

راهنمای مدل‌سازی با نرم‌افزار

ABAQUS

تالیف:

مسعود ضیائی، الناز پیغاله

انتشارات پندار پارس

سرشناسه	: ضیایی، مسعود، ۱۳۶۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای مدل سازی با نرم افزار ABAQUS/تالیف مسعود ضیایی، الناز بیغاله.
مشخصات نشر	: تهران: پندار پارس، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری	: ۳۳۶ ص:مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۲۹۸۹-۴۱-۶-۸۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: واژه نامه .
موضوع	: آباکوس
موضوع	: روش المان های محدود
موضوع	: سازه، تجزیه و تحلیل -- روش های ماتریسی -- داده پردازی
شناسه افزوده	: بیغاله، الناز، ۱۳۶۱ -
رده بندی کنگره	: ۳۴۷TA / ۹ض۹ / ۱۳۸۸
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۰۰۱۵۱۸۲۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۹۷۱۴۹۱

انتشارات پندار پارس



دفتر فروش: انقلاب، ابتدای کارگر جنوبی، کوی رشتچی، شماره ۱۴، واحد ۱۶ www.pendarepars.com
 تلفن: ۶۶۵۷۲۳۳۵ - تلفکس: ۶۶۹۲۶۵۷۸ همراه: ۰۹۱۲۲۴۵۲۳۴۸ info@pendarepars.com



نام کتاب	: راهنمای مدل سازی با نرم افزار ABAQUS
ناشر	: انتشارات پندار پارس ناشر همکار: انتشارات مانلی
تالیف	: مسعود ضیایی، الناز بیغاله
چاپ اول	: زمستان ۸۸
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
طرح جلد	: رامین شکرالهی
لیتوگرافی، چاپ، صحافی	: ترام سنج، آینده، حمید

قیمت ۸۰۰۰ تومان : شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۲۹۸۹-۴۱-۶-۸۰۰۰۰



هرگونه کپی برداری، تکثیر و چاپ کاغذی یا الکترونیکی از این کتاب بدون اجازه ناشر تخلف بوده و پیگرد قانونی دارد

فهرست مطالب

۱- معرفی قابلیت‌های نرم افزار ABAQUS	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- مبانی برنامه ABAQUS	۲
۲-۲-۱- پیش پردازش (ABAQUS/CAE)	۲
۲-۲-۱- پردازش (استاندارد و یا صریح ABAQUS)	۳
۳-۲-۱- مرحله بعد از پردازش (ABAQUS/CAE)	۳
۴-۲-۱- اجزای یک مدل تحلیلی (ABAQUS/CAE)	۳
۵-۲-۱- اجزای یک مدل تحلیلی (ABAQUS/CAE)	۶
۳-۱- المانهای موجود در نرم افزار ABAQUS	۱۰
۱-۳-۱- اجزای محدود و اجسام صلب	۱۰
۲-۳-۱- المانهای محیط پیوسته	۱۰
۳-۳-۱- المانهای پوسته ای	۱۱
۴-۳-۱- المانهای تیر	۱۲
۴-۱- انواع تحلیل در نرم افزار ABAQUS	۱۳
۱-۴-۱- تحلیل دینامیکی خطی	۱۳
۲-۴-۱- تحلیل غیر خطی	۱۳
۱-۲-۴-۱- تحلیل خطی	۱۳
۲-۲-۴-۱- تحلیل غیر خطی	۱۳

