



محاسباتِ مهندسی ژئوتکنیک با قوانین ساده

مترجم و مؤلف:

دکتر علی اکبر حیدری

عضو هیئت علمی دانشگاه هنر

سرشناسه	راجاپاکس، رووان. Rajapakse, Ruwan
عنوان و نام پدیدآور	محاسبات مهندسی ژئوتکنیک با قوانین ساده / [رووان راجاپاکس]؛ مترجم و مؤلف علی اکبر حیدری.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه هنر، ۱۳۹۹
مشخصات ظاهری	[۴۲۰]ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۸۰۰۰ ریال: ۹-۴۰-۶۵۱۳-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
یادداشت	عنوان اصلی: Geotechnical engineering calculations and rules of thumb ,2nd ed,[2016].
یادداشت	واژه نامه.
عنوان دیگر	مهندسی ژئوتکنیک: مباحث کلی، محاسبات و قواعد سرانگشتی.
موضوع	مهندسی ژئوتکنیک -- ریاضیات -- دستنامه ها
موضوع	Geotechnical engineering -- Mathematics -- Handbooks, manuals, etc
موضوع	خاک-- مکانیک -- ریاضیات -- دستنامه ها
موضوع	Soil mechanics -- Mathematics -- Handbooks, manuals, etc
شناسه افزوده	حیدری، علی اکبر، ۱۳۳۴-، مترجم و مؤلف
شناسه افزوده	دانشگاه هنر
رده بندی کنگره	TAV۰۵
رده بندی دیویی	۶۲۴/۱۵۱۰۱۵۱
شماره کتابشناسی ملی	۷۳۴۰۸۴۸
وضعت رکورد	فیپا
نام کتاب	محاسبات مهندسی ژئوتکنیک و قوانین ساده آن
ترجمه و تألیف	دکتر علی اکبر حیدری / عضو هیئت علمی دانشگاه هنر
ویراستار	فریبا حیدری
یونیفرم جلد و صفحات	علی عبدی
صفحه آرای	رامین حکیمی آرا
چاپ اول	بهار ۱۳۹۹
بها	۹۸۰۰۰ ریال
شمارگان	۲۵۰ نسخه
قطع	وزیری
شابک	ISBN: 978-600-6513-40-9 ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۱۳-۴۰-۹
ناشر	 تهران، خیابان حافظ، خیابان شهید سرهنگ سخایی، بعد از تقاطع ۳۰ تیر، شماره ۵۶
تلفن: ۵۶۸۲ ۶۶ ۷۲ (۰۲۱)	
***	کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.
***	مسئولیت مطالب به عهده نویسنده است و لزوماً دیدگاه های دانشگاه هنر را منعکس نمی کند.

بخش یکم: اصول مهندسی ژئوتکنیک

فصل اول: زمین‌شناسی و مهندسی ژئوتکنیک

۱- زمین‌شناسی و مهندسی ژئوتکنیک	۳
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- مقاومت خاک‌ها	۳
۱-۳- منشأ صخره‌ها و سنگ‌ها	۵
۱-۴- انواع سنگ‌ها	۶
۱-۵- انواع لایه‌های خاک	۱۰

فصل دوم: بررسی و شناسایی میدانی

۲- بررسی و شناسایی میدانی	۱۷
۲-۱- چسبندگی خاک	۱۷
۲-۲- اصطکاک خاک	۱۷
۲-۳- مبدأ یک پروژه	۱۸
۲-۴- فرایندهای بررسی ژئوتکنیکی	۱۹
۲-۵- جمع‌آوری و بررسی اطلاعات نوشتاری	۲۰
۲-۶- بازدید و شناسایی میدانی	۲۱
۲-۷- ژئوفیزیک	۲۶
۲-۸- مرحله‌ی بررسی و شناسایی زیرزمینی	۳۲
۲-۹- آزمایش‌های میدانی ژئوتکنیکی	۳۶
۲-۱۰- ارتباط بین زاویه‌ی اصطکاک (ϕ') و مقدار آزمایش نفوذ استاندارد (N)	۳۸
۲-۱۱- محاسبه مقدار آزمایش نفوذ استاندارد (N) براساس کارایی دکل حفاری	۴۰
۲-۱۲- آزمایش نفوذ مخروط در خاک (CPT)	۴۱
۲-۱۳- آزمایش مقاومت سنج خاک	۴۵
۲-۱۴- آزمایش انبساط سنج	۴۸
۲-۱۵- روابط آزمایش نفوذ استاندارد- آزمایش نفوذ مخروط در خاک	۴۸

