بسم الله الرحمن الرحیم

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 یا 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 پایداراست- 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 درحل معادلات دیفرانسیل جزئی روی دامنه‌های پیچیده (مانند وسائل نقلیه و لوله‌های انتقال نفت) ، یا هنگامی که دامنه متغییر 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. علی رغم 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_peyghaleh@dena.kntu.ac.ir

فهرست مطالب

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

۱-۴-۲-۲-تحلیل غیرخطی 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 خرپا..... ۷۹
۴-۱- صورت مساله ۷۹
۴-۲- مراحل تحلیل..... ۸۰
۴-۳- بررسی نتایج ۹۳

۵- تحلیل کمانش ستون..... ۱۰۱
۵-۱-صورت مساله ۱۰۱
۵-۲-حل تئوری. ۱۰۱
۵-۳-مراحل تحلیل.. ..... ۱۰۲
۵-۴-بررسی نتایج..... ۱۱۷

۶- تحلیل خمش صفحه..... ۱۲۳
۶-۱-صورت مساله ۱۲۳
۶-۲-حل تئوری..... ۱۲۳
۶-۳-مراحل تحلیل.. ..... ۱۲۴
۶-۴-بررسی نتایج..... ۱۳۸

۷- تحلیل تنش صفحه‌ای ۱۴۱
۷-۱-صورت مساله ۱۴۱
۷-۲-حل تئوری. ۱۴۲
۷-۳-مراحل تحلیل ۱۴۳
۷-۴-بررسی نتایج ۱۵۸

۸- مدلسازی و صحت‌سنجی مدل اجزای محدود یک قاب مهارشده واگرا با استفاده از نتایج یک آزمایش عملی..... ۱۶۷
۸-۱- صورت مساله ۱۶۷
۸-۲-مدل آزمایشگاهی. ۱۶۸
۸-۳-مراحل تحلیل.. ..... ۱۶۹
۸-۴-بررسی نتایج ۲۵۳

۹- مدلسازی تیر بتنی مسلح..... ۲۵۹
۹-۱- مقدمه ۲۵۹
۹-۲- صورت مسئله. ۲۵۹
۹-۳- مراحل تحلیل..... ۲۶۰
۹-۴- بررسی نتایج ۲۸۲

۱۰- تحلیل ارتعاشی پل..... ۲۹۳
۱۰-۱- صورت مساله ۲۹۳
۱۰-۲- مراحل تحلیل..... ۲۹۴
۱۰-۳- بررسی نتایج ۳۱۳

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 نسبتا 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[1] مناسب را انتخاب و به طور پیوسته در طول تحلیل این پارامترها را تنظیم می‌کند تا از بدست آمدن نتایج دقیق اطمینان حاصل شود.

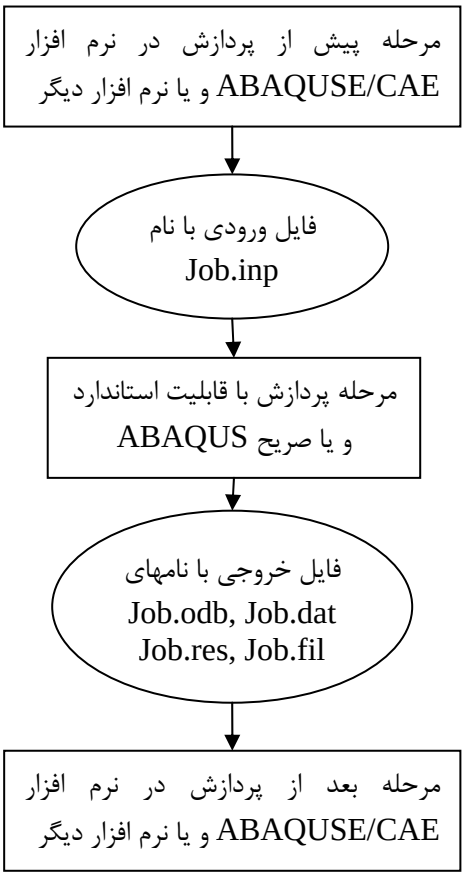
[1] Convergence tolerance

۱-۲- مبانی برنامه ABAQUS

یک تحلیل کامل در برنامه ABAQUS معمولا 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

۱-۲-۱- پیش پردازش (ABAQUS/CAE)

در این مرحله شما باید مدل مساله را ساخته و یک فایل ورودی ABAQUS ایجاد کنید. مدل را معمولا 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 معمولا 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 تغییرمکانها 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 تغییرمکانها و سایر متغیرهای اساسی محاسبه شده اند انجام داد. ارزیابی معمولا 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 تغییرشکل 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. معمولا 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 می‌کند و زمان مورد نیاز برای تحلیل نیز افزایش پیدا می‌کند. جوابی که از مدل عددی به دست می‌آید، معمولا پاسخ تقریبی از حل مساله‌ای 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 می‌کنند.

۱-۲-۴-۲- خصوصیات سطح مقطع المانها

نرم افزار ABAQUS شامل طیف وسیعی از المانها است. بسیاری از این المانها هندسه‌ای دارند که کاملا از روی مختصات گره‌های آنها تعیین نمی‌شود. برای مثال لایه‌های یک پوسته مرکب (کامپوزیت) یا ابعاد یک مقطع I شکل از روی گره‌های المانها تعریف نمی‌شود. این داده‌های هندسی اضافی به عنوان خصوصیات سطح مقطع المانها تعریف می‌شود و برای ساخت مدل هندسی کامل مساله مورد نیاز است.

۱-۲-۴-۳-داده‌های مصالح

یکی از مواردی که باید برای المانهای تعریف شده مشخص گردد، ویژگی‌های مصالح آنها می‌باشد. از آنجا که تهیه داده‌های 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 دردسترس بودن داده‌های مصالح وابسته است.

۱-۲-۴-۴-بارها و شرایط تکیه گاهی

بارها سازه را دچار تغییرشکل می‌کنند و بنابراین باعث ایجاد تنش در سازه می‌شوند. 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 لبه‌های پوسته‌ها
- نیروهای حجمی مانند نیروی جاذبه
- بارهای حرارتی

شرایط مرزی برای ایجاد قیود در بخشهایی از مدل به کار گرفته می‌شوند تا مدل ثابت باقی مانده یا به مقدار از پیش تعیین شده‌ای حرکت کنند.

در تحلیل‌های استاتیکی شرایط مرزی کافی باید فراهم شود تا از حرکت مدل به صورت جسم صلب جلوگیری شود. در غیر این صورت حرکت جسم صلب مقید نشده باعث معکوس ناپذیری ماتریس سختی می‌گردد و این امر سبب می‌شود که تحلیل سازه قبل از اتمام قطع شود. نرم افزار ABAQUS استاندارد در صورتی که در حین شبیه سازی به مشکلی در تحلیل برخورد کند، پیغام اخطاری (Warning) صادر می‌کند. در این مواقع لازم است کاربر پیغامهای اخطار را تجزیه و تحلیل کند. در صورتی که حین تحلیل استاتیکی اخطار معکوس ناپذیر شدن ماتریس سختی را مشاهده کند، باید بررسی شود که آیا سازه یا قسمتی از آن دچار حرکت جسم صلب در اثر کمبود قیود تکیه گاهی شده است یا خیر. حرکت به صورت جسم صلب می‌تواند هم به صورت انتقالی و هم به صورت دورانی باشد.

در تحلیل دینامیکی نیروهای اینرسی تا وقتی که تمامی اعضای مجزای مدل دارای جرم باشند، از ایجاد حرکت نامحدود ناگهانی جلوگیری می‌کند. لذا اخطارهای حل در یک تحلیل دینامیکی معمولا بیانگر وجود سایر مشکلات در مدل مانند پلاستیک شدن بیش از حد هستند.

۱-۲-۴-۵-نوع تحلیل

نرم افزار ABAQUS می‌تواند انواع گوناگون و متنوعی از شبیه سازی‌ها را انجام دهد که در اینجا تنها به دو نوع تحلیل استاتیکی و دینامیکی اشاره می‌شود.

در یک تحلیل استاتیکی پاسخ بلند مدت سازه به بارهای اعمالی به دست می‌آید. در سایر مواقع پاسخ دینامیکی سازه به بارها مورد نظر است. برای مثال بارگذاری ناگهانی بر روی یکی از اجزا که در هنگام وارد شدن ضربه به وجود می‌آید و یا پاسخ سازه به یک زلزله.

۱-۲-۴-۶- داده‌های خروجی

با انجام تحلیل در نرم افزار ABAQUS حجم گسترده‌ای از اطلاعات خروجی تولید خواهد شد. برای جلوگیری از اشغال شدن فضای سخت افزار، کاربر می‌تواند تنها اطلاعات مورد نیاز خود را قبل از انجام تحلیل درخواست کند.

معمولا پردازشگری مانند ABAQUS/CAE برای تعریف اجزای لازم مدل به کار برده می‌شوند.

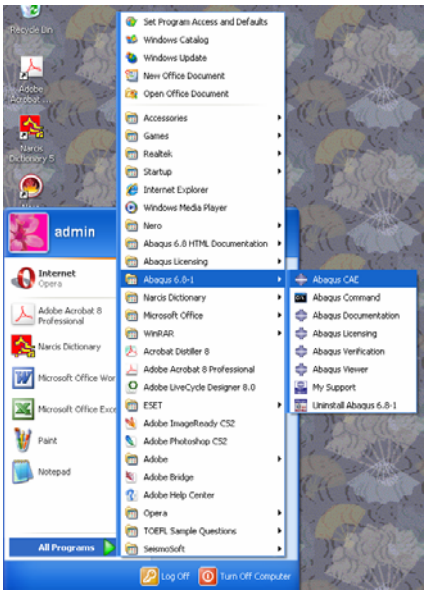
۱-۲-۵- اجزای یک مدل تحلیلی (ABAQUS/CAE)

نرم افزار ABAQUS/CAE محیط کاملی است که فضایی ساده و کاربر پسند برای ساختن مدل‌های ABAQUS، انجام تحلیل و مشاهده و بررسی مراحل تحلیل و ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی دارد. نرم افزار ABAQUS/CAE به چندین ماژول تقسیم شده‌است و هر ماژول[1] بخشی از پروسه مدلسازی را بر عهده دارد. برای مثال ماژولهایی برای تعریف هندسه

مدل، خصوصیات مصالح و تولیه مش‌بندی اختصاص داده شده است. با انتقال از یک ماژول به ماژول دیگر و انجام عملیات مدلسازی مرتبط با آن ماژول و تکرار این کار تا آخرین ماژول، مدل اجزای محدود ساخته خواهد شد. وقتی که ساختن مدل به اتمام رسید، نرم افزار ABAQUS/CAE یک فایل ورودی می‌سازد و مدل ساخته شده را به بخش پردازشگر نرم افزار تحویل می‌دهد. پردازنده‌های ABAQUS استاندارد و ABAQUS صریح فایل ورودی را خوانده و تحلیل را انجام می‌دهد و در حین تحلیل پیامهایی را به ABAQUS/CAE انتقال می‌دهد تا کاربر در جریان روند تحلیل قرار گیرد. سپس پایگاه‌داده اطلاعات خروجی ساخته می‌شود. در نهایت از ماژول Visualization برای خواندن از پایگاه‌داده اطلاعات خروجی و نمایش آنها استفاده می‌شود.

۱-۲-۵-۱-مراحل کار با برنامه ABAQUS/CAE

برای شروع به استفاده از ABAQUS/CAE در منوی پایین صفحه Desktop بر روی Start کلیک کرده و سپس All Programs، ABAQUS و ABAQUS/CAE را به ترتیب انتخاب نمایید. وقتی که برنامه ABAQUS/CAE اجرا شد پنجره گفتگوی Start Session مطابق شکل زیر باز می‌شود.



شکل ۱-۲- نحوه اجرای برنامه ABAQUSE/CAE

شکل ۱-۳- پنجره اولیه برنامه ABAQUSE/CAE

در این پنجره چهار گزینه در اختیار کاربر قرار دارد که عبارتند از :

- Create Model Database : ساختن یک مدل جدید
- Open Database : باز کردن مدل‌های قبلا ساخته شده
- Run Script : اجرا کردن فایل محتوی دستورات ABAQUS/CAE که در فایل متنی نوشته شده اند.
- Start Tutorial : بازکردن راهنمای برنامه

۱-۲-۵-۲-اجزای پنجره اصلی برنامه ABAQUS/CAE

کاربر با استفاده از پنجره اصلی با برنامه تبادل اطلاعات می‌کند. شکل صفحه بعد اجزایی را که در پنجره اصلی وجود دارند نشان می‌دهد.

- نوار عنوان

نوار عنوان نشان دهنده نسخه ABAQUS/CAE و نام مدلی است که بر روی آن کار می‌کنید.

- نوار منوی اصلی

نوار منوی اصلی در برگیرنده تمامی منوهای دسترسی به امکانات موجود در نرم افزار است و گزینه‌های آن با توجه به ماژولی که در آن قرار دارید تغییر می‌کند.

- نوار ابزار

نوار ابزار دسترسی سریع به گزینه‌هایی مختلفی را که در نوار منوی اصلی نیز قابل دسترسی هستند فراهم می‌نماید.

- نوار متنی

نرم افزار ABAQUS/CAE به چندین ماژول تقسیم شده است که هر کدام از این ماژولها به شما اجازه می‌دهد تا بخشی از فرایند مدلسازی را انجام دهید. لیست ماژولها در نوار ماژول به شما اجازه می‌دهد تا بین این ماژولها حرکت نمایید. سایر بخشها در این نوار وابسته به نوع ماژول فعال هستند.

- منوی درختی

منوی درختی امکان مشاهده کلی جزئیات مدل ساخته را به صورت گرافیکی برای کاربر ایجاد می‌کند. در این منو محتویات مدل شامل اجزا، مصالح، گام‌های تحلیل، بارگذاری‌ها و خروجی‌های درخواست شده قابل مشاهده هستند. بعلاوه، منوی درختی ابزار متمرکزی را برای حرکت بین ماژولها و مدیریت آنها فراهم می‌نماید. اگر پایگاه داده مدل شما دارای بیش از یک مدل باشد، شما می‌توانید با استفاده از منوی درختی بین این مدلها رفت و برگشت نمایید.

- نوار ابزار عمودی

وقتی که وارد یک ماژول می‌شوید، نوار ابزار عمودی، ابزارهایی را که در آن ماژول قابل استفاده هستند را نمایش می‌دهد. از نوار ابزار عمودی می‌توان برای دسترسی سریع به گزینه‌هایی که در نوار منوی اصلی موجود هستند استفاده نمود.

- پنجره گرافیکی

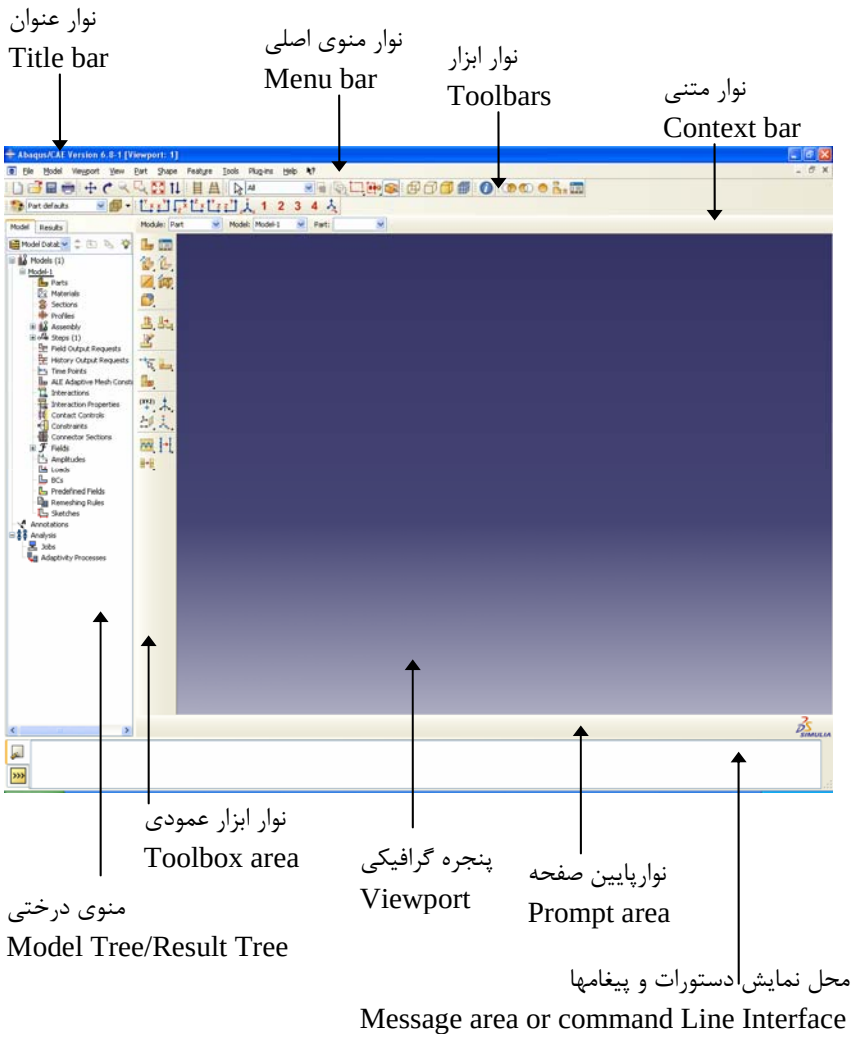
پنجره گرافیکی پنجره‌ای است که مدل شما در آن نمایش داده می‌شود.

- نوارپایین صفحه

نوار پایین صفحه دستورالعملهایی برای کاربر فراهم می‌نماید. برای مثال در هنگام ایجاد یک مجموعه، این نوار از کاربر می‌خواهد تا نقاط مورد نظر برای آن مجموعه را معرفی کند.

- محل نمایش دستورات و پیغامها

نرم افزار ABAQUS/CAE اطلاعات و اخطارهایی را در این محل نمایش می‌دهد. برای تغییر ابعاد آن، کاربر می‌تواند لبه بالایی را با نگه داشتن دکمه چپ ماوس جابه جا کند.



شکل ۱-۴- قسمتهای مختلف پنجره برنامه ABAQUSE/CAE

۱-۳- المانهای موجود در نرم افزارABAQUS

در این بخش انواع المانهای قابل استفاده در نرم افزار ABAQUS به طور مختصر معرفی شده‌اند.

۱-۳-۱- اجزای محدود و اجسام صلب

المانهای محدود و اجسام صلب مولفه‌های اساسی یک مدل ABAQUS هستند. المانهای محدود شکل پذیر هستند در حالیکه اجسام صلب بدون تغییرشکل در فضا حرکت می‌کنند. اگرچه کاربران برنامه‌های تحلیل اجزای محدود ممکن است شناختی از ماهیت المانهای محدود داشته باشند، مفهوم عمومی اجسام صلب در یک برنامه اجزای محدود ممکن است تا حدودی جدید باشد.

برای افزایش بازده محاسباتی، برنامه ABAQUS توانایی‌های عمومی در مورد مدلسازی اجسام صلب دارد. هر جسم یا بخشی از آن را می‌توان بصورت جسم صلب تعریف نمود. بیشتر انواع المان می‌تواند برای تعریف اجسام صلب مورد استفاده قرار گیرد. مزیت اجسام صلب نسبت به اجسام شکل پذیر این است که اجسام صلب تنها دارای شش درجه آزادی در یک گره مرجع که برای آن جسم صلب تعریف شده، هستند. برعکس، المانهای شکل پذیر درجات آزادی متعددی دارند که برای محاسبه تغییرشکل آنها محاسبات زیادی باید انجام شود. وقتی که این تغییرمکانها قابل صرفنظر کردن باشند و یا برای کاربر مهم نباشند، مدلسازی جسم بصورت صلب بطور قابل ملاحظه‌ای از حجم محاسبات می‌کاهد بدون آنکه بر دقت نتایج خروجی تاثیری داشته باشد.

۱-۳-۲- المان‌های محیط پیوسته

خانواده‌ی المانهای تنش/تغییرمکان سه بعدی[۳] گسترده ترین کتابخانه المانها در ABAQUS است. کتابخانه‌های المانهای موجود در ABAQUS استاندارد و ABAQUS صریح تفاوتهایی با هم دارند.

۱-۳-۲-۱- کتابخانه المانهای سه بعدی در ABAQUS استاندارد

کتابخانه المان سه بعدی ABAQUS استاندارد شامل المانهایی با درونیابی مرتبه اول (خطی) و المانهای با درونیابی مرتبه دوم [۴] در دو یا سه بعد با استفاده از انتگرال گیری کامل یا کاهش یافته است. مثلث و چهارضلعی در دو بعد در دسترس هستند؛ چهاروجهی، گوه‌های مثلثی و

[3] Solid
[4] Quadratic

شش وجهی‌ها (بلوک) در سه بعد در دسترس هستند. همچنین امکان استفاده از المانهای مثلثی و چهاروجهی اصلاح شده مرتبه دوم نیز فراهم شده است.
به علاوه، المانهای با مود ترکیبی نیز در ABAQUS استاندارد وجود دارد.

۱-۳-۲-۲-کتابخانه المانهای سه بعدی در ABAQUS صریح

کتابخانه المان سه بعدی در برنامه ABAQUS صریح شامل المانهای با درونیابی مرتبه اول (خطی) با انتگرالگیری کاهش یافته[5] در دو یا سه بعد است. مثلثها و چهاروجهی‌های اصلاح شده با درونیابی مرتبه دوم نیز در این برنامه در دسترس هستند. المانهای با انتگرال گیری کامل[6] یا المانهای مرتبه دوم منظم در این برنامه در دسترس نیستند.
برای انتخاب نوع المان مثلا در مدلسازی‌های سه بعدی بیش از بیست انتخاب وجود دارد. با در نظر گرفتن تعدد انواع المانهای قابل استفاده، واضح است که دقت مدلسازی به شدت به نوع المانی که استفاده کرده اید وابسته است. تصمیم گیری برای انتخاب نوع المان به خصوص برای تازه کارها ممکن است دشوار باشد. با این حال می‌توان به این جعبه ابزار ۲۰ تایی به عنوان وسیله‌ای نگریست که به شما این توانایی را می‌دهد که برای یک کار خاص ابزار دقیق مربوط به همان کار را انتخاب کنید.

۱-۳-۳- المان‌های پوسته ای

در حالتی که یکی از ابعاد مدل (ضخامت آن) در برابر دو بعد دیگر بسیار کوچکتر باشد و تنشها در جهت ضخامت مدل قابل طرفنظر کردن باشد، از المان پوسته‌ای برای مدلسازی سازه‌ها استفاده می‌شود. سازه‌ای مانند یک مخزن فشار که ضخامت آن کمتر از ۰/۱ ابعاد دیگر آن است را می‌توان با استفاده از المانهای پوسته‌ای مدلسازی کرد.
فرض می‌شود که در المانهای پوسته‌ای ABAQUS مقاطع صفحه‌ای عمود بر صفحه پوسته به صورت صفحه باقی می‌ماند. در بکار گیری المانهای پوسته‌ای ضخامت المان لزوما نباید کمتر از ۰/۱ ابعاد آن المان باشد. در یک مش بندی خیلی ریز ممکن است ضخامت یک المان حتی از دو بعد دیگر آن بیشتر باشد، هرچند که این مورد به طور عمومی توصیه نمی‌شود و بهتر است در این حالت از المانهای سه بعدی استفاده نمود.

[5] Reduced Integration
[6] Full Integration

۱-۳-۴- المان‌های تیر

المانهای تیر وقتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که یک بعد سازه مورد نظر (طول آن) به طور قابل توجهی از دو بعد دیگر بیشتر و تنشهای طولی مهمترین متغیر درخواستی باشد. تئوری تیر بر پایه این فرض است که تغییرشکل سازه را می‌توان تنها با استفاده از متغیرهایی که تابع محل مورد نظر در طول سازه است، به دست آورد. برای اینکه تئوری تیر جوابهای قابل قبولی ارایه کند لازم است که ابعاد سطح مقطع سازه از ۰/۱ طول آن کوچکتر باشد.

در المانهای تیر ABAQUS فرض بر این است که صفحات عمود بر محور تیر پس از تغییرشکل به صورت صفحه باقی می‌ماند. در بکار گیری المانهای تیر ابعاد سطح مقطع المان لزوما نباید کمتر از ۰/۱ طول آن المان باشد. در یک مش بندی خیلی ریز ممکن است ابعاد سطح مقطع یک المان حتی از طول آن بیشتر باشد، هرچند که این مورد به طور عمومی توصیه نمی‌شود و بهتر است در این حالت از المانهای سه بعدی استفاده نمود.

۱-۴- انواع تحلیل در نرم افزار ABAQUS

۱-۴-۱- تحلیل دینامیکی خطی

در صورتی که می‌خواهید طولانی مدت یک سازه را به بارهای اعمالی تعیین کنید استفاده از یک تحلیل استاتیکی کفایت می‌کند. اما اگر مدت زمان اعمال بار کوتاه باشد(مانند بارگذاری زلزله) و یا بار دارای طبیعت دینامیکی باشد (مانند بارگذاری در ماشینهای دوار)، باید از تحلیل دینامیکی استفاده نمود.

۱-۴-۲-تحلیل غیرخطی

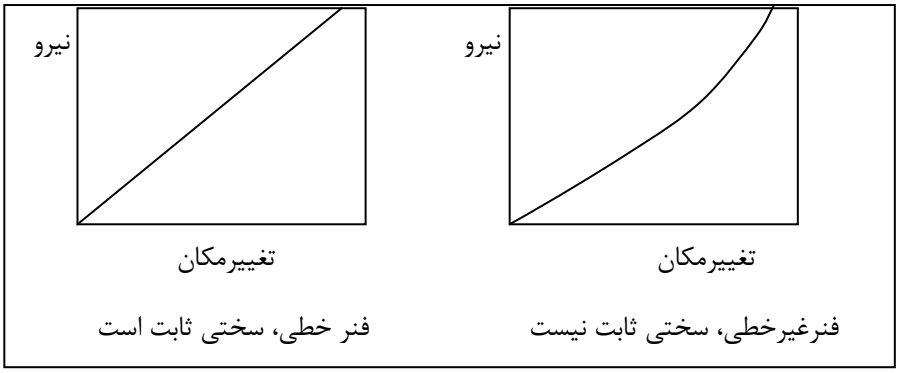
تفاوت میان تحلیلهای خطی و غیر خطی در نرم ا افزار ABAQUS به اختصار عبارتند از :

۱-۴-۲-۱- تحلیل خطی

در تحلیل‌های خطی بین بارهای اعمالی و پاسخ سیستم رابطه خطی وجود دارد. برای مثال اگر یک فنر خطی به طور استاتیکی تحت یک بار ۱۰ نیوتنی به میزان یک متر افزایش طول پیدا کند، همین فنر تحت بار ۲۰ نیوتنی به میزان ۲ متر تغییرطول خواهد داد. این بدین معنی است که در یک تحلیل ABAQUS استاندارد خطی انطاف پذیری سازه تنها یک بار محاسبه می‌شود (با تشکیل ماتریس سختی و معکوس کردن آن). پاسخ خطی سازه به سایر حالتهای بار را می‌توان با ضرب کردن بردار بارها در ماتریس سختی معکوس شده، به دست آورد. به علاوه پاسخ سازه به حالتهای بارگذاری متنوع را می‌توان با استفاده از ضرایب ثابت مقیاس کرد و یا از اصل جمع آثار قوا برای تعیین پاسخ آن به یک حالت بارگذار کاملا جدید استفاده کرد. به شرطی که حالت بارگذاری جدید مجموع یا ترکیبی از بارگذاریهای قبلی باشد. این اصل اجتماع آثار قوا فرض می‌کند که شرایط تکیه گاهی یکسانی برای تمامی حالات بارگذاری مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۴-۲-۲- تحلیل غیرخطی

مساله سازه‌ای غیرخطی مساله‌ای است که در آن سختی سازه با تغییر شکل آن تغییر می‌کند. تمامی سازه‌های فیزیکی غیرخطی هستند. تحلیل خطی تقریبی مناسب است که اغلب برای مقاصد طراحی مناسب است. واضح است که استفاده از این نوع تحلیل برای بسیاری از شبیه سازی‌های سازه‌ای کافی نیست که مثالهایی از این نوع تحلیلها عبارتند از : تحلیل شکست، تحلیل پیشرفته سازه‌ها در برابر زلزله، تحلیل اجزای لاستیکی مانند تایر اتومبیل یا سدهای لاستیکی. مثال ساده‌ی سازه‌های غیرخطی همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، فنری با پاسخ سختی غیرخطی است.



شکل ۱-۵- مقایسه منحنی‌های نیرو- تغییرمکان برای فنرهای خطی و غیرخطی

از آنجایی که سختی به تغییرمکان وابسته است، انعطاف پذیری اولیه را نمی‌توان در بارهای اعمال شده ضرب کرد تا تغییرمکان فنر را برای بار دلخواه به دست آورد. در تحلیل ضمنی[۷] غیرخطی ماتریس سختی سازه باید بارها در طول تحلیل محاسبه و معکوس شود که این کار باعث می‌شود زمان تحلیل بسیار طولانی تر از یک تحلیل ضمنی خطی گردد. در تحلیل صریح افزایش زمان تحلیل غیرخطی ناشی از کاهش پایداری نموهای زمانی است.

از آنجا که پاسخ یک سیستم غیرخطی تابعی خطی از اندازه بارهای اعمالی نیست، نمی‌توان از اصل جمع آثار قوا برای حل مساله استفاده کرد. هر حالت بارگذاری باید با استفاده از یک تحلیل مجزا تعریف و حل شود.

۱-۴-۳- تحلیل دینامیک صریح[۸] غیرخطی

تحلیل دینامیک صریح می‌تواند ابزاری کارا برای حل محدوده گسترده‌ای از مسایل مکانیک سازه غیرخطی باشد. در اغلب موارد این تحلیل مکملی برای حل کننده ضمنی مانند ABAQUS استاندارد است. از دیدگاه کاربر خصوصیات متمایز کننده روشهای ضمنی و صریح عبارتند از :

۱) روشهای صریح نیازمند نمو زمانی کوچکی است کع تنها به بالاترین فرکانس طبیعی مدل بستگی دارد و مستقل از نوع و مدت زمان بارگذاری است. شبیه‌سازی‌ها معمولا با استفاده از ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ نمو زمانی انجام می‌شود ولی زمان مربوط به هر نمو نسبتا کوچک است.

۲) روشهای ضمنی محدودیت ذاتی برای اندازه نمو زمانی قایل نمی‌شوند. اندازه نمو معمولا از فرضیات همگرایی و دقت به دست می‌آید. شبیه سازی‌های ضمنی معمولا

[7] Implicit
[8] Explicit

تعداد نمو کمتری نسبت به شبیه سازی صریح دارند، با این حال از آنجایی که مجموعه کلی معادلات در هر نمو باید حل شود، زمان هر نمو در روش ضمنی بسیار بیشتر از روش صریح است.

دانستن این موارد به شما کمک می‌کند تا بسته به مساله‌ای که حل می‌کنید، روش مناسبتر را از بین این دو روش انتخاب کنید.

۱-۵- سایر قابلیتهای نرم افزار ABAQUS

سایر قابلیتهایی در نرم افزار ABAQUS در ادامه به طور خلاصه مطرح شده اند.

۱- ۵-۱-مصالح

کتابخانه مصالح در برنامه ABAQUS امکان مدلسازی اغلب مصالح مهندسی، مانند فلزات، پلاستیکها، لاستیکها، فومها، کامپوزیتها، خاکهای دانه‌ای و بتن مسلح و غیرمسلح را فراهم نموده است. برخی از خصوصیاتی که برای مصالح تعریف می‌شود عبارتند از : خصوصیات الاستیک، خصوصیات پلاستیک، چگالی، ویژگی‌های حرارتی و غیره. یکای خصوصیات قابل تعریف برای مصالح در برنامه ABAQUS در ضمیمه این فصل ارایه شده است.

۱-۵-۲-تحلیل چندمرحله ای

هدف عمومی از یک شبیه سازی با استفاده از نرم افزار ABAQUS تعیین پاسخ مدل تحت بارهای اعمالی است. لازم به یادآوری است که در معنای عمومی با ر در ABAQUS به هر چیزی اتلاق می‌شود که باعث ایجاد تغییر در پاسخ سازه نسبت به حالت اولیه آن می‌گردد. برای مثال شرایط تکیه گاهی غیر صفر یا تغییرمکانهای اعمالی، نیروهای نقطه‌ای، فشار، میدان و غیره. در برخی حالات بارها نسبتا ساده هستند مانند مجموعه‌ای از بارهای متمرکز که به یک سازه وارد می‌شوند. ممکن است در برخی از حالات بارهای اعمالی به سازه‌ها بسیار پیچیده باشد. به عنوان مثال ممکن است بارهای متفاوتی به بخشهای مختلف مدل در طول مدت زمان مشخصی به ترتیب وارد شود و یا ممکن است اندازه بارها تابعی از زمان باشد. عبارت تاریخچه بار برای چنین بارهایی به کار برده می‌شود.

در برنامه ABAQUS کاربر تاریخچه بار کلی را به تعدادی گام (مرحله) تقسیم می‌کند. هر گام معرف بازه زمانی است که توسط کاربر مشخص شده و ABAQUS پاسخ مدل را در آن برای مجموعه مشخصی از بارها و شرایط تکیه گاهی محاسبه می‌کند. کاربر باید نوع پاسخ یعنی رویه تحلیل را در طول هر گام مشخص کند و می‌تواند نوع تحلیل را در هر گام تغییر دهد. برای مثال بارهای مرده‌ی استاتیکی و بارهای ثقلی را می‌توان در یک گام به سازه وارد نمود و پاسخ دینامیکی سازه به شتاب زلزله را می‌توان در گام بعدی محاسبه نمود. هر دوی تحلیلهای ضمنی و صریح می‌توانند شامل چند گام باشند. با این حال نمی‌توان از تحلیلهای صریح و ضمنی به صورت ترکیبی در یک تحلیل استفاده نمود. برای ترکیب زنجیره‌ای از گام‌های ضمنی و صریح قابلیت انتقال نتایج (Import) باید مورد استفاده قرار گیرد.

برنامه ABAQUS همه گامهای تحلیل را در دو دسته اصلی تقسیم بندی می‌کند: گامهای اغتشاش[۹] خطی و گامهای عمومی[۱۰]. گامهای تحلیل عمومی در هر دو نوع تحلیل

[9] perturbation

ABAQUS استاندارد و ABAQUS صریح وجود دارند. گامهای تحلیل اغتشاش خطی تنها در ABAQUS استاندارد قابل استفاده است. شرایط بارگذاری و زمان در این دو حالت به طور متفاوتی تعریف می‌شوند. به علاوه نتایج هر کدام از این دو نوع تحلیل باید به طور متفاوتی تفسیر شود.

پاسخ مدل در یک گام تحلیل عمومی می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. در گام اغتشاش خطی پاسخ تنها می‌تواند خطی باشد. برنامه ABAQUS استاندارد پاسخ چنین گامهایی را به شکل اغتشاشاتی خطی حول حالت پایه (حالتی از پیش تغییرشکل یافته و از پیش بارگذاری شده که در گامهای عمومی قبلی تعریف شده است) ارایه می‌دهد.

۱-۵-۳- تعریف سطوح تماس

بسیاری از مسایل مهندسی شامل تماس بیی دو یا چند مولفه هستند. در چنین مسایلی در هنگام برخورد دو جسم به یکدیگر، نیرویی در جهت عمود به سطوح تماس وارد می‌شود. اگر بین سطوح اصطکاک وجود داشته باشد، ممکن است نیروهای برشی تشکیل شود که از حرکت مماسی اجسام (لغزش) جلوگیری می‌کند. هدف اصلی شبیه سازی تماس تعریف مساحت‌هایی بر روی سطوح است که در تماس با یکدیگر هستند و نیز محاسبه فشاری که بین سطوح تشکیل خواهد شد.

در یک تحلیل اجزای محدود، شرایط تماس نوع ویژه‌ای از قیود ناپیوسته است که اجازه می‌دهد نیرو از یک بخش مدل به بخش دیگر آن منتقل شود. این نوع قید ناپیوسته است زیرا تنها زمانی به کار برده می‌شود که دو سطح در تماس با یکدیگر باشند. وقتی که دو سطح از یکدیگر جدا می‌شوند، هیچ نوع قیدی اعمال نخواهد شد. این تحلیل باید قادر باشد تا تشخیص دهد دو سطح چه زمانی با هم تماس دارند و قیود تماس مربوطه را اعمال کند. به طور مشابه تحلیل باید قادر باشد تشخیص دهد که دو سطح چه زمانی از یکدیگر جدا شده اند، تا بتواند قیود تکیه گاهی را حذف کند.

۱-۵-۴- تحلیل شبه استاتیکی به کمک تحلیل صریح

روش حل صریح، روش دینامیکی دقیقی است که برای مدلسازی ضربه‌های با سرعت بالا، ایجاد شده و در آن اینرسی نقش اساسی در حل مساله دارد. نیروهای غیرمتعادل برای رسیدن به حالت تعادل دینامیکی به صورت موجهای تنش بین المانهای مجاور پخش می‌شود. از آنجایی که نمو زمانی پایدار حداقل معمولا بسیار کوچک است، اغلب مسایل نیازمند تعداد زیادی نمو هستند.

[10] general

روش حل صریح در حل مسایل شبه استاتیکی بسیار کاراست و ABAQUS صریح انواع مشخصی از مسایل استاتیکی را ساده تر از ABAQUS استاندارد حل می‌کند. یکی از مزایای تحلیل صریح نسبت به تحلیل ضمنی سهولت بیشتر آن در حل مجدد مسایل تماس پیچیده است. به علاوه وقتی‌که ابعاد مدلها بسیار بزرگ باشد تحلیل صریح نسبت به تحلیل ضمنی نیاز به عملیات پردازش کمتری دارد.

اعمال تحلیل دینامیکی صریح در مسایل شبه استاتیکی نیازمند فرضیات ویژه‌ای است. از آنجایی که حل استاتیکی طبق تعریف یک حل برای محاسبه پاسخ‌های دراز مدت است، در اغلب مواقع از نظر محاسباتی برای تحلیل مدل در مقیاس زمانی طبیعی آن کاربرد ندارد و نیازمند تعدادی نمو زمانی کوچک اضافی است. برای به دست آوردن حل اقتصادی لازم است تا زمان بارگذاری مساله به نحوی کوتاه شود. مشکلی که در اینجا ایجاد می‌شود این است که وقتی زمان کوتاه شود، حالت تعادل استاتیکی به حالت تعادل دینامیکی تبدیل می‌شود که در آن نیروهای اینرسی تعیین کننده تر هستند. در اینجا هدف این است که کوتاه ترین زمانی را که در آن نیروهای اینرسی هنوز قابل صرف نظر کردن هستند، به دست آورد.

تحلیلهای شبه استاتیکی را در ABAQUS استاندارد هم می‌توان انجام داد. تحلیل تنش شبه استاتیکی در ABAQUS استاندارد برای تحلیل مسایل خطی و غیرخطی با پاسخ مصالح وابسته به زمان (خزش، تورم، ویسکوالاستیسیته و ویسکوالاستیسیته دو لایه‌ای) وقتی که اثرات اینرسی قابل صرف نظر کردن است، به کار گرفته می‌شود.

ضمیمه : یکای مشخصات مصالح در برنامه ABAQUS

جدول ۱- ضرایب تبدیل عمومی(تا ۵ رقم اعشار)

General conversion factors (to five significant digits)		
Quantity	**U.S. unit**	**SI equivalent**
Length	1 in	0.025400 m
	1 ft	0.30480 m
	1 mile	1609.3 m
Area	1 in^2	0.64516 × 10^{-3} m^2
	1 ft^2	0.092903 m^2
	1 acre	4046.9 m^2
Volume	1 in^3	0.016387 × 10^{-3} m^3
	1 ft^3	0.028317 m^3
	1 US gallon	3.7854 × 10^{-3} m^3

جدول ۲-ضرایب تبدیل برای تحلیل تنش

Conversion factors for stress analysis		
Quantity	**U.S. unit**	**SI equivalent**
Density	1 slug/ft^3 = 1 lbf s^2/ft^4	515.38 kg/m^3
	1 lbf s^2/in^4	10.687 × 10^6 kg/m^3
Energy	1 ft lbf	1.3558 J (N m)
Force	1 lbf	4.4482 N (kg m/s^2)
Mass	1 slug = 1 lbf s^2/ft	14.594 kg (N s^2/m)
	1 lbf s^2/in	175.13 kg
Power	1 ft lbf/s	1.3558 W (N m/s)
Pressure, Stress	1 psi (lbf/in^2)	6894.8 Pa (N/m^2)

جدول ۳-ضرایب تبدیل برای تحلیل انتقال حرارت

Conversion factors for heat transfer analysis		
Quantity	**U.S. unit**	**SI equivalent**
Conductivity	1 Btu/ft hr °F	1.7307 W/m °C
	1 Btu/in hr °F	20.769 W/m °C
Density	1 lbm/in^3	27680. kg/m^3
Energy	1 Btu	1055.1 J
Heat flux density	1 Btu/in^2 hr	454.26 W/m^2
Power	1 Btu/hr	0.29307 W
Specific heat	1 Btu/lbm °F	4186.8 J/kg °C
Temperature	1 °F	5/9 °C
	Temp °F	9/5 × Temp °C + 32°
		9/5 × Temp °K − 459.67°

جدول ۴-ثابتهای مهم

Important constants		
Constant	**U.S. unit**	**SI unit**
Absolute zero	−459.67 °F	−273.15 °C
Acceleration of gravity	32.174 ft/s^2	9.8066 m/s^2
Atmospheric pressure	14.694 psi	0.10132 × 10^6 Pa
Stefan-Boltzmann constant	0.1714 × 10^{-8} Btu/hr ft^2 °R^4	5.669 × 10^{-8} W/m^2 °K^4
	where °R = °F + 459.67	where °K = °C + 273.15

جدول ۵-خصوصیات تقریبی فولاد نرم در دمای اتاق

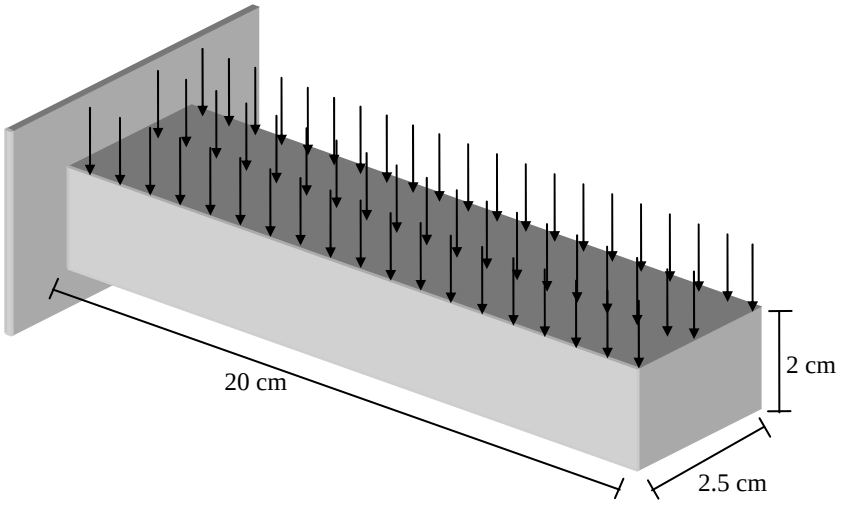
Approximate properties of mild steel at room temperature		
Quantity	**U.S. unit**	**SI unit**
Conductivity	28.9 Btu/ft hr °F	50 W/m °C
	2.4 Btu/in hr °F	
Density	15.13 slug/ft^3 (lbf s^2/ft^4)	7800 kg/m^3
	0.730 × 10^{-3} lbf s^2/in^4	
	0.282 lbm/in^3	
Elastic modulus	30 × 10^6 psi	207 × 10^9 Pa
Specific heat	0.11 Btu/lbm °F	460 J/kg °C
Yield stress	30 × 10^3 psi	207 × 10^6 Pa

فصل دوم

تحلیل تیر طره سه بعدی تحت بار گسترده

۲-۱- صورت مساله

یک تیر طره فولادی با ابعاد ۲/۵×۲ سانتیمتر و طول ۲۰ سانتیمتر را در نظر بگیرید.این تیر تحت بار گسترده یکنواخت به میزان ۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع قرار گرفته است. مدول الاستیسیته فولاد برابر $۲/۱\times۱۰^{۶}$ kg/cm^2 و $\nu = 0.3$ است.



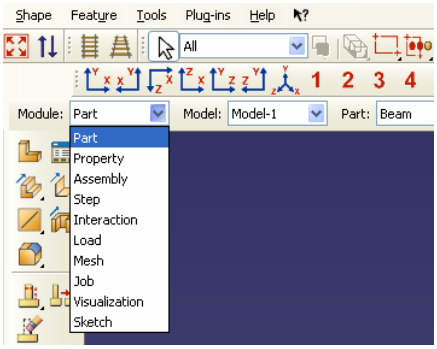
شکل ۲- ۱-شکل تیر طره فولادی و بارگذاری آن

مقدار تنشها و تغییرمکانهای مربوطه را به دست آورید.

۲-۲-درک ماژولهای[1] نرم افزار ABAQUS

ABAQUS/CAE به چند ماژول[1] تقسیم شده است که هر کدام از این ماژولها یکی از زوایای روند مدلسازی را تعریف می‌کند. به عنوان مثال، تعریف هندسه، تعریف مشخصات مصالح و مش بندی. در هر ماژول تعدادی دستور، پارامتر و داده وجود دارد که برای ایجاد فایل ورودی که کاربر به تحلیل گرهای ABAQUS/Standard یا ABAQUS/Explicit وارد می‌کند، به کار می‌رود. برای مثال ماژول Properties برای تعریف مشخصات مصالح و مقاطع به کار می‌رود و ماژول Step برای انتخاب نوع تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماژولی که برای دیدن نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد در ABAQUS/CAE با نام Visualization معرفی شده است.

همانند شکل، برای انتخاب ماژول‌های مختلف، از قسمت زیر Toolbar در قسمت Module، ماژول مورد نظر خود را انتخاب کنید.



شکل ۲- ۲-بخش ماژول‌ها

برای مثال تیر طره، ماژولهای زیر را در ABAQUS/CAE وارد می‌کنید و کارهای زیر را انجام می‌دهید.

ماژول Part

در این ماژول یک پروفیل دو بعدی رسم می‌کنید و عضوی را می‌سازید که نمایانگر تیر طره است.

ماژول Property

مشخصات مصالح و سایر خصوصیات تیر در این ماژول تعریف می‌شود.

ماژول Assembly

[1] Module

در این ماژول مدل نهایی را ساخته و مجموعه‌های مورد نظر که برای مثال می‌تواند شامل نقاط تکیه گاهی عضو باشد را ایجاد می‌کنید.

ماژول Step

در این ماژول نوع تحلیل و خروجی‌های مورد نظر را تعریف می‌کنید.

ماژول Load

در این ماژول بارها و شرایط مرزی را برای تیرطره تعریف می‌کنید.

ماژول Mesh

در این ماژول مدل ساخته شده را مش بندی می‌کنید.

ماژول Job

در این ماژول یک پروژه تعریف می‌کنید و برای تحلیل ثبت می‌کنید.

ماژول Visualization

در این ماژول نتایج حاصل از تحلیل پروژه را مشاهده می‌کنید.

اگرچه لیست ماژولها که در زیر منوی نوار ابزار قرار دارد به ترتیب منطقی قرار داده شده، می‌توانید در صورت نیاز بین ماژولها بدون رعایت ترتیب قرار داده شده در نرم افزار، جلو و عقب بروید. با این حال، دستور العمل‌های بدیهی همواره باید رعایت شود. برای مثال نمی‌توانید برای عضوی که تعریف نکرده اید مشخصات مصالح اختصاص دهید.

یک مدل کامل شامل تمامی مواردی است که برای ساختن فایل ورودی برای نرم افزار ABAQUS و انجام تحلیل مورد نیاز است. نرم افزار ABAQUS/CAE از یک پایگاه داده برای ذخیره کردن مدل شما استفاده می‌کند. وقتی که شما ABAQUS/CAE را باز می‌کنید، پنجره گفتگوی Start Session به شما اجازه می‌دهد تا یک پروژه جدید با پایگاه داده خالی در حافظه آن بسازید. بعد از شروع کار، شما می‌توانید مدل خود را با استفاده از گزینه File/Save در منوی اصلی ذخیره کنید. برای باز کردن مدلی که قبلا ساخته اید می‌توانید از گزینه File/Open در منوی اصلی استفاده کنید.

۲-۳-استفاده از راهنمای (Help) نرم افزار

ممکن است بخواهید اطلاعات بیشتری درباره ABAQUS/CAE در مراحل مختلفی از کار کسب نمایید. سیستم راهنمای حساس به متن به شما کمک می‌کند تا اطلاعات مربوطه را به سرعت و سادگی به دست آورید.

برای استفاده از راهنمای حساس به متن به صورت ذیل عمل نمایید :

۱. از نوار منوی اصلی ABAQUS/CAE گزینه Help و سپس On Context را انتخاب کنید. با این کار نمایشگر موس به صورت علامت سوال درمی‌آید.

۲. بر روی یکی از قسمتهای صفحه اصلی به جز حاشیه آن کلیک کنید. بعد از وقفه‌ای کوتاه پنجره‌ای باز می‌شود که حاوی اطلاعاتی درباره قسمتی است که انتخاب کرده اید. تقاضاهای بعدی برای راهنمایی، دیگر ایجاد وقفه نمی‌کند، زیرا سرور در پس زمینه در حال اجراست و آماده ارایه راهنمایی‌های دیگر در مورد موضوعات مورد نیاز است.

۳. در پایین پنجره Help در بخش Find می‌توانید هر کلمه‌ای را که درباره آن به راهنمایی نیاز دارید، نوشته و دکمه Enter را فشار دهید.

تمامی مطالبی که کلمه مورد نظر شما در آنها وجود داشته باشد، با تغییر رنگ مشخص می‌شود. شما همچنین می‌توانید یک جمله را جستجو کنید و سیستم راهنما به دقت تمام مواردی را که حاوی جمله جستجو شده است، مشخص می‌کند. برای مثال جستجو درباره کلمه "Element" نتایج متفاوتی نسبت به حالتی که "Elements" را جستجو کرده اید، ارایه می‌کند.

۴. به پایین پنجره Help بروید. در زیر بخش موضوع فهرستی از مواردی که با رنگ آبی و به صورت زیر خط‌دار نمایش داده شده اند ظاهر می‌شود. با کلیک بر روی هر کدام از این موارد، بخش مربوط به آن مورد در راهنمای ABAQUS/CAE نمایش داده می‌شود.

۵. بر روی یکی از موارد فوق کلیک کنید. یک پنجره اینترنتی ظاهر می‌شود. نسخه راهنمای ABAQUS/CAE در سمت راس پنجره قابل دسترسی است. در این پنجره بر روی موردی بروید که انتخاب کرده بودید. فهرستی در بخش سمت چپ صفحه وجود دارد و بخشی نیز برای یافتن موضوع مورد نظر در پایین صفحه قرار دارد.

۶. بر روی یکی از این موارد موجود در فهرست کلیک کنید. بخش سمت راست پنجره برای نشان دادن موردی که انتخاب کرده اید تغییر می‌کند.

۷. از نوار منوی اصلی گزینه File و سپس Close View را انتخاب کنید. پنجره Help بسته می‌شود.

۸. در گوشه بالا و سمت چپ پنجره راهنمای حساس به متن، بر روی گزینه Close دوبار کلیک کنید. پنجره Help بسته می‌شود.

به نکات کلیدی ذیل توجه نمایید:

- راهنمای حساس به متن برای تمامی موارد موجود در پنجره اصلی ABAQUS/CAE و تمامی پنجره‌های محاوره‌ای [۲] قابل دسترسی است.
- شما می‌توانید برای کسب اطلاعات از نجره Help تکی یا راهنمای اینترنتی استفاده کنید.
- پنجره اینترنتی برای راحتی کار امکان استفاده از جدول لینکها را فراهم کرده است.

[2] Dialog Box

۲-۴-مراحل تحلیل

۲- ۴-۱- ساختن یک عضو

برای ساختن اعضایی که بعدا برای تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند از ماژول Part استفاده می‌شود. شما برای ساختن اعضا می‌توانید اعضا را در خود برنامه ABAQUS بسازید و یا اعضا را در نرم افزار دیگری ساخته و به صورت شکل هندسی یا شکل مش زده شده در ABAQUS وارد نمایید.

برای ساختن تیر طره، در ابتدا یک عضو سه بعدی تغییرشکل پذیر جامد می‌سازید. این کار را با کشیدن یک پروفیل دو بعدی از تیر (یک مستطیل) و بعد دادن به آن در محور سوم انجام می‌دهید. وقتی که می‌خواهید عضوی را بسازید ABAQUS به صورت خودکار وارد ماژول رسام[۳] می‌شود.

ABAQUS/CAE اغلب پیغام کوتاهی در prompt area (پنجره پایین صفحه) نمایش می‌دهد که انتظارات برنامه از کاربر را در هر مرحله نشان می‌دهد.

بر روی دکمه Cancel کلیک کنید تا عمل فعلی را لغو نمایید. بر روی دکمه Backup کلیک کنید تا گام فعلی را لغو نموده و به مرحله قبل بازگردید.

۱. برنامه ABAQUS/CAE را اجرا کنید.

۲. از پنجره محاوره‌ای شروع گزینه Start Tutorial را انتخاب کنید.

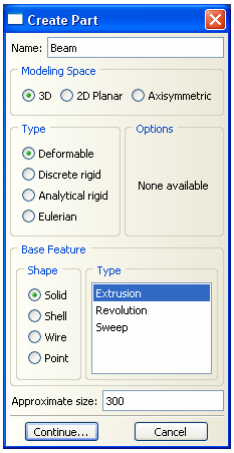
۳. از لیست ماژولها که در زیر نوار ابزار قرار دارد، ماژول Part را انتخاب کنید. نمایشگر موس تا هنگام بالا آمدن ماژول Part تبدیل به یک ساعت شنی می‌شود. با بالا آمدن ماژول Part منوی ابزار مربوط به این ماژول در سمت چپ پنجره اصلی ABAQUS/CAE ظاهر می‌شود. این نوار ابزار مجموعه‌ای از آیکونها[۴] را در خود جای داده که به کاربران حرفه‌ای اجازه می‌دهد تا در نوار منوی اصلی برای انتخاب منوها سریعتر عمل کنند. با انتخاب هر ماژول، مجموعه ابزارهای مختص به آن ماژول در جعبه ابزار ظاهر می‌شود. وقتی که گزینه‌ای را از نوار منوی اصلی انتخاب می‌کنید، ابزار متناظر با آن در جعبه ابزار ماژول با رنگ دیگری مشخص می‌شود تا شما محل آن آیکون را در جعبه ابزار ماژول یاد بگیرید.

۴. از نوار منوی اصلی گزینه Part و سپس Create را انتخاب کنید تا عضو جدیدی بسازید. پنجره محاوره‌ای Create Part ظاهر می‌شود. ABAQUS/CAE متنی را نیز در prompt area در پایین پنجره اصلی ABAQUS نمایش می‌دهد تا شما را در طی مراحل مدلسازی راهنمایی نماید. برای نام‌گذاری عضو، برای انتخاب مدلسازی، نوع و مشخصات پایه از پنجره محاوره‌ای Create Part استفاده می‌شود. این قابلیت نیز وجود دارد که در صورت نیاز، بعد از

[3] Sketcher
[4] Icon

ساختن یک عضو آن را ویرایش نموده و یا تغییرنام دهید. ولی نمی‌توانید فضای مدلسازی، نوع و مشخصات پایه آن را تغییر دهید.

۵. اسم عضو را Beam بگذارید. تنظیمات پیش فرض را که عبارتند از : سه بعدی بودن، جسم تغییرشکل‌پذیر، مشخصات پایه‌ای Solid و نوع Extrusion است تغییر ندهید. اندازه تقریبی برابر ۳۰۰ وارد کنید.



شکل ۲- ۳-تنظیمات تعریف یک عضو

۶. بر روی Continue کلیک کنید تا از جعبه محاوره‌ای Create Part خارج شوید.

نرم افزار ABAQUS/CAE به صورت خودکار وارد محیط رسم می‌شود. همچنین جعبه ابزار رسم در سمت چپ پنجره اصلی و شبکه‌های رسم در محیط نمایش ظاهر می‌شود. محیط رسم حاوی ابزارهای اصلی است که به شما اجازه می‌دهد پروفیل دوبعدی از عضو مورد نظر رسم کنید. نرم افزار ABAQUS/CAE وقتی که عضوی را می‌سازید یا ویرایش می‌کنید وارد محیط رسم می‌شود.

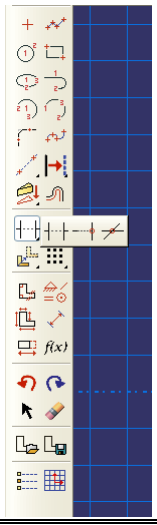
نکته : اگر نمایشگر موس را برای چند لحظه بر روی یکی از ابزارها در نوار ابزار رسم نگه دارید، پنجره کوچکی نمایان می‌شود که توضیح مختصری درباره آن ابزار ارایه می‌کند.

نکات زیر در رسم هندسه مورد نظر به شما کمک می‌کند :

- شبکه رسم به شما کمک می‌کند که نمایشگر موس را در نقاط دلخواه حرکت دهید.
- خطوط خط چین محورهای X و Y را مشخص می‌کند که در مبدا مختصات با هم تقاطع دارند.

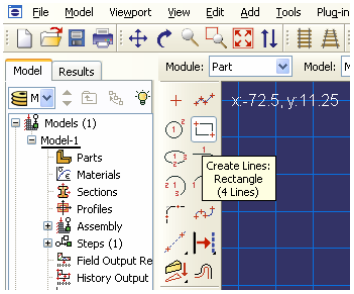
- وقتی که یک گزینه رسم را انتخاب می‌کنید، ABAQUS/CAE مختصات محل قرارگیری نمایشگر موس را در گوشه بالا و سمت چپ نمایش می‌دهد.

نکته : به مثلث سیاهرنگ کوچکی که در گوشه بعضی از آیکونهای نوار ابزار قرار دارد توجه کنید. این مثلثها نشان می‌دهند که در زیر این آیکون، آیکونهای هم خانواده دیگری نیز وجود دارد. در گوشه بالا و سمت راست جعبه ابزار رسم بر روی آیکون Auto-Trim کلیک کنید و برای چند لحظه دکمه موس را نگه دارید. همانطور که در شکل زیر نشان داده شده آیکونهای اضافی ظاهر خواهند شد.



شکل ۲- ۴-نمایش دادن آیکونهای پنهان

۷. برای رسم پروفیل تیر طره، باید یک مستطیل رسم کنید. برای انتخاب ابزار رسم مستطیل، بر روی آیکون Create Line : Rectangle کلیک کنید.



شکل ۲- ۵-آیکون رسام مستطیل

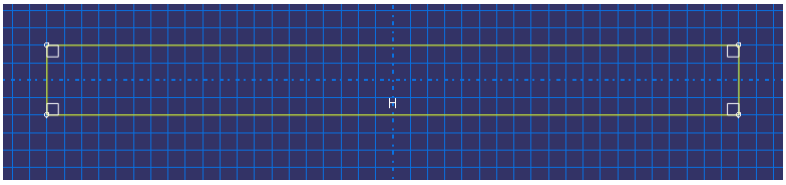
۸. در محیط رسم، مستطیل را با انجام مراحل ذیل رسم کنید.

الف) توجه کنید که وقتی نمایشگر ماوس را بر روی محیط رسم حرکت می‌دهید، ABAQUS/CAE مختصات نمایشگر را در قسمت بالاو سمت چپ نشان می‌دهد.

ب) در صفحه رسم یکی از گوشه‌های مستطیل را با مختصات (-100,10) رسم کنید.

ج) نمایشگر موس را به سمت گوشه مقابل مستطیل با مختصات (100,-10) انتقال دهید تا مستطیل ۴۰ خانه از شبکه در طول و ۴ خانه از شبکه در ارتفاع را پوشش دهد.

د) بر روی صفحه رسم راست کلیک نموده و گزینه Cancel Procedure را انتخاب کنید.



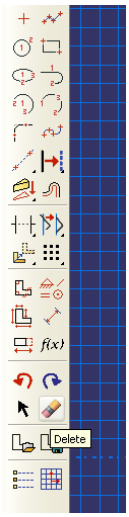
شکل ۲- ۶-مستطیل رسم شده

نکته: در صورتی که در هنگام رسم دچار اشتباه شدید و هندسه اشتباهی را رسم نمودید، برای پاک کردن آن هندسه می‌توانید به ترتیب زیر عمل نمایید:

الف) از جعبه ابزار رسم، گزینه Delete را انتخاب کنید.

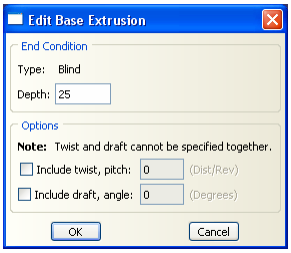
ب) در صفحه رسم هندسه اشتباه رسم شده را انتخاب کنید. نرم افزار ABAQUS/CAE هندسه انتخاب شده را با رنگ قرمز نمایش می‌دهد.

ج) در منوی پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید و سپس بر روی علامت ضربدر قرمز در پایین صفحه کلیک کنید.

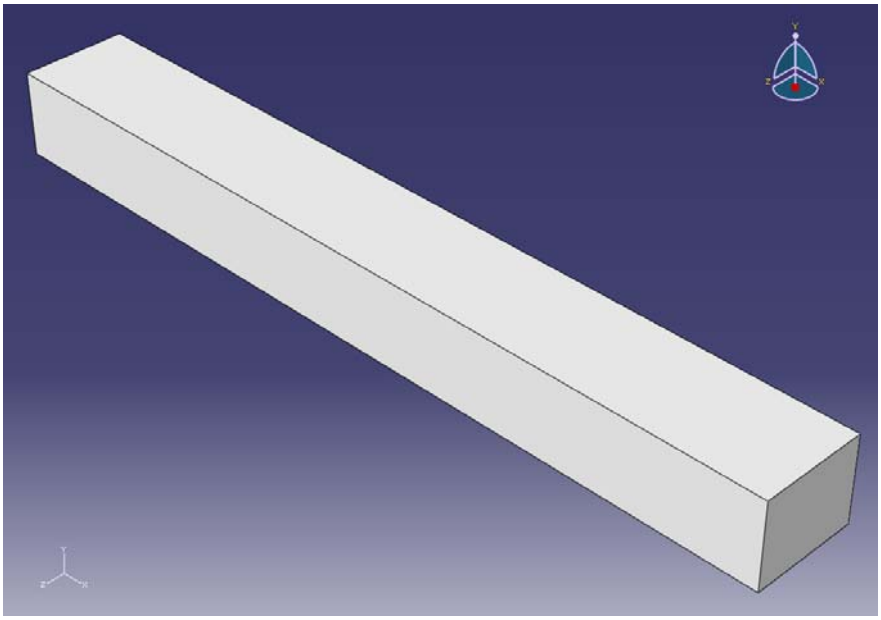


شکل ۲- ۷-آیکون پاک کن

۹. در نوار پایین صفحه جهت خروج از حالت رسم گزینه Done را انتخاب کنید.
۱۰. از آنجا که شما نوع عضو را Extrusion انتخاب نموده اید، پنجره‌ای تحت عنوان Edit Base Extrusion باز می‌شود که عمق عضو را از شما دریافت خواهد کرد. عمق تیر را برابر ۲۵ وارد نمایید و بر روی Ok در پنجره باز شده کلیک کنید.
۱۱. نرم افزار ABAQUS/CAE هندسه مدل را رسم می‌کند.
۱۲. برای پیشگیری از بروز خطا در شناسایی محورهای مختصات حین ساختن مدل ABAQUS/CAE محورهای مختصات را در پایین و سمت چپ صفحه نمایش می‌دهد.



شکل ۲- ۸-تعریف ضخامت عضو


شکل ۲- ۹-شکل عضو تعریف شده

۱۳. قبل از اینکه این فصل را ادامه دهید ، مدل خود را در فایل پایگاه داده مدل ذخیره کنید.

الف) از نوار منوی اصلی گزینه File و سپس Save را کلیک کنید. در این حالت جعبه محاوره‌ای Save Model Database As ظاهر می‌شود.
ب) برای پایگاه داده مدل جدید در قسمت Selection یک اسم انتخاب کنید و بر روی OK کلیک کنید. در اینجا لازم نیست که پسوند فایل را مشخص کنید. برنامه ABAQUS/CAE به طور خودکار پسوند cae. را به انتهای نام فایل اضافه می‌کند.
برنامه ABAQUS/CAE پایگاه داده مدل را در یک فایل جدید ذخیره می‌کند و به ماژول Part که محیط قبل از ذخیره است، بر می‌گردد. در نوار عنوان در پنجره ABAQUS/CAE مسیر و نام فایل مدل نمایش داده می‌شود. شما باید در بازه‌های زمانی منظمی فایل را ذخیره کنید(برای مثال وقتی که از یک ماژول به ماژول دیگری می‌روید).

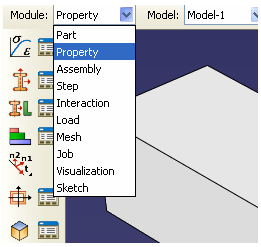
به نکات کلیدی زیر توجه کنید :

- از ماژول Part برای ساختن اعضا استفاده می‌شود. وقتی که یک عضو را می‌سازید. برای آن اسم انتخاب می‌کنید و نوع آن، فضای مدلسازی، ویژگیهای پایه‌ای و اندازه تقریبی را مشخص می‌کنید.
- ABAQUS/CAE در هنگام ساختن یا ویرایش اعضا به طور خودکار وارد ماژول Sketch می‌شود. از Sketch برای ترسیم سطح مقطع دو بعدی عضو استفاده می‌شود.
- بر روی آیکونهای نوار ابزار کلیک کرده و دکمه موس را نگه دارید تا آیکونهای مخفی مشخص شوند.

۲-۴-۲- تعریف مصالح برای عضو مورد نظر

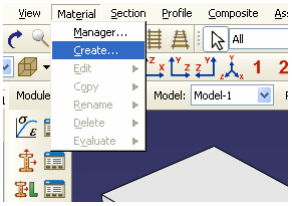
از ماژول Property برای تعریف نوع مصالح و تعیین مشخصات آن استفاده می‌شود.
برای تیر طره در این فصل لازم است یک مصالح الاستیک خطی ساده با مدول الاستیسیته ۱۰۶ ×۲/۱ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ضریب پواسون ۰/۳ تعریف کنید. برای تعریف مصالح به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. از لیست ماژولها در زیر نوار ابزار ماژول Property را انتخاب کنید. تا جعبه ابزار مربوط به این ماژول ظاهر شود.



شکل ۲- ۱۰- انتخاب ماژول Properties

۲. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Material و سپس Create را انتخاب کنید. با این کار جعبه محاوره‌ای Create Material ظاهر می‌شود.



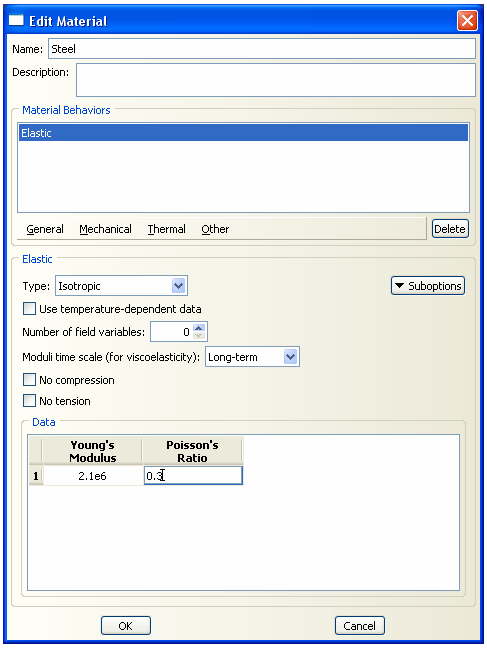
شکل ۲- ۱۱- تعریف مصالح جدید

۳. برای مصالح جدید نام انتخاب کنید. (Steel) . پنجره Edit Material ظاهر می‌شود.

۴. در پنجره Edit Material ، گزینه Mechanical را انتخاب کرده و به ترتیب گزینه‌های Elasticity و Elastic را انتخاب نمایید. وقتی که شما یک گزینه مصالح را انتخاب می‌کنید، قسمتی برای وارد کردن داده‌های مربوط به آن در زیر منو ظاهر می‌شود.

۵. مقدار مدول یانگ (الاستیسیته) را برابر $۲/۱ \times ۱۰^{۶}$ و ضریب پواسون را برابر ۰/۳ قرار دهید و بر روی Ok کلیک نمایید.

توجه: در نرم افزار ABAQUS سیستم واحد از پیش تعیین شده‌ای وجود ندارد و مسئولیت انتخاب صحیح و متناسب واحدها بر عهده کاربر است.

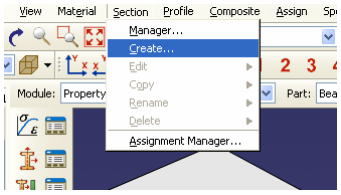


شکل ۲- ۱۲- تعریف خصوصیات الاستیک

۲-۴-۳- تعریف سطح مقطع همگن برای عضو سه بعدی

سطح مقطع همگن برای عضو سه بعدی ساده ترین حالتی است که می‌توان تعریف کرد. در این حالت تنها نوع ماده و ضخامت تنش مسطح/کرنش مسطح باید تعریف شود. برای تعریف سطح مقطع همگن برای عضو سه بعدی به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Section و سپس Create را انتخاب کنید. پنجره محاوره‌ای Create Section ظاهر می‌شود.



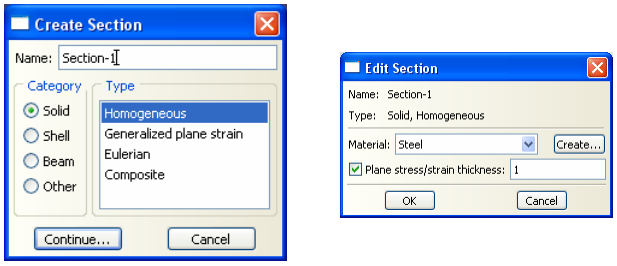
شکل ۲- ۱۳- ساختن سطح مقطع جدید

۲. در پنجره باز شده مقطع مورد نظر را به نام Section-1 نامگذاری کرده و category آن را از نوع Solid انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید. پنجره محاوره‌ای Edit Section باز می‌شود.

۴. در پنجره محاوره‌ای Edit Section ، مقدار Plane Stress/Strain Thickness را برابر ۱ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (Steel) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۲- ۱۴- نحوه تعریف سطح مقطع جدید

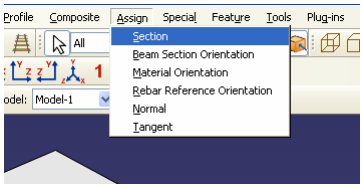
به نکات کلیدی زیر توجه کنید:

- می‌توانید از ماژول Property برای ساختن سطح مقطع و تعریف دسته و نوع آن (به ترتیب سه بعدی و همگن) استفاده نمایید.
- از آنجایی که در تعریف سطح مقطع به نوع مصالح احتیاج داریم، مشخصات مصالح باید قبلا تعریف شده باشد.

۲-۴-۴- اختصاص مقطع تعریف شده به عضو تیر طره ای

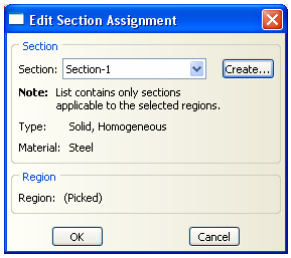
برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۱. از نوار منوی اصلی گزینه Assign و سپس Section را انتخاب کنید. ABAQUS/CAE در پایین پنجره گرافیکی ناحیه‌ای برای راهنمایی کاربر در حین انجام کار اختصاص داده که در آن خطوط نوشتاری ظاهر می‌شود.



شکل ۲- ۱۵- اختصاص سطح مقطع تعریف شده

۲. در پنجره گرافیکی نقطه دلخواه از تیر مورد نظر را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۳. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-1) را انتخاب نمایید.
۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۲- ۱۶- پنجره اختصاص سطح مقطع به عضو

به نکات کلیدی زیر توجه کنید:

- وقتی که مقطعی را به یک عضو اختصاص می‌دهید، عضو مشخصات مصالح آن سطح مقطع را کسب می‌کند.

۲-۴-۵- مونتاژ کردن[5] یک مدل

هر عضوی که می‌سازید در سیستم مختصات مربوط به آن عضو قرار داده می‌شود و از سایر اعضای مدل مستقل است. از ماژول Assembly برای تعریف هندسه مدل نهایی استفاده

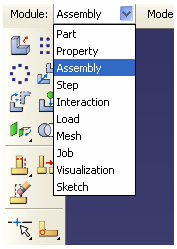
[5] Assemble

می‌شود. که این کار با ایجاد اعضای یک عضو و سپس در کنار هم قرار دادن این اعضا در سیستم مختصات کلی انجام می‌شود. اگر چه ممکن است یک مدل از قسمتهای متفاوتی ساخته شده باشد، تنها دارای یک Assembly است.

برای تیر طره مورد نظر در این فصل تنها یک عضو ساخته می‌شود. برنامه ABAQUS/CAE عضو ساخته شده را به گونه‌ای قرار می‌دهد که مبدا مختصاتی که در ماژول Sketch برای ساختن عضو مورد استفاده قرار گرفته بود، در ماژول Assembly نیز در محور مختصات قرار گیرد.

به منظور مونتاژ کردن مدل به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. از لیست ماژولها در زیر نوار ابزار گزینه Assembly را انتخاب نمایید.

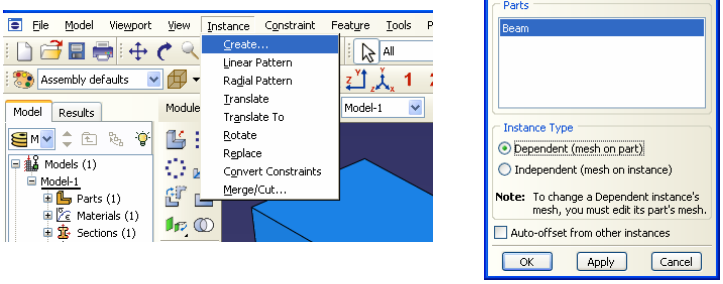


شکل ۲- ۱۷- انتخاب ماژول Assembly

۲. از نوار منوی اصلی گزینه Instances و سپس Create را انتخاب کنید. پنجره محاوره‌ای Create Instances ظاهر می‌شود.

