

# روش‌های اجزای محدود

(جلد دوم)

تألیف:

**Klaus-Jürgen Bathe**

*(Professor of Mechanical Engineering  
Massachusetts Institute of Technology)*

ترجمه و تدوین:

سازمان سنجش

(عضو هیئت علمی افتخاری پژوهشگاه دانشگاه تهران)

و

آرش نیری

(دکترای مهندسی عمران - ژئوتکنیک)



## اطلاعات فیا:

- سرشناسه : باته، کلاوس - یورگن  
 Bathe, Klaus-Jürgen
- عنوان و نام پدیدآورنده : روش‌های اجزای محدود / کلاوس - یورگن باته؛  
 ترجمه و تدوین ساسان محاسب، آرش نیری.
- مشخصات نشر : تهران: ماه‌نویسان، ۱۳۹۳.
- مشخصات ظاهری : ج۲: مصور، جدول، نمودار.
- شاب : دوره: ۱ - ۴ - ۹۴۹۰۱ - ۶۰۰ - ۹۷۸ :  
 ج۲: ۴ - ۳ - ۹۴۹۰۱ - ۶۰۰ - ۹۷۸ :  
 ج۱: ۷ - ۲ - ۹۴۹۰۱ - ۶۰۰ - ۹۷۸
- وضعیت فهرست‌رایی : فیا
- یادداشت : Finite element procedures, c1996. : اصل:
- یادداشت : چاپ: نیل: دانشگاه صنعتی سهند، ۱۳۷۷.
- موضوع : روش‌های اجزای محدود
- موضوع : ریاضیات مهندسی
- شناسه افزوده : محاسب، ساسان: ۳۵ - مترجم
- شناسه افزوده : نیری، آرش، ۱۳۵۵ - مترجم
- رده‌بندی کنگره : ۳۴۷ / ۹ ب ۲ ۱۳۹۳ T
- رده‌بندی دیویی : ۶۲۰ / ۰۰۱۵۱۵۳۵
- شماره کتاب‌شناسی ملی: ۳۵۹۹۱۶۱



**ناشر: ماه نویسان**

**روش‌های اجزای محدود (جلد دوم)**

**تألیف:**

**Klaus-Jürgen Bathe**

**ترجمه و تدوین:**

**سازمان محاسب - آرش نیری**

**امور فنی و مهندسی: مهناز عزب‌دفتری**

**نویسندگان: چاپ: اول**

**تاریخ انتشار: پاییز ۱۳۹۴**

**شمارگان: ۵۰۰ نسخه**

**شابک: ۹۷۸-۹۶۹۰۱-۳-۴**

**قیمت: ۵۵۰۰۰ تومان**

**حق چاپ برای ناشر محفوظ است.**

**تلفن تماس: ۰۹۱۲۳۱۹۱۱۵۲ - ۰۹۳۹۳۱۹۱۱۵۲**

**آدرس سایت: [www.mahnevissanpub.ir](http://www.mahnevissanpub.ir)**

**آدرس ایمیل: [inazmah@gmail.com](mailto:inazmah@gmail.com)**

## فهرست مطالب

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| مقدمه انگلیسی K. J. Bathe                                      | ظ   |
| مقدمه‌ای بر ترجمه ویرایش دوم روش‌های اجزای محدود               | غ   |
| مقدمه مترجم                                                    | ق   |
| مقدمه مؤلف - ویرایش دوم                                        | ل   |
| مقدمه مؤلف - ویرایش اول                                        | ن   |
| فصل ۶. تحلیل غیرخطی اجزای محدود در مکانیک جامدات و مکانیک سازه | ۷۸۱ |
| ۱-۶ مقدمه‌ای بر تحلیل غیرخطی                                   | ۷۸۱ |
| ۲-۶ رابطه‌سازی معادلات نموّی حرکت در محیط پیوسته               | ۷۹۹ |
| ۱-۲-۶ مسئله بنیادی                                             | ۷۹۹ |
| ۲-۲-۶ گردآیان تغییرشکل، تانسورهای تنش کرنش                     | ۸۰۶ |
| ۳-۲-۶ رابطه‌سازی نموّی لاگرانژی کلی و به‌روزشده در محیط پیوسته | ۸۳۸ |
| ۴-۲-۶ تمرین‌ها                                                 | ۸۴۸ |
| ۳-۶ اجزای محدود محیط پیوسته هم‌عامل مبتنی بر تغییر مکان        | ۸۶۲ |
| ۱-۳-۶ خطی‌سازی اصل کار مجازی نسبت به‌متغیرهای اجزای محدود      | ۸۶۲ |
| ۲-۳-۶ معادلات ماتریسی عمومی اجزای محیط پیوسته                  | ۸۶۴ |
| ۳-۳-۶ اجزای خربایی و کابلی                                     | ۸۶۹ |
| ۴-۳-۶ اجزای دوبعدی متقارن محوری، کرنش مسطح و تنش مسطح          | ۸۷۹ |
| ۵-۳-۶ اجزای سه‌بعدی در جامدات                                  | ۸۸۷ |
| ۶-۳-۶ تمرین‌ها                                                 | ۸۹۰ |

