



دانشگاه صنعت آب و برق
(شهید عباسپور)

مکانیک خاک کاربردی

با استفاده از نرم افزار ABAQUS

ترجمه: دکتر علی نورزاد

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

مهندس مصطفی جلال

هلوانی، سَم، ۹۵۸، م. Helwany, Sam
مکانیک خاک کاربردی با استفاده از نرم افزار ABAQUS [سَم هلوانی]
ترجمه: علی نورزاد، مصطفی جلال

ناشر: تهران، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، ۱۳۸۹.

مشخصات ظاهری: ۶۷۲ص، مصور، جدول، نمودار

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۸۳۴۸-۲۶-۲

وضعیت فهرست نویسی: فیا

موضوع: مکانیک خاک، روش المان محدود، نرم افزار ABAQUS

مترجم: نورزاد، علی، ۱۳۳۹- جلال، مصطفی

رده بندی کنگره TAV۱۰/۵۸م۷ ۱۳۸۹

رده بندی دیویی ۶۲۴/۱۵۱۳۶

کتابخانه ملی ایران ۲۰۸۳۲۱۳

مکانیک خاک کاربردی با استفاده از نرم افزار ABAQUS

ترجمه: دکتر علی نورزاد، مهندس مصطفی جلال

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

سال انتشار: ۱۳۸۹

لیتوگرافی: گنج شایگان

چاپ و صحافی: گنج شایگان - تلفن: ۵۵۴۰۲۱۸۴ - ۵۵۴۱۷۵۷۴

نوبت چاپ: اول

قیمت: ۱۳۵۰۰۰ ریال

مراکز پخش:

- ۱- تهرانپارس، بلوار شهید عباسپور، دانشگاه صنعت آب و برق
تلفن: ۷۳۹۳۲۳۷۳ - ۷۳۹۳۲۳۷۶
- ۲- خیابان آزادی، خیابان دکتر قریب، نبش فرصت، پلاک ۷، مرکز پخش کتابیران
تلفن: ۶۶۵۶۶۵۱۰ - ۱۵
- ۳- م انقلاب، خ اردیبهشت، بین لبافی نژاد و جمهوری، پلاک ۱۰ انتشارات فدک
تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶
- ۴- م انقلاب، خ اردیبهشت، نبش وحید نظری شماره ۱۴۲ انتشارات دانش نگار
تلفن: ۶۶۴۰۰۱۴۴ - ۶۶۴۰۰۲۲۰
- ۵- خ انقلاب، خ بزرگمهر، بین وصال و قدس، پلاک ۱۰۷، نشر کتاب دانشگاهی
تلفن: ۶۶۴۱۸۵۸۶ - ۶۶۴۶۷۲۲۶

تقدیر و تشکر

اکنون که ترجمه این کتاب علمی و کاربردی معتبر به زیور طبع آراسته می‌گردد، جا دارد از کلیه افرادی که ما را در آماده‌سازی و چاپ این کتاب یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نماییم.

از آقای «مهندس اسماعیل منصوری» که در ویرایش متن، فرمول‌ها و مطالب کتاب کمک فراوانی نمودند، قدردانی نموده و نیز از آقای «مهندس حمزه قربانی» که در آماده‌سازی تصاویر کتاب ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌گردد.

همچنین از خانم مریم عظیمی که تایپ و تنظیم فصول کتاب را بر عهده داشته‌اند، قدردانی می‌گردد.

پیشگفتار

هدف از این کتاب، فراهم نمودن دانش پایه ساده‌ای برای دانشجویان و شاغلین مهندسی عمران در ارتباط با چگونگی کاربرد روش المان محدود در مسائل مکانیک خاک می‌باشد. این کتاب، کتاب مکانیک خاکی است که دربردارنده عناوین و کاربردهای مرسوم مکانیک خاک می‌باشد. تفاوت کتاب حاضر با کتاب‌های مکانیک خاک معمولی آن است که راهکار ساده و انعطاف‌پذیرتری را با استفاده از روش المان محدود به منظور حل مسائل مرسوم مکانیک خاک که دارای راه‌حل بسته می‌باشند، در اختیار می‌گذارد. این کتاب همچنین چگونگی کاربرد روش المان محدود را جهت حل مسائل پیچیده‌تر مهندسی ژئوتکنیک که دارای ماهیت کاربردی بوده و دارای راه‌حل بسته نمی‌باشند، ارائه می‌نماید.