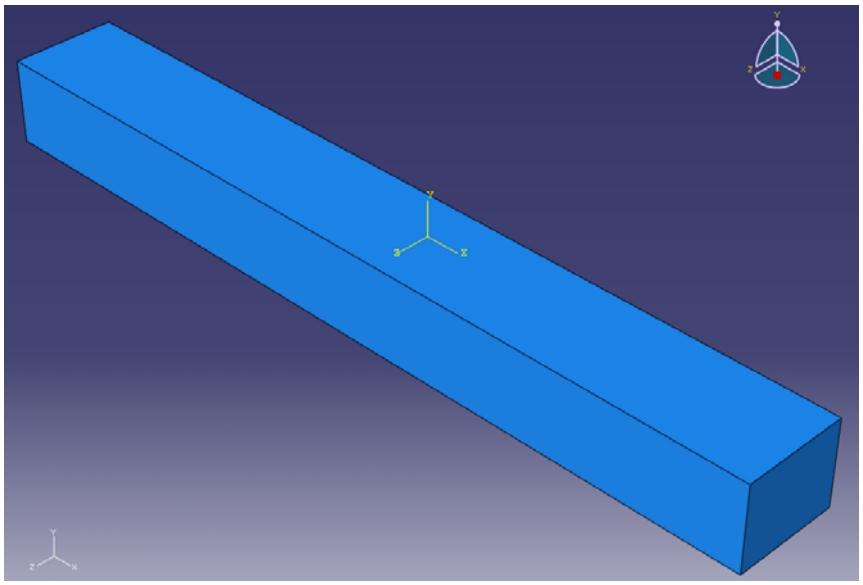
۳. در این جعبه محاوره‌ای Beam را انتخاب کنید.

۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۲- ۱۸- وارد کردن عضو ساخته شده

برنامه ABAQUS/CAE نمونه‌ای از تیر طره را ساخته و آن را با استفاده از یک جهتگیری فضایی نمایش می‌دهد. در این فصل تنها نمونه تیر است که Assembly را تعریف می‌کند. سه خط کوچک عمود بر هم که در پنجره گرافیکی نمایش داده می‌شود نشانگر محور مختصات و سیستم مختصات کلی است.



شکل ۲- ۱۹- شکل عضو تعریف شده

در نوار ابزار بالای پنجره بر روی ابزار دوران دهنده (یکی از ابزارهای مشاهده ای) کلیک کنید وقتی که موس را بر روی صفحه نمایش حرکت می‌دهید، یک دایره ظاهر می‌شود. بر روی صفحه کلیک کرده، دکمه موس را نگه دارید حرکت دهید تا مدل دوران کند. کلید Esc در صفحه کلید را فشار دهید تا از این ابزار خارج شوید.

ابزارهای مشاهده‌ای متعدد دیگری (انتقال در صفحه، ابزارهای‌مختلف بزرگنمایی و کوچک نمایی) نیز در نوار ابزار موجود است تا در بررسی مدل به کاربر کمک کند.

به نکات کلیدی زیر توجه کنید:

- هر مدل تنها دارای یک Assembly است . Assembly از عضوهایی تشکیل شده که در کنار هم در یک سیستم مختصات کلی چیده شده است.
- ابزارهای مشاهده‌ای در نوار ابزار موجود هستند تا به کاربر در بررسی مدل ساخته شده کمک کنند.

۲-۴-۶- تعریف گامهای تحلیل

اکنون که عضو تیر را ساخته اید می‌توانید برای تعریف گامهای تحلیل به ماژول Step بروید. برای تیر طره این مساله، تحلیل شامل دو گام خواهد بود :

- گام اولیه که در آن شرایط تکیه گاهی به مدل اعمال می‌شود. دراین مثال شرایط تکیه گاهی گیردار بودن یکی از دو انتهای تیر است.

- گام دوم یک تحلیل استاتیکی عمومی است که در آن بار فشاری در بالای بال فوقانی تیر اعمال می‌شود.

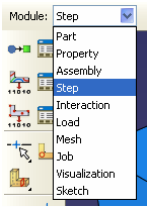
نرم افزار ABAQUS/CAE گام اولیه را به صورت خودکار ایجاد می‌کند ولی شما باید برای گامهای تحلیل دیگر از ماژول Step استفاده کنید. همچنین ماژول Step به شما اجازه می‌دهد تا خروجی‌های مورد نیاز خود را در هر گام تحلیل مشخص کنید.

برای ساختن گام تحلیل استاتیکی به ترتیب ذیل عمل کنید.

۱. از لیست ماژولها در زیر نوار ابزار گزینه Step را انتخاب نمایید.
۲. از نوار منوی اصلی گزینه Step و سپس Create را انتخاب کنید.

با این کار پنجره Create Step ظاهر می‌شود که در آن تمامی انواع تحلیل قابل مشاهده است. به طور پیش فرض نام Step جدیدی که می‌سازید Step-1 قرار داده شده است. تحلیل‌هایی که در قسمت General قرار دارند تحلیل‌هایی هستند که می‌توانند پاسخ خطی و غیرخطی سازه را محاسبه کنند.

۳. Step را با نام Beamload نامگذاری کنید.

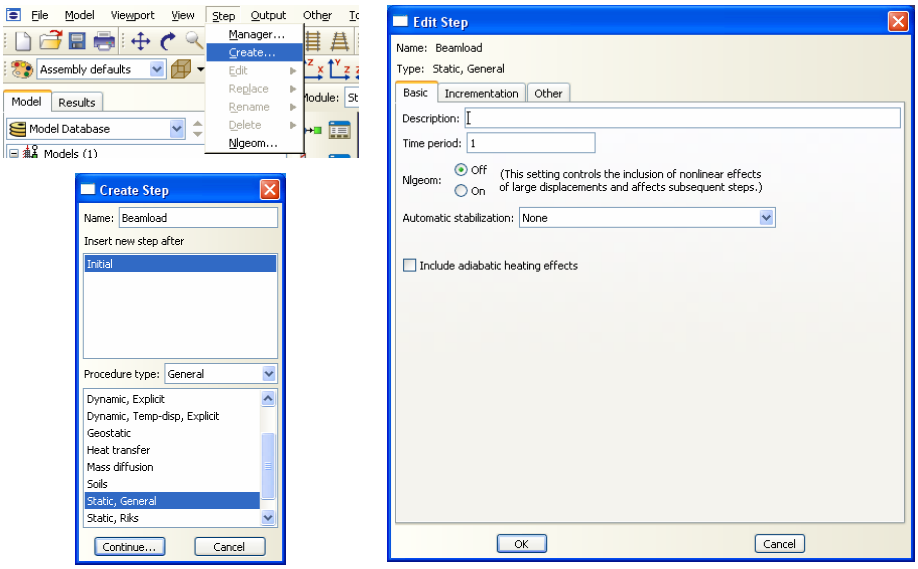


شکل ۲- ۲۰- انتخاب ماژول Step

۴. در قسمت procedure گزینه Generalرا انتخاب کنید و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Static-General را انتخاب کنید.
۵. بر روی Continue کلیک کنید.
۶. در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.
۷. بر روی Ok کلیک کنید.

به نکات کلیدی زیر توجه کنید:

- ABAQUS/CAE گام تحلیل اولیه را به صورت خودکار می‌سازد ولی شما باید برای گامهای تحلیل دیگر از ماژول Step استفاده کنید.
- برای تعریف هر گام تحلیل از ویرایشگر Step استفاده می‌شود.



شکل ۲- ۲۱- تعریف مراحل تحلیل

۲-۴-۷- تعریف اطلاعات خروجی مورد نظر

وقتی که یک Job را برای تحلیل ثبت می‌کنید، نرم افزار ABAQUS/CAE نتایج تحلیل را در پایگاه داده خروجی ذخیره می‌کند. وقتی که یک گام تحلیل می‌سازید، ABAQUS/CAE خروجی‌های پیش فرض خود را برای این گام در نظر می‌گیرد. برای هر گام تحلیل ساخته شده، شما می‌توانید از Field Output Requests Manager و History Output Requests Manager برای اهداف زیر استفاده نمایید:

- انتخاب اطلاعات خروجی که ABAQUS در پایگاه داده خروجی ذخیره می‌کند.
- انتخاب نقاطی از سطح مقطع که ABAQUS داده‌های خروجی را برای آنها ذخیره می‌کند.
- انتخاب نواحی‌ای از مدل که ABAQUS داده‌های خروجی را برای آن ذخیره می‌کند.
- تغییر فراوانی ذخیره داده‌ها

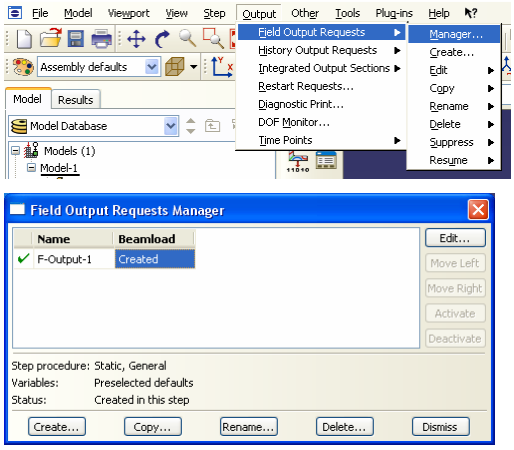
برای تیر طره این مثال مقادیر پیش فرض برنامه را قبول کنید.

برای بررسی اطلاعات خروجی درخواست شده به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱. در نوار منوی اصلی به ترتیب گزینه‌هایOutput، Field Output Requests و Manager را انتخاب کنید.

ABAQUS/CAE پنجره Field Output Requests Manager را نمایش می‌دهد. این پنجره فهرست اطلاعات خروجی درخواست شده را به ترتیب حروف الفبا در سمت چپ پنجره

نمایش می‌دهد. اسامی تمامی گامهای تحلیل در بالای این پنجره به ترتیب اجرا نشان داده می‌شود. جدولی که از این دو فهرست ساخته می‌شود وضعیت هر اطلاعات خروجی درخواست شده را در هر گام تحلیل نشان می‌دهد.

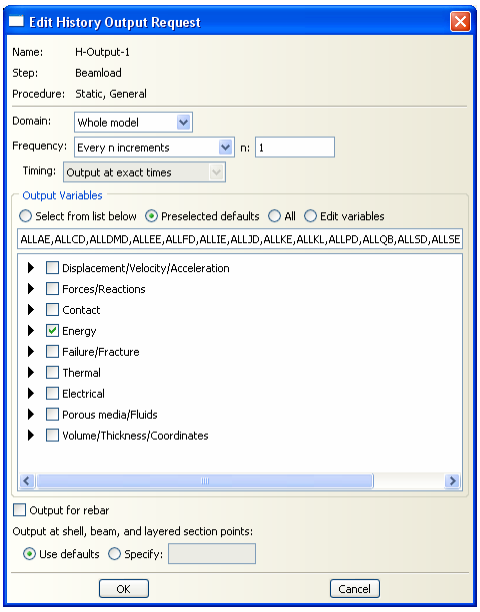


شکل ۲- ۲۲- اطلاعات خروجی درخواستی

۲. در این پنجره می‌توانید اطلاعات خروجی‌ای را که ABAQUS/CAE برای Step ساخته شده به صورت پیش فرض درنظر می‌گیرد مشاهده کنید. در این پنجره بر روی گزینه Created کلیک کنید. اطلاعات پیش فرض مربوط به این دسته از اطلاعات خروجی نمایش داده می‌شود. این اطلاعات شامل موارد ذیل می‌باشد :

- نوع روند تحلیل انجام شده در این Step
- فهرست متغیرهای خروجی درخواست شده
- وضعیت اطلاعات خروجی

۳. در پنجره Field Output Requests Manager بر روی گزینه Edit کلیک کنید تا اطلاعات دقیق تری درباره متغیرهای خروجی مشاهده کنید. با کلیک بر روی این گزینه پنجره Edit History Output Request گشوده می‌شود. در بخش Output Variables فهرستی از تمامی متغیرهایی که به عنوان خروجی قابل تعریف هستند ارایه شده است. بعد از تغییر دادن اطلاعات خروجی همیشه می‌توان با کلیک بر روی گزینه Pre-selected defaults می‌توان اطلاعات خروجی را به حالت پیش فرض برگرداند.



شکل ۲- ۲۳- اطلاعات خروجی قابل درخواست

۴. بر روی فلش سیاه رنگ کنار هر متغیر خروجی کلیک کنید تا جزییات قابل درخواست برای آن متغیر به طور کامل نشان داده شود. مربع کنار هر دسته از اطلاعات خروجی به شما اجازه می‌دهد تا کلیه متغیرهای مربوط به آن دسته را به عنوان اطلاعات خروجی تعریف کنید.

۵. از آنجایی که در این مثال نیازی به تغییرمتغیرهای خروجی جدید نیست، بر روی Cancel کلیک کنید تا Editor مربوط به اطلاعات خروجی بسته شود.

۶. بر روی گزینه Dismiss کلیک کنید تا پنجره Field Output Requests Manager بسته شود.

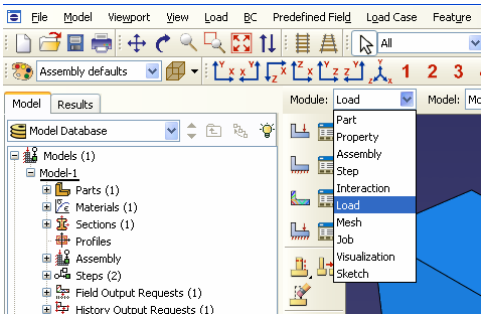
به نکته کلیدی زیر توجه کنید:
به تفاوت گزینه‌های Dismiss و Cancel توجه کنید. در پنجره‌هایی که گزینه Dismiss وجود دارد امکان ویرایش اطلاعات وجود ندارد. برای مثال در پنجره Field Output Requests Manager امکان ویرایش اطلاعات وجود ندارد و تنها می‌توان اطلاعات تعریف شده را مشاهده نمود. بنابراین در این پنجره گزینه Dismiss وجود دارد. برای ویرایش اطلاعات باید به پنجره Edit History Output Request مراجعه نمود. در این پنجره گزینه Cancel وجود دارد. با انتخاب این گزینه تغییرات اعمال شده ذخیره نخواهد شد.

۲-۴-۸- تعریف بارگذاری و شرایط مرزی

شرایط مرزی و بارهای قابل اعمال به نوع گام تحلیل تعریف شده وابسته هستند. در این مرحله که گامهای تحلیل تعریف شده اند، برای تعریف شرایط از ماژول Load به صورت ذیل استفاده کنید.

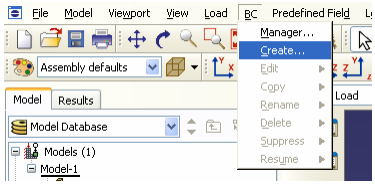
- اولین شرط مرزی این است که درجه آزادی انتقالی یکی از دو انتهای تیر طره در هر سه جهت مقید شده است. این شرط مرزی در گام Initial تعریف می‌شود.
- بارگذاری تیر عبارت است از باری که بر وجه بالایی تیر اعمال می‌شود. این بار در گام تحلیل دوم اعمال خواهد شد.

۱. برای تعریف تکیه گاه‌ها و بارگذاری در بخش انتخاب ماژول ، Load را انتخاب کنید.



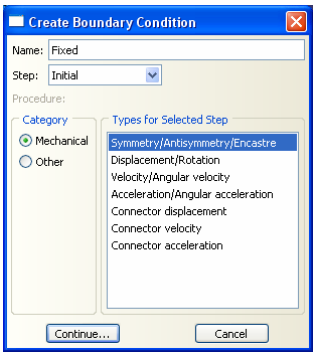
شکل ۲- ۲۴- انتخاب ماژول Load

۲. از نوار منوی اصلی گزینه BC و سپس Create را انتخاب کنید. با این کار پنجره Create Boundary Condition باز می‌شود.



شکل ۲- ۲۵- نحوه تعریف یک تکیه گاه

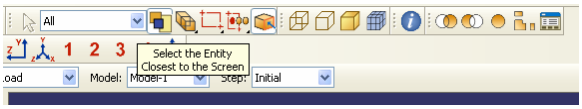
۳. شرط مرزی مربوطه را Fixed نامگذاری کنید و گام تحلیل Initial را به عنوان گام تحلیلی که در آن شرط مرزی اعمال می‌شود انتخاب کنید.
۴. در قسمت تعریف Category گزینه Mechanical را انتخاب کنید.
۵. و در قسمت type گزینه Symmetry/Antisymmetry/Encastre را انتخاب کنید.
۶. بر روی Continue کلیک کنید.



شکل ۲- ۲۶- مراحل تعریف یک تکیه گاه

به طور پیش فرض وقتی که در پنجره گرافیکی بر روی نقطه‌ای کلیک می‌کنید که در آن پیش از یک سطح از مدل وجود دارد، ABAQUS/CAE نزدیکترین سطح به سمت کاربر را انتخاب می‌کند. برای انتخاب وجه سمت چپ تیر باید این پیش فرض را غیر فعال کنید. برای این کار به ترتیب زیر عمل کنید.

الف) در نوار بالای صفحه بر روی آیکون Toggle Off The Closest Object Tool کلیک کنید.



شکل ۲- ۲۷- تغییر پیش فرض انتخاب المانها در پنجره گرافیکی

ب) بر روی وجه سمت چپ تیر طره کلیک نمایید.

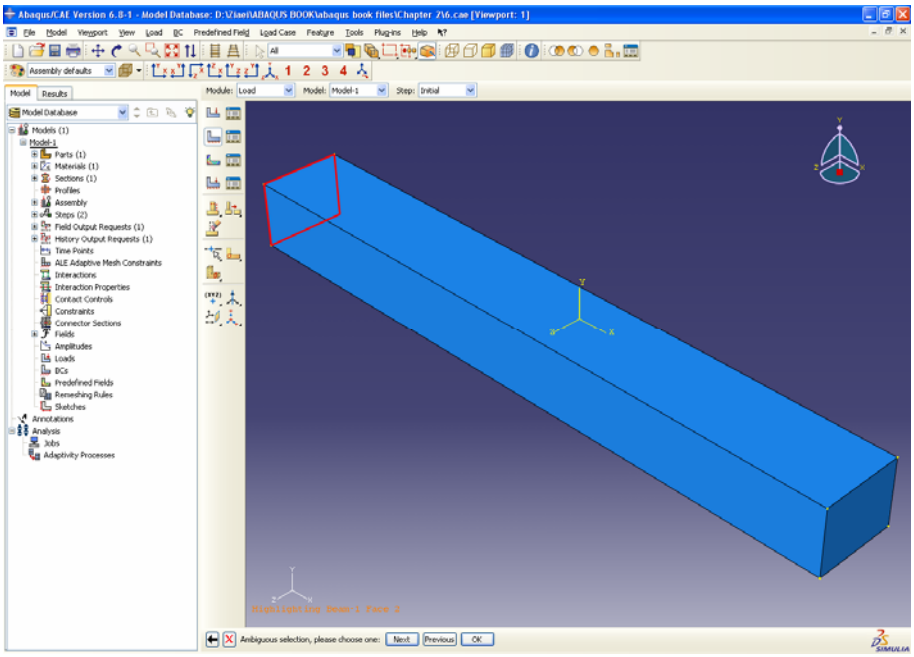
ج) با تکرار کلیک بر روی گزینه‌های Next و Previous ، وجه مورد نظر را انتخاب کنید.

د) در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

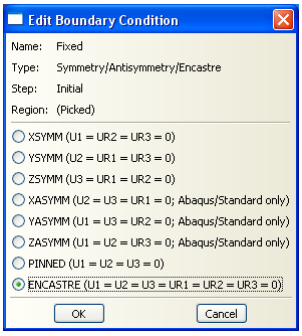
۷. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۸. در پنجره Edit Boundary Condition گزینه ENCASTRE (U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0) را انتخاب کنید. با این کار حرکت انتقالی و دورانی حول سه محور بسته می‌شود.

۹. بر روی Ok کلیک کنید.



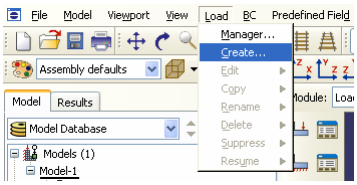
شکل ۲- ۲۸- انتخاب سطح مورد نظر در پنجره گرافیکی



شکل ۲- ۲۹- انتخاب شرایط تکیه‌گاهی

حال که یکی از دو انتهای تیر را گیردار نمودید، می‌توانید بار گسترده را بر وجه بالایی تیر وارد کنید. این بار در طی گام دوم بارگذاری (بعد از گام Initial) وارد می‌شود. برای اعمال این بار گسترده بصورت زیر عمل کنید.

۱۰. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Load و سپس Create را انتخاب کنید. با این کار پنجره Create Load باز می‌شود.



شکل ۲- ۳۰- نحوه تعریف بار

الف) نام بار را Pressure قرار دهید

ب) از میان فهرست Stepهای تعریف شده گزینه Beamload را انتخاب کنید.

ج) در بخش Category گزینه Mechanical را که گزینه پیش فرض است قبول کنید.

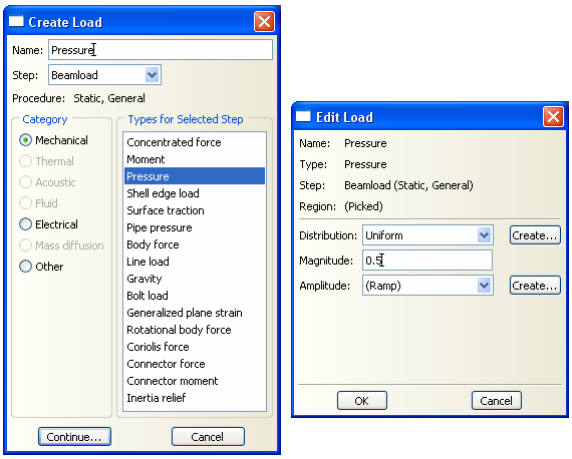
د) نوع بار را از نوع Pressure انتخاب نمایید.

۱۱. بر روی Continue کلیک کنید.

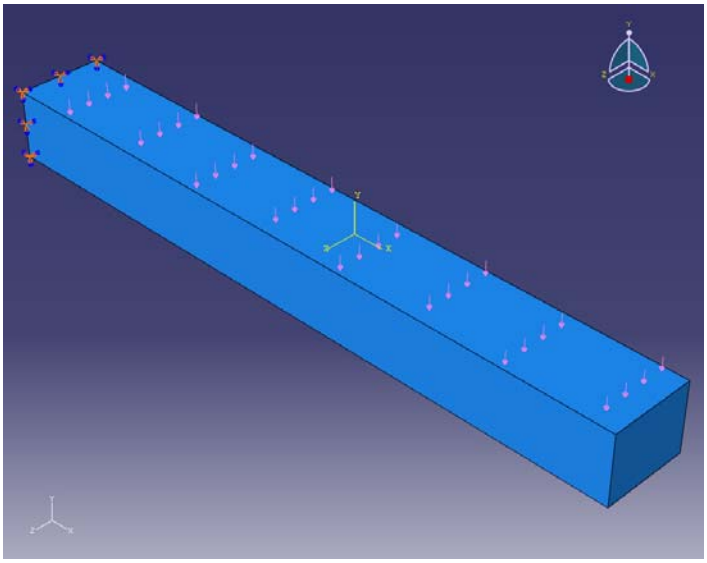
۱۲. لبه بالایی تیر را انتخاب نمایید.

۱۳. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۱۴. در پنجره باز شده، نوع فشار وارده را از نوع یکنواخت (Uniform) و مقدار آن را برابر ۰/۵ (نیوتن بر میلیمتر مربع) وارد نمایید و بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۲- ۳۱- تعریف مراحل بارگذاری



شکل ۲- ۳۲- شرایط تکیه گاهی و بارگسترده روی تیر

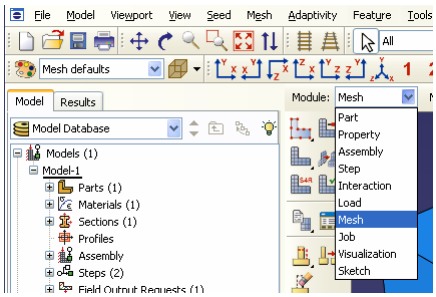
۲-۴-۹- تعریف مش بندی

از ماژول Mesh برای تولید مش اجزای محدود استفاده می‌شود. شما می‌توانید تکنیک مش‌بندی را برای نرم افزار مشخص کنید تا شکل المان و نوع المان مطابق نیاز شما باشد. تکنیک مش بندی پیش فرض در نرم افزار ABAQUS/CAE برای هر عضو با استفاده از رنگ مشخصی نشان داده می‌شود. در صورتی که عضو در ماژول Mesh با رنگ نارنجی نشان داده شود، نرم افزار نمی‌تواند به صورت خودکار عضو را مش بندی کند.

۲-۴-۹-۱- اختصاص پارامترهای مش بندی

در این مرحله، از پنجره Mesh Controls برای مشاهده تکنیکی که ABAQUS/CAE برای مش بندی و شکل المانها استفاده می‌کند، استفاده می‌شود. برای اختصاص پارامترهای مش بندی به ترتیب زیر عمل کنید:

۱. از منوی باز شونده Module بر روی گزینه Mesh کلیک کنید.



شکل ۲- ۳۳- انتخاب ماژول Mesh

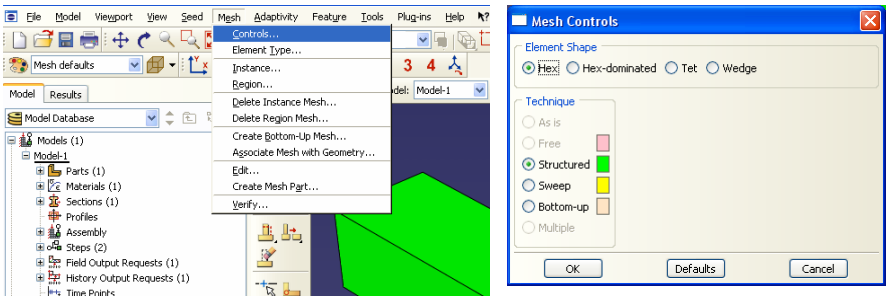
۲. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Mesh و سپس Controls را انتخاب کنید.

با این کار پنجره Mesh Controls گشوده می‌شود. نرم افزار نواحی مختلف مدل شما را با رنگهایی نمایش می‌دهد که هر رنگ معرف تکنیک مش بندی قابل استفاده برای آن عضو است. در مورد مثال این فصل عضو با رنگ سبز نشان داده می‌شود که این به معنی آن است که مش بندی منظم برای این عضو قابل انجام است.

۳. در این پنجره گزینه Hex را به عنوان شکل المان پیش فرض قبول کنید.

۴. همچنین تکنیک مش بندی Structured را به عنوان تکنیک مش بندی پیش فرض قبول کنید.

۵. بر روی Ok کلیک کنید تا این پنجره بسته شود. تکنیک مش بندی منظم باعث ایجاد المانهایی شش وجهی می‌گردد.



شکل ۲- ۳۴- مراحل تعریف پارامترهای مش بندی

۲-۴-۹-۲- مشخص کردن نوع المانها

در این مرحله از پنجره Element Type برای استفاده از نوع مشخصی از المانِدر مدل استفاده می‌شود. برای اختصاص نوع المان به ترتیب ذیل عمل کنید.

۱. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Mesh و سپس Element Type را انتخاب کنید.

۲. در پنجره باز شده پیش فرض‌های نرم افزار را به ترتیب زیر قبول کنید

الف) Element Library از نوع Standard

ب) Geometric Order از نوع Linear

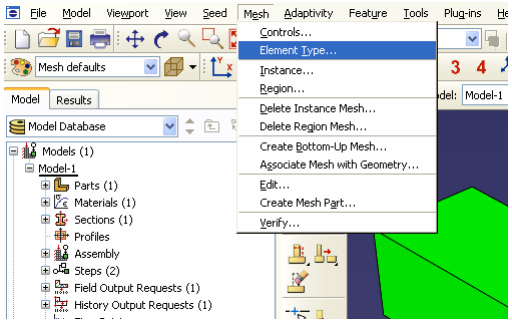
ج) Family ازنوع 3D Stress

۳. در قسمت پایین پنجره گزینه‌های مربوط به شکل المان را ببینید.

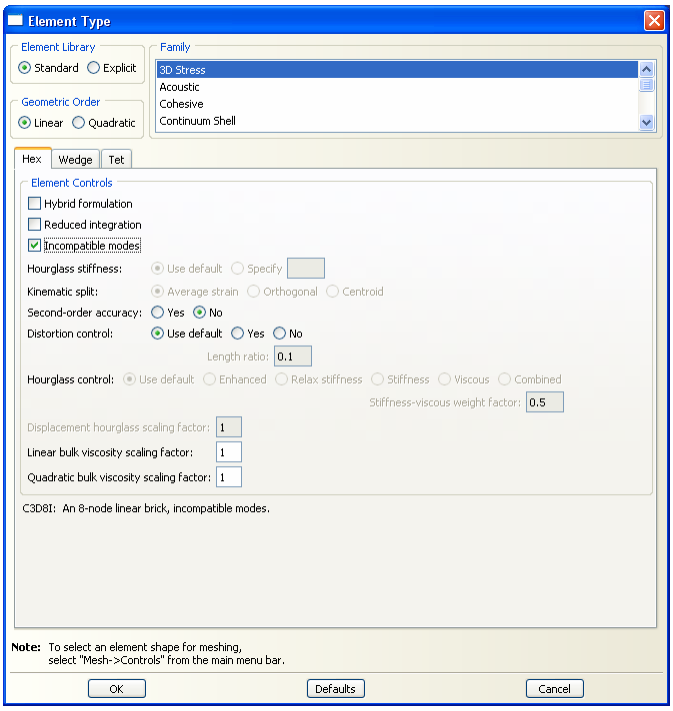
از آنجایی که نوع مدل سه بعدی است تنها سه نوع المان سه بعدی (شش وجهی برای نوع Hex ، منشور مثلثی برای نوع Wedge و چهاروجهی برای نوع Tet) نشان داده شده است.

۴. بر روی نوار Hex در بالای صفحه کلیک کنید و از لیست انتخابهای المان گزینه Incompatible modes را انتخاب کنید. توضیحاتی درباره نوع المان C3D8I در پایین پنجره ظاهر می‌شود.

۵. بر روی Ok کلیک کنید تا این پنجره بسته شود.



شکل ۲- ۳۵- مراحل انتخاب نوع المان



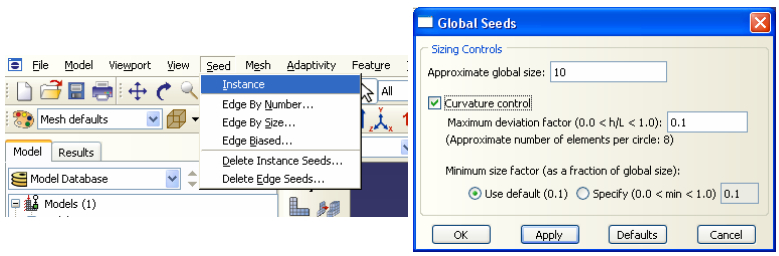
شکل ۲- ۳۶- مراحل انتخاب نوع المان

۲-۴-۹-۳- ایجاد مش بندی

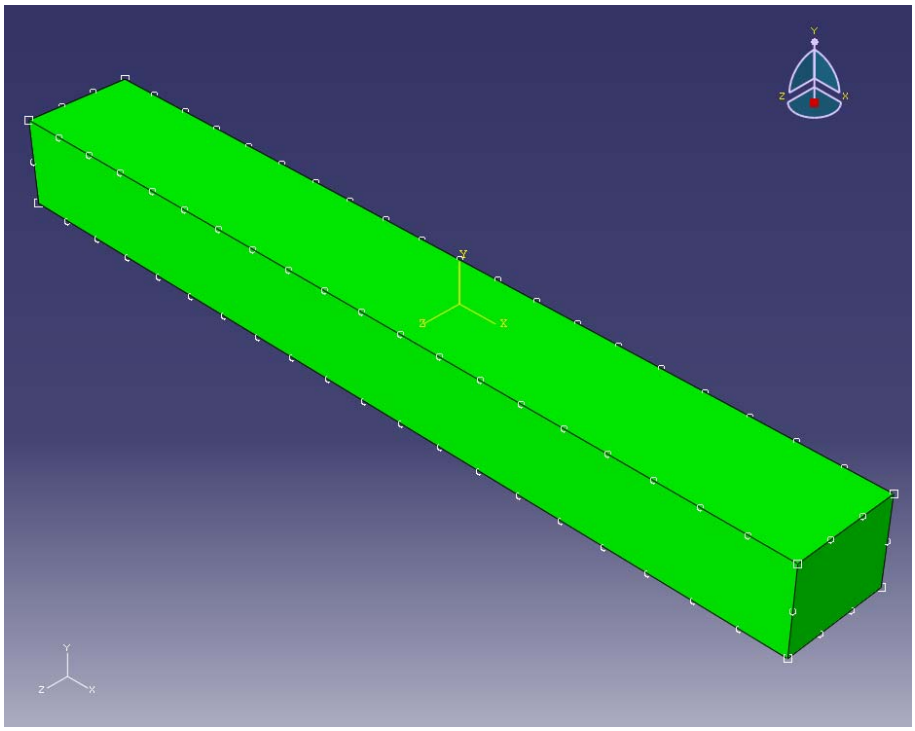
ایجاد مش بندی یک عملیات دو مرحله‌ای است. در محله اوا اندازه مش‌بندی را برای عضو مشخص می‌کنید و در بخش دوم مش بندی را انجام می‌دهید. اندازه مش بندی بستگی به نیاز شما دارد. برای این کار شما می‌توانید اندازه هر المان و یا تعداد المانهای مورد نیاز بر روی یک ضلع از عضو را تعریف کنید. برای مش بندی مدل به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Seed و سپس Instance را انتخاب کنید. در نوار پایین صفحه اندازه المان پیش فرض که توسط نرم افزار مناسب تشخیص داده شده قابل مشاهده است. این اندازه بر اساس اندازه کلی عضو تعیین می‌شود.

۲. در نوارپایین صفحه مقدار پیش فرض ۲۰ را پاک کرده و به جای آن مقدار ۱۰ را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید.

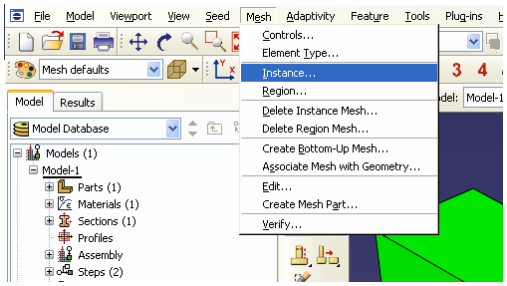


شکل ۲- ۳۷- مراحل تعریف اندازه مش بندی

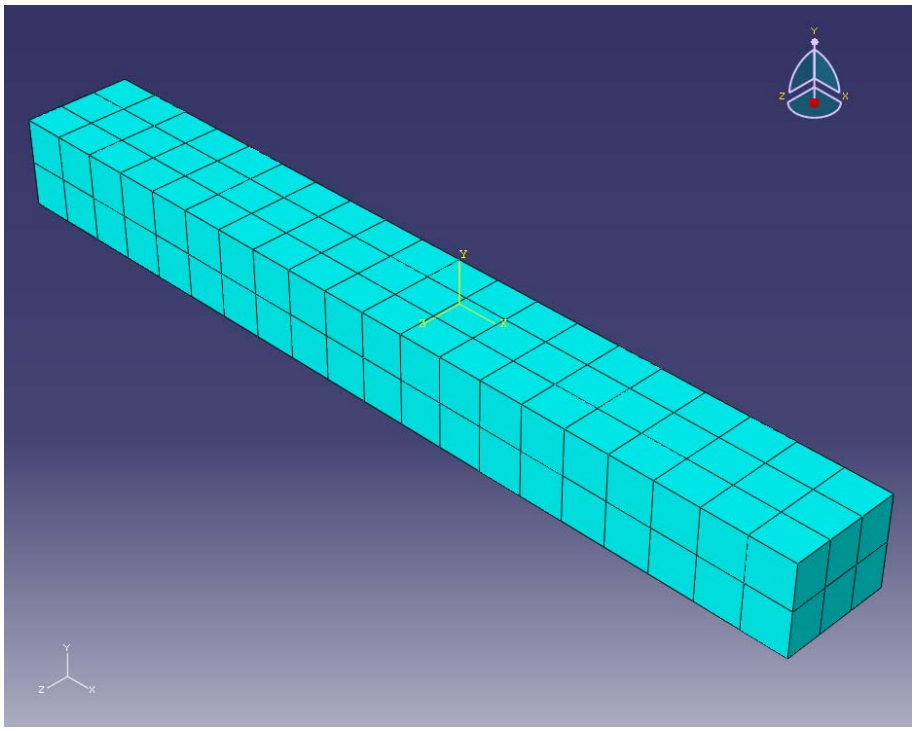


شکل ۲- ۳۸- اندازه مش بندی

۳. از نوار منو اصلی گزینه‌های Mesh و سپس گزینه Instance را انتخاب کنید تا عضو مش بندی شود.
۴. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Yes کلیک کنید. با این کار مش بندی انجام می‌شود.
۵. بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.



شکل ۲- ۳۹- انجام مش بندی

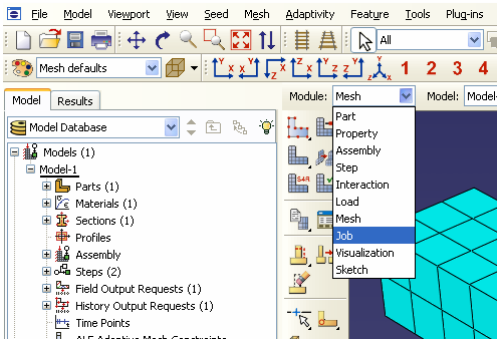


شکل ۲- ۴۰- تیر مش بندی شده

۲-۴-۱۰- انجام تحلیل

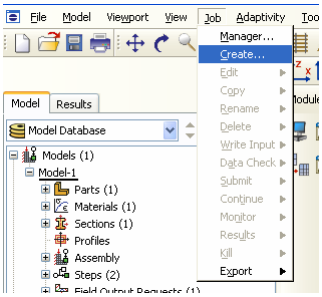
حال که تمامی قسمتهای لازم مدل ساخته شد، باید وارد ماژول Job شوید تا مدل ساخته شده را تحلیل نمایید. برای انجام این کار به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. از منوی باز شونده ماژول Job کلیک کنید.



شکل ۲- ۴۱- انتخاب ماژول Job

۲. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Job و Create را انتخاب کنید. با این کار پنجره Create Job باز می‌شود.



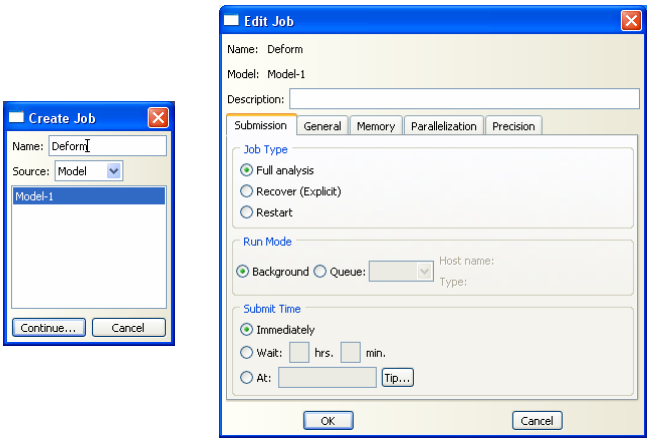
شکل ۲- ۴۲- مراحل تعریف Job

۳. اسم Job را Deform بگذارید.

۴. بر روی Continue کلیک کنید. با این کار پنجره Edit Job باز می‌شود.

۵. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.

۶. بر روی Ok کلیک کنید.



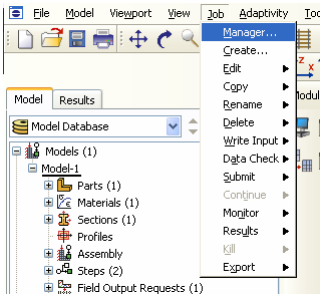
شکل ۲- ۴۳- مراحل تعریف Job

۷. در نوار منوی اصلی گزینه‌های Job و سپس Manager را انتخاب کنید. با این کار پنجره Job Manager می‌شود.

۸. در این پنجره بر روی گزینه Submit کلیک کنید تا تحلیل مساله آغاز شود.

همانطور که در این پنجره مشاهده می‌نمایید وضعیت هر Job مشخص شده است.

- در صورتی که در قسمت وضعیت (Status) عبارت Submitted درج شده باشد به این معنی است که فایل مربوط به مساله برای انجام تحلیل ثبت شده است.
- در صورتی که در قسمت وضعیت (Status) عبارت Running درج شده باشد به این معنی است که فایل مربوط به مساله در حال تحلیل است.
- در صورتی که در قسمت وضعیت (Status) عبارت Completed درج شده باشد به این معنی است که تحلیل فایل مربوط به مساله خاتمه یافته است.
- در صورتی که در قسمت وضعیت (Status) عبارت Aborted درج شده باشد به این معنی است که تحلیل فایل مربوط به مساله در حین اجرا به دلیل وجود مشکل قطع شده است.

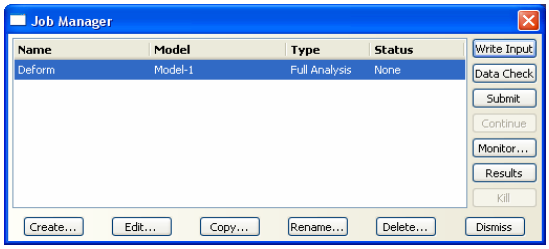


شکل ۲- ۴۴- انتخاب دستور مدیریت Job

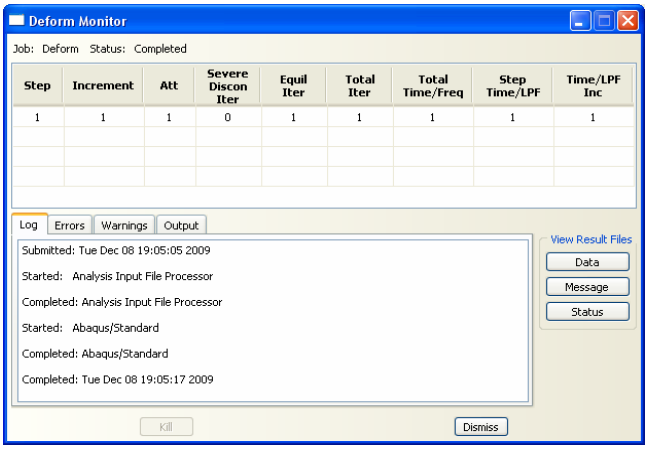
۹. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است بر روی job در حال تحلیل (Job-1) راست کلیک کرده و Monitor را انتخاب کنید.

۱۰. در پنجره‌ای که با نام Monitor باز شده است کنترل کنید که error (خطا) یا warning(اخطار) وجود ندارد.

- در صورت وجود خطا باید قبل از آغاز مجدد تحلیل این خطاها را برطرف نمود.
- در صورت وجود خطا باید کنترل شود که آیا این اخطارها باعث ایجاد مشکل در تحلیل خواهند شد یا خیر. از بسیاری از اخطارها می‌توان بطور ایمن چشم پوشی نمود.

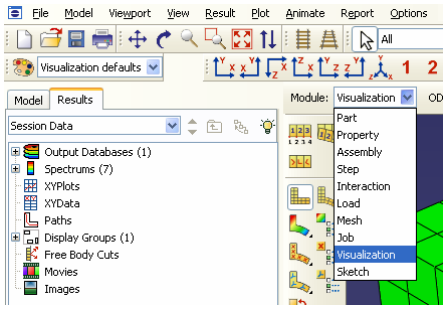


شکل ۲- ۴۵- پنجره مدیریت Job



شکل ۲- ۴۶- مشاهده مراحل تحلیلJob

۱۱. بعد از اتمام تحلیل می‌توانید نتایج را در ماژولVisualization مشاهده کنید.



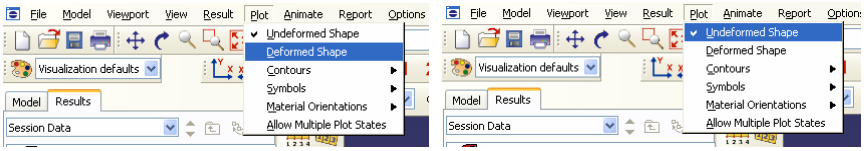
شکل ۲- ۴۷- انتخاب ماژول Visualization

۲-۵-بررسی نتایج

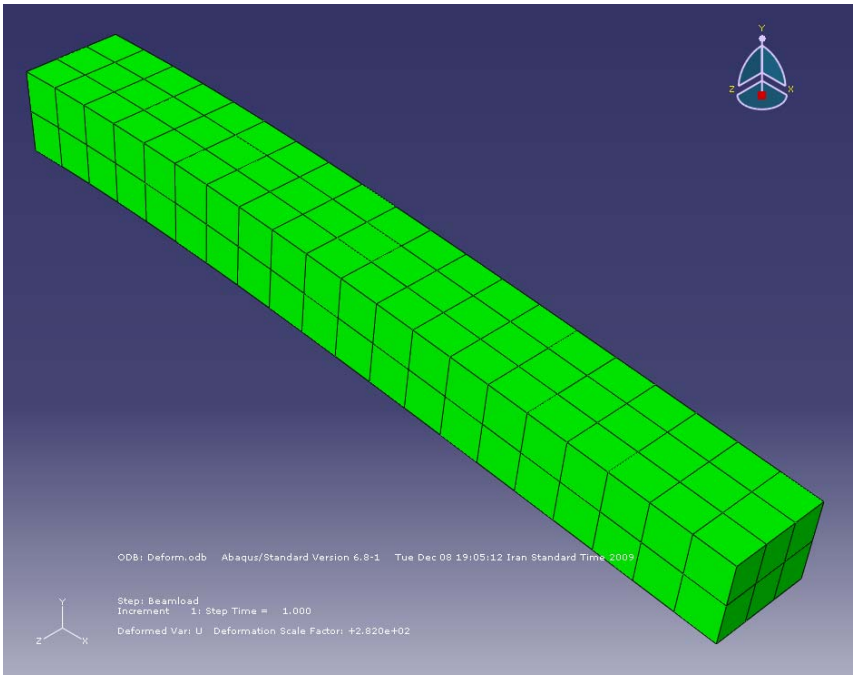
از ماژول Visualization برای بررسی نتایج حاصل از تحلیل استفاده می‌شود. نام فایل اطلاعات خروجی که توسط نرم افزار ساخته می‌شود با نام Jobای که قبلا ساخته اید یکسان است. وقتی که فایل مربوط به داده‌های خروجی را باز می‌کنید عضو تغییرشکل نیافته نمایش داده می‌شود.

۱. برای مشاهده عضو تغییرشکل یافته و کانتور تنش در تیر طره، از نوار منوی اصلی گزینه‌های Plot و Undeformed Shape را انتخاب کنید.

۲. از نوار منوی اصلی گزینه‌های Plot و Deformed Shape را انتخاب کنید تا عضو تغییرشکل یافته را مشاهده کنید.



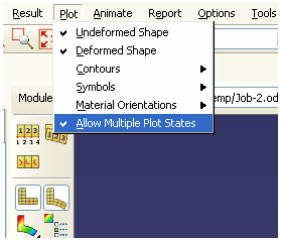
شکل ۲- ۴۸- مراحل مشاهده عضو تغییرشکل نیافته و تغییرشکل یافته



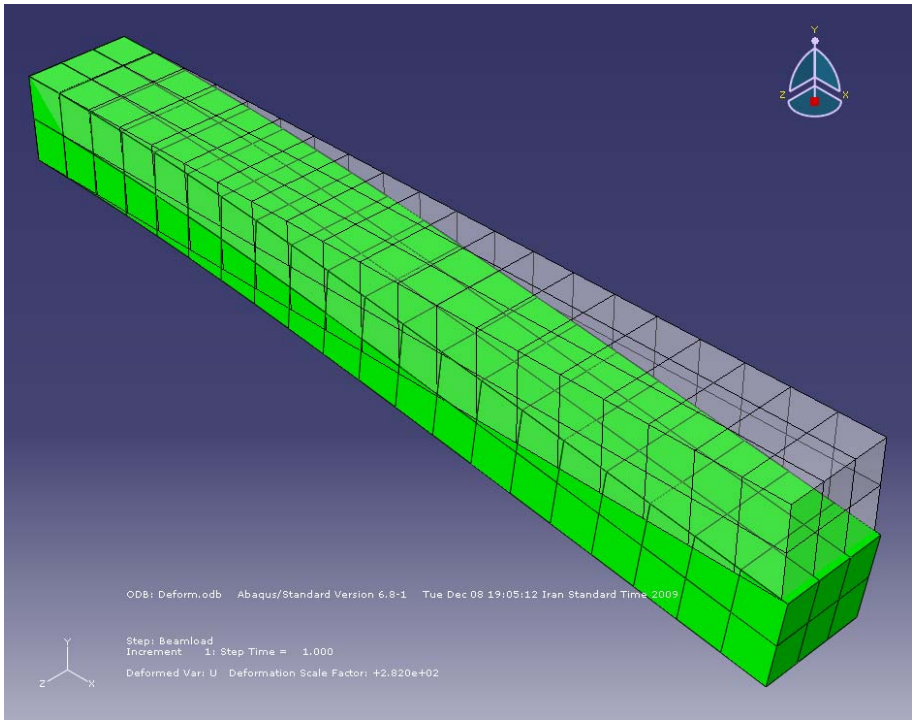
شکل ۲- ۴۹- عضو تغییرشکل یافته

۳. برای نشان دادن شکل صفحه در دو حالت تغییرشکل یافته و اولیه به صورت همزمان از منوی Plot گزینه Allow multiple plot states را انتخاب کنید. در کنار گزینه‌های Deformed shape و Undeformed shape تیک بزنید.

۴. برای انتقال تصویر سازه از ABAQUS به نرم افزار Word می‌توان با استفاده از Ctrl+C در ABAQUS شکل را کپی نموده و با استفاده از Ctrl+V برنامه Word آن را در وارد نمایید.

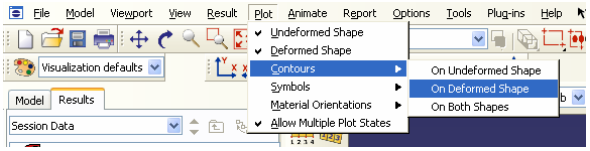


شکل ۲- ۵۰- مشاهده همزمان عضو تغییرشکل نیافته و تغییرشکل یافته

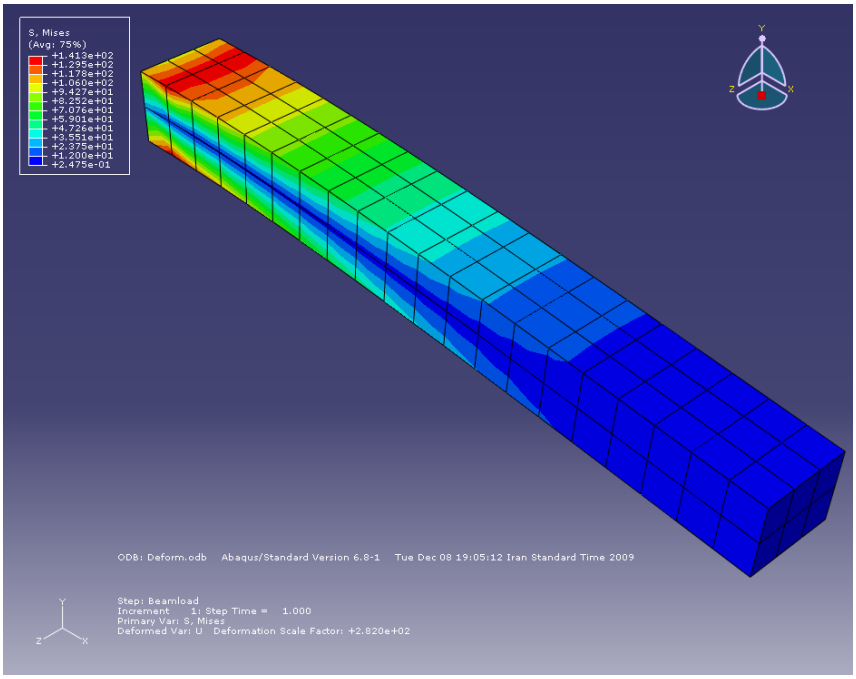


شکل ۲- ۵۱- عضو تغییرشکل نیافته و تغییرشکل یافته

۵. برای مشاهده کانتور تنش، در نوار منوی اصلی بر روی گزینه Plot و سپس Contours کلیک کنید.



شکل ۲- ۵۲- مشاهده کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته



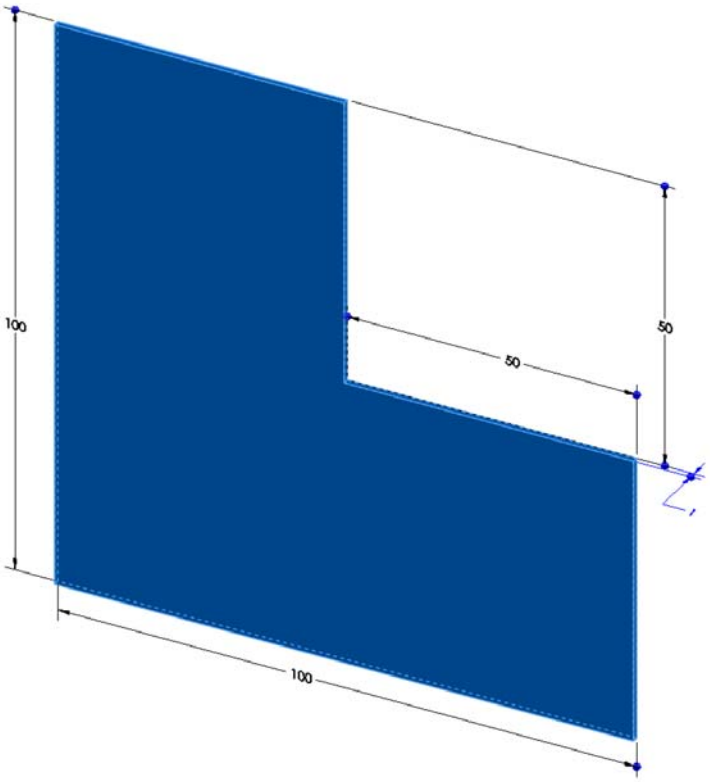
شکل ۲- ۵۳- کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته

فصل سوم

آنالیز انتقال حرارت در یک صفحه

۳-۱- صورت مساله

صفحه L شکل نازک بالا تحت دمای ۲۰ درجه در دو لبه داخلی و ۱۲۰ درجه در دو لبه خارجی قرار گرفته است. جریان حرارتی معادل W/m^2 ۱۰ به سطح بالایی وارد شده است. سایر سطوح عایق بندی شده فرض گردیده اند.

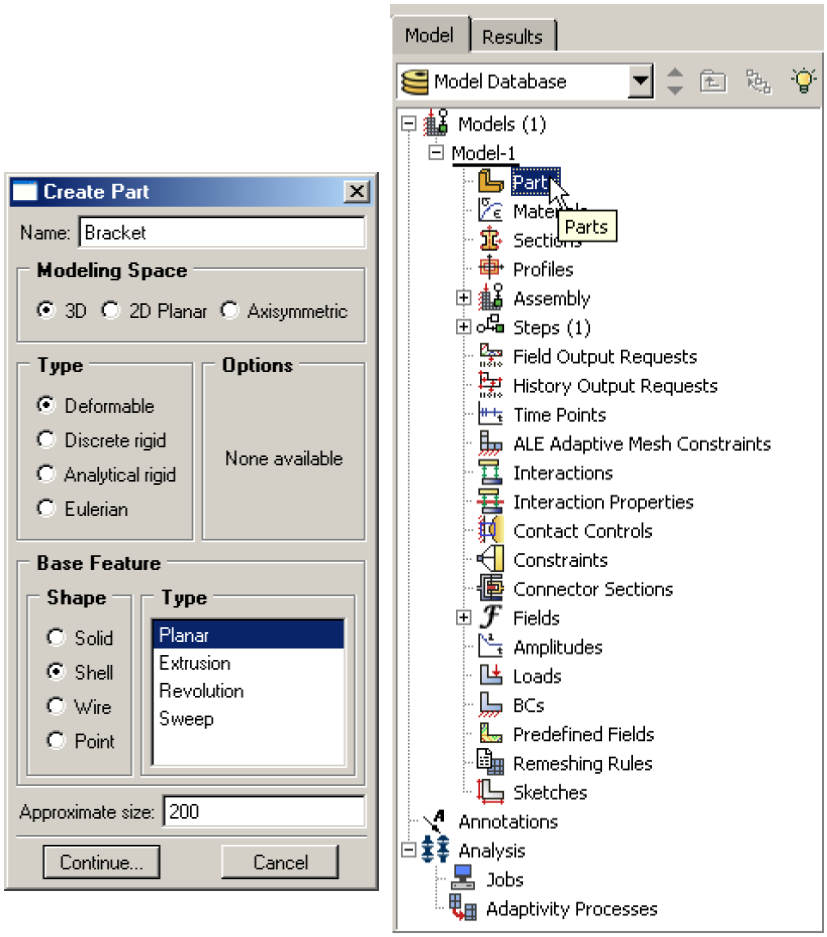


شکل ۳-۱-ابعاد هندسی صفحه مورد نظر

۳-۲-مراحل تحلیل

۳-۲-۱- برنامه ABAQUS را باز کرده و گزینه create a new model database را انتخاب کنید.

۳-۲-۲- برای ایجاد یک عضو جدید، در منوی درختی ، بر روی گزینه Parts دوبار کلیک کنید (یا بر روی گزینه Parts راست کلیک کرده و Create را انتخاب نمایید).



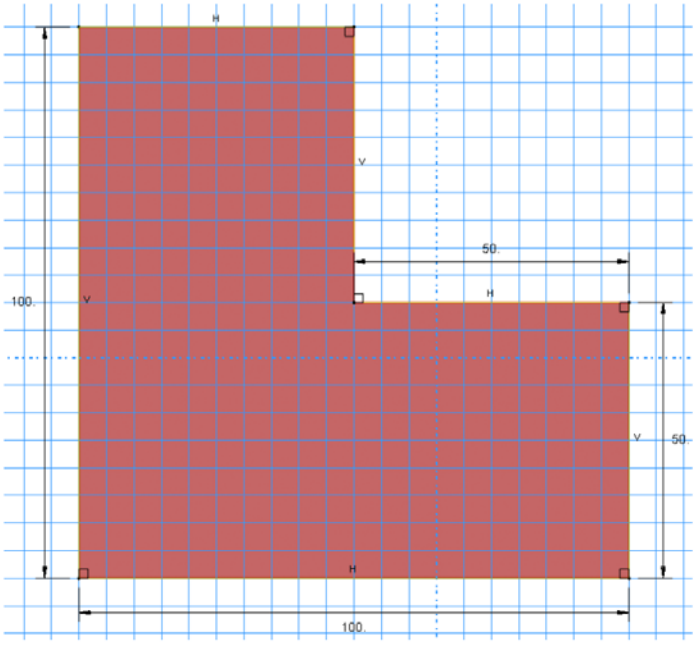
شکل ۳-۲-آیکون و مراحل ساختن عضو

۳-۲-۳- در پنجره Create Part (که در بالا نشان داده شده است) عضو مورد نظر را نامگذاری کرده و مراحل ذیل را انجام دهید:

۱. گزینه 3D را انتخاب نمایید.
۲. گزینه Deformable را انتخاب کنید.
۳. گزینه Shell را انتخاب کنید.

۴. گزینه Planar را انتخاب کنید.
۵. سایز تقریبی را برابر ۲۰ قرار دهید.
۶. برای رفتن به مرحله بعد بر روی Continue کلیک کنید.

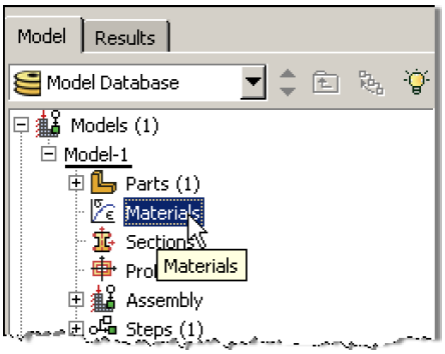
۳-۲-۴- هندسه مدل را همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است ترسیم نمایید.



شکل ۳-۳-هندسه دو بعدی صفحه مورد نظر

۳-۲-۵- برای آنکه خصوصیات مصالح عضو مورد نظر را تعریف نمایید، بر روی گزینه Materials در منوی درختی کلیک کنید.

۱. برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (Steel).

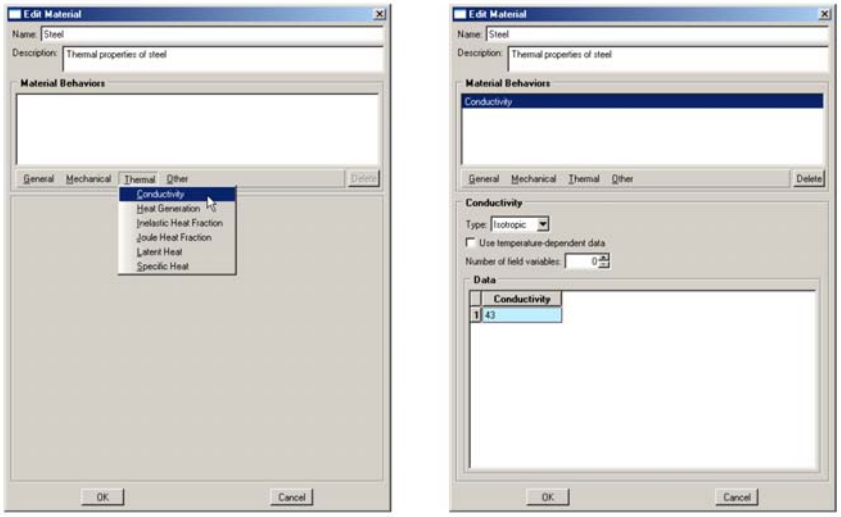


شکل ۳-۴-آیکون تعریف مصالح

۲. برای تعریف ضریب هدایت حرارتی مصالح مورد نظر، از منوی Thermal گزینه Conductivity را انتخاب کنید.
۳. مقدار ضریب هدایت حرارتی را اختصاص دهید (از واحد SI استفاده کنید).

توجه: در نرم افزار ABAQUS سیستم واحد از پیش تعیین شده‌ای وجود ندارد و مسئولیت انتخاب صحیح و متناسب واحدها بر عهده کاربر است.

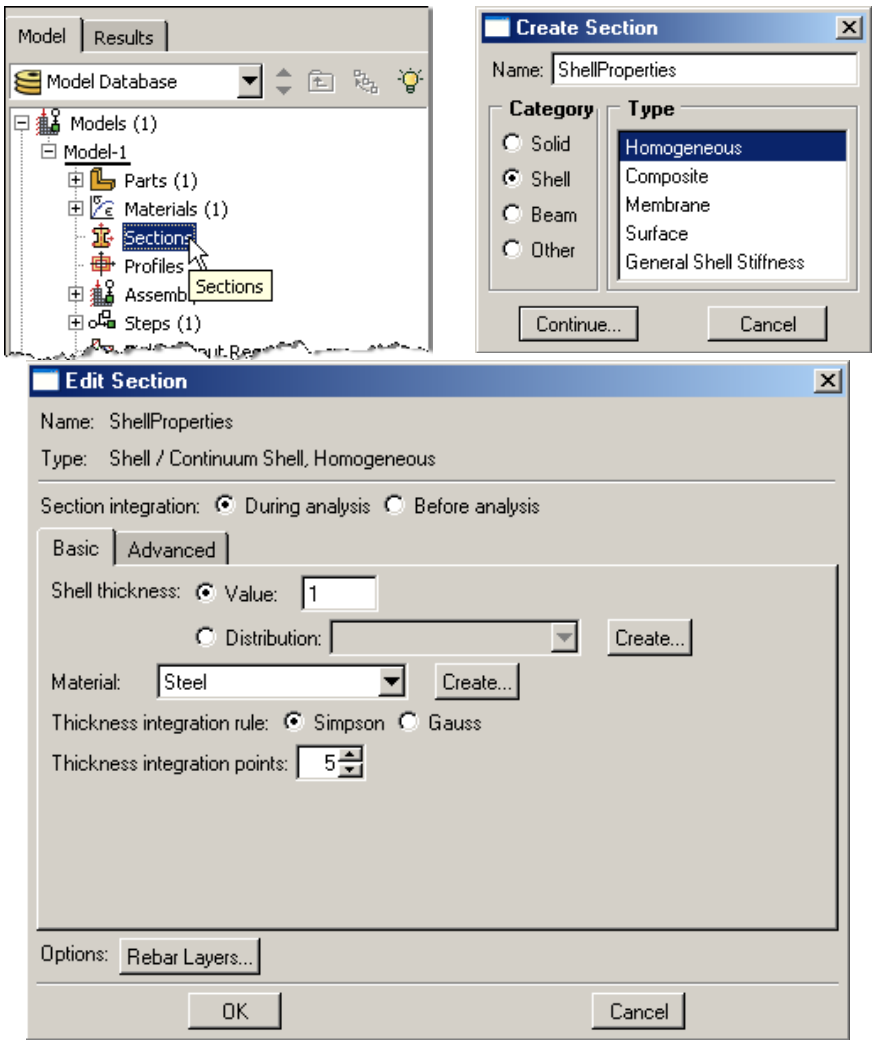
۴. بر روی OK کلیک کنید.



شکل ۳-۵-تعریف خصوصیات مصالح

۳-۲-۶- برای انتخاب نوع سطح مقطع عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Sections دوبار کلیک کنید.

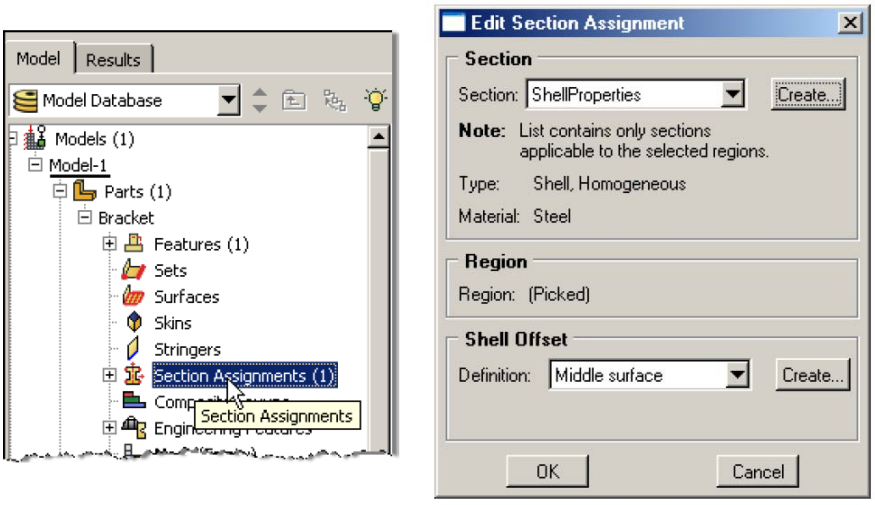
۱. مقطع مورد نظر را به نام ShellProperties نامگذاری کرده و category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.
۲. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۳. برای مقطع مورد نظر مصالحی را که در بالا ساخته بودید انتخاب کنید (Steel) و ضخامت آن را برابر ۱ قرار دهید.
۴. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۳-۶-مراحل تعریف سطح مقطع

۳-۲-۷- از منوی درختی بر روی علامت + در کنار گزینه Parts کلیک کنید تا منوی عضوهای تعریف شده باز شود. از داخل این منو، عضو تعریف شده را انتخاب کرده و سپس بر روی علامت + در کنار اسم عضو کلیک نمایید تا منوی اطلاعات متناظر با این عضو باز شود. بر روی گزینه Section Assignments دوبار کلیک کنید.

۱. شکل هندسی صفحه ساخته شده را از پنجره گرافیکی انتخاب کرده و بر روی Done در زیر پنجره گرافیکی کلیک کنید.
۲. مقطع ساخته شده در بالا (ShellProperties) را انتخاب کنید.
۳. بر روی Ok کلیک کنید.

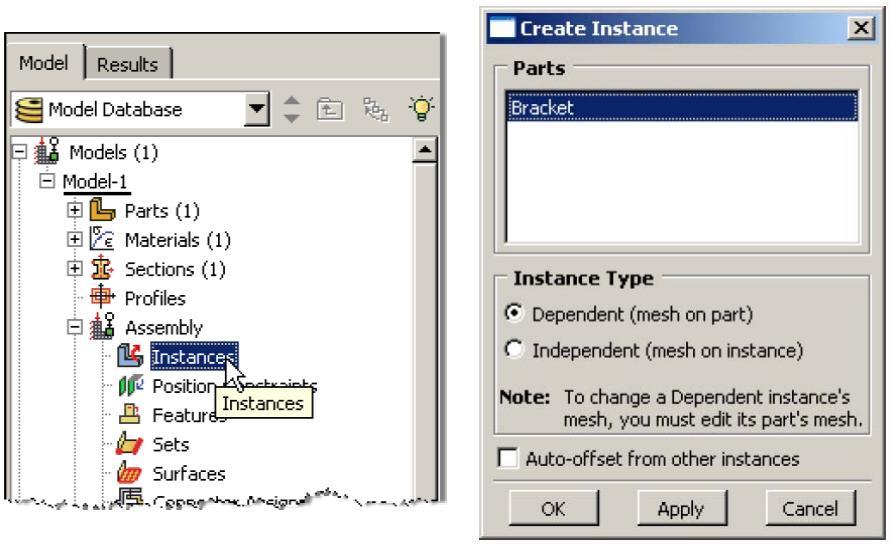


شکل ۳-۷-اختصاص سطح مقطع به عضو مورد نظر

۳-۲-۸- از منوی درختی، بر روی علامت + در کنار گزینه Assembly کلیک کرده تا منوی مربوط به آن باز شود. در این منو بر روی Instances کلیک کنید.

۱. برای نوع instance گزینه Dependent را انتخاب کنید.

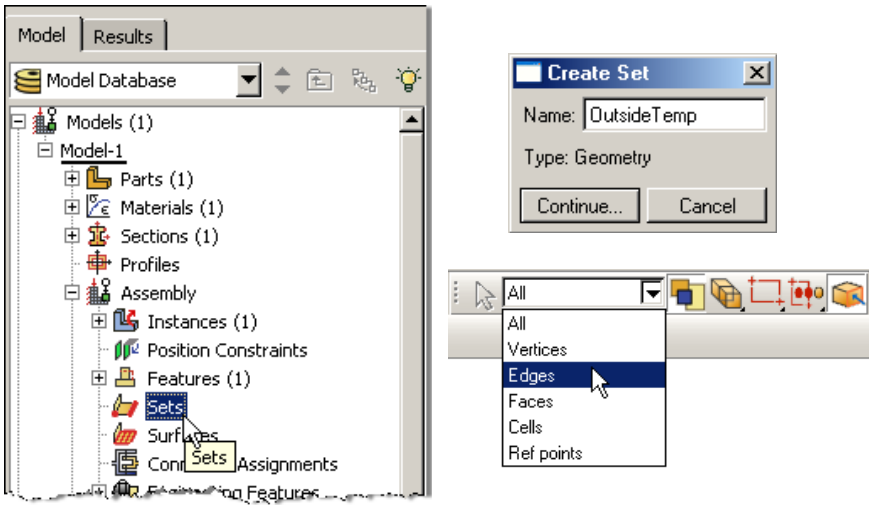
۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۳-۸-وارد نمودن عضو ساخته شده در ماژول Assembly

۳-۲-۹- برای ساخت مجموعه‌های مورد نیاز (Set) در منوی درختی، در منوی باز شده Assembly بر روی Sets دوبار کلیک کنید.

۱. Set مربوطه را OutsideTemp نامگذاری کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در نوار selection از منوی بازشدنی گزینه Edges را انتخاب کنید.
۴. دوسطح خارجی را روی هندسه مدل ساخته شده انتخاب کنید (لبه‌های پایینی و سمت چپ) و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

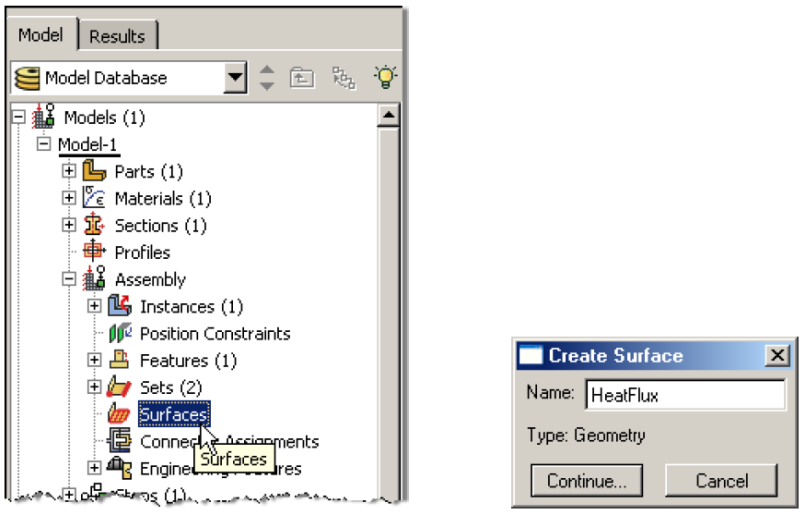


شکل ۳-۹-مراحل تعریف مجموعه

۵. مطابق روش گفته شده مجموعه دیگری بسازید و آنرا InsideTemp نامگذاری کنید.
۶. دو سطح داخلی مدل (سطوح بالایی و سمت راست) را انتخاب کرده و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۳-۲-۱۰- در منوی درختی، بر روی علامت + در کنار گزینه Assembly کلیک کرده تا منوی مربوط به آن باز شود. در این منو بر روی گزینه Surfaces دوبار کلیک کنید.

۱. سطح مورد نظر را HeatFlux نامگذاری کنید.
۲. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۳. بر روی سطح مدل هندسی که قبلا ساخته اید کلیک کنید و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید. از همین نوار گزینه Brown را انتخاب کنید تا سطحی که با رنگ قهوه‌ای نمایش داده شده است انتخاب شود.



شکل ۳-۱۰- مراحل تعریف سطح

۳-۲-۱۱- در منوی درختی بر روی گزینه Steps دوبار کلیک کنید.