فصل سوم: آب زیرزمینی

۳- آب زیرزمینی	۵۳
۳-۱- توزیع قائم آب زیرزمینی	۵۴
۳-۲- لایه‌های آبدار، لایه‌های ناآبده، سفره‌های بی‌آب و لایه‌های ناتراوا	۵۵
۳-۳- فشارسنج سیالات (پیزومتر)	۵۶

فصل چهارم: آزمون آزمایشگاهی خاک

۴- آزمون آزمایشگاهی خاک	۶۳
۴-۱- آزمایش دانه‌بندی	۶۳
۴-۲- آزمایش چگالی سنج مایعات	۶۸
۴-۳- حد روانی (LL)، حد خمیری (PL)، حد انقباض (SL) (حدود اتربرگ)	۷۲
۴-۴- آزمایش نفوذ پذیری	۷۵
۴-۵- آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری زهکشی نشده (آزمون UU)	۷۸
۴-۶- گسیختگی کششی	۷۹

فصل پنجم: مفاهیم نظری مهندسی ژئوتکنیک

۵- مفاهیم نظری مهندسی ژئوتکنیک	۸۳
۵-۱- تنش مؤثر قائم	۸۳
۵-۲- فشار جانبی خاک	۸۵
۵-۳- افزایش فشار ناشی از پی‌های سطحی	۸۷
۵-۴- نسبت بیش‌تحکیمی (OCR)	۸۹
۵-۵- تراکم خاک	۹۴
۵-۶- محاسبات معدن قرضه	۹۶
۵-۷- گفتار کوتاهی پیرامون لرزه‌شناسی	۹۹

بخش دوم: پی‌های سطحی کم‌عمق

فصل ششم: اصول پی کم‌عمق

۶- اصول پی کم‌عمق	۱۱۷
۶-۱- مقدمه	۱۱۷
۶-۲- ساختمان‌ها	۱۱۷
۶-۳- ساختمان‌های دارای زیرزمین	۱۱۸
۶-۴- پل‌ها	۱۱۸
۶-۵- عمق یخبندان	۱۱۹

فصل هفتم: ظرفیت باربری-قوانین ساده

۷- ظرفیت باربری-قواعد سرانگشتی	۱۲۳
۷-۱- مقدمه	۱۲۳
۷-۲- ظرفیت باربری ماسه‌های متوسط تا درشت (آزمون زهکشی‌شده)	۱۲۳

۱۲۵ --- ۷-۳- ظرفیت باربری در ماسه‌های ریزدانه

**فصل هشتم: محاسبه ظرفیت باربری
(معادله کلی برای خاک‌های چسبنده و غیرچسبنده)**

- ۱۲۹ --- ۸-۸- محاسبه ظرفیت باربری
- ۱۲۹ --- ۸-۱- عبارات مورد استفاده در معادله ظرفیت باربری ترزاقی
- ۱۳۰ --- ۸-۲- توضیح عبارات در معادله ظرفیت باربری ترزاقی
- ۱۳۲ --- ۸-۳- معادله ظرفیت باربری ترزاقی (بحث)
- ۱۳۴ --- ۸-۴- ظرفیت باربری در خاک‌های ماسه‌ای (تحلیل زهکشی شده)
- ۱۳۶ --- ۸-۵- ظرفیت باربری در رس (تحلیل زهکشی نشده)
- ۱۳۹ --- ۸-۶- ظرفیت باربری در خاک لایه‌ای
- ۱۴۸ --- ۸-۷- ظرفیت باربری وقتی آب زیرزمینی وجود دارد
- ۱۵۰ --- ۸-۸- آب زیرزمینی زیر مثلث تنش (فشار)
- ۱۵۰ --- ۸-۹- آب زیرزمینی بالای تراز کف پی
- ۱۵۱ --- ۸-۱۰- آب زیرزمینی در تراز کف پی
- ۱۵۵ --- ۸-۱۱- معادله ظرفیت باربری میرهوف
- ۱۵۸ --- ۸-۱۲- بارگذاری برون محوری
- ۱۶۵ --- ۸-۱۳- پی‌های سطحی در کوله‌های پل
- ۱۶۷ --- ۸-۱۴- محاسبات ظرفیت باربری (آئین‌نامه اروپا)
- ۱۷۰ --- ۸-۱۵- شرایط زهکشی نشده

