزدانه رسی، قلیایی هستند و وجود نمک‌ها و ناخالصی‌های دیگر، ممکن است خاصیت اسیدی ایجاد کند.

فواصل نمونه‌برداری برای انجام آزمایش تراکم آزمایشگاهی در مصالح سابگرید (طبق آخرین ویرایش نشریه مشخصات عمومی راهها ۱۰۱):

- در صورت یکنواخت بودن جنس سابگرید، از هر کیلومتر، یک نمونه و در صورتی که جنس خاک تغییر کند، آزمایش بیشتری از تراکم به عمل آید.
- جهت انجام آزمایش‌های دانه‌بندی، حدود آتربرگ و ارزش ماسه‌ای از قشر زیراساس، در راه‌های فرعی و اصلی با عرض ۱۳ متر، هر ۵۰۰ متر یک آزمایش و در اتوبان‌ها، در هر باند، از فواصل ۳۰۰ متر، یک نمونه گرفته می‌شود.
- آزمایش تراکم آزمایشگاهی برای قشر زیراساس، از هر ۱۰۰۰ متر یک‌بار و در صورت تغییر جنس مصالح، با توجه به تغییرات مصالح، آزمایش تراکم بیشتری انجام می‌شود.
- در صورت شروع تولید مصالح قشر اساس در پای سنگ‌شکن توسط عوامل پیمانکار، با توجه به درخواست دستگاه نظارت، از مصالح شکسته شده در پای سنگ‌شکن (در غیر این صورت، طبق دستورالعمل وزارتی) نمونه‌برداری نموده و آزمایش‌های دانه‌بندی، حدود آتربرگ، ارزش ماسه‌ای و درصد شکستگی انجام می‌شود.
- از مصالح حمل شده بر روی راه (قشر اساس)، از فواصل ۲۵۰ متر، آزمایش دانه‌بندی، حدود آتربرگ، ارزش ماسه‌ای و درصد شکستگی به عمل می‌آید.
- نمونه‌برداری جهت انجام آزمایش تراکم آزمایشگاهی در قشر اساس، در هر ۱۰۰۰ متر، یک بار و در صورت تغییر مصالح، با توجه به تغییرات مصالح، آزمایش بیشتری انجام خواهد شد.
- از مصالح شانه‌راه، از هر ۱۰۰۰ متر، یک نمونه گرفته شده و آزمایش‌های دانه‌بندی حدود آتربرگ، ارزش ماسه‌ای و در صورت لزوم، آزمایش درصد شکستگی به عمل می‌آید.
- در شانه‌راه، آزمایش دانسیته، در فواصل ۲۰۰ متری انجام می‌شود.