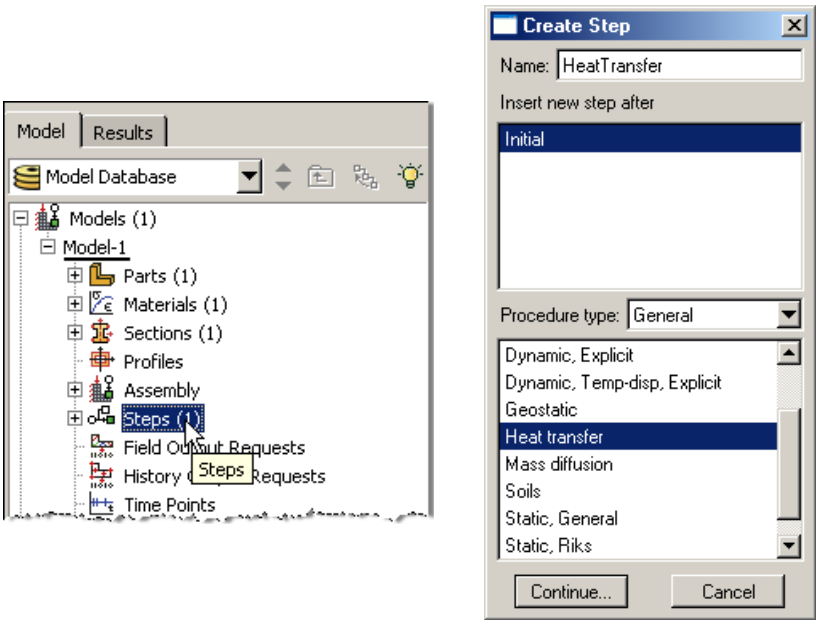
۱. Step را نامگذاری کنید، در قسمت procedure گزینه General را انتخاب کنید و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Heat Transfer را انتخاب کنید.

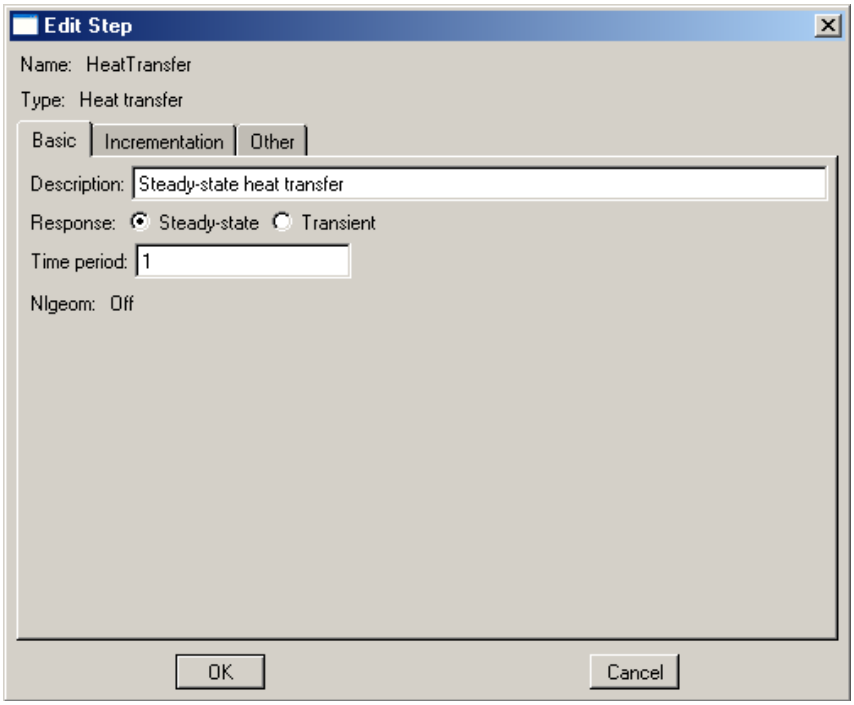
۲. بر روی Continue کلیک کنید.

۳. در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.

۴. در قسمت پایین تر پنجره باز شده در قسمت reponse گزینه state-Steady را انتخاب کنید.

۵. بر روی Ok کلیک کنید.

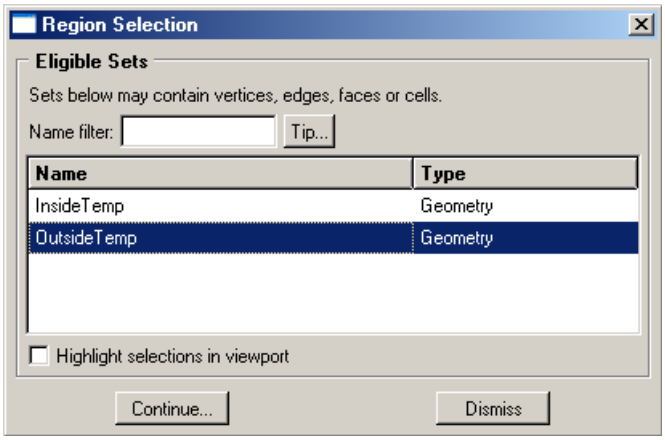




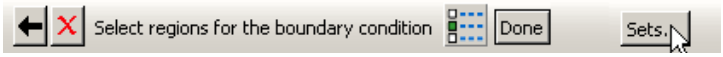
شکل ۳-۱۱- تعریف مراحل تحلیل

۳-۲-۱۲- در منوی درختی بر روی گزینه BCs دوبار کلیک کنید.

۱. شرط مرزی مربوطه را OutsideTemp نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Temperature را انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در نوار پایین صفحه بر روی دکمه Sets کلیک کنید.
۴. مجموعه‌ای را که OutsideTemp نامگذاری کردید انتخاب کنید.
۵. بر روی Continue کلیک کنید.

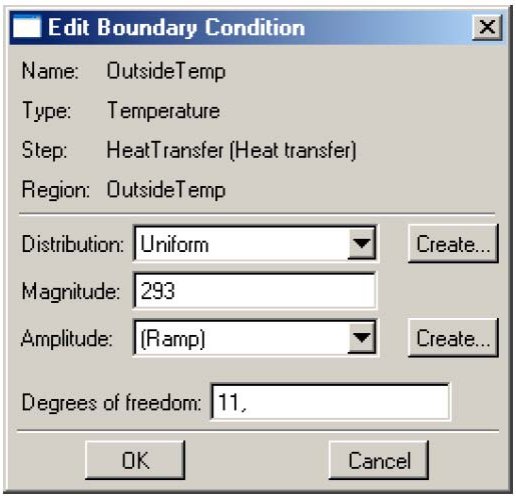


شکل ۳-۱۲- اختصاص شرایط مرزی حرارتی



شکل ۳-۱۳- نوار پایین صفحه

۶. در پنجره‌ای که برای تعیین میزان دما قرار داده شده مقدار ۲۹۳ را وارد کنید.
۷. بر روی Ok کلیک کنید.



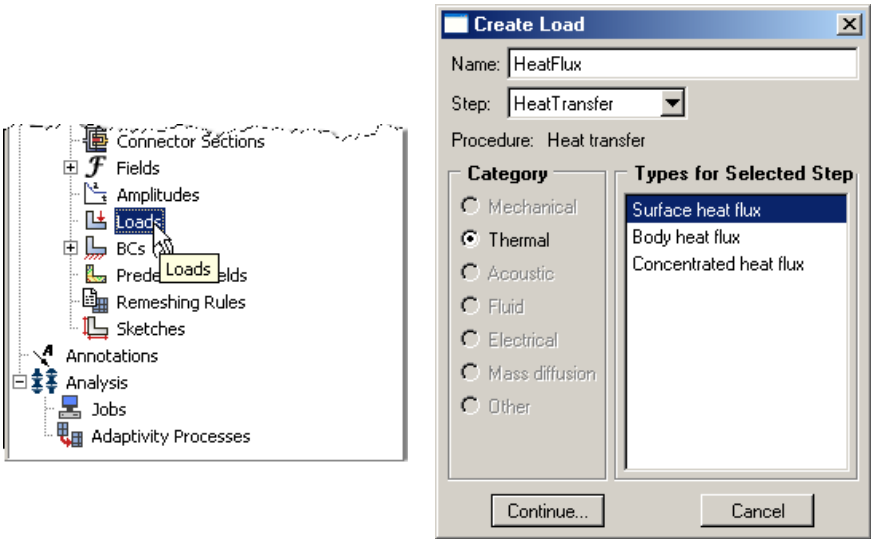
شکل ۳-۱۴- تعریف مقدار شرط مرزی

۸. روند بالا را برای دمای داخلی نیز تکرار کنید و این بار بعد از کلیک کردن بر روی دکمه Sets مجموعه‌ای را که InsideTemp نامگذاری کردید انتخاب کنید و مقدار دما را ۳۹۳ درجه قرار دهید.

۳-۲-۱۳- در منوی درختی بر روی گزینه Loads کلیک کنید.

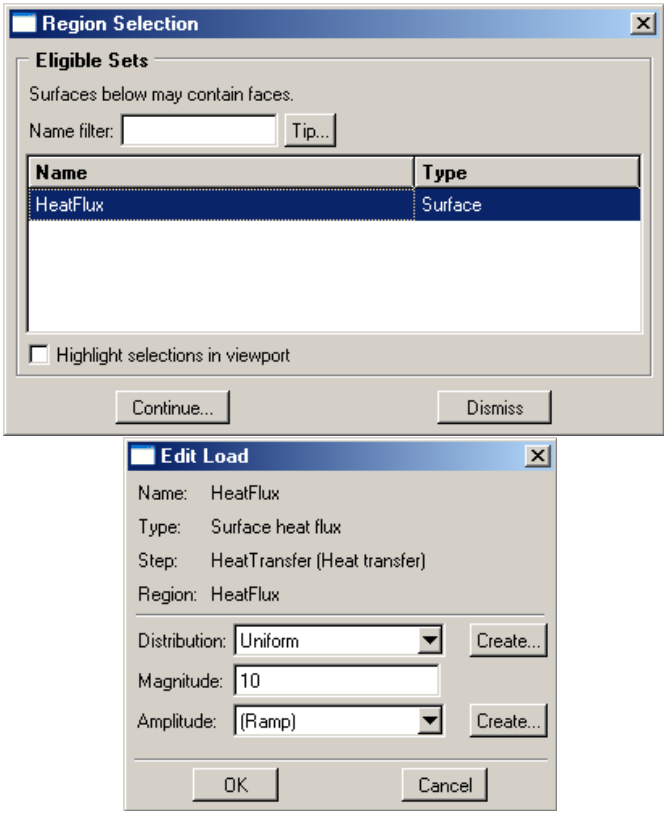
۱. نام بار را HeatFlux قرار داده و نوع آن را Surface heat flux انتخاب کنید.

۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۳-۱۵- آیکون و پنجره مربوط به تعریف بار حرارتی

۳. سطحی را که قبلا HeatFlux نامگذاری کردید انتخاب کنید.
۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود در قسمت Magnitude مقدار ۱۰ را وارد کنید.



شکل ۳-۱۶- تعریف مقدار بار حرارتی

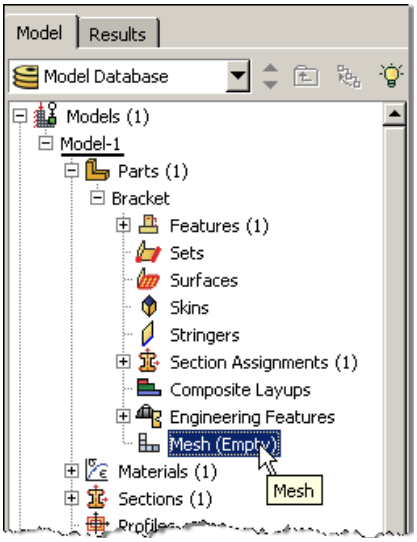
توجه کنید که طبق پیش فرض نرم افزار هر لبه یا سطحی که برای آن شرایط مرزی یا بار تعریف نشده باشد ایزوله در نظر گرفته خواهد شد.

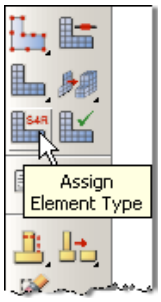
۳-۲-۱۴- از منوی درختی بر روی علامت + کنار بخش Parts کلیک کنید. سپس بر روی علامت + کنار بخش Bracket کلیک کنید و بر روی گزینه Mesh دوبار کلیک کنید.

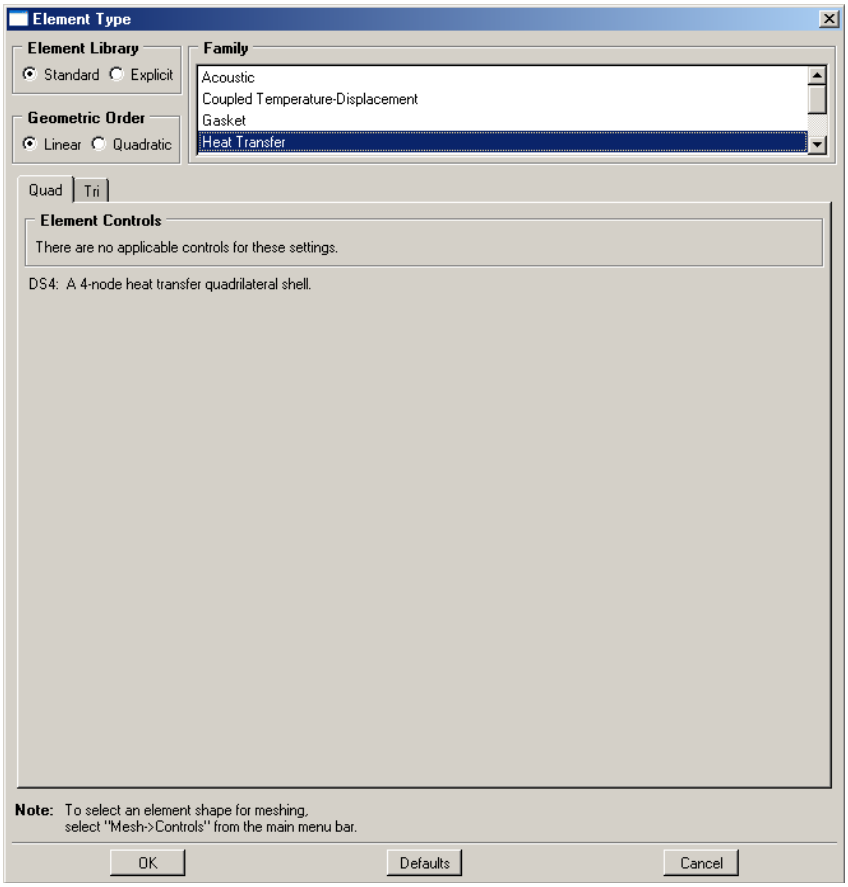
۳-۲-۱۵- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Element Type کلیک کنید.

۱. نوع المان را Standard انتخاب کنید.
۲. مرتبه هندسی (geometric order) را Linear انتخاب کنید.
۳. در بخش family گزینه HeatTransfer را انتخاب کنید.
۴. توجه کنید که نام المان (DS4) و توضیحات مربوط به آن در پایین بخش element controls در پنجره باز شده قرار دارد.

۵. بر روی Ok کلیک کنید.





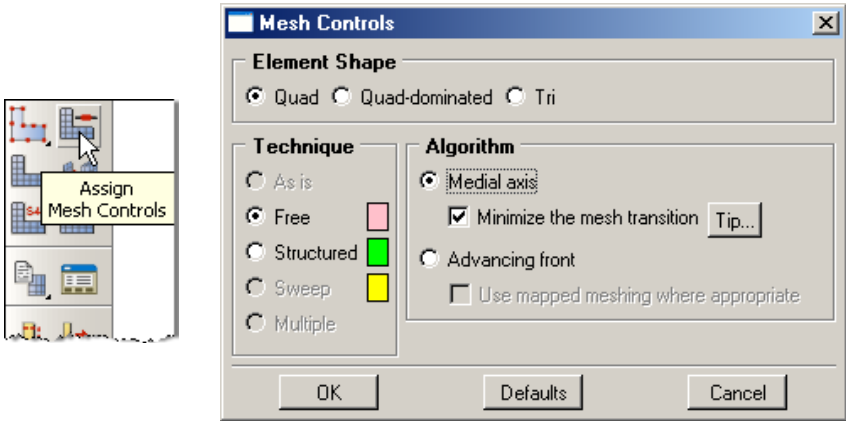


شکل ۳-۱۷- مراحل تعریف مش بندی مدل

۳-۲-۱۶- در منوی ابزار عمودی بر روی Assign Mesh Controls کلیک کنید.

۱. شکل المان را به Quad تغییر دهید.

۲. نوع الگوریتم را به Medial axis تغییر دهید تا برای هندسه ساخته شده مش بندی یکنواخت تری ایجاد گردد.

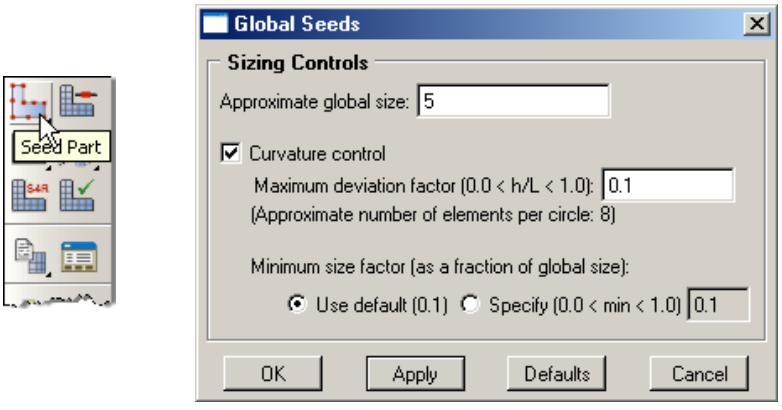


شکل ۳-۱۸- تعریف شکل مش و نوع مش بندی

۳-۲-۱۷- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Seed Part کلیک کنید.

۱. اندازه کلی تقریبی (approximate global size) را برابر مقدار ۵ قرار دهید.

۲. بر روی Ok کلیک کنید.



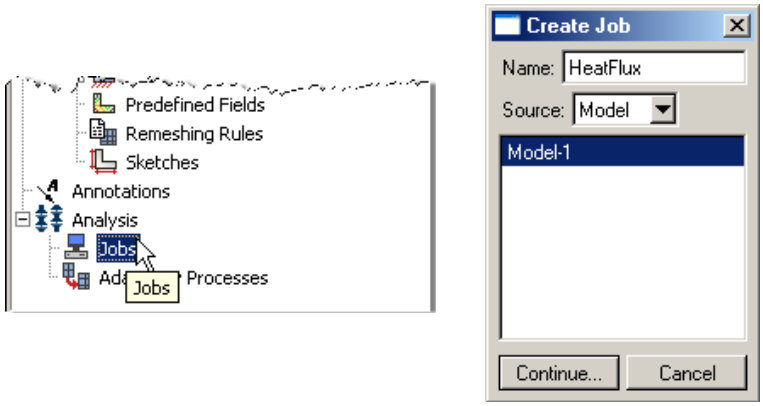
شکل ۳-۱۹- تعریف اندازه مش

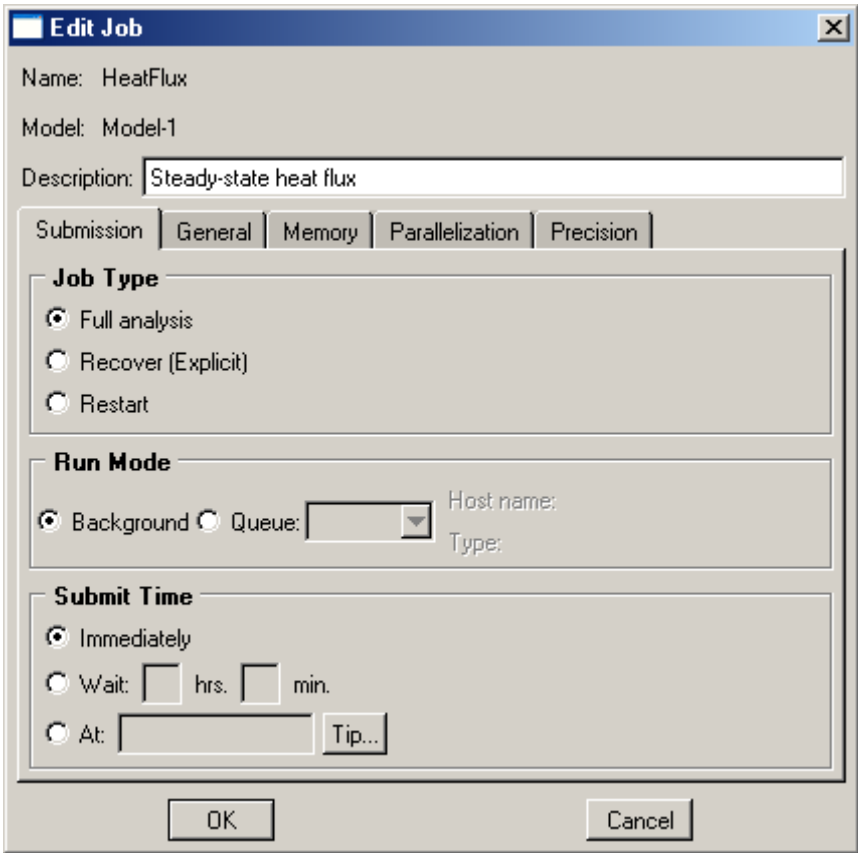
۳-۲-۱۸- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Mesh Part کلیک کنید.

۳-۲-۱۹- در منوی درختی بر روی گزینه Job کلیک کنید.

۱. اسم Job را HeatFlux بگذارید.

۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.
۴. بر روی Ok کلیک کنید.

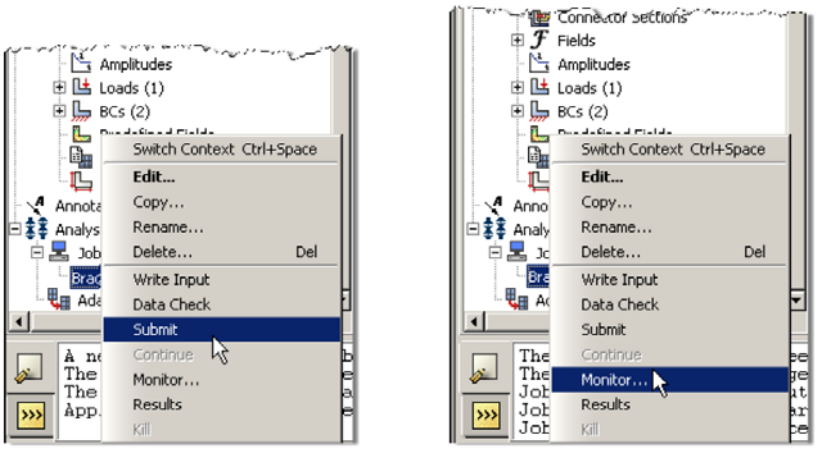




شکل ۳-۲۰- مراحل تعریف Job

۳-۲-۲۰- در منوی درختی بر روی Jobای که در مرحله قبل ساختید (HeatFlux) راست کلیک کنید و Submit را انتخاب کنید.

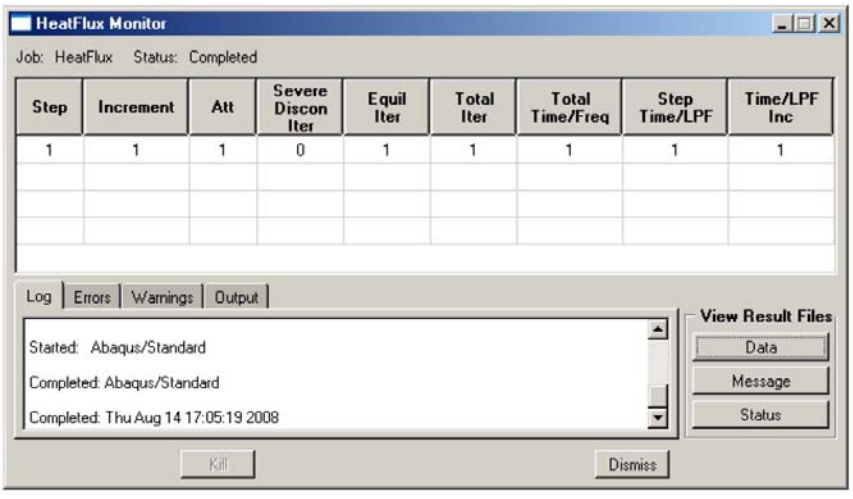
۱. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است بر روی job در حال تحلیل (HeatFlux) راست کلیک کرده و Monitor را انتخاب کنید.



شکل ۳-۲۱- مشاهده مراحل تحلیل

۲. در پنجره‌ای که با نام Monitor باز شده است کنترل کنید که error (خطا) یا warning (اخطار) وجود ندارد.

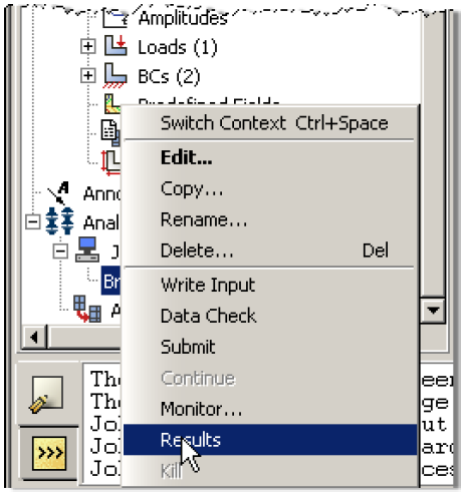
- در صورت وجود خطا باید قبل از آغاز مجدد تحلیل این خطاها را برطرف نمود.
- در صورت وجود اخطار باید کنترل شود که آیا این اخطارها باعث ایجاد مشکل در تحلیل خواهند شد یا خیر. از بسیاری از اخطارها می‌توان بطور ایمن چشم پوشی نمود.



شکل ۳-۲۲- مشاهده روند تحلیل

۳-۳- بررسی نتایج

۳-۳-۱- بعد از اتمام تحلیل در منوی درختی بر روی jobای که submit و تحلیل شده است (HeatFlux) راست کلیک کرده و گزینه Results را انتخاب کنید.



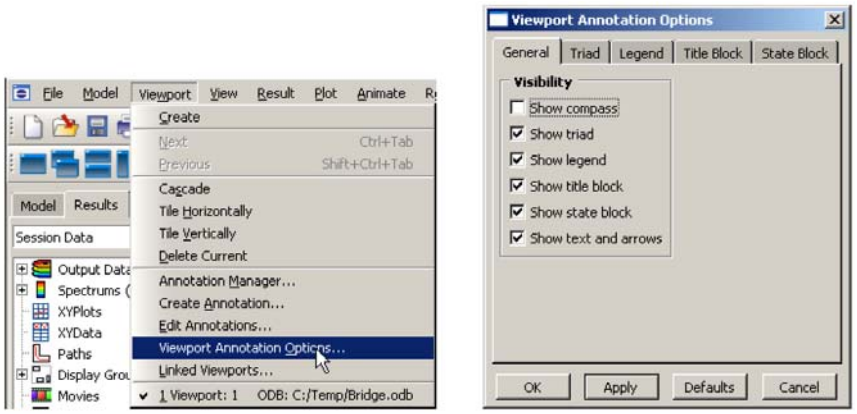
شکل ۳-۲۳- مشاهده نتایج

۳-۳-۲- در منوی میله‌ای بالای صفحه بر روی گزینه Viewport و سپس بر روی گزینه Viewport Annotations Options کلیک کنید.

۱. تیک مربوط به گزینه Show compass option را بردارید.

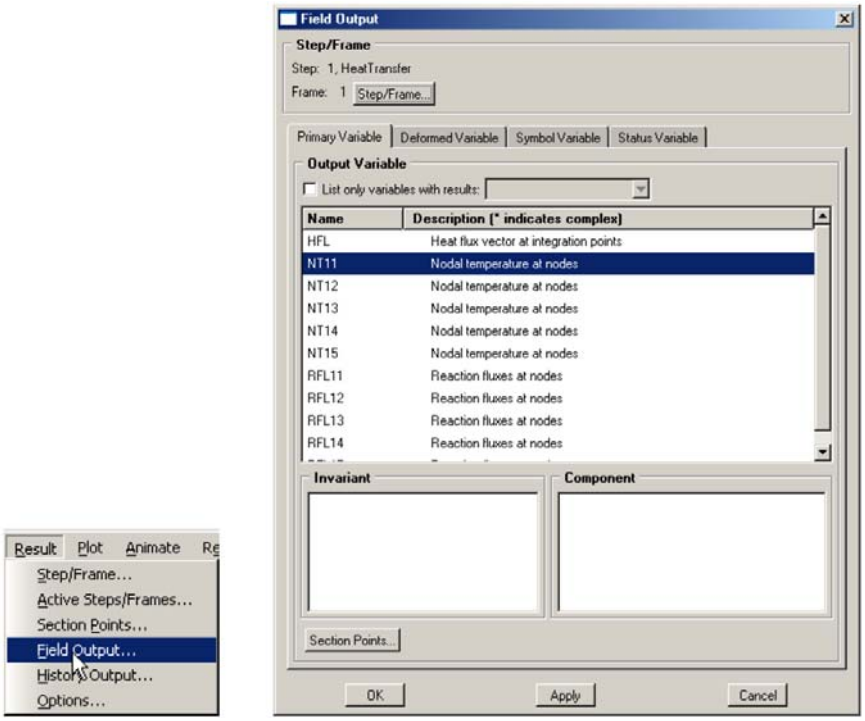
۲. بر روی Ok کلیک کنید.

۳-۳-۳- برای عوض کردن نتایجی که در حال نمایش است، در منوی میله‌ای بالای صفحه بر روی گزینه Results و سپس بر روی گزینه Field Output کلیک کنید.



شکل ۳-۲۴- تنظیمات شکل گزارشهای نمایشی

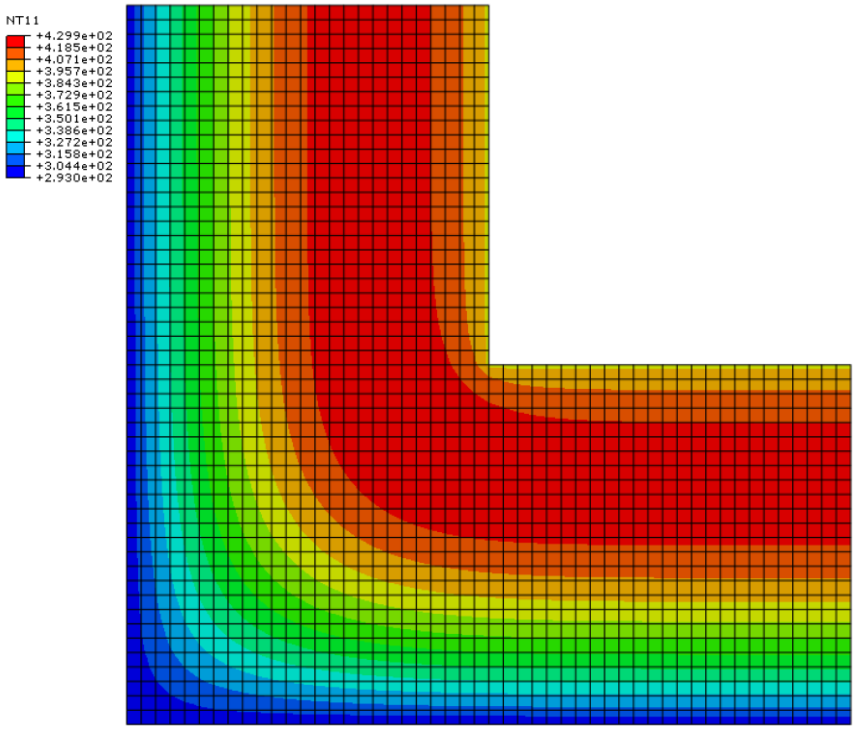
۱. گزینه NT11 Nodal temperature at nodes را انتخاب کنید.
۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۳-۲۵- انتخاب خروجی برای نمایش

۳-۳-۴- کانتور دماها را رسم کنید.

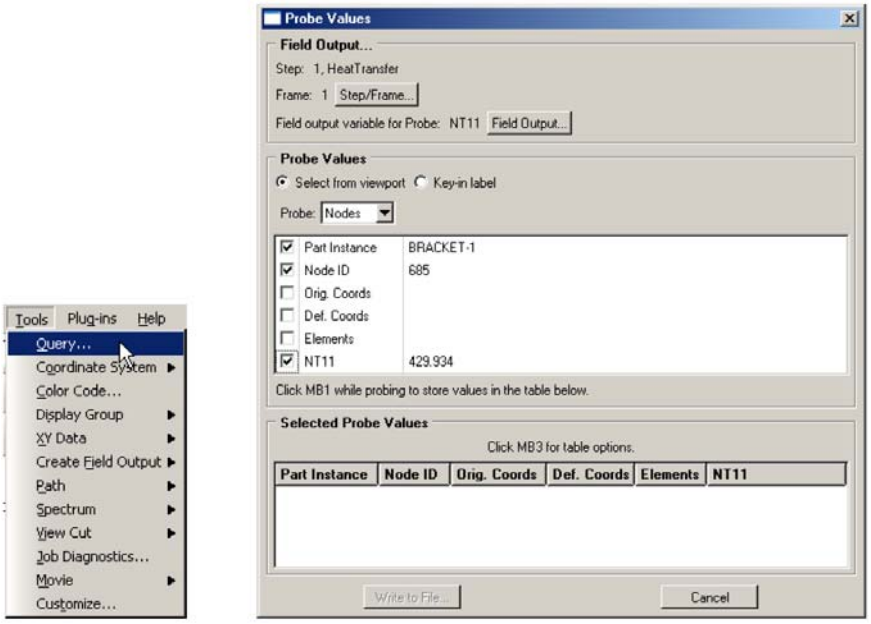
۱. در منوی ابزار عمودی، بر روی دکمه Plot Contours on Deformed Shape کلیک کنید.



شکل ۳-۲۶- کانتور تغییرات دما در سطح صفحه

۳-۳-۵- برای تعیین مقادیر دما، از منوی میله‌ای بالای صفحه بر روی گزینه Tools و سپس بر روی Query کلیک کنید.

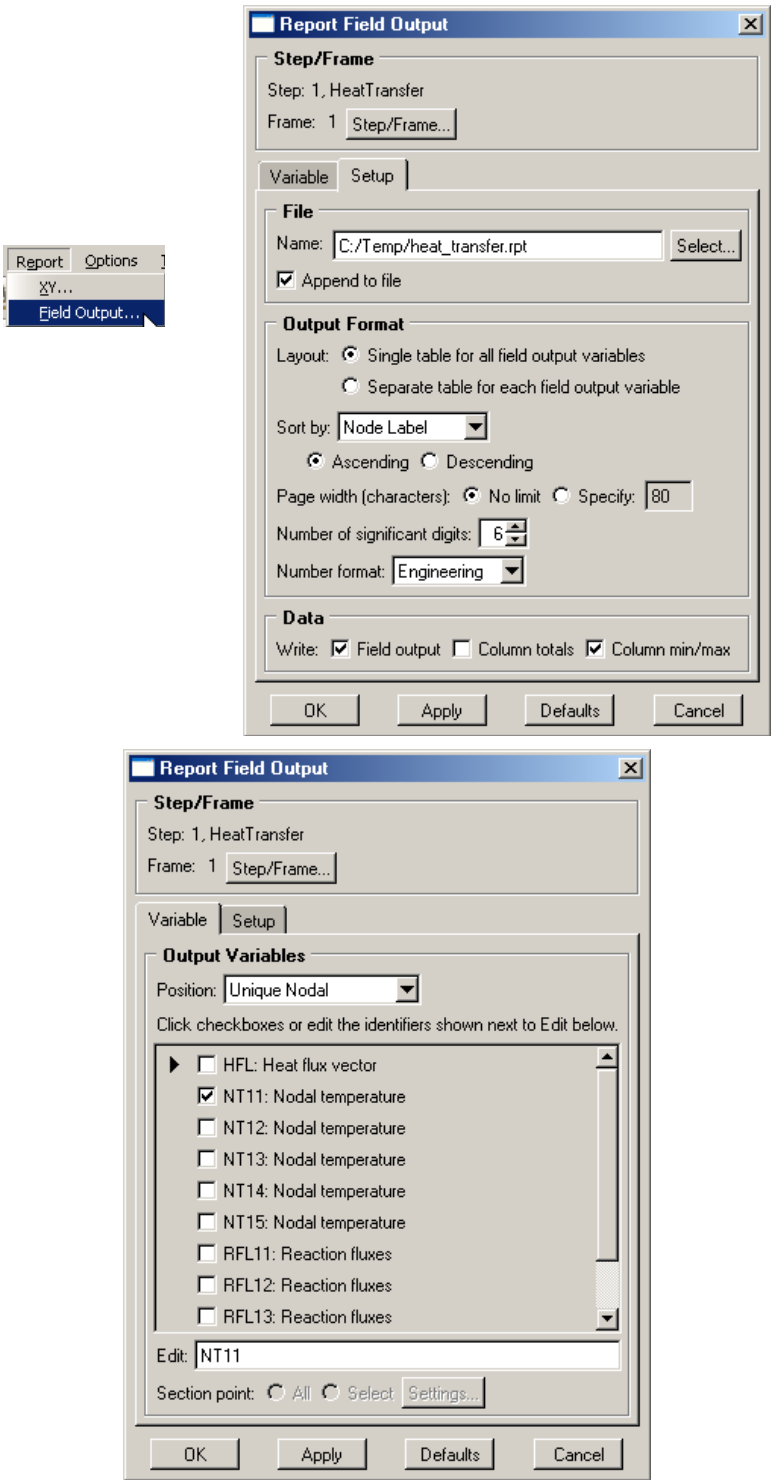
۱. در قسمت probe گزینه Nodes را انتخاب کنید.
۲. بخشی را که با نام Node ID مشخص شده تیک زده و NT11 را انتخاب کنید.
۳. در بخش هندسه مدل، موس را بر روی گره‌های مختلف مورد نظر مدل جابه جا کنید و میزان دمای مربوط به هر یک را مشاهده نمایید.
۴. پس از پایان کار بر روی Cancel کلیک کنید.



شکل ۳-۲۷- مشاهده مقدار درجه حرارت بر روی گره

۳-۳-۶- برای ایجاد فایل متنی که در آن دمای مربوط به تمامی گره‌ها ذکر شده باشد، در منوی میله‌ای بالای صفحه بر روی Report و سپس Field Output کلیک کنید.

۱. موقعیت را به Unique Nodal تعویض کنید.
۲. NT11: Nodal temperature را به عنوان متغیر خروجی تعیین نمایید.
۳. در نوار Setup نام و محل ذخیره شدن فایل متنی مورد نظر را تعیین کنید.
۴. تیک کنار گزینه Column totals را بردارید.
۵. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۳-۲۸- مراحل ساخت فایل اطلاعات خروجی مورد نظر

۳-۳-۷- حال می‌توانید فایل با پسوند rpt. را با نرم افزار باز کردن فایل‌های متنی مانند Notepad باز کنید.

```
*****************************************************
Field Output Report, written Fri Aug 15 11:48:28 2008

Source 1
---------

   ODB: C:/Temp/HeatFlux.odb
   Step: HeatTransfer
   Frame: Increment      1: Step Time =    1.000

Loc 1 : Nodal values from source 1

Output sorted by column "Node Label".

Field Output reported at nodes for part: BRACKET-1

            Node            NT11
           Label          @Loc 1
---------------------------------
               1            293.
               2            293.
               3            293.
               4            393.
               :              :
               :              :
               :              :
            1974         414.022
            1975         408.502
            1976         402.754


  Minimum                  293.

        At Node              224
  Maximum                429.934

        At Node              685
```

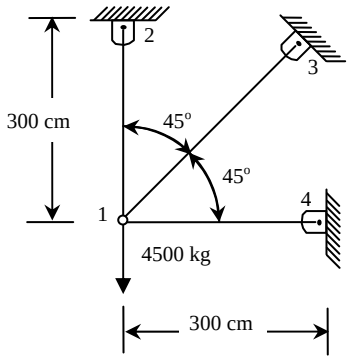
شکل ۳-۲۹- فایل اطلاعات خروجی

فصل چهارم

تحلیل دو بعدی خرپا

۴-۱- صورت مساله

تغییرمکانهای گرهی و تنشهای اعضا را در خرپای زیر به دست آورید. مدول الاستیسیته برابر $E= ۲/۱ \times ۱۰^{۶} kg/cm^2$ و سطح مقطع اعضا برابر $A= ۱۲/۹ cm^2$ است.



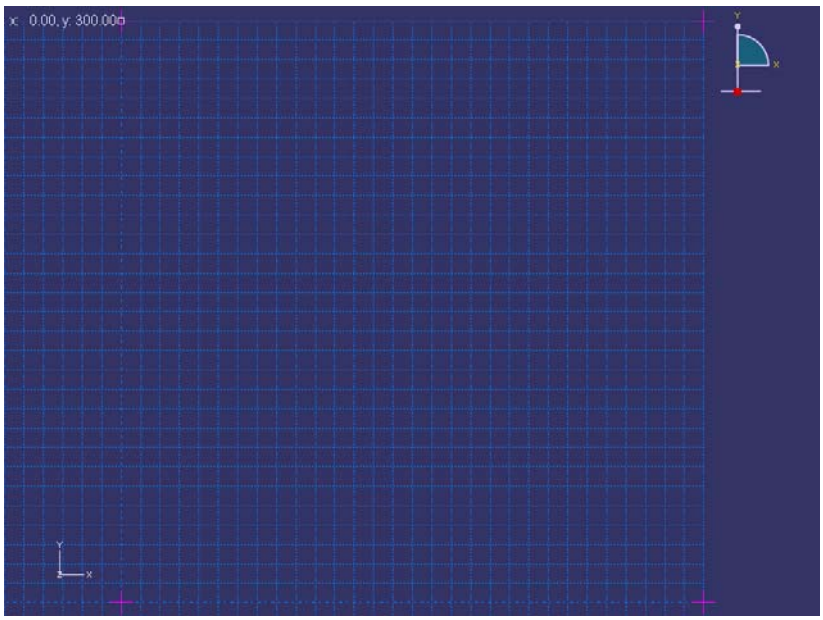
شکل ۴-۱-ابعاد هندسی خرپای مورد نظر

۴-۲- مراحل تحلیل

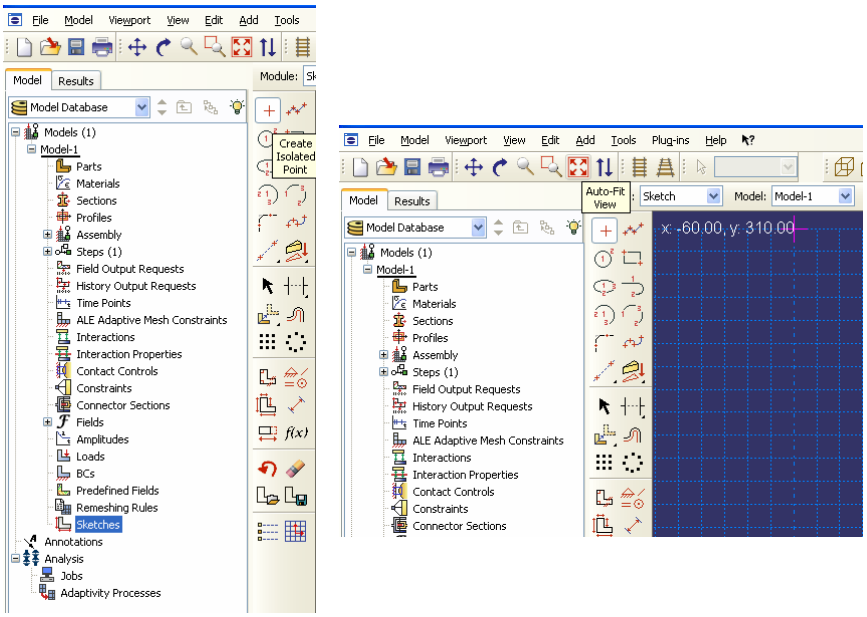
۴-۲-۱- برنامه ABAQUS را باز کرده و گزینه create a new model database را انتخاب کنید.

۴-۲-۲- در منوی درختی بر روی گزینه Sketches دوبار کلیک کنید.

۱. در پنجره باز شده نام Sketch را Truss بگذارید و سایز تقریبی را برابر ۶۰۰ وارد نمایید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. گزینه Create Isolated Point را انتخاب کنید.
۴. در نوار پایین صفحه، مختصات نقاط گرهی خرپا را به ترتیب به صورت (0,0) (300,300) (0,300) (300,0) وارد نمایید و هر بار کلید Enter را فشار دهید.
۵. بر روی علامت ضربدر قرمز واقع بر روی نوار پایین صفحه کلیک کنید تا از حالت Point خارج شوید.
۶. در نوار ابزار افقی بالای صفحه بر روی گزینه Auto-fit View کلیک کنید تا تمامی نقاط تعریف شده نمایش داده شود.

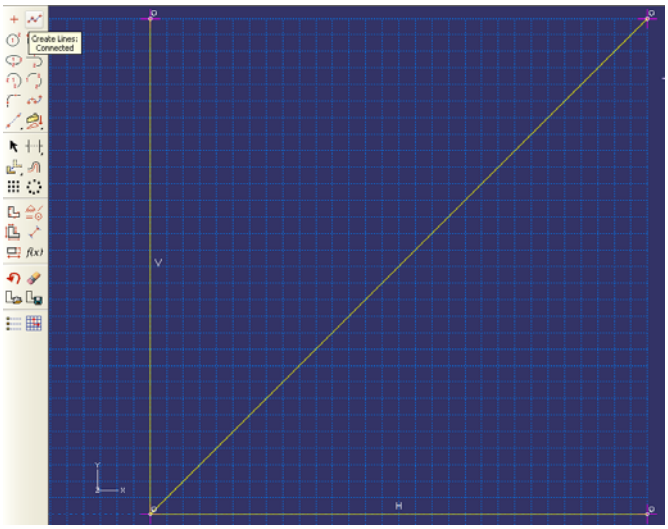


شکل ۴-۲-پنجره گرافیکی برنامه



شکل ۴-۳-رسم هندسه مدل در ماژول Sketch

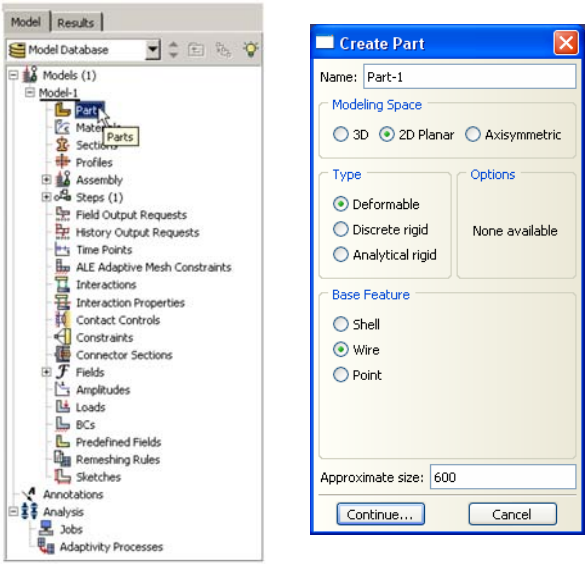
۷. از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Lines : connected کلیک کنید و المانهای خرپا را همانطور که در شکل ذیل نشان داده شده است، رسم نمایید.



شکل ۴-۴-رسم هندسه مدل در ماژول Sketch

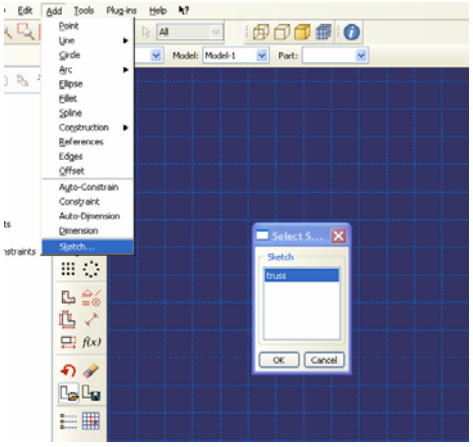
۴-۲-۳- برای تعریف اعضای خرپا از روی شکلهای هندسی کشیده شده بر روی گزینه Part در منوی درختی دوبار کلیک کنید.

۱. در پنجره Create Part گزینه‌های 2D Planer (انتخاب فضای دو بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Wire (المان یک بعدی) را به ترتیب انتخاب کرده و سایز تقریبی مدل را ۶۰۰ وارد نمایید.



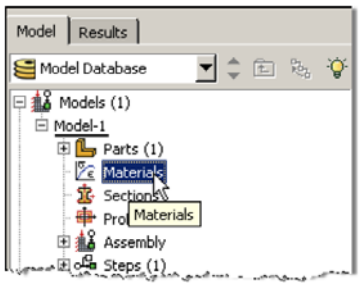
شکل ۴-۵-آیکون و مراحل ساختن اعضا

۲. بر روی گزینه Continue کلیک کنید.
۳. از منوی بالای صفحه گزینه Add را انتخاب کرده و از داخل منوی آبشاری باز شده گزینه Sketch را انتخاب کنید.
۴. شکل truss را که قبلا ساخته بودید انتخاب کرده و بر روی Ok کلیک کنید.
۵. در نوار پایین صفحه دو بار بر روی گزینه Done کلیک نمایید.



شکل ۴-۶-وارد کردن اعضای ساخته شده از ماژول Sketch به ماژول Part

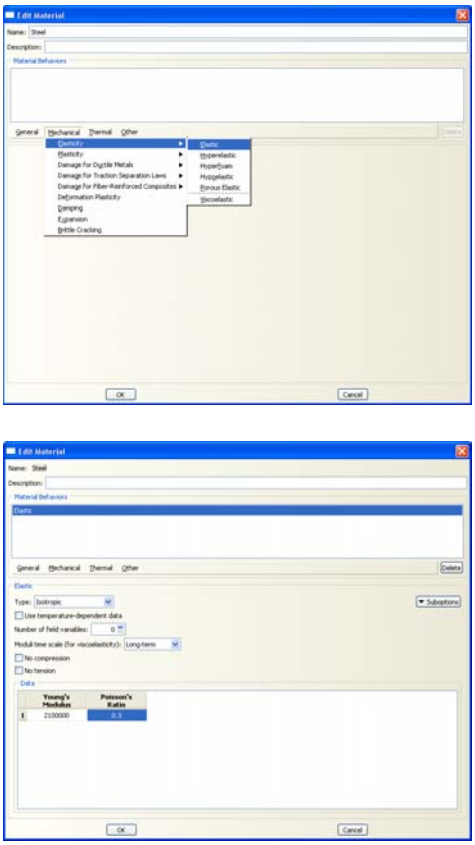
۴-۲-۴- برای آنکه خصوصیات مصالح اعضای خرپای مورد نظر را تعریف نمایید، بر روی گزینه Materials در منوی درختی دوبار کلیک کنید.



شکل ۴-۷- انتخاب آیکون تعریف خصوصیات مصالح

۱. برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (Steel).
۲. در پنجره Edit Material ، گزینه Mechanical را انتخاب کرده و به ترتیب گزینه‌های Elasticity و Elastic را انتخاب نمایید.
۳. مقدار مدول یانگ (الاستیسیته) را برابر $۲/۱ \times ۱۰^{۶}$ و ضریب پواسون را برابر ۰/۳ قرار دهید و بر روی Ok کلیک نمایید.

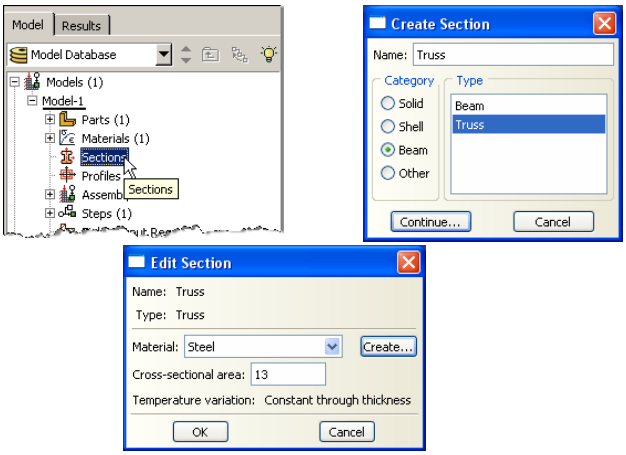
توجه: در نرم افزار ABAQUS سیستم واحد از پیش تعیین شده‌ای وجود ندارد و مسئولیت انتخاب صحیح و متناسب واحدها بر عهده کاربر است.



شکل ۴-۸-تعریف خصوصیات مصالح

۴-۲-۵- برای انتخاب نوع سطح مقطع عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Sections دوبار کلیک کنید.

۱. مقطع مورد نظر را به نام Truss نامگذاری کرده و category آن را از نوع Beam انتخاب کرده و نوع آن را Truss (خرپا) انتخاب کنید.
۲. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۳. برای مقطع مورد نظر مصالحی را که در بالا ساخته بودید انتخاب کنید (Steel) و ضخامت آن را برابر۱۳ قرار دهید.
۴. برروی OK کلیک کنید.



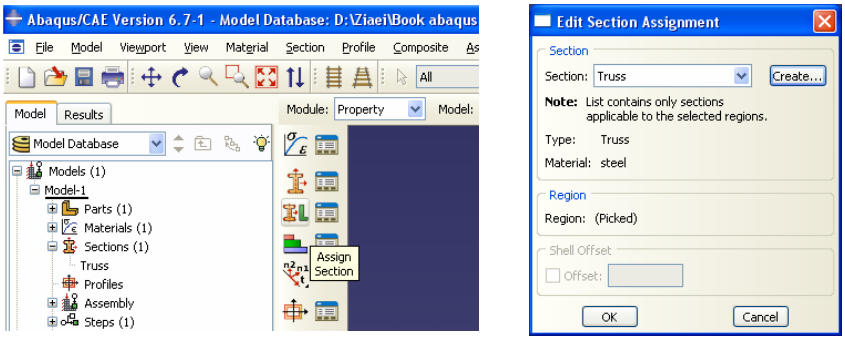
شکل ۴-۹- مراحل تعریف سطح مقطع اعضا

۴-۲-۶- برای اختصاص مقطع تعریف شده به اعضای خرپا مراحل ذیل را انجام دهید :

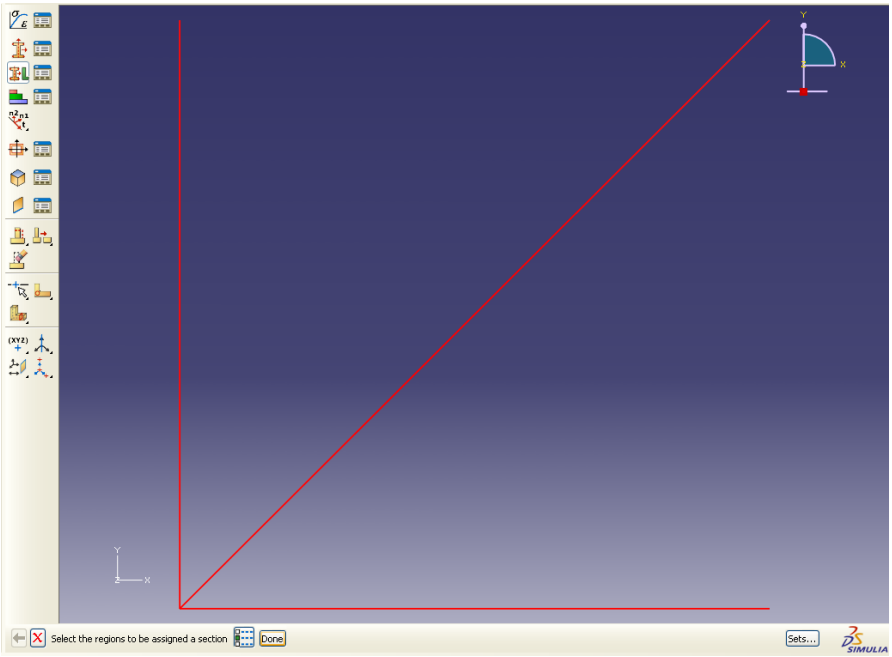
۱. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی تمامی اعضا را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۲. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Truss) را انتخاب نمایید.

۳. بر روی Ok کلیک کنید.



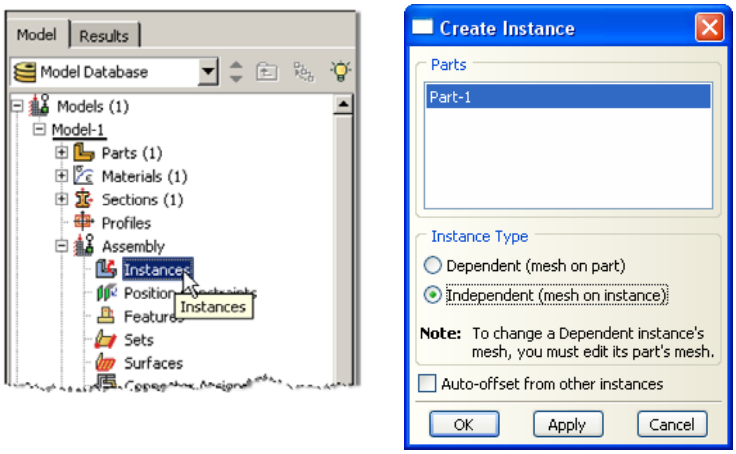
شکل ۴-۱۰- اختصاص خصوصیات مصالح و سطح مقطع به اعضا



شکل ۴-۱۱- نحوه انتخاب مدل ساخته شده

۴-۲-۷- از منوی درختی، بر روی علامت + در کنار گزینه Assembly کلیک کرده تا منوی مربوط به آن باز شود. در این منو بر روی Instances کلیک کنید.

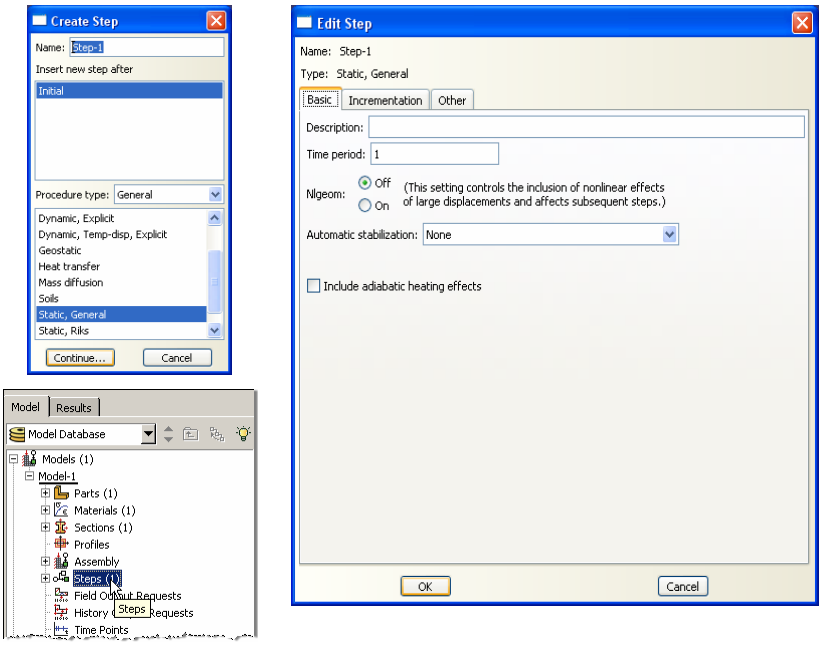
۱. برای نوع instance گزینه Independent را انتخاب کنید.
۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۴-۱۲- وارد کردن اعضای ساخته شده به ماژول Assembly

۴-۲-۸- در منوی درختی بر روی گزینه Steps دوبار کلیک کنید.

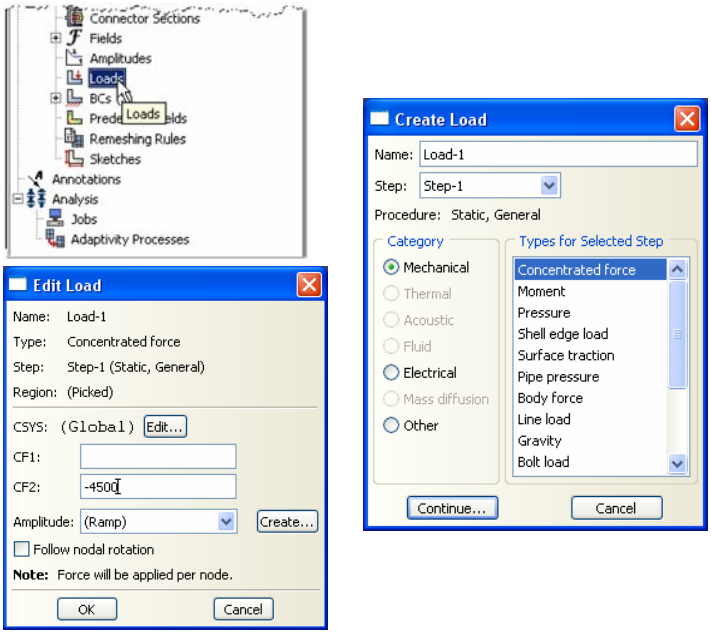
۱. Step را نامگذاری کنید، در قسمت procedure گزینه General را انتخاب کنید و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Static General را انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.
۴. پیش فرضهای موجود در پنجره باز شده را قبول کرده و بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۴-۱۳- مراحل تعریف گامهای تحلیل

۴-۲-۹- در منوی درختی بر روی گزینه Loads کلیک کنید.

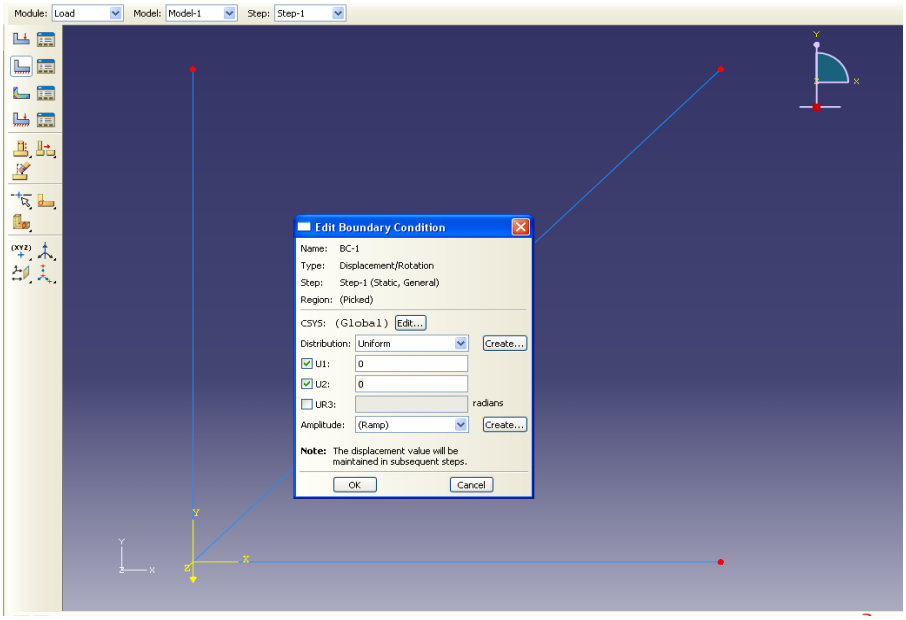
۱. نام بار را Load-1 قرار داده و نوع آن را Concentrated انتخاب کنید.
۲. بر روی Ok کلیک کنید.
۳. نقطه (۰،۰) را که محل تقاطع المانهای خرپا است انتخاب نموده و بار متمرکز به مقدار ۴۵۰۰ کیلوگرم در جهت منفی محور y وارد نمایید.

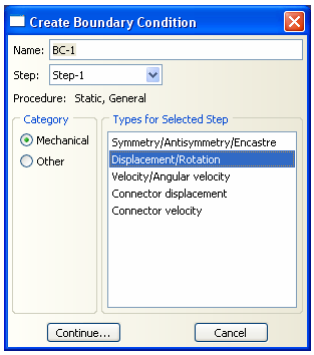


شکل ۴-۱۴- مراحل تعریف بارگذاری

۴-۲-۱۰- در منوی درختی بر روی گزینه BCs دوبار کلیک کنید.

۱. شرط مرزی مربوطه را BC-1 نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement را انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. نقاط تکیه گاهی را با نگه داشتن کلید Shift انتخاب کنید.
۴. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.
۵. در پنجره Edit Boundary Condition بر روی مستطیلهای کنار U_1 و U_2 تیک بزنید تا حرکت انتقالی این نقاط در جهت‌های x و y بسته شود.
۶. بر روی Ok کلیک کنید.

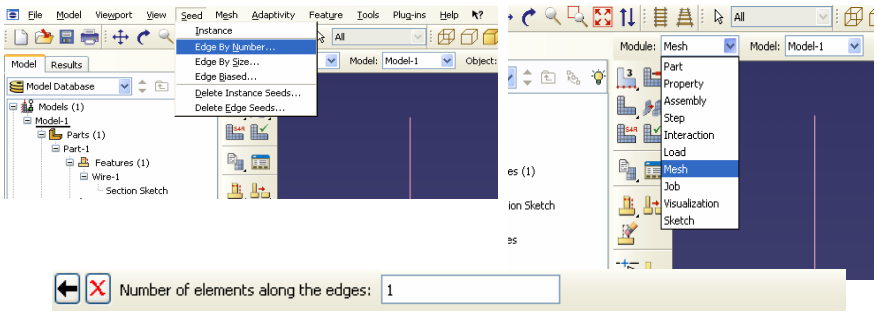




شکل ۴-۱۵- مراحل تعریف شرایط تکیه گاهی

۴-۲-۱۱- برای مش بندی اعضای خرپا به ترتیب زیر عمل نمایید.

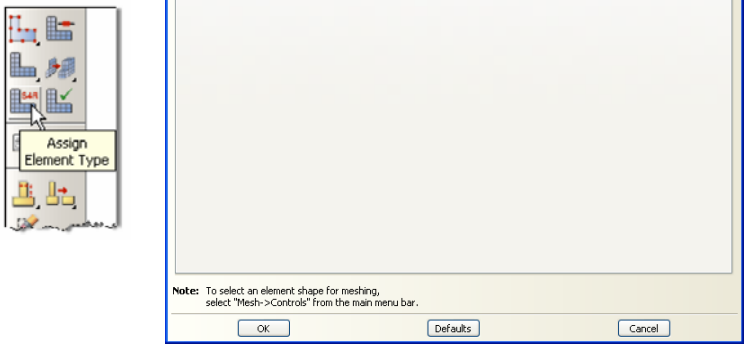
۱. از منوی باز شونده Module بر روی گزینه Mesh کلیک کنید.
۲. از منوی بالای صفحه گزینه Seed و سپس گزینه Edge by Number را انتخاب نمایید.
۳. کلیه اعضای خرپا را با کشیدن یک مستطیل دور آنها انتخاب کنید.
۴. بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.
۵. در نوار پایین صفحه تعداد المانهای هر عضو خرپارا برابر ۱ قرار دهید و دکمه Enter را فشار دهید.
۶. از منوی پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.



شکل ۴-۱۶- انتخاب آیکون مش‌بندی مناسب

۴-۲-۱۲- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Element Type کلیک کنید.

۱. تمام اعضای خرپایی را انتخاب کنید و درمنوی پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.
۲. نوع المان را Standard انتخاب کنید.
۳. مرتبه هندسی (geometric order) را Linear انتخاب کنید.
۴. در بخش family گزینه Truss را انتخاب کنید.
۵. توجه کنید که نام المان (T2D2) و توضیحات مربوط به آن در پایین بخش element controls در پنجره باز شده قرار دارد.
۶. بر روی Ok کلیک کنید.
۷. در منوی پایین صفحه بر Done روی کلیک کنید.

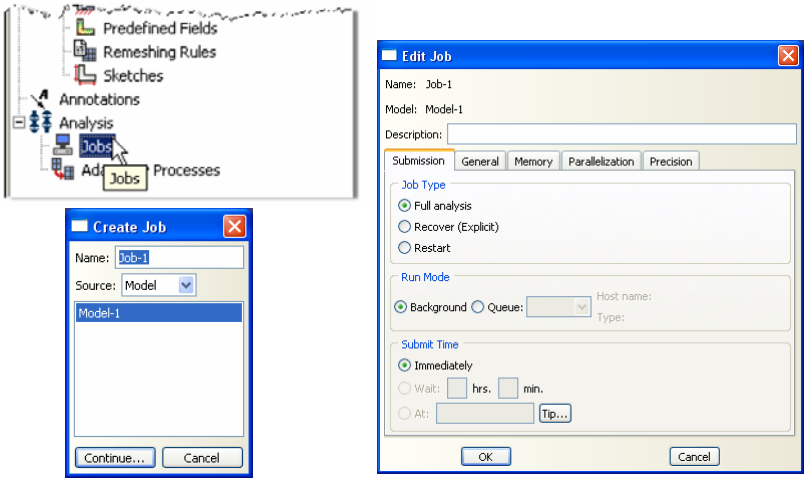


شکل ۴-۱۷- انتخاب نوع المان برای مش بندی

۴-۲-۱۳- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Mesh Part کلیک کنید. و در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

۴-۲-۱۴- در منوی درختی بر روی گزینه Job کلیک کنید.

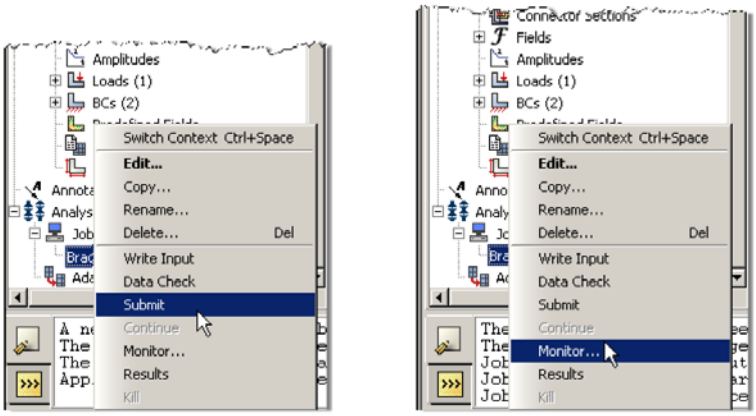
۱. اسم Job را Job-1 بگذارید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.
۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۴-۱۸- مراحل تعریف Job

۴-۲-۱۵- در منوی درختی بر روی Jobای که در مرحله قبل ساختید (Job-1) راست کلیک کنید و Submit را انتخاب کنید.

۱. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است بر روی job در حال تحلیل (Job-1) راست کلیک کرده و Monitor را انتخاب کنید.

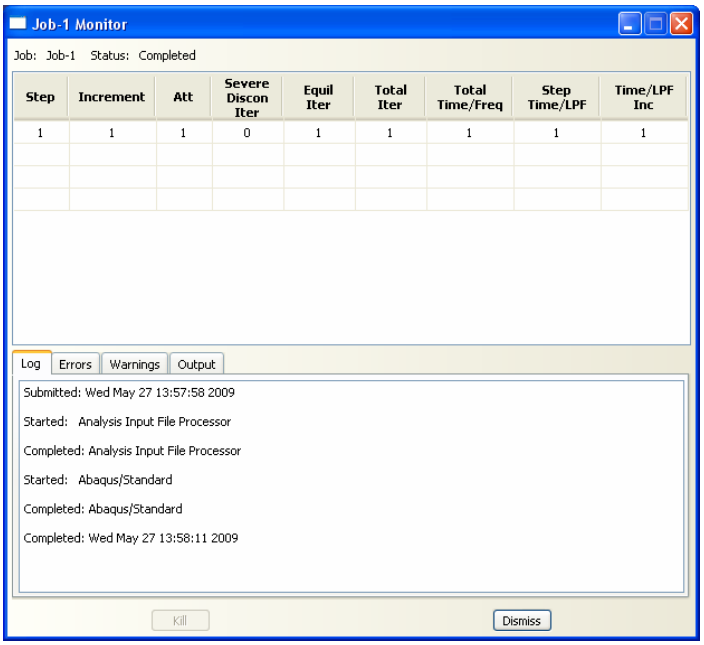


شکل ۴-۱۹- مشاهده مراحل تحلیل

۲. در پنجره‌ای که با نام Monitor باز شده است کنترل کنید که error (خطا) یا warning (اخطار) وجود ندارد.

- در صورتی که خطا وجود داشته باشد باید قبل از آغاز مجدد تحلیل این خطاها را برطرف نمود.

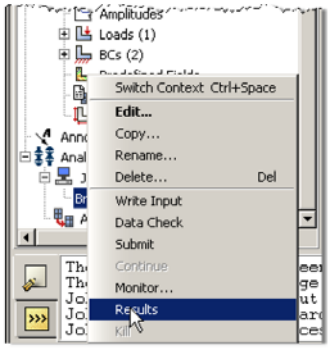
- در صورتی که اخطار وجود داشته باشد باید کنترل شود که آیا این اخطارها باعث ایجاد مشکل در تحلیل خواهند شد یا خیر. از بسیاری از اخطارها می‌توان بطور ایمن چشم پوشی نمود.



شکل ۴-۲۰- مشاهده روند تحلیل

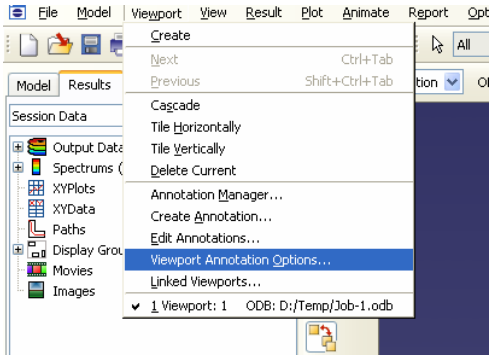
۴-۳-بررسی نتایج

۴-۳-۱- بعد از اتمام تحلیل در منوی درختی بر روی jobای که submit و تحلیل شده است (Job-1) راست کلیک کرده و گزینه Results را انتخاب کنید.

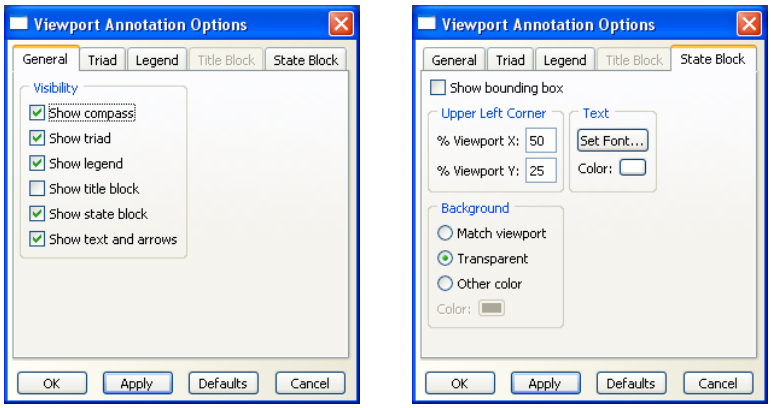


شکل ۴-۲۱- انتخاب دستور مشاهده نتایج

۴-۳-۲- از منوی بالای صفحه گزینه Viewport را انتخاب کنید و سپس گزینه Viewport Annotation Options را انتخاب کنید. در پنجره‌ای که باز می‌شود تیک کنار گزینه Show Title Block را بردارید. سپس در نوار بالای پنجره State Block را انتخاب کنید و مقادیر Viewport x و Viweport y را که نمایانگر محل نمایش توضیحات شکل است به ترتیب برابر ۵۰ و ۲۵ قرار دهید.