فصل نهم: نشست ارتجاعی پی‌های سطحی

- ۱۷۵ --- ۹-۹- نشست ارتجاعی پی‌های سطحی
- ۱۷۵ --- ۹-۱- مقدمه

فصل دهم: طراحی آرماتورگذاری پی

- ۱۸۱ --- ۱۰-۱- طراحی آرماتورگذاری پی
- ۱۸۱ --- ۱۰-۱- طراحی بتن (یادآوری)
- ۱۸۲ --- ۱۰-۲- طراحی برای خمش تیر
- ۱۸۴ --- ۱۰-۳- طراحی آرماتورگذاری پی

فصل یازدهم: طراحی پی شبکه‌ای

- ۱۹۱ --- ۱۱-۱- طراحی پی شبکه‌ای
- ۱۹۱ --- ۱۱-۱- مقدمه

فصل دوازدهم: پی‌های سطحی تحت گشتاور خمشی

- ۱۹۹ --- ۱۲-۱- پی‌های سطحی تحت گشتاور خمشی
- ۱۹۹ --- ۱۲-۱- مقدمه

فصل سیزدهم: ژئوگریدها	
۲۰۹	--- ۱۳- ژئوگریدها
۲۱۰	--- ۱۳-۱ ساز و کارهای گسیختگی
فصل چهاردهم: تیرکلاف‌ها و تیرپی‌ها	
۲۱۳	--- ۱۴- تیرکلاف‌ها و تیرپی‌ها
۲۱۳	--- ۱۴-۱ تیرکلاف‌ها
۲۱۳	--- ۱۴-۲ تیرپی‌ها
۲۱۴	--- ۱۴-۳ درزهای اجرایی
فصل پانزدهم: زهکشی برای پی‌های کم‌عمق	
۲۱۹	--- ۱۵- زهکشی برای پی‌های کم‌عمق
۲۱۹	--- ۱۵-۱ مقدمه
۲۲۰	--- ۱۵-۲ روش‌های آب‌زدایی
۲۲۳	--- ۱۵-۳ طراحی سیستم‌های آب‌زدایی
۲۲۴	--- ۱۵-۴ منجمدسازی زمین
۲۳۱	--- ۱۵-۵ لوله‌های زهکش و طراحی صافی
۲۳۲	--- ۱۵-۶ طراحی صافی بافته‌ی زمینی
فصل شانزدهم: انتخاب نوع پی	
۲۳۹	--- ۱۶- انتخاب نوع پی
۲۳۹	--- ۱۶-۱ پی‌های کم‌عمق
۲۳۹	--- ۱۶-۲ پی‌های گسترده
۲۴۰	--- ۱۶-۳ پی‌های شمع‌ی
۲۴۰	--- ۱۶-۴ پی‌های صندوقه‌ای
۲۴۱	--- ۱۶-۵ معیارهای انتخاب پی
فصل هفدهم: نشست تحکیمی پی‌ها	
۲۴۵	--- ۱۷- نشست تحکیمی پی‌ها
۲۴۵	--- ۱۷-۱ مقدمه
۲۴۷	--- ۱۷-۲ توزیع فشار منفذی اضافی
۲۴۸	--- ۱۷-۳ رس‌های تحکیم‌عادی یافته و رس‌های بیش‌تحکیم‌یافته
۲۵۲	--- ۱۷-۴ تحکیم اولیه کلی
۲۵۷	--- ۱۷-۵ تحکیم در رس بیش‌تحکیم‌یافته
۲۶۱	--- ۱۷-۶ محاسبه زمان [سپری شده] برای تحکیم
۲۶۲	--- ۱۷-۷ لایه زهکش (H)

