

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

روش اجزای محدود

با استفاده از نرم افزار MATLAB



روش اجزای محدود  
با استفاده از نرم افزار MATLAB

یانگ وون کوان – هیوچونگ بنگ

ترجمه

علی نورزاد  
مصطفی جلال

۱۳۹۴

هم اکنون که آماده‌سازی این اثر علمی به پایان رسیده، شایسته است از همراهی و تلاش عزیزانی که با دانش خود ما را در بازخوانی و ویرایش این کتاب یاری نمودند، تشکر و قدردانی نماییم.

از جناب آقای مهندس امیرحسین اسلام‌پناه که فعالیت مهندسی و تحقیقاتی ایشان در زمینه اجزای محدود است و با بهره‌گیری از تخصص خود در این زمینه کمک شایانی در ترجمه و ویرایش علمی متن، بازخوانی، اصلاح و آماده‌سازی این نوشتار داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

همچنین از همکاری جناب آقای مهندس بابک قمیاری که در ویرایش علمی متن و آماده‌سازی برنامه‌های رایانه‌ای ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌شود.



## فهرست مطالب

پیشگفتار مترجمان .....	یازده
پیشگفتار نویسندگان .....	سیزده
۱. مقدمه‌ای بر MATLAB .....	۱
۱.۱. روش اجزای محدود .....	۱
۲.۱. مروری بر کتاب .....	۱
۳.۱. دربارهٔ MATLAB .....	۲
۴.۱. عملیات روی بردارها و ماتریس‌ها .....	۳
۵.۱. توابع ماتریسی .....	۶
۶.۱. توابع تحلیل داده‌ها .....	۱۲
۷.۱. ابزارهایی برای چندجمله‌ای‌ها .....	۱۴
۸.۱. ایجاد اعداد مختلط .....	۱۸
۹.۱. معادلات جبری غیرخطی .....	۱۸
۱۰.۱. حل معادلات دیفرانسیل .....	۲۰
۱۱.۱. حلقه و عبارت منطقی .....	۲۱
۱۲.۱. نوشتن برنامه‌های تابع .....	۲۴
۱۳.۱. عملیات روی فایل‌ها .....	۲۶
۱۴.۱. توابع پایهٔ ورودی- خروجی .....	۲۷
۱۵.۱. ابزارهای ترسیمی .....	۲۸
۲. روش‌های تقریبی .....	۳۵
۱.۲. روش باقی‌ماندهٔ وزنی .....	۳۵
۲.۲. فرمول‌بندی ضعیف .....	۳۹
۳.۲. تابع آزمایشی پیوسته تکه‌ای .....	۴۱
۴.۲. فرمول‌بندی اجزای محدود گالرکین .....	۴۴
۵.۲. روش تغییرات .....	۵۱
۶.۲. روش ریلی- ریتز .....	۵۲

۷.۲	روش اجزای محدود ریلی - ریتز	۵۳
۳	برنامه‌نویسی اجزای محدود	۶۱
۱.۳	ساختار کلی برنامه	۶۱
۲.۳	داده‌های ورودی	۶۲
۳.۳	سرهم کردن ماتریس‌ها و بردارهای اجزا	۶۵
۴.۳	اعمال قیدها	۶۶
۵.۳	نمونه برنامه‌ها	۶۸
۴	روش مستقیم با سیستم فنر	۸۵
۱.۴	فنر خطی	۸۵
۲.۴	عضو محوری	۸۹
۳.۴	عضو پیچشی	۹۲
۴.۴	سیستم‌های دیگر	۹۲
۵	معادلات لاپلاس و پواسون	۹۹
۱.۵	معادلهٔ حاکم	۹۹
۲.۵	جزء مثلثی خطی	۱۰۳
۳.۵	جزء مستطیلی دو خطی	۱۰۸
۴.۵	انتگرال روی مرز	۱۱۱
۵.۵	تحلیل گذرا	۱۱۶
۶.۵	روش انتگرال گیری زمانی	۱۱۸
۷.۵	تحلیل متقارن محوری	۱۲۳
۸.۵	تحلیل سه بعدی	۱۲۷
۹.۵	کاربرد MATLAB در تحلیل حالت دائمی دو بعدی	۱۳۲
۱۰.۵	کاربرد MATLAB در تحلیل متقارن محوری	۱۴۵
۱۱.۵	کاربرد MATLAB در تحلیل گذرا	۱۵۱
۱۲.۵	کاربرد MATLAB در تحلیل حالت دائمی سه بعدی	۱۷۹
۶	اجزای همگام (هم عامل)	۱۸۹
۱.۶	اجزای یک بعدی	۱۸۹
۲.۶	اجزای چهار ضلعی	۱۹۳
۳.۶	اجزای مثلثی	۲۰۴
۴.۶	روش چهارضلعی گوس	۲۰۶

