

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تحلیل اجزای محدود در مهندسی ژئوتکنیک

اندرو لیز

ترجمه:

سید مهدی رادقی مهرجو

سرشناسه:	لیز، اندرو	Lees, Andrew, (Geotechnical engineer)
عنوان و نام پدیدآور:	تحلیل اجزای محدود در مهندسی ژئوتکنیک / اندرو لیز؛ ترجمه سید مهدی رادقی مهرجو.	
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۰.	
مشخصات ظاهری:	۳۰۸ ص؛ مصور، جدول، نمودار.	
فروست:	انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۰۵.	
شابک:		ISBN: 978-964-386-498-9
وضعیت فهرست نویسی:	فیبا.	
یادداشت:	عنوان اصلی:	Geotechnical finite element analysis: a practical guide, 2016.
یادداشت:	کتابنامه: ص. ۳۰۳ - ۳۰۴. واژه نامه. نمایه.	
موضوع:	روش المان محدود	Finite element method
موضوع:	مهندسی ژئوتکنیک	Geotechnical engineering
شناسه افزوده:	رادقی مهرجو، سید مهدی، ۱۳۶۱ - مترجم	
شناسه افزوده:	سیدی حسینی نیا، احسان، ۱۳۵۹ - ویراستار	
شناسه افزوده:	دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ناشر.	
رده بندی کنگره:	TAV۰۵	
رده بندی دیویی:	۶۲۴/۱۵۱۰۱۵۱	
شماره کتابشناسی ملی:	۸۴۹۳۹۳۷	

تحلیل اجزای محدود در مهندسی ژئوتکنیک

پدیدآورنده: اندرو لیز
ترجمه: سید مهدی رادقی مهرجو
ویراستار علمی: دکتر سید احسان سیدی حسینی نیا
ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد
مشخصات: وزیری، ۲۰۰ نسخه، چاپ اول، پاییز ۱۴۰۰
چاپ و صحافی: چاپخانه دقت
بها: ۸۰۰/۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
مؤسسه کتابیران: تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد، بین خیابان فروردین و اردیبهشت،
شماره ۲۳۸، تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹ - ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
مؤسسه دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲
تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir



فهرست مطالب

پیشگفتار مترجم.....	۵
پیشگفتار نویسنده.....	۷
درباره مؤلف.....	۸
فصل ۱. طریقه انجام تحلیل مسائل ژئوتکنیکی با اجزای محدود چگونه است؟.....	
۱-۱ برنامه ریزی تحلیل.....	۹
۲-۱ هندسه مدل.....	۱۷
۳-۱ شبکه بندی.....	۲۵
۴-۱ مراحل تحلیل.....	۲۹
۵-۱ مدل های رفتاری.....	۳۸
۶-۱ آب زیرزمینی و زهکشی.....	۳۸
منابع.....	۳۹
فصل ۲. مدل های رفتاری چگونه انتخاب می شوند؟.....	
۱-۲ مقدمه.....	۴۱
۲-۲ جنبه های رفتار زمین.....	۴۴
۳-۲ انواع مدل های رفتاری متداول.....	۵۱
۴-۲ کاربردهای متداول.....	۶۵
منابع.....	۶۹
فصل ۳. پارامترهای خاک و سنگ چگونه به دست می آیند؟.....	
۱-۳ مقدمه.....	۷۱
۲-۳ نمونه برداری از خاک و سنگ و اندازه گیری سطح آب زیرزمینی.....	۷۶
۳-۳ انجام آزمایش پارامتر.....	۸۲
۴-۳ استخراج پارامتر و اعتبارسنجی.....	۱۰۷
منابع.....	۱۲۴
فصل ۴. اثرات آب زیرزمینی چگونه در محاسبات وارد می شود؟.....	
۱-۴ مقدمه.....	۱۲۹

۱۳۳.....	۲-۴ تحلیل های زهکشی شده و زهکشی نشده.....
۱۴۴.....	۳-۴ تحلیل های جریان آب زیرزمینی.....
۱۴۸.....	۴-۴ تحلیل تحکیمی.....
۱۵۱.....	منابع.....

۱۵۳.....	فصل ۵. سازه های ژئوتکنیکی چگونه مدل سازی می شوند؟
۱۵۳.....	۱-۵ هندسه سازه ای.....
۱۸۴.....	۲-۵ مصالح سازه ای.....
۱۸۹.....	۳-۵ اندرکنش خاک- سازه.....
۱۹۳.....	منابع.....

