

به نام خدا



تحلیل اجزاء محدود با

SolidWORKS

مؤلفان:

صبا سمنکان

نوا زرخواه



هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی
ناشر ممنوع است. متخالفان به موجب قانون حمایت حقوق
مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

عنوان کتاب: **تحلیل اجزاء محدود با SolidWORKS**

سرشناسه: سمنکان، صبا، ۱۳۶۶-

عنوان و نام پدیدآور: تحلیل اجزاء محدود با
SolidWorks / مؤلفان: صبا سمنکان، نوار زرخواه.

مشخصات نشر: تهران: دیباگران تهران: ۱۳۹۹
مشخصات ظاهری: ۲۳۶ ص: مصور، جدول.

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۲۷۹-۳

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

موضوع: نرم افزار سالیدور کس

SolidWorks موضوع:

موضوع: روش المان های محدود - نرم افزار
Finite Elements Method-Sofware

شناخته افزوده: زرخواه، نوار، ۱۳۷۱-

ردی بندی کنگره: T ۳۸۵

ردی بندی دیوبی: ۶۲۰/۰۰۴۲۰۲۸۵۵۴۶

شماره کتابشناسی ملی: ۶۱۲۵۹۲۸

مؤلفان: صبا سمنکان - نوار زرخواه

ناشر: موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

صفحه آرایی: نازنین نصیری

طراح جلد: داریوش فرسایی

نوبت چاپ: اول

تاریخ نشر: ۱۳۹۹

چاپ و صحافی: درج عقیق

تیراز: ۱۰۰ جلد

قیمت: ۶۵۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۲۷۹-۳

نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساز مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۲۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران:

WWW.MFTBOOK.IR

www.dibbook.ir

www.dibagarantehran.com

نشانی تلگرام: [@mftbook](https://t.me/mftbook)

هر کتاب دیباگران، یک فرصت جدید شغلی.

هرگونه همراه، یک فروشگاه کتاب دیباگران تهران.

از طریق سایتها و اپ دیباگران، در هر جای ایران به کتابهای ما دسترسی دارید.

فهرست مطالب

۹	مقدمه ناشر
۱۰	پیش‌گفتار

فصل اول

۱۳	روش‌های تحلیل اجزاء محدود
۱۴	۱. روش‌های تحلیل اجزاء محدود
۱۴	۱-۱ مقدمه
۱۴	۱-۲ روابط انگرالی پایه
۱۷	۱-۳ عملگرهای جمع‌آوری و توزیع
۱۹	۱-۴ خطاهای مرزی هندسی
۲۰	۱-۵ مراحل تحلیل و عدم قطعیت آنها
۲۸	۱-۶ تحلیل هندسی قطعه و ناموفق بودن در مشزنی

فصل دوم

۳۳	بررسی کلی شبیه‌سازی در سالیدورکز
۳۴	۲. بررسی کلی شبیه‌سازی در سالیدورکز
۳۴	۱-۲ قابلیت‌های شبیه‌سازی
۳۶	۲-۲ انواع و شکل‌های المان‌ها
۳۹	۳-۲ درون‌یابی المان
۴۱	۴-۲ خطاهای معمول در مدل‌سازی
۴۲	۵-۲ گرادیان‌های بینهایت در گوشه‌ها

فصل سوم

۴۴	مفاهیم تحلیل تنش
۴۵	۳. مفاهیم تحلیل تنش
۴۵	۱-۳ مقدمه
۴۷	۲-۳ مثال بار محوری
۴۸	۳-۳ مکانیک سازه
۵۰	۴-۳ تعادل یک تکالمان مقید شده
۵۲	۵-۳ افزارهای ماتریس تعادل عمومی
۵۳	۶-۳ مونتائز اتصالات چندتایی بین المان‌ها
۵۴	۷-۳ مراحل حل میله‌های کشسان مرکب
۵۸	۸-۳ شکست اجزای سازه
۵۸	۹-۳ ضریب اطمینان کل
۵۹	۱۰-۳ انتخاب نوع المان
۶۱	۱۱-۳ نمادهای بار و قید در شبیه‌سازی
۶۲	۱۲-۳ گرینه‌های قیود سازه در سالیدوورکز
۶۳	۱۳-۳ اتصالات سازه
۶۵	۱۴-۳ گرینه‌های موجود برای بارگذاری سازه
۶۵	۱۵-۳ ورودی‌های موجود ماده در نرم‌افزار برای تحلیل‌های تنش
۶۶	۱۶-۳ خروجی‌های تحلیل تنش
۶۹	۱۷-۳ تمرکز تنش و حذف ویژگی‌های قطعه
۷۰	۱۸-۳ حل‌های تحلیلی کلاسیک تنش یکبعدی