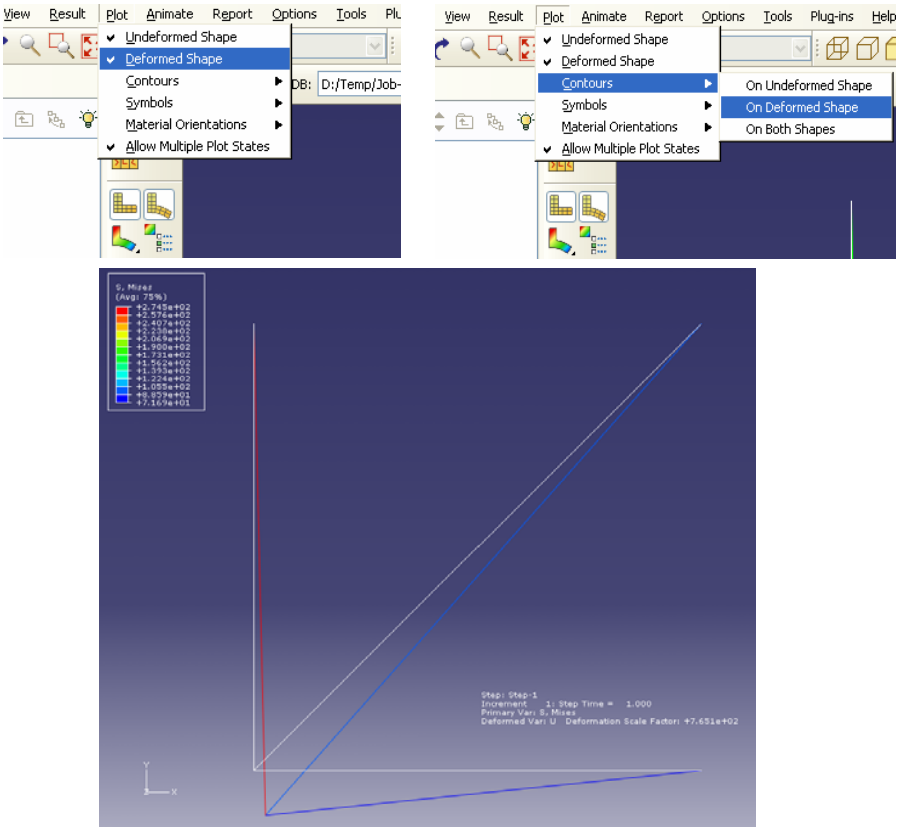


شکل ۴-۲۲- تنظیمات صفحه نمایش



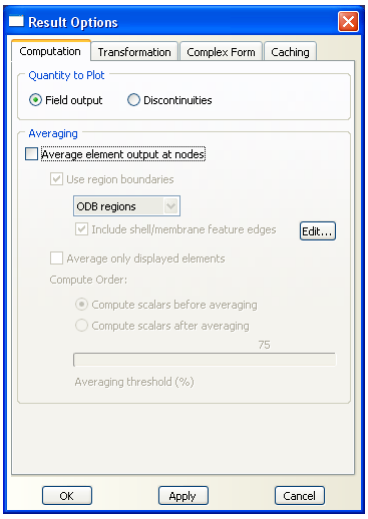
شکل ۴-۲۳- تغییر مختصات نمایش اطلاعات نمایشی بر روی پنجره گرافیکی

۴-۳-۳- از منوی بالای صفحه گزینه Plot را انتخاب کنید. گزینه Allow multiple plot states، Undeformed Shape و Deformed Shape را به ترتیب انتخاب نمایید تا بتوانید شکل اصلی و تغییر شکل یافته سازه را همزمان مشاهده نمایید.



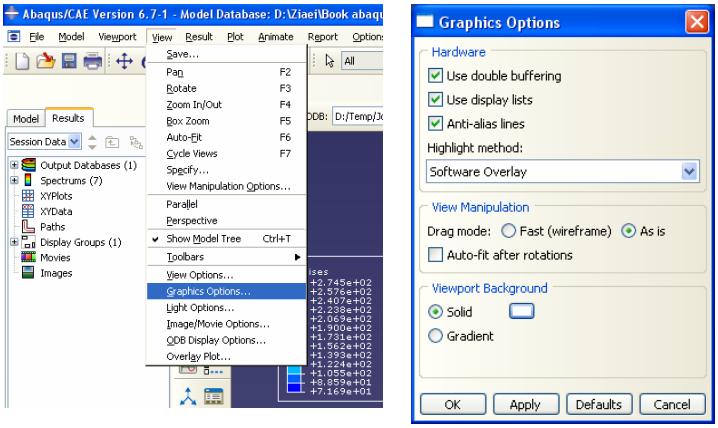
شکل ۴-۲۴- نحوه نمایش مدل تغییرمکان یافته و اولیه به صورت همزمان

۴-۳-۴- از منوی بالای صفحه گزینه Results و سپس Options را انتخاب کرده و در پنجره‌ای که باز می‌شود تیک مربوط به Average element output at nodes را بردارید.

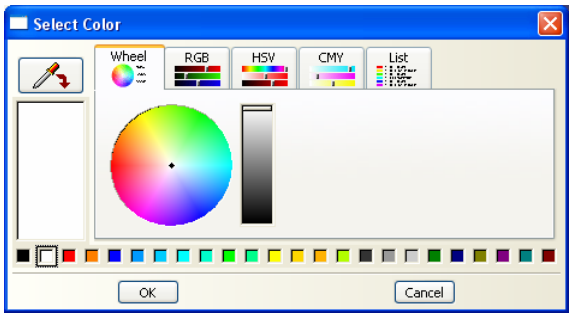


شکل ۴-۲۵- تنظیمات مربوط به اطلاعات خروجی

۴-۳-۵- از منوی بالای صفحه گزینه View و سپس Graphics Options را انتخاب کرده و در پنجره Viewport Background گزینه Solidرا در پنجره باز شده انتخاب نمایید. برای تغییر رنگ زمینه صفحه نمایش به رنگ سفید، بر روی مستطیل روبروی گزینه Solid کلیک کرده و در پنجره Select Color رنگ سفید را انتخاب نمایید و بر روی Ok کلیک کنید.

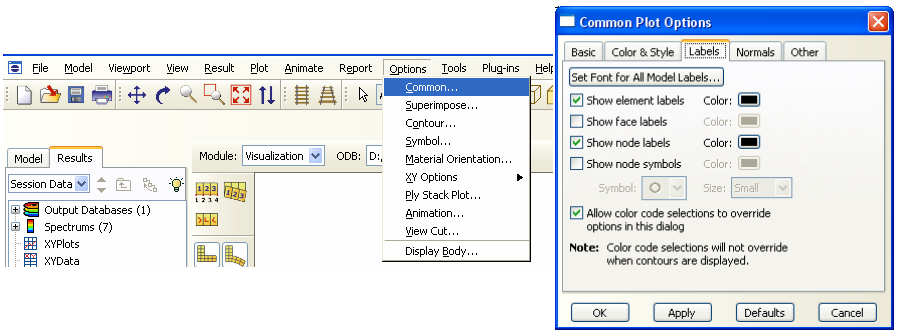


شکل ۴-۲۶- مراحل تغییررنگ پس زمینه



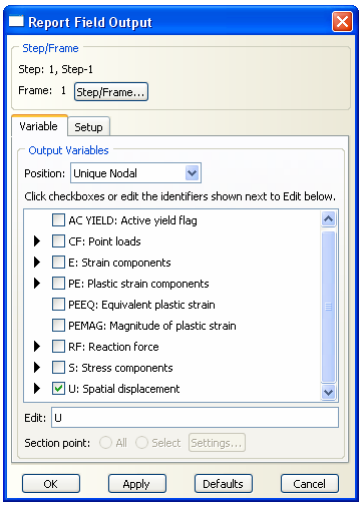
شکل ۴-۲۷- مراحل تغییررنگ پس زمینه

۴-۳-۶- برای نشان دادن شماره اعضا و گره‌ها از منوی بالای صفحه گزینه Options و سپس Common را انتخاب کنید. در نوار بالایی پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه Labels را انتخاب کنید و در جلوی گزینه‌های Show Element Label و Show Node Label تیک بزنید. در کنار هرکدام از این گزینه‌ها بخشی با نام Color وجود دارد که با کلیک بر روی مستطیل کنار آن می‌توانید رنگ مورد نظر برای نمایش شماره اعضا و گره‌ها را انتخاب کنید. برای بهتر مشخص شدن شماره‌ها، رنگ هر دو قسمت را با کلیک بر روی مستطیل مربوطه سیاه انتخاب کنید.



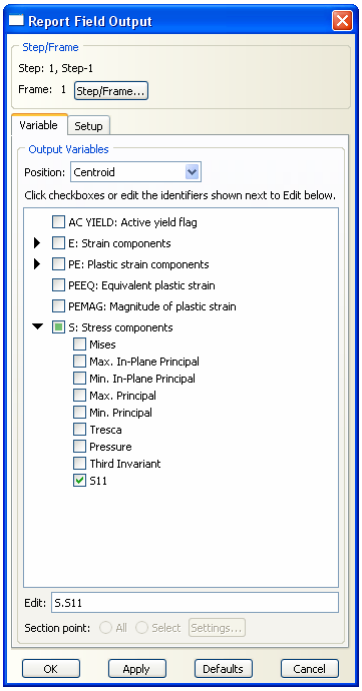
شکل ۴-۲۸- مراحل تغییررنگ اطلاعات نمایشی بر روی پنجره گرافیکی

۴-۳-۷- برای گرفتن مقادیر تغییرمکانها در فایل خروجی با نام abaqus.rpt، از منوی Report گزینه Field Output را انتخاب نمایید. در پنجره‌ای که باز می‌شود در قسمت Position گزینه Unique Nodal را انتخاب کنید. در قسمت پایین پنجره باز شده، تیک گزینه U: Spatial Displacement را فعال کنید و بر روی دکمه Apply کلیک کنید.



شکل ۴-۲۹- انتخاب اطلاعات خروجی برای نمایش

۴-۳-۸- برای گرفتن مقادیر تنشها در فایل خروجی با نام abaqus.rpt ، از منوی Report گزینه Field Output را انتخاب نمایید. در پنجره‌ای که باز می‌شود در قسمت Position گزینه Centroid را انتخاب کنید. در قسمت پایین پنجره باز شده، بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه S: Stress Component کلیک کنید و از بین گزینه‌های موجود تنها تیک مر بوط به S11 را فعال کنید و بر روی دکمه Apply کلیک کنید.



شکل ۴-۳۰- انتخاب اطلاعات خروجی برای نمایش

۴-۳-۹- در پوشه ی Temp در محلی که ABAQUS را نصب کرده اید فایل abaqus.rpt را با کمک نرم افزار Notepad باز کنید. در این فایل می‌توانید اطلاعات مربوط به تغییرمکانها و تنشها که قبلا تعریف کرده اید، مشاهده نمایید.

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Jun 25 12:34:41 2009

Source 1
---------

  ODB: D:/Temp/Job-1.odb
  Step: Step-1
  Frame: Increment     1: Step Time =    1.000

Loc 1 : Nodal values from source 1

Output sorted by column "Node Label".

Field Output reported at nodes for part: PART-1-1

       Node    U.Magnitude          U.U1          U.U2
      Label        @Loc 1        @Loc 1        @Loc 1
-------------------------------------------------------------
          1   3.56802E-33            0.   -3.56802E-33
          2   40.5245E-03    10.2415E-03    -39.209E-03
          3   1.31802E-33   -931.981E-36   -931.981E-36
          4   931.981E-36    931.981E-36            0.


 Minimum         931.981E-36   -931.981E-36    -39.209E-03
     At Node           4             3             2

 Maximum         40.5245E-03    10.2415E-03            0.
     At Node           2             2             4

       Total    40.5245E-03    10.2415E-03   -39.2090E-03
```

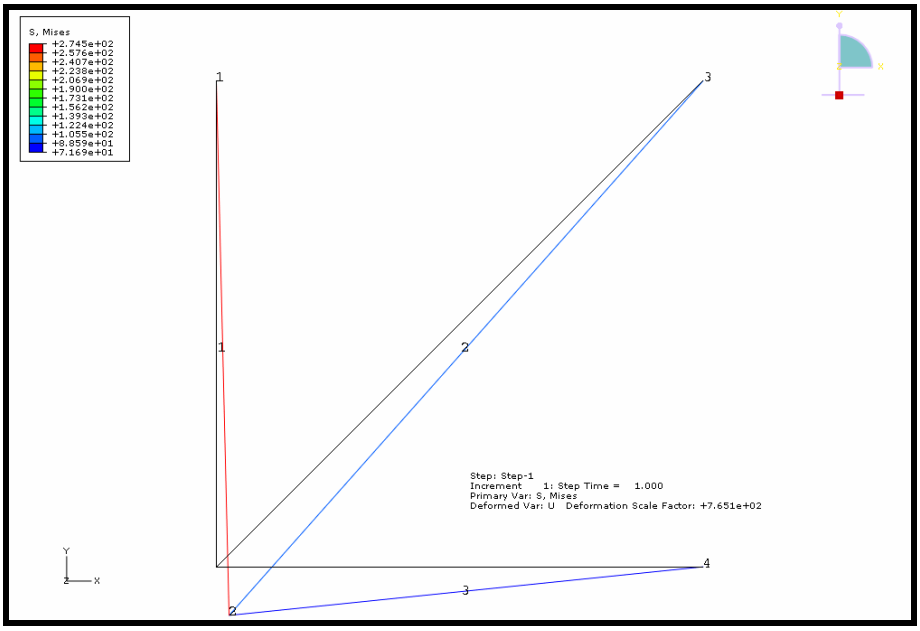
شکل ۴-۳۱- اطلاعات خروجی

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Jun 25 12:36:10 2009

Source 1
---------

  ODB: D:/Temp/Job-1.odb
  Step: Step-1
  Frame: Increment     1: Step Time =    1.000

Loc 1 : Nodal values from source 1

Output sorted by column "Node Label".

Field Output reported at nodes for part: PART-1-1

       Node    U.Magnitude          U.U1          U.U2
      Label        @Loc 1        @Loc 1        @Loc 1
-------------------------------------------------------------
          1   3.56802E-33            0.   -3.56802E-33
          2   40.5245E-03    10.2415E-03    -39.209E-03
          3   1.31802E-33   -931.981E-36   -931.981E-36
          4   931.981E-36    931.981E-36            0.


 Minimum         931.981E-36   -931.981E-36    -39.209E-03
     At Node           4             3             2

 Maximum         40.5245E-03    10.2415E-03            0.
     At Node           2             2             4

       Total    40.5245E-03    10.2415E-03   -39.2090E-03
```

شکل ۴-۳۲- اطلاعات خروجی

```
**********************************************************************
Field Output Report, written Thu Jun 25 12:36:14 2009

Source 1
---------

  ODB: D:/Temp/Job-1.odb
  Step: Step-1
  Frame: Increment     1: Step Time =    1.000

Loc 1 : Nodal values from source 1

Output sorted by column "Node Label".

Field Output reported at nodes for part: PART-1-1

       Node    U.Magnitude          U.U1          U.U2
      Label        @Loc 1        @Loc 1        @Loc 1
-------------------------------------------------------------
          1   3.56802E-33            0.  -3.56802E-33
          2   40.5245E-03   10.2415E-03   -39.209E-03
          3   1.31802E-33  -931.981E-36  -931.981E-36
          4   931.981E-36   931.981E-36            0.


 Minimum       931.981E-36  -931.981E-36   -39.209E-03
    At Node              4             3             2

 Maximum       40.5245E-03   10.2415E-03            0.
    At Node              2             2             4

       Total   40.5245E-03   10.2415E-03  -39.2090E-03
```

شکل ۴-۳۳- اطلاعات خروجی



شکل ۴-۳۴- شکل اولیه و تغییر شکل یافته در پس زمینه مناسب

فصل پنجم

تحلیل کمانش ستون

۵-۱- صورت مساله

یک ستون به طول ۵ متر و سطح مقطع دایره‌ای به قطر ۱۰ cm که تحت بارگذاری تک محوری است را درنظر بگیرید. این ستون در دو انتها مفصل شده است. مودهای کمانشی بحرانی و شکل مودهای مربوطه را به دست آورید.

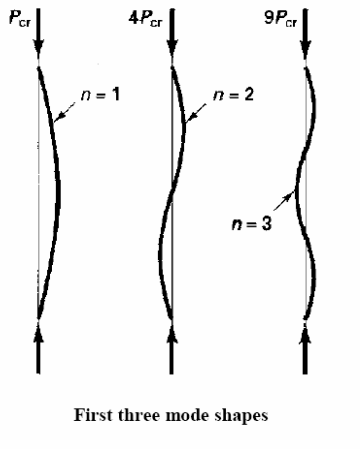
۵-۲-حل تئوری

بار کمانشی اولر به طور تئوری از فرمول ذیل به دست می‌آید :

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2}$$

برای ستون فلزی مدول الاستیسیته برابر (E=۲۱۰GPa) و مقدار ممان اینرسی برابر ($I=۴/۹۰۹ \times ۱۰^{-۶} m^4$) می‌باشد. بارهای کمانشی بحرانی و شکلهای مودی برای شش مود اول با استفاده از فرمول فوق محاسبه شده است و در زیر قابل مشاهده می‌باشد.

n	P_{cr}
1	3.876e5
2	1.550e6
3	3.488e6
4	6.202e6
5	9.690e6
6	1.395e7

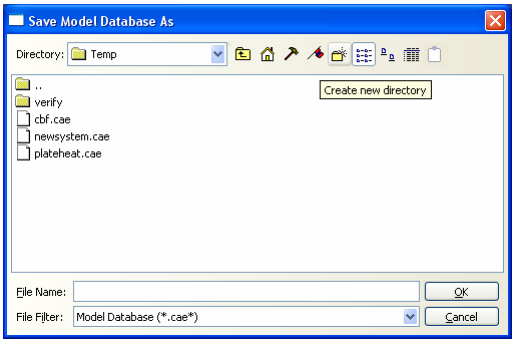


شکل ۵-۱-نتایج حاصل از حل تئوری

۵-۳- مراحل تحلیل

۵-۳-۱- برنامه ABAQUS را باز کرده و گزینه create a new model database را انتخاب کنید.

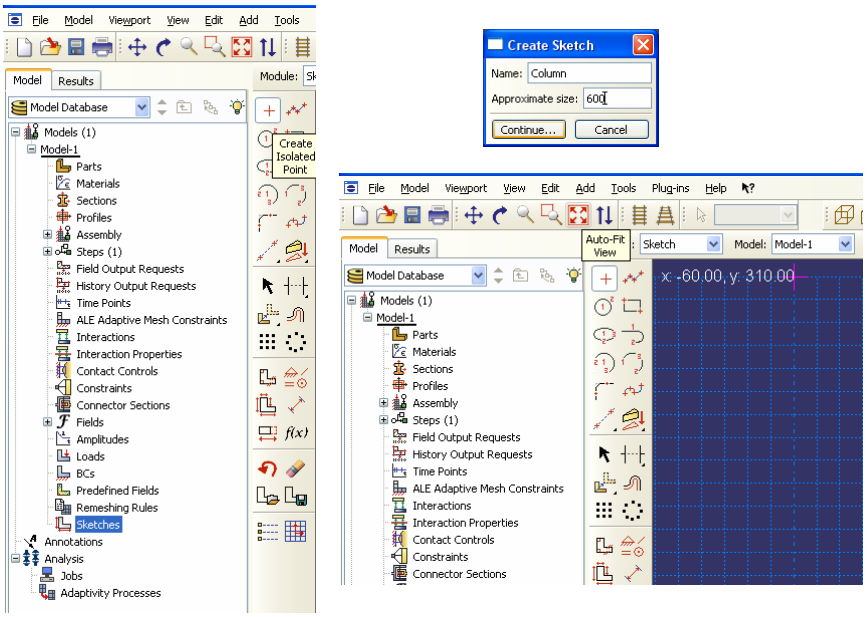
۵-۳-۲- برای اینکه مسیری برای ذخیره از ابتدای شروع مدلسازی به برنامه معرفی شود از منوی بالای صفحه گزینه File و سپس Save As را انتخاب کنید. بر روی گزینه create directory for files کلیک کنید.



شکل ۵-۲-ذخیره فایل ساخته شده

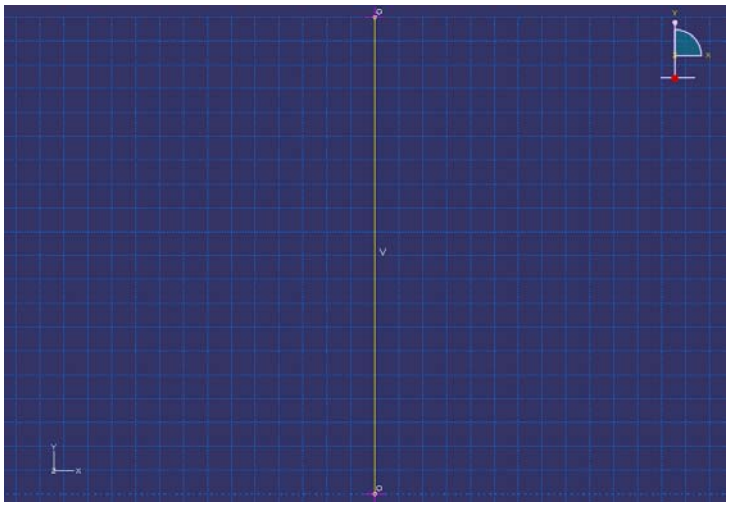
۵-۳-۳- در منوی درختی بر روی گزینه Sketches دوبار کلیک کنید.

۱. در پنجره باز شده نام Sketch را Column بگذارید و سایز تقریبی را برابر ۶۰۰ وارد نمایید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید..
۳. گزینه Create Isolated Point را انتخاب کنید.
۴. در نوار پایین صفحه، مختصات نقاط دو انتهای ستون را به ترتیب به صورت (0,0) و (0,500) وارد نمایید و هر بار کلید Enter را فشار دهید.
۵. بر روی علامت ضربدر قرمز واقع بر روی نوار پایین صفحه کلیک کنید تا از حالت Point خارج شوید.
۶. در نوار ابزار افقی بالای صفحه بر روی گزینه Auto-fit View کلیک کنید تا تمامی نقاط تعریف شده نمایش داده شود.



شکل ۵-۳- مراحل ترسیم ستون

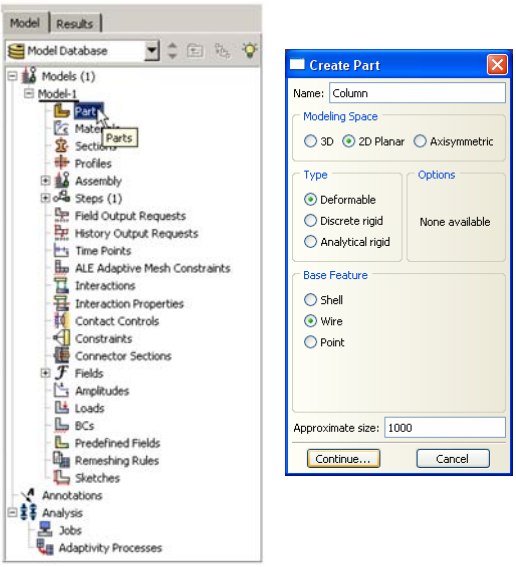
۷. از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Lines : connected کلیک کنید و ستون را همانطور که در شکل ذیل نشان داده شده است، رسم نمایید.



شکل ۵-۴-هندسه ستون رسم شده

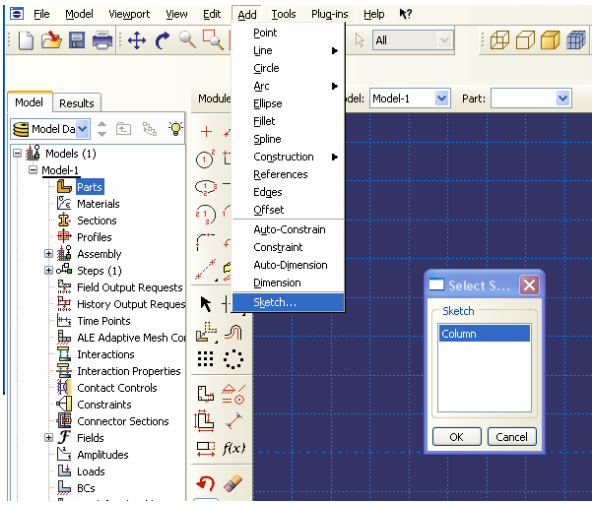
۵-۳-۴- برای تعریف عضو ستون از روی شکل هندسی ترسیم شده بر روی گزینه Part در منوی درختی دوبار کلیک کنید.

۱. در پنجره Create Part گزینه‌های 2D Planer (انتخاب فضای دو بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Wire (المان یک بعدی) را به ترتیب انتخاب کرده و سایز تقریبی مدل را ۱۰۰۰ وارد نمایید.



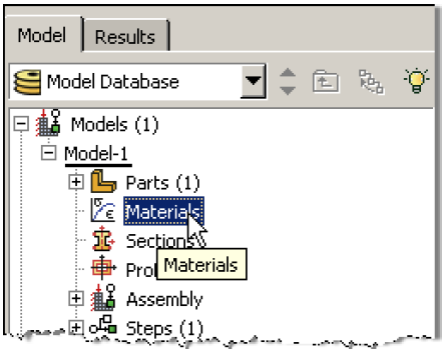
شکل ۵-۵-مراحل تعریف عضو ستون

۲. بر روی گزینه Continue کلیک کنید.
۳. از منوی بالای صفحه گزینه Add را انتخاب کرده و از داخل منوی آبشاری باز شده گزینه Sketch را انتخاب کنید.
۴. شکل Column را که قبلا ساخته بودید انتخاب کرده و بر روی Ok کلیک کنید.
۵. در نوار پایین صفحه دو بار بر روی گزینه Done کلیک نمایید.



شکل ۵-۶-اختصاص هندسه رسم شده به عضو

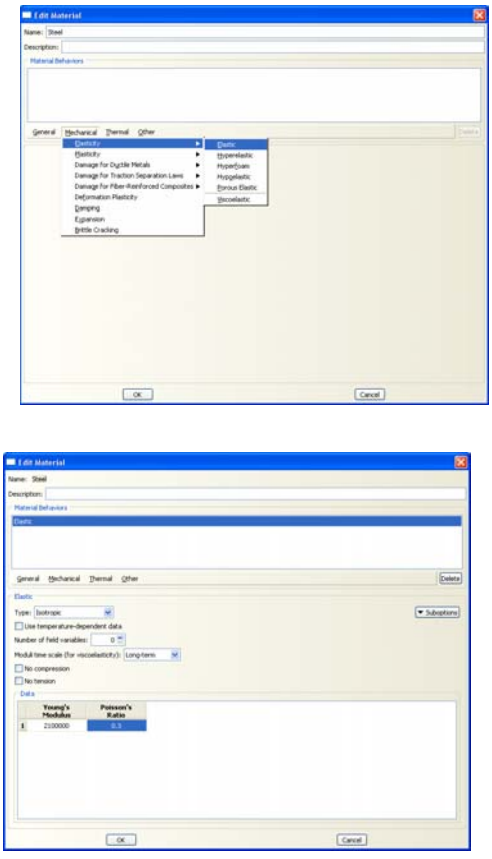
۵-۳-۵- برای آنکه خصوصیات مصالح ستون مورد نظر را تعریف نمایید، بر روی گزینه Materials در منوی درختی دوبار کلیک کنید.



شکل ۵-۷-آیکون تعریف خصوصیات مصالح

۱. برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (Steel).
۲. در پنجره Edit Material ، گزینه Mechanical را انتخاب کرده و به ترتیب گزینه‌های Elasticity و Elastic را انتخاب نمایید.
۳. مقدار مدول یانگ (الاستیسیته) را برابر $۲/۱ \times ۱۰^{۶}$ و ضریب پواسون را برابر ۰/۳ قرار دهید و بر روی Ok کلیک نمایید.

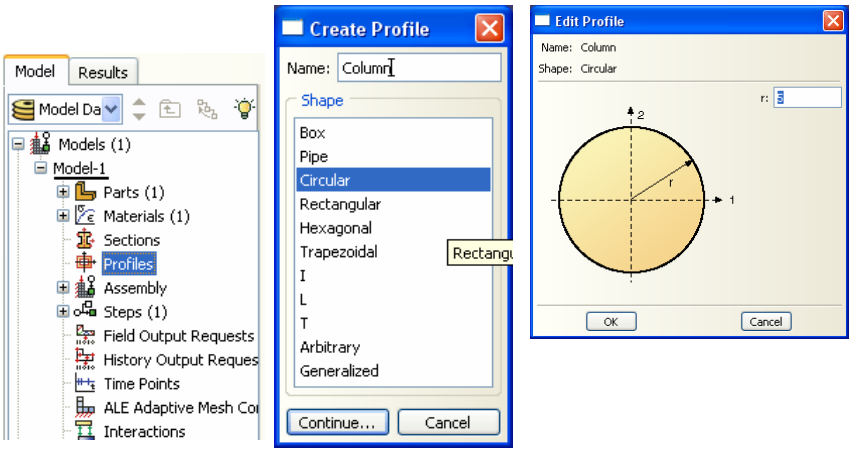
توجه: در نرم افزار ABAQUS سیستم واحد از پیش تعیین شده‌ای وجود ندارد و مسئولیت انتخاب صحیح و متناسب واحدها بر عهده کاربر است.



شکل ۵-۸-مراحل تعریف خصوصیات مصالح ستون

۵-۳-۶- برای انتخاب شکل سطح مقطع عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Profiles دوبار کلیک کنید.

۱. مقطع مورد نظر را به نام Column نامگذاری کرده و Shape آن را از نوع Circular انتخاب کرده و برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۲. شعاع مقطع دایروی را برابر ۵ (یعنی ۵ سانتیمتر) قرار دهید.
۳. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۵-۹-مراحل تعریف پروفیل ستون

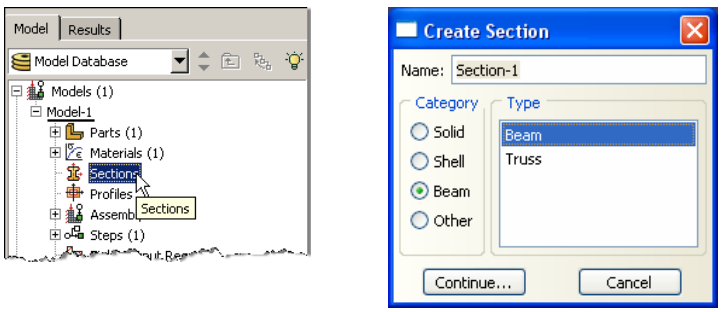
۵-۳-۷- برای انتخاب سطح مقطع عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Sections دوبار کلیک کنید.

۱.مقطع مورد نظر را به نام Section-1 نامگذاری کرده و category آن را از نوع Beam انتخاب کرده و نوع آن را Beam (تیر) انتخاب کنید.

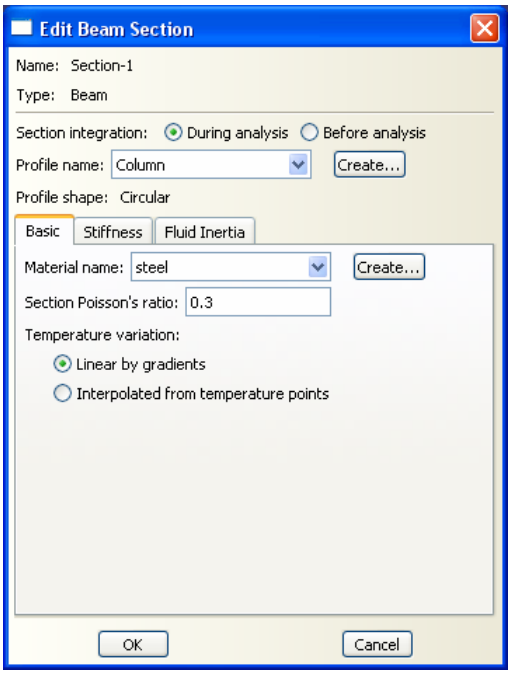
۲.برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۳.در پنجره Edit Beam Section شکل (Column) و مصالح مقطع مورد نظر (Steel) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۴.برروی OK کلیک کنید.



شکل ۵-۱۰- تعریف سطح مقطع ستون



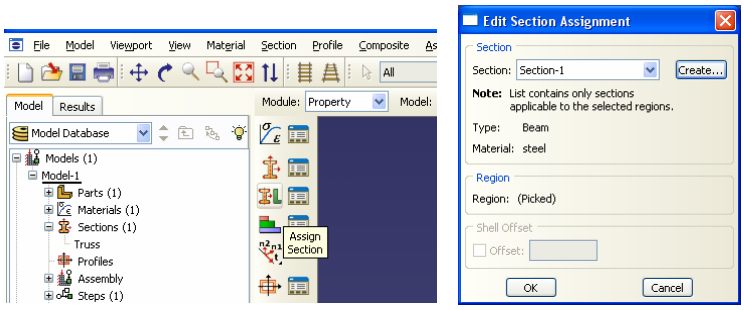
شکل ۵-۱۱- تعریف سطح مقطع ستون

۵-۳-۸- برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۱. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی ستون مورد نظر را را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۲. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-1) را انتخاب نمایید.

۳. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۵-۱۲- اختصاص سطح مقطع ستون

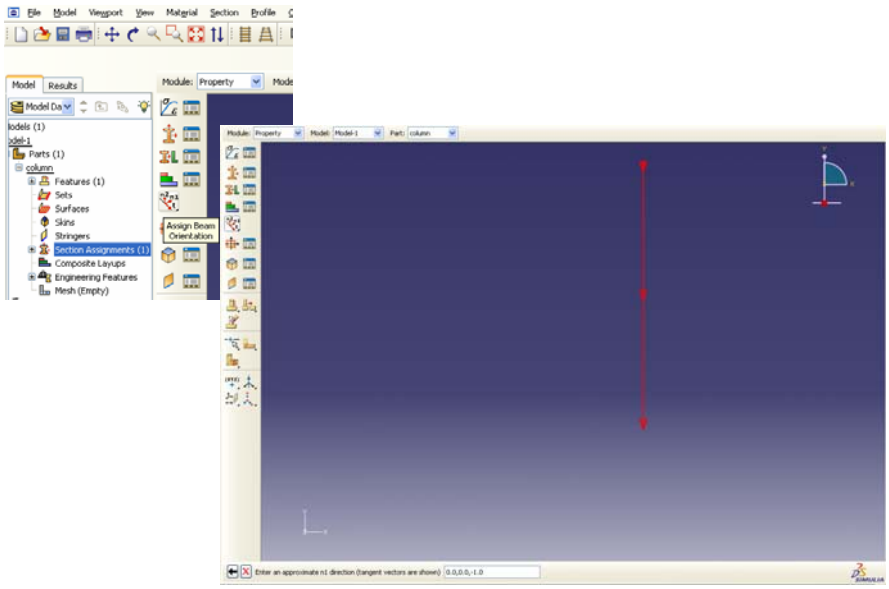
۵-۳-۹- برای تعریف مختصات محلی مراحل زیر را انجام دهید.

۱. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Beam Section Orientation کلیک نمایید

۲. در پنجره گرافیکی ستون مورد نظر را را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۳. سپس بر روی نوار پایین صفحه مختصات محور محلی را برای عضو ستون بصورت (0.0,0.0,-1.0) وارد نمایید.

۴. سپس به ترتیب بروی دکمه Enter، دکمه Ok و Done کلیک نمایید.

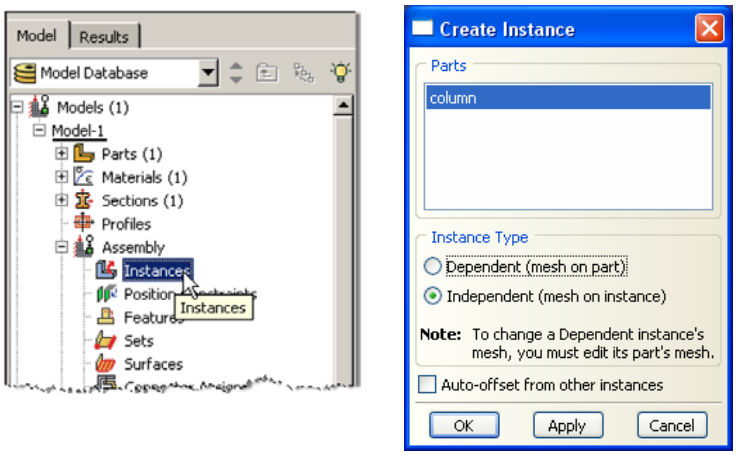


شکل ۵-۱۳- تعریف جهت گیری ستون

۵-۳-۱۰- از منوی درختی، بر روی علامت + در کنار گزینه Assembly کلیک کرده تا منوی مربوط به آن باز شود. در این منو بر روی Instances کلیک کنید.

۱. برای نوع instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۵-۱۴- وارد کردن عضو ساخته شده به ماژول Assembly

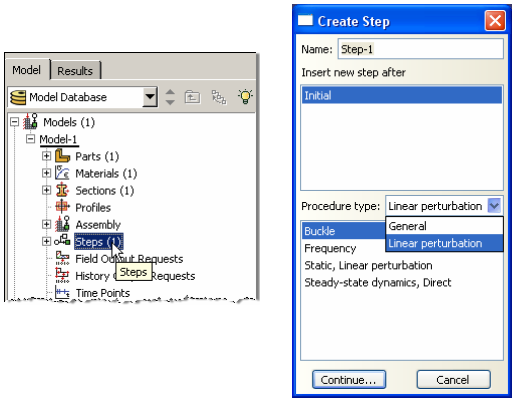
۵-۳-۱۱- در منوی درختی بر روی گزینه Steps دوبار کلیک کنید.

۱.Step را با نام Step-1 نامگذاری کنید، در قسمت procedure گزینه Linear Perturbationرا انتخاب و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Buckle را انتخاب کنید.

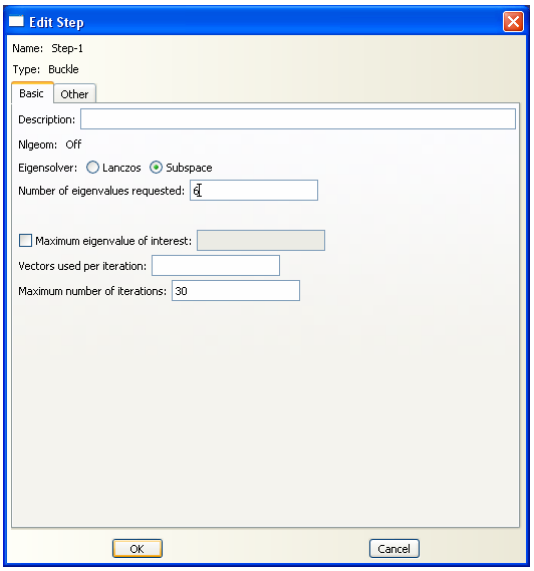
۲.بر روی Continue کلیک کنید.

۳.در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.

۴.تعداد مودهای درخواستی (Number of Eigenvalues requested) را برابر ۶ وارد نموده و بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۵-۱۵- مراحل تعریف گامهای تحلیل



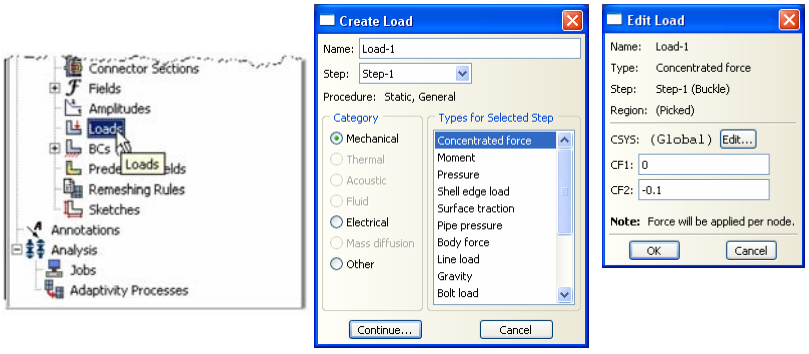
شکل ۵-۱۶- مراحل تعریف گامهای تحلیل

۵-۳-۱۲- برای تعریف بارگذاری در منوی درختی بر روی گزینه Loads کلیک کنید.

۱.نام بار را Load-1 قرار داده و نوع آن را Concentrated انتخاب کنید.

۲.بر روی Ok کلیک کنید.

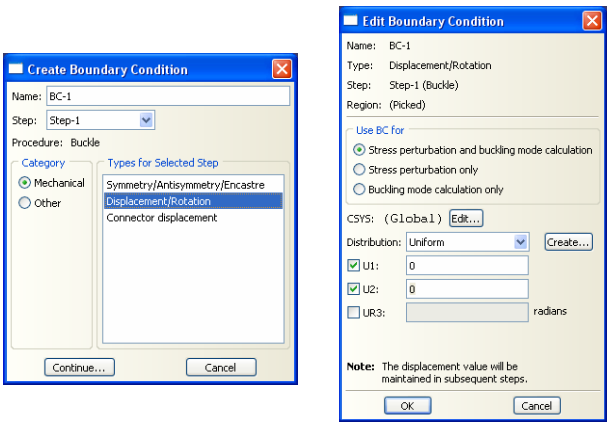
۳.نقطه (۵،۰) را انتخاب نموده و بر روی گزینه Done در نوار پایین صفحه کلیک کنید و بار متمرکز به مقدار۰ در جهت محور x (CF1) و به مقدار ۰/۱ کیلوگرم در جهت منفی محور y (CF2) وارد نمایید.



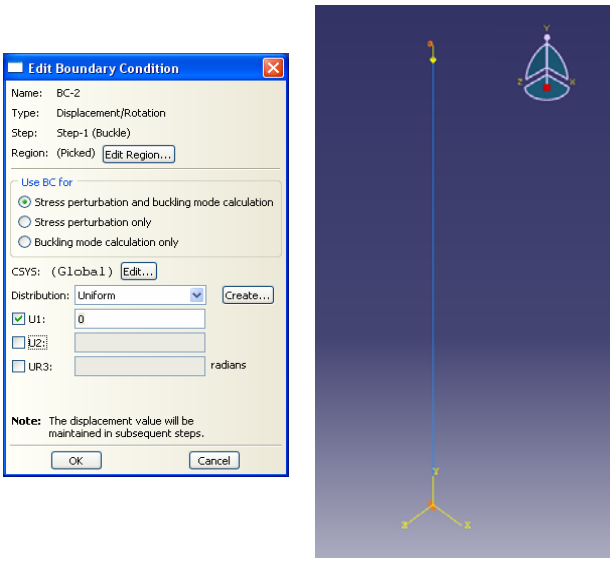
شکل ۵-۱۷- مراحل تعریف بارگذاری

۵-۳-۱۳- برای تعریف تکیه گاهها در منوی درختی بر روی گزینه BCs دوبار کلیک کنید.

۱.شرط مرزی مربوطه را BC-1 نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement را انتخاب کنید.
۲.بر روی Continue کلیک کنید.
۳.نقطه تکیه گاهی (۰،۰) را انتخاب کنید.
۴.در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.
۵.در پنجره Edit Boundary Condition بر روی مستطیلهای کنار U_1 و U_2 تیک بزنید تا حرکت انتقالی این نقطه در جهت‌های x و y بسته شود.
۶.بر روی Ok کلیک کنید.
۷.شرط مرزی مربوطه را BC-2 نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement را انتخاب کنید.
۸.بر روی Continue کلیک کنید.
۹.نقطه تکیه گاهی (۵،۰) را انتخاب کنید.
۱۰. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.
۱۱. در پنجره Edit Boundary Condition بر روی مستطیل کنار U_1 تیک بزنید تا حرکت انتقالی این نقطه در جهت x بسته شود.
۱۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۵-۱۸- مراحل تعریف تکیه گاه



شکل ۵-۱۹- مراحل تعریف تکیه گاه

۵-۳-۱۴- برای مش بندی ستون به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱.از منوی باز شونده Module بر روی گزینه Mesh کلیک کنید.

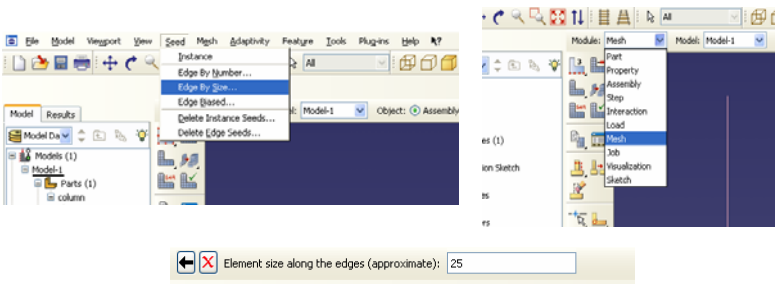
۲.از منوی بالای صفحه گزینه Seed و سپس گزینه Edge by Size را انتخاب نمایید.

۳.ستون را با کشیدن یک مستطیل دور آن انتخاب کنید.

۴.بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.

۵.در نوار پایین صفحه اندازه المانهای ستون را برابر ۲۵ سانتیمتر قرار دهید و دکمه Enter را فشار دهید.

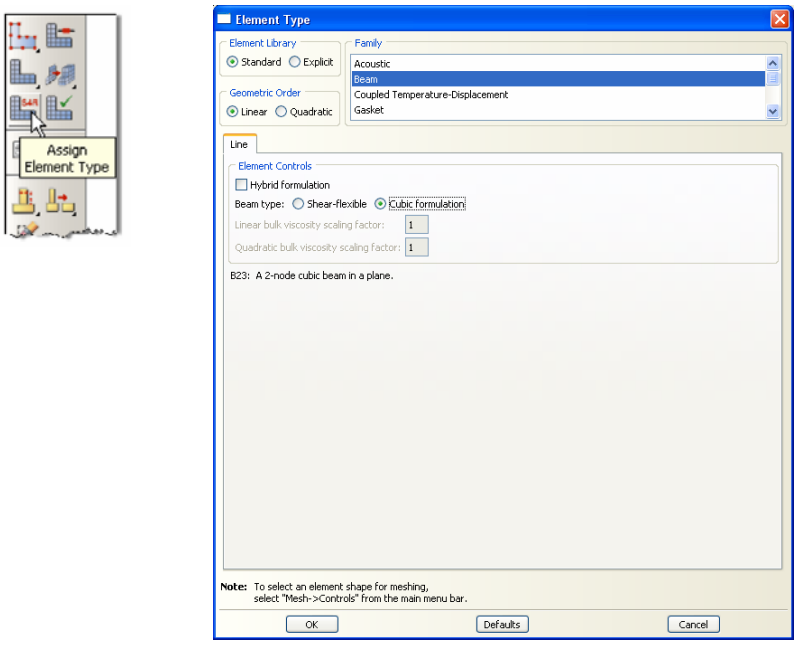
۶.از منوی پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.



شکل ۵-۲۰- مراحل تعریف اندازه مش بندی

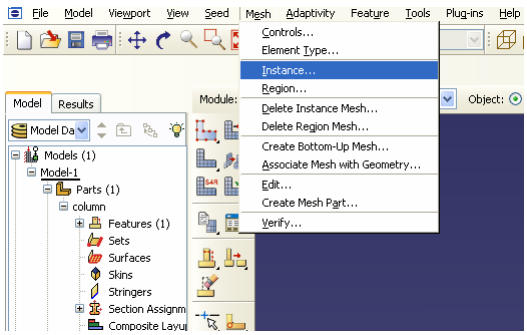
۵-۳-۱۵- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Element Type کلیک کنید.

۱.چون مدل ما فقط شامل یک Part است، در این مرحله نیازی به انتخاب آن نیست و به صورت خودکار این عضو انتخاب می‌شود.
۲.نوع المان را Standard انتخاب کنید.
۳. مرتبه هندسی (geometric order) را Linear انتخاب کنید.
۴. در بخش family گزینه Beam را انتخاب کنید.
۵.نوع تیر را از نوع Cubic Formulation انتخاب کنید.
۶. توجه کنید که نام المان (B23) و توضیحات مربوط به آن در پایین بخش element controls در پنجره باز شده قرار دارد.
۷. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۵-۲۱- مراحل تعریف نوع مش بندی

۵-۳-۱۶- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Mesh Part کلیک کنید. و در نوار پایین صفحه بر روی Yes کلیک کنید.



شکل ۵-۲۲- انجام مش بندی مدل

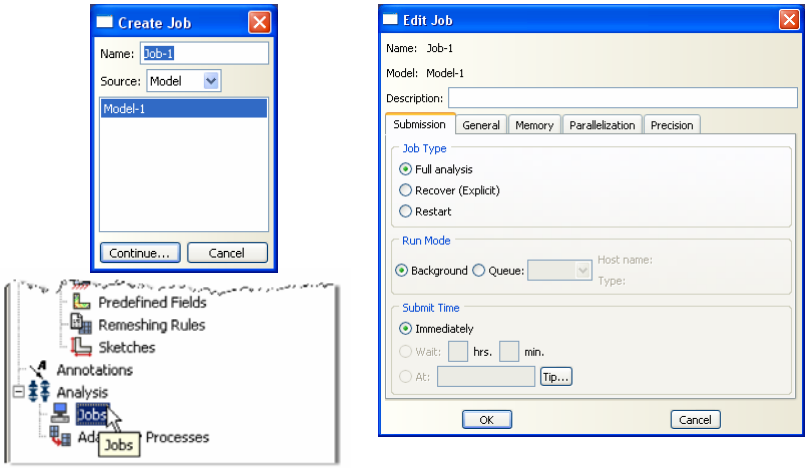
۵-۳-۱۷- برای انجام تحلیل در منوی درختی بر روی گزینه Job کلیک کنید.

۱. اسم Job را Job-1 بگذارید.

۲. بر روی Continue کلیک کنید.

۳. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.

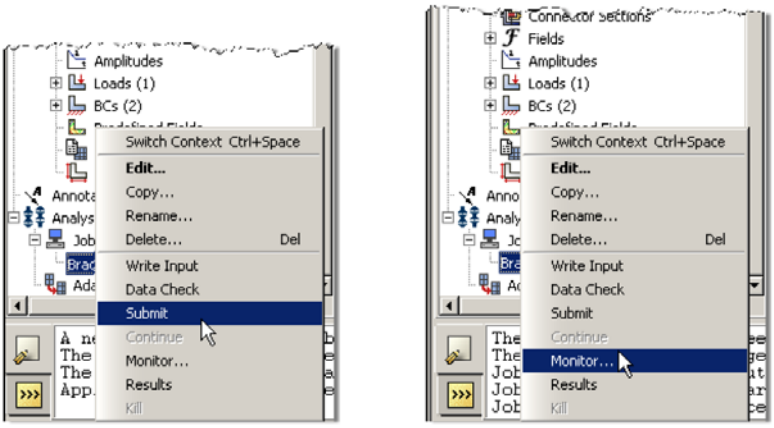
۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۵-۲۳- مراحل تعریف Job

۵-۳-۱۸- در منوی درختی بر روی Jobای که در مرحله قبل ساختید (Job-1) راست کلیک کنید و Submit را انتخاب کنید.

۱. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است بر روی job در حال تحلیل (Job-1) راست کلیک کرده و Monitor را انتخاب کنید.

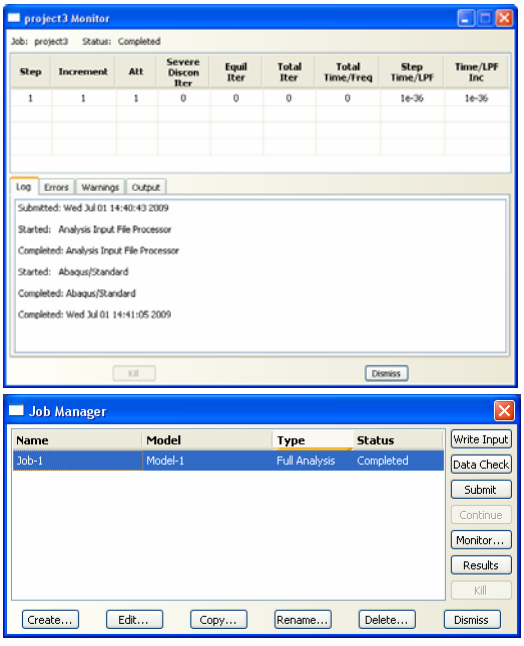


شکل ۵-۲۴- مشاهده مراحل تحلیل

۲. در پنجره‌ای که با نام Monitor باز شده است کنترل کنید که error (خطا) یا warning (اخطار) وجود ندارد.

- در صورتی که خطا وجود داشته باشد باید قبل از آغاز مجدد تحلیل این خطاها را برطرف نمود.

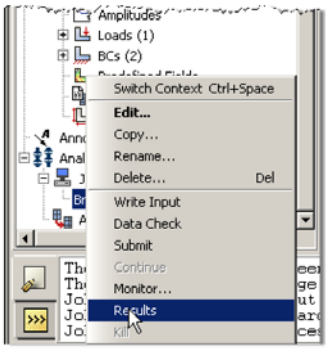
- در صورتی که اخطار وجود داشته باشد باید کنترل شود که آیا این اخطارها باعث ایجاد مشکل در تحلیل خواهند شد یا خیر. از بسیاری از اخطارها می‌توان بطور ایمن چشم پوشی نمود.



شکل ۵-۲۵- مشاهده روند تحلیل

۵-۴-بررسی نتایج

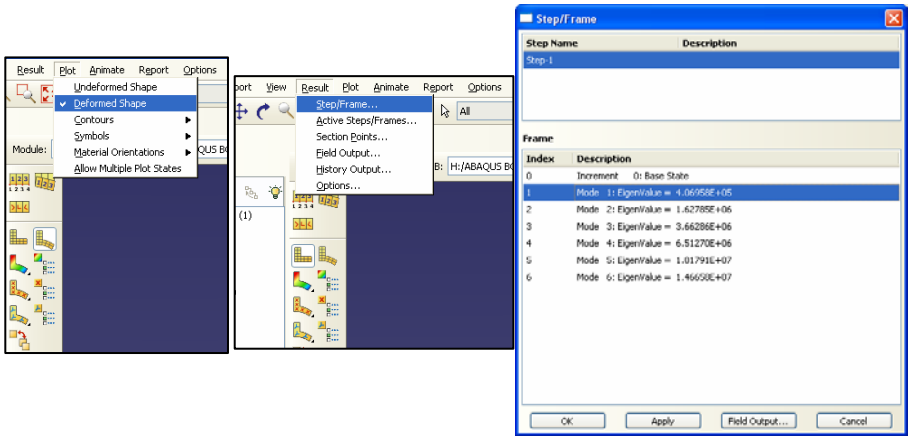
بعد از اتمام تحلیل در منوی درختی بر روی jobای که submit و تحلیل شده است (Job-1) راست کلیک کرده و گزینه Results را انتخاب کنید.



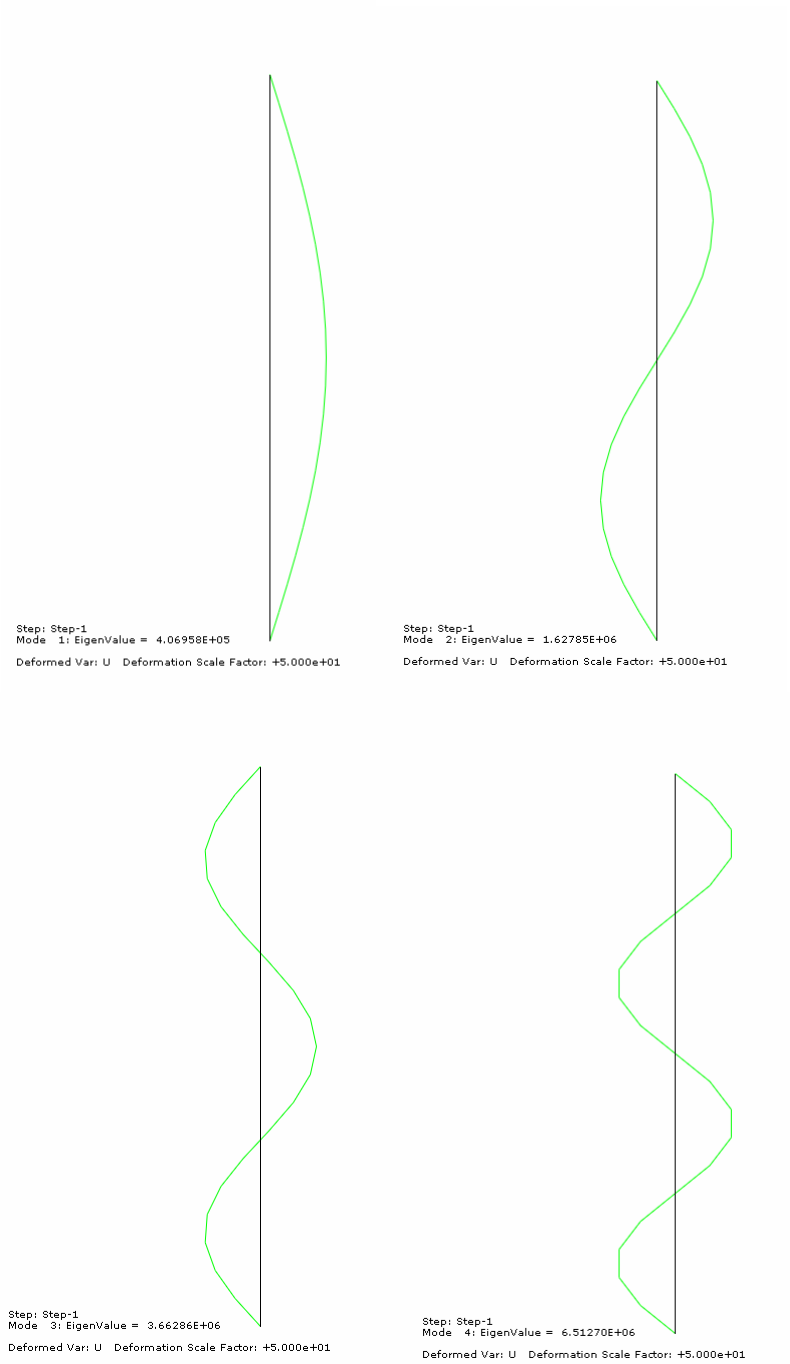
شکل ۵-۲۶- مشاهده نتایج

۵-۴-۱- در منوی بالای صفحه گزینه Plot و سپس Deformed Shape را انتخاب نمایید.

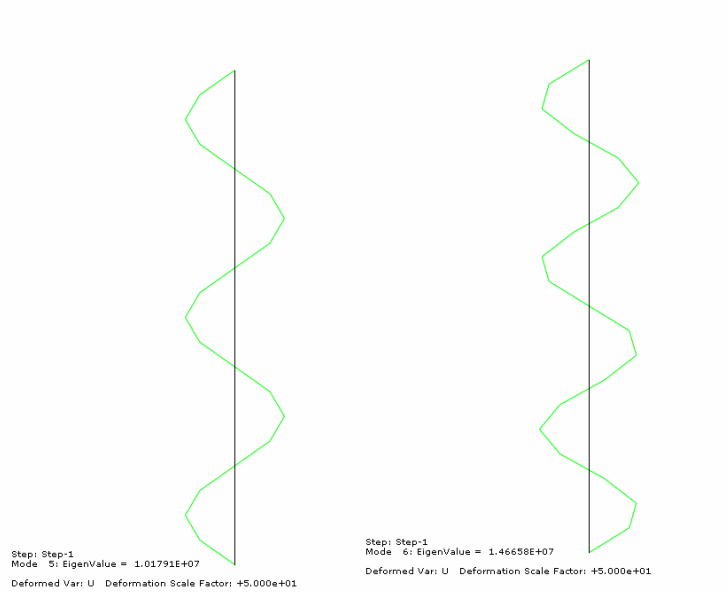
۱. در منوی بالای صفحه Results و سپس Step.Frame را انتخاب کنید. همانطور که ملاحظه می‌کنید شکل تغییر شکل یافته ستون در شش مودی که از نرم افزار درخواست شده بود با کلیک بر روی شماره مودها که در پنجره باز شده نمایش داده شده است قابل مشاهده است. همچنین مقادیر ویژه متناظر با این مودها نمایش داده شده است.



شکل ۵-۲۷- مشاهده مودهای ستون مورد نظر

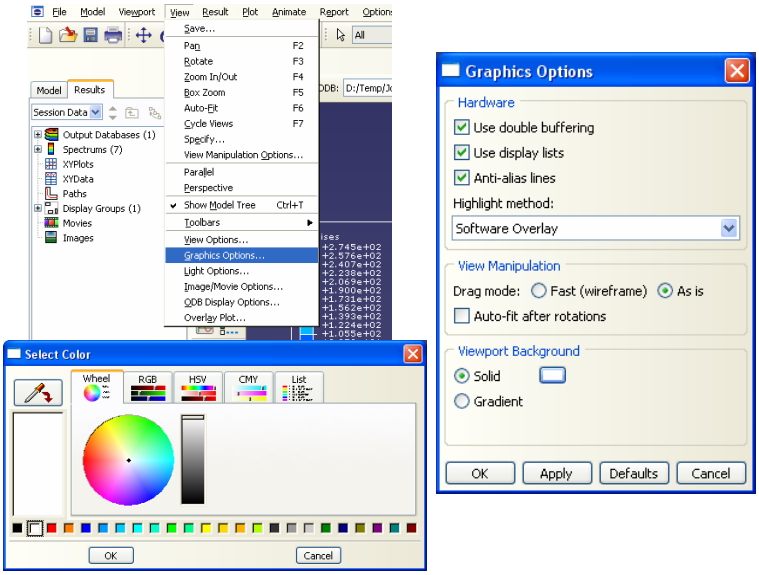


شکل ۵-۲۸- شکل مودهای اول تا چهارم ستون



شکل ۵-۲۹- شکل مودهای پنجم و ششم ستون

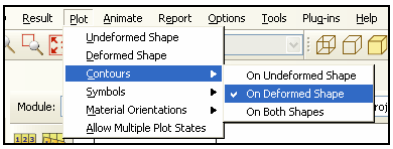
۲. برای ملاحظه بهتر ستون تغییرشکل یافته، می‌توانید پس زمینه را به رنگ سفید درآورید. برای اینکار از منوی بالای صفحه گزینه View و سپس Graphics Options را انتخاب و در پنجره Viewport Background گزینه Solidرا انتخاب نمایید. برای تغییر رنگ زمینه صفحه نمایش به رنگ سفید، بر روی مستطیل روبروی گزینه Solid کلیک کرده و در پنجره Select Color رنگ سفید را انتخاب نمایید و برروی Ok کلیک کنید.



شکل ۵-۳۰- تغییر رنگ زمینه صفحه نمایش

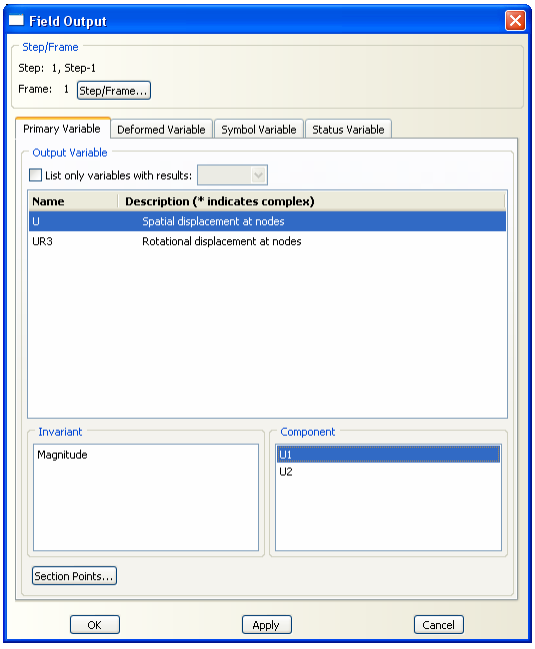
۳. برای منتقل کردن تصویر مودها در نرم افزارهای دیگر می‌توانید با استفاده از کلیدهای ctrl C در کیبورد و سپس با کلید ctrl V آن را در نرم افزار دیگر مانند Word منتقل نمایید.

۴. برای دیدن کانتور تنشها در ستون، از منوی بالای صفحه گزینه Plot و سپس Contours و بعد گزینه On Deformed Shape را انتخاب نمایید.



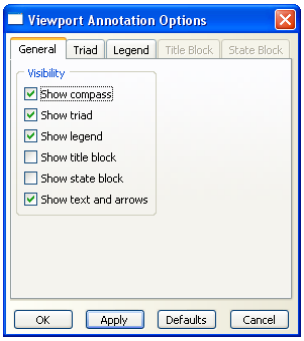
شکل ۵-۳۱- مشاهده کانتور بر روی عضو تغییرشکل یافته

۵. برای دیدن تغییرمکانها در جهت محور x، از منوی بالای صفحه گزینه Results و سپس Field Output را انتخاب نمایید. در پنجره‌ای که باز می‌شود در قسمت Output Variable گزینه U و در قسمت Components گزینه U1 (تغییرمکان در جهت x) و یا گزینه U2 (تغییرمکان در جهت y) را انتخاب نمایید.

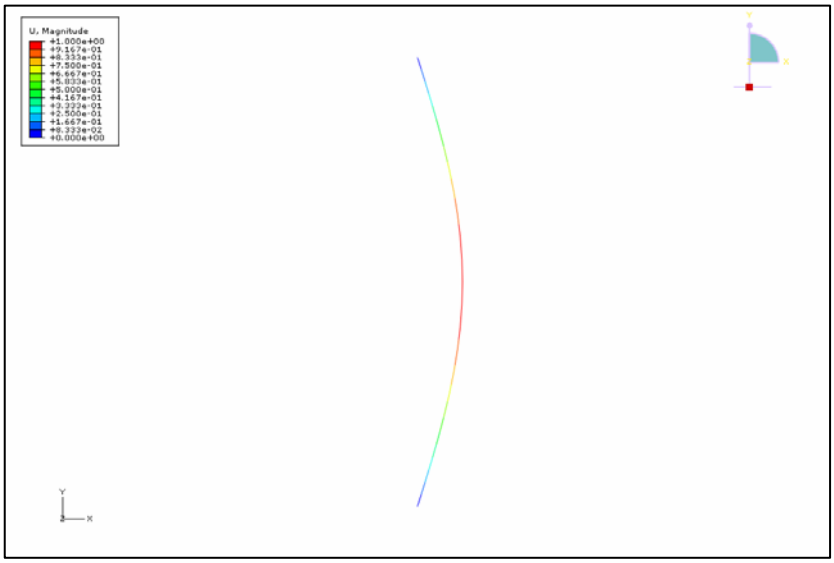


شکل ۵-۳۲- مشاهده تغییرمکان در جهت U1 ، X

۶. برای اینکه اطلاعات متنی مربوط به Title Block و State Block که در حالت معمولی در پنجره گرافیکی نمایش داده می‌شود را از کنار شکل ستون پاک کنید از منوی بالای صفحه گزینه Viewport و سپس Viewport Annotation Options را انتخاب نمایید. تیک موجود در کنار گزینه‌های Show Title Block و Show State Block را مطابق شکل زیر بردارید.



شکل ۵-۳۳- تغییر تنظیمات صفحه نمایش



شکل ۵-۳۴- کانتور تغییرمکان بر روی ستون تغییرشکل یافته

فصل ششم

تحلیل خمش صفحه

۶-۱- صورت مساله

یک صفحه فولادی دایروی به شعاع ۲۵ سانتیمتر و ضخامت ۰/۵ سانتیمتر را در نظر بگیرید. صفحه در اطراف خود دارای تکیه گاه‌های مفصلی در محیط خارجی است و تحت فشار جانبی ۰/۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع قرار گرفته است. با استفاده از المانهای صفحه (Shell) خیز در مرکز صفحه را بدست آورید. مدول الاستیسیته فولاد برابر $۲/۱\times ۱۰^{۶}\ \mathrm{kg/cm^2}$ و $\nu = 0.3$است.

۶-۲-حل تئوری

خیز از روش تئوری با فرمول ذیل محاسبه می‌شود :

$$w = \frac{PR^4}{64D}\left(\frac{5+\nu}{1+\nu}\right)$$

که در این فرمول مقدار D از رابطه زیر به دست می‌آید :

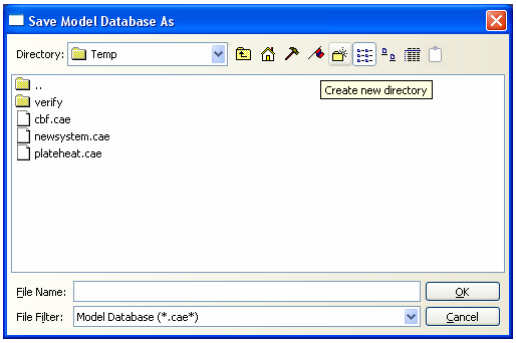
$$D = \frac{Et^3}{12(1-\upsilon^2)}$$

که در مورد این مثال مقدار خیز برابر ۰/۷۲۴۹ سانتیمتر به دست می‌آید.

۶-۳-مراحل تحلیل

۶-۳-۱- برنامه ABAQUS را باز کرده و گزینه create a new model database را انتخاب کنید.

۶-۳-۲- برای اینکه مسیری برای ذخیره از ابتدای شروع مدلسازی به برنامه معرفی شود از منوی بالای صفحه گزینه File و سپس Save As را انتخاب کنید. بر روی گزینه create directory for files کلیک کنید.



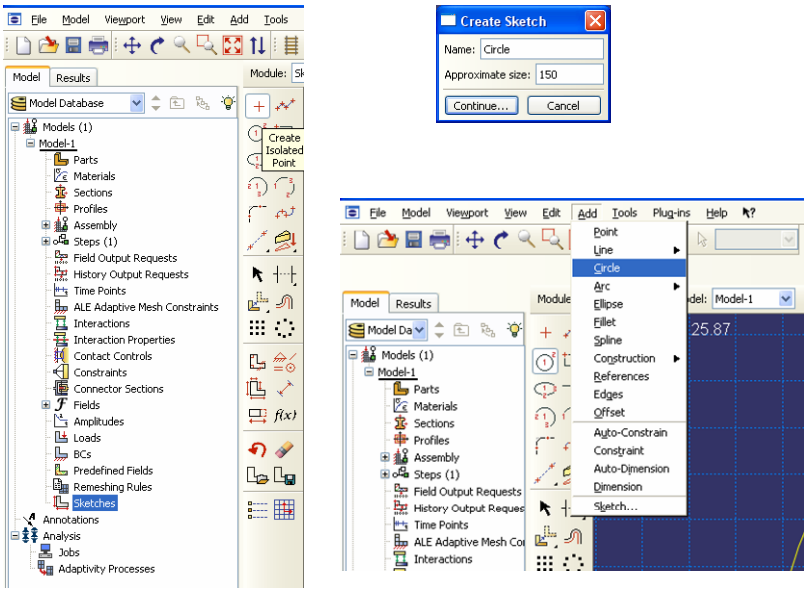
شکل ۶-۱- ذخیره فایل ساخته شده

۶-۳-۳- در منوی درختی بر روی گزینه Sketches دوبار کلیک کنید.

۱.در پنجره باز شده نام Sketch را Circle بگذارید و سایز تقریبی را برابر ۱۵۰ وارد نمایید.

۲.بر روی Continue کلیک کنید.

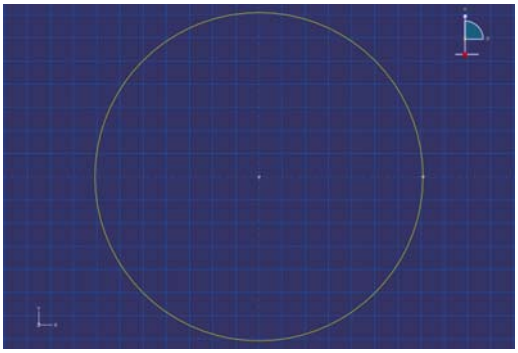
۳.از منوی بالای صفحه گزینه Add و سپس Circle را برای تعریف یک شکل دایروی انتخاب کنید.



شکل ۶-۲- مراحل ترسیم صفحه

۴. در نوار پایین صفحه، مختصات نقطه مرکز دایره را برابر (0,0) قرار داده و سپس مختصات یک نقطه بر روی محیط دایره را برابر (25,0) وارد نمایید.

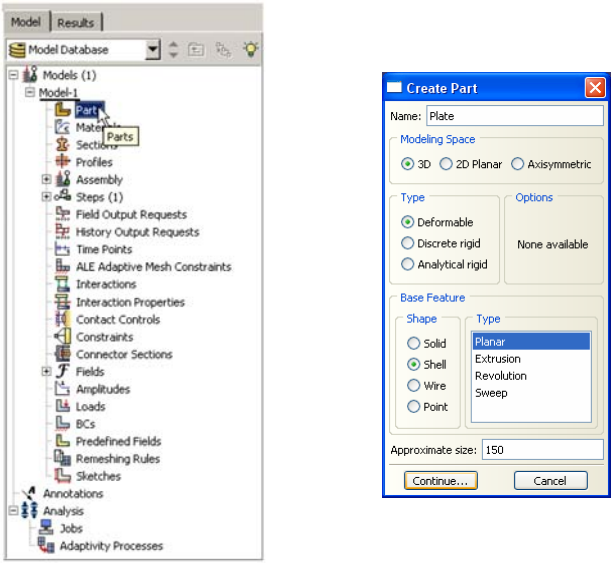
۵. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.



شکل ۶-۳- صفحه دایروی ترسیم شده

۶-۳-۴- برای تعریف عضو صفحه‌ای از روی شکل هندسی ترسیم شده بر روی گزینه Part در منوی درختی دوبار کلیک کنید.

۱.در پنجره Create Part نام عضو را Plate قرار دهید. گزینه‌های 3D Planer (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید. گزینه Planar برای ساختن اعضای صفحه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.