۱-۴-۳- تحلیل دینامیک صریح غیرخطی	۱۴
۱-۵- سایر قابلیت‌های نرم افزار ABAQUS	۱۶
۱-۵-۱- مصالح	۱۶
۱-۵-۲- تحلیل چندمرحله ای	۱۶
۱-۵-۳- تعریف سطوح تماس	۱۷
۱-۵-۴- تحلیل شبه استاتیکی به کمک تحلیل صریح	۱۷
ضمیمه : یکای مشخصات مصالح در برنامه ABAQUS	۱۹
۲- تحلیل تیر طره سه بعدی تحت بار گسترده.....	۲۱
۲-۱- صورت مساله	۲۱
۲-۲- درک ماژول‌های نرم افزار ABAQUS	۲۲
۲-۳- استفاده از راهنمای (Help) نرم افزار	۲۴
۲-۴- مراحل تحلیل	۲۶
۲-۵- بررسی نتایج	۵۳
۳- آنالیز انتقال حرارت در یک صفحه.....	۵۷
۳-۱- صورت مساله	۵۷
۳-۲- مراحل تحلیل	۵۸
۳-۳- بررسی نتایج	۷۳
۴- تحلیل دوبعدی خریا.....	۷۹
۴-۱- صورت مساله	۷۹
۴-۲- مراحل تحلیل	۸۰
۴-۳- بررسی نتایج	۹۳

۱۰۱	۵- تحلیل کمانش ستون.....
۱۰۱	۵-۱- صورت مساله
۱۰۱	۵-۲- حل تئوری.
۱۰۲	۵-۳- مراحل تحلیل.. ..
۱۱۷	۵-۴- بررسی نتایج.....
۱۲۳	۶- تحلیل خمش صفحه.....
۱۲۳	۶-۱- صورت مساله
۱۲۳	۶-۲- حل تئوری.....
۱۲۴	۶-۳- مراحل تحلیل.. ..
۱۳۸	۶-۴- بررسی نتایج.....
۱۴۱	۷- تحلیل تنش صفحه‌ای
۱۴۱	۷-۱- صورت مساله
۱۴۲	۷-۲- حل تئوری.
۱۴۳	۷-۳- مراحل تحلیل
۱۵۸	۷-۴- بررسی نتایج
	۸- مدلسازی و صحت‌سنجی مدل اجزای محدود یک قاب مهارشده و اگر با استفاده از نتایج یک آزمایش عملی.....
۱۶۷	۸-۱- صورت مساله
۱۶۸	۸-۲- مدل آزمایشگاهی.
۱۶۹	۸-۳- مراحل تحلیل.. ..
۲۵۳	۸-۴- بررسی نتایج

۲۵۹.....	۹- مدل‌سازی تیر بتنی مسلح.....
۲۵۹.....	۹-۱- مقدمه
۲۵۹.....	۹-۲- صورت مسئله.....
۲۶۰.....	۹-۳- مراحل تحلیل.....
۲۸۲.....	۹-۴- بررسی نتایج.....
۲۹۳.....	۱۰- تحلیل ارتعاشی پل.....
۲۹۳.....	۱۰-۱- صورت مساله
۲۹۴.....	۱۰-۲- مراحل تحلیل.....
۳۱۳.....	۱۰-۳- بررسی نتایج.....

پیش گفتار

نرم افزار ABAQUS یک نرم افزار اجزاء محدود قدرتمند است که در عین توانایی‌های گسترده، به سادگی قابل یادگیری و استفاده است. روش اجزاء محدود یا روش المان‌های محدود (Finite Element Method) که به اختصار FEM نامیده می‌شود، روشی عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل انتگرال‌ها است. اساس کار این روش با حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده سازی آنها به معادلات دیفرانسیل معمولی، که با روشهای عددی مثل اویلر حل می‌شوند، می‌باشد. در حل معادلات دیفرانسیل جزئی مسئله مهم این است که به معادله ساده‌ای که از نظر عددی پایدار است- به این معنا که خطا در داده‌های اولیه و در حین حل آنقدر نباشد که به نتایج نا مفهوم منتهی شود- برسیم. روشهایی با مزایا و معایب مختلف برای این امر وجود دارد، که روش اجزاء محدود یکی از بهترین آنهاست. این روش در حل معادلات دیفرانسیل جزئی روی دامنه‌های پیچیده (مانند وسایل نقلیه و لوله‌های انتقال نفت) ، یا هنگامی که دامنه متغیر است، یا وقتی که دقت بالا در همه جای دامنه الزامی نیست و یا اگر نتایج همبستگی و یکنواختی کافی را ندارند، بسیار مفید می‌باشد.