فصل چهارم

۷۵	کنترل مش در شبیه‌سازی SW
۷۶	۴. کنترل مش در شبیه‌سازی SW
۷۶	۱-۴ مقدمه
۷۶	۲-۴ نمونه‌ی تحلیل اولیه
۷۹	۳-۴ تقسیم سطح یا منحنی
۸۲	۴-۴ شروع تحلیل در شبیه‌سازی SW
۸۲	۵-۴ کنترل مش
۸۴	۶-۴ پیش‌نمایش مش
۸۴	۷-۴ قیدها (شرایط مرزی اساسی)
۸۶	۸-۴ بارگذاری فشار
۸۷	۹-۴ اجرای تحلیل
۹۲	۱۰-۴ اعتبارسنجی بازنگری در قطعه
۹۳	۱۱-۴ جنبه‌های دیگر تولید مش

فصل پنجم

۹۵	تحلیل عمومی تنش سه‌بعدی
۹۶	۵. تحلیل عمومی تنش سه‌بعدی
۹۶	۱-۵ مقدمه
۹۶	۲-۵ تحلیل خمی یک تیر با مقطع Z-شکل
۱۰۲	۳-۵ تحلیل تنش بلوك پیستون

فصل ششم

۱۱۴.....	تحلیل تنش صفحه‌ای
۱۱۵.....	۶ تحلیل تنش صفحه‌ای
۱۱۵.....	۱-۶ مقدمه
۱۱۶.....	۲-۶ تیر مستطیلی
۱۲۷.....	۳-۶ ترکیب حالت بارگذاری‌ها

فصل هفتم

۱۳۱.....	بارها و شتاب‌های دورانی
۱۳۲.....	۷. بارها و شتاب‌های دورانی
۱۳۲.....	۱-۷ مقدمه
۱۳۳.....	۲-۷ ساخت هندسه‌ی یک قسمت از قطعه
۱۳۵.....	۳-۷ قطعه با بار ناشی از سرعت زاویه‌ای
۱۴۱.....	۴-۷ مدل تحت شتاب زاویه‌ای
۱۴۲.....	۵-۷ مدل صحیح تقارن چرخه‌ای
۱۴۶.....	۶-۷ مؤلفه‌های جابجایی در مختصات استوانه‌ای

فصل هشتم

۱۴۹.....	تحلیل ورق تخت
۱۵۰.....	۸. تحلیل ورق تخت
۱۵۰.....	۱-۸ مقدمه
۱۵۰.....	۲-۸ ورق مستطیلی
۱۵۳.....	۳-۸ واکنش‌های عجیب در گوشه

فصل نهم

۱۵۵.....	تحلیل پوسته
۱۵۶.....	۹. تحلیل پوسته
۱۵۶.....	۱-۹ قابلیت‌های پوسته در سالیدوورکر
۱۵۸.....	۲-۹ تنش ربع متقاضان در مخازن
۱۶۴.....	۳-۹ تقریب 2.5D تحلیل تنش جسم سه‌بعدی

فصل دهم

۱۷۱.....	تحلیل خرپای فضایی و قاب فضایی
۱۷۲.....	۱۰. تحلیل خرپای فضایی و قاب فضایی
۱۷۲.....	۱۰-۱ مقدمه
۱۷۴.....	۱۰-۲ خرپای فضایی معین استاتیکی
۱۸۰.....	۱۰-۳ ماتریس‌های تحلیلی المان تیر
۱۸۳.....	۱۰-۴ المان قاب
۱۸۵.....	۱۰-۵ قاب فضایی نامعین استاتیکی