|      |       |                                                      |
|------|-------|------------------------------------------------------|
| ۸۹۶  | ۴-۶   | رابطه‌سازی تغییر مکان / فشار برای تغییر شکل‌های بزرگ |
| ۸۹۶  | ۱-۴-۶ | رابطه‌سازی لاگرانژی کلی                              |
| ۹۰۲  | ۲-۴-۶ | رابطه‌سازی لاگرانژی به‌روزشده                        |
| ۹۰۴  | ۳-۴-۶ | تمرین‌ها                                             |
| ۹۰۶  | ۵-۶   | اجزای سازه‌ای                                        |
| ۹۰۷  | ۱-۵-۶ | اجزای تیری و پوسته‌ای متقارن محوری                   |
| ۹۱۷  | ۲-۵-۶ | اجزای صفحه‌ای و پوسته‌ای عمومی                       |
| ۹۲۳  | ۳-۵-۶ | تمرین‌ها                                             |
| ۹۲۷  | ۶-۶   | تاریخ همبستگی‌های رفتاری                             |
| ۹۳۱  | ۱-۶-۶ | رفتار ارتجاعی مصالح - تعمیم قانون هوک                |
| ۹۴۵  | ۱-۶-۶ | روان: مصالح شبه‌لاستیک                               |
| ۹۴۹  | ۳-۶-۶ | رفتار غیر ارتجاعی؛ مصالح؛ ارتجاعی - خمیری، خزش، ...  |
| ۹۷۶  | ۴-۶-۶ | درش، ای بزرگ الاستوپلاستیسیته                        |
| ۹۸۳  | ۵-۶-۶ | تمرین‌ها                                             |
| ۹۹۲  | ۷-۶   | شرایط تماسی                                          |
| ۹۹۲  | ۱-۷-۶ | معادلات محیط‌های پیرامونی                            |
| ۹۹۷  | ۲-۷-۶ | روش حل مسائل تماسی: روش تابع مقید                    |
| ۱۰۰۱ | ۳-۷-۶ | تمرین‌ها                                             |
| ۱۰۰۱ | ۸-۶   | ملاحظات عملی                                         |
| ۱۰۰۲ | ۱-۸-۶ | روش عمومی تحلیل غیرخطی                               |
| ۱۰۰۳ | ۲-۸-۶ | تحلیل فروریزی و کمانش                                |
| ۱۰۱۳ | ۳-۸-۶ | اثر اغوجاج اجزای محدود                               |
| ۱۰۱۴ | ۴-۸-۶ | مرتبه انتگرال‌گیری عددی                              |
| ۱۰۱۸ | ۵-۸-۶ | تمرین‌ها                                             |

## فصل ۷. کاربرد اجزای محدود در تحلیل انتقال حرارت، مسائل میدانی و

جریان سیالات تراکم‌ناپذیر

|      |     |       |
|------|-----|-------|
| ۱۰۲۱ | ۱-۷ | مقدمه |
|------|-----|-------|

|       |                                             |      |
|-------|---------------------------------------------|------|
| ۲-۷   | تحلیل انتقال حرارت                          | ۱۰۲۲ |
| ۱-۲-۷ | معادلات حاکم بر انتقال حرارت                | ۱۰۲۲ |
| ۲-۲-۷ | معادلات نموی                                | ۱۰۲۸ |
| ۳-۲-۷ | گسسته‌سازی اجزای محدود معادلات انتقال حرارت | ۱۰۳۵ |
| ۴-۲-۷ | تمرین‌ها                                    | ۱۰۴۸ |
| ۳-۷   | تحلیل مسائل میدانی                          | ۱۰۵۱ |
| ۱-۳-۷ | تراوش                                       | ۱۰۵۲ |
| ۲-۳-۷ | جریان بدون لزجت تراکم‌ناپذیر                | ۱۰۵۴ |
| ۳-۳-۷ | بیچش                                        | ۱۰۵۵ |
| ۴-۳-۷ | پال اکوستیک                                 | ۱۰۵۹ |
| ۵-۳-۷ | تمرین‌ها                                    | ۱۰۶۴ |
| ۴-۷   | تحلیل جریان تراکم‌ناپذیر لزج                | ۱۰۶۶ |
| ۱-۴-۷ | معادلات مکانیک محیط پیوسته                  | ۱۰۷۱ |
| ۲-۴-۷ | معادلات حاکم بر اجزای محدود                 | ۱۰۷۵ |
| ۳-۴-۷ | جریان‌ها با عدد رینولدز به یکت بزرگ         | ۱۰۸۳ |
| ۴-۴-۷ | اندرکشی سازه - میال                         | ۱۰۹۵ |
| ۴-۴-۷ | تمرین‌ها                                    | ۱۰۹۸ |

