

۲۰۲۵۴۷۴  
مؤید اول  
مؤید

# طراحی و تحلیل اجزا محدود به کمک ANSYS Workbench نرم افزار

نویسنده:

دکتر حسین اشرفی (عضو هیات علمی دانشگاه کاشان)

محمد براهنی

محسن خلدی

سهیل سعیدی

انتشارات سهام دانش

عنوان و نام پدیدآور : طراحی و تحلیل اجزا محدود به کمک نرم افزار ANSYS /workbench نویسندگان حسین اشرفی ... او دیگران.

موضوعات نشر : تهران: سپا دانش، ۱۳۹۷.

موضوعات ظاهری : ۴۳۶ ص.

شابک : 978-600-1812-01-9

وضعیت فهرست نویسی : فیپا

یادداشت : نویسندگان حسین اشرفی، محمد پراهنی، محسن خلدی، سهیل سعیدی.

موضوع : انسیس (سیستم کامپیوتری)

موضوع : ANSYS (Computer system)

موضوع : روش المان های محدود -- داده پرداز

موضوع : Finite element method -- Data processing

شناسه افزوده : اشرفی، حسین، ۱۳۶۱-

رده بندی کنگره : ۵/T۳۴۵ ۱۳۹۷ ۵۴الف/

رده بندی دیویی : ۰۰۲۸۵۵۳۶/۶۲۰

شماره کتابشناسی ملی : ۵۵۷۲۳۷۶



سهادانش

طراحی و تحلیل اجزا محدود به کمک نرم افزار ANSYS Workbench

حسین اشرفی، محمد پراهنی، محسن خلدی، سهیل سعیدی

سپا دانش (عضو انجمن ناشران دانشگاهی)

یاسمن قرایی

امیر کلینی

اول

۱۳۹۸

۱۰۰

۷۰۰۰۰۰ ریال

عنوان کتاب

تألیف و گردآوری

ناشر

طراح جلد

صفحه‌آرا

نوبت چاپ

سال چاپ

تیراژ

قیمت

تلفن: ۳-۶۶۵۶۹۸۸۱

همراه: ۰۹۱۳۱۲۶۱۴۱۹

فروشگاه اینترنتی: [www.sohadanesh.com](http://www.sohadanesh.com)

ISBN: 978-600-181-204-0

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۸۱-۲۰۴-۰

این اثر مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ می‌باشد.

## فهرست مطالب

| صفحه    | عنوان                                     |
|---------|-------------------------------------------|
| ۱۱..... | فصل اول: مقدمه                            |
| ۱۲..... | ۱-۱ برخی مفاهیم پایه‌ای                   |
| ۱۲..... | ۱-۱-۱ چرا تحلیل اجزا محدود (FEA)؟         |
| ۱۳..... | ۱-۱-۲ کاربرد اجزا محدود در مهندسی         |
| ۱۴..... | ۱-۱-۳ تحلیل اجزا محدود با ANSYS Workbench |
| ۱۵..... | ۱-۱-۴ تاریخچه مختصری از FEA               |
| ۱۵..... | ۱-۱-۵ یک روش کلی برای FEA                 |
| ۱۶..... | ۱-۲ مثالی از FEA: دستگاه فنر              |
| ۱۶..... | ۱-۲-۱ یک المان فنر                        |
| ۱۷..... | ۱-۲-۲ سیستم فنر                           |
| ۲۱..... | ۱-۲-۵ مثال‌های حل شده                     |
| ۲۴..... | ۱-۳ بررسی اجمالی ANSYS Workbench          |
| ۲۴..... | ۱-۳-۱ رابطه کاربر                         |
| ۲۴..... | ۱-۳-۲ جعبه‌ابزار                          |
| ۲۵..... | ۱-۳-۳ پروژه شماتیک                        |
| ۲۷..... | ۱-۳-۴ کار با سلول‌ها                      |
| ۲۸..... | ۱-۴ خلاصه                                 |
| ۳۱..... | فصل دوم: طراحی و تحلیل میله‌ها و خرپاها   |
| ۳۲..... | ۲-۱ مقدمه                                 |
| ۳۲..... | ۲-۲ تئوری الاستیسیته یک‌بعدی              |
| ۳۳..... | ۲-۳ مدل‌سازی خرپاها                       |

