

تحلیل اجزاء محدود در ژئوتکنیک

ترجمه:

دکتر علیرضا اردکانی

(عضو هیئت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی^(ره))

مهندس امیرحسین قاسمی پناه

سرشناسه	:	لیز، اندرو
عنوان و نام پدیدآور	:	(Lees, Andrew, (Geotechnical engineer تحلیل اجزاء محدود در ژئوتکنیک/ [اندرو لیز] : ترجمه علیرضا اردکانی، امیرحسین قاسمی‌پناه.
مشخصات نشر	:	قزوین: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	:	۲۹۵ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	978-600-5024-92-0
وضعیت فهرست نویسی	:	فیا
یادداشت	:	عنوان اصلی: ICE : London : Geotechnical finite element analysis : a practical guide Publishing, [2016].
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	مهندسی ژئوتکنیک
موضوع	:	Geotechnical engineering
موضوع	:	خاک -- مکانیک
موضوع	:	Soil mechanics
موضوع	:	روش المان‌های محدود
موضوع	:	Finite element method
شناسه افزوده	:	اردکانی، علیرضا، ۱۳۶۲ -، مترجم
شناسه افزوده	:	قاسمی‌پناه، امیرحسین، ۱۳۷۱ -، مترجم
شناسه افزوده	:	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
شناسه افزوده	:	Imam Khomeini International University
رده بندی کنگره	:	TAV۰۵/J۹۲۰۲ ۱۰۰۸
رده بندی دیویی	:	۱۵۱/۶۲۰
شماره کتابشناس ملی	:	۵۶۳۷۱۶۰

عنوان : تحلیل اجزاء محدود در ژئوتکنیک

مؤلف : Andrew Lees

مترجمان : علیرضا اردکانی - امیرحسین قاسمی‌پناه

ناظر فنی : حمید کلهر

طرح جلد : داود دانشمند

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۵۰۲۴-۹۲-۰

نوبت چاپ : اول ۱۳۹۷

قیمت : ۴۵،۰۰۰ تومان

شمارگان : ۲۰۰ جلد

ناشر : انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی «ره» قزوین

قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، تلفن ۰۲۸-۳۳۹۰۱۴۲۶

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

مسئولیت حقوقی و قانونی محتوای کتاب بر عهده صاحب/صاحبان اثر است.

مقدمه مؤلف

وقتی مشغول به هماهنگ کردن پروژه‌ای در اروپا (COGAN) برای بهبود کارایی در تحلیل عددی مسائل ژئوتکنیکی بودم، خیلی زود برایم آشکار شد که امروزه تحلیل اجزاء محدود (FE) به‌طور گسترده در مهندسی ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در این رشته برخلاف سایر رشته‌های مهندسی، تعداد کمی کاربر تمام‌وقت برای این نرم‌افزار وجود دارد. تحلیل اجزاء محدود مسائل ژئوتکنیک نیاز به صلاحیت مهندسین دارد ولی به‌دست آوردن صلاحیت کافی با وجود به کارگیری این نرم‌افزار به‌صورت فزاینده و میان سایر وظایف مهندسین، دشوار خواهد بود. کاربران نرم‌افزار تحلیل اجزاء محدود مسائل ژئوتکنیکی نیاز به منبعی ساده برای یادگیری و به‌روزرسانی دانش خود درباره‌ی به کارگیری این تکنیک در عمل داشتند.

شاید مفید باشد که قبل از خواندن این کتاب، غالب زیر بدانید:

- این کتاب کاملاً مستقل از نرم‌افزار است. نمی‌خواهم علاقه‌ای به نرم‌افزار خاصی از خودم نشان دهم.
- تلاشی برای پوشش دادن مطالب ضروری از مکانیک خاک، مکانیک سنگ و دانش مهندسی ژئوتکنیک لازم برای اجرای تحلیل اجزاء محدود نکرده‌ام، زیرا به سادگی می‌توان این مطالب را از منابع دیگر به‌دست آورد.
- توضیح و ارائه‌ی مثال‌های کار شده در تحلیل اجزاء محدود پیچیده است. بنابراین از ارائه‌ی مثال در مطالب فصل‌های ۱ تا ۷ خودداری کرده‌ام. در عوض، ۳ مثال که کاربرد بسیاری از موضوعات را نشان می‌دهد را در فصل ۸ به‌صورت جداگانه مورد توصیف قرار داده‌ام.
- بخش‌هایی از کتاب راهنمای NAFEMS «تعیین پارامترها برای تحلیل اجزاء محدود» که نویسنده آن بوده‌ام، با کسب اجازه، دوباره در این کتاب، به‌ویژه در فصل سوم، ارائه شده است.