## فصل ۸. حل معادلات تعادل در تحلیل استاتیکی .. ۱۱۰۳

|       |                                                               |      |
|-------|---------------------------------------------------------------|------|
| ۱-۸   | مقدمه                                                         | ۱۱۰۳ |
| ۲-۸   | روش‌های حل مستقیم - کاربرد الگوریتم‌های مبتنی بر روش حذفی گوس | ۱۱۰۵ |
| ۱-۲-۸ | مقدمه‌ای بر روش حذفی گوس                                      | ۱۱۰۶ |
| ۲-۲-۸ | روش حل $LDL^T$                                                | ۱۱۱۸ |
| ۳-۲-۸ | برنامه‌سازی روش حذفی گوس - روش ستون فعال                      | ۱۱۲۱ |
| ۴-۲-۸ | تجزیه چولسکی، چگالی استاتیکی، زیرسازه‌ها و روش حل جبهه‌ای     | ۱۱۳۴ |
| ۵-۲-۸ | شرط معین مثبت، نیمه‌معین مثبت و خواص دنباله استروم            | ۱۱۴۹ |
| ۶-۲-۸ | خطاهای حل                                                     | ۱۱۶۱ |
| ۷-۲-۸ | تمرین‌ها                                                      | ۱۱۷۳ |

|      |                                                  |       |
|------|--------------------------------------------------|-------|
| ۱۱۷۹ | روش‌های حل تکراری                                | ۳-۸   |
| ۱۱۸۲ | روش گوس - سیدل                                   | ۱-۳-۸ |
| ۱۱۸۵ | روش شیب مزدوج با کاربرد پیش شرط‌کنندگی           | ۲-۳-۸ |
| ۱۱۹۱ | تمرین‌ها                                         | ۳-۳-۸ |
| ۱۱۹۳ | حل معادلات غیر خطی                               | ۴-۸   |
| ۱۱۹۴ | روش‌های نیوتن - رافسون                           | ۱-۴-۸ |
| ۱۲۰۱ | روش BFGS                                         | ۲-۴-۸ |
| ۱۲۰۵ | روش‌های نیرو - تغییر مکان - قید                  | ۳-۴-۸ |
| ۱۲۰۹ | معیارهای همگرایی                                 | ۴-۴-۸ |
| ۱۲۱۱ | تمرین‌ها                                         | ۵-۴-۸ |
| ۱۲۱۵ | فصل ۹. حل معادلات تعادل در تحلیل دینامیکی        |       |
| ۱۲۱۵ | مقدمه                                            | ۱-۹   |
| ۱۲۱۷ | روش‌های انتگرال گیری مستقیم                      | ۲-۹   |
| ۱۲۱۸ | روش تفاضل‌های مرکزی                              | ۱-۲-۹ |
| ۱۲۲۶ | روش هوبولت                                       | ۲-۲-۹ |
| ۱۲۳۰ | روش نیومارک                                      | ۳-۲-۹ |
| ۱۲۳۴ | روش بسته                                         | ۴-۲-۹ |
| ۱۲۳۹ | ترکیب عملگرهای مختلف انتگرال گیری                | ۵-۲-۹ |
| ۱۲۴۲ | تمرین‌ها                                         | ۶-۲-۹ |
| ۱۲۴۳ | جمع آثار مدها                                    | ۳-۹   |
| ۱۲۴۴ | تغییر پایه به تغییر مکان‌های تعمیم یافته مَدی    | ۱-۳-۹ |
| ۱۲۴۹ | تحلیل بدون میرایی                                | ۲-۳-۹ |
| ۱۲۵۹ | تحلیل با اثر میرایی                              | ۳-۳-۹ |
| ۱۲۶۸ | تمرین‌ها                                         | ۴-۳-۹ |
| ۱۲۶۸ | بررسی روش‌های انتگرال گیری مستقیم                | ۴-۹   |
| ۱۲۷۱ | عملگرهای تقریب‌سازی و بار در انتگرال گیری مستقیم | ۱-۴-۹ |
| ۱۲۷۶ | تحلیل پایداری                                    | ۲-۴-۹ |

