
آزمایشگاه مکانیک خاک

«ویراست دوم»

لیلا افتخاریان، امید تی تی دژ، رضا مهین روستا
بهناز خاکباز، امین سارنگ، مهدی نواری، پدram صادقیان

با نظارت

دکتر علی محمد اسکروچی، دکتر محمود صدیقی منش



نشر کتاب دانشگاهی

عنوان و نام پدیدآور	آزمایشگاه مکانیک خاک / لیلا افتخاریان... [و دیگران]
وضعیت ویراست	[ویراست ۲]
مشخصات نشر	تهران: نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری	۲۶۴ ص: مصور، نمودار، جدول.
شابک	964-6904-99-8
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	عنوان به انگلیسی: Soil Mechanics Laboratory
یادداشت	امید تی‌تی‌دژ، رضا مهین‌روستا، بهناز خاکباز، امین سارنگ، مهدی نواری، پدram صادقیان
یادداشت	کتابنامه: ص. ۲۵۱
یادداشت	واژه‌نامه.
موضوع	خاک -- مکانیک.
شناسه افزوده	افتخاریان، لیلا، ۱۳۵۵-
رده‌بندی کنگره	TAV۱۰ / ۴۱۳۸۷
رده‌بندی دیویی	۶۲۴ / ۱۵۱۳۶
شماره کتاب‌شناسی ملی	۱۳۱۹۱۸۳



آزمایشگاه مکانیک خاک «ویراست دوم»

لیلا افتخاریان، امید تی‌تی‌دژ، رضا مهین‌روستا
بهناز خاکباز، امین سارنگ، مهدی نواری، پدram صادقیان

با نظارت

دکتر علی‌محمد اسکروچی، دکتر محمود صدیقی‌منش

چاپ اول ۱۳۸۷
لیتوگرافی مهران‌نگار
چاپ روناس
صحافی مینو
تعداد صفحات ۲۶۴، وزیری
شمارگان ۱۱۰۰
۴۵۰۰ تومان

شابک ۹۶۴-۶۹۰۴-۹۹۸-۸ ISBN 964-6904-99-8



مرکز بخش: شماره ۱۰۳ خیابان بزرگمهر، بین وصال و قدس، تلفکس ۶۶۴۶۷۲۲۶
فروشگاه روزنو: شماره ۱۳۳۸ خیابان انقلاب، بین فخررازی و دانشگاه، تلفکس ۶۶۹۵۰۵۲

حقوق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

نمی‌دانم که در طرح بزرگ خدا
من چه نقشی دارم و چه سرنوشتی،
ولی این قدر مطمئنم که بی‌هیچ نیست.
دکتر علی شریعتی

مقدمه

زندگانی با درخشش وجودهایی پربار و عالی‌مرتب رنگ می‌گیرد و شیرین‌تر می‌گردد. حلاوت و زیبایی گذران عمر در بندند وجودی شکل می‌گیرد که راهش را به سوی منتهایی پراز کمال و دانش برگزیده است و ضمیر تشنه‌اش را با گام برداشتن در این طریق سیراب کرده است. او دانشجوست و هدفش رسیدن به ناشناخته‌ها.

در این میان، دانشجویان این مرزوبوم نمادی از خودساخته‌ترین و کامل‌ترین انسان‌ها هستند. قلب‌های جوان و بی‌آلایش، افکاری نو و پرمحتوا، اراده‌هایی سخت و پولادین همه از درون دانشجویان سرچشمه می‌گیرد. مجموعه این سرمایه‌های هنگفت که هر کسی دارای آن نیست، قدرت خلق و طرح ایده‌های نو و عملی کردن آن‌ها در عین ناباوری را به وی بخشیده است.

بی‌شک اگر دانشجو در نظر جامعه از موقعیتی ممتاز برخوردار است، دلیلی ندارد جز این‌که جامعه از وجود خصلت‌های کم‌نظیر در این قشر متفکر آگاه است، پس باید دانشجو را درک کرد و به وی میدان داد.

دانشجو خود را در شکل‌گیری دوران، دارای نقش به‌سزایی دانسته، در ادامه بهتر و منطقی‌تر آن نیز خود را سهیم می‌داند و در این میان فعالیت گسترده در مسائل علمی و فرهنگی کشور را بسیار بااهمیت و در درجه نخست می‌داند. با همین نگرش است که امروز شاهد فعالیت‌های دانشجویی در سطحی وسیع به‌خصوص در زمینه‌های علمی هستیم؛ نمونه بارز آن در رشته عمران، برگزاری چندین کنفرانس دانشجویی، چاپ و نشر چند مجله معتبر علمی-دانشجویی و چندین بولتن علمی و غیره است.

