

مباحث تکمیلی در مکانیک خاک

تألیف

دکتر امیر حمیدی

استاد دانشگاه خوارزمی

امیر حسین کریمی

کارشناس ارشد ژئوتکنیک



دانشگاه خوارزمی

تهران، ۱۳۹۷

پیشگفتار

علم مکانیک خاک در بسیاری از پروژه‌های عمرانی نقش مهم و تأثیرگذاری را ایفا می‌نماید. افزایش جمعیت شهری و پروژه‌هایی مانند بلندمرتبه‌سازی در مناطق پرجمعیت و نیاز به گدبرداری عمیق، ساخت مترو و فضاهای زیرزمینی جهت تسهیل حمل‌ونقل در مناطق پرجمعیت شهری، مسائل مربوط به راهسازی و ساخت پل‌های درون‌شهری، لزوم آشنایی بیش از پیش مهندسين عمران با مسائل مرتبط با مکانیک خاک را بدیهی‌تر می‌نماید.

در حال حاضر در دوره کارشناسی مهندسی عمران، مکانیک خاک از دروس پایه و اساسی است که تمامی دانش‌جویان این رشته، موظف به گذراندن سه واحد درسی آن می‌باشند. با توجه به گستردگی فاهم موجود، توضیح و ارائه تمامی مطالب و موارد مورد نیاز در قالب یک درس سه واحدی ممکن نبوده و بسیاری از نکات مهم، ناقص باقی می‌ماند. البته دانشجویانی که برای ادامه تحصیل در دوره کارشناسی ارشد، گرایش مهندسی ژئوتکنیک را انتخاب می‌نمایند، در ادامه با سه درس دروسی مانند مکانیک خاک پیشرفته و یا مدل‌سازی رفتار خاک را خواهند گذراند. اما به دیگر که به تحصیل در سایر گرایش‌ها می‌پردازند و یا مهندسی که پس از اتمام تحصیلات، کارشناسی وارد بازار کار حرفه‌ای می‌شوند، همواره نیاز به اطلاعات تکمیلی در خصوص این موضوعات را احساس می‌نمایند.

بر این اساس، کتاب حاضر، با روشی ساده، به مرور و تکمیل اطلاعات لازم در شاخه مکانیک خاک برای تمامی مهندسين عمران می‌پردازد. این کتاب شامل هفت فصل است که در فصل اول، مروری اجمالی به نکات مهم در مکانیک خاک کلاسیک و مقدماتی می‌شود. در فصل دوم، سه آزمایش مهم مکانیکی شامل تحکیم، برش مستقیم و سه محوری، به‌طور دقیق مورد مطالعه قرار می‌گیرد. فصل سوم به توضیح مسیر تنش و اهمیت

آن در مسائل مهندسی ژئوتکنیک می‌پردازد. ارتباط بین مقاومت برشی و اتساع، به عنوان دو پارامتر اساسی و مؤثر بر رفتار خاک نیز در فصل چهارم مورد بررسی قرار می‌گیرد. مفاهیم حالت بحرانی در خاک‌ها در فصل پنجم کتاب آموزش داده شده و فصل ششم نیز به تحلیل‌های پایداری شیب‌ها می‌پردازد. فصل هفتم کتاب نیز به پدیده روانگرایی، مکانیزم و روش‌های ارزیابی پتانسیل وقوع آن خواهد پرداخت.

بدون شک، هرگونه نظرات اساتید، مهندسين و دانشجویان محترم مهندسی عمران، در بهبود کیفیت فنی و نگارشی این اثر، تأثیرگذار و از طرف نویسندگان مورد تقدیر و تشکر می‌باشد. برای ارائه نظرات ارزشمند خود به نویسندگان می‌توانند از طریق پست الکترونیکی ahamidi.khv@gmail.com اقدام نمایند. امید است که این کتاب در آموزش بهتر مفاهیم اساسی و پایه مورد نیاز علم مکانیک خاک مفید واقع گردد.