|      |                                                                                 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۸۲ | تحلیل دقت ۳-۴-۹                                                                 |
| ۱۲۸۶ | برخی ملاحظات عملی ۴-۴-۹                                                         |
| ۱۲۹۹ | تمرین‌ها ۵-۴-۹                                                                  |
| ۱۳۰۱ | حل معادلات غیرخطی در تحلیل دینامیکی ۵-۹                                         |
| ۱۳۰۱ | انتگرال گیری صریح ۱-۵-۹                                                         |
| ۱۳۰۴ | انتگرال گیری ضمنی ۲-۵-۹                                                         |
| ۱۳۰۷ | حل به روش جمع آثار مُدها ۳-۵-۹                                                  |
| ۱۳۰۸ | تمرین‌ها ۴-۵-۹                                                                  |
| ۱۳۱۰ | حل مسائل غیرسازه‌ای - انتقال حرارت و جریان سیال ۶-۹                             |
| ۱۳۱۰ | روش انتگرال گیری زمانی $\alpha$ ۱-۶-۹                                           |
| ۱۳۱۸ | تمرین‌ها ۶-۹                                                                    |
| ۱۳۲۱ | فصل ۱۰. مقدمه‌ای بر حل مسائل ویژه                                               |
| ۱۳۲۱ | مقدمه ۱-۱۰                                                                      |
| ۱۳۲۵ | گزاره‌های کاربردی پایه در حل سیستم‌های ویژه ۲-۱۰                                |
| ۱۳۲۵ | خواص برداری ویژه ۱-۲-۱۰                                                         |
| ۱۳۲۳ | چندجمله‌ای‌های مشخص مسئله ویژه $K\phi = \lambda M\phi$ و ... ۲-۲-۱۰             |
| ۱۳۴۲ | انتقال (جاب‌جایی) ۳-۲-۱۰                                                        |
| ۱۳۴۴ | اثر جرم صفر ۴-۲-۱۰                                                              |
| ۱۳۴۶ | تبدیل مسئله ویژه تعمیم‌یافته $K\phi = \lambda M\phi$ به ساختار استاندارد ۵-۲-۱۰ |
| ۱۳۵۶ | تمرین‌ها ۶-۲-۱۰                                                                 |
| ۱۳۵۸ | فنون حل تقریبی ۳-۱۰                                                             |
| ۱۳۵۹ | چگالش استاتیکی ۱-۳-۱۰                                                           |
| ۱۳۶۹ | تحلیل رایلی - ریتز ۲-۳-۱۰                                                       |
| ۱۳۸۱ | ترکیب مد مؤلفه‌ای ۳-۳-۱۰                                                        |
| ۱۳۸۶ | تمرین‌ها ۴-۳-۱۰                                                                 |
| ۱۳۸۷ | خطاهای حل ۴-۱۰                                                                  |
| ۱۳۸۷ | کران‌های خطا ۱-۴-۱۰                                                             |
| ۱۳۹۸ | تمرین‌ها ۲-۴-۱۰                                                                 |

|      |                                                     |
|------|-----------------------------------------------------|
| ۱۴۰۱ | فصل ۱۱. روش‌های حل مسائل ویژه                       |
| ۱۴۰۱ | ۱-۱۱ مقدمه                                          |
| ۱۴۰۴ | ۲-۱۱ روش‌های حل تکراری برداری                       |
| ۱۴۰۵ | ۱-۲-۱۱ تکرار معکوس                                  |
| ۱۴۱۶ | ۲-۲-۱۱ تکرار بیشرو                                  |
| ۱۴۲۰ | ۳-۲-۱۱ تغییر جا در تکرار برداری                     |
| ۱۴۲۷ | ۴-۲-۱۱ تکرار خارج قسمت رابلی                        |
| ۱۴۳۱ | ۵-۲-۱۱ کاهش ماتریسی و متعامدسازی گرام - اشمیت       |
| ۱۴۳۵ | ۶-۲-۱۱ ملاحظات کاربردی در تکرارهای برداری           |
| ۱۴۳۸ | ۷-۲-۱۱ تمرین‌ها                                     |
| ۱۴۳۹ | ۳-۱۱ روش‌های تکرار                                  |
| ۱۴۴۲ | ۱-۳-۱۱ روش ژاکوبی                                   |
| ۱۴۵۲ | ۲-۳-۱۱ روش ژاکوبی، تعمیم یافته                      |
| ۱۴۶۳ | ۳-۳-۱۱ روش تکرار سیدس هاوز هولدر - QR               |
| ۱۴۸۰ | ۴-۳-۱۱ تمرین‌ها                                     |
| ۱۴۸۰ | ۴-۱۱ روش‌های تکرار چند جمله‌ای و جدول دنباله استروم |
| ۱۴۸۱ | ۱-۴-۱۱ تکرار چند جمله‌ای صریح                       |
| ۱۴۸۳ | ۲-۴-۱۱ تکرار چند جمله‌ای ضمنی                       |
| ۱۴۸۹ | ۳-۴-۱۱ تکرار مبتنی بر خاصیت دنباله استروم           |
| ۱۴۹۲ | ۴-۴-۱۱ تمرین‌ها                                     |
| ۱۴۹۳ | ۵-۱۱ روش تکراری لانتزوس                             |
| ۱۴۹۴ | ۱-۵-۱۱ تبدیل لانتزوس                                |
| ۱۵۰۱ | ۲-۵-۱۱ تکرار با تبدیل‌های لانتزوس                   |
| ۱۵۰۷ | ۳-۵-۱۱ تمرین‌ها                                     |
| ۱۵۰۸ | ۶-۱۱ روش تکرار زیرفضا                               |
| ۱۵۱۰ | ۱-۶-۱۱ ملاحظات مقدماتی                              |
| ۱۵۱۴ | ۲-۶-۱۱ تکرار زیرفضا                                 |
| ۱۵۱۸ | ۳-۶-۱۱ بردارهای آغازگر تکرار                        |

