

به نام خدا

تحليل اجزاء محدود؛ تنوری و کاربرد در

ABAQUS

کارو صدیقیانی

مجیدرضا آیت‌اللهی



۱۳۹۱

سرشناسه: صدیقیانی، کارو، ۱۳۶۲ -

عنوان و نام پدیدآور: تحلیل اجزاء محدود: تئوری و کاربرد در ABAQUS

نویسندگان کارو صدیقیانی، مجیدرضا آیت‌اللهی.

مشخصات نشر: تهران: اندیشه‌سرا، ۱۳۹۱.

مشخصات ظاهری: ۶۸۸ ص:، مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۶-۸۲-۵

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: نمایه.

موضوع: آباکوس

موضوع: روش المان‌های محدود - داده‌پردازی

موضوع: سازه، تجزید و تحلیل - داده‌پردازی

شناسه افزوده: آیت‌اللهی، مجیدرضا، ۱۳۴۲ -

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۱ ۴۵ ص ۹/۲۸۲۴۷

رده‌بندی دی‌بی: ۱۵۱۸۲۵ ۶۲۰/۰۰

شماره کتابشناسی ملی: ۲۷۷۴۲۲۶

خریدار محترم

آن‌چه خریداری می‌نمایید، یک "کتاب" است. در صورتی که "لوح فشرده‌ای" به همراه کتاب باشد، مؤلف یا یک شرکت مرتبط آن را به عنوان "هدیه" در اختیار خریداران گذاشته است. انتشارات اندیشه‌سرا، مؤلف و هیچ شخص حقیقی یا حقوقی دیگر، مسئولیتی در ارتباط با قابل استفاده بودن لوح‌های فشرده ندارد. کتابی را به خاطر لوح فشرده‌ی همراه آن خریداری نفرمایید.



انتشارات اندیشه‌سرا

تحلیل اجزاء محدود؛ تئوری و کاربرد در

ABAQUS

نوشته‌ی: کارو صدیقیانی - مجیدرضا آیت‌اللهی

ویراسته‌ی: سید جعفر حسینی علিশاه، محسن عرفانی، لیلا نوری و شیوا احمدی

چاپ اول، ۱۳۹۱، شمارگان ۱۵۰، ۲۸۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۶-۸۲-۵ ISBN: 978-600-5716-82-5

حق چاپ و نشر محفوظ و هرگونه استفاده از محتوای کتاب به هر شکل و نحو به اجازه‌ی کتبی نیازمند است.

اندیشه‌سرا از انتشار کتاب‌های ارزشمند حمایت می‌کند. ۹۱۲۳۱۶۱۶۸۷

مسئولیت نوشته‌های کتاب با نویسنده است.

www.andishehsara.org

فهرست مطالب

فهرست مطالب	۳
پیش‌گفتار	۷
۱ - فصل اول: مقدمه	۱۱
۱-۱- آشنایی کلی با Abaqus	۱۲
۱-۱-۱- قابلیت‌های Abaqus در حل مسائل مهندسی	۱۲
۱-۱-۲- پروداکتهای Abaqus	۱۳
۲-۱- نحوه استفاده از کتاب و قراردادهای	۱۷
۱-۲-۱- کلیاتی در مورد کتاب	۱۷
۲-۲-۱- چگونه از این کتاب استفاده نمایید	۱۹
۳-۲-۱- نحوه استفاده از CD همراه کتاب	۲۱
۴-۲-۱- نحوه استفاده از فهرست موضوعی	۲۲
۵-۲-۱- قراردادهای استفاده شده در این کتاب	۲۲
۲ - فصل دوم: مقدمه‌ای بر روش اجزای محدود و نرم‌افزار Abaqus	۲۵
۱-۲- مقدمه‌ای بر روش اجزای محدود	۲۶
۱-۱-۲- مروری بر روش implicit در محاسبه جابه‌جایی‌ها	۲۷
۲-۱-۲- مروری بر روش explicit در محاسبه جابه‌جایی‌ها	۲۹
۳-۱-۲- انواع المان‌ها	۳۱
۲-۲- مقدمه‌ای بر Abaqus	۳۶
۱-۲-۲- Abaqus/CAE	۳۶
۲-۲-۲- مثال: حل یک مثال ساده و خواندن نتایج	۴۷
۳ - فصل سوم: المان‌ها، مدل‌سازی و خواندن نتایج، آنالیز استاتیکی	۷۷
۱-۳- المان‌های Continuum	۷۸
۱-۱-۳- مروری کاربردی بر المان‌های Continuum	۷۸
۲-۱-۳- مثال: حل یک مثال سه‌بعدی و بررسی نتایج	۸۷
۳-۱-۳- بررسی هم‌گرایی و صحت نتایج حاصل از یک آنالیز	۱۲۱