فصل یازدهم

۱۹۵.....	تحلیل ارتعاشات
۱۹۶.....	۱۱. تحلیل ارتعاشات
۱۹۶.....	۱۱-۱ مقدمه
۱۹۷.....	۱۱-۲ تحلیل‌های ارتعاشاتی اجزا محدود
۱۹۹.....	۱۱-۳ حل تحلیلی برای فرکانس‌ها
۲۰۰.....	۱۱-۴ فرکانس‌های یک جسم منحنی شکل

فصل دوازدهم

۲۰۵.....	تحلیل کمانش
۲۰۶.....	۱۲. تحلیل کمانش
۲۰۶.....	۱-۱۲ مقدمه
۲۰۸.....	۲-۱۲ واژگان مبحث کمانش
۲۰۹.....	۳-۱۲ ضریب بار کمانش
۲۱۰.....	۴-۱۲ مفاهیم کلی کمانش
۲۱۰.....	۵-۱۲ کمانش جانبی موضعی یک تیر یکسردرگیر

فصل سیزدهم

۲۱۵.....	تحلیل تنش حرارتی
۲۱۶.....	۱۳. تحلیل تنش حرارتی
۲۱۶.....	۱-۱۳ مقدمه
۲۱۶.....	۲-۱۳ مدل تنش حرارتی تیر لایه‌ای

فصل چهاردهم

۲۲۶.....	همانندسازی تحلیل‌های مرتبط
۲۲۷.....	۱۴. همانندسازی تحلیل‌های مرتبط
۲۲۷.....	۱-۱۴ مفاهیم پایه
۲۲۸.....	۲-۱۴ نشت زیر یک سد
۲۳۳.....	۳-۱۴ جریان پتانسیل پیرامون یک استوانه

مقدمه ناشر

خط میشی کیفیت انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرصه کتاب های است که بتواند خواسته های بر روز جامعه فرهنگی و علمی کشور را تا حد امکان پوشش دهد. هر کتاب دیباگران تهران، یک فرصت جدید شغلی و علمی

حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بیکران خود این توفیق را به ما ارزانی داشت تا بتوانیم در راه ارتقای دانش عمومی و فرهنگی این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی دانشگاهی، علوم پایه و به ویژه علوم کامپیوتر و انفورماتیک گامهایی هرچند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم.

گسترده‌گی علوم و توسعه روزافزون آن، شرایطی را به وجود آورده که هر روز شاهد تحولات اساسی چشمگیری در سطح جهان هستیم. این گسترش و توسعه نیاز به منابع مختلف از جمله کتاب را به عنوان قدیمی‌ترین و راحت‌ترین راه دستیابی به اطلاعات و اطلاع‌رسانی، بیش از پیش روشن می‌نماید. در این راستا، واحد انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران با همکاری جمعی از اساتید، مؤلفان، مترجمان، متخصصان، پژوهشگران، محققان و نیز پرستل ورزیده و ماهر در زمینه امور نشر در صدد هستند تا با تلاش‌های مستمر خود برای رفع کمبودها و نیازهای موجود، منابعی پُربار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقمندان قرار دهند.

کتابی که در دست دارید با همت "مهندسان: صبا سمن坎ان-نوا زرخواه" و تلاش جمعی از همکاران انتشارات میسر گشته که شایسته است از یکایک این گرامیان تشکر و قدردانی کنیم.

کارشناسی و نظارت بر محتوا: زهره قزلباش

در خاتمه ضمن سپاسگزاری از شما دانشپژوه گرامی درخواست می‌نماید با مراجعه به آدرس dibagaran.mft.info (ارتباط با مشتری) فرم نظرسنجی را برای کتابی که در دست دارید تکمیل و ارسال نموده، انتشارات دیباگران تهران را که جلب رضایت و وفاداری مشتریان را هدف خود می‌داند، یاری فرمایید.