به طور خلاصه، این کتاب اساساً برای دانشجویان دوره کارشناسی نوشته شده است تا آنها را تشویق نماید که مسائل مهندسی ژئوتکنیک را با هر دو روش راه‌حل‌های مهندسی معمول و راه‌حل‌های متنوع و انعطاف‌پذیر المان محدود حل نمایند. این روش نه تنها موجب فراگیری مفاهیم می‌گردد، بلکه ابزاری را برای دریافت بینشی در زمینه کاربردهای مهندسی ژئوتکنیک در اختیار می‌گذارد که موجب تحکیم مفاهیم به گونه‌ای عمیق‌تر می‌گردد. مفاهیم در این کتاب به صورت پایه ارائه شده‌اند تا کتاب بتواند به عنوان یک منبع آموزشی ارزشمند برای دانشجویانی که هیچگونه پیشینه‌ای از

مکانیک خاک ندارند، مورد استفاده قرار گیرد. پیش‌نیاز اصلی این کتاب، درس مقاومت مصالح است که در اکثر دانشگاه‌ها پیش‌نیاز درس مکانیک خاک می‌باشد. اصول کلی مکانیک خاک برای هر مبحث ارائه می‌گردد و به دنبال آن کاربردهای مرسوم این اصول با راه‌حل‌های معمول دستی ارائه می‌گردد و پس از آن راه‌حل‌های المان محدود برای همان کاربردها ارائه شده و سپس دو راه حل مقایسه می‌شوند. علاوه بر این، کاربردهای پیچیده‌تری نیز ارائه شده و با استفاده از روش المان محدود حل می‌شوند.

این کتاب شامل نه فصل است که هشت فصل آن با مباحث مرسوم مکانیک خاک سروکار داشته و عبارتند از تنش‌ها در توده نیمه بینهایت خاک، تحکیم، مقاومت برشی، پی‌های کم عمق، فشار جانبی خاک، پی‌های عمیق (شمع‌ها)، و تراوش. یک فصل دیگر (فصل ۲)، چندین مدل ارتجاعی و ارتجاعی-خمیری را برای مواد تشریح می‌نماید که برخی از آنها در قالب روش المان محدود به منظور شبیه‌سازی رفتار خاک استفاده می‌شوند و نیز شامل یک مدل ارتجاعی خطی سه‌بعدی تعمیم‌یافته، مدل رس Cam، مدل کلاهدک و مدل لید می‌باشد. برای تدریس دوره کارشناسی، مدرس می‌تواند پارامترها و ویژگی‌های مدل رس Cam و مدل کلاهدک را بدون تاکید چندانی بر جزئیات ریاضیاتی آنها، به طور خلاصه تشریح نماید.

بیش از ۶۰ مثال حل شده در این کتاب وجود دارد. اکثر این مثال‌ها به طور دستی حل شده‌اند تا مفاهیم را نشان دهند و سپس با استفاده از روش المان محدود موجود در نرم‌افزار ABAQUS حل شده‌اند. کلیه مثال‌های المان محدود با استفاده از ABAQUS حل شده‌اند. این نرم‌افزار در سراسر دنیا توسط مریبان و مهندسان به منظور حل انواع مختلف مسائل مکانیک مهندسی و مهندسی عمران، مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مزایای عمده استفاده از این نرم‌افزار آن است که قادر به حل اکثر مسائل مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. این نرم‌افزار می‌تواند برای حل مسائل مهندسی ژئوتکنیک دارای ساختارهای دوبعدی و سه‌بعدی مورد استفاده قرار گیرد که ممکن