- این کتاب مجموعه‌ای از ۱۶۰ گزارش تعیین صلاحیت از COGAN Competency Tracker، که توسط NAFEMS تهیه شده است را فراهم کرده است. این موارد بصورت آنلاین و رایگان برای نظارت و بررسی شایستگی در تحلیل‌های عددی ژئوتکنیکی در دسترس می‌باشد.

Andrew Lees (May 2016)

Nicosia

www.ketab.ir

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

«فصل اول: چگونه یک تحلیل اجزاء محدود در مسائل ژئوتکنیکی تنظیم می‌شود؟»

۱-۱	برنامه‌ریزی و طرح تحلیل	۱
۱-۱-۱	آیا استفاده از تحلیل اجزاء محدود نیاز است؟	۱
۲-۱-۱	هدف از تحلیل اجزای محدود چیست؟	۲
۳-۱-۱	چه اطلاعاتی باید جمع‌آوری شوند؟	۴
۴-۱-۱	کدام نیاز، نیاز تحلیل اجزاء محدود باید مورد استفاده قرار گیرد؟	۸
۵-۱-۱	چگونه مدل اجزاء متناسب با فرآیند طراحی می‌شود؟	۸
۲-۱	هندسه	۱۲
۱-۲-۱	دوبعدی یا سه بعدی	۱۲
۲-۲-۱	چه جزئیات هندسی نیاز است در لحاظ شود؟	۱۵
۳-۲-۱	مرزها کجا باید قرار گیرند؟	۱۹
۴-۲-۱	شرایط تکیه‌گاهی در مرزهای مدل چگونه اعمال می‌شوند؟	۲۲
۳-۱	مش‌بندی	۲۴
۱-۳-۱	چه نوع المانی باید مورد استفاده قرار گیرد؟	۲۴
۲-۳-۱	چه عواملی موجب مش‌بندی خوب اجزاء می‌شود؟	۲۶
۴-۱	مراحل تحلیل	۲۷
۱-۴-۱	چگونه تنش‌های اولیه ایجاد می‌شوند؟	۲۷
۲-۴-۱	مراحل ساخت چگونه سرهم‌بندی می‌شود؟	۳۲
۳-۴-۱	کدام یک از انواع روش‌های محاسباتی باید انتخاب شوند؟	۳۶
۵-۱	مدل‌های رفتاری	۴۱
۱-۵-۱	کدام مدل رفتاری باید استفاده شود؟	۴۱
۶-۱	آب‌های زیرزمینی و زهکشی	۴۱
۱-۶-۱	تأثیر آب‌های زیرزمینی چگونه در تحلیل‌ها در نظر گرفته می‌شوند؟	۴۱
۲-۶-۱	کدام نوع تحلیل، در حالت زهکشی شده، زهکشی نشده یا تحکیم، لازم است اجرا شود؟	۴۲
۴۳	مراجع	

«فصل دوم: مدل‌های رفتاری چگونه انتخاب می‌شوند؟»

۱-۲	مقدمه	۴۵
۱-۱-۲	مدل رفتاری چیست؟	۴۵
۲-۱-۲	چرا استفاده از مدل رفتاری مناسب حائز اهمیت است؟	۴۶
۳-۱-۲	چگونه مناسب بودن یک مدل رفتاری مشخص می‌شود؟	۴۷
۲-۲	جوانب رفتاری زمین	۴۸
۱-۲-۲	کدام جنبه‌ها از رفتار خاک ممکن است مورد توجه قرار گیرد؟	۴۸
۲-۲-۲	کدام یک از جنبه‌های رفتار سنگ باید در نظر گرفته شوند؟	۵۴
۳-۲-۲	چه زمانی تحلیل اجزاء محدود می‌تواند در سنگ‌ها بکار گرفته شود؟	۵۵