|           |                                    |
|-----------|------------------------------------|
| ۱۵۲۳..... | همگرایی ۴-۶-۱۱                     |
| ۱۵۲۵..... | پیاده‌سازی روش تکرار زیرفضا ۵-۶-۱۱ |
| ۱۵۳۹..... | تمرین‌ها ۶-۶-۱۱                    |

## فصل ۱۲. پیاده‌سازی روش اجزای محدود..... ۱۵۴۱

|           |                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| ۱۵۴۱..... | مقدمه ۱-۱۲                                                   |
| ۱۵۴۳..... | سازماندهی برنامه رایانه‌ای برای محاسبه ماتریس‌های سیستم ۲-۱۲ |
| ۱۵۴۴..... | خواندن داده‌های گره‌ها و اجزا ۱-۲-۱۲                         |
| ۱۵۴۸..... | محاسبه سختی و جرم اجزا و بارهای گره‌ای معادل ۲-۲-۱۲          |
| ۱۵۴۹..... | سوار نمودن ماتریس‌ها ۱-۲-۱۲                                  |
| ۱۵۵۴..... | محاسبه تنش در اجزا ۳-۱۲                                      |
| ۱۵۵۵..... | نمونه برنامه STAP ۴-۱۲                                       |
| ۱۵۵۸..... | داده‌های ورودی به برنامه STAP ۱-۴-۱۲                         |
| ۱۵۶۵..... | متن برنامه STAP ۲-۴-۱۲                                       |
| ۱۵۸۰..... | تمرین‌ها و پروژه‌ها ۵-۱۲                                     |

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی..... ۱۵۸۵

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی..... ۱۵۹۳

منابع و مآخذ..... ۱۶۰۱

فهرست موضوعی..... ۱۶۲۷

## **Preface for the Translation of Finite Element Procedures, 2nd edition**

The finite element method is today already used extensively in the analysis of problems in engineering and the sciences, and this use is bound to increase. Hence textbooks in this field are needed. I hope that students, researchers and practitioners interested in the finite element method in Iran will find this book valuable, in particular as it is now available in their native language.

Dr. Mohasseb has worked for a long time in the field of finite element methods, and he has completed successfully various industrial projects with ADINA. However, for the translation of this book, it is not only necessary to be very knowledgeable in the field, but also have the devotion and strength to spend the required huge effort. I am very thankful that Dr. Mohasseb with help, see his Preface, enthusiastically translated the book, and that the book, in its second edition, is now widely available in Iran.

***K.J. Bathe***

## مقدمه‌ای بر ترجمه ویرایش دوم روش‌های اجزای محدود

روش اجزای محدود امروزه به‌طور گسترده و قابل‌توجهی در تحلیل مسائل مختلف در حوزه مهندسی و سایر علوم دیگر مورد استفاده بوده و مرزهای این کاربرد در حال گسترش است. به‌همین دلیل، وجود کتاب مرجع در این زمینه امری لازم و ضروری است. من امیدوارم ترجمه کتاب **روش‌های اجزای محدود** به‌زبان فارسی در ایران برای دانشجویان، محققین و مهندسين حرفه‌ای بسیار و علاقمند به موضوع اجزای محدود، به‌عنوان کتاب مرجع، مفید و قابل استفاده باشد.

آقای دکتر ساسان س. سب مدتی طولانی در حوزه تحلیل به‌روش‌های اجزای محدود فعالیت حرفه‌ای داشته‌اند و تحلیل و طراحی پروژه‌های صنعتی مختلفی را با استفاده از نرم‌افزار ADINA به‌انجام رسانده‌اند. هرچند، به‌رهمندی از مهارت و دانش زیاد به‌تنهایی برای ترجمه کتاب **روش‌های اجزای محدود** کافی نیست، بلکه این امر نیازمند همت و تلاش جدی در کنار از خودگذشتگی جهت صرف وقت و انرژی برای انجام ترجمه است.

از آقای دکتر ساسان محاسب و همکاران‌شان برای ترجمه مشتاقانه کتاب و اینکه با تلاش ایشان، هم‌اکنون ترجمه ویرایش دوم کتاب در ایران به‌دور رسیده در اختیار تمامی علاقه‌مندان قرار دارد، تشکر می‌کنم.