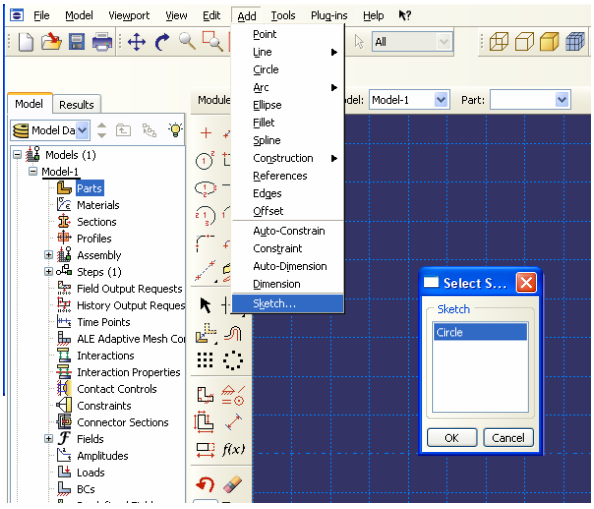
شکل ۶-۴- مراحل تعریف عضو

۲.بر روی گزینه Continue کلیک کنید.

۳.از منوی بالای صفحه گزینه Add را انتخاب کرده و از داخل منوی آبشاری باز شده گزینه Sketch را انتخاب کنید.

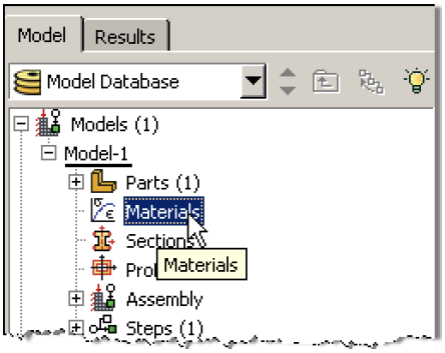
۴.شکل Circleرا که قبلا ساخته بودید انتخاب کرده و بر روی Ok کلیک کنید.

۵.در نوار پایین صفحه دو بار بر روی گزینه Done کلیک نمایید.



شکل ۶-۵- مراحل اختصاص صفحه رسم شده به عضو

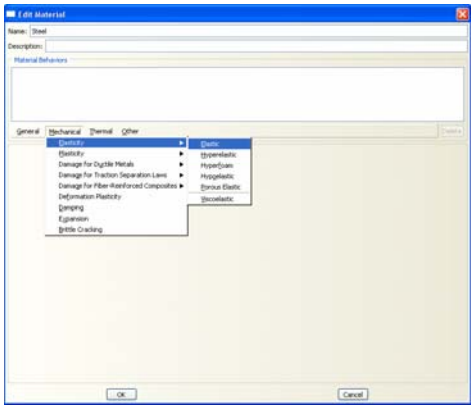
۶-۳-۵- برای آنکه خصوصیات مصالح ستون مورد نظر را تعریف نمایید، بر روی گزینه Materials در منوی درختی دوبار کلیک کنید.



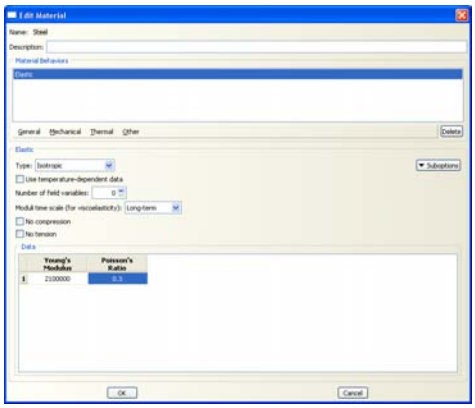
شکل ۶-۶- آیکون تعریف مصالح

۱. برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (Steel).
۲. در پنجره Edit Material ، گزینه Mechanical را انتخاب کرده و به ترتیب گزینه‌های Elasticity و Elastic را انتخاب نمایید.
۳. مقدار مدول یانگ (الاستیسیته) را برابر۱۰۶ × ۲/۱ و ضریب پواسون را برابر ۰/۳ قرار دهید و بر روی Ok کلیک نمایید.

توجه: در نرم افزار ABAQUS سیستم واحد از پیش تعیین شده‌ای وجود ندارد و مسئولیت انتخاب صحیح و متناسب واحدها بر عهده کاربر است.



شکل ۶-۷- تعریف خصوصیات مصالح



شکل ۶-۸- تعریف خصوصیات مصالح

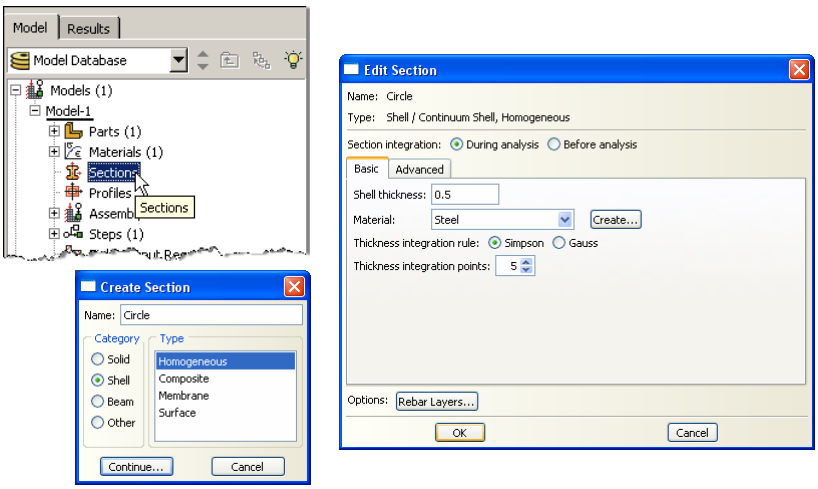
۶-۳-۶- برای انتخاب سطح مقطع عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Sections دوبار کلیک کنید.

۱.مقطع مورد نظر را به نام Circle نامگذاری کرده و category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۲.برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۳.در پنجره Edit Section Shell thickness را برابر ۰/۵ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (Steel) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

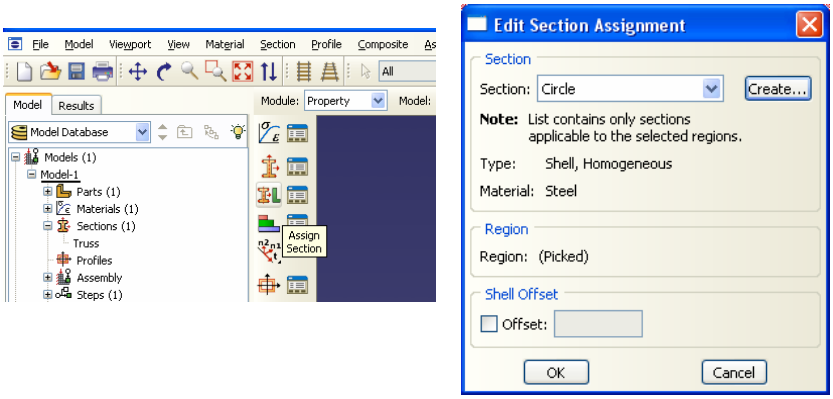
۴.برروی OK کلیک کنید.



شکل ۶-۹- مراحل تعریف سطح مقطع

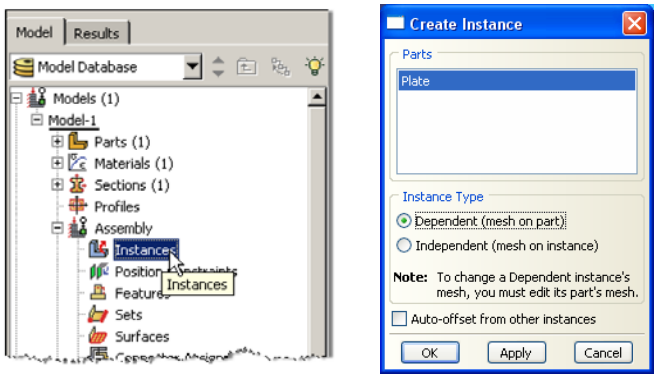
۶-۳-۷- برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۱. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی صفحه مورد نظر را را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۲. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Circle) را انتخاب نمایید.
۳. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۶-۱۰- مراحل اختصاص سطح مقطع

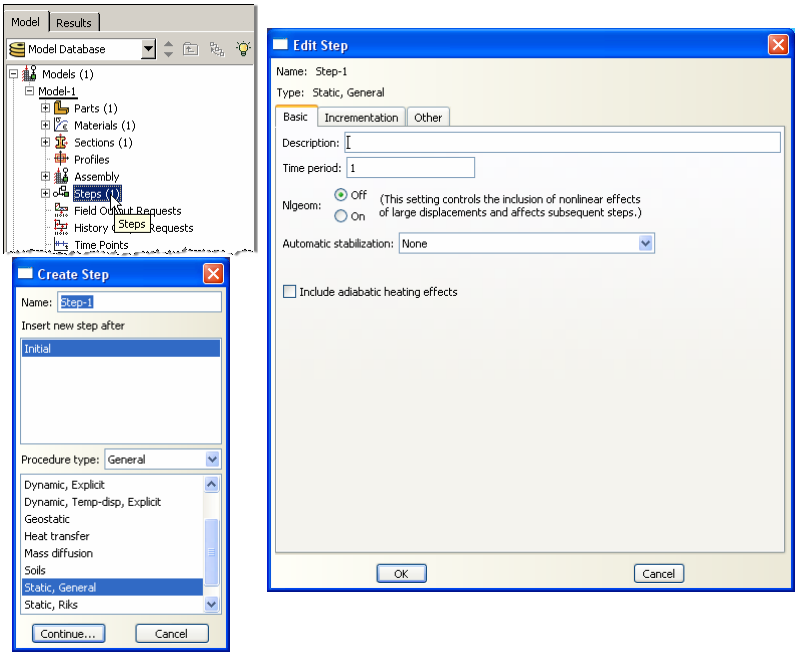
۶-۳-۸- از منوی درختی، بر روی علامت + در کنار گزینه Assembly کلیک کرده تا منوی مربوط به آن باز شود. در این منو بر روی Instances کلیک کنید.
۱. برای نوع instance گزینه Dependent را انتخاب کنید.
۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۶-۱۱- مراحل وارد کردن عضو به ماژول Assembly

۶-۳-۹- در منوی درختی بر روی گزینه Steps دوبار کلیک کنید.

۱. Step را با نام Step-1 نامگذاری کنید، در قسمت procedure گزینه Generalرا انتخاب کنید و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Static-General را انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.
۴. برای در نظر گرفتن تغییرشکلهای بزرگ می‌توان گزینه Nlgoem را on نمود. که در اینجا نیازی به انجام این کار نمی‌باشد.
۵. بر روی Ok کلیک کنید.



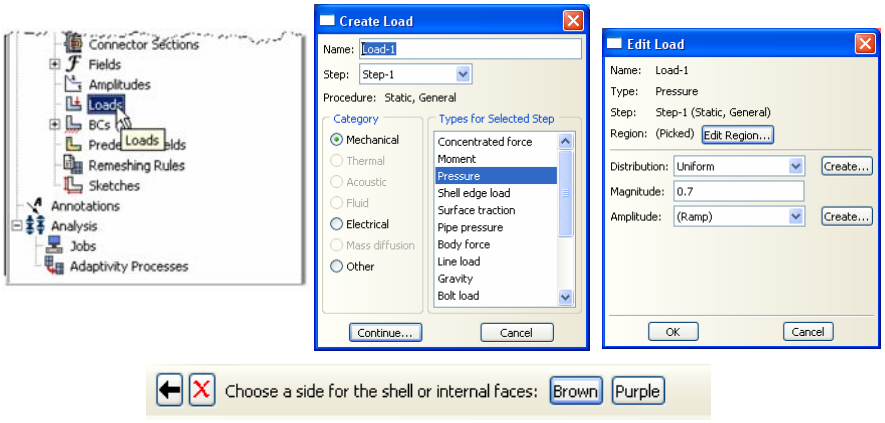
شکل ۶-۱۲- مراحل تعریف گامهای تحلیل

۶-۳-۱۰-برای نمایش سه بعدی مدل در نوار افقی Views که در بالای صفحه قرار دارد، بر روی گزینه Apply Iso View کلیک کنید.

شکل ۶-۱۳-تغییر زاویه دید در صفحه گرافیکی

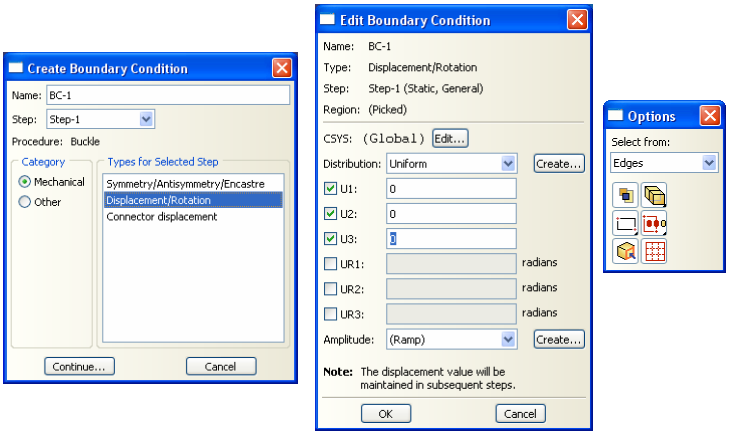
۶-۳-۱۱-برای تعریف بارگذاری در منوی درختی بر روی گزینه Loads کلیک کنید.

۱. نام بار را Load-1 قرار داده و نوع آن را Pressure انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. سطح رویی صفحه دایروی را انتخاب نمایید.
۴. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۵. در نوار پایین صفحه سطحی که می‌خواهید فشار را بر آن وارد کنید (این سطوح با رنگهای قهوه‌ای و بنفش از هم متمایز شده اند) را انتخاب نمایید. در اینجا با کلیک بر روی گزینه Brown در نوار پایین صفحه سطح قهوه‌ای رنگ را انتخاب کنید.
۶. سپس نوع فشار وارده را از نوع یکنواخت (Uniform) و مقدار آن را برابر ۰/۷ (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) وارد نمایید و بر روی Ok کلیک کنید.

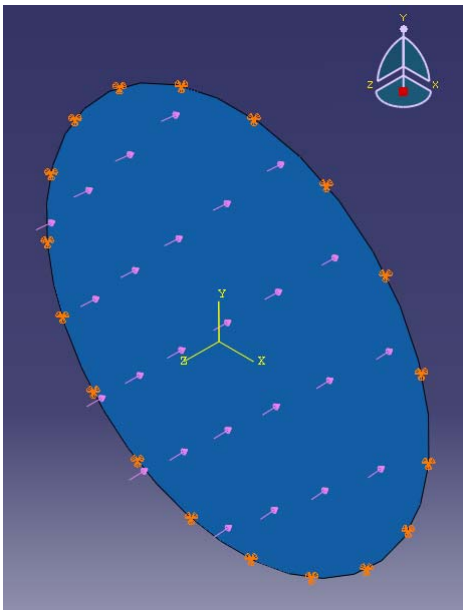


شکل ۶-۱۴- مراحل وارد کردن بار

۶-۳-۱۲-برای تعریف تکیه گاه‌ها در منوی درختی بر روی گزینه BCs دوبار کلیک کنید.
۱. شرط مرزی مربوطه را BC-1 نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement را انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Show/Hide Selection Options کلیک کنید .
۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود ، گزینه Edges را انتخاب کرده که با این کار می‌توانید لبه‌های صفحه مدور را انتخاب کنید.
۵. محیط دور صفحه را انتخاب کنید.
۶. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.
۷. در پنجره Edit Boundary Condition بر روی مستطیلهای کنار U_1 ، U_2 و U_3 تیک بزنید تا حرکت انتقالی این نقاط پیرامونی در جهت‌های x ، y و z بسته شود.
۸. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۶-۱۵- مراحل تعریف تکیه گاه‌ها



شکل ۶-۱۶- شکل مدل ساخت شده

۶-۳-۱۳-برای مش بندی صفحه به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱. از منوی باز شونده Module بر روی گزینه Mesh کلیک کنید.

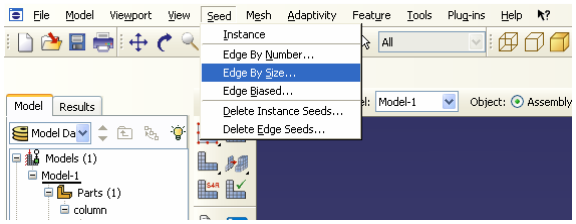
۲. از منوی بالای صفحه گزینه Seed و سپس گزینه Edge by Size را انتخاب نمایید.

۳. صفحه را انتخاب کنید.

۴. بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.

۵. در نوار پایین صفحه اندازه المانهای ستون را برابر ۱ سانتیمتر قرار دهید و دکمه Enter را فشار دهید.

۶. از منوی پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.



شکل ۶-۱۷- آیکون انجام مش بندی با تعریف اندازه

۷. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Mesh Controls کلیک کنید. در پنجره باز شده شکل المانها را از نوع Quad انتخاب کنید.

۸. دکمه Okرا بزنید.

۹. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Element Type کلیک کنید.

۱۰. چون مدل ما فقط شامل یک Part است، در این مرحله نیازی به انتخاب آن نیست و به صورت خودکار این عضو انتخاب می‌شود.

۱۱. نوع المان را Standard انتخاب کنید.

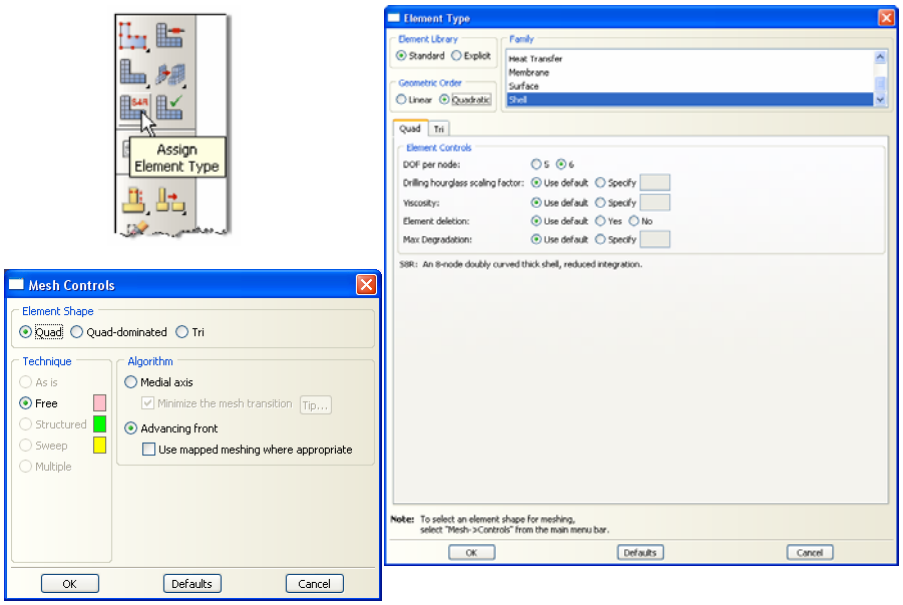
۱۲. مرتبه هندسی (geometric order) را Linear انتخاب کنید.

۱۳. در بخش family گزینه Shell را انتخاب کنید.

۱۴. مرتبه هندسی را از نوع Quadratic انتخاب کنید.

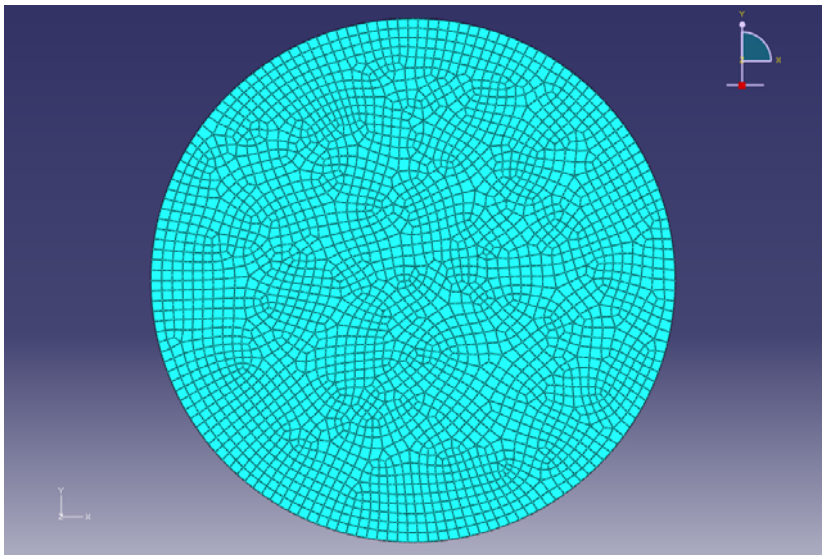
۱۵. توجه کنید که نام المان (S8R) و توضیحات مربوط به آن در پایین بخش element controls در پنجره باز شده قرار دارد.

۱۶. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۶-۱۸- تعریف نوع مش بندی

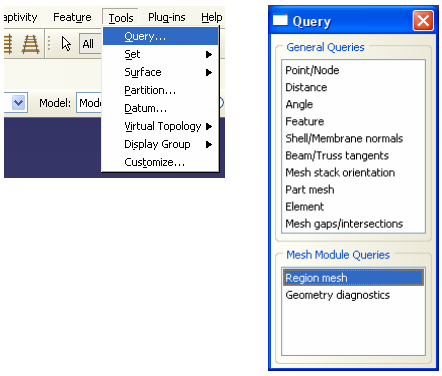
۱۷. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Mesh Part کلیک کنید. و در نوار پایین صفحه بر روی Yes کلیک کنید.



شکل ۶-۱۹- صفحه مش زده شده

۱۸. برای دیدن تعداد المانها می‌توانید از منوی بالای صفحه گزینه Tools و سپس Query را انتخاب کنید.

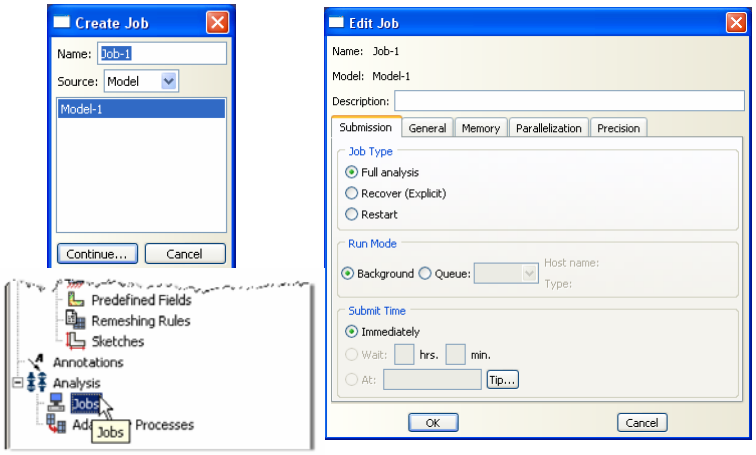
۱۹. در پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه Region Mesh رانتخاب کنید. همانطور که در پنجره سفید پایین صفحه ملاحظه می‌نمایید، تعداد گره‌ها و المانها نشان داده می‌شود.



شکل ۶-۲۰- نمایش تعداد گره‌ها و المانها

۶-۳-۱۴-برای انجام تحلیل در منوی درختی بر روی گزینه Job کلیک کنید.

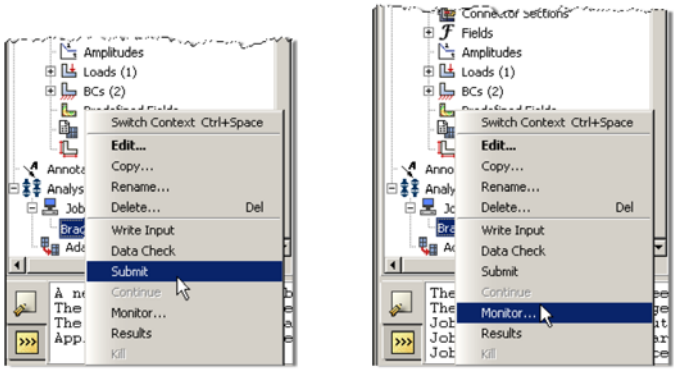
۱. اسم Job را Job-1 بگذارید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.
۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۶-۲۱- مراحل تعریف Job

۶-۳-۱۵- در منوی درختی بر روی Jobای که در مرحله قبل ساختید (Job-1) راست کلیک کنید و Submit را انتخاب کنید.

۱. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است بر روی job در حال تحلیل (Job-1) راست کلیک کرده و Monitor را انتخاب کنید.

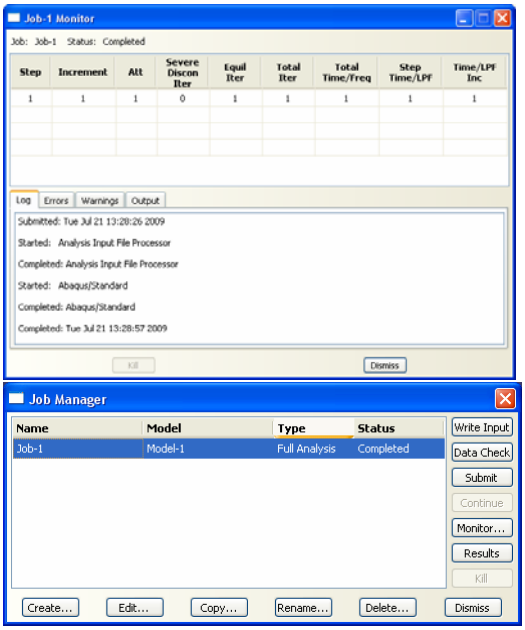


شکل ۶-۲۲- مشاهده مراحل تحلیل

۲. در پنجره‌ای که با نام Monitor باز شده است کنترل کنید که error (خطا) یا warning (اخطار) وجود ندارد.

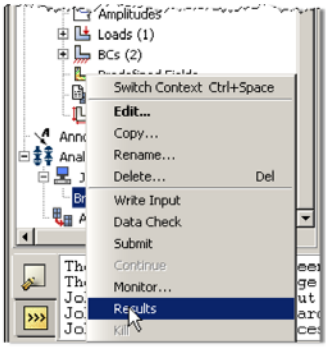
- در صورتی که خطا وجود داشته باشد باید قبل از آغاز مجدد تحلیل این خطاها را برطرف نمود.

- در صورتی که اخطار وجود داشته باشد باید کنترل شود که آیا این اخطارها باعث ایجاد مشکل در تحلیل خواهند شد یا خیر. از بسیاری از اخطارها می‌توان بطور ایمن چشم پوشی نمود.



شکل ۶-۲۳- مشاهده روند تحلیل

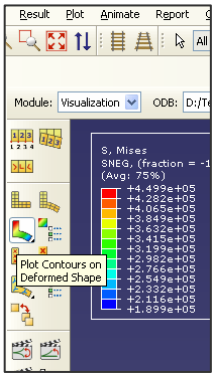
بعد از اتمام تحلیل در منوی درختی بر روی jobای که submit و تحلیل شده است (Job-1) راست کلیک کرده و گزینه Results را انتخاب کنید.



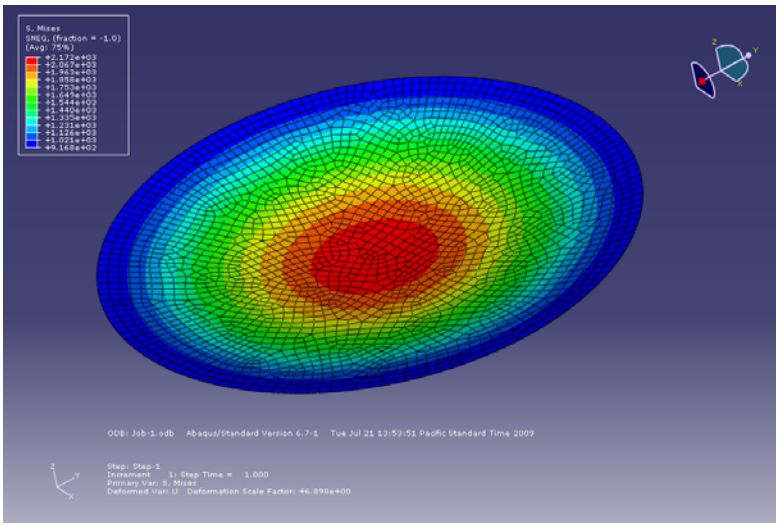
شکل ۶-۲۴- مشاهده نتایج

۶-۴-بررسی نتایج

۶-۴-۱- برای مشاهده تنشها بر روی عضو تغییرشکل یافته، در منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Plot contour on deformed shape کلیک کنید.

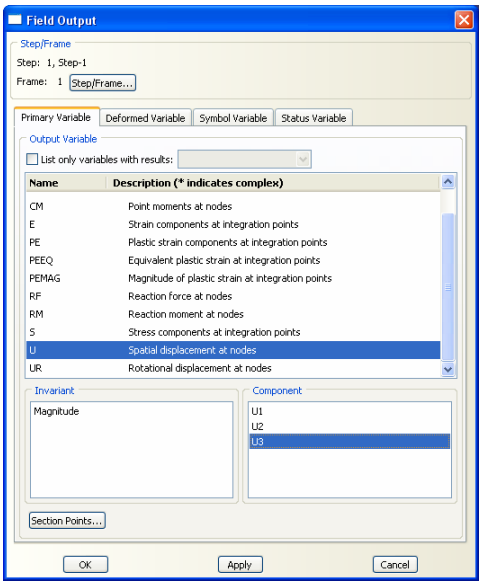


شکل ۶-۲۵- آیکون مشاهده کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته

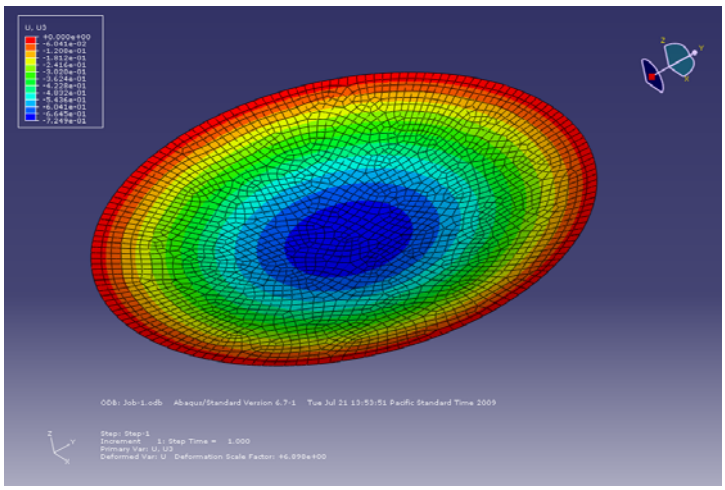


شکل ۶-۲۶- کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته

۶-۴-۲- برای مشاهده مقدار خیز نقاط مختلف عضو تغییرشکل یافته، در منوی بالای صفحه بر روی گزینه Results و سپس Field Output کلیک کنید. در پنجره‌ای که باز می‌شود، گزینه U در سمت چپ صفحه و U3 در سمت راست صفحه را انتخاب کنید.

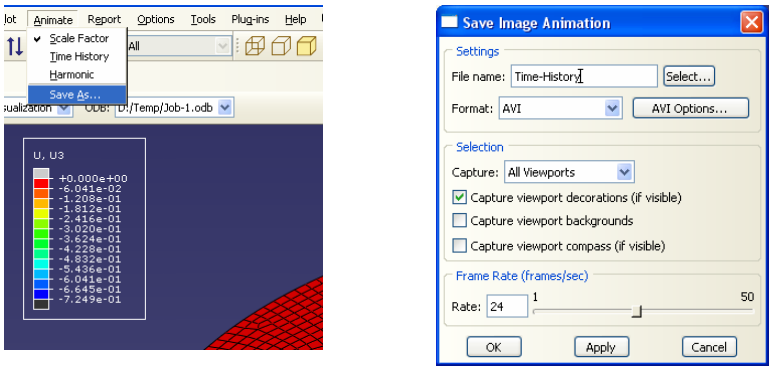


شکل ۶-۲۷- انتخاب تغییرمکان به عنوان خروجی برای رسم کانتور



شکل ۶-۲۸- کانتور تغییرمکان بر روی عضو تغییرشکل یافته

۶-۴-۳- برای ذخیره کردن فایل انیمیشن، در منوی بالای صفحه بر روی گزینه Animate و سپس با انتخاب Scaled Factor کلیک کنید. در پنجره‌ای که باز می‌شود، برای فایل خود مسیر و نام انتخاب کنید . همچنین می‌توانید تعداد فریم‌های انیمیشن را با تغییر مقدار Rate در این پنجره تنظیم نمایید.



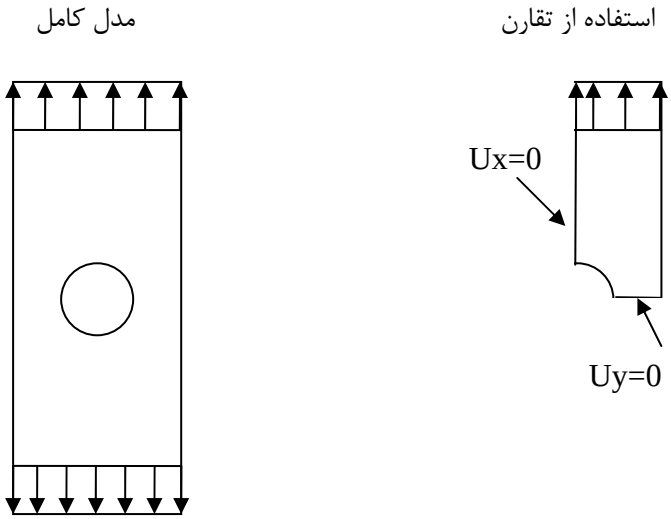
شکل ۶-۲۹- ساخت و ذخیره فایل انیمیشن

فصل هفتم

تحلیل تنش صفحه‌ای

۷-۱- صورت مساله

یک صفحه آلومینیومی با ابعاد ۱۰×۵ سانتیمتر و ضخامت ۰/۲۵ سانتیمتر را در نظر بگیرید. این صفحه دارای سوراخی به قطر ۲/۵ سانتیمتر در وسط خود است. این صفحه تحت تنش محوری ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع قرار گرفته است. مدول الاستیسیته آلومینیوم برابر $۱\times۱۰^{۶}\ kg/cm^2$ و $\nu = 0.3$ است.



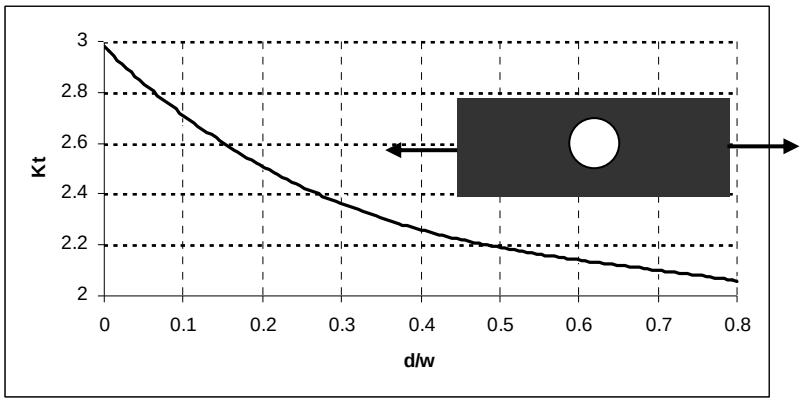
شکل ۷-۱-شکل صفحه سوراخدار متقارن

حداکثر تنش محوری مربوط به تمرکز تنش در لبه حفره دایروی را به دست آورید. جواب مساله را با نمودار طراحی زیر مقایسه کنید.

۷-۲-حل تئوری

از روی نمودار طراحی که در شکل زیر نشان داده شده است ، مقدار تنش ماکزیمم برابر ۴۳/۰۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع به دست می‌آید.

با ضرب عدد K_t که از منحنی زیر به دست می‌آید در تنش وارد بر صفحه ، مقدار حداکثر تمرکز تنش حول سوراخ به دست می‌آید.



شکل ۷-۲-نمودار ضریب تمرکز تنش تئوری K_t ، میله تحت تنش یا فشار ساده با حفره جانبی

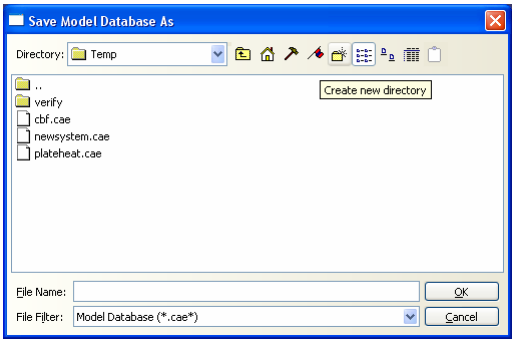
$$\sigma_0 = F/(w-d)t$$

۷-۳- مراحل تحلیل

با توجه به اینکه صفحه مورد نظر حول دو محور دارای تقارن است، می‌توان تنها یک چهارم از صفحه را مدلسازی کرد. در اینجا باید توجه کرد که به دلیل تقارن، شرایط تکیه گاهی به صورت Ux=0 برای محور عمودی در بخش بریده شده و Uy=0 برای محور افقی در بخش بریده شده می‌باشد.

۷-۳-۱- برنامه ABAQUS را باز کرده و گزینه create a new model database را انتخاب کنید.

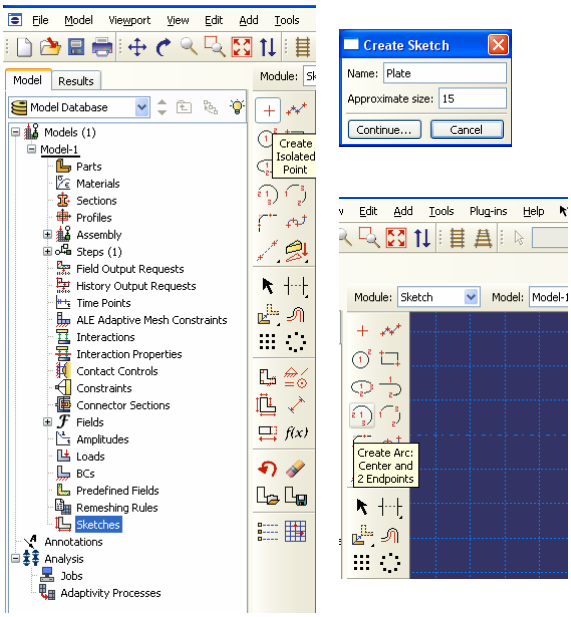
۷-۳-۲- برای اینکه مسیری برای ذخیره از ابتدای شروع مدلسازی به برنامه معرفی شود از منوی بالای صفحه گزینه File و سپس Save As را انتخاب کنید. بر روی گزینه create directory for files کلیک کنید.



شکل ۷-۳-ذخیره فایل ساخته شده

۷-۳-۳- در منوی درختی بر روی گزینه Sketches دوبار کلیک کنید.

۱. در پنجره باز شده نام Sketch را Plate بگذارید و سایز تقریبی را برابر ۱۵ وارد نمایید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. از منوی ابزار عمودی گزینه Create Isolated Point را برای رسم نقاط گرهی صفحه انتخاب کنید.



شکل ۷-۴-مراحل ترسیم صفحه

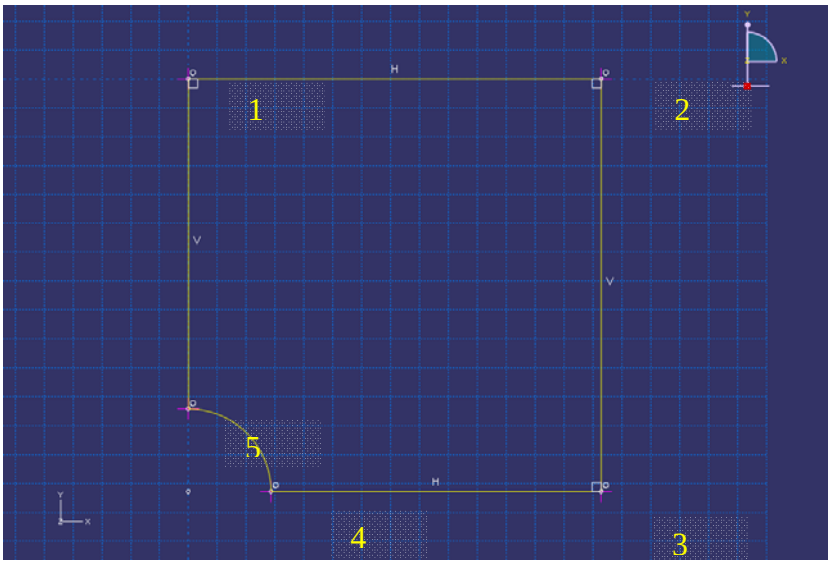
۴. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید.(0,0)،(5,0)، (5,-5)،(1,-5)و (0,-4).

۵. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure را انتخاب کنید.

۶. از منوی ابزار عمودی گزینه Create Line را برای رسم خطوط مستقیم کناری صفحه انتخاب کنید و زوج نقاط ۵-۱ ، ۱-۲ ، ۲-۳ و ۳-۴ را به هم وصل کنید.

۷. برای رسم کمان ربع دایره کنار حفره گزینه از منوی ابزار عمودی گزینه : Create Arc Center And 2 Endpoints را انتخاب کنید. در نوار پایین صفحه نقطه (0,-5) را به عنوان مرکز دایره و نقاط ۵ و ۴ را به ترتیب انتخاب کنید

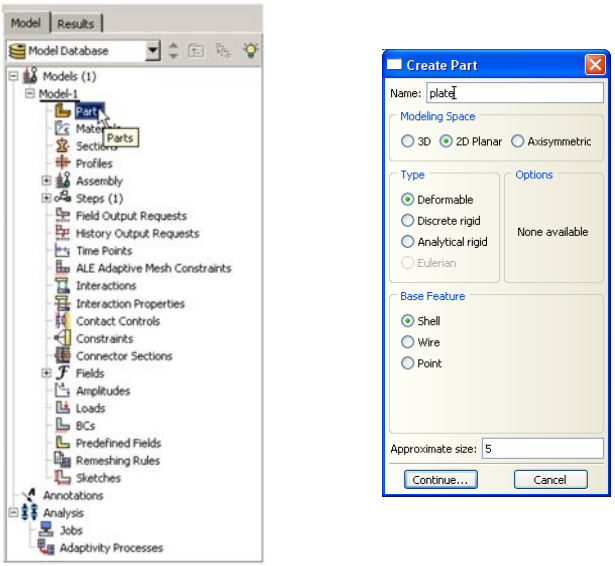
۸. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.



شکل ۷-۵-هندسه صفحه رسم شده

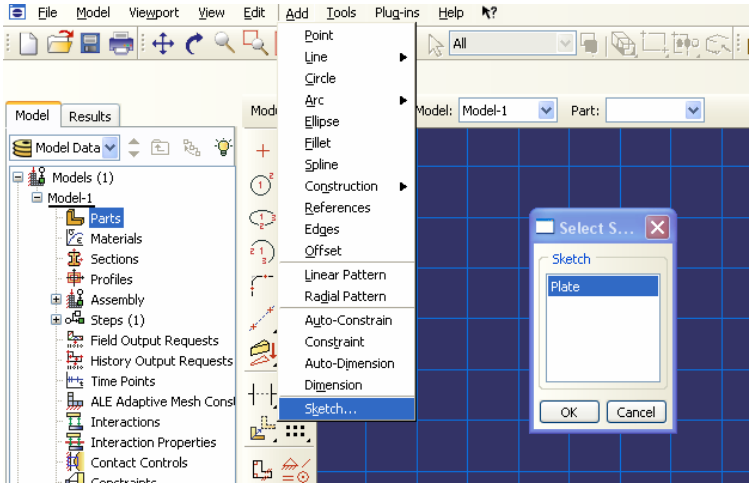
۷-۳-۴- برای تعریف عضو صفحه‌ای از روی شکل هندسی ترسیم شده بر روی گزینه Part در منوی درختی دوبار کلیک کنید.

۱. در پنجره Create Part نام عضو را Plate قرار دهید. گزینه‌های 2D Planer (انتخاب فضای دو بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۵ سانتیمتر قرار دهید. گزینه Planar برای ساختن اعضای صفحه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.



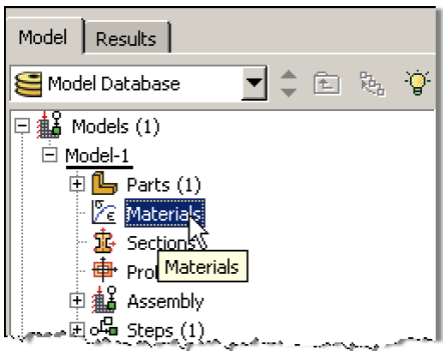
شکل ۷-۶-مراحل تعریف عضو صفحه

۲. بر روی گزینه Continue کلیک کنید.
۳. از منوی بالای صفحه گزینه Add را انتخاب کرده و از داخل منوی آبشاری باز شده گزینه Sketch را انتخاب کنید.
۴. شکل Plate را که قبلا ساخته بودید انتخاب کرده و بر روی Ok کلیک کنید.
۵. در نوار پایین صفحه دو بار بر روی گزینه Done کلیک نمایید.



شکل ۷-۷-اختصاص هندسه رسم شده به عضو

۷-۳-۵- برای آنکه خصوصیات مصالح صفحه مورد نظر را تعریف نمایید، بر روی گزینه Materials در منوی درختی دوبار کلیک کنید.

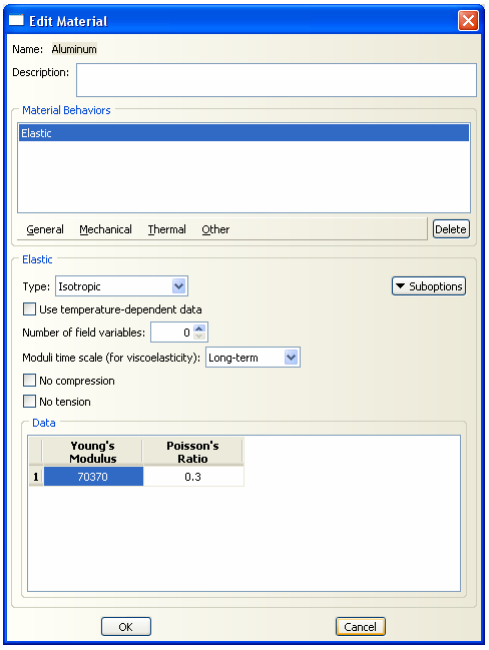


شکل ۷-۸-آیکون تعریف خصوصیات مصالح

۱. برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (Aluminum).
۲. در پنجره Edit Material ، گزینه Mechanical را انتخاب کرده و به ترتیب گزینه‌های Elasticity و Elastic را انتخاب نمایید.

۳. مقدار مدول یانگ (الاستیسیته) را برابر ۷۰۳۷۰ و ضریب پواسون را برابر ۰/۳ قرار دهید و بر روی Ok کلیک نمایید.

توجه: در نرم افزار ABAQUS سیستم واحد از پیش تعیین شده‌ای وجود ندارد و مسئولیت انتخاب صحیح و متناسب واحدها بر عهده کاربر است.



شکل ۷-۹-تعریف خصوصیات مصالح ستون

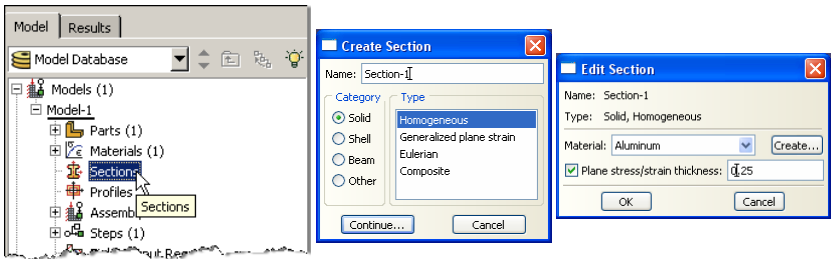
۷-۳-۶- برای انتخاب سطح مقطع عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Sections دوبار کلیک کنید.

۱. مقطع مورد نظر را به نام Section-1 نامگذاری کرده و category آن را از نوع Solid انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۲. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۳. در پنجره Edit Section ، مقدار Plane Stress/Strain Thickness را برابر ۰/۲۵ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (Aluminum) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۴. برروی OK کلیک کنید.



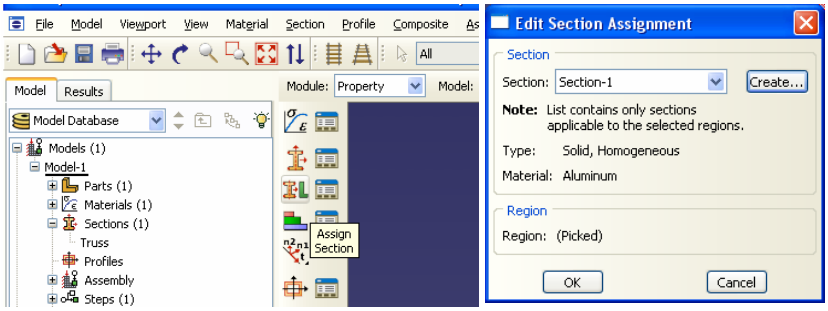
شکل ۷-۱۰- مراحل تعریف سطح مقطع صفحه

۷-۳-۷- برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۱. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی صفحه مورد نظر را را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۲. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-1) را انتخاب نمایید.

۳. بر روی Ok کلیک کنید.

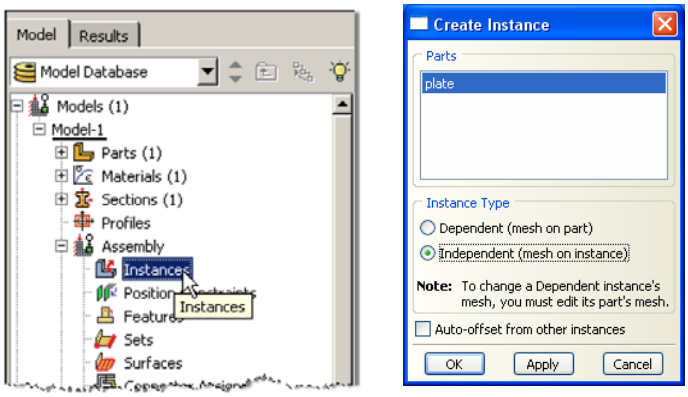


شکل ۷-۱۱- اختصاص سطح مقطع صفحه

۷-۳-۸- از منوی درختی، بر روی علامت + در کنار گزینه Assembly کلیک کرده تا منوی مربوط به آن باز شود. در این منو بر روی Instances کلیک کنید.

۱. برای نوع instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۷-۱۲- وارد کردن عضو ساخته شده به ماژول Assembly

۷-۳-۹- در منوی درختی بر روی گزینه Steps دوبار کلیک کنید.

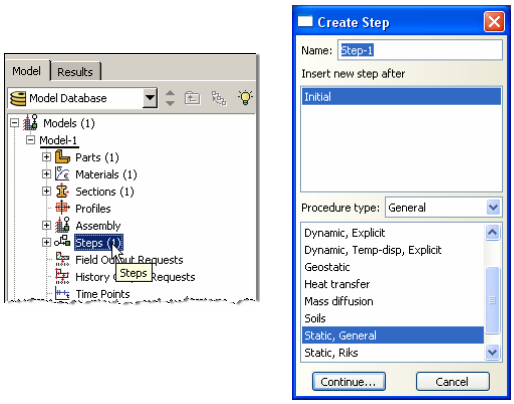
۱. Step را با نام Step-1 نامگذاری کنید، در قسمت procedure گزینه Generalرا انتخاب کنید و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Static-General را انتخاب کنید.

۲. بر روی Continue کلیک کنید.

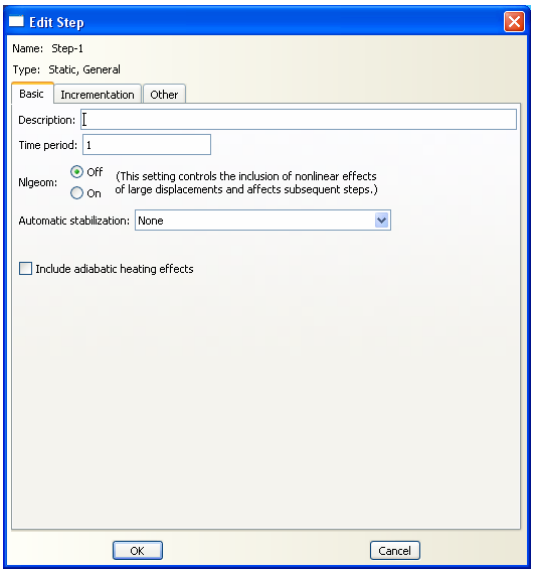
۳. در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.

۴. برای در نظر گرفتن تغییرشکلهای بزرگ می‌توان گزینه Nlgoem را on نمود. که در اینجا نیازی به انجام این کار نمی‌باشد.

۵. بر روی Ok کلیک کنید.

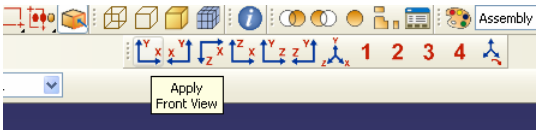


شکل ۷-۱۳- مراحل تعریف گامهای تحلیل



شکل ۷-۱۴- مراحل تعریف گامهای تحلیل

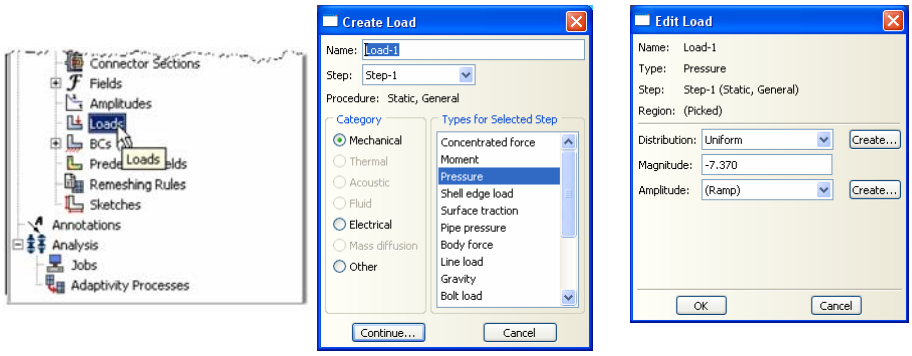
۷-۳-۱۰- برای نمایش سه بعدی مدل در نوار افقی Views که در بالای صفحه قرار دارد، بر روی گزینه Apply Iso View کلیک کنید.



شکل ۷-۱۵- تغییر زاویه دید صفحه نمایش

۷-۳-۱۱- برای تعریف بارگذاری در منوی درختی بر روی گزینه Loads کلیک کنید.

۱. نام بار را Load-1 قرار داده و نوع آن را Pressure انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. لبه بالایی صفحه را انتخاب نمایید.
۴. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۵. در پنجره باز شده، نوع فشار وارده را از نوع یکنواخت (Uniform) و مقدار آن را برابر ۷۰/۳۷۰ (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) وارد نمایید و بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۷-۱۶- مراحل تعریف بارگذاری

۷-۳-۱۲- برای تعریف تکیه گاه‌ها در منوی درختی بر روی گزینه BCs دوبار کلیک کنید.

۱. شرط مرزی مربوطه را BC-1 نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Symmetry/Antisymmetry/Encastre را انتخاب کنید.

۲. بر روی Continue کلیک کنید.

۳. لبه پایینی صفحه را انتخاب کنید.

۴. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۵. در پنجره Edit Boundary Condition گزینه YSYM (U2=UR1=UR3=0) تا تاثیر قسمتهایی از صفحه که مدلسازی نشده لحاظ شود (اثر تقارن). با این کار حرکت انتقالی در امتداد محور y و حرکت دورانی حول محورهای x و z بسته می‌شود.

۶. بر روی Ok کلیک کنید.

۷. برای تعریف تکیه گاه‌ها در منوی درختی بر روی گزینه BCs دوبار کلیک کنید.

۸. شرط مرزی مربوطه را BC-2 نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Symmetry/Antisymmetry/Encastre را انتخاب کنید.

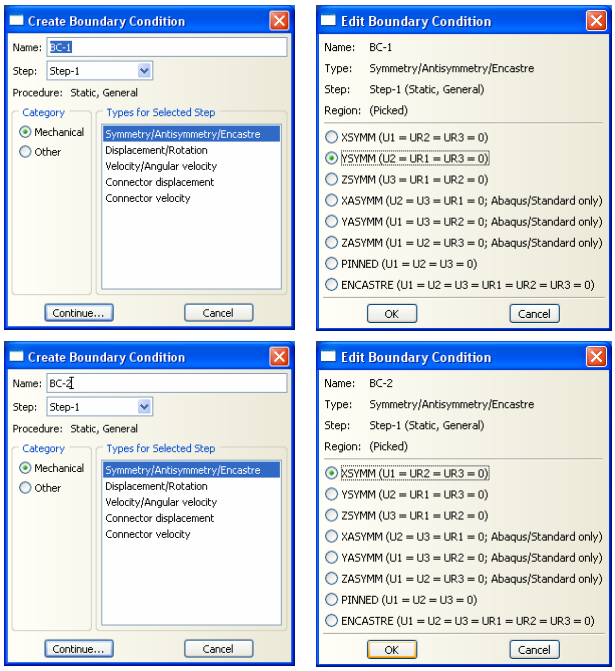
۹. بر روی Continue کلیک کنید.

۱۰. لبه سمت چپ صفحه را انتخاب کنید.

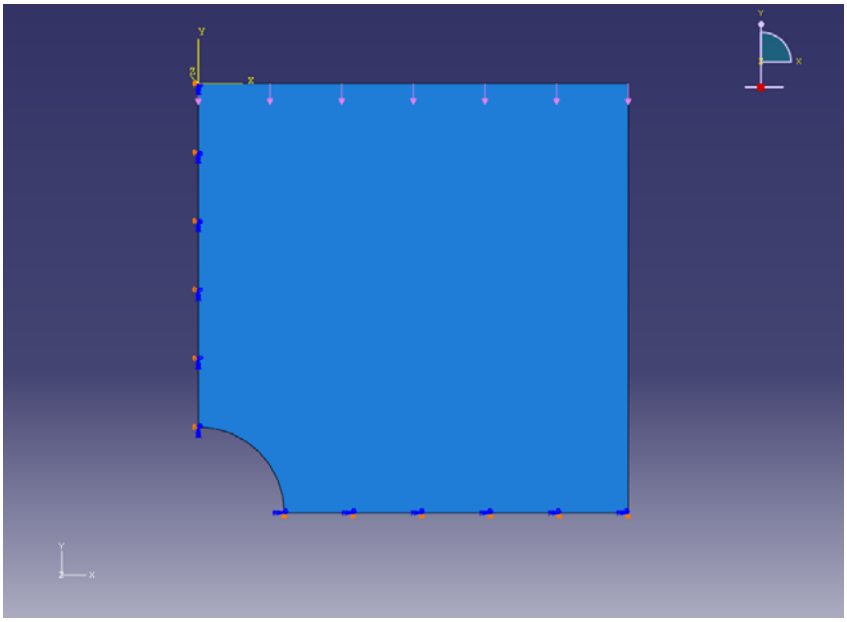
۱۱. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۱۲. در پنجره Edit Boundary Condition گزینه XSYM (U1=UR2=UR3=0) تا تاثیر قسمتهایی از صفحه که مدلسازی نشده لحاظ شود (اثر تقارن). با این کار حرکت انتقالی در امتداد محور x و حرکت دورانی حول محورهای yو z بسته می‌شود.

۱۳. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۷-۱۷- مراحل تعریف تکیه گاه

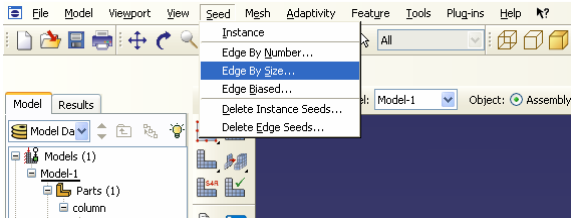


شکل ۷-۱۸- مدل هندسی صفحه ساخته شده

۷-۳-۱۳- برای مش بندی صفحه به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱. از منوی باز شونده Module بر روی گزینه Mesh کلیک کنید.

۲. از منوی بالای صفحه گزینه Seed و سپس گزینه Edge by Size را انتخاب نمایید.
۳. صفحه را انتخاب کنید.
۴. بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.
۵. در نوار پایین صفحه اندازه المانهای ستون را برابر ۰/۲۵ سانتیمتر قرار دهید و دکمه Enter را فشار دهید.
۶. از منوی پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.



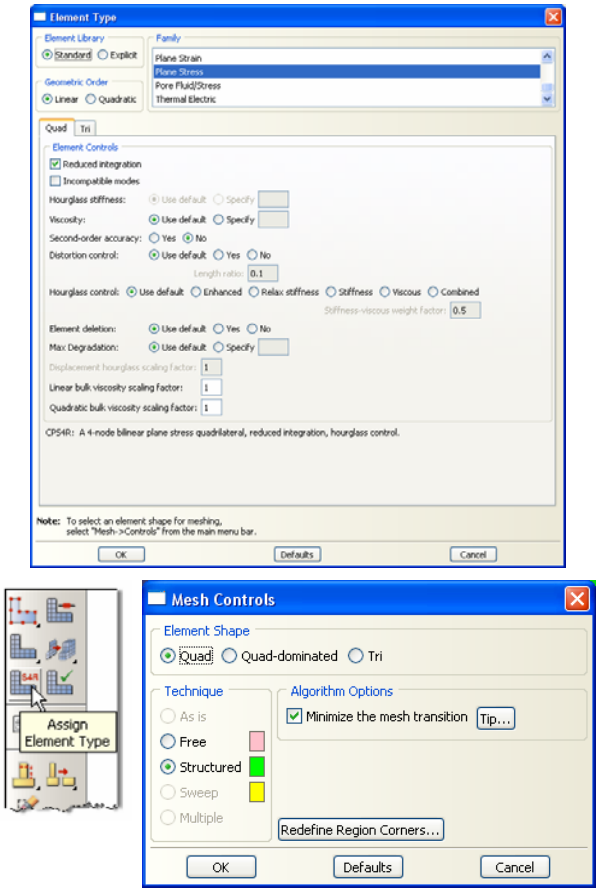
شکل ۷-۱۹- آیکون تعریف اندازه مش بندی

۷. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Mesh Controls کلیک کنید. در پنجره باز شده شکل المانها را از نوع Quad انتخاب کنید. (گزینه Quad برای مش بندی چهارضلعی، گزینه Tri برای مش بندی مثلثی و گزینه Quad dominated برای مش بندی ترکیبی چهارضلعی – مثلثی مورد استفاده قرار می‌گیرند.)
۸. دکمه Okرا بزنید.
۹. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Element Type کلیک کنید.
۱۰. چون مدل ما فقط شامل یک Part است، در این مرحله نیازی به انتخاب آن نیست و به صورت خودکار این عضو انتخاب می‌شود.
۱۱. نوع المان را Standard و از خانواده Plain Stress انتخاب کنید.
۱۲. مرتبه هندسی (geometric order) را Linear انتخاب کنید.
۱۳. مرتبه هندسی را از نوع Quadratic انتخاب کنید.

توجه :
اگر گزینه Linear و Quadratic را انتخاب کنید المانها از نوع چهار گرهی ، اگر Quad و Quadratic را انتخاب کنید المان هشت گرهی ، اگر گزینه Linear و Tri را انتخاب کنید المانها از نوع CST و اگر اگر گزینه Quad و Tri را انتخاب کنید المانها از نوع LST خواهد بود.

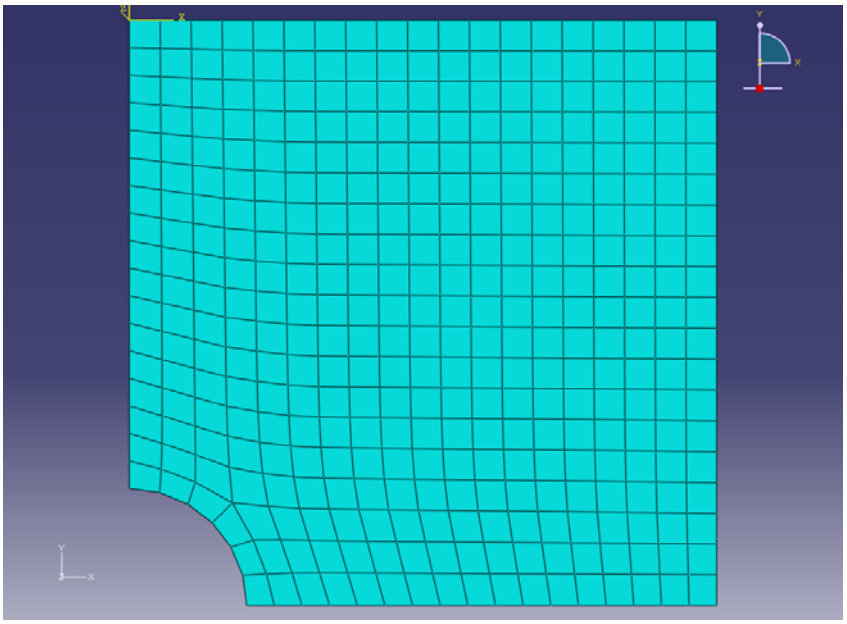
۱۴. توجه کنید که نام المان (CPS4R) و توضیحات مربوط به آن در پایین بخش element controls در پنجره باز شده قرار دارد.

۱۵. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۷-۲۰-مراحل تعریف نوع مش بندی

۱۶. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Mesh Part کلیک کنید. و در نوار پایین صفحه بر روی Yes کلیک کنید.



شکل ۷-۲۱-صفحه مش بندی شده

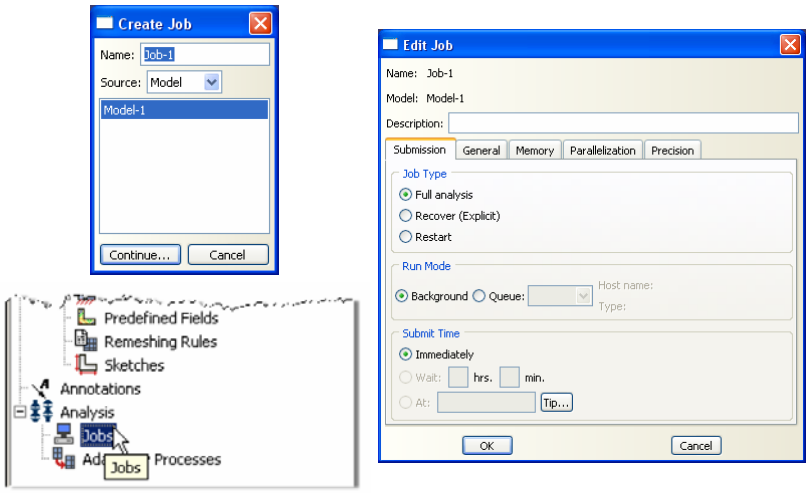
۷-۳-۱۴- برای انجام تحلیل در منوی درختی بر روی گزینه Job کلیک کنید.

۱. اسم Job را Job-1 بگذارید.

۲. بر روی Continue کلیک کنید.

۳. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.

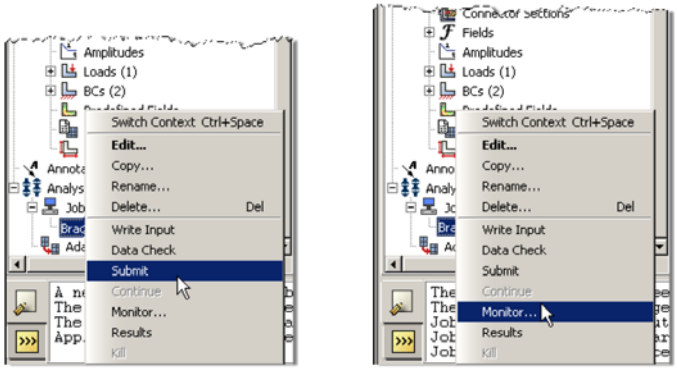
۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۷-۲۲- مراحل تعریف Job

۷-۳-۱۵- در منوی درختی بر روی Jobای که در مرحله قبل ساختید (Job-1) راست کلیک کنید و Submit را انتخاب کنید.

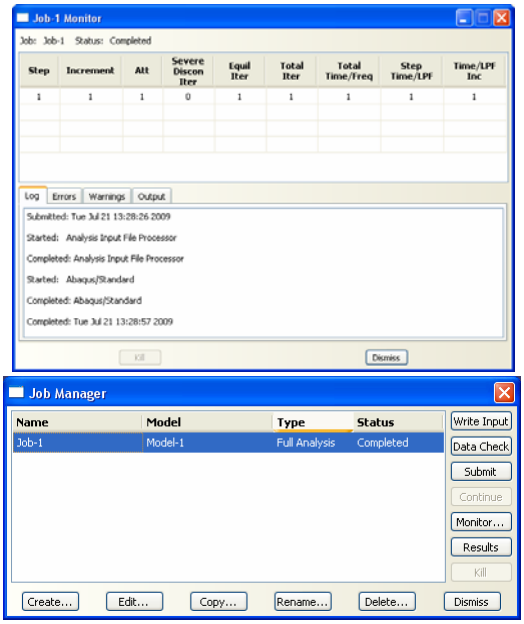
۱. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است بر روی job در حال تحلیل (Job-1) راست کلیک کرده و Monitor را انتخاب کنید.



شکل ۷-۲۳- مشاهده مراحل تحلیل

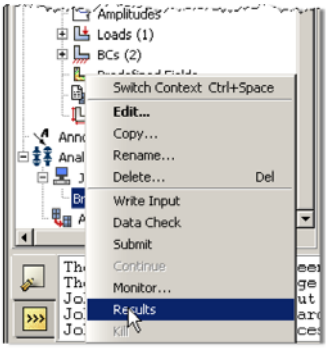
۲. در پنجره‌ای که با نام Monitor باز شده است کنترل کنید که error (خطا) یا warning (اخطار) وجود ندارد.

- در صورت وجود خطا، باید قبل از آغاز مجدد تحلیل این خطاها را برطرف نمود.
- در صورت وجود اخطار، باید کنترل شود که آیا این اخطارها باعث ایجاد مشکل در تحلیل خواهند شد یا خیر. از بسیاری از اخطارها می‌توان بطور ایمن چشم پوشی نمود.



شکل ۷-۲۴- مشاهده روند تحلیل

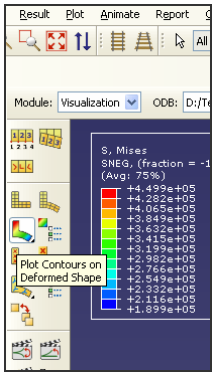
بعد از اتمام تحلیل در منوی درختی بر روی jobای که submit و تحلیل شده است (Job-1) راست کلیک کرده و گزینه Results را انتخاب کنید.



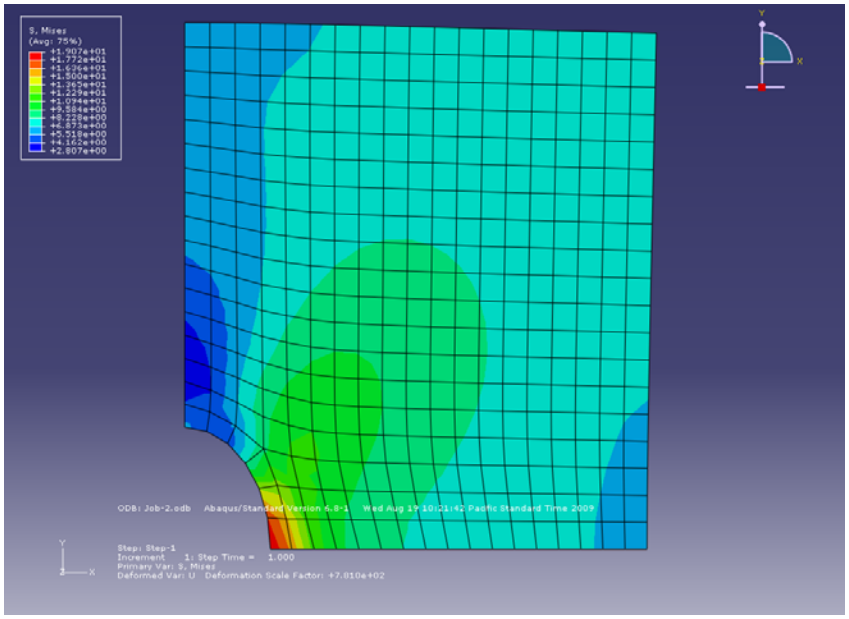
شکل ۷-۲۵- مشاهده نتایج

۷-۴-بررسی نتایج

۷-۴-۱- برای مشاهده تنشها بر روی عضو تغییرشکل یافته، در منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Plot contour on deformed shape کلیک کنید.



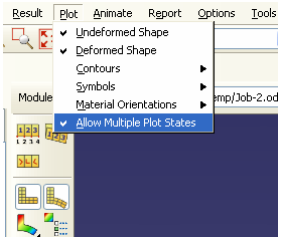
شکل ۷-۲۶- آیکون مشاهده کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته



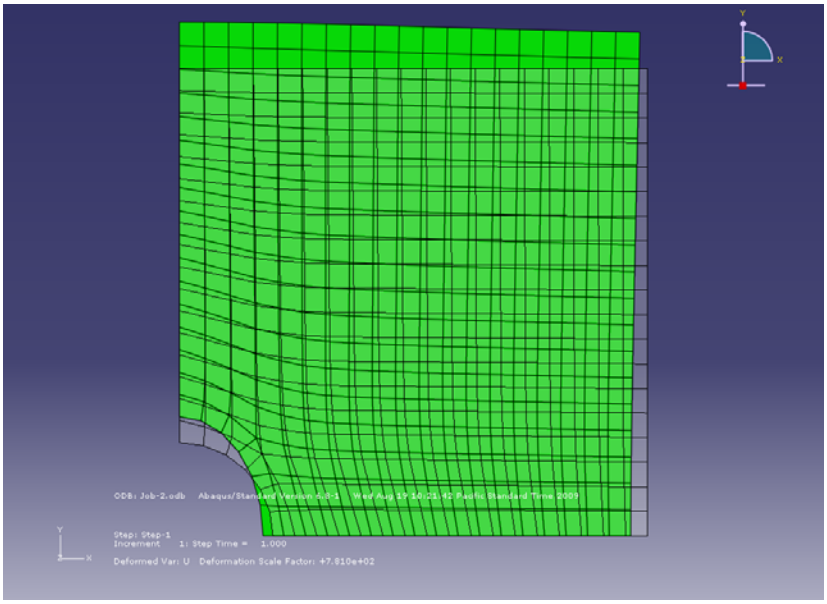
شکل ۷-۲۷- کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته

۷-۴-۲- برای نشان دادن شکل صفحه در دو حالت تغییرشکل یافته و اولیه به صورت همزمان از منوی Plot گزینه Allow multiple plot states را انتخاب کنید. در کنار گزینه‌های Deformed shape و Undeformed shape تیک بزنید.