۱۹۵.....	فصل ۶. آیا می توان از تحلیل های اجزای محدود برای آیین نامه های طراحی استفاده کرد؟
۱۹۵.....	۱-۶ مقدمه.....
۲۰۱.....	۲-۶ حالت حدی بهره برداری (SLS).....
۲۰۲.....	۳-۶ حالت حدی نهایی ژئوتکنیکی (ULS).....
۲۱۶.....	۴-۶ حالات حدی سازه ای.....
۲۱۸.....	منابع.....

۲۱۹.....	فصل ۷. دقت خروجی ها چگونه ارزیابی می شود؟
۲۱۹.....	۱-۷ مقدمه.....
۲۲۵.....	۲-۷ ارزیابی دقت.....
۲۳۰.....	۳-۷ مدیریت خطاها.....
۲۳۶.....	منابع.....

۲۳۷.....	فصل ۸. مثال ها
۲۳۷.....	۱-۸ مقدمه.....
۲۳۷.....	۲-۸ مثال شالوده گسترده با شمع های کاهنده نشست.....
۲۶۵.....	۳-۸ مثال حفاری شفت.....
۲۸۴.....	۴-۸ مثال ساخت خاک ریز.....
۳۰۳.....	منابع.....

۳۰۵.....	نمابه
----------	--------------

تقدیم به یگانه برادر

پیشگفتار مترجم

پس از اختراع شدن رایانه و رواج حل مسائل مهندسی به روش عددی با استفاده از رایانه‌ها و نرم‌افزارها، توجه ویژه مهندسان به گسترش و توسعه روش‌های عددی مختلف معطوف شد و با استفاده از علوم مختلف همچون ریاضیات، فیزیک، مهندسی نرم‌افزار و برنامه‌نویسی و نیز سایر علوم مهندسی به حل مسائل پرداختند که مسائل عملی و علمی در این زمینه‌ها با روش‌های قدیمی و دستی قابل حل نبودند و یا از هندسه و متغیرهای گوناگونی برخوردار بودند که با روش‌های قدیمی امکان محاسبه این گونه مسائل فراهم نبود. پس از توسعه روش‌های عددی با استفاده از رایانه‌های قوی و ابر رایانه‌ها حل مسائل پیچیده و حجیم امکان پذیر شد و بخشی از ناشناخته‌های علوم مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. در زمینه مهندسی عمران نیز روش‌هایی همچون تحلیل اجزای محدود، تحلیل تفاضل محدود، روش‌های المان مرزی، روش المان مجزا و سایر روش‌های عددی به وجود آمدند.

پیدایش روش اجزای محدود به حل مسائل پیچیده کشسانی (الاستیسته) و تحلیل سازه‌ها در مهندسی عمران و مکانیک برمی گردد. این روش حاصل کار الکساندر هرنیکوف^۱ (۱۹۴۱) و ریچارد کورانت^۲ (۱۹۴۲) است. با اینکه روش کار این دو دانشمند کاملاً متفاوت بود، اما یک ویژگی مشترک داشت: تقسیم یک دامنه پیوسته به یکسری زیردامنه به نام المان (اجزای). روش اجزای محدود یا روش المان محدود^۳ که به اختصار (FEM) نامیده می‌شود، روشی است عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل معادلات انتگرالی (کاربرد عملی اجزای محدود معمولاً با نام تحلیل اجزای محدود (FEA) خوانده می‌شود). اساس کار این روش، حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده‌سازی آن‌ها به معادلات دیفرانسیل معمولی که با روش‌های عددی مانند اویلر حل می‌شوند، است. روش‌هایی با مزایا و معایب مختلف برای این امر وجود دارد که روش اجزای محدود یکی از بهترین آن‌هاست. این روش در حل معادلات دیفرانسیل جزئی روی دامنه‌های پیچیده، یا هنگامی که دامنه متغیر است، یا وقتی که دقت بالا در همه‌جای دامنه الزامی نیست، یا اگر نتایج هم‌بستگی و یکپارچگی کافی را ندارند، بسیار مفید است.