.....	۲۱۴	۵.۶ کاربرد MATLAB در چهارضلعی گوس.....
.....	۲۲۱	۶.۶ کاربرد MATLAB در معادله لاپلاس.....
.....	۲۳۷	۷. سازه‌های خربایی.....
.....	۲۳۷	۱.۷ خربای یک بعدی.....
.....	۲۴۰	۲.۷ خربای صفحه‌ای.....
.....	۲۴۵	۳.۷ خربای فضایی.....
.....	۲۴۷	۴.۷ کاربرد MATLAB در تحلیل استاتیکی.....
.....	۲۵۹	۵.۷ کاربرد MATLAB برای تحلیل مقادیر ویژه.....
.....	۲۶۸	۶.۷ کاربرد MATLAB برای تحلیل مسائل گذرا.....
.....	۲۸۱	۸. سازه‌های تیر و قاب.....
.....	۲۸۱	۱.۸ تیر اولر- برنولی.....
.....	۲۹۰	۲.۸ تیر تیموشنکو.....
.....	۲۹۴	۳.۸ اجزای تیر تنها با درجات آزادی تغییر مکان.....
.....	۳۰۰	۴.۸ جزء تیر آمیخته (ترکیبی).....
.....	۳۰۶	۵.۸ جزء تیر ترکیبی (پیوندی).....
.....	۳۰۹	۶.۸ تیرهای مرکب.....
.....	۳۱۵	۷.۸ جزء قاب دو بعدی.....
.....	۳۱۸	۸.۸ جزء قاب سه بعدی.....
.....	۳۲۰	۹.۸ کاربرد MATLAB در تحلیل استاتیکی.....
.....	۳۳۹	۱۰.۸ کاربرد MATLAB در تحلیل مقادیر ویژه.....
.....	۳۴۷	۱۱.۸ کاربرد MATLAB در تحلیل گذرا.....
.....	۳۵۳	۱۲.۸ کاربرد MATLAB در تحلیل مودال سیستم غیر میراشونده.....
.....	۳۶۳	۱۳.۸ کاربرد MATLAB در تحلیل مودال سیستم میراشونده.....
.....	۳۶۷	۱۴.۸ کاربرد MATLAB در تحلیل پاسخ فرکانس.....
.....	۳۷۵	۹. مسائل تئوری ارتجاعی (الاستیسیته).....
.....	۳۷۵	۱.۹ تنش صفحه‌ای و کرنش صفحه‌ای.....
.....	۳۸۰	۲.۹ بردار نیرو.....
.....	۳۸۴	۳.۹ روش انرژی.....
.....	۳۸۶	۴.۹ جسم صلب سه بعدی.....
.....	۳۹۰	۵.۹ جسم صلب متقارن محوری.....