۷-۴-۳- برای انتقال تصویر سازه از ABAQUS به نرم افزار Word می‌توان با استفاده از Ctrl+C در ABAQUS شکل را کپی نموده و با استفاده از Ctrl+V برنامه Word آن را در وارد نمایید.



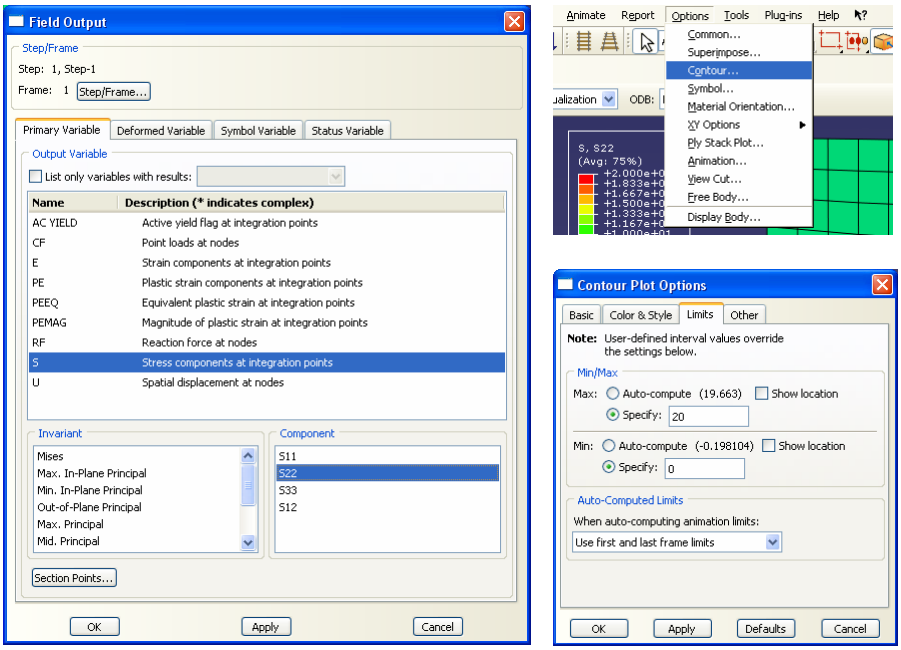
شکل ۷-۲۸- نحوه تنظیمات نمایش همزمان مدل تغییرشکل یافته و مدل اولیه



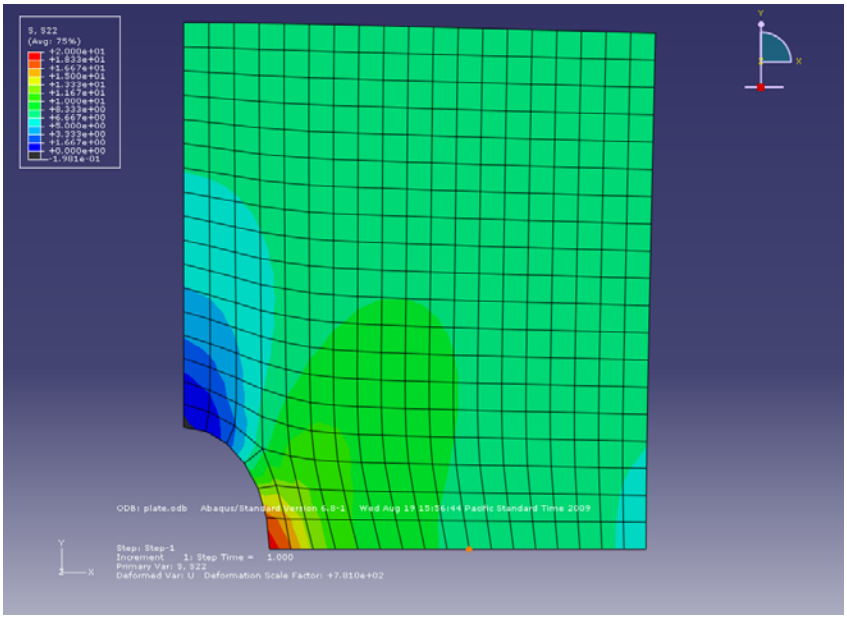
شکل ۷-۲۹- مدل تغییرشکل یافته و مدل اولیه

۷-۴-۴- برای مشاهده تنش S22 یعنی تنش در جهت محور y ، در منوی بالای صفحه بر روی گزینه Results و سپس Field Output کلیک کنید. در پنجره‌ای که باز می‌شود، گزینه S در سمت چپ صفحه و S22 در سمت راست صفحه را انتخاب کنید.

۷-۴-۵- برای تنظیم حدود کانتور تنش ، در منوی بالای صفحه بر روی گزینه Options کلیک کرده و گزینه Contours را انتخاب کنید. در پنجره‌ای که باز می‌شود منوی Limits را انتخاب کرده و مقدار بیشینه تنش را برابر 20 و مقدار کمینه تنش را برابر 0 قرار دهید.



شکل ۷-۳۰- مراحل تنظیم کانتور تنش دلخواه بر روی عضو تغییرشکل یافته



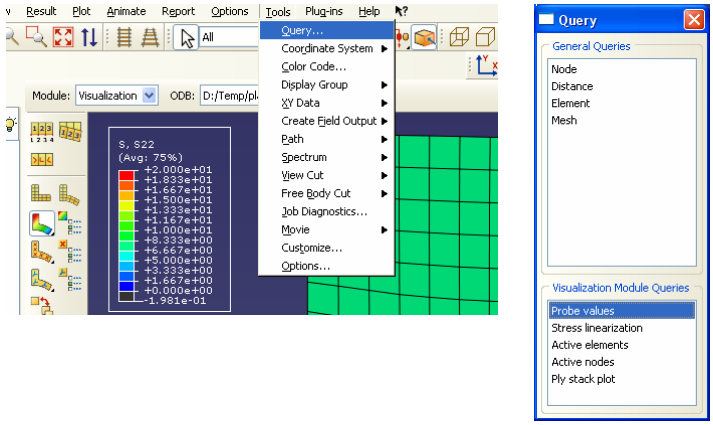
شکل ۷-۳۱- کانتور تنش دلخواه بر روی عضو تغییرشکل یافته

۷-۴-۶- برای مشاهده مقدار تنش در نقاط مختلف صفحه، به ترتیب ذیل عمل نمایید.

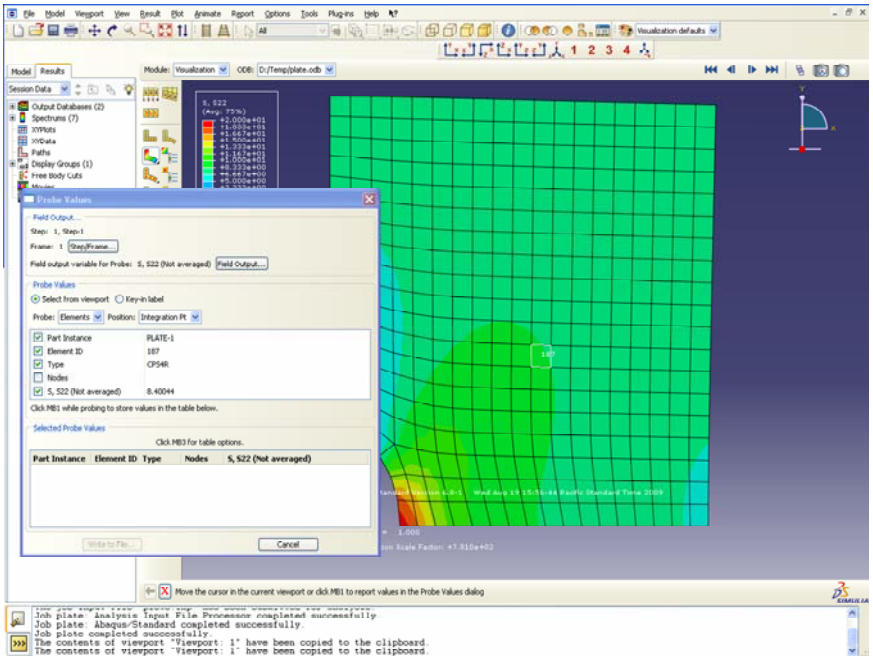
۱. در منوی بالای صفحه بر روی گزینه Tools و سپس Query کلیک کنید.

۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود، گزینه Probe Values را انتخاب کنید.

۳. در پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه S22 را تیک بزنید. با حرکت دادن موس بر روی المانهای مختلف صفحه مقدار تنش S22 را در هر یک از این المانها مشاهده نمایید.



شکل ۷-۳۲- مراحل تنظیم مشاهده مقدار تنش دلخواه بر روی المان مورد نظر

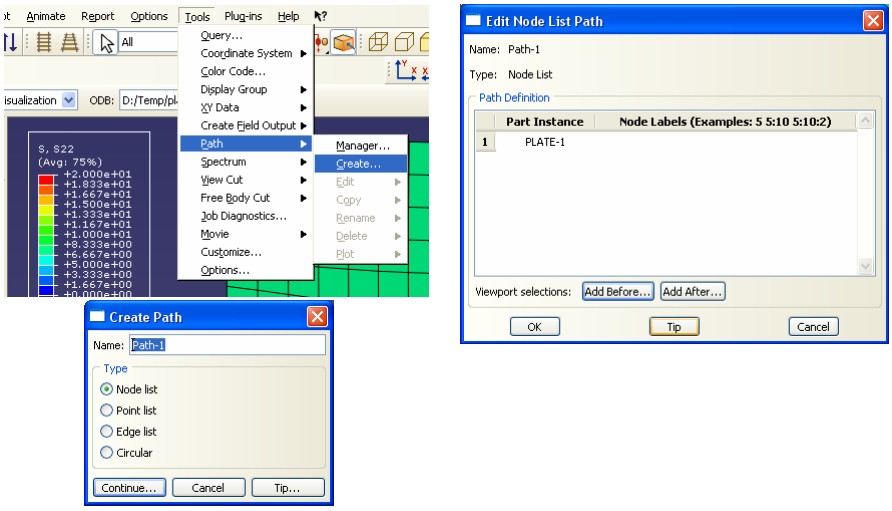


شکل ۷-۳۳- مشاهده مقدار تنش دلخواه بر روی المان مورد نظر با تغییر مکان موس

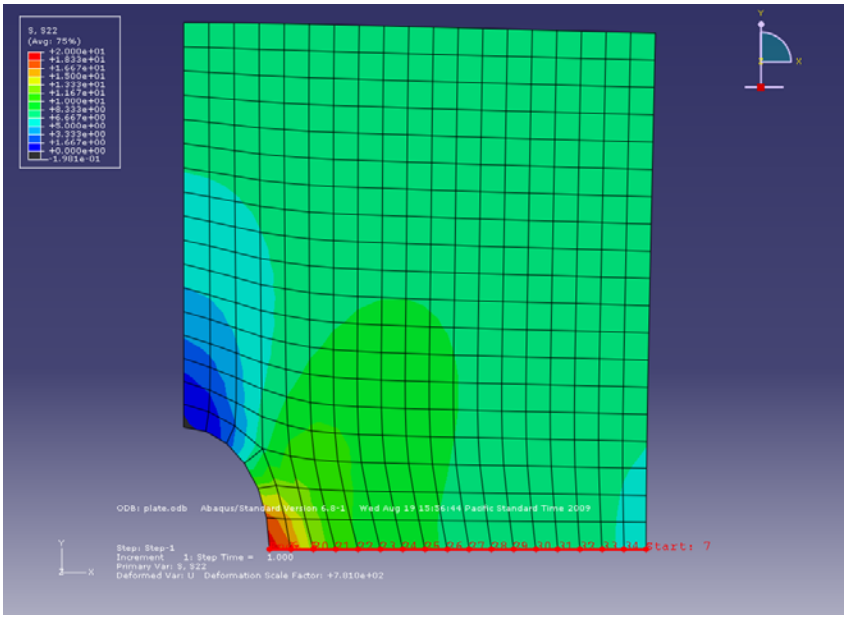
۷-۴-۷- برای رسم نمودار در طول یک مسیر دلخواه، در ابتدا مسیر را به صورت ذیل مشخص می‌کنید .

۱. در منوی بالای صفحه بر روی گزینه Tools و سپس به ترتیب گزینه‌های Path و Create را انتخاب کنید.

۲. برای مسیر مورد نظر نام Path-1 را انتخاب کنید و بر روی Continue کلیک نمایید.
۳. در پنجره‌ای که باز می‌شود بر روی گزینه Add-Before کلیک کنید.
۴. گره‌های ضلع پایینی صفحه را به ترتیب از راست به چپ انتخاب کنید.
۵. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک نموده و در پنجره باز شده Ok را انتخاب کنید.



شکل ۷-۳۴- مراحل تعریف مسیر دلخواه بر روی عضو جهت مشاهده مقدار تنش در این مسیر

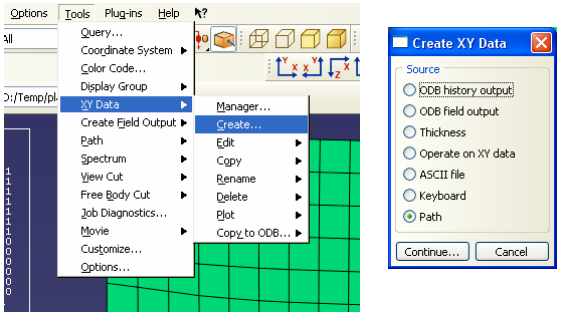


شکل ۷-۳۵- انتخاب گره‌های مسیر دلخواه بر روی عضو

۷-۴-۸- برای رسم کردن تنش در برابر فاصله نقاط در مسیر انتخاب شده به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. در منوی بالای صفحه بر روی گزینه Tools و سپس به ترتیب گزینه‌های XYData و Createرا انتخاب کنید.

۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه Path را انتخاب کنید.

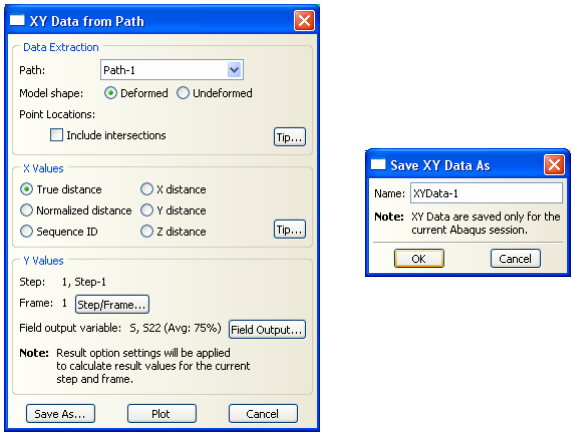


شکل ۷-۳۶- مراحل تعریف مسیر بر روی عضو جهت مشاهده مقدار تنش در این مسیر

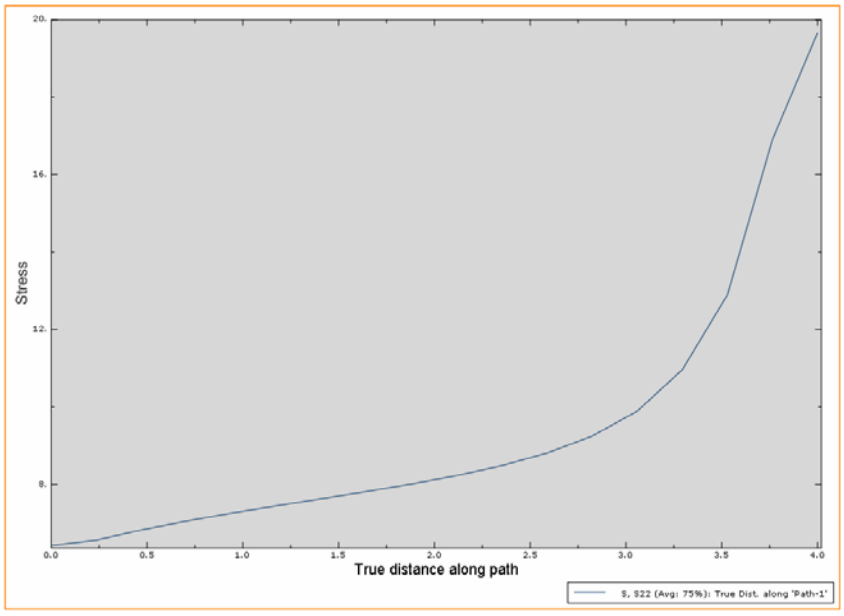
۳. پنجره‌ای تحت عنوان XY Data From Path باز می‌شود ، در این پنجره نام مسیر ساخته شده (Path-1) را انتخاب نموده و بر روی Plot کلیک نمایید.

۴. با انجام این کار منحنی تنش در نقاط مسیر تعریف شده در برابر فاصله این نقاط از مختصات اول مسیر رسم می‌شود .

۵. در صورت تمایل می‌توان این منحنی را با استفاده از انتخاب گزینه Save As ذخیره کرد. در این حالت باید نامی برای داده‌های این منحنی انتخاب کنید.



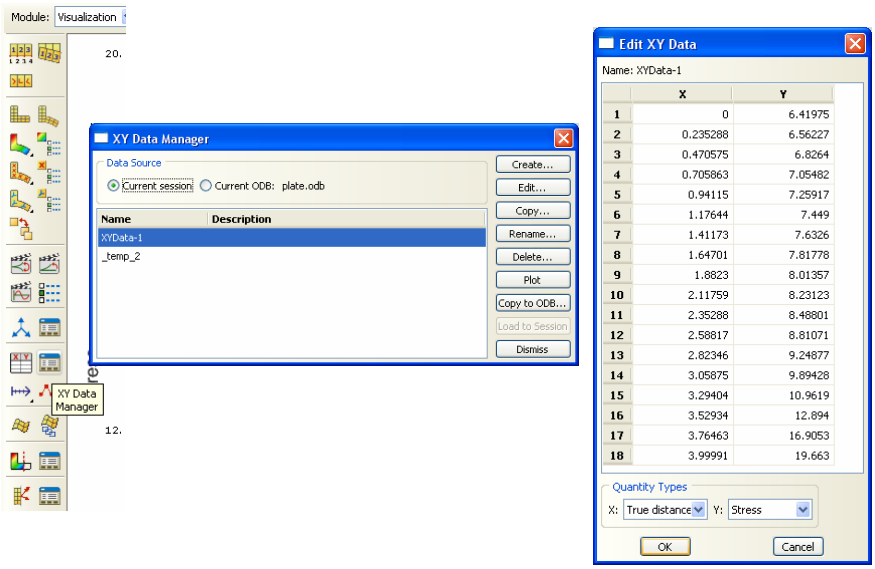
شکل ۷-۳۷-مراحل انتخاب تنش هر کدام از گره‌ها به عنوان اطلاعات خروجی مورد نظر روی مسیر



شکل ۷-۳۸-نمودار تنش در مسیر تعریف شده

۶. برای مشاهده داده‌های ذخیره شده در منوی ابزار عمودی بر روی گزینه XY Data Manager کلیک کنید.

۷. برای دسترسی به تک تک داده‌ها و انتقال آنها به نرم افزارهای دیگر مانند نرم افزار Excel گزینه Edit را انتخاب کنید.



شکل ۷-۳۹- مقادیر اطلاعات خروجی روی مسیر مورد نظر در جدول

۷-۴-۹- برای گزارش گیری از پروژه انجام شده به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. از منوی بالای صفحه گزینه Report و سپس گزینه Field Output را انتخاب کنید.

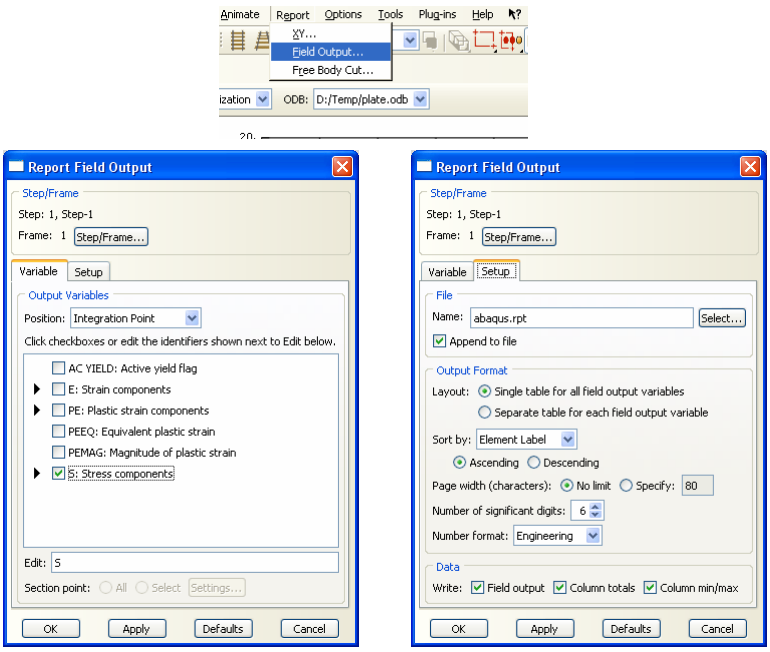
۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود تیک کنار گزینه S یعنی تنش در المانها را انتخاب کنید.

۳. سپس در بالای پنجره گزینه Setup را انتخاب نمایید Number Of Digits Significant را برابر ۶ قرار دهید. این کار باعث می‌شود تا داده‌هایی که در گزارش ثبت می‌شود تا شش رقم دقت داشته باشد.

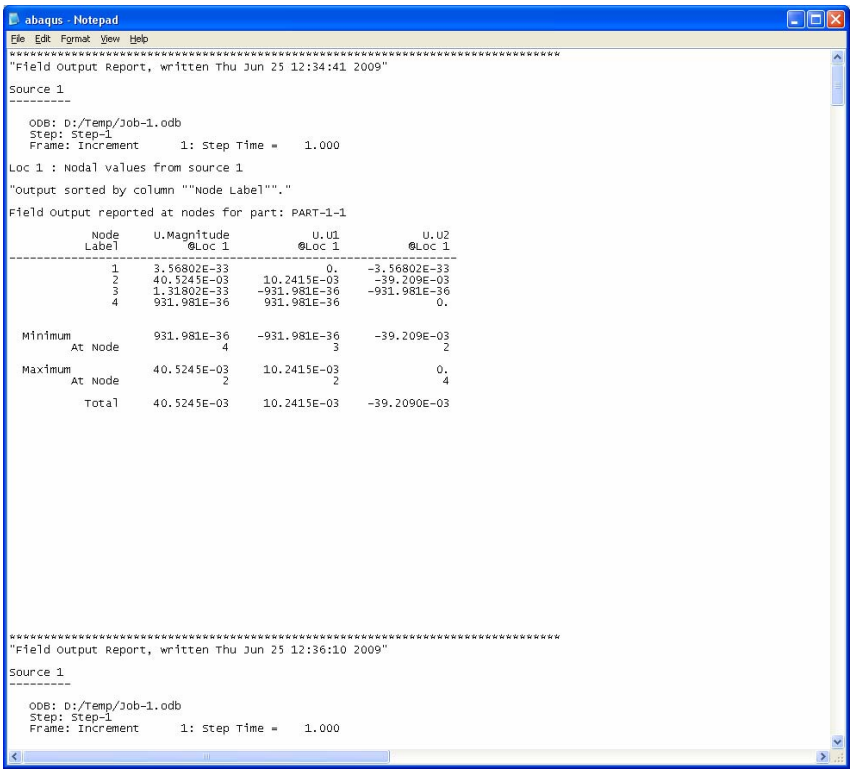
۴. سپس گزینه Apply را برای ذخیره گزارش کلیک نمایید.

۵. گزارش با پسوند *.RPT در مسیر ذخیره سازی پیش فرض (مثلا D:\Temp) ، ذخیره می‌شود.

۶. برای مشاهده محتویات این فایل می‌توانید از برنامه Notepad استفاده نمایید.



شکل ۷-۴۰-تنظیمات گزارش گیری از پروژه انجام شده

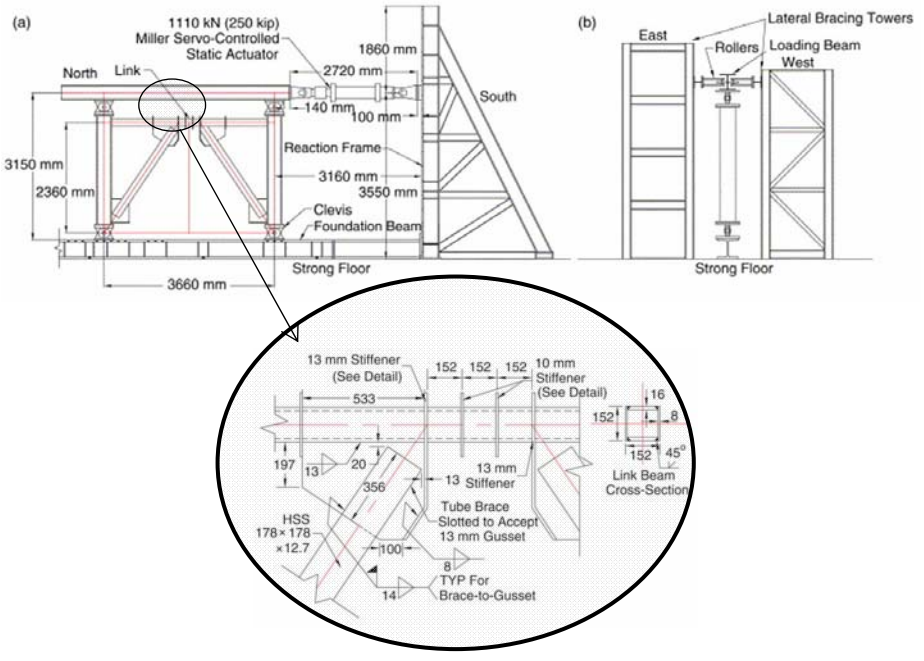


شکل ۷-۴۱-گزارش گرفته شده از پروژه انجام شده

مدلسازی و صحت سنجی مدل اجزای محدود یک قاب مهارشده واگرا با استفاده از نتایج یک آزمایش عملی

۸-۱- صورت مساله

یک قاب مهارشده واگرا مطابق شکل زیر تحت بارگذاری سیکلی مورد آزمایش قرار گرفته است. مشخصات تیر، تیر پیوند، مهاربند و ستون در شکل ذیل نشان داده شده است. مطلوب است محاسبه دوران و نیروی برشی تیر پیوند.



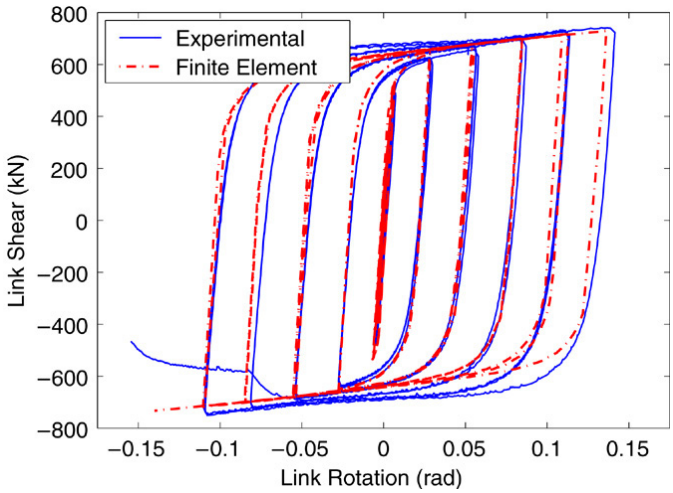
شکل ۸-۱-هندسه و موقعیت قاب واگرای مورد نظر

۸-۲- مدل آزمایشگاهی

در شکل زیر قاب مهارشده واگرای فوق که توسط Berman و Bruneau مورد آزمایش قرار گرفته است ملاحظه می‌شود. تکیه گاههای قاب بصورت مفصلی هستند و بار از طریق تیری که بطور مفصلی به بالای قاب متصل شده به دو ستون اعمال می‌گردد. در این قاب بدلیل استفاده از مقطع تیر قوطی شکل ، سخت کننده‌ها در بیرون تیر تعبیه شده اند تا از کمانش موضعی جلوگیری نمایند.

نتایج این آزمایش برای صحت سنجی مدل اجزای محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نتایج به شرح ذیل می‌باشد.

شکل ۸-۲-مدل آزمایشگاهی قاب مهارشده واگرا



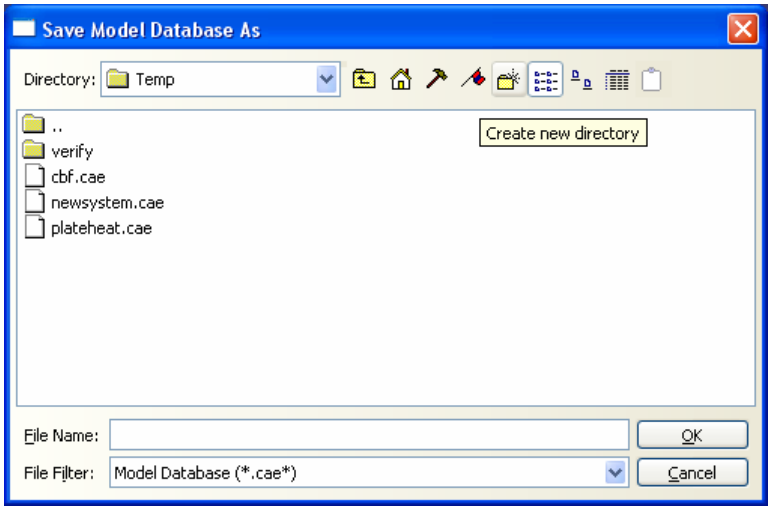
شکل ۸-۳- نتایج آزمایش سیکلی بر روی قاب مهارشده واگرا

۸-۳- مراحل تحلیل

با توجه به ابعاد مقاطع و کوچک بودن یک بعد نسبت به سایر ابعاد از المانهای Shell استفاده گردید. . برای مدلسازی شرایط تکیه گاهی و نحوه اعمال بار در پایین قاب شرایط تکیه گاهی بصورتی مدل شده که همانند یک مفصل عمل نماید.

۸-۳-۱- برنامه ABAQUS را باز کرده و گزینه create a new model database را انتخاب کنید.

۸-۳-۲- برای اینکه مسیری برای ذخیره از ابتدای شروع مدلسازی به برنامه معرفی شود از منوی بالای صفحه گزینه File و سپس Save As را انتخاب کنید. بر روی گزینه create directory for files کلیک کنید.



شکل ۸-۴-ذخیره فایل ساخته شده

۸-۳-۳- ابتدا می‌بایست تک تک اعضای مدل مورد نظر به صورت جداگانه ساخته شود . برای این منظور به ترتیب ذیل عمل می‌نمایید.

۱. از بخش ماژول در سمت چپ و بالای صفحه ماژول Part را انتخاب کنید. (اگر در برنامه تغییراتی ایجاد نکرده باشید این ماژول به صورت پیش فرض انتخاب شده است.

۲. برای تعریف عضو تیر از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.

۳. در پنجره باز شده نام عضو را Beam بگذارید گزینه‌های 3D Planer (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Extrusion را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید. گزینه Extrusion برای ساختن اعضای سه بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ابتدا شکل سطح مقطع عضو و سپس ارتفاع آن را از کاربر دریافت می‌کند.

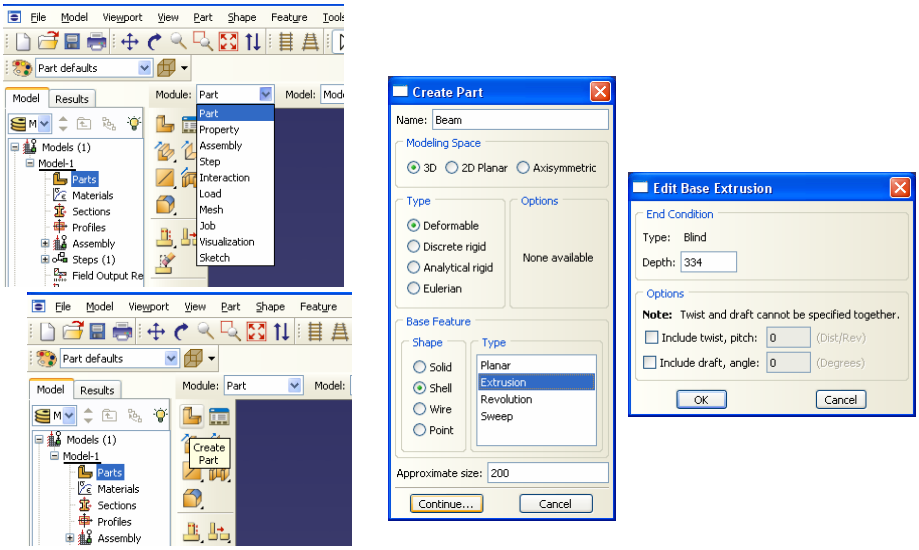
۴. بر روی Continue کلیک کنید.

۵. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Rectangle را انتخاب کنید.

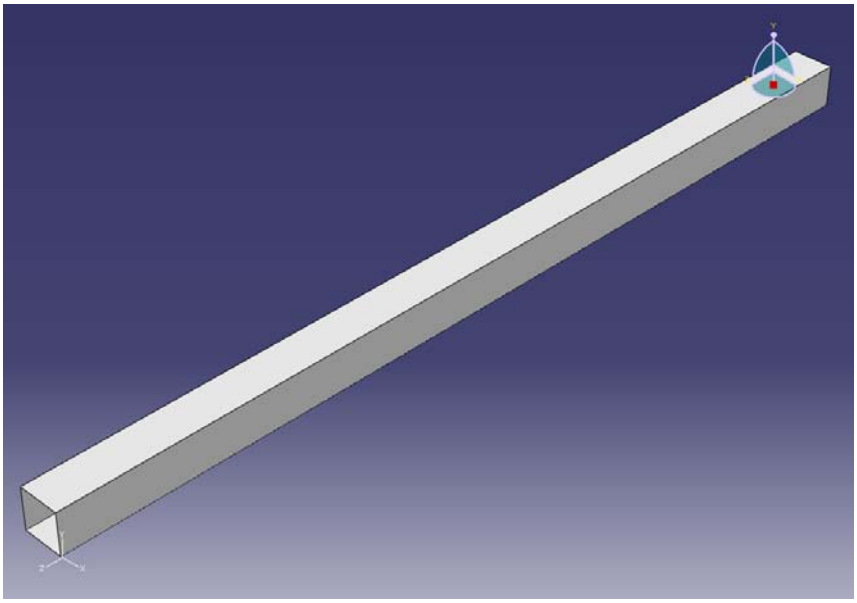
۶. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید. (0,0)،(15.2, 15.2).

۷. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.

۸. در پنجره‌ای که باز می‌شود طول عضو Beam را برابر ۳۳۴ قرار دهید.



شکل ۸-۵-مراحل تعریف عضوهای قاب واگرای مورد نظر (تیر)



شکل ۸-۶-تیر ساخته شده

۹. برای تعریف عضو سخت کننده تیر از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.

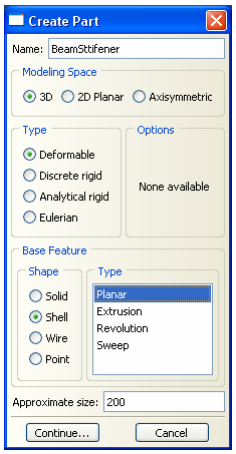
۱۰. در پنجره باز شده نام عضو را BeamStiffener بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.

۱۱. بر روی Continue کلیک کنید.

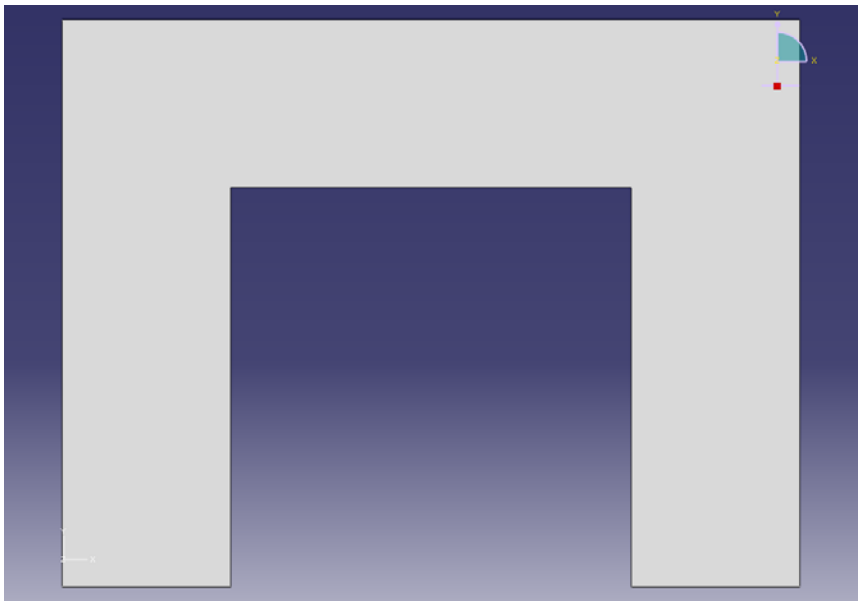
۱۲. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید.

۱۳. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (0, 15.2) (15.2,15.2)، (21.6, 0)، (21.6,21.6)، (-6.4, 21.6)، (6.4,0) و (0, 0).

۱۴. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.

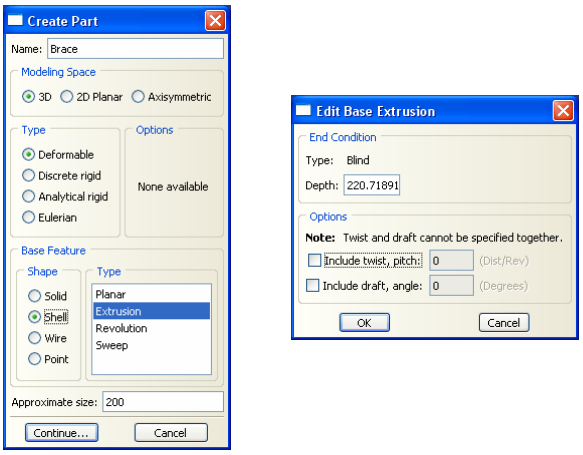


شکل ۸-۷- تعریف عضو سخت کننده تیر

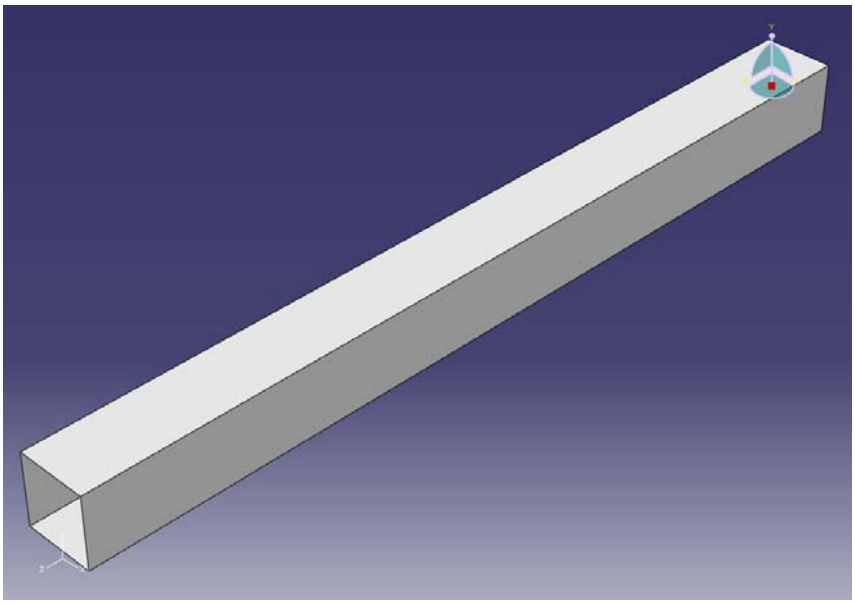


شکل ۸-۸- سخت کننده تیر ساخته شده

۱۵. برای تعریف عضو مهاربند از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.
۱۶. در پنجره باز شده نام عضو را Brace بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Extrusion را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.
۱۷. بر روی Continue کلیک کنید.
۱۸. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Rectangle را انتخاب کنید.
۱۹. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (17.8, 17.8).
۲۰. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.
۲۱. در پنجره‌ای که باز می‌شود طول عضو Brace را برابر ۲۲۰/۷۱۸۹۱۶۳ قرار دهید. دلیل اینکه طول مهاربند را با دقت بالا وارد می‌کنید این است که مهاربند با ستون دارای زاویه است و طول مهاربند از تقسیم طول ستون بر کسینوس این زاویه به دست می‌آید.



شکل ۸-۹- تعریف عضو مهاربند



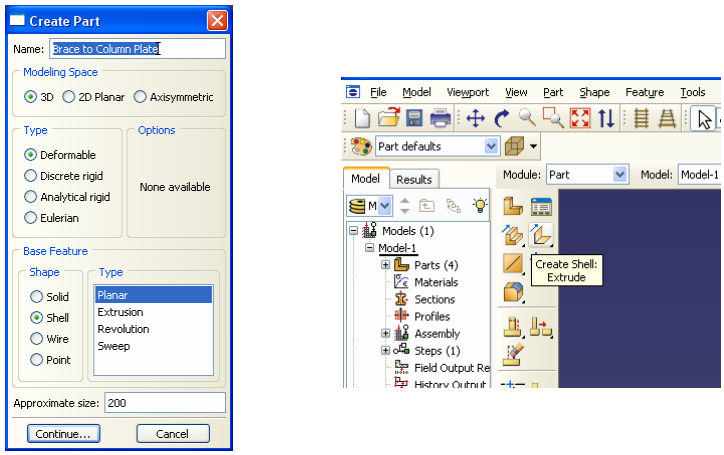
شکل ۸-۱۰-مهاربند ساخته شده

۲۲. برای تعریف عضو اتصال مهابند به ستون از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.

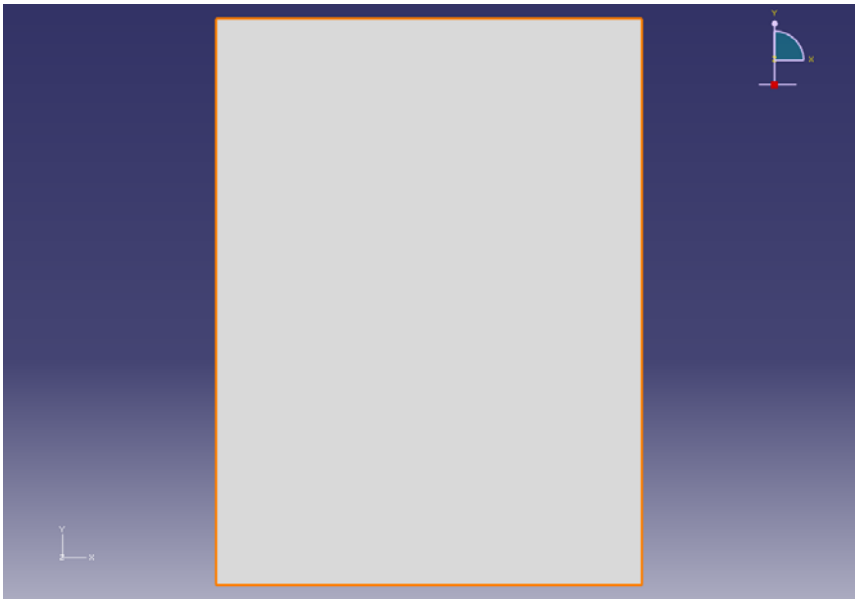
۲۳. در پنجره باز شده نام عضو را Brace to Column Plate بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.

۲۴. بر روی Continue کلیک کنید.

۲۵. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Rectangle را انتخاب کنید.
۲۶. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (36, 48).
۲۷. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.



شکل ۸-۱۱-تعریف عضوصفحه اتصال مهاربند به ستون



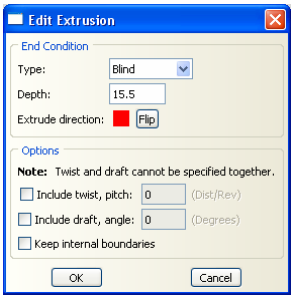
شکل ۸-۱۲-صفحه اتصال مهاربند به ستون

در اینجا لازم است برای صفحه اتصالی که تعریف کردیم سخت کننده‌هایی در قسمت پایین صفحه قرار دهیم. برای این کار به ترتیب زیر عمل نمایید.

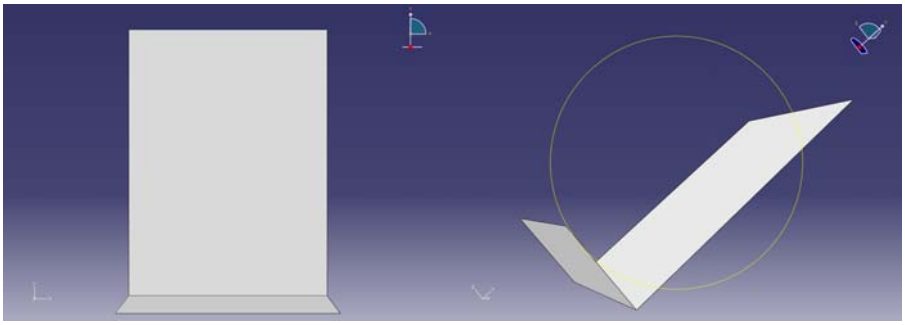
۲۸. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Shell Extrude را انتخاب کنید. بر روی عضوی که ساخته اید کلیک کنید و سپس بر روی ضلع پایینی مستطیل کلیک کنید. همانطور که مشاهده می‌کنید شکل چرخیده و محیط جدیدی ایجاد می‌شود.

۲۹. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید. گوشه‌های سمت راست بالا و پایین را به ترتیب انتخاب کنید و بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.

۳۰. در پنجره‌ای که باز می‌شود مقدار عمق قسمتی را که می‌خواهید به عنوان سخت کننده در پایین صفحه اتصال اضافه نماییم برابر ۱۵/۵ قرار دهید. سپس بر روی OK کلیک نمایید. همانطور که مشاهده می‌شود یکی از سخت کننده‌ها به صفحه اتصال اضافه شد.



شکل ۸-۱۳-اضافه کردن صفحه عمود بر صفحه اتصال مهاربند به ستون تعریف شده



شکل ۸-۱۴-عضو حاصل از اضافه کردن صفحه عمود بر صفحه اتصال مهاربند به ستون

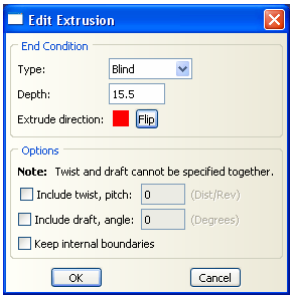
۳۱. برای ساختن سخت کننده دوم نیز به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۳۲. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Shell Extrude را انتخاب کنید. بر روی عضوی که ساخته اید کلیک کنید و سپس بر روی ضلع پایینی مستطیل کلیک کنید.

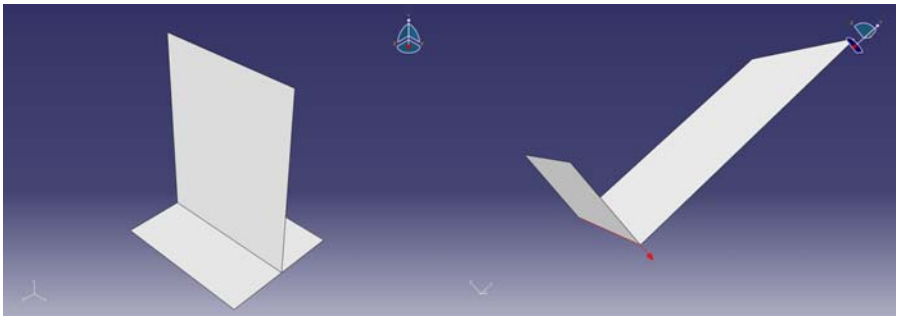
۳۳. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید. گوشه‌های سمت راست بالا و پایین را به ترتیب انتخاب کنید و بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.

۳۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود مقدار عمق قسمتی را که می‌خواهید به عنوان سخت کننده در پایین صفحه اتصال اضافه نماییم برابر ۱۵/۵ قرار دهید. و بر روی Flip کلیک کنید. با انتخاب Flip سخت کننده دوم در سمت مقابل سخت کننده قبلی اضافه می‌شود.

۳۵. بر روی OK کلیک نمایید. همانطور که مشاهده می‌شود سخت کننده دوم نیز به صفحه اتصال اضافه می‌شود.



شکل ۸-۱۵-اضافه کردن صفحه عمود دوم بر صفحه اتصال مهاربند به ستون تعریف شده



شکل ۸-۱۶-عضو حاصل از اضافه کردن صفحه عمود دوم بر صفحه اتصال مهاربند به ستون

۳۶. برای تعریف عضو اتصال مهابند به تیر از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.

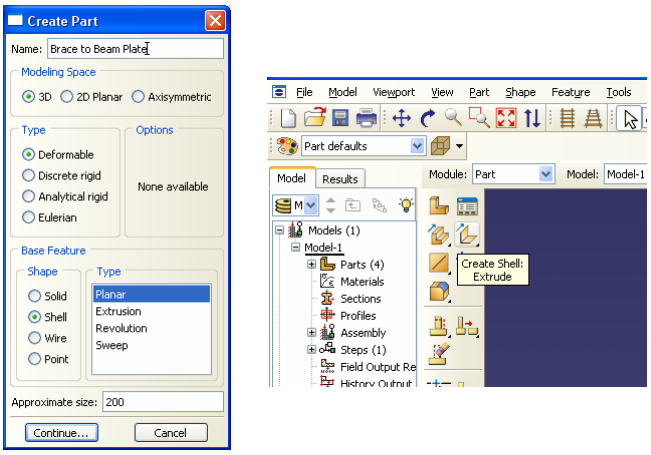
۳۷. در پنجره باز شده نام عضو را Brace to Beam Plate بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.

۳۸. بر روی Continue کلیک کنید.

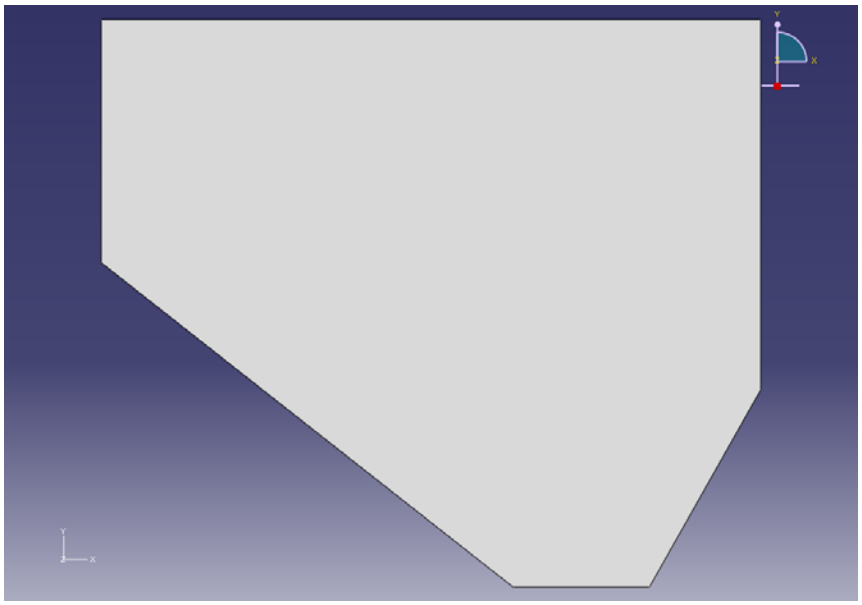
۳۹. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید.

۴۰. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (0,19.7)، (53.3,19.7)، (53.3,-10.3)، (44.3, -26.3)، (33.3,-26.3)، (0,0).

۴۱. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.



شکل ۸-۱۷-تعریف عضوصفحه اتصال مهاربند به تیر



شکل ۸-۱۸-صفحه اتصال مهاربند به تیر

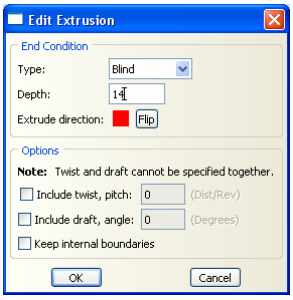
در اینجا لازم است برای صفحه اتصالی که تعریف کردیم سخت کننده‌هایی در قسمت سمت راست صفحه قرار دهیم. برای این کار به ترتیب زیر عمل نمایید.

۴۲. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Shell Extrude را انتخاب کنید. بر روی عضوی که ساخته اید کلیک کنید و سپس بر روی ضلع سمت راست صفحه کلیک کنید. همانطور که مشاهده می‌کنید شکل چرخیده و محیط جدیدی ایجاد می‌شود.

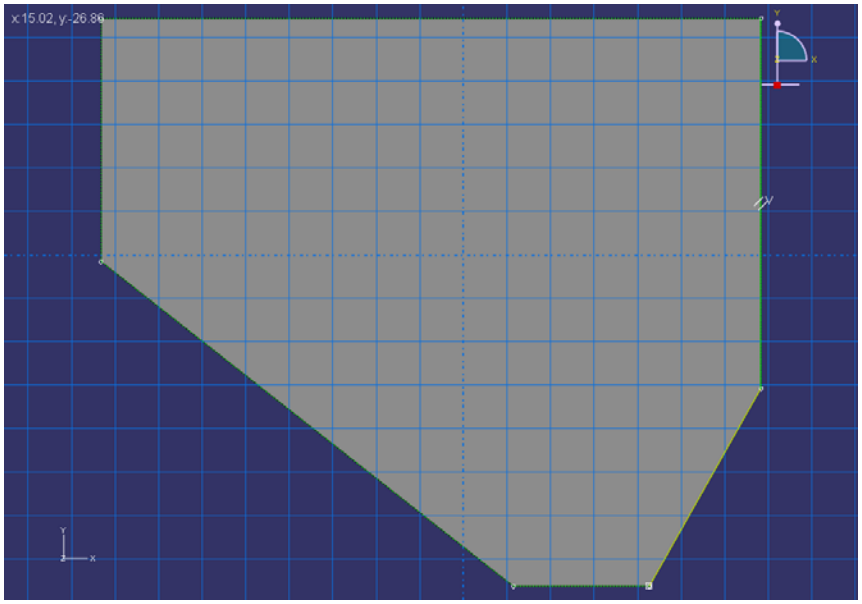
۴۳. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید. گوشه‌های سمت راست بالا و پایین (مطابق شکل) را به ترتیب انتخاب کنید و بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.

۴۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود مقدار عمق قسمتی را که می‌خواهید به عنوان سخت کننده در پایین صفحه اتصال اضافه نماییم برابر ۱۴ قرار دهید. سپس بر روی OK کلیک نمایید. همانطور که مشاهده می‌شود یکی از سخت کننده‌ها به صفحه اتصال اضافه شد.

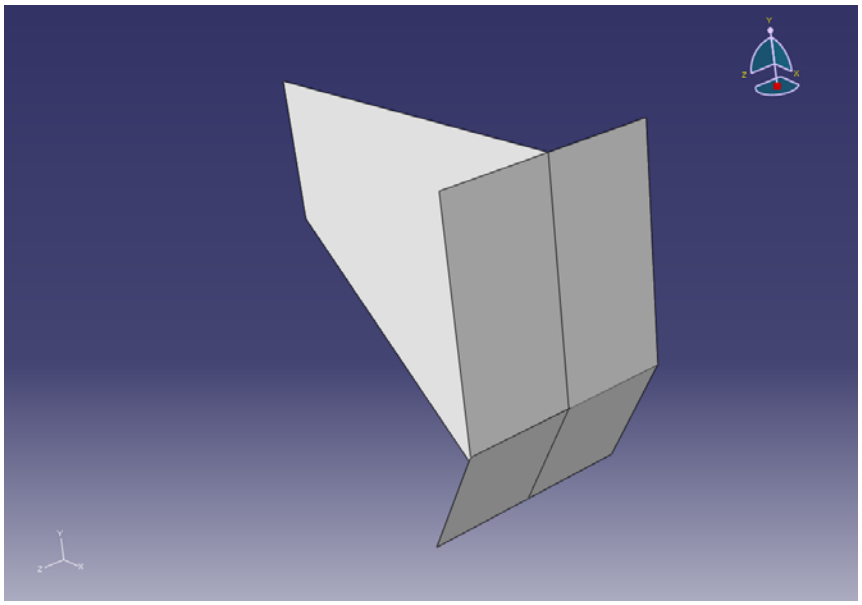
۴۵. برای ساختن سخت کننده دوم مانند عضو قبلی عمل نمایید.



شکل ۸-۱۹-اضافه کردن صفحه عمود بر صفحه اتصال مهاربند به تیر

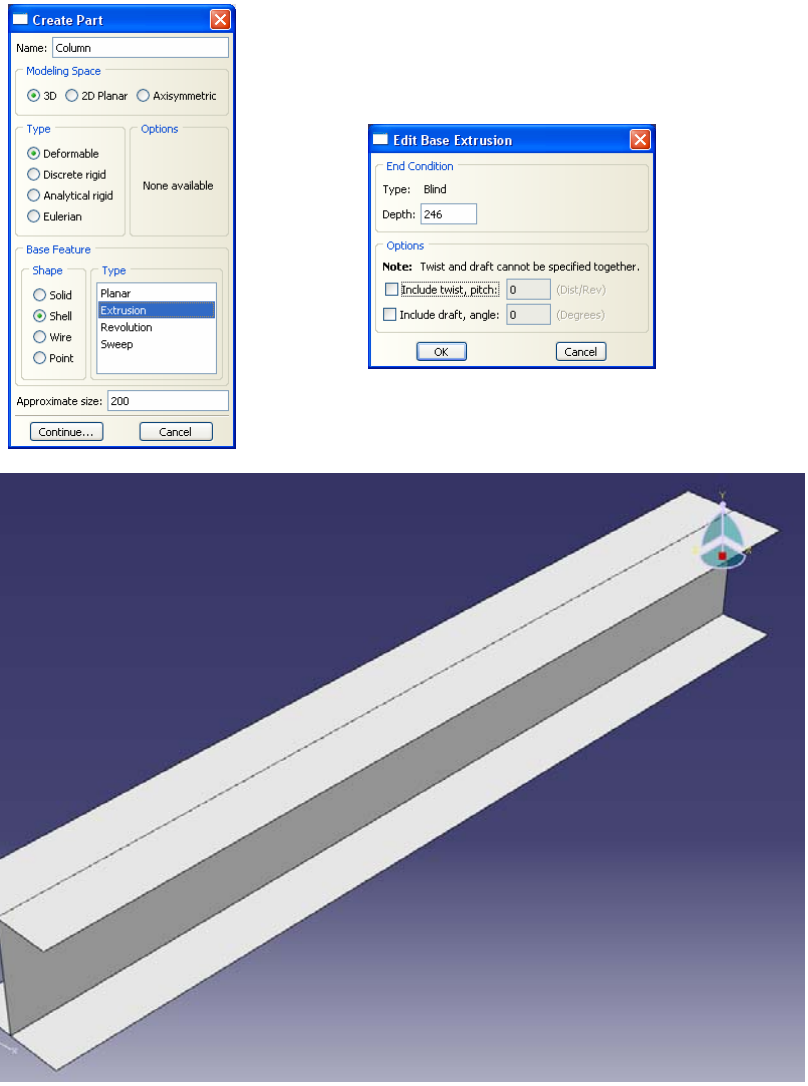


شکل ۸-۲۰-رسم هندسه صفحه عمود بر صفحه اتصال مهاربند به تیر



شکل ۸-۲۱-عضو حاصل از اضافه شدن صفحات عمود بر صفحه اتصال مهاربند به تیر

۴۶. برای تعریف عضو ستون از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.
۴۷. در پنجره باز شده نام عضو را Column بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Extrusion را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.
۴۸. بر روی Continue کلیک کنید.
۴۹. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید.
۵۰. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (31,0). بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure را انتخاب کنید.
۵۱. دوباره از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید.
۵۲. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (15.5,0)، (15.5,32.3). بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure را انتخاب کنید.
۵۳. دوباره از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید.
۵۴. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,32.3)، (31,32.3). بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure را انتخاب کنید.
۵۵. گزینه Done را انتخاب کنید.
۵۶. در پنجره‌ای که باز می‌شود طول عضو Column را برابر ۲۴۶ قرار دهید.



شکل ۸-۲۲-تعریف عضو ستون

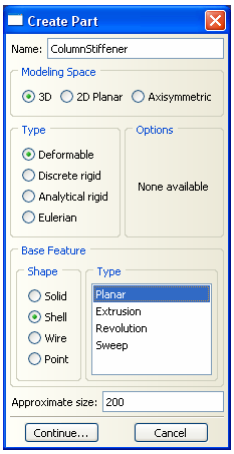
۵۷. برای تعریف عضو سخت کننده ستون از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.

۵۸. در پنجره باز شده نام عضو را ColumnStiffener بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.

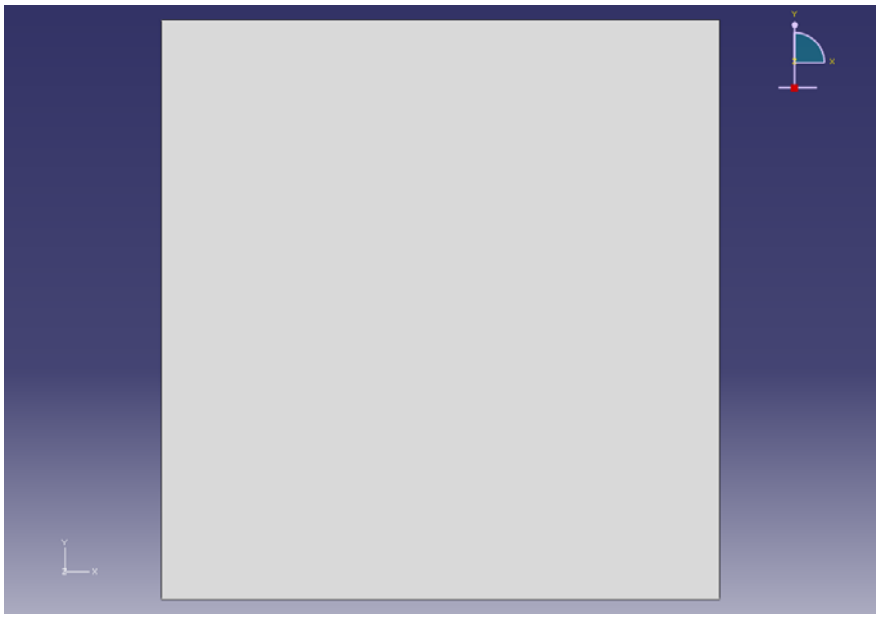
۵۹. بر روی Continue کلیک کنید.

۶۰. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Rectangle را انتخاب کنید.

۶۱. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (31, 32.3).
۶۲. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.



شکل ۸-۲۳-تعریف عضو سخت کننده ستون



شکل ۸-۲۴-عضو سخت کننده ستون

۶۳. برای تعریف عضو سخت کننده میانی تیر پیوند از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.
۶۴. در پنجره باز شده نام عضو را LinkBeamStiffener بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و

گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.

۶۵. بر روی Continue کلیک کنید.

۶۶. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Rectangle را انتخاب کنید.

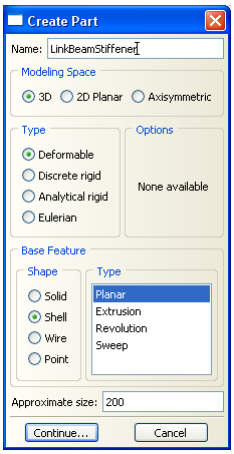
۶۷. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (15.2, 15.2).

۶۸. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (-6.4, -6.4)، (21.6, 21.6).

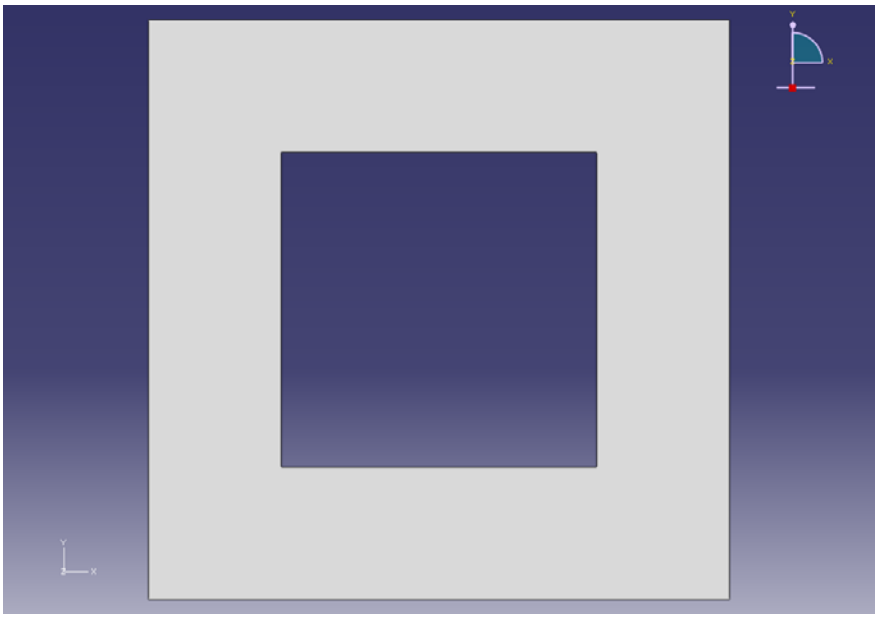
۶۹. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.

نکته :

وقتی که گزینه Planar را انتخاب می‌کنید، نرم افزار ABAQUS تمام سطوح بسته‌ای را که ساخته اید به عنوان عضو در نظر می‌گیرد. به عنوان مثال در اینجا که دو مربع تو در تو رسم کرده اید سطح بسته‌ای که بین این دو مربع قرار می‌گیرد به عنوان عضو در نظر گرفته می‌شود.

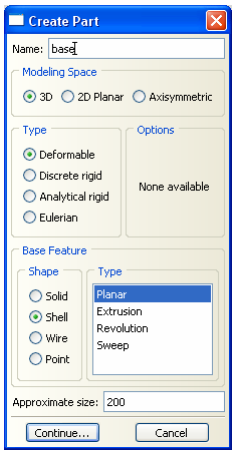


شکل ۸-۲۵-تعریف عضو سخت کننده تیر پیوند

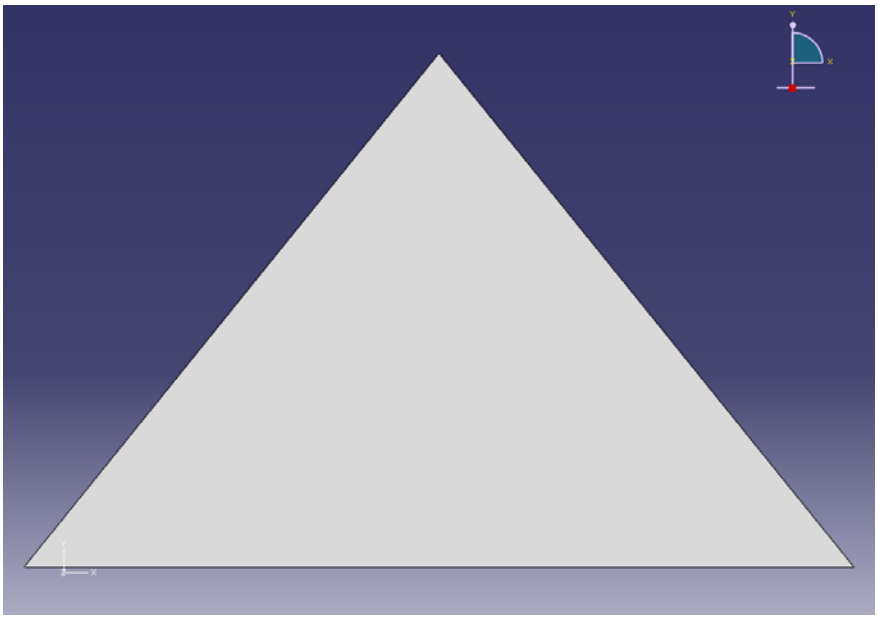


شکل ۸-۲۶-عضو سخت کننده تیر پیوند

۷۰. برای تعریف عضو پای ستون از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.
۷۱. در پنجره باز شده نام عضو را Base بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.
۷۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۷۳. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Connected را انتخاب کنید.
۷۴. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (32.3, 0) ، (16.15, 20)و(0,0).
۷۵. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.



شکل ۸-۲۷-تعریف عضو سخت کننده پای ستون



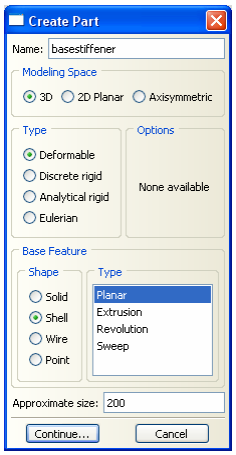
شکل ۸-۲۸-سخت کننده پای ستون

۷۶. برای تعریف عضو سخت کننده پای ستون از نوار ابزار عمودی گزینه Create Part را انتخاب کنید.

۷۷. در پنجره باز شده نام عضو را BaseStiffener بگذارید گزینه‌های 3D Planar (انتخاب فضای سه بعدی)، Deformable (عضو انعطاف پذیر) و Shell (المان دو بعدی) و گزینه Planar را به ترتیب انتخاب کنید و همچنین سایز تقریبی را برابر ۲۰۰ سانتیمتر قرار دهید.

۷۸. بر روی Continue کلیک کنید.

۷۹. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Line : Rectangle را انتخاب کنید.
۸۰. در نوار پایین صفحه، مختصات این نقاط را به ترتیب وارد نمایید (0,0)، (31, 20).
۸۱. بر روی صفحه راست کلیک کنید و گزینه Cancel Procedure و بعد گزینه Done را انتخاب کنید.



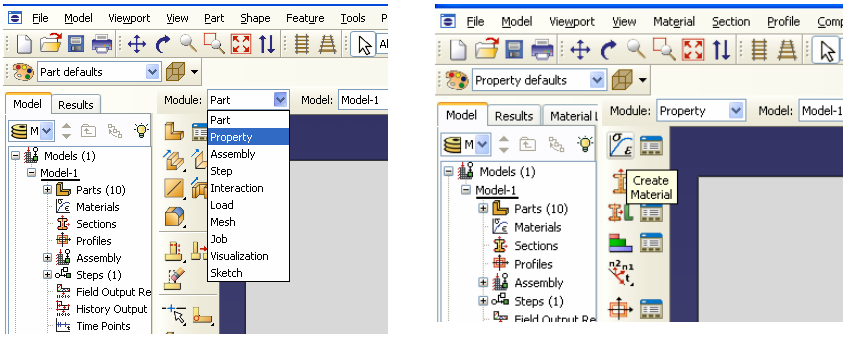
شکل ۸-۲۹-تعریف عضو سخت کننده پای ستون

شکل ۸-۳۰-سخت کننده پای ستون

۸-۳-۴- در این قسمت مشخصات مصالحی را که در آزمایش به کار گرفته شده بود برای نرم افزار تعریف می‌کنید. در آزمایشی که برای صحت سنجی مدل اجزای محدود مورد استفاده قرار

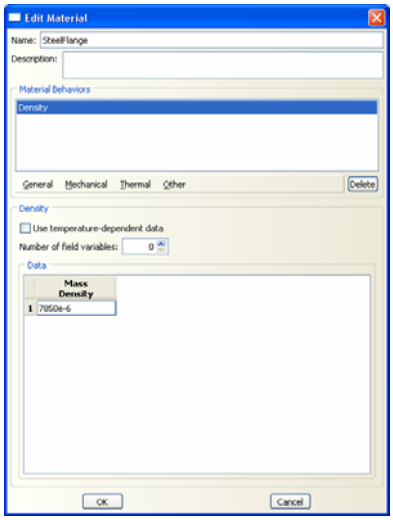
گرفته است از دو نوع فولاد استفاده شده است. برای آنکه خصوصیات مصالح اعضای مورد نظر را تعریف نمایید، به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. در بخش ماژول گزینه Properties را انتخاب کنید.
۲. در نوار ابزار عمودی گزینه Create material را انتخاب کنید.



شکل ۸-۳۱-ماژول مشخصات اعضا و آیکون تعریف مشخصات مصالح

۳. در پنجره‌ای که باز می‌شود برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (SteelFlange).
۴. در نوار وسط پنجره گزینه General و سپس گزینه Density را انتخاب نمایید.
۵. مقدار چگالی را برابر 7850e-6 قرار دهید.



شکل ۸-۳۲-تعریف مشخصات مصالح

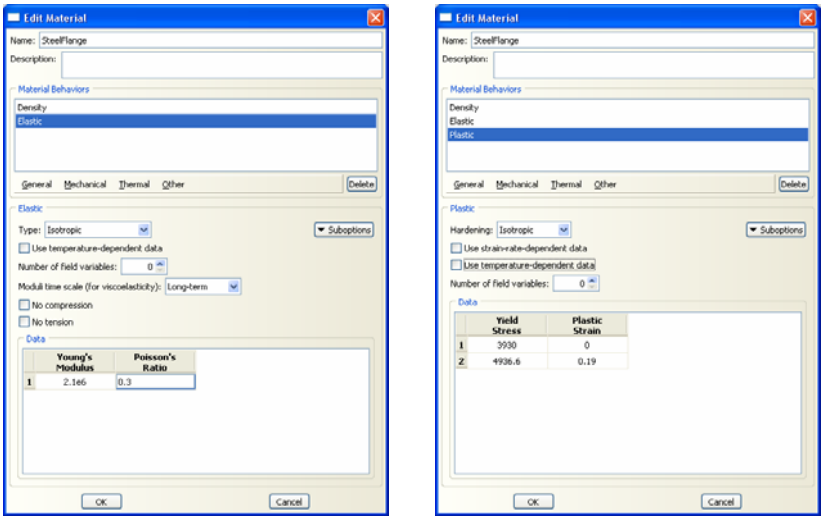
۶. در نوار وسط پنجره گزینه Mechanical و سپس گزینه Elasticity و سپس Elastic را انتخاب نمایید.
۷. مقدار مدول الاستیسیته را برابر 2.1e6 و مقدار ضریب پوآسون را برابر 0.3 قرار دهید.

۸. در نوار وسط پنجره گزینه Mechanical و سپس گزینه Plasticity و سپس Plastic را انتخاب نمایید.

۹. مقادیر داده شده در جدول زیر را وارد نمایید (برای ایجاد ردیف جدید برای وارد کردن سطر دوم مشخصات، بعد از وارد کردن دو عدد لازم در سطر اول، بر روی دکمه Enter کلیک کنید).

کرنش	تنش
۰	۳۹۳۰
۰/۱۹	۴۹۳۶/۶

توجه: در نرم افزار ABAQUS سیستم واحد از پیش تعیین شده‌ای وجود ندارد و مسئولیت انتخاب صحیح و متناسب واحدها بر عهده کاربر است.