امیر حمیدی

پاییز ۱۳۹۷

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۳	فصل اول: مروری بر مفاهیم پایه در مکانیک خاک کلاسیک
۱۳	۱-۱- مقدمه
۱۳	۱-۲- انواع خاک‌ها و طبقه‌بندی آن
۲۴	۱-۳- روابط وزنی و حجمی در خاک
۲۵	۱-۳-۱- درصد - رطوبت
۲۵	۱-۳-۲- درصد اشباع
۲۵	۱-۳-۳- نسبت تخلخل
۲۶	۱-۳-۴- تخلخل یا پوکی
۲۶	۱-۳-۵- درصد هوا
۲۶	۱-۳-۶- وزن مخصوص مرطوب
۲۶	۱-۳-۷- وزن مخصوص اشباع
۲۷	۱-۳-۸- وزن مخصوص خشک
۲۷	۱-۳-۹- وزن مخصوص دانه‌های خاک
۲۷	۱-۳-۱۰- چگالی دانه‌های خاک
۲۷	۱-۳-۱۱- روابط کاربردی
۲۸	۱-۳-۱۲- نسبت تخلخل حداقل
۲۸	۱-۳-۱۳- نسبت تخلخل حداکثر
۲۹	۱-۳-۱۴- دانسیته نسبی
۲۹	۱-۴- تراوش در خاک‌ها
۳۲	۱-۵- روابط تنش و تغییر شکل
۳۳	۱-۶- سؤالات آخر فصل
۳۷	فصل دوم: آزمایش‌های مکانیکی
۳۷	۲-۱- مقدمه
۳۷	۲-۲- تئوری تحکیم
۳۹	۲-۳- آزمایش تحکیم
۵۱	۲-۴- مقاومت برشی

۵۲	۱-۴-۲-آزمایش برش مستقیم.....
۵۶	۲-۴-۲-آزمایش برش ساده.....
۵۸	۳-۴-۲-آزمایش برش سه محوری.....
۶۵	۱-۳-۴-۲-روش های ساخت نمونه برای آزمایش سه محوری.....
۶۶	۱-۱-۳-۴-۲-روش تراکم مرطوب.....
۶۸	۲-۱-۳-۴-۲-روش رسوب گذاری در آب.....
۶۹	۳-۱-۳-۴-۲-روش ریزش در هوا.....
۷۰	۴-۱-۳-۴-۲-روش ساخت نمونه اشباع در آزمایش سه محوری.....
۷۳	۱-۴-۲-نتایج و خروجی های آزمایش سه محوری.....
۷۴	۱-۲-۴-۲-نمودار تنش انحرافی- کرنش محوری.....
۷۶	۲-۲-۳-۴-۲-نمودار کرنش حجمی- کرنش محوری.....
۷۹	۲-۳-۴-۲-نمودار فشار آب حفره ای- کرنش محوری.....
۸۳	۴-۲-۳-۴-۲-نمودار ضرایب فشار آب حفره ای اسکمپتون.....
۸۵	۵-۲-سؤالات آخر فصل.....
۸۹	فصل سوم: مسیر تنش.....
۸۹	۱-۳-مقدمه.....
۸۹	۲-۳-مسیر تنش آزمایش سه محوری.....
۹۱	۳-۳-نمایش های مختلف مسیر تنش.....
۹۱	۱-۳-۳-تغییرات تنش انحرافی- تنش همه جانبه.....
۹۲	۲-۳-۳-نمایش در صفحه q-p.....
۹۶	۳-۳-۳-نمایش در صفحه t-s.....
۱۰۱	۴-۳-۳-مسیر تنش در صفحه سه محوری.....
۱۰۳	۵-۳-۳-نمایش در صفحه جذر نامتغیر دوم تانسور تنش انحرافی- نام تانسور تنش.....
۱۰۴	۶-۳-۳-نمایش در صفحه تنش برشی اکناهدرال- تنش نرمال اکناهدرال.....
۱۰۷	۴-۳-تغییرات تنش های اصلی در مسائل مهندسی ژئوتکنیک.....
۱۱۱	۵-۳-آزمایش سه محوری حقیقی.....
۱۱۲	۱-۵-۳-مسیر تنش آزمایش فشار هیدرواستاتیک (HC).....
۱۱۳	۲-۵-۳-مسیر تنش آزمایش فشار سه محوری معمولی (CTC).....
۱۱۳	۳-۵-۳-مسیر تنش آزمایش کشش سه محوری کاهش یافته (RTE).....
۱۱۴	۴-۵-۳-مسیر تنش آزمایش فشار سه محوری کاهش یافته (RTC).....
۱۱۵	۵-۵-۳-مسیر تنش آزمایش کشش سه محوری معمولی (CTE).....
۱۱۶	۶-۵-۳-مسیر تنش آزمایش سه محوری فشاری (TC).....