فصل هجدهم: تحکیم ثانوی	
--- ۱۸ - تحکیم ثانوی	۲۷۱
فصل نوزدهم: طراحی لرزه‌ای پی‌های کم‌عمق	
--- ۱۹ - طراحی لرزه‌ای پی‌های کم‌عمق	۲۷۹
--- ۱۰۹ - انتخاب مقدار αh برای یک شهر مشخص	۲۸۲
بخش سوم: سازه‌های نگهبان خاک	
فصل بیستم: سازه‌های نگهدارنده‌ی خاک	
--- ۲۰ - سازه‌های نگهدارنده‌ی خاک	۲۸۷
--- ۱-۲۰ - مقدمه	۲۸۷
--- ۲-۲۰ - توزیع فشار آب	۲۸۸
--- ۳-۲۰ - ضرایب رانش محرک و مقاوم خاک (K_p و K_a)	۲۹۱
--- ۴-۲۰ - ضریب رانش جانبی خاک در حالت سکون (K_o)	۲۹۱
فصل بیست و یکم: دیوارهای حائل ثقیل: خاکریز ماسه‌ای	
--- ۲۱ - دیوارهای حائل ثقیل: خاکریز ماسه‌ای	۲۹۷
--- ۱-۲۱ - مقدمه	۲۹۷
--- ۲-۲۱ - طراحی دیوار حائل وقتی که آب زیرزمینی وجود دارد	۳۰۰
--- ۳-۲۱ - طراحی دیوار حائل در مجاورت خاک‌های ماسه‌ای ناهمگن	۳۰۶
فصل بیست و دوم: دیوارهای طره‌ای (کنسولی)	
--- ۲۲ - دیوارهای طره‌ای (کنسولی)	۳۲۹
فصل بیست و سوم: دیوارهای تورسنگی (گابیون)	
--- ۲۳ - دیوارهای تورسنگی (گابیون)	۳۳۷
--- ۱-۲۳ - مقدمه	۳۳۷
--- ۲-۲۳ - دیوارهای حائل کنده‌ای (الوار چوبی)	۳۴۱
فصل بیست و چهارم: دیوارهای خاکی مسلح	
--- ۲۴ - دیوارهای خاکی مسلح	۳۴۵
فصل بیست و پنجم: طراحی سازه‌ای دیوارهای حائل	
--- ۲۵ - طراحی سازه‌ای دیوارهای حائل	۴۱۱
فهرست واژگان	۳۵۷

پیش‌گفتار

زمین‌شناسان به دانستن اصل و چگونگی تشکیل خاک و مهندسان خاک‌شناسی در کشاورزی به عملکرد فیزیکی و شیمیایی لایه‌ی پوششی سطح زمین علاقه‌مندند، درحالی‌که مهندسان ژئوتکنیک به این موضوع که خاک چگونه بار ساختمان‌ها را تحمل می‌کند می‌پردازند.

به کارگرفتن خاک و سنگ در ساختمان، به دوران قدیم باز می‌گردد. مهندسان و سازندگان بناهای مختلف با روش‌های پی‌سازی دوران خود آشنا بوده و با مسائل گوناگون ناشی از رفتار خاک‌های مختلف برخورد داشته‌اند. آن‌ها از تجربیات خود و همچنین موفقیت و شکست دیگران دریافته‌اند که چگونه از خاک و سنگ استفاده کنند.

اگرچه از زمان‌هایی گذشته طرح و اجرای بناها رایج بوده، اما مبنای انجام آن تجربه‌های پیشین بوده است و به همین دلیل گاهی خرابی‌هایی پدید می‌آمد که نشان‌دهنده‌ی نارسایی‌های روش‌های تجربی به کارگرفته بود. جهش اساسی در علم نوپای مکانیک خاک و پی در سال ۱۹۲۵م توسط کارل ترزاقی پدر علم مکانیک خاک انجام گرفت. نگرش صحیح فنی-مهندسی وی از پدیده‌های فیزیکی شاید از مهم‌ترین عوامل پیشرفت و نشان دادن راه‌های پژوهش جدید در مکانیک خاک بوده است.