۵۷	۳-۲. انواع مدل‌های رفتاری راجع
۵۷	۲-۳-۲. چگونه مدل‌های رفتاری، رفتار ارتجاعی خاک‌ها را لحاظ می‌کنند؟
۶۱	۲-۳-۲. مدل‌های رفتاری معمولاً چگونه رفتار خمیری خاک‌ها را در نظر می‌گیرند؟
۷۳	۲-۳-۲. چگونه مدل‌های رفتاری برای رفتار سنگ در نظر گرفته می‌شود؟
۷۵	۴-۲. کاربردهای معمول
۷۹	مراجع

«فصل سوم: چگونه پارامترهای سنگ و خاک چگونه به‌دست می‌آید؟»

۸۲	۱-۳. مقدمه
۸۲	۱-۳-۱. چرا تعیین دقیق پارامترهای ژئوتکنیکی، دشوار است؟
۸۳	۱-۳-۲. در یک تحقیقات صحرایی، آزمایش‌ها برای به‌دست آوردن پارامترهای خاک، چگونه برنامه‌ریزی می‌شود؟
۸۶	۱-۳-۱. چگونه اطلاعات موردنیاز سایت برای انجام تحلیل اجزاء محدود توده‌های سنگ، به‌دست می‌آیند؟
۸۹	۲-۳. نمونه‌گیری خاک و سنگ و سنجش آب زیرزمینی
۸۹	۱-۲-۳. چرا کیفیت نمونه مهم است؟
۸۹	۲-۲-۳. چگونه نمونه‌ها با کیفیت بالا اخذ شود؟
۹۱	۲-۲-۳. دلایل رایج به‌دست آوردن نمونه‌های خاک چیست و چگونه می‌توان آن را به حداقل رساند؟
۹۳	۲-۲-۳. آیا می‌توان سیمیت نمونه‌های خاک را اندازه‌گیری کرد؟
۹۶	۲-۲-۳. چگونه فشار آب زیرزمین در صحرا اندازه‌گیری می‌شود؟
۹۸	۳-۳. پارامتر آزمایش
۹۸	۱-۳-۳. چگونه از سلول سه محوری برای به‌دست آوردن پارامترهای سنگ و خاک استفاده می‌شود؟
۱۰۷	۲-۳-۲. چگونه سایر آزمون‌های آزمایشگاهی به‌دست می‌آیند؟
۱۰۹	۳-۳-۳. چگونه پارامترها از آزمایش‌های برجا به‌دست می‌آیند؟
۱۱۲	۴-۳-۳. چگونه از آزمایش پرسومتر، پارامترها به‌دست می‌آید؟
۱۲۳	۵-۳-۳. چگونه سختی با استفاده از آزمایش لرزه‌ای برجا می‌تواند اندازه‌گیری شود؟
۱۲۵	۶-۳-۳. چه پارامترهایی می‌توانند از سایر روش‌های آزمایش صحرایی به‌دست می‌آیند؟
۱۲۷	۷-۳-۳. چگونه نفوذپذیری در صحرا اندازه‌گیری می‌شود؟
۱۳۲	۴-۳. استخراج پارامتر و اعتبارسنجی
۱۳۲	۱-۴-۳. چگونه پارامترها از نتایج آزمایش استخراج می‌شود؟
۱۴۳	۲-۴-۳. چگونه دقت پارامترها ارزیابی می‌شود؟
۱۴۷	۳-۴-۳. آیا برای پارامترها منابع دیگری نیز وجود دارد؟
۱۵۴	مراجع

«فصل چهارم: اثرات آب زیرزمینی چگونه در محاسبات وارد می‌شود؟»

۱۶۰	۱-۴. مقدمه
۱۶۰	۱-۱-۴. خاک اشباع، نیمه اشباع و خشک چگونه مدل‌سازی می‌شوند؟
۱۶۲	۲-۱-۴. معانی حالت‌های مختلف فشار حفره‌ای چیست؟
۱۶۶	۲-۴. آنالیزهای زهکشی شده و زهکشی نشده
۱۶۶	۱-۲-۴. معنی عبارت‌های زهکشی شده و زهکشی نشده چیست؟
۱۶۷	۲-۲-۴. فرض زهکشی شده و زهکشی نشده چه زمانی مناسب می‌باشند؟