است شامل المان‌های خاکی و سازه‌ای، تحلیل تنش کل و موثر، تحلیل تحکیم، تحلیل تراوش، تحلیل استاتیکی و دینامیکی (ضمنی یا صریح)، تحلیل گسیختگی و پس-گسیختگی و بسیاری موارد دیگر باشند. با این وجود، دیگر برنامه‌های معروف المان محدود و تفاضل محدود تخصصی در زمینه مکانیک خاک نیز می‌توانند به جای ABAQUS، به همراه این کتاب مورد استفاده قرار گیرند که البته این امر به تشخیص مدرس بستگی دارد. نسخه آموزشی ABAQUS برای رایانه شخصی از طریق اینترنت قابل دریافت می‌باشد تا دانشجویان و شاغلین بتوانند از آن برای حل مجدد مثال‌های کتاب و حل تمرین‌ها به صورت انتخابی از مسائل آخر فصل، استفاده نمایند. بعلاوه، داده‌های ورودی برای کلیه مثال‌ها از وب‌سایت کتاب قابل دریافت می‌باشد (www.wiley.com/college/helwany). این کار برای دانشجویان و شاغلین بسیار مفید می‌باشد، زیرا آنها می‌توانند چگونگی استفاده از داده‌های ورودی برای یک مسئله بخصوص را مشاهده نموده و سپس داده‌ها را برای مسائل پیچیده‌تری از آن نوع، تغییر دهند.

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۱
فصل اول: خصوصیات خاک.....	۱
۱-۲- پارامترهای فیزیکی خاک.....	۴
۱-۲-۱- چگالی نسبی.....	۱۲
۱-۳- خصوصیات مکانیکی خاک.....	۱۳
۱-۳-۱- تحلیل الک.....	۱۴
۱-۳-۲- تحلیل هیدرومتر.....	۱۷
۱-۴- استحکام خاک.....	۱۹
۱-۴-۱- حد روانی.....	۲۱
۱-۴-۲- حد خمیری.....	۲۲
۱-۴-۳- حد انقباض.....	۲۲
۱-۵- نمودار خمیری.....	۲۳
۱-۶- سیستم‌های طبقه‌بندی.....	۲۵
۱-۷- تراکم.....	۲۹
فصل دوم: خواص ارتجاعی و خمیری.....	۳۹
۱-۲- مقدمه.....	۳۹
۲-۲- ماتریس تنش.....	۴۱

۴۲	 ۳-۲- خاصیت ارتجاعی
۴۳	 ۱-۳-۲- شرایط تنش سه بعدی
۴۴	 ۲-۳-۲- شرایط تنش تک محوری
۴۶	 ۲-۳-۲- شرایط تنش تک محوری
۴۸	 ۴-۳-۲- شرایط تنش صفحه ای
۴۹	 ۴-۲- خاصیت خمیری
۵۰	 ۵-۲- مدل اصلاح شده رس Cam
۵۳	 ۱-۵-۲- خط تحکیم عادی و خط باربرداری - بار گذاری مجدد
۵۹	 ۲-۵-۲- خط حالت بحرانی
۶۲	 ۳-۵-۲- تابع تسلیم
۶۳	 ۴-۵-۲- رفتار سخت شدگی و نرم شدگی
۶۶	 ۵-۵-۲- ضرایب ارتجاعی خاک
۶۸	 ۶-۵-۲- خلاصه پارامترهای مدل اصلاح شده رس Cam
۶۹	 ۷-۵-۲- کرنش های خمیری افزایشی
	 ۸-۵-۲- محاسبات رفتار تنش - کرنش تحکیم یافته زهکشی شده برای رس عادی
۷۳	 تحکیم یافته با استفاده از مدل اصلاح شده رس Cam
	 ۹-۵-۲- روش محاسبه گام به گام برای یک آزمایش سه محوری CD بر روی
۷۶	 رس های NC
	 ۱۰-۵-۲- محاسبات رفتار تنش - کرنش تحکیم یافته زهکشی نشده برای یک رس
۸۰	 تحکیم یافته با استفاده از مدل اصلاح شده رس Cam
۸۴	 ۱۱-۵-۲- روش محاسبه گام به گام برای آزمایش سه محوری CU بر روی رس NC
۹۰	 ۱۲-۵-۲- نظراتی درباره مدل اصلاح شده رس Cam
۹۰	 ۶-۲- تغییر ناپذیرهای تنش
۹۲	 ۱-۶-۲- جداسازی تنش ها
۹۶	 ۷-۲- تغییر ناپذیرهای کرنش