نرم افزار ABAQUS قابلیت شبیه‌سازی مسایل پیچیده مهندسی را در زمینه‌های مختلف مهندسی عمران، مهندسی مکانیک و... دارد. از آنجایی که انجام آزمایشات عملی بسیار پرهزینه است، استفاده از شبیه سازی اجزا محدود می‌تواند به عنوان یک ابزار جایگزین به کار برده شود. نکته‌ای باید به آن توجه کرد این است که استفاده از نرم افزارهای اجزای محدود بدون آشنایی با روش اجزاء محدود می‌تواند منجر به شبیه سازی‌های نادرست و نتایج گمراه کننده گردد. بنابراین توصیه می‌شود قبل از استفاده از نرم افزار، کاربران آشنایی نسبی با روش اجزاء محدود داشته باشند. به دلیل وجود محیط گرافیکی ساده در نرم افزار ABAQUS ، ممکن است کاربران تصور کنند که با استفاده از روش سعی و خطا و کسب تجربه می‌توانند مدلسازی را

بدون آموزش فراگیرند. با این حال استفاده از این کتاب و راهنماهای مشابه به کاربران کمک می‌کند تا سریعترین و مناسبترین ابزار را در حین مدلسازی مورد استفاده قرار دهند. در این کتاب سعی شده است که روش استفاده از نرم افزار ABAQUS در قالب تعدادی مثال حل شده به صورت گام به گام آموزش داده شود. علی‌رغم دقت و تلاش نویسندگان برای اجتناب از هرگونه خطا، این کتاب خالی از اشکال نیست و نویسندگان از هرگونه پیشنهاد و انتقاد در زمینه این کتاب استقبال می‌کنند.

با احترام

ضیایی، پیغاله

mziaei@dena.kntu.ac.ir

e_pegghaleh@dena.kntu.ac.ir

فصل اول

معرفی قابلیت‌های نرم افزار ABAQUS

۱-۱- مقدمه

ABAQUS مجموعه‌ای از برنامه‌های شبیه سازی قدرتمند مهندسی است که بر پایه روش اجزای محدود بنا نهاده شده و می‌تواند مسایلی با طیف گسترده از یک تحلیل خطی نسبتاً ساده تا تحلیلهای غیرخطی بسیار پیچیده را حل کند. ABAQUS شامل کتابخانه گسترده‌ای از المانهاست که می‌تواند هر نوع هندسه‌ای را به صورت مجازی مدلسازی کند. همچنین این برنامه شامل لیست گسترده‌ای از مدل‌های رفتار ماده است که می‌تواند رفتار اغلب مصالح مهندسی مانند فلزات، لاستیک، پلیمرها، کامپوزیتها، بتن مسلح، فومهای شکننده و حتی مصالح ژئوتکنیکی مثل خاک و سنگ را نیز شبیه سازی کند. از آنجایی که ABAQUS به گونه‌ای طراحی شده که یک وسیله شبیه سازی عمومی با قابلیت‌های فراگیر باشد از ABAQUS می‌توان برای حل مسایلی که خارج از حیطه مسایل مهندسی (تنش-کرنش) است نیز استفاده نمود. این نرم افزار می‌تواند شبیه سازی مسایلی با تنوع فراوان همانند انتقال حرارت، انتشار جرم، مدیریت حرارت اجزای الکتریکی (تحلیلهای کوپله الکتریکی حرارتی)، مسایل مربوط به صوت، مکانیک خاک (تحلیلهای کوپله‌ای جریان آب منفذی - تنش) و تحلیل‌های پیزوالکتریک را انجام دهد.

ABAQUS قابلیت‌های گسترده‌ای را برای شبیه سازی در کاربردهای خطی و غیرخطی فراهم می‌کند. مسایلی که دارای اجزای متعدد و مصالح مختلف هستند را می‌توان با تعریف هندسه هر جز و اختصاص دادن مصالح تشکیل دهنده آن و سپس تعریف اندرکنش بین این اجزا شبیه سازی کرد. در تحلیلهای غیرخطی ABAQUS به صورت خودکار نمو بار و رواداری همگرایی^۱ مناسب را انتخاب و به طور پیوسته در طول تحلیل این پارامترها را تنظیم می‌کند تا از بدست آمدن نتایج دقیق اطمینان حاصل شود.