مجله عمران شریف پس از برگزاری اولین کنفرانس دانشجویی عمران و ده‌ها فعالیت دیگر که حاصل بیش از ۷ سال فعالیت مستمر است، بنا به نیازی که در زمینه نشر کتاب‌های فنی عمران با توجه به تعداد زیاد دانشجویان این رشته وجود دارد، اقدام به فعالیتی جدید و کم‌نظیر کرده است و در همین راستا و در ابتدا، تدوین و انتشار کتاب «آزمایشگاه مکانیک خاک» را در دستور کار خود قرار داده است. این کتاب با نظرخواهی‌هایی که از استادان مجرب دانشگاه صنعتی شریف به‌عمل آمد و بعد از بحث و گفت‌وگوهای فراوان و با آگاهی کامل به کتاب‌های موجود و نقاط قوت و ضعف آن‌ها و نیاز مبرمی که دانشجویان به یک مرجع در درس آزمایشگاه مکانیک خاک به‌عنوان یکی از دروس اصلی خود دارند، زیر نظر دو تن از استادان باتجربه این دانشگاه در طی یک سال فعالیت مستمر تهیه گردید و اکنون پیش روی شماست.

گرد هم آمدن هفت تن از دانشجویان مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد برای تهیه این مجموعه، از نکات مهم این فعالیت دانشجویی است که البته جزء همان خصلت‌های دانشجو و کار دانشجویی است که وی را از تکروی و انفرادی عمل کردن برحذر می‌دارد. مؤلفان هرچند خود کاملاً آگاهند که کتاب حاضر با تمام توجهات

فراوان چه بسا ایرادها و اشکالاتی هم داشته باشد، اما به دلیل نو بودن و خودجوش بودن حرکت، امیدوارند که این کار مشوقی باشد برای دیگر گروه‌های دانشجویی سراسر کشور، تا در قالب‌های جدید و در هر زمینه که خود صلاح می‌دانند، از دوران طلایی دانشجویی استفاده کنند.

امیدواریم استادان گران‌قدر و دانشجویان عزیز ما را در رفع کاستی‌ها و معایب احتمالی این مجموعه یاری دهند.
سخن آخر:

دانشجوی عزیز! اگر امروز دست‌هایمان را به هم دهیم و برای فردایی نو تلاش کنیم، آینده‌ای بس زیبا خواهیم داشت، آینده‌ای که تاروپودش را فرزندان یک ملت، دانشجویان یک سرزمین و امیدهای ایران عزیز به هم بافته‌اند.

لیلا افتخاریان، امید تی تی دژ، بهناز خاکباز

امین سارنگ، پدram صادقیان، رضا مهین‌روستا، مهدی نواری

www.ketab.ir

فهرست

۱	فصل ۱. آشنایی با نمونه‌گیری
۸	فصل ۲. آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک
۱۳	فصل ۳. آزمایش حد روانی و حد خمیری
۳۱	فصل ۴. آزمایش حد انقباض
۳۹	فصل ۵. آزمایش هم‌ارز ماسه
۴۳	فصل ۶. آزمایش دانه‌بندی خاک
۵۶	فصل ۷. آزمایش هیدرومتری
۶۹	فصل ۸. آزمایش تعیین G_s
۷۵	فصل ۹. آزمایش تراکم
۸۷	فصل ۱۰. آزمایش تعیین وزن واحد حجم خشک خاک در محل به روش مخروط ماسه و بالون لاستیکی
۱۰۱	فصل ۱۱. آزمایش نفوذپذیری
۱۱۳	فصل ۱۲. آزمایش تحکیم
۱۳۷	فصل ۱۳. آزمایش فشاری ساده (تک‌محوری، محصورنشده)
۱۴۹	فصل ۱۴. آزمایش سه‌محوری
۱۸۶	فصل ۱۵. آزمایش برش مستقیم
۲۰۵	فصل ۱۶. آزمایش CBR (نسبت باربری کالیفرنیا)
۲۱۹	پیوست
۲۵۱	منابع

پیش‌گفتار ویراست دوم

از دوران‌های قدیم، چهار عنصر آب، خاک، باد و آتش عناصر حیاتی بشر تلقی می‌شده‌اند. اکنون پس از گذشت چند هزار سال از تاریخ زندگی بشر، باز هم وجود این عناصر لازم و ضروری است، چراکه نیازهای پایه‌ای بشر ثابت بوده و هست. در این میان، خاک به‌عنوان یک عنصر طبیعی با رفتاری کاملاً پیچیده موضوع شناخت و پژوهش بشر قرار گرفته و انسان همواره سعی داشته قوانین حاکم بر آن را توصیف و تدوین کند؛ همان علمی که امروزه در معنای عام با عنوان «مکانیک خاک» شناخته می‌شود.

شناخت و بررسی رفتار خاک موضوع مکانیک خاک است که اولین قدم‌های آن در سال ۱۷۷۳ توسط کولمب با ارائه تحقیقات مربوط به رانش خاک‌ها برداشته شد. در طی قرن نوزدهم میلادی بررسی‌ها و مطالعات نظری متعددی از جمله کارهای رانکین و بوسینسک دفتر مکانیک خاک را غنی‌تر کرد، لیکن جهش اساسی را در سال ۱۹۲۵ کارل تیززافی به این علم نوپا داد. دید صحیح و مهندسی تیززافی در مورد پدیده‌های فیزیکی شاید مهم‌ترین عامل پیشرفت و نمایاندن راه‌های پژوهش جدید در مکانیک خاک بوده باشد.