۱۲۶	۲-۳-المان‌های shell.....
۱۲۶	۱-۲-۳-مروری کاربردی بر المان‌های Shell.....
۱۳۶	۲-۲-۳-مثال: آنالیز یک لوله برش خورده تحت فشار داخلی.....
۱۵۰	۳-۳-المان‌های Beam.....
۱۵۰	۱-۳-۳-مروری کاربردی بر المان‌های Beam.....
۱۵۹	۲-۳-۳-مثال: آنالیز یک جرثقیل سنگین فراساحلی.....
۱۸۵	۴- فصل چهارم: آنالیز دینامیکی خطی.....
۱۸۶	۱-۴- آنالیز دینامیکی خطی.....
۱۸۶	۱-۱-۴-مقدمه‌ای بر آنالیز دینامیکی خطی.....
۱۹۱	۲-۴-روش جمع آثار مودال (Modal superposition).....
۱۹۱	۱-۲-۴-مقدمه‌ای بر روش جمع آثار مودال.....
۱۹۳	۲-۲-۴-مثال: آنالیز دینامیکی یک قاب تحت بار ناگهانی.....
۲۱۵	۳-۲-۴-اثرات تعداد مودهای انتخابی و دمپینگ روی نتایج.....
۲۱۷	۳-۴-روش Steady-state.....
۲۱۷	۱-۳-۴-مقدمه‌ای بر روش دینامیکی Steady-state.....
۲۱۸	۲-۳-۴-مثال: آنالیز دینامیکی یک قاب تحت بار هارمونیک به روش Steady-state.....
۲۲۵	۵- فصل پنجم: آنالیز غیر خطی.....
۲۲۶	۱-۵- آنالیزهای غیر خطی در Abaqus/Standard.....
۲۲۶	۱-۱-۵-مقدمه‌ای بر انواع آنالیزهای غیر خطی.....
۲۳۸	۲-۱-۵-مثال: آنالیز یک کانال تهویه تحت فشار داخلی.....
۲۴۴	۳-۱-۵-مثال: آنالیز مجدد کانال تهویه با فرض غیر خطی بودن هندسی.....
۲۵۷	۶- فصل ششم: آنالیز دینامیکی غیر خطی، Explicit.....
۲۵۸	۱-۶-روش دینامیکی Explicit.....
۲۵۸	۱-۱-۶-مقدمه‌ای بر روش دینامیکی Explicit.....
۲۶۷	۲-۱-۶-مثال: انتشار موج ناشی از انفجار در یک ورق.....
۲۸۰	۳-۱-۶-بررسی اثرات مش‌بندی و ماده روی حد پایداری.....
۲۸۲	۴-۱-۶-دمپینگ در نوسان‌های دینامیکی.....
۲۸۵	۵-۱-۶-موازنه انرژی.....