۱۱۷.....	۳-۵-۷- مسیر تنش آزمایش سه محوری کششی (TE)
۱۱۷.....	۳-۵-۸- مسیر تنش آزمایش برش ساده (SS)
۱۱۹.....	۳-۶- سؤالات آخر فصل
۱۲۳.....	فصل چهارم: ارتباط مقاومت و اتساع در خاک‌های دانه‌ای
۱۲۳.....	۴-۱- مقدمه
۱۲۳.....	۴-۲- مفهوم اتساع در نمودارهای تنش و کرنش
۱۲۵.....	۴-۳- ارتباط بین زاویه اصطکاک و زاویه اتساع خاک
۱۲۶.....	۴-۳-۱- تئوری سطح دندانه‌ای
۱۲۷.....	۴-۳-۲- تئوری تیلور (۱۹۴۸)
۱۲۸.....	۴-۳-۲-۱- روابط بولتون (۱۹۸۶)
۱۳۰.....	۴-۳-۴- روابط مقارنت-اتساع در خاک‌های سیمانه خوب دانه‌بندی شده
۱۳۴.....	۴-۳-۵- روابط مقاومت-اتساع در خاک‌های سیمانه بد دانه‌بندی شده
۱۳۸.....	۴-۴- سؤالات آخر فصل
۱۴۱.....	فصل پنجم: مفاهیم بحرانی خاک‌ها
۱۴۱.....	۵-۱- مقدمه
۱۴۲.....	۵-۲- نسبت تخلخل بحرانی
۱۴۲.....	۵-۳- خط حالت بحرانی
۱۵۰.....	۵-۴- سطوح حالت مرزی
۱۶۰.....	۵-۴-۱- سطح و رزشلو در صفحه تنش‌های نرمال شده
۱۶۴.....	۵-۵- خط حالت بحرانی در فضای نرمال شده تنش‌ها
۱۶۶.....	۵-۶- مدل الاستوپلاستیک Cam clay
۱۶۶.....	۵-۶-۱- خصوصیات الاستیک
۱۶۶.....	۵-۶-۲- سطح تسلیم
۱۶۷.....	۵-۶-۳- تابع پتانسیل پلاستیک
۱۶۸.....	۵-۶-۴- قانون سخت‌شوندگی
۱۷۲.....	۵-۷- محاسبات مدل Cam clay برای آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده
۱۷۲.....	۵-۷-۱- مدل سازی رفتار رس عادی تحکیم یافته در آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده
۱۷۶.....	۵-۷-۲- مدل سازی رفتار رس تا حدی پیش تحکیم یافته در آزمایش سه محوری زهکشی شده
۱۸۰.....	۵-۷-۳- مدل سازی رفتار رس بسیار پیش تحکیم یافته در آزمایش سه محوری زهکشی شده
۱۸۲.....	۵-۸- محاسبات مدل Cam clay برای آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده
۱۸۵.....	۵-۸-۱- مدل سازی رفتار رس عادی تحکیم یافته در آزمایش سه محوری زهکشی نشده
۱۸۸.....	۵-۸-۲- مدل سازی رفتار رس تا حدی پیش تحکیم یافته در آزمایش سه محوری زهکشی نشده