س. جی. بته

(K.J. Bathe)

## مقدمه مترجمین

همان‌طور که در مقدمه جلد اول از این مجموعه ذکر شد، کتاب **روش‌های اجزای محدود** پروفیسور بته از منابع معتبر در سطح بین‌المللی در موضوع اجزای محدود است و همواره توسط محققین و استادان دانشگاه به‌عنوان کتاب مرجع مورد استفاده و استناد می‌باشد. در این راستا، به‌مناسبت اساتید و دانشجویان از مجموعه کامل مطالب مفید و آموزنده این کتاب به‌زبان فارسی یک نسخه از اصلی محسوب می‌گردد. به‌همین دلیل، هفت فصل دوم (فصل ۶ الی ۱۲) از کتاب اصلی در قالب جلد ۲ ترجمه شده و در اختیار استادان و دانشجویان قرار گرفته است.

مفاهیم و موضوعات مطرح‌شده در جلد دوم به‌نوعی ادامهٔ مباحث پنج فصل اول (فصل ۱ الی ۵) و ورود به‌حوزه‌های دیگری از انواع تحلیل و انواع محیط‌های تحلیلی است؛ به‌گونه‌ای که تحلیل غیرخطی سازه‌ها و حالات تعادل در تحلیل دینامیکی در این جلد معرفی شده‌اند. رابطه‌سازی اجزای محدود در مسائل حرارت، مسائل میدانی و همچنین در محیط سیالات تراکم‌ناپذیر به‌عنوان مدخل بحث اصلی و تحلیلی اجزای محدود در سایر محیط‌ها غیر از سازه نیز در فصل هفتم تشریح شده‌اند.

از آنجا که تحلیل سازه‌ها و تحلیل میدان‌های مختلف در نهایت منجر به حل معادلات تعادل است، بنابراین در فصل‌های دهم و یازدهم به‌ترتیب مقدمه‌ای بر حل مسائل ویژه، تشکیل معادلات مربوطه و روش‌های حل آنها عنوان شده، سپس در فصل دوازدهم فنون و روش‌های حل سیستم‌های ویژه مطابق با نتایج مطالعات و تحقیقات به‌روز ارائه و در قالب مثال‌های کاربردی متنوع تفهیم شده است. در فصل آخر (فصل ۱۲) روش پیاده‌سازی روش‌های اجزای محدود در رایانه و به‌کمک زبان‌های برنامه‌نویسی رایج تشریح شده و یک نمونه برنامه رایانه‌ای نیز معرفی شده است. در انتهای این فصل مثال‌ها و پروژه‌های کاربردی مختلفی ارائه شده است تا دانشجویان بتوانند از طریق حل آنها با جنبه‌های کاملاً

عملی و کاربری روش‌های اجزای محدود در مدل‌سازی و تحلیل سازه‌های مختلف آشنا شوند.

ذکر این نکته بسیار ضروری است که مترجمین از آخرین ویرایش کتاب اصلی که توسط پروفیسور بته برای چاپ آماده می‌شده است در ترجمه و تهیه جلد ۲ استفاده نموده‌اند و بسیاری از نکات، ویرایش‌ها و مطالب جدید در قالب دست‌نویس‌ها و ویرایش‌های مستقیم در اختیار مترجمین قرار گرفته و در متن ترجمه اعمال شده است. در ضمن کتاب اصلی روش‌های اجزای محدود در بسیاری از سایت‌های معتبر علمی و سایت‌های نشر و معرفی کتاب، دارای امتیاز مثبت بالا از جانب خوانندگان و استفاده‌کنندگان است که این موضوع می‌تواند اطمینان اساتید و دانشجویان محترم را نسبت به اقبال بین‌المللی این مرجع در سطح بین‌المللی جلب نماید. امید و خواسته اصلی مترجمین این کتاب، تهیه و در دسترس قرار دادن خواننده در موضوع اجزای محدود است که نسبت به سایر عناوین مشابه خود عمیق، کاربردی، معبر و برجسته است و تا حد زیادی می‌تواند نیاز به سایر منابع را در این موضوع مرتفع سازد.

در انتها از زحمات صادقه استادکار خانم مهناز عزب‌دفتری با همکاری فشرده و صمیمانه ایشان و همکاران محترم دانشکده فنی و مهندسی راهگشای ما به امور فنی و هنری متن کتاب و آماده‌سازی جهت چاپ را با دست ویژه مسئولیت‌پذیری و ریزبینی همیشگی برعهده گرفتند، تقدیر و تشکر می‌نماییم.

خواهشمند است نظرات تکمیلی و راهگشای خود را پیرامون محتوای کتاب و ایرادات احتمالی در متن و ترجمه به‌آدرس ایمیل مترجمین اعلام فرمایید.