شکل ۸-۳۳-تعریف مشخصات مصالح

۱۰. برای تعریف فولاد نوع دوم که در جان تیر ورق به کار گرفته شده است، در نوار ابزار عمودی گزینه Create material را انتخاب کنید.

۱۱. در پنجره‌ای که باز می‌شود برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (Steel Web).

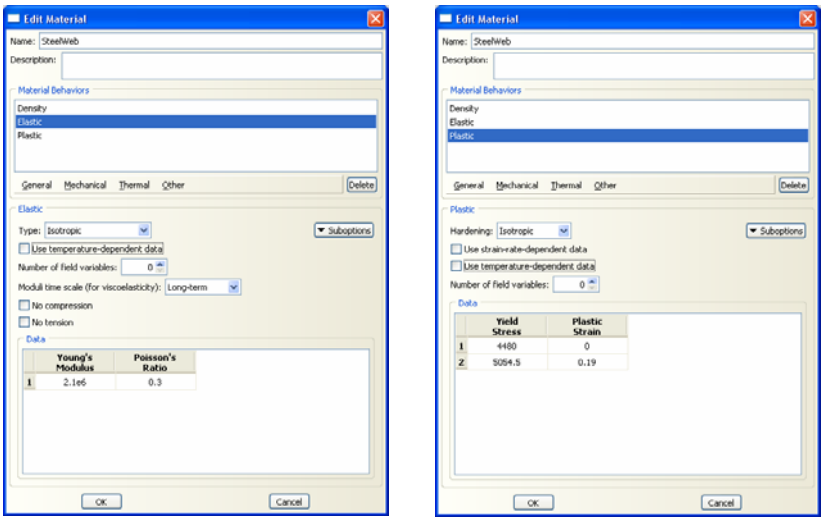
۱۲. در نوار وسط پنجره گزینه General و سپس گزینه Density را انتخاب نمایید.

۱۳. مقدار چگالی را برابر 7850e-6 قرار دهید.

۱۴. در نوار وسط پنجره گزینه Mechanical و سپس گزینه Elasticity و سپس Elastic را انتخاب نمایید.

۱۵. مقدار مدول الاستیسیته را برابر 2.1e6 و مقدار ضریب پوآسون را برابر 0.3قرار دهید.
۱۶. در نوار وسط پنجره گزینه Mechanical و سپس گزینه Plasticity و سپس Plastic را انتخاب نمایید.
۱۷. مقادیر داده شده در جدول زیر را وارد نمایید (برای ایجاد ردیف جدید برای وارد کردن سطر دوم مشخصات، بعد از وارد کردن دو عدد لازم در سطر اول، بر روی دکمه Enter کلیک کنید).

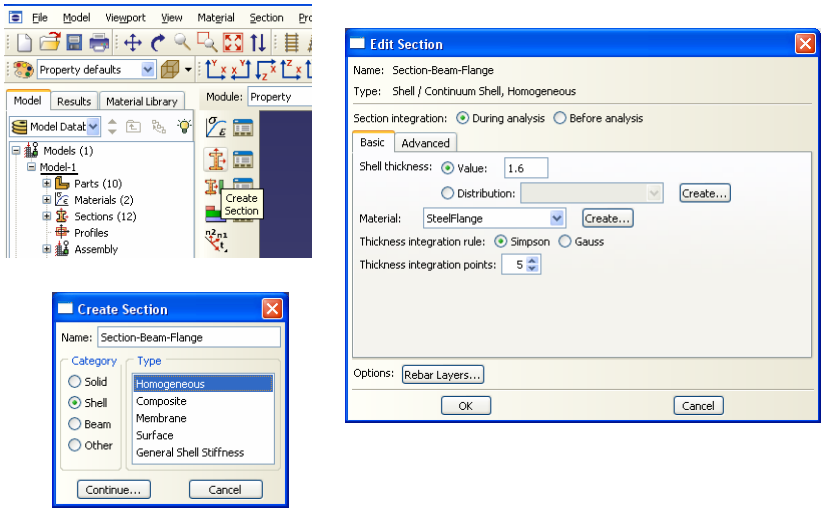
کرنش	تنش
۰	۴۴۸۰
۰/۱۹	۵۴۵۴/۵



شکل ۸-۳۴- تعریف مشخصات مصالح

۸-۳-۵- برای ایجاد سطح مقطع اعضای مورد نظر و اختصاص آنها به ترتیب ذیل عمل نمایید.
۱. برای تعریف سطح مقطع بال تیر از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.
۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Beam-Flange نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.
۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۱/۶ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۳۵-تعریف سطح مقطع اعضا (بال تیر)

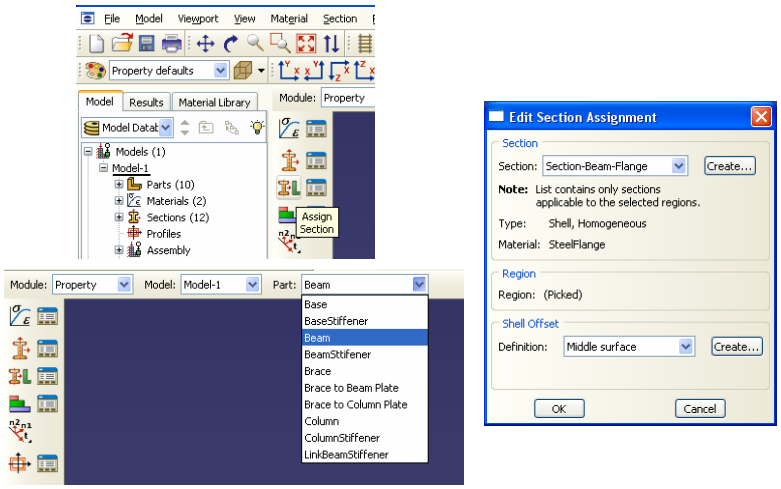
۶. برای اختصاص مقطع بال تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید:

۷. عضو Beam را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (بالهای تیر) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Beam-Flange) را انتخاب نمایید.

۱۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۳۶-اختصاص سطح مقطع بال تیر به عضو تیر تعریف شده

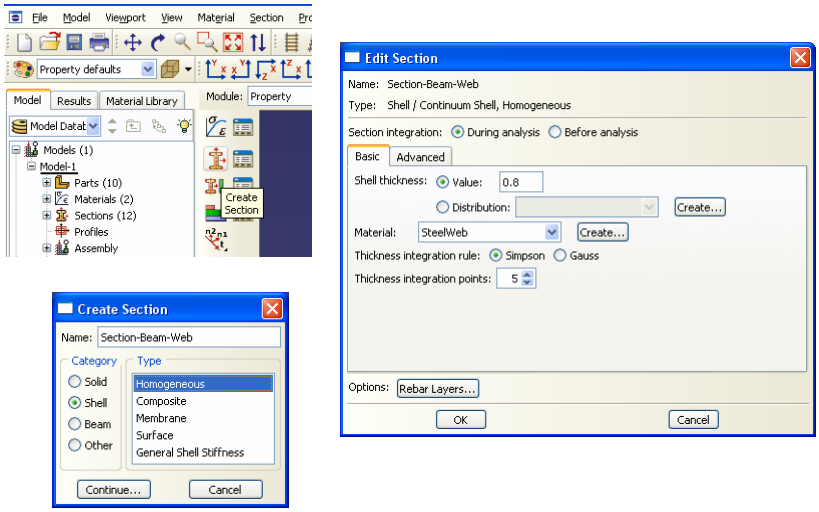
۱۱. برای تعریف سطح مقطع جان تیر از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۱۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Beam-Web نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۱۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۱۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۰/۸ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelWeb) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۱۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۳۷-تعریف سطح مقطع اعضا (جان تیر)

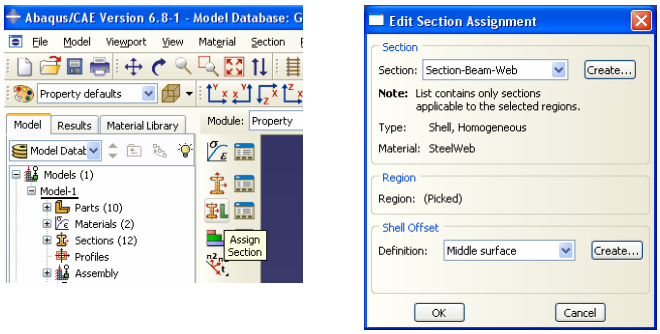
۱۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۱۷. عضو Beam را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۱۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (جان تیر) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۱۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Beam-Web) را انتخاب نمایید.

۲۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۳۸-اختصاص سطح مقطع جان تیر به عضو تیر تعریف شده

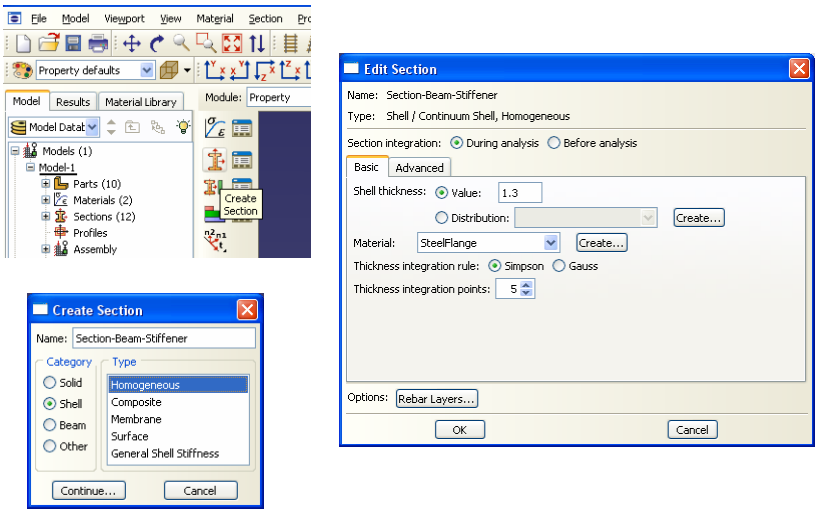
۲۱. برای تعریف سطح مقطع سخت کننده تیر از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۲۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Beam-Stiffener نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۲۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۲۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۱/۳ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

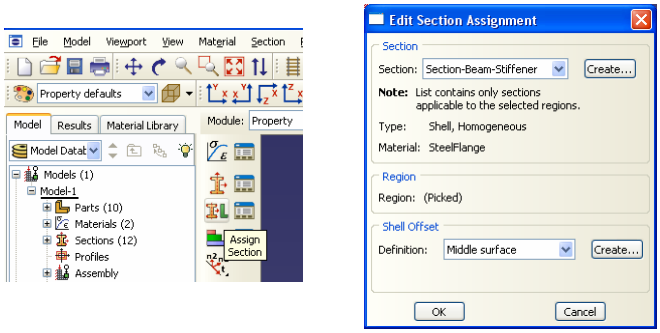
۲۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۳۹-تعریف سطح مقطع اعضا (سخت کننده تیر)

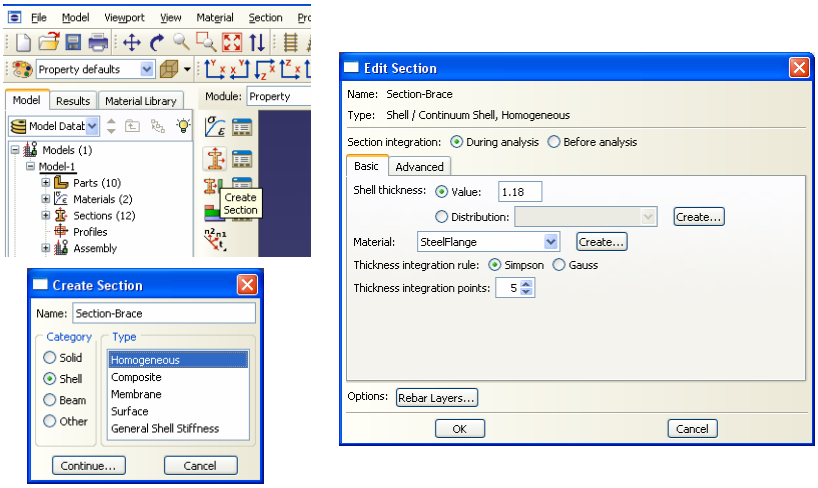
۲۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۲۷. عضو BeamStiffener را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.
۲۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (سخت کننده تیر) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۲۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Beam-Stiffener) را انتخاب نمایید.
۳۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۴۰-اختصاص سطح مقطع سخت کننده تیر

۳۱. برای تعریف سطح مقطع مهاربند از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.
۳۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Brace نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.
۳۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۳۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۱/۱۸ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.
۳۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۴۱-تعریف سطح مقطع اعضا (مهاربند)

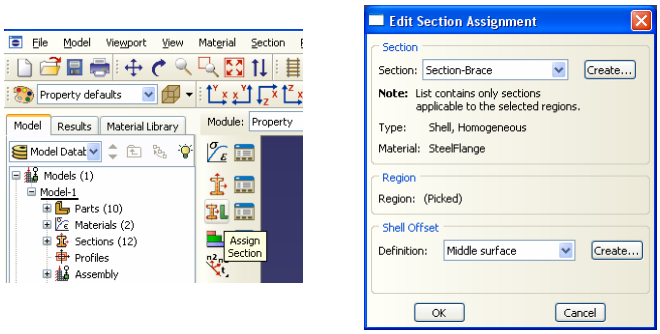
۳۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۳۷. عضو Brace را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۳۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (مهاربند) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۳۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Brace) را انتخاب نمایید.

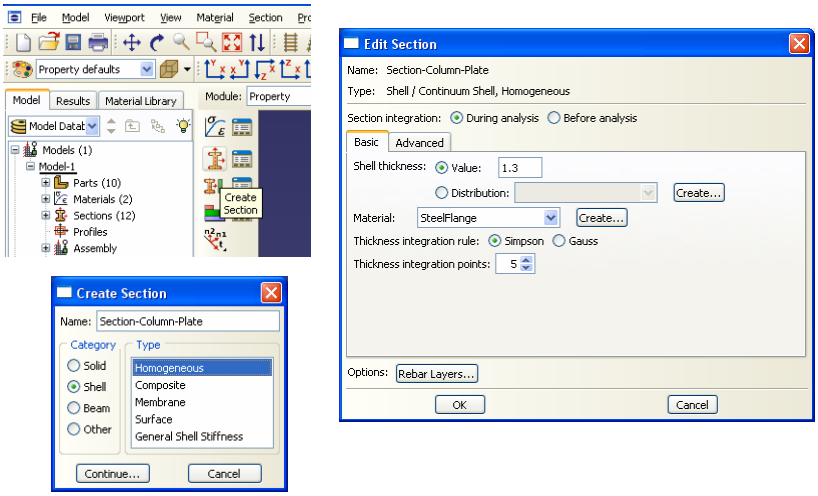
۴۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۴۲-اختصاص سطح مقطع مهاربند

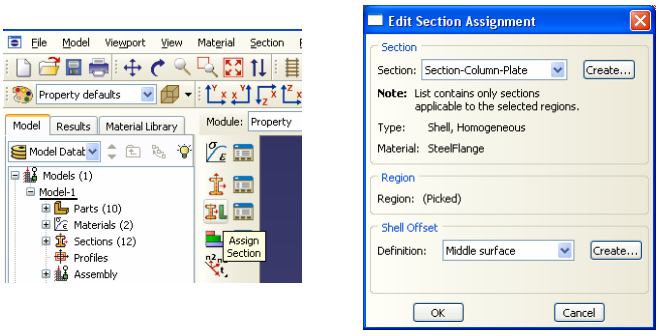
۴۱. برای تعریف سطح مقطع صفحه اتصال مهاربند به ستون از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۴۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Column-Plate نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.
۴۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۴۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۱/۳ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.
۴۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۴۳-تعریف سطح مقطع اعضا (صفحه اتصال مهاربند به ستون)

۴۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :
۴۷. عضو Brace to Column Plate را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.
۴۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (صفحه اتصال مهاربند به ستون) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۴۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Column-Plate) را انتخاب نمایید.
۵۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۴۴-اختصاص سطح مقطع صفحه اتصال مهاربند به ستون

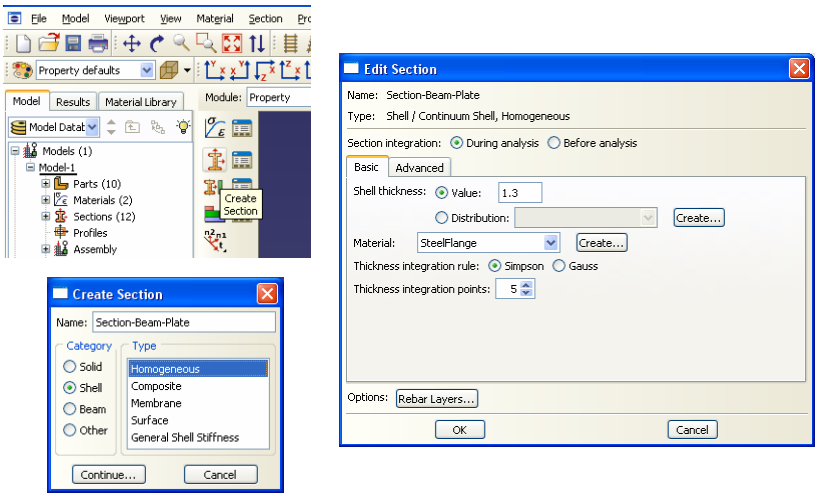
۵۱. برای تعریف سطح مقطع صفحه اتصال مهاربند به تیر از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۵۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Beam-Plate نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۵۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۵۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۱/۳ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

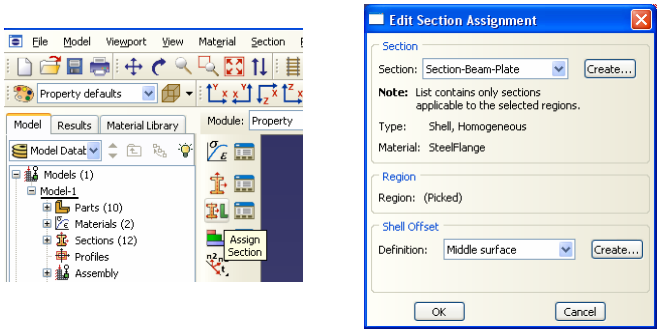
۵۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۴۵-تعریف سطح مقطع اعضا (صفحه اتصال مهاربند به تیر)

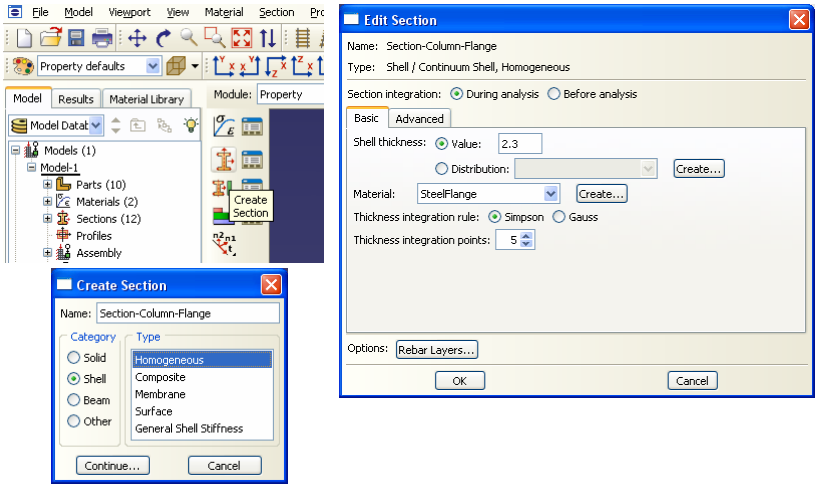
۵۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۵۷. عضو Brace to Beam Plate را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.
۵۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (صفحه اتصال مهاربند به تیر) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۵۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section- Beam-Plate) را انتخاب نمایید.
۶۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۴۶-اختصاص سطح مقطع صفحه اتصال مهاربند به تیر

۶۱. برای تعریف سطح مقطع بالهای ستون از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.
۶۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Column-Flange نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.
۶۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۶۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۲/۳ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.
۶۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۴۷-تعریف سطح مقطع اعضا (بال ستون)

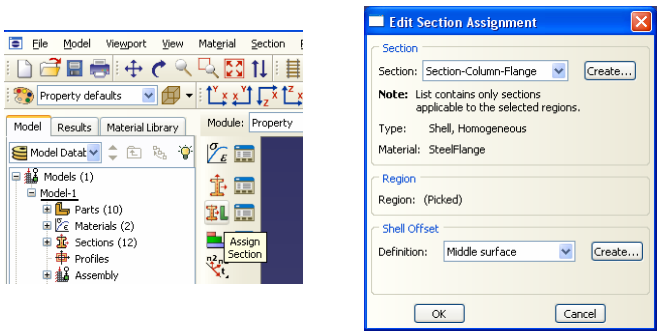
۶۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۶۷. عضو Column را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۶۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (بالهای ستون) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۶۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Column-Flange) را انتخاب نمایید.

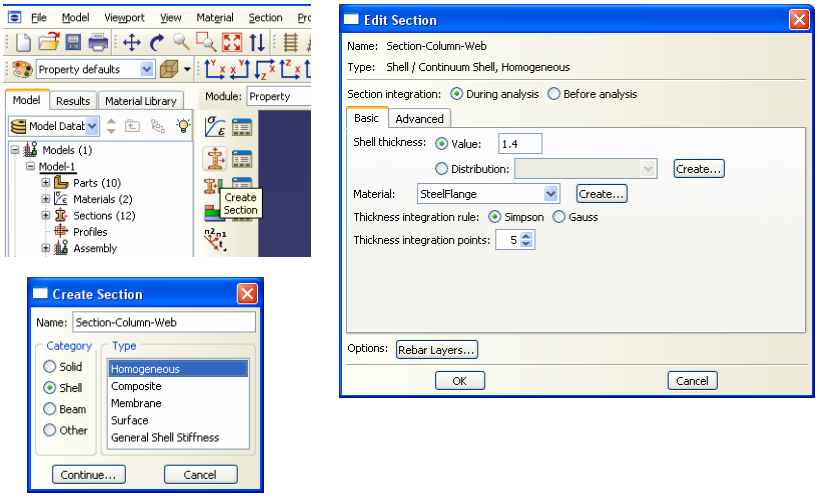
۷۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۴۸-اختصاص سطح مقطع بال ستون به ستون

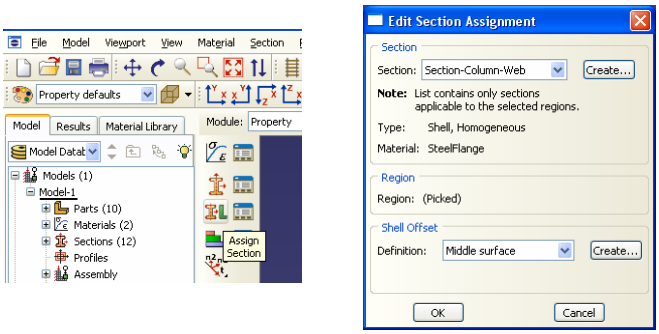
۷۱. برای تعریف سطح مقطع جان ستون از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۷۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Column-Web نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.
۷۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۷۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۱/۴ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelWeb) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.
۷۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۴۹-تعریف سطح مقطع اعضا (جان ستون)

۷۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :
۷۷. عضو Column را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.
۷۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (جان ستون) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۷۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Column-Web) را انتخاب نمایید.
۸۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۵۰-اختصاص سطح مقطع جان ستون به ستون

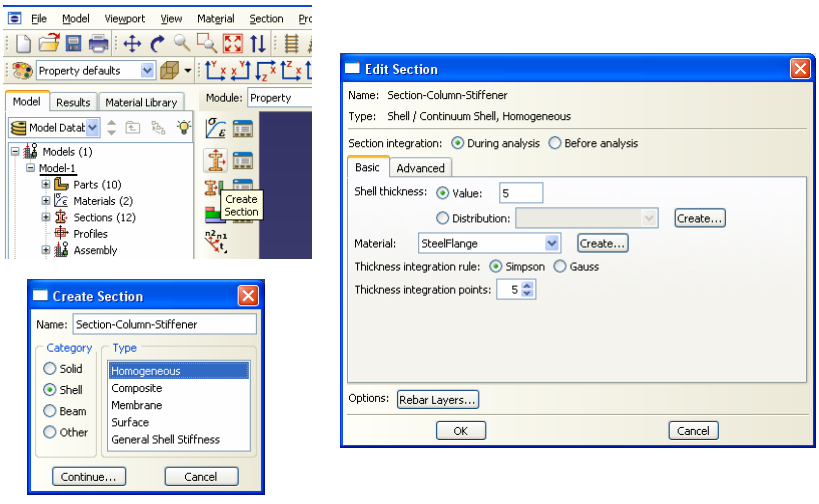
۸۱. برای تعریف سطح مقطع سخت کننده ستون از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۸۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Column-Stiffener نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۸۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۸۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۵/۰ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید (ضخامت این عضو زیاد تعریف شده تا جسم سختی زیادی داشته و صلب باشد).

۸۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۵۱-تعریف سطح مقطع اعضا (سخت کننده ستون)

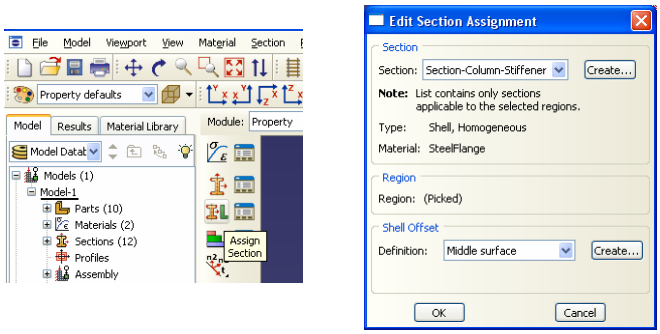
۸۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۸۷. عضو Column Stiffener را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۸۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (سخت کننده ستون) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۸۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Column-Stiffener) را انتخاب نمایید.

۹۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۵۲-اختصاص سطح مقطع سخت کننده ستون

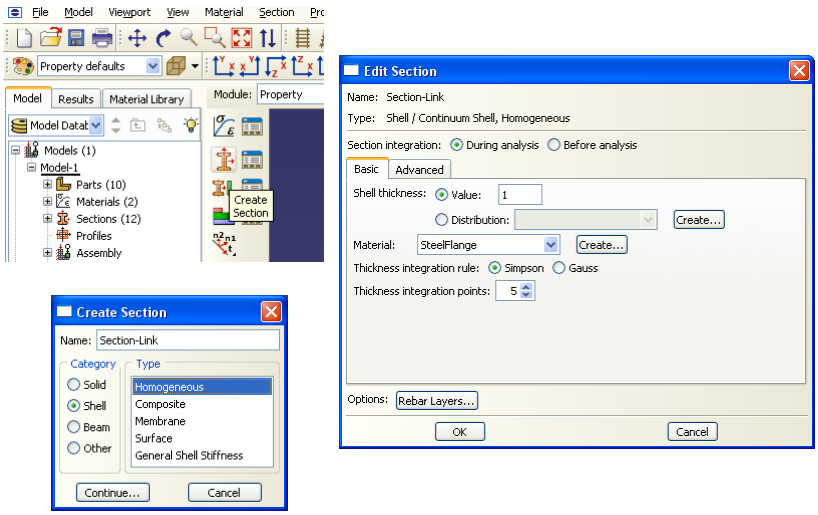
۹۱. برای تعریف سطح مقطع سخت کننده تیر پیوند از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۹۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Link نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۹۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۹۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۱/۰ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۹۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۵۳-تعریف سطح مقطع اعضا (سخت کننده تیر پیوند)

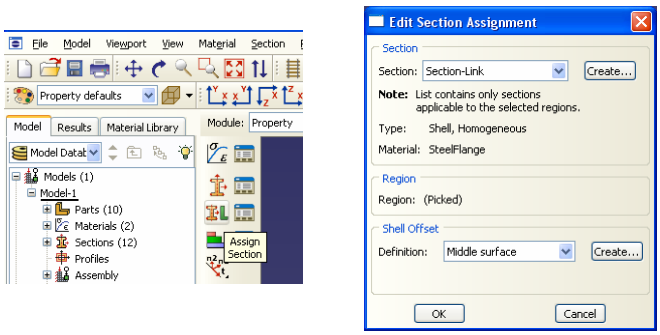
۹۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۹۷. عضو Linkbeam Stiffener را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۹۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (سخت کننده تیرپیوند) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۹۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Link) را انتخاب نمایید.

۱۰۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۵۴-اختصاص سطح مقطع سخت کننده تیر پیوند

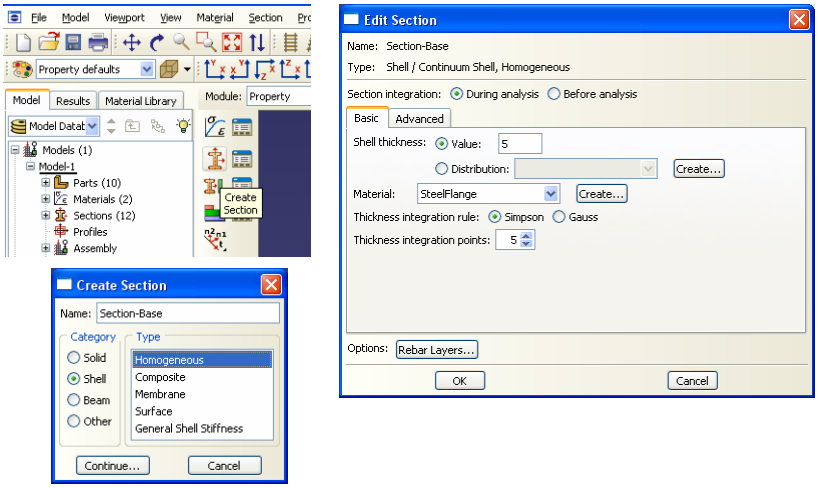
۱۰۱. برای تعریف سطح مقطع مثلث تکیه گاهی از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۱۰۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Base نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۱۰۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۱۰۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۵/۰ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۱۰۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۵۵-تعریف سطح مقطع اعضا (سخت کننده پای ستون)

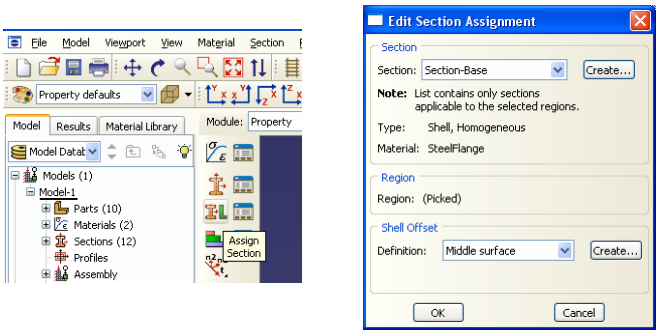
۱۰۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۱۰۷. عضو Base را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۱۰۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (مثلث تکیه گاهی) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۱۰۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Base) را انتخاب نمایید.

۱۱۰. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۵۶-اختصاص سطح مقطع سخت کننده پای ستون

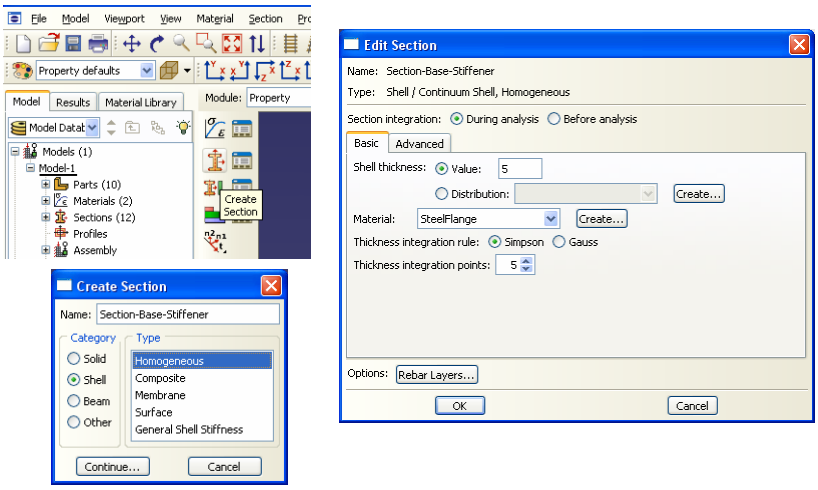
۱۱۱. برای تعریف سطح مقطع سخت کننده مثلث تکیه گاهی از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Section کلیک کنید.

۱۱۲. مقطع مورد نظر را به نام Section-Base-Stiffener نامگذاری کرده و Category آن را از نوع Shell انتخاب کرده و نوع آن را Homogeneous (همگن) انتخاب کنید.

۱۱۳. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۱۱۴. در پنجره Edit Section ، مقدار Shell Thickness را برابر ۵/۰ سانتیمتر قرار دهید و مصالح مقطع مورد نظر (SteelFlange) را که در بالا ساخته بودید به مقطع مورد نظر اختصاص دهید.

۱۱۵. برروی OK کلیک کنید.



شکل ۸-۵۷-تعریف سطح مقطع اعضا (سخت کننده پای ستون)

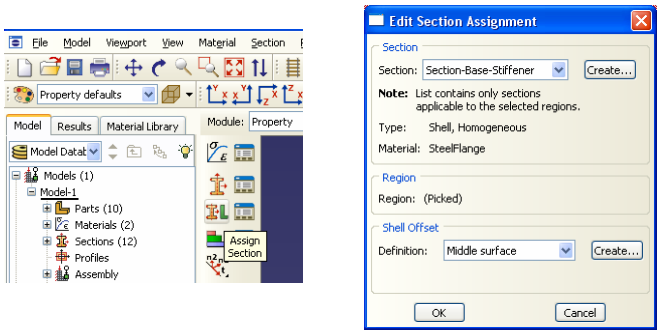
۱۱۶. برای اختصاص مقطع تعریف شده به عضو مورد نظر مراحل ذیل را انجام دهید :

۱۱۷. عضو Base Stiffener را از نوار بالای صفحه بخش Part انتخاب کنید.

۱۱۸. از منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Section کلیک کنید و در پنجره گرافیکی عضو مورد نظر (سخت کننده مثلث تکیه گاهی) را انتخاب کنید. سپس بر روی نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۱۱۹. در پنجره Edit Section Assignment مقطع ساخته شده قبل (Section-Base-Stiffener) را انتخاب نمایید.

۱۲۰. بر روی Ok کلیک کنید.

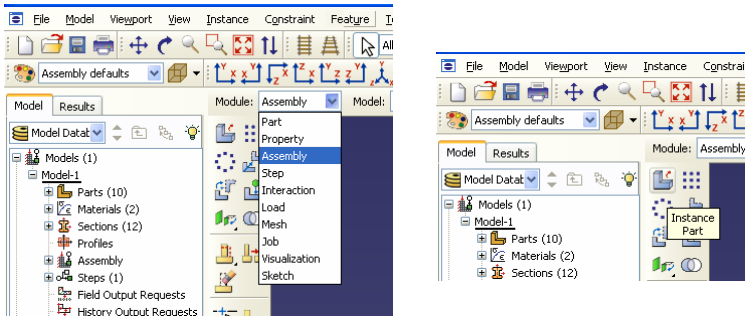


شکل ۸-۵۸-اختصاص سطح مقطع سخت کننده پای ستون

۸-۳-۶- برای ساختن قاب مورد نظر از اعضایی که قبلا تعریف شده اند، به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱. از بخش ماژول در سمت چپ و بالای صفحه ماژول Assembly را انتخاب کنید.

۲. از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

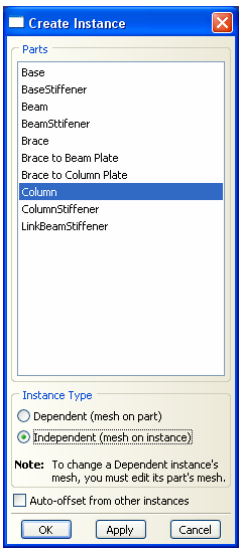


شکل ۸-۵۹-ماژول Assembly و آیکون وارد کردن اعضای ساخته شده به این ماژول

۳. در پنجره Create Instance ، عضو ستون (Column) را انتخاب نمایید.

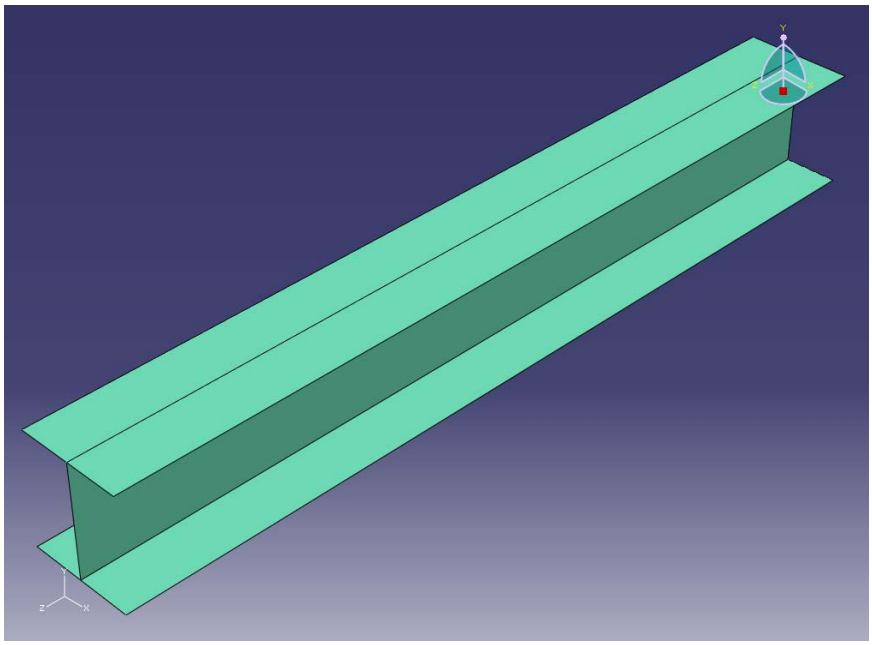
۴. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۵. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۶۰-وارد کردن ستون ساخته شده به ماژول Assembly

۶. همانطور که در شکل ملاحظه می‌کنید ستون وارد شده به صورت افقی است و باید آن را به صورت عمودی در آورید. برای این کار گزینه Rotate Instance را از نوار ابزار عمودی انتخاب کنید.



شکل ۸-۶۱-ستون وارد شده به ماژول Assembly

۷. بر روی نقطه‌ای از سطح ستون در پنجره گرافیکی کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۸. در نوار پایین صفحه مختصات پیش فرض را که برابر (0,0,0) را بپذیرید با این کار مختصات گره اول محور دوران را تعیین می‌کنید. کلید Enter را فشار دهید.

۹. برای دوران ستون حول محور x ، مختصات گره دوم محور دوران را برابر (100,0,0) قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۱۰. زاویه دوران را برابر ۹۰ قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۱۱. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

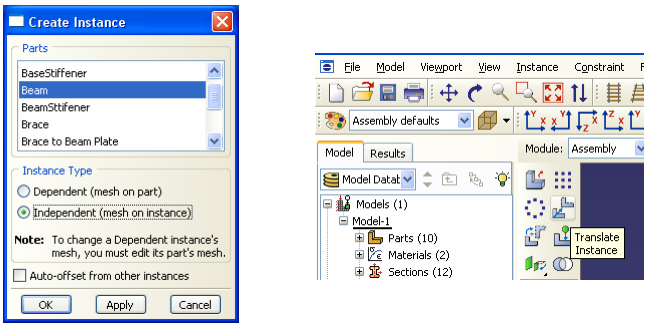
۱۲. مجددا از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۱۳. در پنجره Create Instance ، اینبار عضو تیر (Beam) را انتخاب نمایید.

۱۴. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۱۵. بر روی Ok کلیک کنید.

۱۶. در این حالت تیر در مختصات صحیح خود وارد نشده است و باید آن را به محل اصلی خود انتقال دهید. برای این کار از نوار ابزار عمودی گزینه Translate Instance را انتخاب کنید.



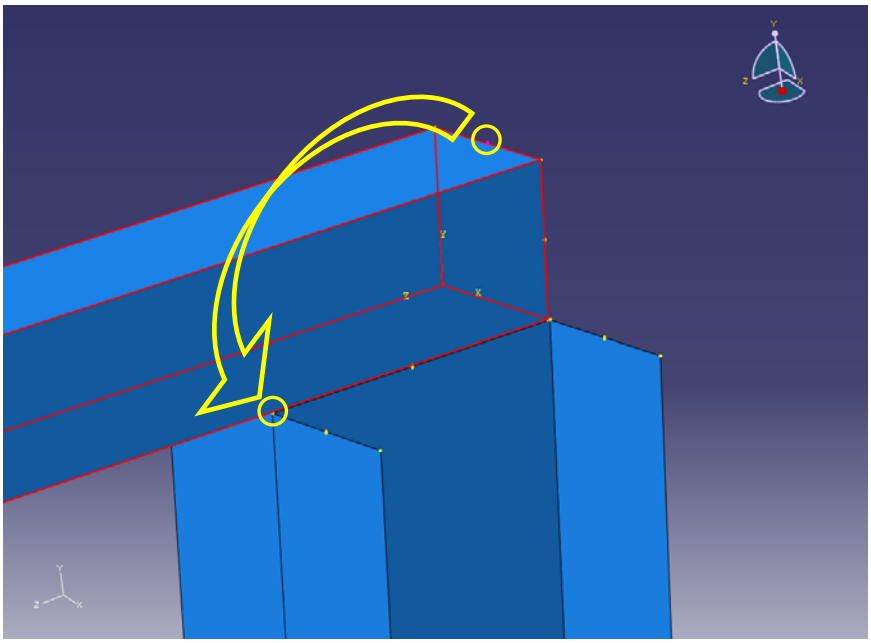
شکل ۸-۶۲-مراحل وارد کردن تیر ساخته شده به ماژولAssembly

۱۷. بر روی نقطه‌ای از سطح تیر کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۸. در نقطه‌ای از تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۱۹. در نقطه‌ای از ستون که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید.

۲۰. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



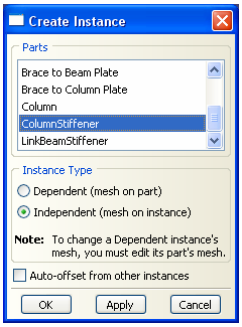
شکل ۸-۶۳-تیر وارد شده به ماژول Assembly و انتقال به محل صحیح

۲۱. در مرحله بعد باید سخت کننده‌های ستون را ایجاد نمایید. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۲۲. در پنجره Create Instance ، عضو سخت کننده ستون (Column Stiffener) را انتخاب نمایید.

۲۳. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۲۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۶۴-وارد کردن سخت کننده ستون ساخته شده به ماژول Assembly

۲۵. همانطور که در شکل ملاحظه می‌کنید سخت کننده ستون وارد شده به صورت عمودی است و باید آن را به صورت افقی در آورید. برای این کار گزینه Rotate Instance را از نوار ابزار عمودی انتخاب کنید.

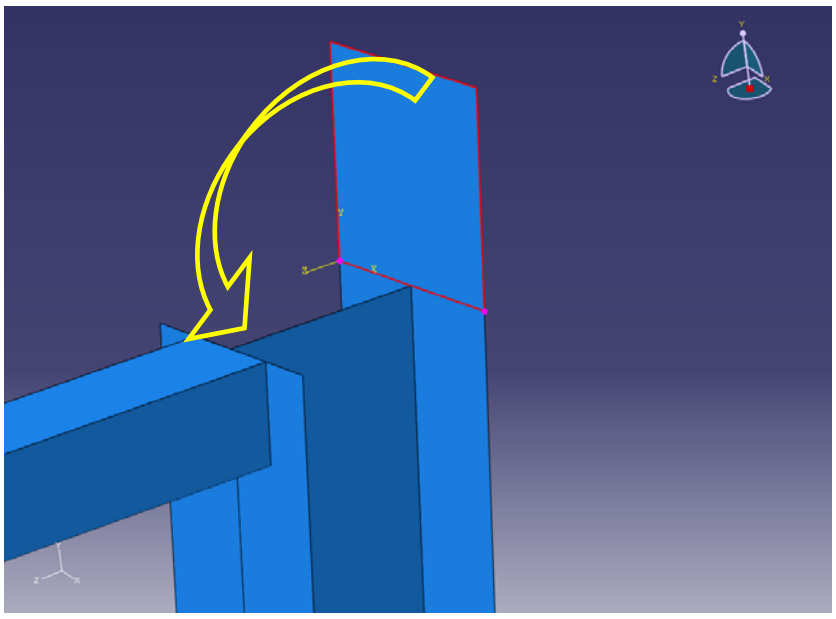
۲۶. بر روی نقطه‌ای از سطح سخت کننده ستون در پنجره گرافیکی کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۲۷. در نوار پایین صفحه مختصات پیش فرض را که برابر (0,0,0) را بپذیرید با این کار مختصات گره اول محور دوران را تعیین می‌کنید. کلید Enter را فشار دهید.

۲۸. برای دوران ستون حول محور x ، مختصات گره دوم محور دوران را برابر (100,0,0) قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۲۹. زاویه دوران را برابر ۹۰- قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۳۰. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۶۵-سخت کننده ستون وارد شده به ماژولAssembly و انتقال به محل صحیح

۳۱. برای تکمیل سخت کننده‌های ستون به دو سخت کننده دیگر نیاز است. برای این منظور با استفاده از سخت کننده اول، سخت کننده‌های بعدی را ایجاد می‌کنید. ابتدا از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Linear Pattern کلیک کنید.

۳۲. بر روی نقطه‌ای از سطح سخت کننده اول کلیک کرده و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۳۳. همانطور که در شکل زیر ملاحظه می‌شود پنجره باز شده قادر است تعداد دلخواهی کپی از روی مدل اصلی بسازد. این اعضای کپی شده در دو راستای عمود بر هم قرار خواهند گرفت. امتداد این دو راستا با استفاده از گزینه Direction و تعداد آنها در هر راستا با استفاده از گزینه Number قابل تعیین است. باید توجه شود که در محاسبه عدد مناسب برای گزینه Number ، خود مدل اصلی نیز باید در نظر گرفته شود، یعنی اگر نیاز به ایجاد یک کپی داشته باشید باید مقدار Number را برابر ۲ قرار دهید. در اینجا تعداد برابر ۳ و جهت در راستای محور Y تعیین می‌گردد. برای تعیین جهت باید در بخش Direction1 بر روی Direction کلیک نموده و خطی دلخواه موازی محور Y را انتخاب نمود. فاصله Offset را برابر ۱۵/۲ یعنی ارتفاع تیر قرار دهید. در بخش Direction2 مقدار Number را برابر ۱ قرار دهید.

۳۴. بر روی Ok کلیک کنید.

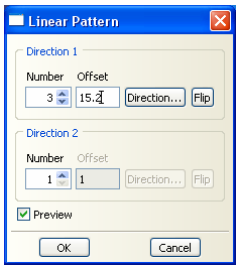
۳۵. همانطور که مشاهده می‌شود سخت کننده سوم ستون در تراز ارتفاعی صحیح قرار نگرفته و لذا بایستی آن را به پای ستون منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

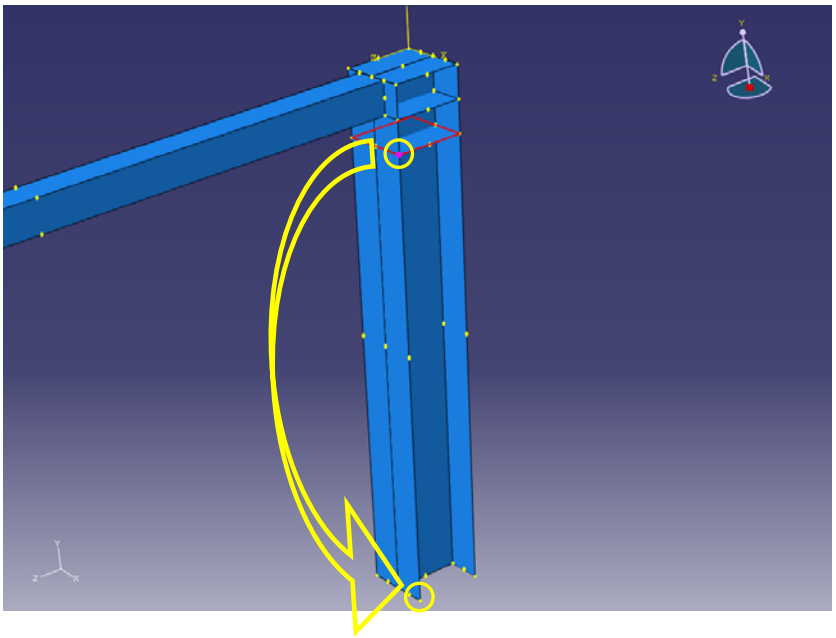
۳۶. بر روی نقطه‌ای از سطح سخت کننده سوم کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۳۷. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده سوم که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۳۸. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده سوم که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۳۹. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.





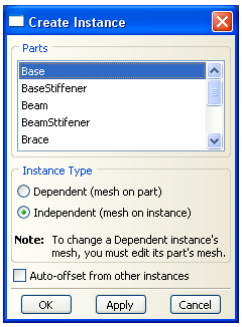
شکل ۸-۶۶-کپی کردن سخت کننده ستون و انتقال آن به محل صحیح

۴۰. در مرحله بعد باید ورقهای صلب اتصال مفصلی ستون (بالا و پایین ستون) را ایجاد نمایید. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۴۱. در پنجره Create Instance ، عضو ورق صلب اتصال ستون (Base) را انتخاب نمایید.

۴۲. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۴۳. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۶۷-وارد کردن سخت کننده پای ستون ساخته شده به ماژول Assembly

۴۴. همانطور که در شکل ملاحظه می‌کنید ورق صلب اتصال ستون وارد شده به صورت عمودی است و باید آن را به صورت افقی در آورید. برای این کار گزینه Rotate Instance را از نوار ابزار عمودی انتخاب کنید.

۴۵. بر روی نقطه‌ای از سطح ورق صلب اتصال ستون در پنجره گرافیکی کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۴۶. در نوار پایین صفحه مختصات پیش فرض را که برابر (0,0,0) را بپذیرید با این کار مختصات گره اول محور دوران را تعیین می‌کنید. کلید Enter را فشار دهید.

۴۷. برای دوران ستون حول محور y ، مختصات گره دوم محور دوران را برابر (0, 100,0) قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۴۸. زاویه دوران را برابر ۹۰ قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۴۹. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

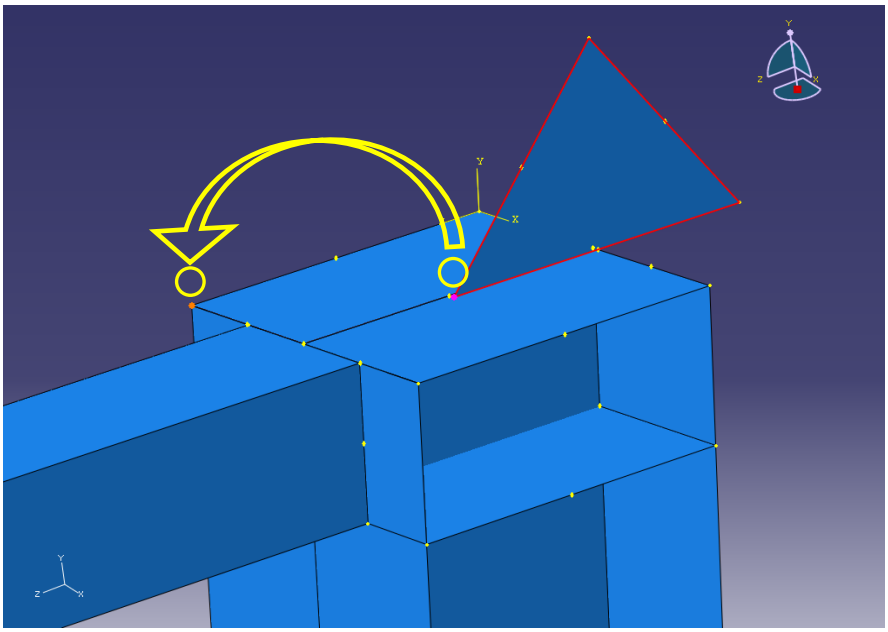
۵۰. همانطور که مشاهده می‌شود ورق صلب اتصال ستون در مختصات صحیح قرار نگرفته و لذا بایستی آن را به گوشه ستون منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۵۱. بر روی نقطه‌ای از سطح ورق صلب اتصال کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۵۲. در نقطه‌ای از سطح ورق صلب اتصال که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۵۳. در نقطه‌ای از سطح ورق صلب اتصال که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۵۴. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



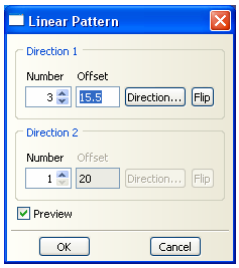
شکل ۸-۶۸-سخت کننده پای ستون وارد شده به ماژولAssembly و انتقال به محل صحیح

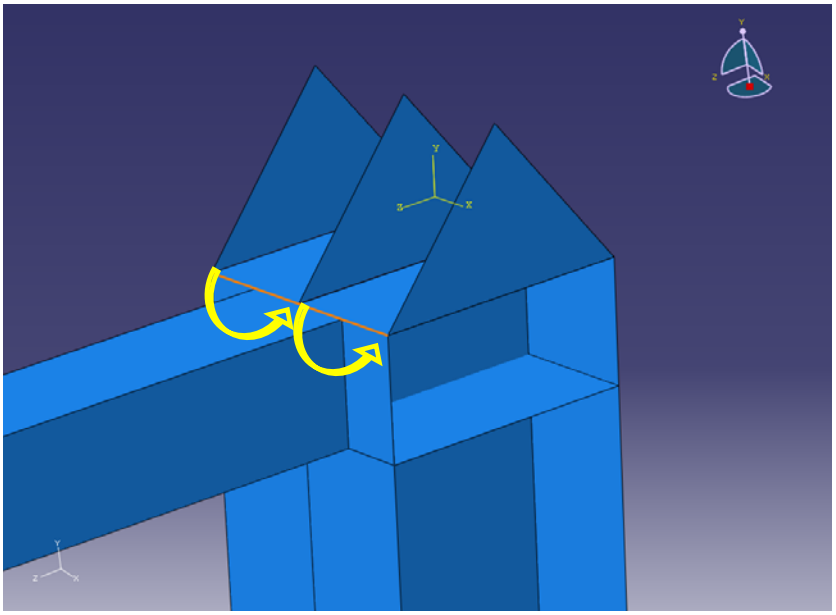
۵۵. برای تکمیل ورق صلب اتصال ستون به دو ورق صلب دیگر نیاز است. برای این منظور با استفاده از ورق صلب اول، ورقهای صلب بعدی را ایجاد می‌کنید. ابتدا از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Linear Pattern کلیک کنید.

۵۶. بر روی نقطه‌ای از ورق صلب اول کلیک کرده و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۵۷. در پنجره Linear Pattern تعداد کپی‌ها برابر ۳ و جهت در راستای محور X تعیین می‌گردد. برای تعیین جهت باید در بخش Direction1 بر روی Direction کلیک نموده و خطی دلخواه موازی محور X را انتخاب نمود. فاصله Offset را برابر ۱۵/۵ یعنی ارتفاع نصف عرض بال ستون قرار دهید. در بخش Direction2 مقدار Number را برابر ۱ قرار دهید.

۵۸. بر روی Ok کلیک کنید.





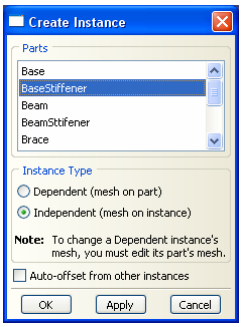
شکل ۸-۶۹-کپی کردن سخت کننده پای ستون و انتقال آن به محلهای صحیح

۵۹. در مرحله بعد باید سخت کننده ورقهای صلب اتصال مفصلی ستون (بالا و پایین ستون) را ایجاد نمایید. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۶۰. در پنجره Create Instance، عضو سخت‌کننده ورق صلب اتصال ستون (Base Stiffener) را انتخاب نمایید.

۶۱. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۶۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۷۰-وارد کردن سخت کننده پای ستون ساخته شده به ماژول Assembly

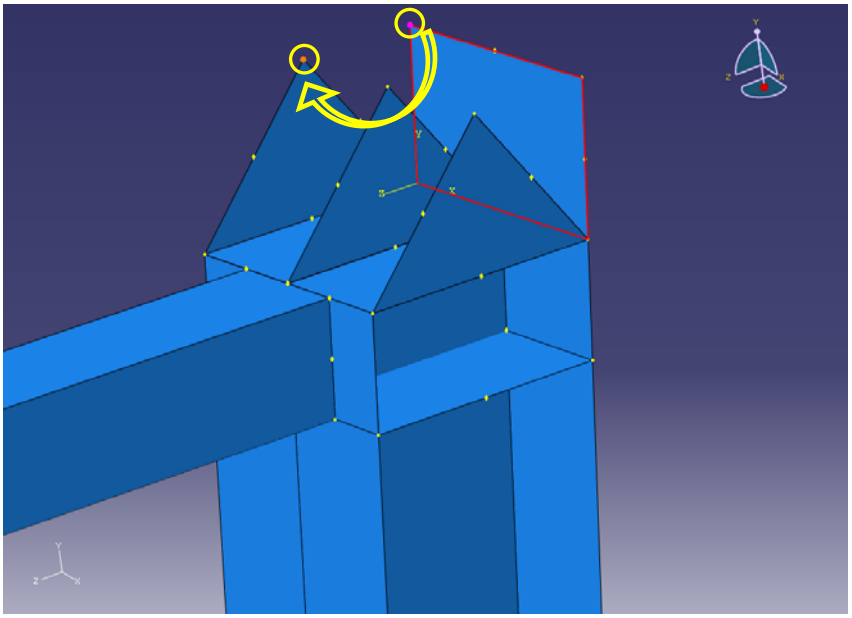
۶۳. همانطور که مشاهده می‌شود سخت کننده ورق صلب اتصال ستون در مختصات صحیح قرار نگرفته و لـذا بایستی آن را به وسـط سـتـون منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۶۴. بر روی نقطه‌ای از سطح سخت کننده ورق صلب اتصال کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۶۵. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده ورق صلب اتصال که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۶۶. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده ورق صلب اتصال که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۶۷. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۷۱-کپی کردن سخت کننده پای ستون و انتقال آن به محلهای صحیح

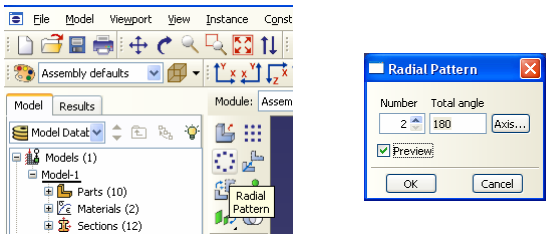
۶۸. برای تکمیل تکیه گاه‌های مفصلی ستون می‌بایست تکیه گاه فوقانی ساخته شده را به صورت دورانی کپی نماییم. لذا از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Radial Pattern کلیک کنید.

۶۹. سه صفحه مثلثی و سخت کننده آنها را انتخاب کنید و در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.

۷۰. در پنجره‌ای که باز می‌شود در مستطیل مربوط به Number مقدار ۲ را وارد کنید. زاویه دوران را برابر ۱۸۰ درجه قرار دهید.

۷۱. همچنین برای تعیین محور دوران بر روی گزینه Axis کلیک کنید و خطی از پای ستون که موازی محور x است انتخاب کنید.

۷۲. بر روی Ok کلیک نمایید.



شکل ۸-۷۲-کپی دورانی تکیه گاه فوقانی ساخته شده جهت ساخت تکیه گاه تحتانی

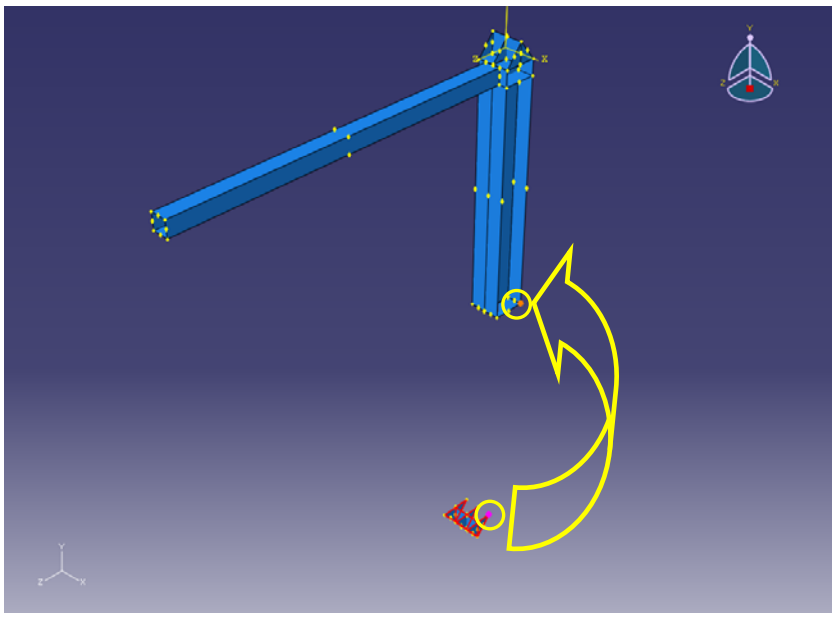
۷۳. همانطور که مشاهده می‌شود تکیه گاه پایینی ستون در مختصات صحیح قرار نگرفته و لذا بایستی آن را به زیر ستون منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۷۴. کلیه اعضای تکیه گاه پایینی ستون را انتخاب کنید و بر روی گزینه Done در پایین صفحه کلیک نمایید.

۷۵. در نقطه‌ای از سطح تکیه گاه پایینی ستون که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۷۶. در نقطه‌ای از سطح تکیه گاه پایینی ستون که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۷۷. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



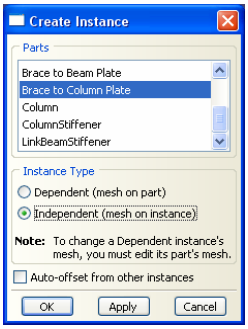
شکل ۸-۷۳-انتقال تکیه گاه تحتانی به پای ستون

۷۸. در مرحله بعد باید ورق اتصال مهاربند به ستون را ایجاد نمایید. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۷۹. در پنجره Create Instance ، عضو ورق اتصال مهاربند به ستون (Brace to Column Plate) را انتخاب نمایید.

۸۰. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۸۱. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۷۴-وارد کردن ورق اتصال مهاربند به ستون به ماژولAssembly

۸۲. همانطور که در شکل ملاحظه می‌کنید ورق اتصال مهاربند به ستون وارد شده در جهت محور X است و باید آن را در جهت محور Z در آورید. برای این کار گزینه Rotate Instance را از نوار ابزار عمودی انتخاب کنید.

۸۳. بر روی نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به ستون در پنجره گرافیکی کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۸۴. در نوار پایین صفحه مختصات پیش فرض را که برابر (0,0,0) را بپذیرید با این کار مختصات گره اول محور دوران را تعیین می‌کنید. کلید Enter را فشار دهید.

۸۵. برای دوران ستون حول محور y ، مختصات گره دوم محور دوران را برابر (0, 100,0) قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۸۶. زاویه دوران را برابر ۹۰ قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۸۷. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

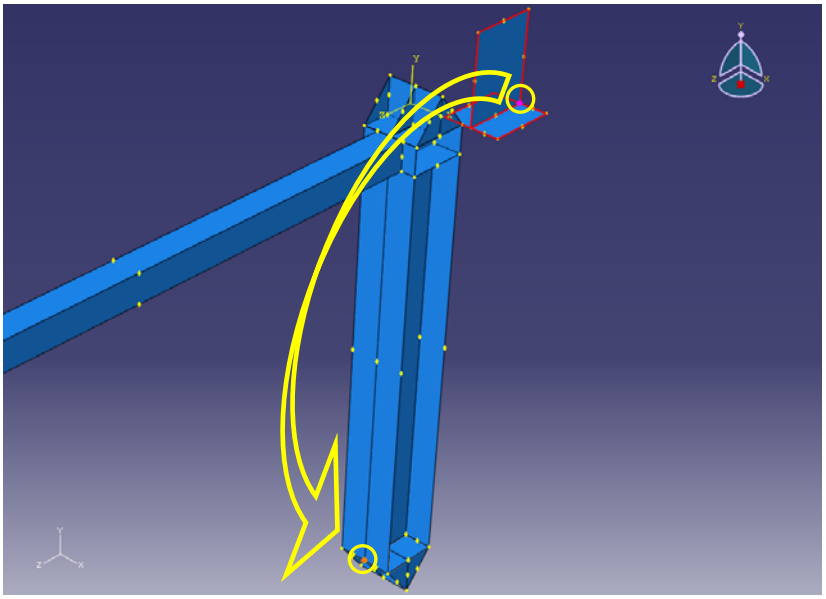
۸۸. همانطور که مشاهده می‌شود ورق اتصال مهاربند به ستون در مختصات صحیح قرار نگرفته و لذا بایستی آن را به گوشه پایینی ستون منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۸۹. بر روی نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به ستون کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۹۰. در نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به ستون که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

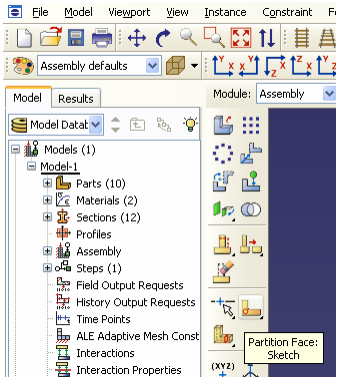
۹۱. در نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به ستون که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۹۲. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۷۵-ورق اتصال مهاربند به ستون وارد شده به ماژول Assembly و انتقال به محل صحیح

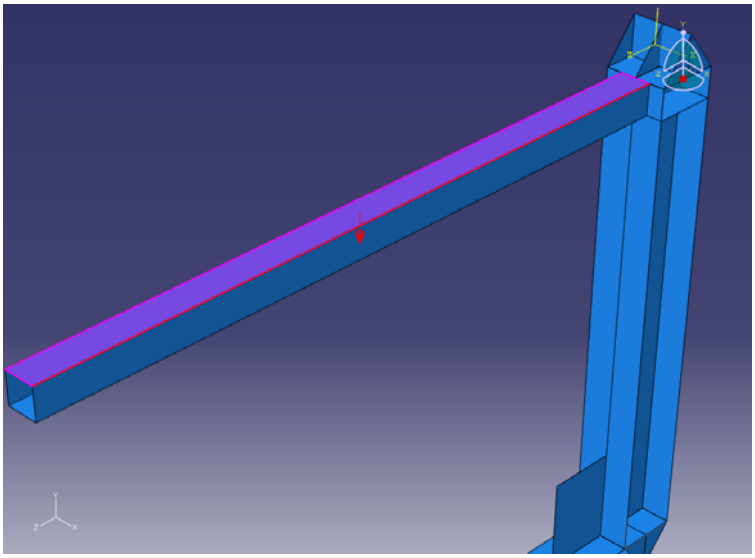
۹۳. برای آنکه صفحه اتصال مهاربند به تیر را در محل صحیح خود قرار دهید ابتدا باید این محل را بر روی تیر مشخص نمایید. برای این منظور می‌بایست برشهایی را در تیر ایجاد نمایید که فاصله بین این برش‌ها تیر پیوند را مشخص می‌کند. ابتدا از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Partition Face : Sketch کلیک کنید.



شکل ۸-۷۶-آیکون ایجاد برش برای ساخت تیر پیوند

۹۴. کل هندسه تیر را انتخاب نمایید و در نوار پایین صفحه روی Done کلیک کنید.

۹۵. در این مرحله باید صفحه‌ای برای انجام برش و امتداد برش را به ترتیب مشخص نمایید. برای این کار صفحه بالای تیر را انتخاب کنید و در نوار پایین صفحه بر روی Through All کلیک کنید. همانطور که مشاهده می‌کنید امتداد انجام برش به طرف پایین توسط بردار قرمز رنگی نشان داده شده است. در نوار پایین صفحه این جهت را با فشردن Ok تایید نمایید.

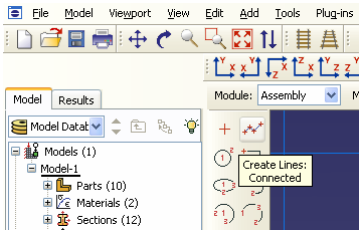


شکل ۸-۷۷-انتخاب صفحه فوقانی تیر برای ایجاد برش

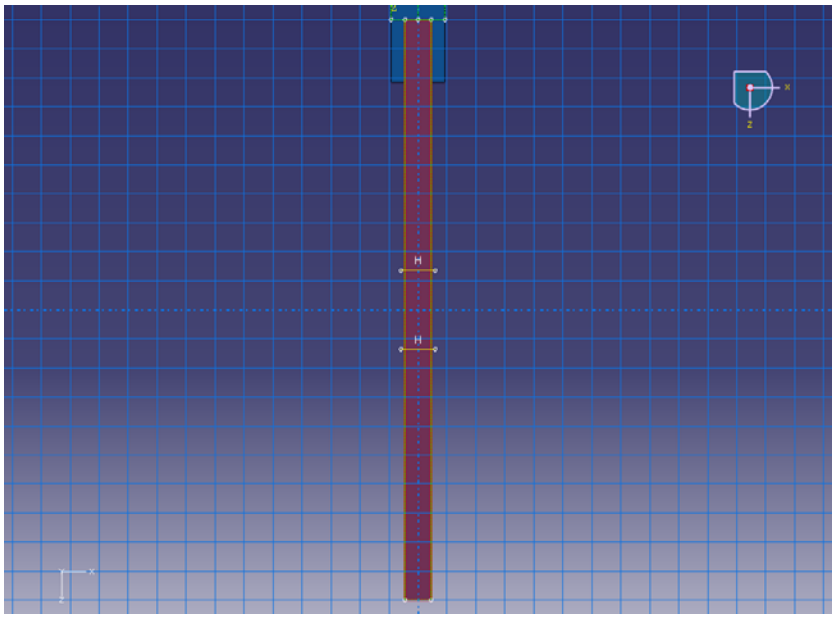
۹۶. در این مرحله خطی از تیر را که موازی محور Z است انتخاب کنید تا در ماژول دوبعدی Sketch برای برش زدن به نمایش گذاشته شود.

۹۷. حال باید محلهای برش را با رسم خط مشخص نمایید. برای این منظور از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Line Connected کلیک کنید و خطی با مختصات گره‌های (10,22.8) و (-10,22.8) رسم کنید. مختصات این نقاط را باید به ترتیب در نوار پایین صفحه وارد نمایید. خط دوم را با مختصات گرهی (10,-22.8) و (-10,-22.8) رسم کنید.

۹۸. در نوار پایین صفحه دوبار بروی Done کلیک نمایید.



شکل ۸-۷۸-رسم خط برای تعیین نمودن محل برش‌ها



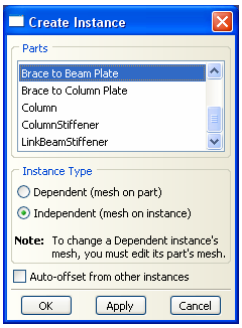
شکل ۸-۷۹-موقعیت خطوط رسم شده برای تعیین نمودن محل برش‌ها

۹۹. در مرحله بعد باید ورق اتصال مهاربند به تیر را ایجاد نمایید. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۱۰۰. در پنجـــره Create Instance ، عضـو ورق اتصـال مهاربنـد به تیر (Brace to Beam Plate) را انتخاب نمایید.

۱۰۱. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۱۰۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۸۰-وارد کردن ورق اتصال مهاربند به تیر به ماژولAssembly

۱۰۳. همانطور که در شکل ملاحظه می‌کنید ورق اتصال مهاربند به تیر وارد شده در جهت محور X است و باید آن را در جهت محور Z در آورید. برای این کار گزینه Rotate Instance را از نوار ابزار عمودی انتخاب کنید.

۱۰۴. بر روی نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به تیر در پنجره گرافیکی کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۰۵. در نوار پایین صفحه مختصات پیش فرض را که برابر (0,0,0) را بپذیرید با این کار مختصات گره اول محور دوران را تعیین می‌کنید. کلید Enter را فشار دهید.

۱۰۶. برای دوران ستون حول محور y ، مختصات گره دوم محور دوران را برابر (0, 100,0) قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۱۰۷. زاویه دوران را برابر ۹۰ قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۱۰۸. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

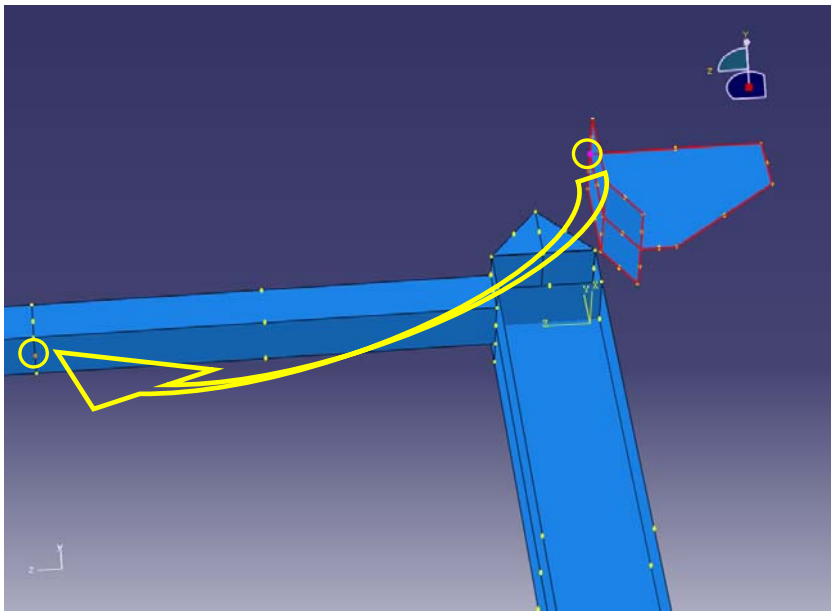
۱۰۹. همانطور که مشاهده می‌شود ورق اتصال مهاربند به تیر در مختصات صحیح قرار نگرفته و لذا بایستی آن را به گوشه سمت راست تیر پیوند منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۱۰. بر روی نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به تیر کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۱۱. در نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۱۱۲. در نقطه‌ای از سطح ورق اتصال مهاربند به تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۱۱۳. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



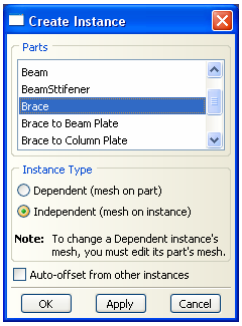
شکل ۸-۸۱-ورق اتصال مهاربند به تیر وارد شده به ماژولAssembly و انتقال به محل صحیح

۱۱۴. حال باید مهاربند مورد نظر را در محل آن ایجاد نمایید. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۱۱۵. در پنجـــره Create Instance، عضـو مهاربنـد (Brace) را انتخاب نمایید.