|                                       |                                         |     |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----|
| ۲-۴                                   | فرمول بندی المان میله‌ای                | ۳۵  |
| ۲-۴-۱                                 | ماتریس سفتی: روش مستقیم                 | ۳۵  |
| ۲-۴-۲                                 | ماتریس سفتی: روش انرژی                  | ۳۶  |
| ۲-۴-۳                                 | رفتار بار توزیع شده                     | ۳۸  |
| ۲-۴-۴                                 | المان میله‌ای در دو بعد و سه بعد        | ۳۹  |
| ۲-۴-۴-۲                               | حالت سه بعدی                            | ۴۱  |
| ۲-۴-۵                                 | تنش المان                               | ۴۲  |
| ۲-۵                                   | نمونه‌هایی با المان‌های میله‌ای         | ۴۲  |
| ۲-۶                                   | حل یک مثال با ANSYS Workbench           | ۵۰  |
| راهنمایی مدل سازی                     |                                         | ۵۹  |
| ۲-۷                                   | خلاصه                                   | ۶۱  |
| ۲-۸                                   | مرور اهداف یا گیری                      | ۶۱  |
| فصل سوم: طراحی و تحلیل تیرها و قاب‌ها |                                         | ۶۹  |
| ۳-۱                                   | معرفی                                   | ۷۰  |
| ۳-۲                                   | مروری بر تئوری تیرها                    | ۷۰  |
| ۳-۲-۱                                 | تیر اویلر-برنولی و تیر تیموشینکو        | ۷۱  |
| ۳-۲-۲                                 | تنش، کرنش و تغییر شکل و روابط آن‌ها     | ۷۲  |
| ۳-۳                                   | مدل سازی تیرها و قاب‌ها                 | ۷۴  |
| ۳-۳-۱                                 | سطوح مقطع و محور قوی/ضعیف               | ۷۴  |
| ۳-۳-۲                                 | شرایط تکیه‌گاهی                         | ۷۵  |
| ۳-۳-۳                                 | تبدیل یک مدل فیزیکی به یک مدل خطی       | ۷۶  |
| ۳-۴                                   | فرمول بندی اجزای تیر                    | ۷۶  |
| ۳-۴-۱                                 | معادله سفتی المان: روش مستقیم           | ۷۷  |
| ۳-۴-۲                                 | معادله سفتی المان: روش انرژی            | ۷۸  |
| ۳-۴-۳                                 | رفتار بارهای گسترده                     | ۷۹  |
| ۳-۴-۴                                 | ماتریس سفتی برای المان تیر کلی          | ۸۱  |
| ۳-۵                                   | مثال‌هایی از المان تیر                  | ۸۱  |
| ۳-۶                                   | حل یک مثال با نرم افزار ANSYS Workbench | ۹۰  |
| ۳-۷                                   | خلاصه                                   | ۱۰۶ |
| ۳-۸                                   | مروری بر اهداف آموزشی                   | ۱۰۶ |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| فصل چهارم: الاستیسیته دوبعدی.....                   | ۱۱۱ |
| ۴-۱ مقدمه .....                                     | ۱۱۲ |
| ۴-۲ مروری بر تئوری الاستیسیته دوبعدی.....           | ۱۱۲ |
| ۴-۲-۱ تنش صفحه‌ای .....                             | ۱۱۲ |
| ۴-۲-۲ کرنش صفحه‌ای.....                             | ۱۱۳ |
| ۴-۲-۳ معادلات تنش-کرنش (ساختاری).....               | ۱۱۴ |
| ۴-۲-۴ روابط کرنش و جابجایی .....                    | ۱۱۵ |
| ۴-۲-۵ معادلات تعادل .....                           | ۱۱۵ |
| ۴-۲-۶ شرایط مرزی .....                              | ۱۱۶ |
| ۴-۲-۷ حل دقیق الاستیک.....                          | ۱۱۶ |
| ۴-۳ مدلسازی مسائل الاستیسیته دوبعدی.....            | ۱۱۷ |
| ۴-۴ فرمول‌بندی المان تنش-کرنش صفحه‌ای .....         | ۱۱۸ |
| ۴-۴-۱ یک فرمول کلی برای ماتریس سختی .....           | ۱۱۸ |
| ۴-۴-۲ مثلث کرنش ثابت (TS) یا T3 .....               | ۱۱۹ |
| ۴-۴-۳ المان مثلثی درجه دو (LST یا T6) .....         | ۱۲۳ |
| ۴-۴-۴ المان خطی چهار ضلعی .....                     | ۱۲۵ |
| ۴-۴-۵ المان چهار ضلعی درجه دو (Q8) .....            | ۱۲۶ |
| ۴-۴-۶ انتقال بارها .....                            | ۱۲۷ |
| ۴-۴-۷ محاسبه تنش .....                              | ۱۲۹ |
| ۴-۴-۸ توضیحات کلی در مورد المان‌های دوبعدی .....    | ۱۳۱ |
| ۴-۵ موردکاوی با- ANSYS Workbench .....              | ۱۳۲ |
| گام اول: شروع یک پروژه ANSYS Workbench .....        | ۱۳۳ |
| گام دوم: یک ایجاد یک سیستم تحلیل سازه استاتیکی..... | ۱۳۳ |
| گام سوم: اضافه کردن یک ماده جدید .....              | ۱۳۴ |
| گام چهارم: راه‌اندازی برنامه DesignModeler .....    | ۱۳۴ |
| گام پنجم: ایجاد طرح اولیه سطح .....                 | ۱۳۵ |
| گام ششم: ایجاد یک جسم پوسته‌ای .....                | ۱۳۹ |
| گام هفتم: راه‌اندازی برنامه Static Structural ..... | ۱۴۱ |
| گام هشتم: ایجاد مش .....                            | ۱۴۲ |
| گام نهم: اعمال شرایط مرزی .....                     | ۱۴۴ |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| گام دهم: اعمال بارها                 | ۱۴۵ |
| گام یازدهم: بازیابی راه حل           | ۱۴۶ |
| راهنمایی مدل سازی: ANSYS Workbench   | ۱۴۸ |
| ۴-۶ خلاصه                            | ۱۴۸ |
| ۴-۷ بررسی اهداف آموزشی               | ۱۴۸ |
| فصل پنجم: مدل سازی و تکنیک های حل    | ۱۵۳ |
| ۵-۱ مقدمه                            | ۱۵۴ |
| ۵-۲ تقارن                            | ۱۵۴ |
| ۵-۲-۱ یک مثال                        | ۱۵۵ |
| ۵-۳ زیر ساخت (سوپر المان ها)         | ۱۵۵ |
| ۵-۴ حل معادلات                       | ۱۵۷ |
| ۵-۴-۱ روش مستقیم (حذفی گاوس)         | ۱۵۷ |
| ۵-۴-۲ روش تکرار                      | ۱۵۷ |
| ۵-۴-۳ یک مثال: حذفی گاوس             | ۱۵۷ |
| ۵-۴-۴ یک مثال: روش تکرار             | ۱۵۸ |
| ۵-۵ ماهیت راه حل های اجزا محدود      | ۱۵۹ |
| ۵-۶ همگرایی حل های اجزا محدود        | ۱۶۰ |
| ۵-۷ انطباق (روش های h- و p- و hp)    | ۱۶۰ |
| ۵-۸ مورد کاوی با ANSYS Workbench     | ۱۶۱ |
| ۵-۹ خلاصه                            | ۱۷۲ |
| ۵-۱۰ مروری بر اهداف یادگیری          | ۱۷۳ |
| فصل ششم: تحلیل پوسته و ورق           | ۱۷۹ |
| ۶-۱ مقدمه                            | ۱۸۰ |
| ۶-۲ مروری بر تئوری ورق               | ۱۸۰ |
| ۶-۲-۱ روابط نیرو و تنش در ورق        | ۱۸۰ |
| ۶-۲-۲ تئوری ورق نازک                 | ۱۸۲ |
| ۶-۲-۳ تئوری ورق ضخیم (mindlin)       | ۱۸۴ |
| ۶-۲-۴ تئوری پوسته                    | ۱۸۵ |
| ۶-۳ مدل سازی صفحات و پوسته ها        | ۱۸۶ |
| ۶-۴ فرمول بندی المان های ورق و پوسته | ۱۸۸ |