پس از پایان جنگ جهانی دوم تا به امروز پژوهش‌ها گسترده‌تر و تجربیات و بررسی‌ها چندین برابر افزایش یافته‌است. دستگاه‌های اندازه‌گیری جدید طراحی شده و آزمایش‌های دقیق و بهتری به وجود آمده است و پیشرفت‌ها به درجه‌ای رسیده که علم مکانیک خاک که خود زیرمجموعه‌ی مهندسی ژئوتکنیک است، یکی از ارکان مهندسی عمران به حساب آمد. این علم هنوز به تکامل نرسیده و دانشگاه‌های بزرگ و مراکز تحقیقاتی ژئوتکنیکی جهان همچنان در تلاش‌اند تا این تکامل را تسریع بخشند.

کتاب حاضر براساس تجربیات به‌دست‌آمده و مطالعات انجام‌شده توسط مترجم و مؤلف تدوین یافته است و سعی بر این بوده که از بهترین و موجه‌ترین مقالات علمی و کتاب‌ها به‌عنوان منابع و مآخذ استفاده گردد و مطالب نظری و تجربی به‌گونه‌ای در کنار یکدیگر قرار گیرند که رابطه‌ی آن‌ها برای خوانندگان روشن و قابل درک باشد. گرچه هدف اصلی از تهیه‌ی این کتاب آشنایی دانشجویان در مقاطع مختلف تحصیلی مهندسی معماری، مهندسی عمران و مهندسی ژئوتکنیک است؛ لیکن مطالب و عمق آن‌ها به نحوی انتخاب گردیده که بتواند برای مهندسان معماری، مهندسان عمران، مشاوران، پیمانکاران، مهندسان مجری و کارفرمایان در حل مسائل اجرایی ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار گیرد.

این کتاب در سه بخش تدوین یافته است:

۱. اصول مهندسی ژئوتکنیک، شامل پنج فصل (۱-۵)،
۲. پی‌های سطحی کم‌عمق، شامل چهارده فصل (۶-۱۹)،
۳. سازه‌های نگهبان خاک، شامل شش فصل (۲۰-۲۵).

فصل‌های کتاب از مطالب مقدماتی مکانیک خاک شروع شده و به مسائل پیشرفته‌ی ژئوتکنیک خاتمه می‌یابد. این کتاب شامل مثال‌های طراحی حل‌شده‌ی متعددی با استفاده از راه‌حل‌های ساده می‌باشد، که براساس مطالب هر فصل ارائه شده است. در آخر هر فصل فهرستی از منابع و مآخذ به منظور کسب اطلاعات بیشتر علاقمندان آورده شده‌است، به گونه‌ای که دسترسی آسان به آن‌ها برای خوانندگان ممکن باشد.

بر خود لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر آزاده‌فر معاون ارجمند پژوهش و فناوری، جناب آقای دکتر بوذری مدیر محترم اداره‌ی انتشارات دانشگاه هنر و سایر کارمندان ارجمند آن اداره، که با حسن اعتماد به مترجم و نگارنده، ظهور این نوشتار را میسر ساخته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. از سرکار خانم دکتر فیاض مدیر ارجمند گروه فناوری و معماری، که مترجم و نگارنده را از نقطه‌نظرهای ارزشمندشان بهره‌مند ساخته‌اند سپاسگزارم. همچنین از زحمات و همکاری‌های صمیمانه‌ی سرکاران خانم مهندس معصومه تراز و خانم مهندس سعیده غلامی‌هوجقان که در تهیه‌ی این کتاب مرا صادقانه یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در خاتمه مترجم و مؤلف از خوانندگان عزیز و دانشجویان گرامی نکته‌سنج تقاضا دارد، به منظور افزایش کیفیت کتاب و رفع خطاها، لغزش‌ها و اشتباهات که از ویژگی‌های نوشتار بشری است، ایشان را از طریق اداره‌ی انتشارات دانشگاه هنر آگاه نمایند تا در چاپ‌های بعدی نسبت به رفع آن‌ها اقدام شود. پیشاپیش از بذل توجه و همکاری شما عزیزان قدردانی می‌گردد.

علی اکبر حیدری

بهار ۱۳۹۹