امیدواریم همواره بهتر از گذشته خدمات و محصولات خود را تقدیم حضورتان نماییم.

مدیر انتشارات

مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران
bookmarket@mft.info

پیش‌گفتار

کتابی که در پیش رو دارد، عمدهاً ترجمه‌ایست از کتابی با همین عنوان، نوشته‌ی Ed Akin استاد دانشگاه رایس در امریکا، که تفسیر مطالب، توضیحات و راهنمایی‌های متعددی برای خوانندگان گرامی به آن اضافه شده است. مخاطبان این کتاب، مهندسان طراح، دانشجویان مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا و تمامی کسانی هستند که به یادگیری بیشتر نرم‌افزار SolidWorks یا روش اجزا محدود علاقمندند. این کتاب صرفاً نه یک خودآموز نرم‌افزار، نه کتابی درباره‌ی روش اجزا محدود و نه کتابی برای وسعت بخشیدن به دید و شم مهندسی خواننده، بلکه در واقع مجموعه‌ای از هر سه ویژگی فوق الذکر است که مطالعه‌ی آن به تمامی مهندسان مکانیک و عمران و سایر علاقمندان به این حوزه توصیه می‌شود.

روش اجزا محدود، روشی عددی برای حل مسائل ریاضی و مهندسی است که با تقسیم مدل به اجزاء کوچک، معادلات حاکم را برای هر یک از اجزا یا المان‌ها مستقر کرده و سپس با تجمعی المان‌ها با یکدیگر اقدام به تشکیل یک سیستم ماتریسی می‌نماید که با حل دستگاه مربوطه، مجہولات مسئله بدست می‌آیند. این روش، از چندین دهه‌ی گذشته تا به امروز مورد استفاده قرار گرفته و حالا با در اختیار داشتن رایانه‌های قدرتمند شخصی و توسعه و بهینه‌سازی مستمر کدهای نرم‌افزاری توسط متخصصین این حوزه، استفاده از آن برای همگان آسان‌تر شده است. امکان شبیه‌سازی و حل مسائل پیچیده با این روش، باعث شده تا هزینه‌های ساخت و سعی و خطابه شدت کاهش یابد و سرعت طراحی بهینه‌ترین محصولات و قطعات به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کند. یکی از ضرورت‌های استفاده از این روش حل در نرم‌افزارهای مربوطه، مدل‌سازی صحیح است، به طوری که در برخی از نرم‌افزارها که قدرت مدل‌سازی در آن‌ها کم است، ابتدا مدل مورد نظر در نرم‌افزار دیگری ساخته شده و سپس به داخل نرم‌افزار اجزا محدود وارد می‌شود. نرم‌افزار SolidWorks یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارها در حوزه‌ی مدل‌سازی است که هم‌اکنون در کشور ما نیز به طور گسترده در صنعت، مراکز دانشگاهی و شرکت‌های دانش‌بنیان مورد استفاده قرار می‌گیرد و استفاده از آن به دلیل قابلیت‌های روبرو شده شبیه‌سازی و گرافیکی و کاربرپسند بودن، به سرعت رو به افزایش است.

آموزش شبیه‌سازی اجزا محدود در هر نرم‌افزاری، صرفاً با دانستن عملکرد دستورات، روند کار و گرفتن خروجی‌ها و نمودارهای رنگی ممکن نیست و به احتمال زیاد منجر به نتایج اشتباه می‌گردد. برای درک این منظور، فرایند شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار اجزا محدود را می‌توان طی چند مرحله تشریح کرد. نخست قطعه‌ی مربوطه در نرم‌افزار مدل می‌شود. طی این مرحله همه ملزمات هندسی، مش‌بندی، بارگذاری و غیره از پیش باید رعایت شوند. همچنین باید تلاش کرد تا حد ممکن مدل مربوطه ساده شود تا حجم محاسبات و هزینه‌ی محاسباتی کاهش پیدا کند، البته این سادگی نباید نتایج را دستخوش تغییرات قابل توجه سازد و قضایت درباره‌ی نحوه ساده‌سازی مدل، به شم مهندسی و مفاهیم پایه‌ی مکانیک برمی‌گردد. نکته‌ی فوق، مطلبی بسیار حائز اهمیت است، چرا که از یک سو، هم در میزان هزینه‌ی محاسباتی و هم در دقت پاسخ‌ها تأثیرگذار است و از سوی دیگر چه در دانشگاه و چه در دوره‌های آموزشی به صورت رسمی و طبقه‌بندی شده آموزش داده نمی‌شود. در این کتاب، در تمامی مثال‌ها تلاش شده تا ضمن آموزش بخش شبیه‌سازی نرم‌افزار، توانایی قضایت مهندسی خواننده