۳۹۲	.....تحلیل دینامیکی
۳۹۴	.....کاربرد MATLAB در تحلیل تنش دو بعدی
۴۰۹	.....کاربرد MATLAB در تحلیل متقارن محوری
۴۲۳	.....کاربرد MATLAB در تحلیل تنش سه بعدی
۴۳۹	.....۱۰. سازه‌های صفحه‌ای
۴۳۹	.....۱.۱۰. تئوری کلاسیک صفحات
۴۴۳	.....۲.۱۰. المان خمشی صفحه‌ای کلاسیک
۴۴۵	.....۳.۱۰. المان صفحه‌ای شکل‌پذیر برشی
۴۴۹	.....۴.۱۰. المان صفحه‌ای با درجات آزادی تغییر مکان
۴۵۶	.....۵.۱۰. المان صفحه‌ای آمیخته (ترکیبی)
۴۶۵	.....۶.۱۰. المان صفحه‌ ترکیبی (پیوندی)
۴۶۹	.....۷.۱۰. کاربرد MATLAB
۴۸۱	.....۱۱. کنترل سازه‌های انعطاف‌پذیر
۴۸۱	.....۱.۱۱. مقدمه
۴۸۳	.....۲.۱۱. تئوری پایداری
۴۸۸	.....۳.۱۱. پایداری سیستم‌های چند درجه آزادی
۴۹۲	.....۴.۱۱. تحلیل یک سیستم مرتبه دوم
۴۹۹	.....۵.۱۱. توصیف شکل فضا حالت
۵۱۳	.....۶.۱۱. تحلیل تابع انتقال
۵۲۷	.....۷.۱۱. طراحی قانون کنترل برای سیستم‌های فضا حالت
۵۴۲	.....۸.۱۱. تنظیم‌کننده درجه دوم خطی (LQR)
۵۵۵	.....۹.۱۱. کنترل مودال برای سیستم‌های مرتبه دوم
۵۶۰	.....۱۰.۱۱. مشاهده‌کننده دینامیکی
۵۶۸	.....۱۱.۱۱. طراحی جبران‌ساز
۵۷۳	.....۱۲.۱۱. طراحی بازخورد خروجی با استفاده از سنسورها/ محرک‌های با هم گذارده (هم‌جایگاه) برای سیستم‌های گسسته با چندین درجه آزادی
۵۹۷	.....منابع
۶۰۱	.....واژه‌نامه انگلیسی - فارسی
۶۰۵	.....واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
۶۰۹	.....نمایه

## پیشگفتار مترجمان

روش اجزای محدود به عنوان یک روش عددی تحلیل تنش، توسعه یافته و امروز به روشی کلی برای حل بسیاری از مسائل پیچیده مهندسی و علوم فیزیکی تبدیل شده است. با در نظر گرفتن اینکه این روش با محاسبات بسیار زیادی سروکار دارد، رشد آن به طور مستقیم به توسعه فناوری کامپیوتر وابسته است. امروزه چندین بسته نرم‌افزاری اجزای محدود به صورت تجاری در دسترس است و روزبه‌روز به تعداد کاربران آن افزوده می‌شود.

کاربر بدون داشتن اطلاعات کافی از این روش ممکن است نتایج غیر قابل اطمینانی بدست آورد. از طرف دیگر، حتی با داشتن دانش کافی از روش اجزای محدود، استفاده از بسته‌های تجاری می‌تواند به تحصیل نتایج اشتباه منجر شود. در بسته‌های تجاری، کاربر هیچ کنترلی بر نحوه محاسبات ندارد و نقش کلی او فقط وارد کردن اطلاعات اولیه و مشاهده نتایج خروجی است و دیدی به روند محاسبات و حل مسئله ندارد. در حقیقت این بسته‌های تجاری مانند جعبه سیاهی هستند که پس از اخذ اطلاعات ورودی، اطلاعات خروجی را تحویل کاربر می‌دهد و کلیه مراحل بین آن در تاریکی رخ می‌دهد. از این رو، برای پرهیز از خطاهای احتمالی و نیز نظارت کاربر بر روند محاسبه و در مهم‌ترین دلیل، درک کامل مفاهیم زیبای روش اجزای محدود پیشنهاد می‌شود پژوهشگران و مهندسان برای حل مسائل مختلف، از روش عددی به صورت کدنویسی استفاده کنند.

یکی از بهترین بسته‌های کدنویسی در علوم و مهندسی، محیط نرم‌افزار MATLAB است. زبان برنامه‌نویسی MATLAB بسیار شفاف و کاربرپسند می‌باشد و دستوره‌های آن در مقایسه با سایر زبان‌های برنامه‌نویسی آسان و خلاصه‌تر است. این کتاب مقدمه‌ای است برای درک و فهم کاربردی برنامه‌های تحلیل اجزای محدود و امید است گامی هر چند کوچک در ارتقای دانش فنی مهندسان این مرز و بوم باشد.

مترجمان امیدوارند دانشجویان، استادان و مهندسان این کتاب را مفید ارزیابی نمایند. شایان ذکر است که از پیشنهادهای خوانندگان برای ارتقای سطح علمی کتاب خرسندانه استقبال می‌شود.

علی نورزاد

مصطفی جلال

۱۳۹۴