۱۷۳	۳-۲-۴. تحلیل زهکشی شده چگونه انجام می‌شود؟
۱۷۳	۴-۲-۴. تحلیل زهکشی نشده چگونه انجام می‌شود؟
۱۷۷	۵-۲-۴. چرا پیش‌بینی Cu در روش A اغلب نادرست است؟
۱۷۹	۳-۴. تحلیل‌های جریان آب زیرزمینی
۱۷۹	۱-۳-۴. چه نوع تحلیل‌هایی برای جریان آب زیرزمینی انجام می‌شود؟
۱۸۱	۲-۳-۴. چرا شبیه‌سازی جریان محدود نشده دشوار است؟
۱۸۱	۳-۳-۴. مفهوم شرایط مرزی هیدرولیکی مختلف چیست؟
۱۸۴	۴-۴. تحلیل تحکیم
۱۸۴	۱-۴-۴. چه زمانی تحلیل تحکیم ضروری است؟
۱۸۶	۲-۴-۴. آنالیز تکرار می‌ممکنه چیست؟
۱۸۷	۳-۴-۴. آیا بارگذاری و تحکیم در یک مرحله می‌توانند باهم انجام شوند؟
۱۸۹	مراجع

فصل پنجم: سازه‌های ژئوتکنیکی چگونه مدل می‌شوند؟

۱۹۰	۱-۵. هندسه‌ی سازه
۱۹۰	۱-۱-۵. چه نوع المان‌هایی برای سازه‌ها استفاده می‌شوند؟
۱۹۸	۲-۱-۵. المان‌های پیوسته یا المان‌های ناپیوسته باید برای سازه‌ها استفاده شود؟
۱۹۹	۳-۱-۵. چگونه سطوح مشترک بین زمین و سازه مدله می‌شود؟
۲۰۶	۴-۱-۵. انواع متداول سازه‌های ژئوتکنیکی چگونه مدل می‌شوند؟
۲۱۸	۵-۱-۵. چگونه سازه‌ها در حالت دو بعدی با فرض کرنش افقی یا تقارن محوری مدل می‌شوند؟
۲۲۵	۶-۱-۵. چگونه ناهمسانی هندسی در سازه‌ها باید مدیریت انجام می‌شود؟
۲۲۸	۷-۱-۵. اتصالات سازه‌ای چگونه مدل می‌شود؟
۲۳۰	۸-۱-۵. چگونه بارهای گسترده در مدل اجزاء محدود مدل می‌شوند؟
۲۳۰	۹-۱-۵. نقاط تکیه چیست؟
۲۳۱	۲-۵. مصالح سازه‌ای
۲۳۱	۱-۲-۵. آیا می‌توان از مدل‌های ارتجاعی خطی برای سازه‌های بتنی و تزریق شده استفاده کرد؟
۲۳۶	۲-۲-۵. آیا می‌توان از مدل ارتجاعی خطی برای سازه‌های فولادی استفاده کرد؟
۲۳۸	۳-۵. اندرکنش خاک-سازه
۲۳۸	۱-۳-۵. چگونه سختی نسبی خاک-سازه بر خروجی‌ها تأثیر می‌گذارد؟
۲۴۱	۲-۳-۵. چگونه ضرایب عکس‌العمل بستر برای مدل‌های تیر-فنر تعیین می‌شود؟
۲۴۴	مراجع

«فصل ششم: آیا تحلیل‌های اجزاء محدود می‌تواند با آیین‌نامه‌های طراحی استفاده شود؟»

۲۴۷	۱-۶. مقدمه
۲۴۸	۱-۱-۶. چرا طراحی ژئوتکنیکی به‌جای روش‌های متعارف، با تحلیل اجزاء محدود صورت می‌گیرد؟
۲۴۹	۲-۱-۶. کدام عوامل به جز مقاومت زمین (برای حالت حدی نهایی) و سختی (برای حالت حدی بهره‌برداری)، رخداد حالت حدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؟
۲۵۳	۳-۱-۶. چگونه می‌توان قابلیت اطمینان طراحی‌های صورت گرفته با آنالیز اجزاء محدود را مورد بررسی قرار داد؟
۲۵۵	۲-۶. حالت حدی بهره‌برداری (SLS)
۲۵۵	۱-۲-۶. چگونه حالت SLS با استفاده از تحلیل اجزاء محدود تأیید می‌شود؟