سازمان منابع

(دکترای مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی ETH زوریخ)

(عضو هیئت علمی افتخاری پژوهشگاه دانشگاه تهران)

smteam@gmx.ch

آرش نیری

(دکترای مهندسی عمران - ژنوتکنیک)

arash.nayeri@gmail.com

مهر ۱۳۹۴، تهران

## مقدمه مؤلف - ویرایش دوم

حدود دو دهه پیش بود که این کتاب برای اولین بار به چاپ رسید و تاکنون هفت بار تجدید چاپ شده است. از آنجا که چاپ‌های مجدد نیز مورد نیاز است، اینجانب تصمیم گرفتم که بعضی به‌روزرسانی‌ها را در متن کتاب اعمال نمایم.

ویرایش دوم کتاب نسبت به نسخه اولیه قدری حجیم‌تر شده است، هرچند تصمیم گرفتم که به لحاظ ابعاد تغییر ندهم. به همین دلیل اضافه نمودن مطالب جدید، مستلزم حذف مطالب قدیمی در نسخه اولیه بود و فقط موارد مهم را به کتاب اضافه نمودم. این موضوع کمک می‌نماید که دیدگاه اصلی کتاب حفظ گردد، که در واقع تمرکز بر روش‌های اجزای محدود کاربردی است که می‌تواند برای مدت طولانی مورد استفاده قرار گیرد.

هرچند مقالات زیادی در توسعه روش اجزای محدود در این دو دهه به چاپ رسیده‌اند، ولی رابطه‌سازی پایه اجزای محدود که در این کتاب نیز بر آن تمرکز شده، به‌سختی تغییر یافته است، به همین دلیل به‌روزرسانی محتوا محدود کار چندان دشواری نبود. فقط تعدادی از مطالعات و کارهای مهم اخیر مورد توجه واقع قرار گرفته‌اند و بعضی از روش‌های خاص جدید در متن کتاب وارد شده‌اند.

در اینجا از کلیه همکاران و دانشجویانم که در ارائه روش‌های اجزای محدود با من همکاری داشتند و همچنین از ویکتور لی از شرکت ADINA R & D که در تایپ و تنظیم متن جدید مرا یاری نمود صمیمانه تشکر می‌نمایم. کار بر روی روش‌های اجزای محدود برای من بسیار جذاب و افتخارآمیز بوده است و در ادامه نیز این‌گونه خواهد بود. تا جایی که این کتاب را مایه غنی شدن زندگی خود می‌دانم.

ک. جی. بته  
(K.J. Bathe)

## مقدمه مؤلف - ویرایش اول

روش‌های اجزای محدود امروزه یکی از ابزار مهم و جدایی‌ناپذیر تحلیل و طراحی مهندسی می‌باشد. برنامه‌های رایانه‌ای مبتنی بر اجزای محدود امروزه در تحلیل عملی سازه‌ها، جامدات و سیالات در شاخه‌های مختلف مهندسی کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند.

هدف از تألیف این کتاب، تهیه یک متن آموزشی برای دانشجویان سال‌های آخر کارشناسی و همچنین دانشجویان تحصیلات تکمیلی در دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری در درس‌های مختلف اجزای محدود و همچنین تهیه یک متن خودآموز برای مهندسين و محققين بوده است.

با این هدف و تصور ذهنی، طبع اولیه کتاب در نسخه‌های اولیه آن با عنوان روش‌های اجزای محدود در تحلیل مهندسی (انتشارات Prentice-Hall، ۱۹۸۲) ایجاد گردید و توسعه یافت. با حفظ شکل اولیه در ارائه مطالب، چاپ‌های بعدی کتاب، فشرده‌تر، به‌روزتر و متناسب با پیشرفت دانش اجزای محدود، قوی‌تر گردید. همچنین به‌منظور تکمیل مطالب ارائه‌شده در چاپ‌های اولیه و همچنین جهت سهولت دسترسی مصالح مختلف مشروح در کتاب، فصل‌هایی را به آن اضافه کردم.

کتاب حاضر ارائه کلیه روش‌های اجزای محدود را شامل نمی‌شود. برای چنین مقصودی، چندین جلد کتاب مورد نیاز است. در مقابل، این کتاب بر روش‌های مشخصی از اجزای محدود و به‌عنوان نمونه بر شیوه‌ها و روش‌هایی تکیه می‌کند که در کاربردهای عملی مهندسی بیشتر مورد توجه بوده و در سالیان طولانی بیشتر به‌کار گرفته شده‌اند. این روش‌ها به‌گونه‌ای آموزش داده و بیان شده‌اند که به‌طور مؤثری برای دانشجویان، کاربردی و جذاب باشند.