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| ۱۸۸ | ۶-۴-۱ المان‌های ورق کیرشلف               |
| ۱۸۸ | ۶-۴-۲ المان‌های ورق Mindlin              |
| ۱۸۹ | ۶-۴-۳ المان‌های کیرشلف گسسته             |
| ۱۸۹ | ۶-۴-۴ المان‌های پوسته مسطح               |
| ۱۹۱ | ۶-۴-۵ المان پوسته منحنی شکل              |
| ۱۹۱ | ۶-۵ موردکاوی با ANSYS Workbench          |
| ۱۹۹ | ۶-۶ خلاصه                                |
| ۱۹۹ | ۶-۷ مروری بر اهداف آموزشی                |
| ۲۰۵ | فصل هفتم: الایستیک سه بعدی               |
| ۲۰۶ | ۷-۱ مقدمه                                |
| ۲۰۶ | ۷-۲ مروری بر تئوری الاستیک               |
| ۲۰۷ | ۷-۲-۱ رابطه تنش- کرنش                    |
| ۲۰۷ | ۷-۲-۲ جابه‌جایی                          |
| ۲۰۷ | ۷-۲-۳ رابطه کرنش-جابه‌جایی               |
| ۲۰۸ | ۷-۲-۴ معادلات تعادل                      |
| ۲۰۸ | ۷-۲-۵ شرایط مرزی                         |
| ۲۰۸ | ۷-۲-۶ تحلیل تنش                          |
| ۲۰۹ | ۷-۳ مدل‌سازی سه بعدی سازه‌های الاستیک    |
| ۲۰۹ | ۷-۳-۱ گسسته سازی مش                      |
| ۲۰۹ | ۷-۳-۲ شرایط مرزی: تکیه گاه‌ها            |
| ۲۱۱ | ۷-۳-۳ شرایط تکیه گاهی: بارها             |
| ۲۱۱ | ۷-۳-۴ تحلیل مونتاژ: تماس‌ها              |
| ۲۱۲ | ۷-۴ فرمول بندی المان‌های جامد            |
| ۲۱۲ | ۷-۴-۱ فرمول بندی کلی                     |
| ۲۱۳ | ۷-۴-۲ انواع المان‌های جامد معمول         |
| ۲۱۴ | ۷-۴-۳ فرمول بندی المان‌های تنش وجهی ساده |
| ۲۱۷ | ۷-۴-۴ رفتار بارهای گسترده                |
| ۲۱۷ | ۷-۵ مورد کاوی با ANSYS Workbench         |
| ۲۳۸ | ۷-۶ خلاصه                                |
| ۲۳۸ | ۷-۷ بررسی اهداف آموزشی                   |