- ۷ - فصل هفتم: رفتار غیر خطی مواد ۲۸۹
- ۷-۱-۱- پلاستیسیته ۲۹۰
- ۷-۱-۱-۱- مقدمه‌ای بر پلاستیسیته در فلزات نرم ۲۹۰
- ۷-۱-۱-۲- مثال: فرآیند اتوفرتاژ یک مخزن تحت فشار در یک ماده الاستیک-کاملاً پلاستیک ۲۹۹
- ۷-۱-۱-۳- مثال: شبیه‌سازی فرآیند اتوفرتاژ و تنش پسماند در ماده سخت‌شونده ۳۰۸
- ۷-۲- هایپر الاستیسیته (Hyperelasticity) ۳۱۸
- ۷-۲-۱- مقدمه‌ای بر مواد هایپر الاستیک ۳۱۸
- ۷-۲-۲- مثال: آنالیز یک قطعه هایپر الاستیک تحت کشش ۳۲۵
- ۷-۲-۳- مثال: طراحی مش‌بندی مناسب جهت تغییر شکل‌های بزرگ ۳۴۲
- ۸ - فصل هشتم: Step و شروع مجدد یک آنالیز ۳۵۱
- ۸-۱- آنالیزهای چند مرحله‌ای ۳۵۲
- ۸-۱-۱- مروری بر رویه‌های مختلف آنالیز در Abaqus ۳۵۲
- ۸-۱-۲- مثال: بررسی ارتعاش سیم ویلون تحت کوک‌های مختلف ۳۶۰
- ۸-۲- شروع مجدد یک آنالیز ۳۶۷
- ۸-۲-۱- مروری بر چگونگی شروع مجدد یک آنالیز ۳۶۷
- ۸-۲-۲- مثال: شروع مجدد آنالیز ارتعاش سیم ویلون ۳۷۱
- ۹ - فصل نهم: آنالیز تماس ۳۷۹
- ۹-۱- آنالیز تماس در Abaqus/Standard ۳۸۰
- ۹-۱-۱- مروری بر آنالیز تماس در Abaqus/Standard ۳۸۰
- ۹-۱-۲- مثال: مدلسازی جازنی یک گیره در یک پین (تماس سطح به سطح) ۳۹۲
- ۹-۱-۳- مثال: آنالیز یک اتصال سه‌بعدی با استفاده از General contact ۴۲۰
- ۹-۱-۴- مثال: آنالیز یک گسکت (gasket) لاستیکی با استفاده از self-contact ۴۳۵
- ۹-۲- آنالیز تماس در Abaqus/Explicit ۴۴۷
- ۹-۲-۱- مروری بر آنالیز تماس در Abaqus/Explicit ۴۴۷
- ۹-۲-۲- مثال: آنالیز دومینو ۴۵۶
- ۹-۲-۳- مثال: آنالیز ضربه ناشی از گسیختگی یک لوله ۴۶۴
- ۱۰ - فصل دهم: آنالیزهای حرارتی کوپله و غیر کوپله ۴۹۱
- ۱۰-۱- انتقال حرارت ۴۹۲
- ۱۰-۱-۱- مروری بر رویه‌های آنالیز انتقال حرارت ۴۹۲

- ۱۰-۱-۲- مثال: آنالیز حالت پایدار توزیع دما در یک لوله و عایق ۴۹۵
- ۱۰-۱-۳- مثال: آنالیز حرارتی گذرا در یک قطعه خنک‌کننده تحت شار حرارتی ۵۰۳
- ۱۰-۱-۴- مثال: شبیه‌سازی اکستروژن یک میله فلزی (تحلیل حرارتی-تنش کوپله کامل) ۵۱۱

۱۱ - فصل یازدهم: تکنیک‌های مش‌بندی تطبیقی (adaptivity) ۵۳۱

- ۱۱-۱- مش‌بندی تطبیقی ALE (ALE adaptive meshing) ۵۳۲
- ۱۱-۱-۱- مروری بر مش‌بندی تطبیقی ALE (ALE adaptive meshing) ۵۳۲
- ۱۱-۲- Adaptive remeshing ۵۳۷
- ۱۱-۲-۱- مروری بر Adaptive remeshing ۵۳۷
- ۱۱-۲-۲- مثال: remeshing در یک قطعه ناچ‌دار ۵۴۷

۱۲ - فصل دوازدهم: آنالیزهای کوپله سیال - جامد ۵۵۷

- ۱۲-۱- مدل‌سازی سیال بر مبنای سطح ۵۵۸
- ۱۲-۱-۱- مروری بر آنالیز حفره سیال (Fluid Cavity) بر مبنای سطح ۵۵۸
- ۱۲-۱-۲- مثال: مدل‌سازی برخورد آب و راکت تنیس ۵۶۴
- ۱۲-۲- معادلات حالت (Equation of State) ۵۸۷
- ۱۲-۲-۱- مروری بر تئوری معادلات حالت ۵۸۷
- ۱۲-۲-۲- مثال: آنالیز اسلایینگ در یک مخزن ۵۹۰
- ۱۲-۳- آنالیز Eulerian ۶۰۲
- ۱۲-۳-۱- مروری بر آنالیز Eulerian ۶۰۲
- ۱۲-۳-۲- مثال: انحنای یک سد الاستیک تحت فشار آب ۶۰۹