یکی از جنبه‌های مهم روش‌های اجزای محدود، قابلیت اعتماد آن است. به‌گونه‌ای که کاربرد آن در طراحی به‌کمک رایانه (معرفی در نرم‌افزارهای تحلیل و طراحی) با اطمینان

انجام می‌شود. این کتاب بر این جنبه از توانایی روش اجزای محدود تأکید داشته و بر ارائه روش‌هایی متمرکز شده است که در تحلیل‌های مهندسی عمومی‌تر و مطمئن‌تر هستند. بنابراین، این کتاب به‌طور واضح بر پایه ارائه روش‌های مختلف از مجموعه روش‌های اجزای محدود پایه‌ریزی شده و این روش‌ها را به‌شیوه خاص خود ارائه می‌نماید. این کتاب نمایانگر فلسفه اینجانب در تدریس و به‌کارگیری روش‌های اجزای محدود در تحلیل‌های مهندسی است.

هرچند عناوین اصلی کتاب بر روش‌های ریاضی تکیه دارند، ولی جذابیت و درک کامل روش‌های اجزای محدود برای کاربردهای مهندسی، در گرو توجه و تمرکز کافی بر ویژگی‌های فیزیکی و ریاضی روش‌های مورد استفاده است. ترکیب درک فیزیکی و ریاضی، دلگرمی و اعتماد ما را در کاربرد و توسعه روش‌های اجزای محدود دوجندان می‌کند و این از جمله اهداف کتاب است.

این نوع تفکر، همکاری بیشتری بین مهندسين و ریاضی‌دانان را ملزم می‌دارد تا فهم خواننده را از روش‌های اجزای محدود عمیق‌تر نماید، همچنان که گسترش زمینه تحقیقات در سطح عالی بر روی این حوزه هم، دانش، مزایای زیادی را به‌همراه خواهد داشت. در این راستا من از آقای ارشد برای حمایت همکاری مشترک‌مان در این مقوله و همچنین برای پیشنهادات ارزنده وی در موضوع کتاب کمال تشکر را دارم. من می‌دانم که نوشتن یک کتاب ارزشمند کار بزرگ و مهمی برای یک نویسنده است. امروزه، تغییرات در کلیه حوزه‌های مهندسی بسیار سریع بوده و کتاب باید جدید و کاربردی برای دانشجویان در تمامی زمینه‌های مهندسی مورد نیاز است. بنده از دانشگاه مهندسی M.I.T به‌خاطر فراهم نمودن زمینه و فضای بسیار ارزنده جهت فعالیت اینجانب در زمینه‌های مورد علاقه‌ام در تدریس، تحقیق و مقاله‌نویسی سپاس‌گزارم. هرچند تلاش زیادی از جانب بنده جهت نوشتن این کتاب لازم بود، ولی بدون همکاری دانشجویان گذشته و آینده این دانشگاه، بدون وجود نویسندگان و محققین که در این زمینه فعال هستند و همچنین، بدون وجود زمینه‌های لازم برای تدریس اینجانب در M.I.T، این مهم به‌انجام نمی‌رسید. من به‌معنای واقعی خوش‌اقبال بودم که در دانشگاه M.I.T با دانشجویان مستعدی همکاری داشتم و از همه آنها تشکر می‌کنم. همکاری مشترک با این دانشجویان و تدریس برای ایشان، امتیاز ویژه‌ای برای من محسوب می‌شود. البته این موضوع را باید بی‌پرده عرض نمایم که بنده

بخشی از زمان خود را به شرکت شخصی ADINA R&D جهت توسعه روش‌ها و نرم‌افزارهای اجزای محدود در صنعت نیز اختصاص می‌دهم. این حوزه از فعالیت حرفه‌ای مزایای زیادی در ارتقاء کیفیت تدریس، تحقیق و تألیف این کتاب برای من به همراه داشته است.

تهیه و تألیف متنی با عمق و وسعت زیاد در موضوعی که فقط چند دهه از تولد آن می‌گذرد و پیشرفت شگرفی را در این مدت تجربه کرده است، فقط می‌تواند توسط نویسنده‌ای انجام شود که از امتیاز ارتباط و همنشینی با افراد مختلف و صاحب‌نظر در این حوزه بهره‌مند باشد. بنده از کلیه دانشجویان و دوستانی که در گسترش دانش و فهم بنده در روش‌های اجزای محدود همکاری کرده و آنها که به همکاری خود ادامه می‌دهند، تشکر می‌نمایم. ارتباط با ایشان همواره باعث مسرت و خرسندی اینجانب بوده و خواهد بود. همچنین از منشی خود، سرکار خانم کریستین ریمود برای تلاش ویژه ایشان در تایپ و حروفچینی متن کتاب تشکر می‌کنم.

در انتها، سپاس بی‌حد و اندازه از همسرم زرکا و فرزندانم اینگرید و مارک اعلام می‌دارم، به‌خاطر عشق، درک و حمایتشان از کار و تلاش بنده که نیروبخش من در تهیه این کتاب بوده است.

ک. جی. بته  
(K.J. Bathe)