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۲۴۵ | فصل هشتم: دینامیک و ارتعاشات ساختاری              |
| ۲۴۶ | ۸-۱ مقدمه                                         |
| ۲۴۶ | ۸-۲ مروری بر معادلات بنیادی                       |
| ۲۴۷ | ۸-۲-۱ یک سیستم یک درجه آزادی                      |
| ۲۴۹ | ۸-۲-۲ سیستم چند درجه آزادی                        |
| ۲۵۲ | ۸-۳ فرمول بندی برای تحلیل مودال                   |
| ۲۵۴ | ۸-۳-۱ معادلات مودال                               |
| ۲۵۵ | ۸-۴ فرمول بندی برای تحلیل پاسخ فرکانسی            |
| ۲۵۵ | ۸-۴-۱ روش مودال                                   |
| ۲۵۶ | ۸-۴-۲ روش مستقیم                                  |
| ۲۵۶ | ۸-۵ فرمول بندی برای تحلیل پاسخ گذرا               |
| ۲۵۷ | ۸-۵-۱ روش‌های مستقیم، روش‌های انتگرال‌گیری مستقیم |
| ۲۵۸ | ۸-۵-۲ روش مودال                                   |
| ۲۵۹ | ۸-۶ مثال‌های مدل‌سازی                             |
| ۲۵۹ | ۸-۶-۱ روش مودال                                   |
| ۲۶۰ | ۸-۶-۲ تحلیل پاسخ فرکانسی                          |
| ۲۶۰ | ۸-۶-۳ تحلیل پاسخ فرکانسی                          |
| ۲۶۰ | ۸-۶-۴ ملاحظات در تحلیل دینامیکی                   |
| ۲۶۲ | ۸-۷ مورد کاوی با ANSYS Workbench                  |
| ۲۸۱ | ۸-۸ خلاصه                                         |
| ۲۸۱ | ۸-۹ مروری بر اهداف یادگیری                        |
| ۲۸۷ | فصل نهم: تحلیل حرارتی                             |
| ۲۸۸ | ۹-۱ مقدمه                                         |
| ۲۸۸ | ۹-۲ مروری بر معادلات بنیادی                       |
| ۲۸۸ | ۹-۲-۱ تحلیل حرارتی                                |
| ۲۹۰ | ۹-۲-۲ تحلیل تنش حرارتی                            |
| ۲۹۲ | ۹-۳ مدل‌سازی مسائل حرارتی                         |
| ۲۹۳ | ۹-۳-۱ تحلیل حرارتی                                |
| ۲۹۳ | ۹-۳-۲ تحلیل تنش حرارتی                            |
| ۲۹۶ | ۹-۴ مورد کاوی با ANSYS Workbench                  |