۱۳ - فصل سیزدهم: آنالیزهای کاربردی ۶۲۵

- ۱۳-۱- زیرمدلسازی (Submodeling) ۶۲۶
- ۱۳-۱-۱- مروری کاربردی بر روش زیرمدلسازی ۶۲۶
- ۱۳-۱-۲- مثال: زیرمدلسازی shell-to-solid در یک نازل ۶۳۱
- ۱۳-۲- آنالیز شبه‌استاتیک (Quasi-static) ۶۴۸
- ۱۳-۲-۱- مروری بر آنالیزهای شبه‌استاتیک در Abaqus-Explicit ۶۴۸
- ۱۳-۲-۲- مثال: بررسی مهالگی یک مخروط آلومینیومی و فشرده شدن فوم در آن ۶۵۷
- ۱۳-۲-۳- مثال: سرعت‌دهی به یک آنالیز شبه‌استاتیک ۶۷۴

چه شما یک کاربر حرفه‌ای نرم‌افزار آباکوس باشید و چه یک کاربر مبتدی؛ این کتاب شما را در درک بهتر مفاهیم روش اجزای محدود و استفاده صحیح از آباکوس کمک خواهد کرد. همچنین این کتاب سرعت شما را در شبیه‌سازی با نرم‌افزار آباکوس بسیار بالا خواهد برد. بعد از خواندن این کتاب، شما به اندازه کافی درباره روش اجزای محدود و آباکوس خواهید دانست و قدرت تحلیل و شبیه‌سازی شما در حد قابل ملاحظه‌ای تقویت خواهد شد، به‌طوری که می‌توانید برای بسیاری از مسائلی که در این کتاب پوشش داده نشده نیز به یادگیری و همکاری برای شبیه‌سازی بیاید.

بیشتر مثال‌های بررسی شده در این کتاب جدید بوده و توسط مؤلفین طراحی گردیده است. سعی شده تا این مثال‌ها بر مبنای موارد کاربردی و مشکلات موجود در دانشگاه‌ها و همچنین صنایع انتخاب شوند. بسیاری از تئوری‌ها و مثال‌های ارائه شده در کتاب حاصل چندین سال تجربه آموزش دوره‌های تخصصی نرم‌افزار Abaqus در آموزشگاه‌های معتبر ایران می‌باشد. ارائه مطالب و مثال‌های این کتاب در ده‌ها دوره آموزشی، به تکامل تدریجی و قوی‌تر شدن مطالب آن کمک شایانی نموده است. همچنین ارائه موفق این مثال‌ها برای صدها دانشجو از رشته‌های مختلف مهندسی نشان داده است که بیشتر آن‌ها توانسته‌اند در طول دوره‌های آموزشی به اهداف خود هم در شبیه‌سازی در نرم‌افزار Abaqus و هم در استفاده مؤثر از مفاهیم روش اجزای محدود دست یابند. با این وجود همواره در طراحی و تدوین مسائل جدید وجود نقایص و اشکالات، محتمل و اجتناب‌ناپذیر است. امیدواریم با بازخوردهای کتاب از سوی خوانندگان گرامی، نقایص احتمالی را در ویرایش‌های بعدی کتاب به حداقل برسانیم.

هدف اصلی از طراحی ساختاری این کتاب، تقویت پایه‌ای مفاهیم اجزای محدود و مهارت‌های استفاده از نرم‌افزار آباکوس به صورت هم‌زمان می‌باشد. از آن‌جا که در این کتاب تمرکز بر تقویت درک بنیادی شما از تحلیل در نرم‌افزار آباکوس بوده است، مفاهیم نیز با عمق بیشتری بررسی گردیده‌اند. از جمله ویژگی‌های دیگر، می‌توان به پیوستگی در ارائه مطالب کتاب اشاره کرد. هدف ما ارائه مفاهیم ضروری به همراه یک یا چند مثال کاربردی بوده است. در چیدمان مفاهیم و مثال‌ها در کتاب دقت خاصی شده و سعی شده از اولین صفحه تا آخرین صفحه پیوستگی مطالب حفظ گردد.

یکی از مشکلات موجود در نوشتن کتاب‌های آموزشی نرم‌افزارهای مهندسی، ترجمه واژه‌های تخصصی می‌باشد. استفاده از معادل فارسی لغات ممکن است سبب سردرگمی کاربر گردد. از آن‌جا که

به باور ما آشنایی با واژه‌های تخصصی لاتین می‌تواند کمک شایانی در انجام و درک بهتر شبیه‌سازی در نرم‌افزار Abaqus کند. از ترجمه واژه‌هایی که کاربر در داخل محیط نرم‌افزار با آن‌ها روبه‌رو می‌شود خودداری شده است. برای این واژه‌ها یا از عبارت لاتین آن یا از تایپ فارسی عبارت لاتین (مانند نرمال برای Normal) استفاده شده است.