۹۷	 ۲-۷-۱- جداسازی کرنش ها
۹۸	 ۲-۸- مدل توسعه یافته رس Cam
۱۰۴	 ۲-۹- مدل اصلاح شده دراگر- پراگر / کلاهدک
۱۰۸	 ۲-۹-۱- قانون جریان
۱۰۹	 ۲-۹-۲- پارامترهای مدل
۱۱۵	 ۱۰-۲- مدل سخت شدگی منفرد لید
۱۱۶	 ۲-۱۰-۱- رفتار ارتجاعی
۱۱۷	 ۲-۱۰-۲- معیار گسیختگی
۱۱۸	 ۲-۱۰-۳- پتانسیل خمیری و قانون جریان
۱۲۱	 ۲-۱۰-۴- معیار تسلیم
	 ۲-۱۰-۵- پیش بینی رفتار خاک با استفاده از مدل «لید»: شرایط آزمایش سه محوری
۱۳۸	 CD

فصل سوم: تنش در خاک ۱۵۳

۱۵۳	 ۳-۱- مقدمه
۱۵۴	 ۳-۲- تنش بر جای خاک
۱۵۷	 ۳-۲-۱- شرایط بدون تراوش
۱۶۳	 ۳-۲-۲- شرایط تراوش رو به بالا
۱۶۷	 ۳-۲-۳- صعود مویینه
۱۷۱	 ۳-۳- افزایش تنش در یک توده خاک نیمه بی نهایت ناشی از بارگذاری خارجی
۱۷۲	 ۳-۳-۱- تنش های ناشی از یک بار نقطه ای (راه حل بوزنيسک)
۱۷۷	 ۳-۳-۲- تنش های ایجاد شده بر اثر یک بار خطی
۱۸۵	 ۳-۳-۳- تنش ها در زیر مرکز یک ناحیه دایره ای با بارگذاری یکنواخت
۱۹۲	 ۳-۳-۴- تنش های ایجاد شده در اثر یک بار نواری ($B / L \approx 0$)
۱۹۷	 ۳-۳-۵- تنش های ایجاد شده بر اثر یک ناحیه مستطیلی با بارگذاری یکنواخت

۲۰۹	فصل چهارم: تحکیم
۲۰۹	۴-۱- مقدمه
۲۱۱	۴-۲- تئوری تحکیم یک بعدی
۲۱۵	۴-۲-۱- طول مسیر زهکشی
۲۱۵	۴-۲-۲- آزمایش تحکیم یک بعدی
۲۲۲	۴-۳- محاسبه نشست تحکیمی نهایی
۲۲۴	۴-۴- تحلیل اجزاء محدود مسائل تحکیم
۲۲۵	۴-۴-۱- مسائل تحکیم یک بعدی
۲۴۸	۴-۴-۲- مسائل تحکیم دوبعدی
۲۷۰	فصل پنجم: مقاومت برشی خاک
۲۷۰	۵-۱- مقدمه
۲۷۴	۵-۲- آزمایش برش مستقیم
۲۸۴	۵-۳- آزمایش فشار سه محوری
۲۸۷	۵-۳-۱- آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده
۲۹۹	۵-۳-۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته- زهکشی نشده
۳۰۹	۵-۳-۳- آزمایش سه محوری تحکیم نیافته- زهکشی نشده
۳۱۰	۵-۳-۴- آزمایش فشاری زهکشی نشده
۳۱۱	۵-۴- آزمایشات صحرایی
۳۱۲	۵-۴-۱- آزمایش صحرایی برش پره
۳۱۲	۵-۴-۲- آزمایش نفوذ مخروط
۳۱۳	۵-۴-۳- آزمایش نفوذ استاندارد
۳۱۳	۵-۵- شرایط بار گذاری زهکشی شده و زهکشی نشده در روش المان محدود (FEM)
۳۴۹	فصل ششم: پی های کم عمق