روش تحلیل اجزای محدود، یکی از روش‌های پرکاربرد و پرطرفدار و دقیق و دارای سرعت مناسب

1. Aleksandr Harinkov
2. Richard Korant

3. Finite Element Method

برای حل مسائل در مهندسی عمران است که توسط بسیاری از نرم افزارها و نیز محققان برای مطالعه در زمینه های مختلفی همچون ژئوتکنیک، سازه و زلزله مورد استفاده قرار می گیرد. معروف ترین نرم افزارها که با روش تحلیل اجزای محدود مورد استفاده قرار می گیرند، عبارت اند از: اپنسیس^۱، متلب^۲، پلکسیس^۳، ژئوآستودیو^۴، آباکوس^۵ و انسیس^۶ و غیره. امروزه بسیاری از پژوهش ها با استفاده از روش تحلیل اجزای محدود جهت بررسی مسائل پیچیده موجود در محیط اطراف انجام می شوند.

در این کتاب که یکی از منابع تخصصی موجود در زمینه تحلیل اجزای محدود با نگاه ویژه به حوزه مهندسی ژئوتکنیک است، شاهد حل مسائل عملی و تخصصی مهندسی ژئوتکنیک می باشیم که می تواند برای متخصصان فعال در این زمینه به عنوان یک راهنما باشد. در فصل اول به طریقه انجام تحلیل اجزای محدود ژئوتکنیکی پرداخته شده است. در فصل دوم و سوم به ترتیب انتخاب مدل های رفتاری و به دست آوردن پارامترهای خاک و سنگ و در فصل چهارم در نظر گرفتن اثرات آب زیرزمینی مورد بحث قرار گرفته است. در فصل پنجم، مدل سازی سازه های ژئوتکنیکی بررسی شده است. در فصل ششم تحلیل اجزای محدود با استفاده از آیین نامه های طراحی و در فصل هفتم ارزیابی دقت خروجی ها مورد مطالعه قرار گرفته است. در نهایت، در فصل هشتم چند مثال عملی با استفاده از تحلیل اجزای محدود ارائه شده است.

با توجه به ویژگی های بالا و کمبود منابع علمی در این زمینه و نیز در دسترس نبودن منابع فارسی در زمینه تحلیل اجزای محدود با نگاه ویژه به مهندسی ژئوتکنیک، این جانب به ترجمه کتاب *Geotechnical Finite Element Analysis* اقدام کردم که امید است مورد استفاده علاقه مندان و متخصصان این رشته قرار گیرد. در متن حاضر، سعی بر حفظ امانت در ترجمه و در کنار آن رسایی مفاهیم علمی و عملی بوده است. بی شک ترجمه این کتاب، عاری از عیب و نقص و اشتباه نیست. لذا از استادان گران قدر و متخصصان فهیم استدعا دارم تا با ارائه پیشنهادها و رهنمودهای ارزنده خود، این جانب را در رفع کاستی های این کتاب یاری کنند.

در خاتمه لازم می دانم از الطاف جناب آقای پروفسور مهیار عربانی (استاد دانشکده فنی دانشگاه گیلان) و نیز جناب آقای پروفسور ابوالفضل اسلامی (استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)) که همواره الگو و مشوق این جانب بوده اند، مراتب امتنان خود را اعلام دارم و همچنین جا دارد از زحمات جناب آقای دکتر سید احسان سیدی حسینی نیا (دانشیار دانشکده فنی دانشگاه فردوسی مشهد) که ویراستار علمی این کتاب بوده اند، کمال قدردانی خود را اذعان نمایم.

سید مهدی رادقی مهرجو

1. OpenSees
2. Matlab
3. Plaxis

4. GeoStudio
5. Abaqus
6. Ansys

پیشگفتار نویسنده

هنگام هماهنگ سازی پروژه کمیسیون اروپایی یادگیری درازمدت COGAN در زمینه بهبود صلاحیت تحلیل عددی ژئوتکنیکی بسیار زود برای من روشن شد که تحلیل اجزای محدود (اجزای محدود) به طور گسترده ای در مهندسی ژئوتکنیک به کار می رود، اما برخلاف رشته های مهندسی دیگر، تعداد کمی کاربر تمام وقت از چنین نرم افزاری استفاده می کنند. تحلیل اجزای محدود ژئوتکنیکی به شدت نیاز به دارا بودن صلاحیت مهندسان را مطالبه می کند، اما استفاده کردن پاره وقت از چنین نرم افزاری در میان کارهای مهندسی دیگر، کسب صلاحیت کافی را دشوار می سازد. نیاز به یک منبع آماده برای کاربران نرم افزار تحلیل اجزای محدود ژئوتکنیکی که از آن برای یادگیری و تجدید دانششان در استفاده از این روش در عمل استفاده نمایند، به شدت احساس می شد. این کتاب مشخصاً برای رفع این نیاز ارائه شده است.