Abaqus دارای یک راهنما (Documentation) با هزاران صفحه مطالب مفید است. بخش بزرگی از تئوری‌های استفاده‌شده در این کتاب بر مبنای راهنمای Abaqus اما با چندین تفاوت اصلی می‌باشد:

- هر چند که در راهنمای Abaqus چند مثال ساده مورد بررسی قرار گرفته است، اما برای بسیاری از موارد کاربردی نمی‌توان مثال‌های حل شده پیدا نمود. در حقیقت کاربر با تئوری‌های بسیاری روبه‌رو می‌گردد که بعضاً بسیار پیچیده نیز هستند، اما در عمل راه‌کاری برای درک و عملی کردن آن‌ها در قالب مثال یافت نمی‌نماید. در این کتاب ابتدا موارد پایه‌ای که بیشترین کاربرد را در مهندسی مکانیک، مهندسی عمران و مهندسی مواد دارند به صورت جزئی و کامل توضیح داده شده، سپس تئوری‌های توضیح داده شده در قالب یک یا چند مثال کاربردی و جامع بررسی شده‌اند.
- تئوری‌ها و نکات کاربردی ارائه‌شده در راهنمای Abaqus معمولاً در چند بخش مختلف از راهنما ارائه شده‌اند. پراکندگی این موارد شاید برای کاربران بسیار حرفه‌ای مشکل‌ساز نباشد، اما معمولاً کاربران مبتدی و متوسط در چگونگی پیدا کردن مطالب مطلوب خود دچار سرگردانی می‌شوند. در این کتاب برای تمامی مطالب استفاده شده سعی شده است که موارد ضروری در تمامی بخش‌های مختلف جدا گردیده و به صورتی پیوسته ارائه گردد.
- در راهنمای Abaqus تعدادی مثال در بخش‌های Abaqus Example Problems Manual و Abaqus Benchmarks Manual ارائه گردیده است. اما برای تمامی این مثال‌ها فقط فایل ورودی نهایی مثال موجود بوده و به نحوه شبیه‌سازی آن‌ها اشاره‌ای نشده است. بنابراین شاید این مثال‌ها برای اکثر کاربران Abaqus قابل استفاده و مفید نباشد. همچنین دسته‌بندی این مثال‌ها در راهنمای نرم‌افزار بسیار کلی بوده و برای کاربران پیدا نمودن مثال مطلوب سخت می‌باشد. به علاوه ترتیبی از لحاظ پیچیدگی یا سادگی مثال‌ها در آن رعایت نگردیده است. اما بیشتر مثال‌های استفاده شده در این کتاب جدید بوده و توسط نویسندگان طراحی شده است. سعی گردیده در طراحی مسائل و چیدمان آن پیوستگی کافی حفظ گردیده و مثال‌ها به مرور در طول کتاب پیچیده‌تر گردند.

با ما در تماس باشید

شما به عنوان خوانندگان کتاب، مهم‌ترین منتقدان و مفرین ما می‌باشید. دیدگاه‌ها و نظرات شما برای ما بسیار با ارزش بوده و ما را در تقویت هرچه بیشتر کتاب کمک خواهد کرد. به ما بگویید که چگونه می‌توانیم در ویرایش‌های بعدی، کیفیت کتاب را بهتر کنیم و شما دوست دارید چه موضوعاتی در کتاب پوشش داده شود. همچنین شنیدن هرگونه نظر و پیشنهاد سازنده و هوشمندانه‌ای از طرف شما، ما را خوشحال خواهد کرد.

می‌توانید از طریق پست الکترونیکی با ما در تماس باشید و به ما بگویید که از کدامیک از بخش‌های کتاب راضی بوده و یا کدامیک از بخش‌های کتاب را راضی کننده ندانسته‌اید.

Email: karo.sedigh@gmail.com

در مکاتبه با ما، لطفاً از واژه book در عنوان پست الکترونیکی خود استفاده نموده و همچنین در صورت تمایل شماره تلفن خود را ذکر نمایید. مطمئناً ما نظرات شما را با دقت خواهیم خواند و سعی خواهیم نمود که در کمترین زمان ممکن با شما تماس برقرار نماییم.

کارو صدیقیانی

مجیدرضا آیت‌اللهی

آزمایشگاه تحقیقاتی خستگی و شکست

دانشگاه علم و صنعت ایران