۳۴۹	۱-۶- مقدمه
۳۵۰	۲-۶- حالت‌های گسیختگی
۳۵۳	۳-۶- معادله ظرفیت باربری ترزاقی
۳۷۳	۴-۶- معادله کلی میرهاف برای ظرفیت باربری
۳۸۱	۵-۶- اثرات تراز آب زیرزمینی بر روی ظرفیت باربری
۳۸۷	فصل هفتم: فشار جانبی خاک و دیوارهای حائل (نگهبان)
۳۸۷	۱-۷- مقدمه
۳۹۲	۲-۷- فشار خاک در حال سکون
۴۰۰	۳-۷- فشار محرک خاک
۴۰۱	۱-۳-۷- تئوری رانکین
۴۰۶	۲-۳-۷- تئوری کلمب
۴۱۰	۴-۷- فشار مقاوم خاک
۴۱۱	۱-۴-۷- تئوری رانکین
۴۱۵	۲-۴-۷- تئوری کلمب
۴۱۷	۵-۷- طراحی دیوار حائل
۴۲۱	۱-۵-۷- ضرایب اطمینان
۴۲۲	۲-۵-۷- تعیین نسبت‌های ابعاد دیوار
۴۲۲	۳-۵-۷- ضریب اطمینان برای لغزش
۴۲۴	۴-۵-۷- ضریب اطمینان برای واژگونی
۴۲۵	۵-۵-۷- ضریب اطمینان برای ظرفیت باربری
۴۴۵	۶-۷- دیوارهای حائل خاکی مسلح به ژئوسینستیک
۴۴۷	۱-۶-۷- پایداری داخلی دیوارهای GRS
۴۵۳	۲-۶-۷- پایداری خارجی دیوارهای GRS
۴۶۹	فصل هشتم: شمع‌ها و گروه‌های شمع

۴۶۹	۱-۸- مقدمه
۴۷۱	۲-۸- شرایط بارگذاری زهکشی شده و زهکشی نشده
۴۷۸	۳-۸- برآورد ظرفیت باربری شمع ها
۴۷۹	۱-۳-۸- روش α
۴۸۸	۲-۳-۸- روش β
۴۹۶	۴-۸- گروه های شمع
۴۹۹	۱-۴-۸- روش α
۵۰۰	۲-۴-۸- روش β
۵۱۳	۵-۸- نشست شمع ها و گروه های شمع
۵۱۵	۶-۸- شمع ها و گروه های شمع با بارگذاری جانبی
۵۱۷	۱-۶-۸- روش برومزر
۵۲۲	۲-۶-۸- تحلیل المان محدود شمع های با بارگذاری جانبی
۵۴۵	فصل نهم: نفوذپذیری و تراوش
۵۴۷	۲-۹- رابطه برنولی
۵۵۴	۳-۹- قانون دارسی
۵۵۵	۴-۹- تعیین آزمایشگاهی نفوذپذیری
۵۵۹	۵-۹- نفوذپذیری خاکهای چند لایه
۵۶۱	۶-۹- سرعت تراوش
۵۶۳	۷-۹- تنش در خاکها بر اثر جریان
۵۶۸	۸-۹- تراوش
۵۷۲	۹-۹- حل ترسیمی: شبکه جریان
۵۷۴	۱-۹-۹- محاسبه جریان
۵۷۵	۲-۹-۹- ایجاد شبکه جریان
۵۸۱	۱۰-۹- شبکه جریان برای خاکهای غیر ایزوتروپ

۵۸۲	 ۹-۱۱- جریان درون خاکریزها
۵۸۵	 ۹-۱۲- راه حل المان محدود
۶۱۹	 منابع و مراجع
۶۲۵	 واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۶۳۵	 واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۶۴۵	 نام نامه
۶۴۷	 واژه‌یاب الفبایی