|     |                                               |
|-----|-----------------------------------------------|
| ۳۱۴ | ۹-۵ خلاصه                                     |
| ۳۱۴ | ۹-۶ مروری بر اهداف آموزشی                     |
| ۳۲۳ | فصل دهم: مقدمه‌ای بر تحلیل جریان              |
| ۳۲۴ | ۱۰-۲ بررسی معادلات پایه‌ای                    |
| ۳۲۴ | ۱۰-۲-۱ توصیف حرکت سیال                        |
| ۳۲۴ | ۱۰-۲-۲ انواع جریان سیال                       |
| ۳۲۵ | ۱۰-۲-۳ معادلات ناویر-استوکس                   |
| ۳۲۵ | ۱۰-۳ مدل‌سازی جریان سیال                      |
| ۳۲۵ | ۱۰-۳-۱ گستره سیال                             |
| ۳۲۶ | ۱۰-۳-۲ مش‌ریزی                                |
| ۳۲۶ | ۱۰-۳-۳ شرایط مرزی                             |
| ۳۲۹ | ۱۰-۴ موردکاوی با ANSYS Workbench              |
| ۳۵۲ | ۱۰-۵ خلاصه                                    |
| ۳۵۲ | ۱۰-۶ بررسی اهداف آموزشی                       |
| ۳۵۹ | فصل یازدهم: طراحی بهینه                       |
| ۳۶۰ | ۱۱-۱ مقدمه                                    |
| ۳۶۰ | ۱۱-۲ توپولوژی بهینه‌سازی                      |
| ۳۶۱ | ۱۱-۳ بهینه‌سازی پارامتری                      |
| ۳۶۱ | ۱۱-۴ کشف فضای طراحی برای بهینه‌سازی پارامتری  |
| ۳۶۳ | ۱۱-۴-۱ آزمایشات طراحی                         |
| ۳۶۵ | ۱۱-۴-۲ بهینه‌سازی سطح پاسخ                    |
| ۳۶۵ | ۱۱-۵ مورد کاوی با ANSYS Workbench             |
| ۳۸۵ | ۱۱-۶ خلاصه                                    |
| ۳۸۵ | ۱۱-۷ مروری بر اهداف یادگیری                   |
| ۳۹۱ | فصل دوازدهم: تحلیل شکست                       |
| ۳۹۲ | ۱۲-۱ مقدمه                                    |
| ۳۹۲ | ۱۲-۲ شکست استاتیک                             |
| ۳۹۲ | ۱۲-۲-۱ شکست داکتیل                            |
| ۳۹۲ | ۱۲-۲-۱-۱ تئوری تنش برشی ماکزیمم (معیار ترسکا) |

|     |                                  |
|-----|----------------------------------|
| ۳۹۳ | ۱۲-۲-۲ شکست ترد                  |
| ۳۹۴ | ۱۲-۳ شکست خستگی                  |
| ۳۹۵ | ۱۲-۳-۱ معیار شکست سودربرگ        |
| ۳۹۵ | ۱۲-۳-۲ معیار شکست گودمن          |
| ۳۹۶ | ۱۲-۳-۳ معیار شکست گریر           |
| ۳۹۷ | ۱۲-۴ تخریب بر اثر کماتش          |
| ۳۹۸ | ۱۲-۵ موردکاوی با ANSYS Workbench |
| ۴۰۶ | ۱۲-۶ خلاصه                       |
| ۴۰۶ | ۱۲-۷ مروری بر اهداف آموزشی       |
| ۴۱۱ | فصل سیرمه تحلیل کامپوزیت         |
| ۴۳۶ | مراجع                            |