نیز در فرایند مدل‌سازی و فهم قیدها و نیروی واردہ بر قطعه در عالم واقع، برای پیاده‌سازی صحیح مدل در نرم‌افزار، تقویت گردد.

در مرحله‌ی بعد همان‌طور که اشاره شد، باید ماهیت و مقدار بارهای واردہ و همچنین ماهیت قیدها به درستی شناسایی شده و به صورت صحیح نیز مدل شود. در فصل اول خواننده با سیاری از خطاهای مرسوم و اشتباهات رایج فرایند شبیه‌سازی آشنا می‌گردد. مرحله‌ی مهم دیگر مشبندی است. اگرچه نرم‌افزار توانایی مشزنی به صورت خودکار را دارد اما نتایج حاصل از این روش مشزنی باید با دقت مورد بررسی قرار گیرند، چرا که در سیاری مسائل، لازم است برای رسیدن به نتیجه‌ی صحیح، کنترل مش انجام شود. نواحی نیازمند کنترل مش و چگونگی اعمال آن نیز بخشی از بینش مهندسی است که در قالب مثال‌های متعدد در طول کتاب توضیح داده شده است. در انتهای نیز باید پس از حل مسئله، خروجی مورد نیاز، از بین ده‌ها متغیر و نمودار استخراج شود که خود، همانند مراحل پیشین، نیازمند تسلط کافی و دید مهندسی است که در تمرین‌های کتاب به صورت کامل به آن پرداخته شده است.

اما شاید بتوان با اطمینان گفت که مهم‌ترین مرحله در فرایند شبیه‌سازی و حل هر مسئله با روش اجزا محدود یا هر روش عددی دیگر، اعتبارسنجی نتایج است. یک مهندس باید بتواند با یک یا چند روش، اعتبار نتایج شبیه‌سازی را احراز کند و صرف مواجه نشدن با خطا در فرایند حل، به هیچ عنوان تأیید‌کننده‌ی اعتبار نتایج نیست. خطاهای متتنوعی در طول فرایند شبیه‌سازی ممکن است رخدده که مسئولیت تشخیص آن‌ها فقط بر عهده‌ی کاربر است، چون هیچ نرم‌افزاری نمی‌تواند به جای انسان فکر کند. این خطاهای حتی ممکن است اثر یکدیگر را نیز تشدید کرده و پاسخ‌هایی بسیار دور از واقعیت بdest دهنند. اعتبار نتایج را از چندین روش می‌توان مورد سنجش قرار داد. ممکن است برای مسئله‌ی مورد نظر، نتایج آزمایش‌های تجربی در مراجع و مقالات وجود داشته باشد که بتوان به آن‌ها استناد نمود. همچنین برای برخی مسائل پاسخ‌های تحلیلی دقیق که از روابط ریاضی حاکم بر مسئله بdest آمداند، وجود دارد و می‌توان پاسخ عددی را با این پاسخ‌های تحلیلی مقایسه کرد. حتی همان‌طور که در این کتاب خواهیم دید، پاسخ‌های تحلیلی حتی اگر برای مسائلی بdest آمده باشند، که هندسه‌ی آن‌ها در مقایسه با هندسه‌ی مسئله بسیار ساده است، در این صورت هم می‌توان به نتایج تحلیلی برای داشتن تخمینی از پاسخ استناد کرده و چنانچه پاسخ روش عددی با آن اختلاف فاحشی داشته باشد، فرایند حل عددی را مردود اعلام نمود.