۲۵۷	۳-۶. حالت حدی نهایی ژئوتکنیکی (ULS)
۲۵۷	۱-۳-۶. چگونه حالت ULS با استفاده از تحلیل اجزاء محدود تأیید می‌شود؟
۲۶۴	۲-۳-۶. چگونه ضرایب جزئی در تحلیل اجزاء محدود اعمال می‌شوند؟
۲۶۷	۳-۳-۶. ضرایب جزئی باید چه مقادیری داشته باشند؟
۲۶۸	۴-۳-۶. آیا سختی باید ضریبی از مقاومت باشد؟
۲۶۹	۵-۳-۶. چگونه می‌توان کاهش مقاومت را انجام داد؟
۲۷۱	۶-۳-۶. آیا می‌توان مقاومت‌های ژئوتکنیکی را با تحلیل‌های اجزاء محدود محاسبه کرد؟
۲۷۳	۷-۳-۶. کدام ضرایب جزئی برای مقاومت برشی زهکشی نشده، در تحلیل اجزاء محدود استفاده می‌شود؟
۲۷۵	۸-۳-۶. آیا می‌توان در توده سنگ، انجام آنالیز اجزاء محدود حالت حدی نهایی را تأیید کرد؟
۲۷۶	۴-۶. حالات حدی سازه‌ای
۲۷۶	۴-۶. چگونه حالات حدی سازه‌ای، در مسائل اندرکنش خاک-سازه بررسی می‌شود؟
۲۷۸	مراجعه

«فصل هفتم: چگونه صحت خروجی‌ها ارزیابی می‌شود؟»

۲۸۰	۱-۷. مقدمه
۲۸۰	۱-۱-۷. آیا صحت مدل تحلیل اجزاء محدود ژئوتکنیکی، نیاز به کنترل دارد؟
۲۸۱	۲-۱-۷. چه کسی مسئول صحت یک مدل اجزاء محدود است؟
۲۸۳	۳-۱-۷. منابع احتمالی ایجاد خطا در تحلیل به روش اجزاء محدود چیست؟
۲۸۹	۲-۷. ارزیابی صحت محاسبه
۲۸۹	۱-۲-۷. تفاوت بین صحت سنجی و اعتبارسنجی چیست؟
۲۹۰	۲-۲-۷. چگونه صحت خروجی‌ها کنترل می‌شود؟
۲۹۵	۳-۷. مدیریت خطاها
۲۹۵	۱-۳-۷. در صورت وجود خطا، چگونه باید آن را مدیریت نمود؟
۲۹۶	۲-۳-۷. تفاوت بین آنالیز حساسیت و مطالعه پارامتری چیست؟
۲۹۷	۳-۳-۷. در چه بازه‌ای از پارامترها، یک مطالعه پارامتری انجام می‌شود؟
۳۰۳	۴-۳-۷. روش مشاهده‌ای چیست؟
۳۰۵	مراجعه

«فصل هشتم: مثال‌ها»

۳۰۶	۱-۸. مقدمه
۳۰۷	۲-۸. مثال فونداسیون رادیه با شمع‌های کاهنده نشست
۳۰۷	۱-۲-۸. خلاصه
۳۰۸	۲-۲-۸. سرهم‌بندی مدل تحلیلی اجزاء محدود
۳۱۶	۳-۲-۸. به‌دست آوردن پارامترها و ویژگی‌های مدل رفتاری
۳۲۷	۴-۲-۸. خروجی‌ها
۳۳۵	۵-۲-۸. اعتبارسنجی
۳۴۰	۳-۸. مثال حفاری شفت
۳۴۰	۱-۳-۸. خلاصه
۳۴۱	۲-۳-۸. سرهم‌بندی مدل تحلیل اجزاء محدود
۳۵۰	۳-۳-۸. به‌دست آوردن پارامترها و ویژگی‌های مدل رفتاری

۳۵۷	۴-۳-۸. نتایج
۳۶۵	۵-۳-۸. اعتبار سنجی
۳۶۷	۴-۸. مثال ساخت خاکریز
۳۶۷	۱-۴-۸. خلاصه
۳۶۸	۲-۴-۸. سرهم‌بندی مدل تحلیل اجزاء محدود
۳۸۱	۳-۴-۸. تعیین پارامترها و ویژگی‌های مدل رفتاری
۳۸۶	۴-۴-۸. خروجی‌ها
۳۹۱	۵-۴-۸. اعتبار سنجی
۳۹۴	مراجع