۱۹۱	۵-۸-۳- مدل سازی رفتار رس بسیار پیش تحکیم یافته در آزمایش سه محوری زهکشی نشده
۱۹۴	۵-۹- سؤالات آخر فصل
۱۹۷	فصل ششم: پایداری شیب ها
۱۹۷	۶-۱- مقدمه
۱۹۷	۶-۲- گسیختگی شیب ها
۲۰۰	۶-۳- عوامل گسیختگی شیب ها
۲۰۴	۶-۴- بررسی پایداری شیب های نامحدود
۲۱۰	۶-۵- گسیختگی دورانی شیب ها
۲۱۳	۶-۵-۱- روش فلیوس
۲۱۴	۶-۵-۱-۱- شیب اشباع و عملکرد کوتاه مدت
۲۱۴	۶-۵-۱-۲- شیب ناقص و عملکرد کوتاه مدت
۲۱۵	۶-۵-۱-۳- تخلیه ربیع
۲۱۶	۶-۵-۱-۴- شیب اشباع با ترک کشی
۲۱۷	۶-۵-۲- روش بیشاپ
۲۱۹	۶-۵-۳- روش جانبو
۲۲۲	۶-۵-۴- نحوه استفاده از روش و اما
۲۳۱	۶-۶- تحلیل کامپوتری پایداری شیب ها
۲۳۵	۶-۶-۱- پایداری شیب های خاک مسلح
۲۳۷	۶-۷- سؤالات آخر فصل
۲۳۹	فصل هفتم: مفاهیم روانگرایی خاک ها
۲۳۹	۷-۱- مقدمه
۲۴۰	۷-۲- مکانیزم وقوع روانگرایی
۲۴۱	۷-۳- خاک های مستعد روانگرایی
۲۴۲	۷-۳-۱- معیار چینی اصلاح شده
۲۴۳	۷-۳-۲- معیار اندروز و مارتین (۲۰۰۰)
۲۴۳	۷-۳-۳- معیار سید و ادریس (۱۹۸۲)
۲۴۶	۷-۴- بررسی پتانسیل روانگرایی با استفاده از مفاهیم حالت پایدار
۲۴۷	۷-۴-۱- تعیین نسبت تخلخل در محل برای خاک مورد نظر
۲۴۸	۷-۴-۲- تعیین نسبت تخلخل حالت پایدار، تابعی از تنش مؤثر با استفاده از نمونه های بازسازی شده
۲۵۲	۷-۴-۳- تعیین مقاومت حالت پایدار زهکشی نشده برای نمونه های دست نخورده
۲۵۳	۷-۴-۴- تصحیح مقاومت حالت پایدار زهکشی نشده با توجه به نسبت تخلخل در محل خاک
۲۵۳	۷-۴-۵- محاسبه تنش برشی وارده در شرایط محل مورد نظر و تعیین ضریب اطمینان

۲۶۷	.....	۵-۷- آزمایش های صحرایی
۲۶۸	.....	۱-۵-۷- روابط آزمایش نفوذ استاندارد
۲۷۷	.....	۲-۵-۷- آزمایش نفوذ مخروط
۲۷۸	.....	۳-۵-۷- آزمایش تعیین سرعت موج برشی
۲۸۰	.....	۴-۵-۷- مقایسه عملکرد روش های صحرایی
۲۸۱	.....	۶-۷- تحلیل ریسک بروز روانگرایی
۲۸۱	.....	۱-۶-۷- بروز در سطح
۲۸۲	.....	۲-۶-۷- احتمال وقوع زلزله
۲۸۴	.....	۳-۶-۷- مطالعه موردی تحلیل ریسک خطر روانگرایی
۲۸۸	.....	۷-۷- پیوسته آخر فصل
۲۸۹	.....	فهرست مراجع