با توجه مطالب گفته شده، برای استفاده از این کتاب، دانش اولیه (نه لزوماً حرفه‌ای) از نحوه‌ی مدل‌سازی در نرم‌افزار SolidWorks و نیز مفاهیم علمی مربوط به دروس استاتیک و مقاومت مصالح مقطع کارشناسی ضروری است. در این کتاب سعی شده تا از شروع فرایند مدل‌سازی تا بررسی نتایج، نحوه‌ی کار با قسمت شبیه‌سازی SW گام‌به‌گام توضیح داده شود. همچنین جهت آشنایی خوانندگان با تئوری روش اجزا محدود، در جای جای کتاب سعی شده تا نحوه‌ی حل و روابط ماتریسی حاکم تشریح گردد تا خوانندگان علاقمند به تئوری این روش نیز بتوانند درک بهتری از آنچه در فرایند حل نرم‌افزار اتفاق می‌افتد، داشته باشند. علاوه بر این، روابط تحلیلی حاکم بر مسائل مختلف نیز به منظور اعتبارسنجی نتایج عددی، در هر فصل تشریح شده که برای یادآوری و هدف اعتبارسنجی کافی است. اما چنانچه خواننده‌ی محترم علاقمند به مطالعه‌ی بیشتر داشته باشد می‌تواند به کتاب‌های مکانیک مواد، مقاومت مصالح و استاتیک مراجعه نماید.

اگر کتاب حاضر از نگاه یک خودآموز برای قسمت Simulation نرمافزار SolidWorks مورد بررسی قرار گیرد، اولین ویژگی مشیت آن عدم نیاز به فایل‌های جانبی است که معمولاً در اختیار خواننده قرار می‌گیرد. نحوه ساخت مدل تمامی تمرین‌های این کتاب، در همان تمرین گنجانده شده که خواننده را از در اختیار داشتن فایل‌های جانبی که معمولاً مفقود و بلااستفاده می‌شوند، بی‌نیاز می‌گرداند. از این دیدگاه نیز، کتاب حاضر بر بسیاری از منابع موجود برتری دارد. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که گرچه این کتاب بر مبنای نسخه ۲۰۱۰ نرمافزار نوشته شده و تصاویر آن نیز مربوط به همین نسخه است، اما تفاوت محتوایی چندانی در نسخه‌های بعدی نرمافزار اعمال نشده و کاربری که آشنایی ابتدایی با نرمافزار داشته باشد، از لحاظ ظاهر دستورات مشکلی نخواهد داشت. ضمن اینکه کاربران ممکن است هر یک از نسخه‌ی خاصی استفاده نمایند که ظاهر آن با نسخه‌ی کتاب مشابه یا متفاوت باشد. با این وجود، سعی شده ضمن مقایسه با نسخه‌های جدید، محدود تفاوت‌های اساسی ایجاد شده در این نسخه‌ها، در محتوای کتاب تصحیح یا گوشزد گردد.

اما سخن آخر اینکه این کتاب را می‌توان بسیار متفاوت از سایر کتاب‌های آموزش نرمافزارهای اجزا محدود دانست، پرداختن به تئوری روش و یادآوری مفاهیم و روابط پایه‌ی تحلیلی برای اعتبارسنجی مسائل، از نکاتی است که آن را از سایر منابع موجود متمایز می‌سازد و از این حیث می‌تواند حتی برای کاربران سایر نرمافزارهای اجزا محدود نیز مفید باشد. با این وجود، به طور قطع این کتاب عاری از خطأ و اشکال نیست و از خوانندگان و متخصصین گرامی درخواست می‌شود تا با انتقادات و پیشنهادهای سازنده‌ی خود ما را در ارتقاء سطح این اثر یاری رسانند.

صبا سمنکان

بهمن ماه
۱۳۹۸