در طی این سال‌ها که شاهد پیشرفت‌های سریع در مکانیک خاک بوده‌ایم، به دلیل رفتار ناشناخته خاک، تجربه محقق و استفاده مداوم وی از کارهای آزمایشگاهی، بسیار رهگشا بوده است.

فعالیت‌های آزمایشگاهی مستلزم دستیابی به وسایل و روش‌های استاندارد بوده و تلاش دانشمندان این رشته منجر به ایجاد چندین استاندارد معتبر از جمله ASTM و AASHTO شده است.

بر کسی پوشیده نیست که مهندسان عمران، چه در مقطع کارشناسی و چه بالاتر، برای شناخت واقع‌بینانه‌تر از خاک باید حداقل با آزمایش‌های پایه‌ای آن آشنا شوند و این ضرورت تا بدان‌جا پیش رفته که اکنون درس آزمایش‌های مکانیک خاک به‌عنوان یک درس اجباری بعد از درس مکانیک خاک در تمام دانشگاه‌های ایران تدریس می‌شود.

نگارندگان این مجموعه که خود این درس را چندین ترم پیش گذرانده‌اند، به دلیل نقاط ضعفی که در کتب موجود مشاهده کرده‌اند، که از آن جمله می‌توان به عدم توجه کافی به تئوری و کاربرد هر آزمایش در عمل و عدم راهنمایی دانشجو در عوامل ایجادکننده خطا در هر آزمایش اشاره کرد، بر آن شده‌اند تا مجموعه حاضر را گرد آورند که شرحی مختصر از آن به اطلاع می‌رسد:

این کتاب، که نه صرفاً تألیف است و نه صرفاً ترجمه، حاصل فعالیت یک‌ساله هفت تن از دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد عمران دانشگاه صنعتی شریف است. کتاب حاضر زیر نظر دو تن از استادان برجسته دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف و با استفاده از بیش از ۱۵ مرجع معتبر داخلی و خارجی تهیه شده که اهم آن‌ها عبارتند از کتاب‌های آزمایشگاه مکانیک خاک Bowels و Lamb و جزوه دستورالعمل‌های آزمایش‌های مکانیک خاک دکتر علی‌محمد اسکروچی که حاصل سال‌ها تحقیق و تجربه در دانشگاه صنعتی شریف است. در این اثر سعی شده است کاستی‌های کتاب‌های موجود برطرف شود و به همین دلیل هر آزمایشی شامل هدف،

مقدمه، تئوری، وسایل آزمایش، روش انجام آزمایش، محاسبات، بحث در دقت و خطای هر آزمایش است. در پایان هر آزمایش برای استفاده سریع‌تر و فهم بیشتر خوانندگان عزیز، از قشر دانشجو گرفته تا مهندسان و شرکت‌های آزمایشگاهی، مثالی از کتاب Bowels ذکر شده است.

برای رعایت امانت در مطالب اقتباسی، هر جا که مطلب مهمی از مرجعی گرفته شده، شماره مرجع آمده است و خواننده گرامی با مراجعه به انتهای کتاب می‌تواند مشخصات منبع اصلی موضوع را برای استفاده بیشتر ببیند. در این کتاب ۱۵ آزمایش مهم و معمولی که در اکثر دانشگاه‌ها تدریس می‌شود، بیان شده و هر آزمایش در فصلی جداگانه آمده است. در فصول اولیه کتاب، آزمایش‌های طبقه‌بندی خاک، شامل دانه‌بندی، هیدرومتری، حدود اتربرگ و در فصول پایانی آزمایش‌های مکانیکی خاک شامل تحکیم، تک‌محوری، CBR، سه‌محوری و برش مستقیم و در فصول دیگر آزمایش‌های G_s ، SE ، نفوذپذیری، تراکم و γ_d در محل با تکیه بر استاندارد معتبر ASTM آورده شده است.

به دلیل اهمیت نحوه نمونه‌گیری در آزمایش‌های مکانیک خاک، فصلی جداگانه نیز به این موضوع اختصاص یافته است. پیشنهاد می‌شود خواننده محترم قبل از مطالعه آزمایش‌ها این فصل را مطالعه کند، با انواع نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده و روش تهیه آن‌ها آشنا شود و کاربردهای هر یک را در طی فصول بعدی پیگیری کند. در ویراست جدید، آقای مهندس رضا شاکریان در بخش‌هایی از کتاب بازنگری کرده‌اند، که بدین وسیله از ایشان سپاس‌گزاری می‌شود.

در پایان از کلیه عزیزان و سرورانی که در تهیه این کتاب ما را یاری داده‌اند، به خصوص افرادی که اسامی‌شان در بخش تشکر و قدردانی نیامده، صمیمانه سپاس‌گزاریم.

مؤلفان

تابستان ۱۳۸۷