^۱ Convergence tolerance

۲-۱- مبانی برنامه ABAQUS

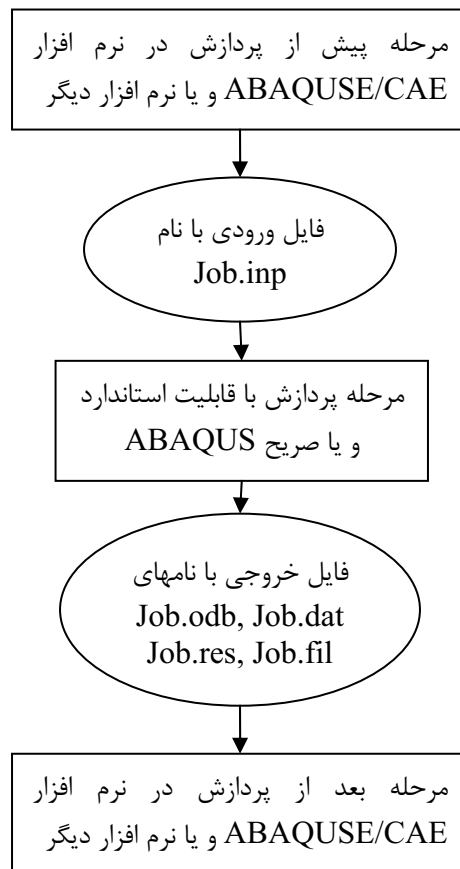
یک تحلیل کامل در برنامه ABAQUS معمولاً از سه مرحله تشکیل شده است :

(۱) مرحله پیش از پردازش

(۲) مرحله پردازش

(۳) مرحله بعد از پردازش

این سه مرحله مطابق شکل زیر به وسیله تعدادی فایل با یکدیگر ارتباط دارند.



شکل ۱-۱- مراحل برنامه ABAQUSE/CAE

۲-۱-۱- پیش پردازش (ABAQUS/CAE)

در این مرحله شما باید مدل مساله را ساخته و یک فایل ورودی ABAQUS ایجاد کنید. مدل را معمولاً می‌توان به صورت گرافیکی با استفاده از ABAQUS/CAE و یا سایر پیش پردازنده‌ها ایجاد کرد و یا می‌توان فایل ورودی ABAQUS را با استفاده از یک ویرایشگر متن مثل Notepad ساخت.

۱-۲-۲- پردازش (استاندارد و یا صریح ABAQUS)

پردازش که معمولاً به صورت یک پروسه در پس زمینه اجرا می‌شود، مرحله‌ای است که در آن ABAQUS استاندارد و یا صریح مساله عددی را که در مدل تعریف شده حل می‌کند. مثالهایی از خروجی تحلیل تنش عبارت است از تغییر مکانها و تنشهایی که در فایل‌های باینری ذخیره می‌شود و برای مرحله پس از پردازش مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسته به پیچیدگی مساله‌ای که باید تحلیل شود و قدرت کامپیوتری که تحلیل را انجام می‌دهد، زمان تحلیل می‌تواند بین چند ثانیه تا چند روز طول بکشد.

۱-۲-۳- مرحله بعد از پردازش (ABAQUS/CAE)

ارزیابی نتایج را می‌توان بعد از اتمام مرحله پردازش یعنی وقتی که تنشها تغییر مکانها و سایر متغیرهای اساسی محاسبه شده اند انجام داد. ارزیابی معمولاً با استفاده از ماژول گرافیک‌ساز^۲ یا سایر پس‌پردازنده‌ها انجام می‌شود. ماژول گرافیک‌ساز داده‌های فایل خروجی باینری را می‌خواند و گزینه‌های متفاوتی مانند کانتورهای رنگی، انیمیشن، فرم تغییر شکل یافته و یا نمایش داده‌ها به صورت نمودار X-Y برای نمایش نتایج دارد.