پیش از مطالعه این کتاب، بهتر است موارد زیر را بدانید:

- کتاب در مورد نرم افزارها کاملاً بی طرف است. علاقه نداشتم طوری وانمود کنم که طرفدار نرم افزار خاصی هستم.
- من در تلاش برای پوشش دادن دانش اولیه مکانیک خاک، مکانیک سنگ و دانش مهندسی ژئوتکنیک مورد نیاز برای انجام تحلیل اجزای محدود نیستم؛ چراکه این اطلاعات را می توان از منابع دیگر به دست آورد.
- ارائه و توضیح مثال های کار شده در تحلیل اجزای محدود پیچیده است. برای اینکه خوانندگان بتوانند به سرعت به اطلاعات دسترسی پیدا کنند، از ارائه مثال ها در مباحث فصل های ۱ تا ۷ اجتناب کردم. تقریباً سه مثال از کاربرد اغلب مباحث، در فصل ۸ ارائه و تشریح شده اند.
- بعضی از بخش های کتاب راهنمای NA/جزای محدود MS درباره تعیین پارامترها برای تحلیل ژئوتکنیکی که بنده تألیف کرده ام را در این کتاب، به خصوص در فصل ۳، با مجوز NA اجزای محدود MS تجدید چاپ کردم.
- این کتاب اطلاعات بنیادی که حدود ۱۶۰ بیانیه صلاحیت دریافت شده از COGAN Competency Tracker که توسط NA اجزای محدود MS نگهداری می شود را پوشش می دهد. این Competency Tracker به صورت آنلاین و بدون هزینه برای نظارت و ثبت توانایی در تحلیل عددی ژئوتکنیک در دسترس است.

اندرو لیز^۱

نیکوسیا^۲، می ۲۰۱۶

درباره مؤلف

اندرو لیز مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی عمران از دانشگاه ساوت هامپتون در سال ۱۹۹۶ و همچنین دکترای خود را در زمینه‌های مدل‌سازی سانتریفیوژ و تحلیل اجزای محدود اندرکنش خاک - سازه در سال ۲۰۰۰ اخذ کرده است. سپس وی تا سال ۲۰۰۴ در یک شرکت مشاوره بزرگ در انگلستان به عنوان مهندس ژئوتکنیک مشغول بوده و هنگامی که در دانشگاه فردرک قهرس مشغول به تحصیل بود تا سال ۲۰۱۵ مهندسی ژئوتکنیک آموزش می‌داد. همچنین در سال ۲۰۰۷ وی انجام مشاوره موفق Geo اجزای محدود m که به طور تخصصی به تحلیل اجزای محدود ژئوتکنیکی می‌پردازد را آغاز کرد و ادامه داد. در سال ۲۰۱۶، به عنوان مدیر ارشد فناوری کاربردی در روابط بین الملل تنسار^۱ منصوب شد که یکی از وظایف وی بهبود روش‌های مدل‌سازی خاک‌های تثبیت شده با ژئوگرید با استفاده از تحلیل اجزای محدود است. او یکی از اعضای گروه کار ژئوتکنیکی NA اجزای محدود MS بوده و اولین کتاب راهنمای آن‌ها در زمینه تعیین پارامترها برای تحلیل‌های عددی را تألیف کرده و یکی از اعضای مؤسس برنامه مهندس شبیه‌سازی حرفه‌ای به مدیریت NA اجزای محدود MS است. وی پروژه کمیسیون اروپایی یادگیری درازمدت COGAN را به منظور بهبود شایستگی در تحلیل ژئوتکنیک عددی هماهنگ کرد. او سازنده گروهی تکاملی بود که به کمیته یوروکد ۷ در زمینه استفاده از روش‌های عددی براساس آیین‌نامه طراحی آگاهی داده و از همان زمان، وی در اصلاح یوروکد ۷ مشارکت داشته است. وی یکی از اعضای انجمن ژئوتکنیک انگلیس و سازمان مهندسين عمران (ICE) است.

1. Tensar