۱-۲-۴- اجزای یک مدل تحلیلی (ABAQUS/CAE)

مدل ABAQUS از اجزای مختلف متعددی تشکیل شده است و این اجزا در کنار یکدیگر مساله فیزیکی را که باید تحلیل شود، شکل می‌دهند. در ساده ترین حالت مدل تحلیلی شامل اطلاعات: هندسه مجزا، خصوصیات سطح مقطع المانها، داده‌های مصالح، بارها و شرایط تکیه گاهی، نوع تحلیل و داده‌های خروجی مورد نیاز است.

۱-۲-۴-۱- هندسه مجزا

المانهای محدود و گره‌ها، زیربنای هندسه سازه‌ای را که قرار است تحلیل شود، می‌سازد. هر المان در مدل بیانگر بخش مجزایی از سازه است که به نوبه خود از المانهای متعدد و متصل به یکدیگر تشکیل شده است. المانها توسط گره‌های مشترک به یکدیگر متصل می‌شوند. مختصات گره‌ها و نحوه اتصال المانها (که نشان می‌دهد کدام گره به کدام المان تعلق دارد) هندسه مدل را تشکیل می‌دهد. تمامی المانها و گره‌ها در یک مدل از مش‌بندی اعضا در آن مدل به وجود می‌آیند. معمولاً مش‌بندی تنها تقریبی از شکل واقعی سازه را به وجود می‌آورد.

نوع المان، شکل، موقعیت و تعداد المانهای استفاده شده در مش‌بندی جوابهای حاصل از تحلیل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هرچه مش‌بندی ریزتر باشد (یعنی تعداد المان بیشتر در اثر مش

² Visualization

بندی) نتایج حاصل از تحلیل دقیق تر خواهند بود. وقتی که مش بندی ریزتر شود، نتایج تحلیل به سمت یک جواب واحد میل می کند و زمان مورد نیاز برای تحلیل نیز افزایش پیدا می کند. جوابی که از مدل عددی به دست می آید، معمولاً پاسخ تقریبی از حل مساله ای است که شبیه سازی شده است. وسعت تقریبها بستگی به هندسه مدل، رفتار مصالح، شرایط مرزی و بارگذاری دارد و این پارامترها میزان دقت جوابهای عددی را در مقایسه با جوابهای واقعی تعیین می کنند.

۱-۲-۴-۲- خصوصیات سطح مقطع المانها

نرم افزار ABAQUS شامل طیف وسیعی از المانها است. بسیاری از این المانها هندسه ای دارند که کاملاً از روی مختصات گره های آنها تعیین نمی شود. برای مثال لایه های یک پوسته مرکب (کامپوزیت) یا ابعاد یک مقطع I شکل از روی گره های المانها تعریف نمی شود. این داده های هندسی اضافی به عنوان خصوصیات سطح مقطع المانها تعریف می شود و برای ساخت مدل هندسی کامل مساله مورد نیاز است.

۱-۲-۴-۳- داده های مصالح

یکی از مواردی که باید برای المانهای تعریف شده مشخص گردد، ویژگی های مصالح آنها می باشد. از آنجا که تهیه داده های دقیق مصالح، به ویژه در مورد مدلهایی که در آنها از مصالحی با رفتار پیچیده استفاده شده، سخت است، اعتبار نتایج ABAQUS به دقت و در دسترس بودن داده های مصالح وابسته است.

۱-۲-۴-۴- بارها و شرایط تکیه گاهی

بارها سازه را دچار تغییر شکل می کنند و بنابراین باعث ایجاد تنش در سازه می شوند. معمول ترین انواع بارگذاری عبارتند از :

- بارهای متمرکز
- بارهای فشاری وارد بر سطوح
- بارهای کششی و انقباضی گسترده بر روی سطوح
- بارها و لنگرهای خطی بر لبه های پوسته ها
- نیروهای حجمی مانند نیروی جاذبه
- بارهای حرارتی

شرایط مرزی برای ایجاد قیود در بخشهایی از مدل به کار گرفته می شوند تا مدل ثابت باقی مانده یا به مقدار از پیش تعیین شده ای حرکت نکند.