۱۱۶. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۱۱۷. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۸۲-وارد کردن مهاربند به ماژولAssembly

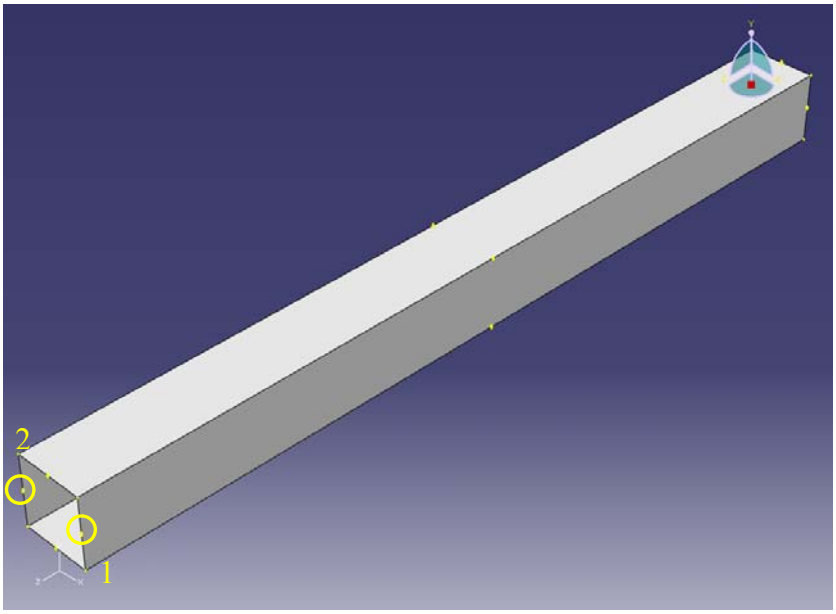
۱۱۸. همانطور که در شکل ملاحظه می‌کنید مهاربند به صورت افقی است و باید آن را در امتداد اصلی خود قرار دهید. برای این کار گزینه Rotate Instance را از نوار ابزار عمودی انتخاب کنید.

۱۱۹. بر روی نقطه‌ای از سطح مهاربند در پنجره گرافیکی کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۲۰. دو نقطه‌ای را که در شکل زیر نشان داده شده اند را به ترتیب انتخاب کنید و هر بار کلید Enter را فشار دهید. با این کار محور دوران را در امتداد محور X مشخص می‌نمایید.

۱۲۱. زاویه دوران را برابر ۵۸/۱۷۸۳۵ قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

۱۲۲. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۸۳-مهاربند وارد شده به ماژول Assembly و نقاط تعیین کننده محور دوران

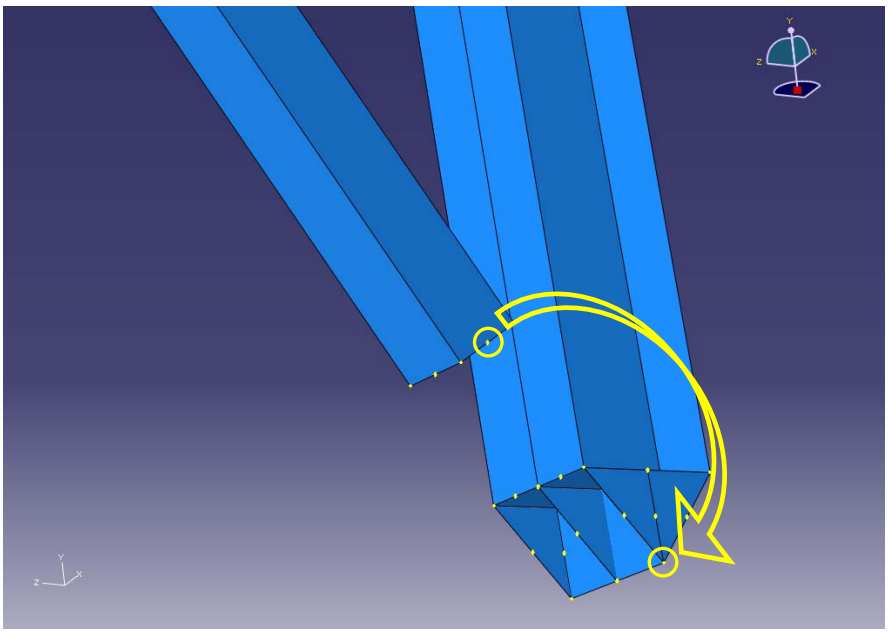
۱۲۳. همانطور که مشاهده می‌شود مهاربند در مختصات صحیح قرار نگرفته و لذا بایستی آن را به محل اصلی خود منتقل کنید. برای این منظور دوبار از انتقال استفاده می‌کنیم. ابتدا گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۲۴. بر روی نقطه‌ای از سطح مهاربند کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۲۵. در نقطه‌ای از مهاربند که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۱۲۶. در نقطه‌ای از مهاربند که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۱۲۷. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۸۴-مهاربند دوران یافته و انتقال آن به پای ستون

۱۲۸. مجددا روی گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی کلیک نمایید.

۱۲۹. بر روی نقطه‌ای از سطح مهاربند کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۳۰. در نوار پایین صفحه مختصات پیش فرض را که برابر (0,0,0) را بپذیرید با این کار مختصات گره اول بردار انتقال را تعیین می‌کنید. کلید Enter را فشار دهید.

۱۳۱. برای تعیین مختصات گره دوم بردار انتقال در نوار پایین صفحه مقدار (-6.6, 48.4325, 30.05476) قرار دهید و کلید Enter را فشار دهید.

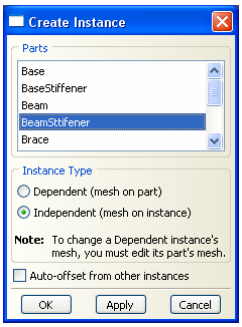
۱۳۲. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

۱۳۳. در مرحله بعد باید سخت کننده تیر را ایجاد نمایید. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۱۳۴. در پنجره Create Instance، عضو سخت‌کننده تیر(Beam Stiffener) را انتخاب نمایید.

۱۳۵. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۱۳۶. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۸۵-وارد کردن عضو سخت‌کننده تیر به ماژول Assembly

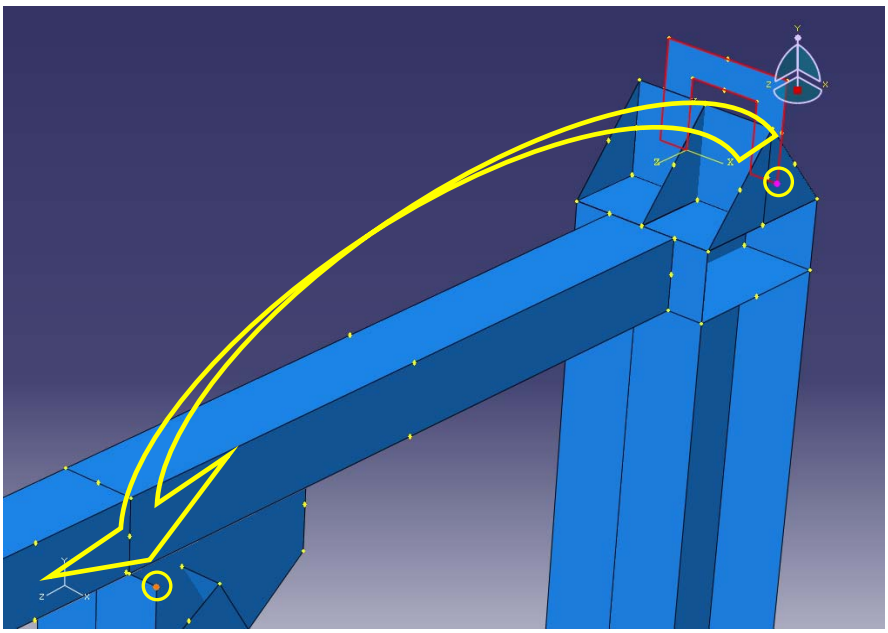
۱۳۷. همانطور که مشاهده می‌شود سخت کننده تیر در مختصات صحیح قرار نگرفته و لـــذا بایستی آن را به محل صحیح آن منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۳۸. بر روی نقطه‌ای از سطح سخت کننده تیر کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۳۹. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۱۴۰. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۱۴۱. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۸۶-سخت‌کننده تیر وارد شده به ماژول Assembly و انتقال آن به محل صحیح

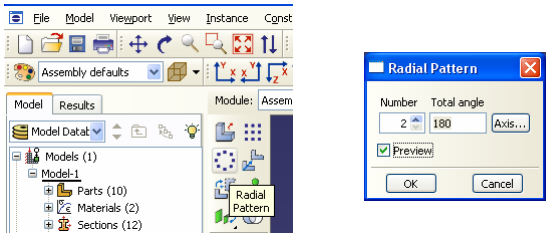
۱۴۲. تا این مرحله یکی از مهاربندها و ستونها و سخت کننده‌ها و مهاربندهای مربوط به آنها را مدل سازی کرده اید. برای ساختن ستون و مهاربند دیگر و سخت کننده‌ها و صفحات مربوط به آنها از قابلیت کپی دورانی نرم افزار استفاده می‌کنید. ابتدا از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Radial Pattern کلیک کنید.

۱۴۳. تمامی اعضا به غیر از تیر را انتخاب کنید و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۱۴۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود در مستطیل مربوط به Number مقدار ۲ را وارد کنید. زاویه دوران را برابر ۱۸۰ درجه قرار دهید.

۱۴۵. همچنین برای تعیین محور دوران بر روی گزینه Axis کلیک کنید و خطی از گوشه سمت چپ تیر پیوند را که موازی محور y است انتخاب کنید.

۱۴۶. بر روی Ok کلیک نمایید.



شکل ۸-۸۷-کپی دورانی مهاربند و ستون و سخت کننده‌ها و مهاربندهای مربوط به آنها

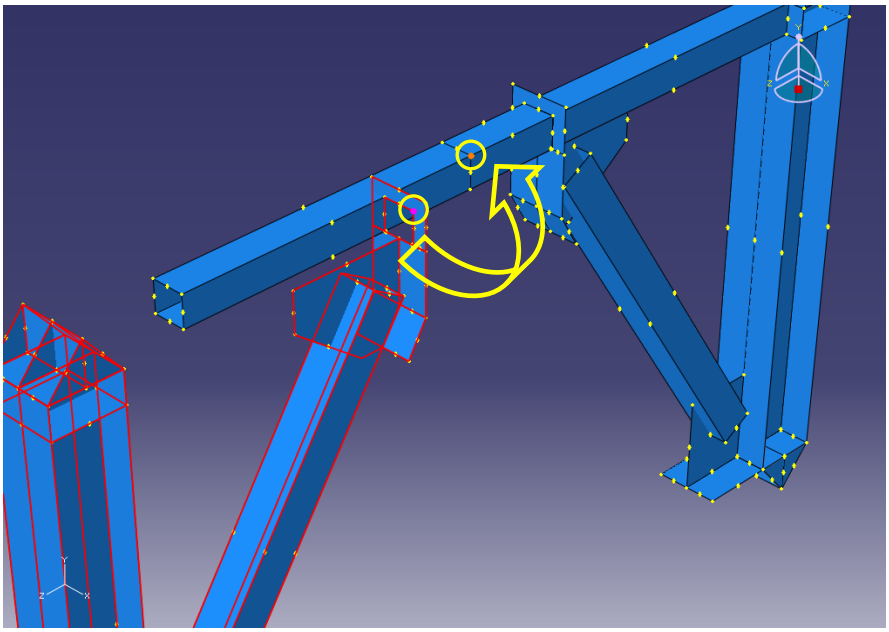
۱۴۷. همانطور که مشاهده می‌شود اعضای کپی شده در مختصات صحیح قرار نگرفته اند و لذا بایستی آنها را به محل صحیح منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۴۸. کلیه اعضایی را که در مرحله قبل کپی دورانی نمودید انتخاب کنید و بر روی گزینه Done در پایین صفحه کلیک نمایید.

۱۴۹. در نقطه‌ای از تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۱۵۰. در نقطه‌ای از تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۱۵۱. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



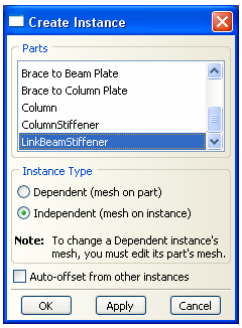
شکل ۸-۸۸-انتقال مهاربند و ستون و سخت کننده‌ها و مهاربندهای مربوط به آنها

۱۵۲. حال باید سخت کننده‌های تیر پیوند را به مدل اضافه کنیم. برای این کار از منوی ابزار عمودی، بر روی گزینه Instance Part کلیک کنید.

۱۵۳. در پنجره Create Instance، عضو سخت کننده تیر پیوند (Link Beam Stiffener) را انتخاب نمایید.

۱۵۴. برای نوع Instance گزینه Independent را انتخاب کنید.

۱۵۵. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۸۹-وارد کردن عضو سخت‌کننده تیر پیوند به ماژول Assembly

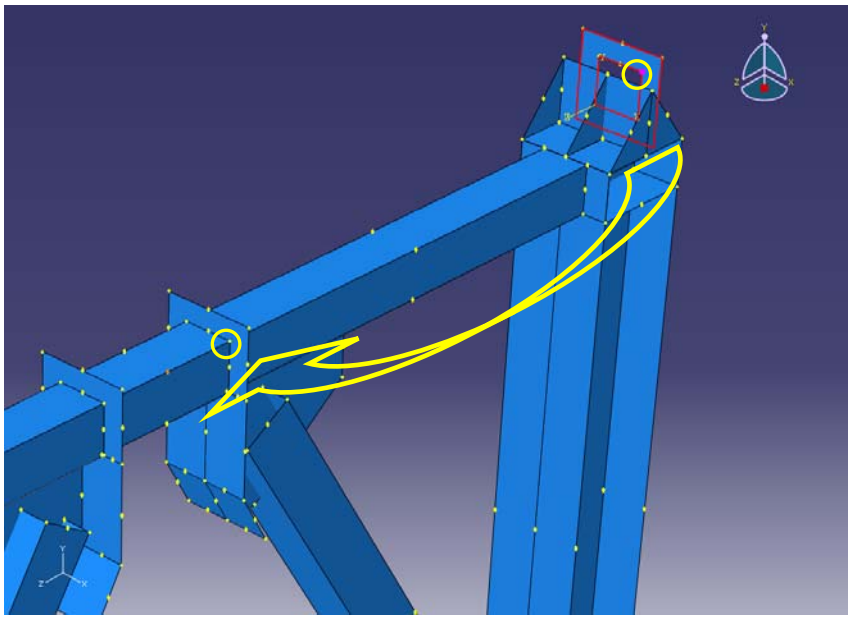
۱۵۶. همانطور که مشاهده می‌شود سخت کننده تیر پیوند در مختصات صحیح قرار نگرفته اند و لذا بایستی آنها را به محل صحیح منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۵۷. سخت کننده تیر پیوند را انتخاب کنید و بر روی گزینه Done در پایین صفحه کلیک نمایید.

۱۵۸. در نقطه‌ای از سخت کننده تیر پیوند که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۱۵۹. در نقطه‌ای از سخت کننده تیر پیوند که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۱۶۰. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۹۰-انتقال عضو سخت‌کننده تیر پیوند به محل صحیح آن

۱۶۱. گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۶۲. سخت کننده تیر پیوند را انتخاب کنید و بر روی گزینه Done در پایین صفحه کلیک نمایید.

۱۶۳. مختصات گره اول بردار انتقال را (0,0,0) و مختصات گره دوم را (0,0,15.2) وارد نمایید.

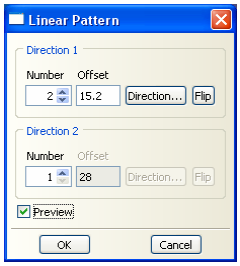
۱۶۴. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.

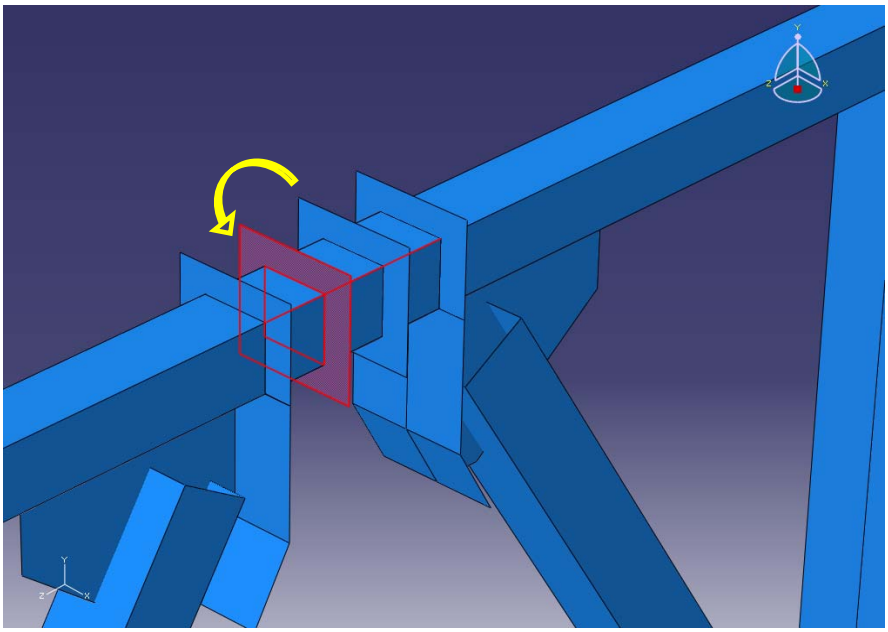
۱۶۵. برای تکمیل سخت کننده‌های تیر پیوند به یک سخت کننده دیگر نیاز است. برای این منظور با استفاده از سخت کننده اول، سخت کننده بعدی را ایجاد می‌کنید. ابتدا از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Linear Pattern کلیک کنید.

۱۶۶. بر روی نقطه‌ای از سخت کننده اول کلیک کرده و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۱۶۷. در پنجره Linear Pattern تعداد کپی‌ها برابر ۲ و جهت در راستای محور Z تعیین می‌گردد. برای تعیین جهت باید در بخش Direction1 بر روی Direction کلیک نموده و خطی دلخواه موازی محور Z را انتخاب نمود. فاصله Offset را برابر ۱۵/۲ قرار دهید. در بخش Direction2 مقدار Number را برابر ۱ قرار دهید.

۱۶۸. بر روی Ok کلیک کنید.





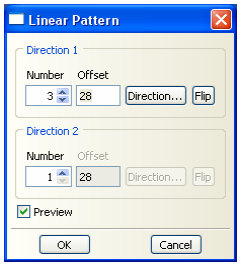
شکل ۸-۹۱-کپی سخت‌کننده تیر پیوند به تعداد مورد نیاز

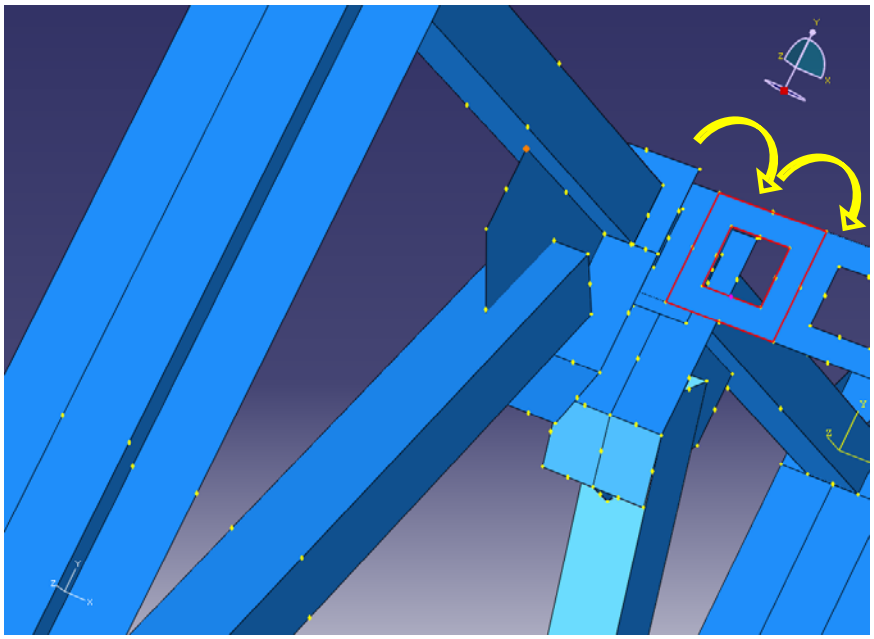
۱۶۹. برای تکمیل سخت کننده‌های تیر به دو سخت کننده دیگر نیاز است. برای این منظور با استفاده از سخت کننده قبلی، سخت کننده بعدی را ایجاد می‌کنید. ابتدا از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Linear Pattern کلیک کنید.

۱۷۰. بر روی نقطه‌ای از سخت کننده قبلی کلیک کرده و در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید.

۱۷۱. در پنجره Linear Pattern تعداد کپی‌ها برابر ۳ و جهت در راستای محور پیش فرض تعیین می‌گردد. فاصله Offset را برابر مقدار پیش فرض قرار دهید. در بخش Direction2 مقدار Number را برابر ۱ قرار دهید.

۱۷۲. بر روی Ok کلیک کنید.





شکل ۸-۹۲-کپی سخت‌کننده تیر پیوند به تعداد مورد نیاز

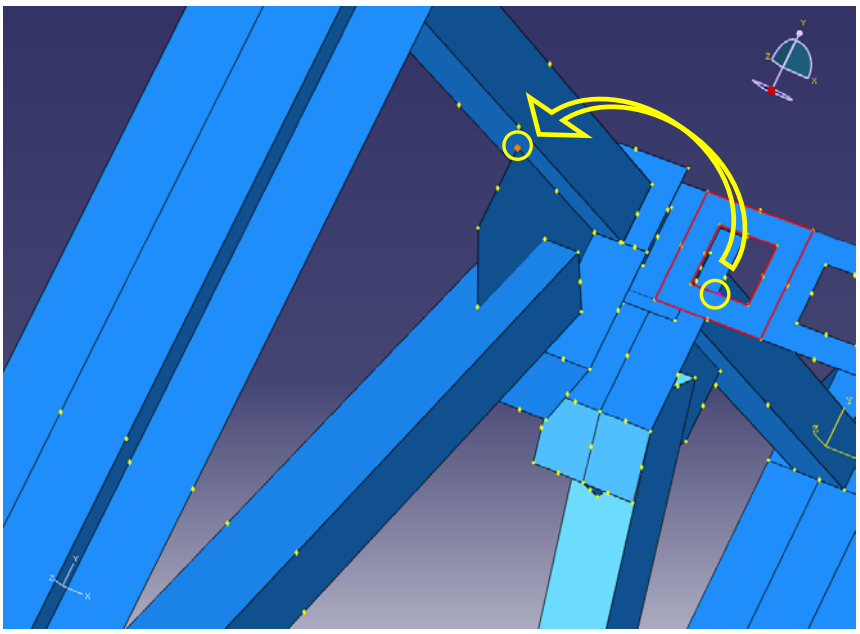
۱۷۳. همانطور که مشاهده می‌شود سخت کننده تیر در مختصات صحیح قرار نگرفته و لـــذا بایستی آن را به محلهای انتهایی اتصال ورق مهاربند به تیر منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۷۴. بر روی نقطه‌ای از سطح سخت کننده تیر کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۷۵. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

۱۷۶. در نقطه‌ای از سطح تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۱۷۷. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۹۳-انتقال سخت‌کننده‌های تیر پیوند کپی شده به محل صحیح آنها

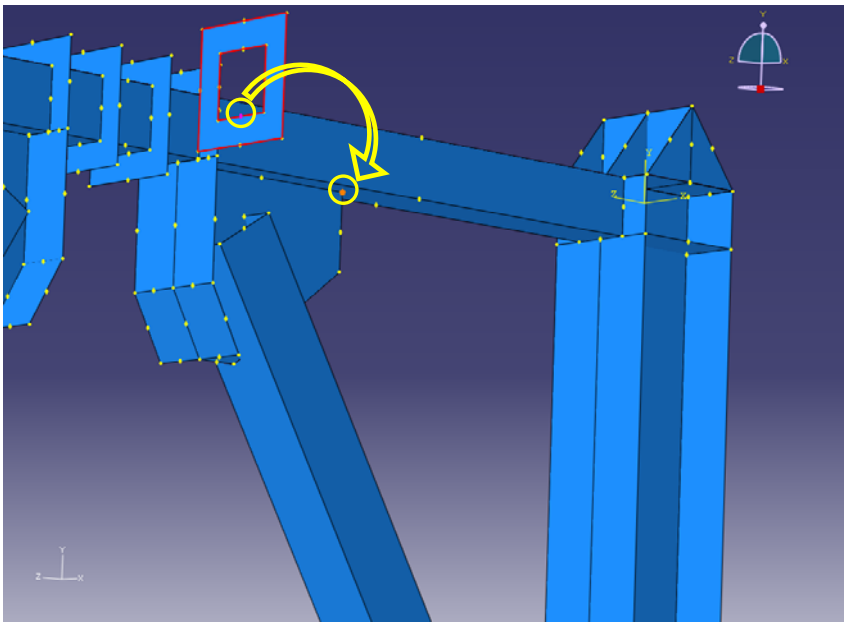
۱۷۸. همانطور که مشاهده می‌شود سخت کننده دوم تیر نیز در مختصات صحیح قرار نگرفته و لـــذا بایستی آن را به محلهای انتهایی اتصال ورق مهاربند به تیر منتقل کنید. برای این منظور گزینه Translate Instance در نوار ابزار عمودی را انتخاب نمایید.

۱۷۹. بر روی نقطه‌ای از سطح سخت کننده دوم تیر کلیک کنید و گزینه Done در پایین صفحه را انتخاب نمایید.

۱۸۰. در نقطه‌ای از سطح سخت کننده دوم تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه اولیه بردار انتقال را به نرم افزار معرفی نمایید.

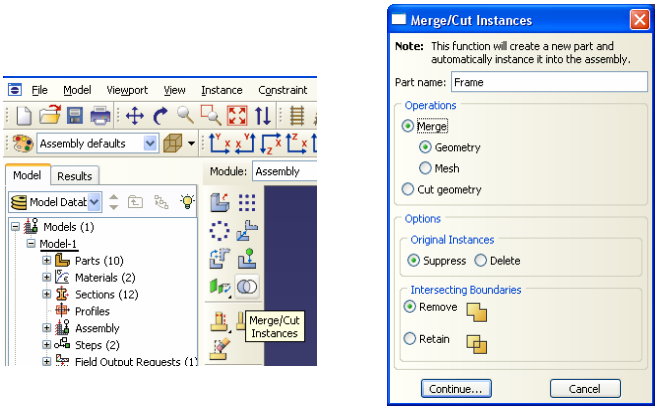
۱۸۱. در نقطه‌ای از سطح تیر که در شکل زیر نشان داده شده است کلیک کنید تا نقطه ثانویه بردار انتقال را معرفی نمایید .

۱۸۲. در نوار پایین صفحه بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۹۴-انتقال سخت‌کننده‌های تیر پیوند کپی شده به محل صحیح آنها

۱۸۳. بعد از وارد کردن و قرار دادن تمامی اعضا در محل خود، می‌بایست تمامی اعضای قاب را با یکدیگر به صورت یکپارچه درآوردید. برای این کار از نوار ابزار عمودی گزینه Merge/Cut Instances را انتخاب کنید.

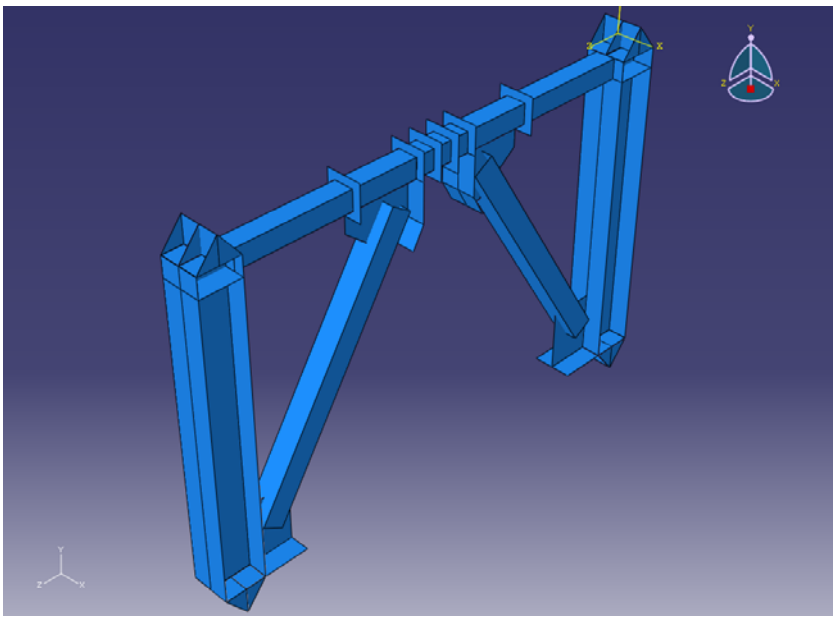


شکل ۸-۹۵-یکپارچه سازی اعضای موجود در ماژول Assembly

۱۸۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود نام عضوی را که از یکپارچه سازی کلیه اعضا حاصل می‌شود Frame بگذارید.

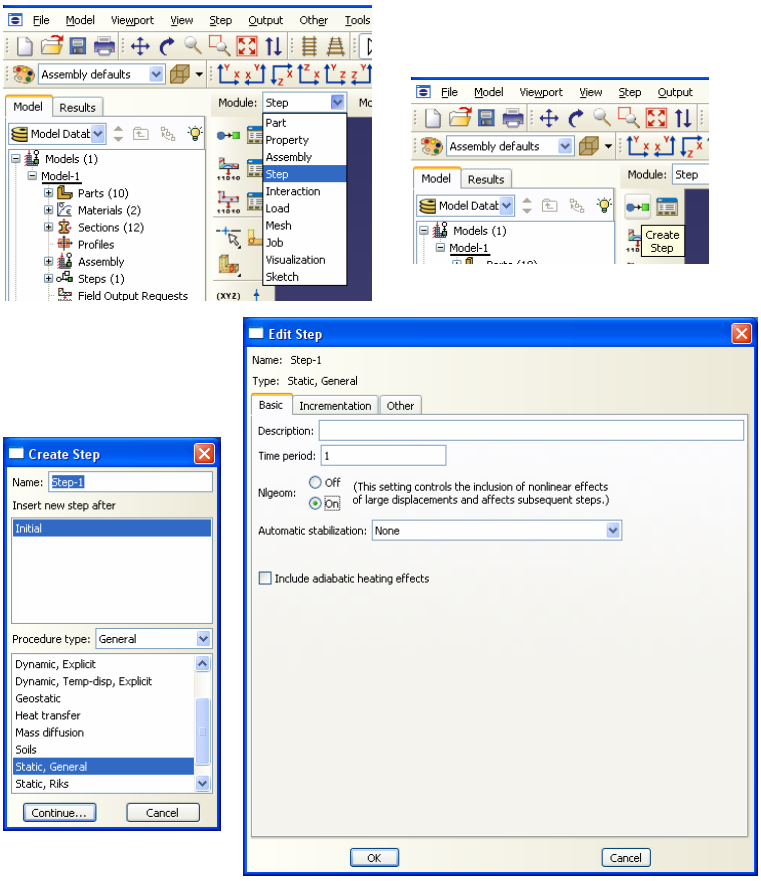
۱۸۵. بر روی Continue کلیک کنید.

۱۸۶. با کشیدن مستطیلی حول کلیه اعضا در پنجره گرافیکی، تمامی اعضا را انتخاب نمایید.
۱۸۷. در نوار پایین صفحه بر روی Done کلیک کنید. مدل کامل شده به صورت شکل ذیل می‌باشد.



شکل ۸-۹۶-قاب واگرای ساخته شده در ماژول Assembly

۸-۳-۷- برای آنکه مراحل تحلیل را تعیین کنید ، از بخش ماژولها در بالای صفحه ماژول Steps را انتخاب نمایید.
۱. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Step را انتخاب کنید.
۲. Step را با نام Step-1 نامگذاری کنید، در قسمت procedure گزینه Generalرا انتخاب کنید و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Static-General را انتخاب کنید.
۳. بر روی Continue کلیک کنید.
۴. در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.
۵. برای در نظر گرفتن تغییرشکلهای بزرگ می‌توان گزینه Nlgoem را on نمود که در اینجا باید این کار را انجام دهید.
۶. بر روی Ok کلیک کنید.

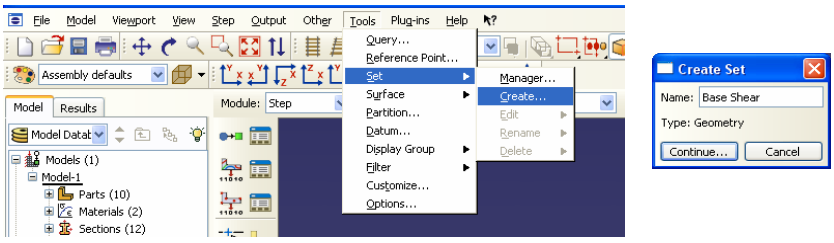


شکل ۸-۹۷-مراحل تعریف گامهای تحلیل

۸-۳-۸- برای تعیین نوع و محل خروجی‌های تحلیل می‌بایست مجموعه‌هایی از گره‌ها را به عنوان یک دسته (Set) معرفی کنید. برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

۱. از منوی اصلی گزینه Tools ، گزینه Set و سپس Create را انتخاب نمایید.

۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Set را Base Shear قرار داده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای مشاهده تاریخچه زمانی برش پایه ضروری است.



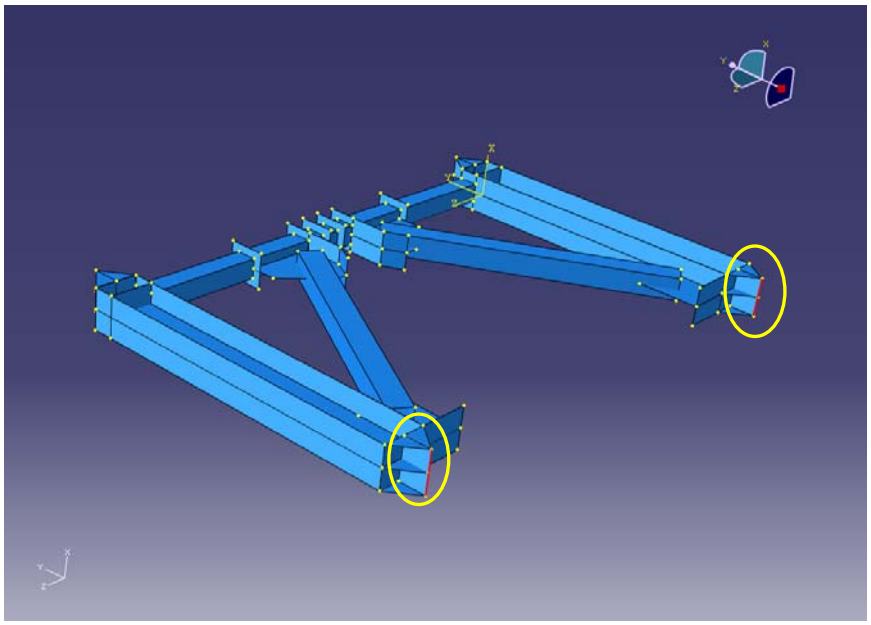
شکل ۸-۹۸-تعریف مجموعه‌های مورد نیاز

۳. با استفاده از انتخاب گزینه Rotate View در نوار ابزار افقی بالای و حرکت موس همراه با نگه داشتن دکمه چپ موس بر روی صفحه گرافیکی می‌توانید مدل ساخته شده را از زوایای دلخواه مشاهده کنید. برای خارج شدن از محیط Rotate View ، بر روی کلید Esc کلیک کنید.

۴. دو خط تکیه گاهی را که در شکل نشان داده شده است انتخاب نمایید. برای انتخاب همزمان دو خط باید کلید Shift را نگه دارید.

۵. بر روی Done در نوار پایین صفحه کلیک کنید.

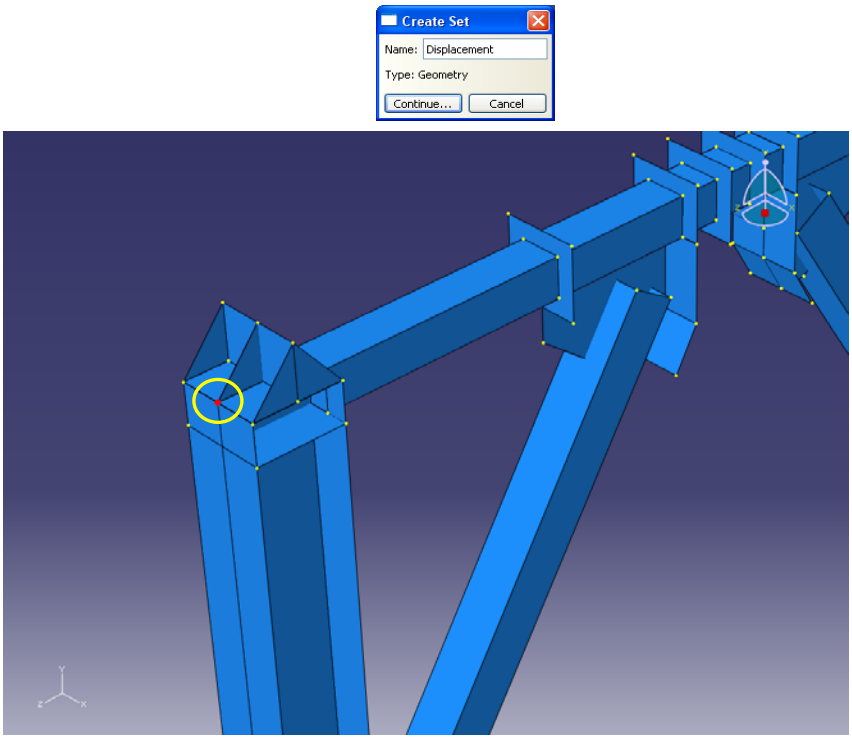
۶. برای بازگشت به حالت نمای سه بعدی پیش فرض بر روی دکمه Apply Iso View در نوار ابزار افقی بالای صفحه کلیک کنید.



شکل ۸-۹۹-مجموعه‌های مورد نیاز برای تکیه گاه‌ها

۷. مجددا از منوی اصلی گزینه Tools ، گزینه Set و سپس Create را انتخاب نمایید.

۸. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Set را Displacement قرار داده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای مشاهده تاریخچه زمانی تغییر مکان بالای قاب ضروری است. نقطه‌ای را که در شکل نشان داده شده است انتخاب نمایید.



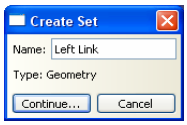
شکل ۸-۱۰۰- مجموعه‌های مورد نیاز برای گرفتن اطلاعات خروجی

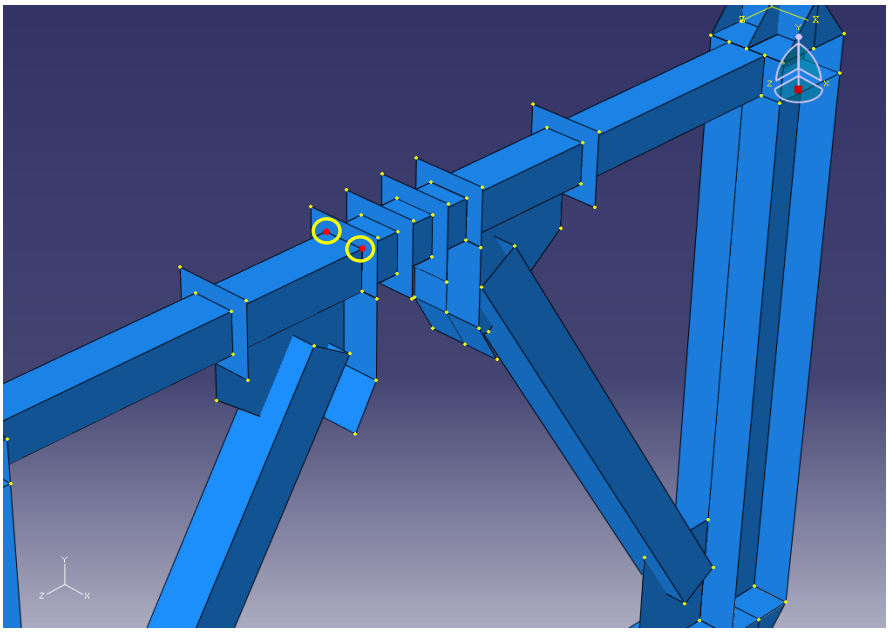
۹. بر روی Done در نوار پایین صفحه کلیک کنید.

۱۰. مجددا از منوی اصلی گزینه Tools ، گزینه Set و سپس Create را انتخاب نمایید.

۱۱. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Set را Left Link قرار داده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای داشتن تاریخچه زمانی تغییرمکان عمودی سمت چپ تیر پیوند ضروری است.

۱۲. نقاطی را که در شکل نشان داده شده است انتخاب نمایید.





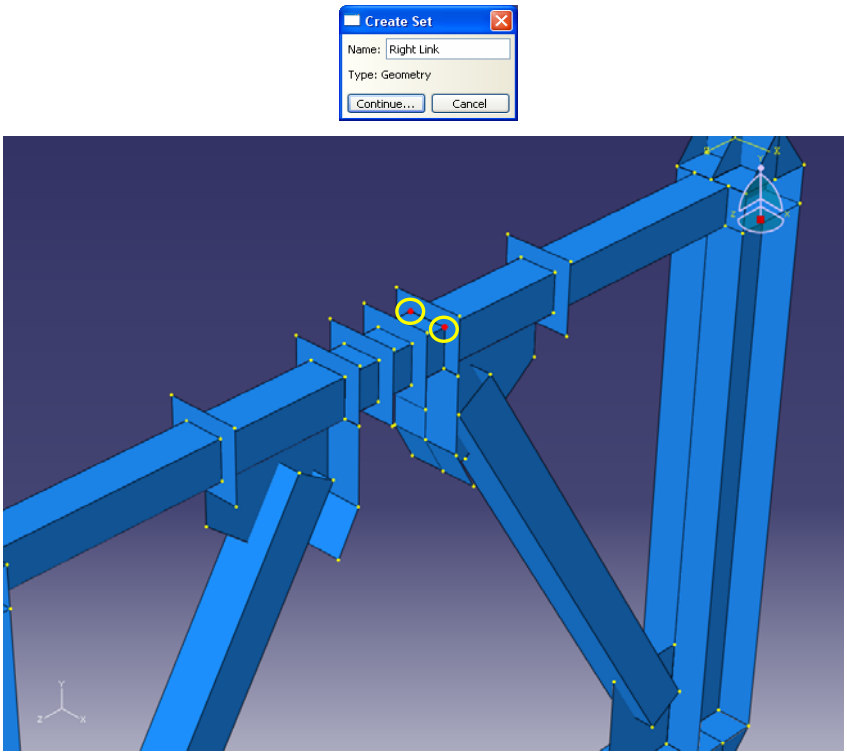
شکل ۸-۱۰۱- مجموعه‌های مورد نیاز برای گرفتن اطلاعات خروجی

۱۳. بر روی Done در نوار پایین صفحه کلیک کنید.

۱۴. مجددا از منوی اصلی گزینه Tools ، گزینه Set و سپس Create را انتخاب نمایید.

۱۵. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Set را Right Link قرار داده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای داشتن تاریخچه زمانی تغییرمکان عمودی سمت راست تیر پیوند ضروری است.

۱۶. نقاطی را که در شکل نشان داده شده است انتخاب نمایید.

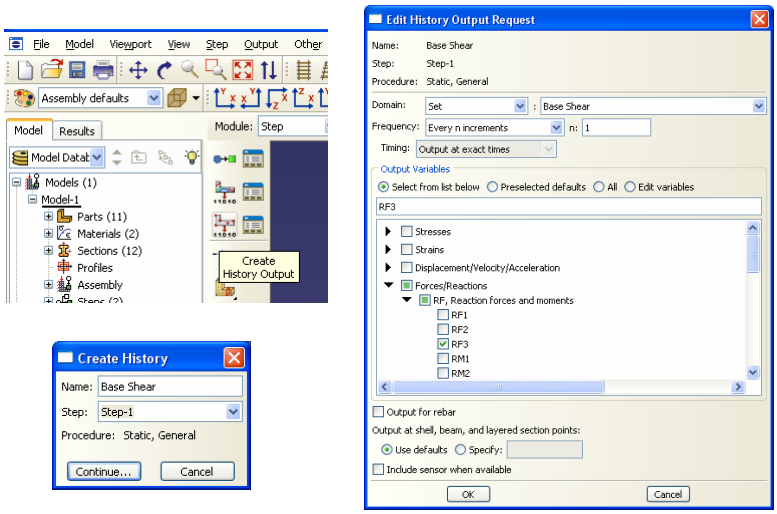


شکل ۸-۱۰۲- مجموعه‌های مورد نیاز برای گرفتن اطلاعات خروجی

۱۷. بر روی Done در نوار پایین صفحه کلیک کنید.

۸-۳-۹- برای تعریف نوع خروجی برای دسته‌هایی (Set) که در گام قبل تعریف کرده اید، به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱. از نوار ابزار عمودی گزینه Create History Output را انتخاب کنید.
۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Base Shear را در مستطیل بالایی وارد کرده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای تعریف خروجی تاریخچه زمانی برش پایه قاب انجام می‌شود.
۳. در پنجره باز شده در قسمت Domain گزینه Set را انتخاب کرده و از میان دسته‌های (Set) تعریف شده ، دسته Base Shear را انتخاب کنید. در قسمت Output variables بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه Forces/Reactions کلیک کرده و سپس بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه RF, Reaction forces and moments کلیک نمایید و تیک مربوط به گزینه RF3 را فعال کنید.
۴. بر روی Ok کلیک کنید.



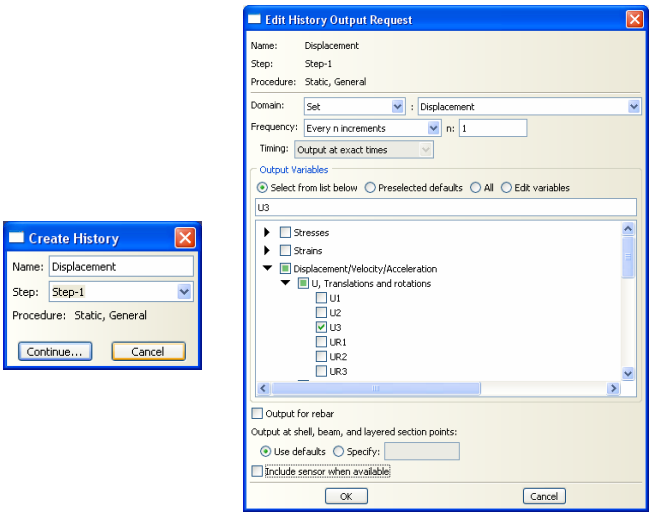
شکل ۸-۱۰۳- تعریف نوع خروجی‌های مورد نیاز در مجموعه‌های تعریف شده

۵. مجددا از نوار ابزار عمودی گزینه Create History Output را انتخاب کنید.

۶. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Displacement را در مستطیل بالایی وارد کرده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای تعریف خروجی تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی بالای قاب انجام می‌شود.

۷. در پنجره باز شده در قسمت Domain گزینه Set را انتخاب کرده و از میان دسته‌های (Set) تعریف شده ، دسته Displacement را انتخاب کنید. در قسمت Output variables بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه Displacement/Velocity/Acceleration کلیک کرده و سپس بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه U, Translations and rotations کلیک نمایید و تیک مربوط به گزینه U3 را فعال کنید.

۸. بر روی Ok کلیک کنید.



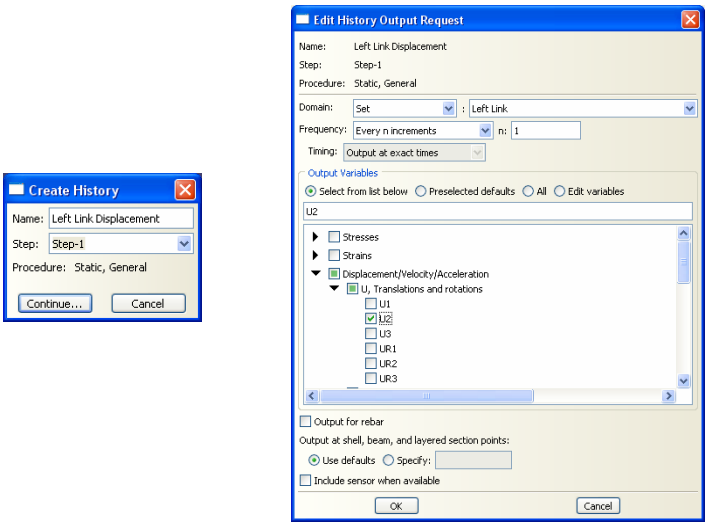
شکل ۸-۱۰۴- تعریف نوع خروجی‌های مورد نیاز در مجموعه‌های تعریف شده

۹. مجددا از نوار ابزار عمودی گزینه Create History Output را انتخاب کنید.

۱۰. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Left Link Displacement را در مستطیل بالایی وارد کرده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای تعریف خروجی تاریخچه زمانی تغییرمکان عمودی سمت چپ تیر پیوند انجام می‌شود.

۱۱. در پنجره باز شده در قسمت Domain گزینه Set را انتخاب کرده و از میان دسته‌های (Set) تعریف شده ، دسته Left Link را انتخاب کنید. در قسمت Output variables بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه Displacement/Velocity/Acceleration کلیک کرده و سپس بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه U, Translations and rotations کلیک نمایید و تیک مربوط به گزینه U2 را فعال کنید.

۱۲. بر روی Ok کلیک کنید.



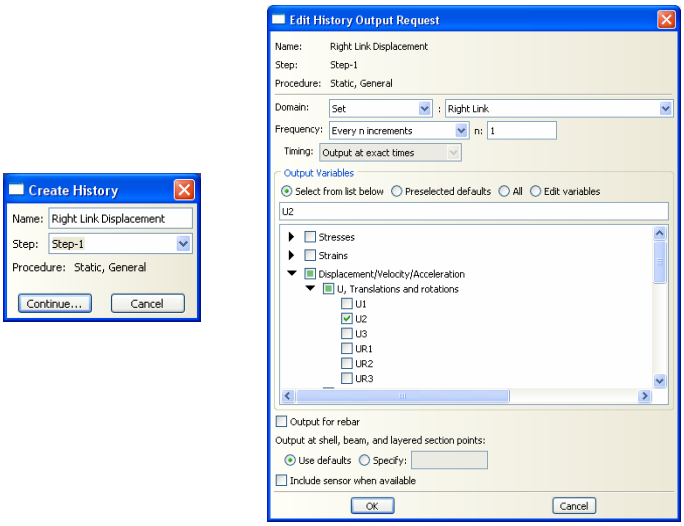
شکل ۸-۱۰۵- تعریف نوع خروجی‌های مورد نیاز در مجموعه‌های تعریف شده

۱۳. مجددا از نوار ابزار عمودی گزینه Create History Output را انتخاب کنید.

۱۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود، نام Right Link Displacement را در مستطیل بالایی وارد کرده و بر روی Continue کلیک کنید. این کار برای تعریف خروجی تاریخچه زمانی تغییرمکان عمودی سمت راست تیر پیوند انجام می‌شود.

۱۵. در پنجره باز شده در قسمت Domain گزینه Set را انتخاب کرده و از میان دسته‌های (Set) تعریف شده ، دسته Right Link را انتخاب کنید. در قسمت Output variables بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه Displacement/Velocity/Acceleration کلیک کرده و سپس بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه U, Translations and rotations کلیک نمایید و تیک مربوط به گزینه U2 را فعال کنید.

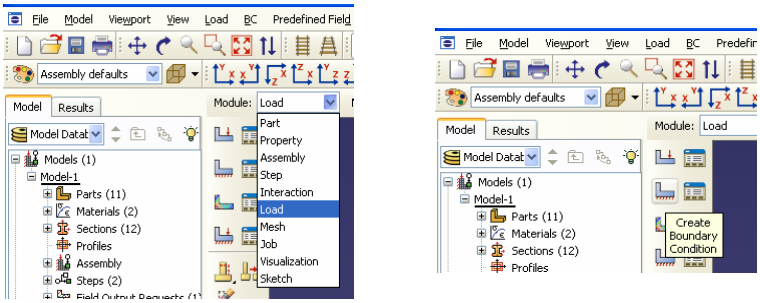
۱۶. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۱۰۶- تعریف نوع خروجی‌های مورد نیاز در مجموعه‌های تعریف شده

۸-۳-۱۰-بعد از معرفی کردن خروجی‌های لازم به نرم افزار، لازم است بارگذاری‌ها و شرایط تکیه گاهی را برای مدل تعریف کنید. در این مساله باید برای قاب مورد نظر تحلیل بار افزون (Pushover) با کنترل تغییرمکان انجام دهید. برای این کار باید تغییر مکانی به بالای تکیه گاه ستونها در جهت محور Z (محور ۳) وارد کرده و مقدار برش پایه و دوران تیر پیوند را اندازه گیری کنید. برای تعریف بارگذاری از بخش ماژول‌ها در بالای صفحه ماژول Load را انتخاب نمایید.

۱. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Boundary Condition را انتخاب کنید.



شکل ۸-۱۰۷- ماژول بارگذاری و آیکون تعریف تکیه گاه

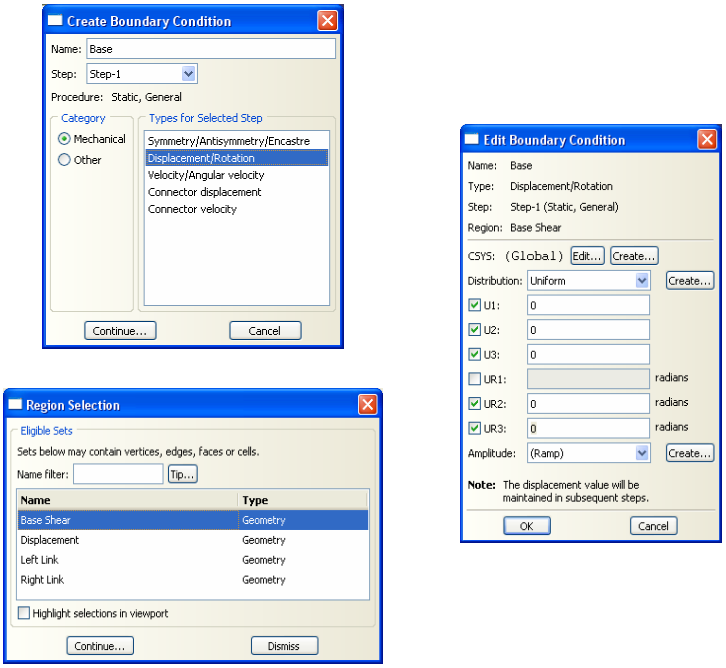
۲. شرط مرزی مربوط به تکیه گاه‌های تحتانی ستونها، را Base نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement/Rotation را انتخاب کنید.

۳. بر روی Continue کلیک کنید.

۴. بر روی گزینه Sets واقع در سمت راست در نوار پایین صفحه کلیک نمایید تا دسته‌های تعریف شده باز شوند. در پنجره‌ای که باز می‌شود دسته Base Shear را انتخاب کنید و بر روی Continue کلیک کنید.

۵. در پنجره Edit Boundary Condition کنار گزینه‌های U1، U2، U3، UR2، UR3 تیک زده و مقادیر آنها را برابر صفر قرار دهید. با این کار تمامی حرکات انتقالی و حرکت دورانی حول محورهای y و z بسته می‌شود.

۶. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۸-۱۰۸- مراحل تعریف تکیه گاه‌ها

۷. از نوار ابزار عمودی گزینه Create Boundary Condition را انتخاب کنید.

۸. شرط مرزی تغییرمکان وارده به بالای ستون را Displacement نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement/Rotation را انتخاب کنید.

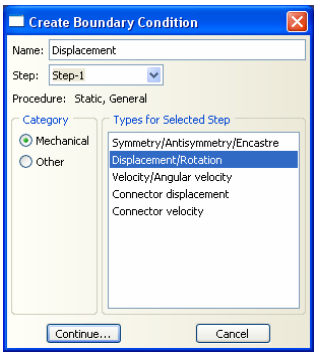
۹. بر روی Continue کلیک کنید.

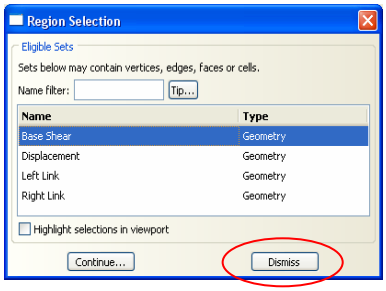
۱۰. در پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه Dismiss را فشار دهید و در پنجره گرافیکی خطوط بالای ستون را که در شکل ذیل نشان داده شده است انتخاب نمایید.

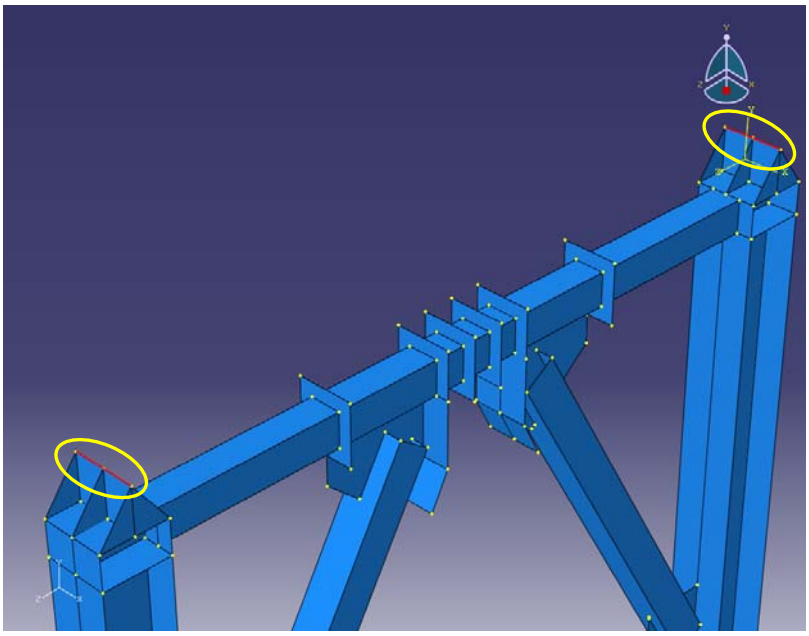
۱۱. بر روی Done کلیک کنید.

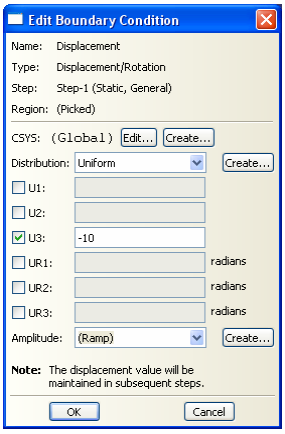
۱۲. در پنجره Edit Boundary Condition کنار گزینه U2، تیک زده و مقدار آن را برابر 10- قرار دهید. با این کار تغییرمکانی معادل ۱۰ سانتیمتر را به بالای ستون وارد می‌نمایید.

۱۳. بر روی Ok کلیک کنید.









شکل ۸-۱۰۹- مراحل تعریف بارگذاری

۱۴. برای آنکه تغییرشکل تیر در جهت صحیح و مطابق با واقعیت انجام شود، باید تغییرمکان بسیار کوچکی در سمت چپ تیر پیوند اعمال کنید. به این بار کوچک که معمولا در تحلیلهای کمانشی مورد استفاده قرار می‌گیرد Imperfection می‌گویند. مجددا از نوار ابزار عمودی گزینه Create Boundary Condition را انتخاب کنید.

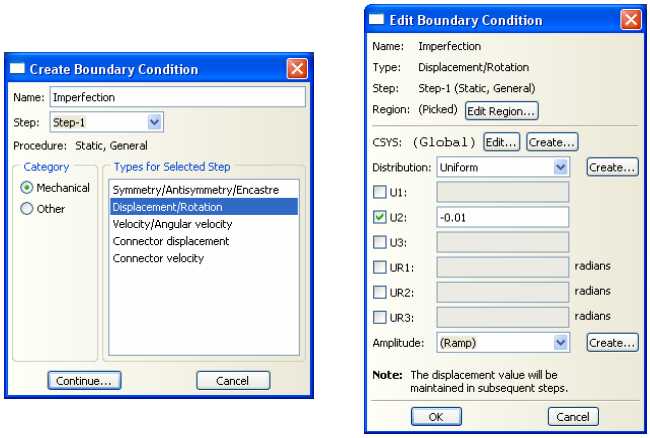
۱۵. شرایط مرزی مربوطه را Imperfection نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement/Rotation را انتخاب کنید.

۱۶. بر روی Continue کلیک کنید.

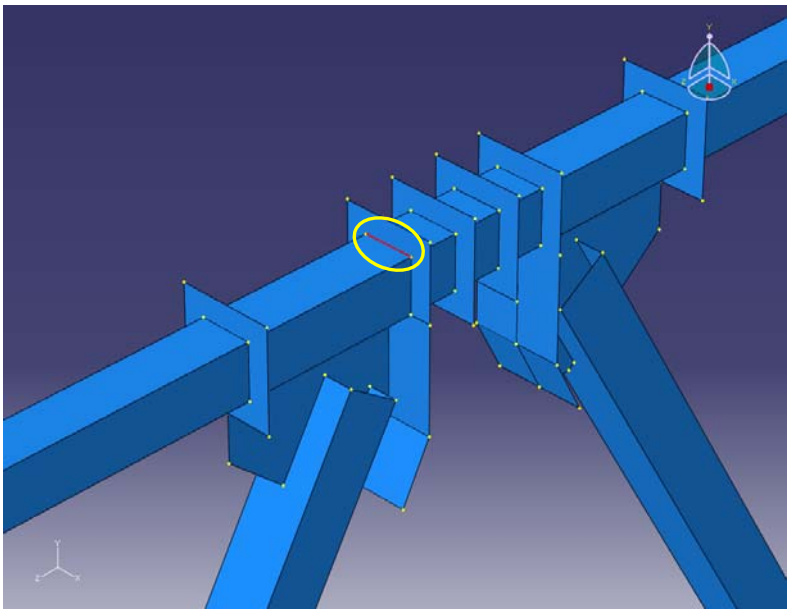
۱۷. خط سمت چپ تیر پیوند را که در شکل ذیل نشان داده شده است انتخاب کنید و بر روی Done کلیک کنید.

۱۸. در پنجره Edit Boundary Condition کنار گزینه ی U2، تیک زده و مقادیر آنها را برابر 0.01- قرار دهید.

۱۹. بر روی Ok کلیک کنید.

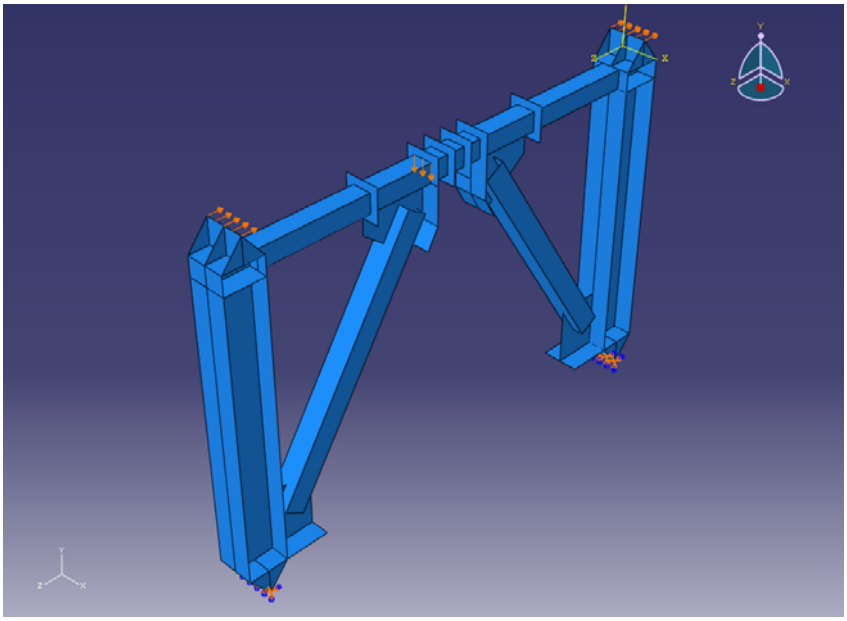


شکل ۸-۱۱۰- مراحل تعریف شرایط مرزی مربوط به Imperfection



شکل ۸-۱۱۱- محل تعریف شرایط مرزی مربوط به Imperfection

شکل نهایی سازه و تکیه گاه‌ها و بارگذاری‌های آن به صورت شکل ذیل می‌باشد.

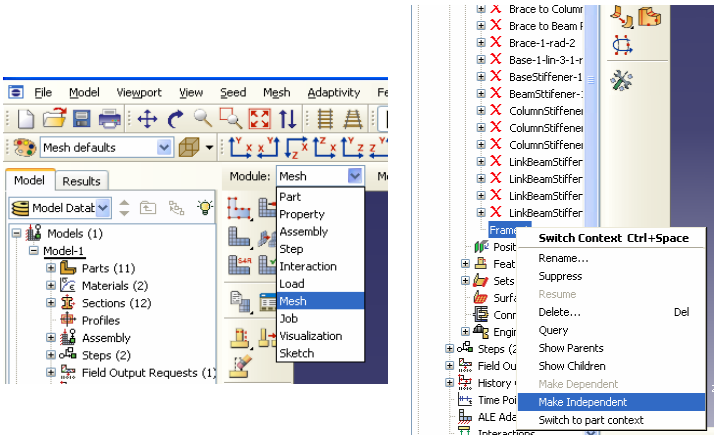


شکل ۸-۱۱۲- شکل نهایی سازه و تکیه گاه‌ها و بارگذاری‌های آن

۸-۳-۱۱-برای مش بندی قاب مورد نظر به ترتیب زیر عمل نمایید.

۱. از منوی باز شونده Module بر روی گزینه Mesh کلیک کنید.

۲. از منوی درختی سمت چپ صفحه بر روی علامت + کنار گزینه Assembly کلیک کنید و سپس بر روی علامت + کنار گزینه Instances کلیک کنید. بر روی آخرین عضو موجود یعنی Frame-1 راست کلیک کرده و گزینه Make Independent را انتخاب کنید. با این کار مش‌بندی قابی که از یکپارچه کردن اعضا ایجاد شده است امکان پذیر می‌گردد.



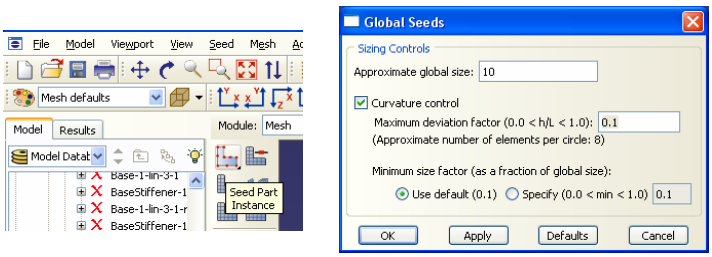
شکل ۸-۱۱۳- مستقل سازی عضو ایجاد شده از یکپارچه کردن اعضا برای مش بندی

۳. از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Seed Part Instance کلیک نمایید.

۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود اندازه مش‌ها را برابر 10 (10 سانتیمتر) قرار دهید.

۵. بر روی گزینه Ok کلیک کنید.

۶. بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.

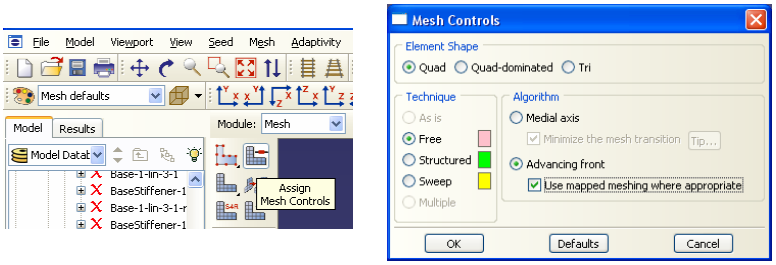


شکل ۸-۱۱۴- تعریف اندازه مش بندی

۷. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Mesh Controls کلیک کنید.

۸. کل اعضای قاب را با کشیدن یک مستطیل حول آنها در صفحه گرافیکی انتخاب نمایید.

۹. بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.
۱۰. در پنجره باز شده شکل المانها را از نوع Quad انتخاب کنید. تکنیک مش بندی را از نوع Free و الگوریتم آن را از نوع Advanced Front انتخاب کرده و کنار گزینه Use mapped Meshing when appropriate تیک بزنید.
۱۱. دکمه Okرا بزنید.
۱۲. بر روی نوار پایین صفحه گزینه Done را انتخاب کنید.

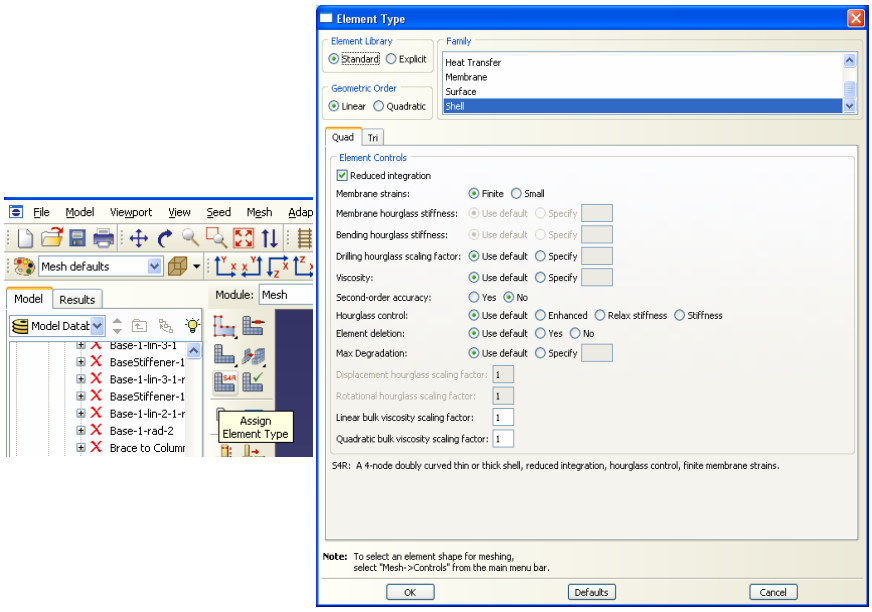


شکل ۸-۱۱۵- تعریف نوع مش بندی

۱۳. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Element Type کلیک کنید.
۱۴. کل اعضای قاب را با کشیدن یک مستطیل حول آنها در صفحه گرافیکی انتخاب نمایید.
۱۵. نوع المان را Standard و از خانواده Shell انتخاب کنید.
۱۶. مرتبه هندسی (geometric order) را Linear انتخاب کنید.
۱۷. مرتبه هندسی را از نوع Quadratic انتخاب کنید.

توجه :
اگر گزینه Linear و Quadratic را انتخاب کنید المانها از نوع چهار گرهی ، اگر Quad و Quadratic را انتخاب کنید المان هشت گرهی ، اگر گزینه Linear و Tri را انتخاب کنید المانها از نوع CST و اگر اگر گزینه Quad و Tri را انتخاب کنید المانها از نوع LST خواهد بود.

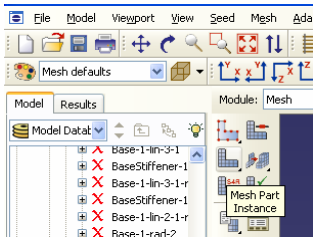
۱۸. توجه کنید که نام المان (S4R) و توضیحات مربوط به آن در پایین بخش element controls در پنجره باز شده قرار دارد.
۱۹. بر روی Ok کلیک کنید.

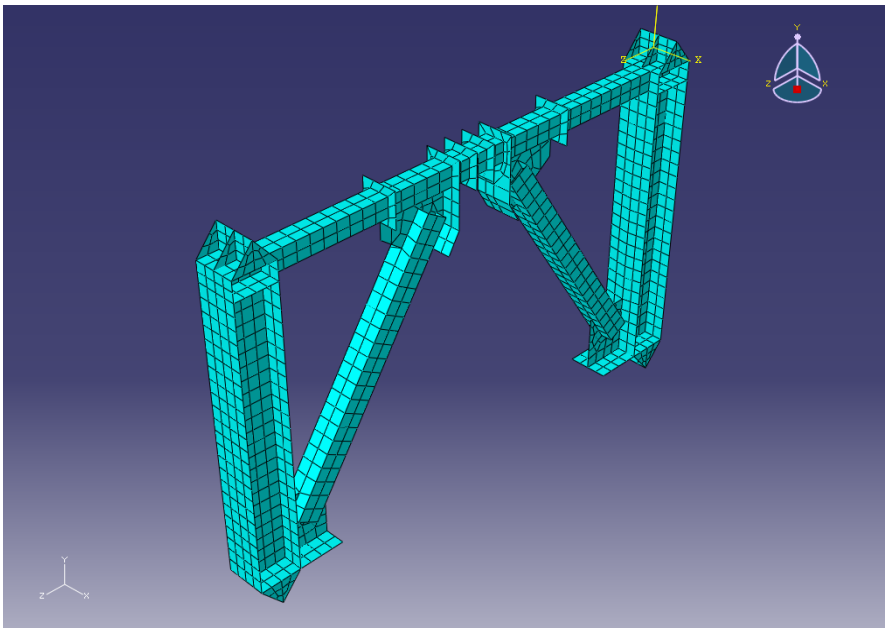


شکل ۸-۱۱۶- تعریف نوع المان برای مش بندی

۲۰. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Mesh Part کلیک کنید.

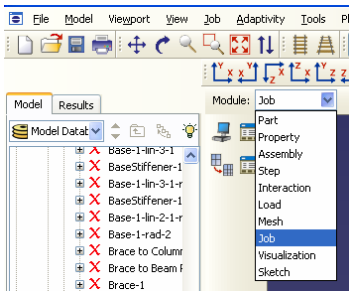
۲۱. در نوار پایین صفحه بر روی Yes کلیک کنید. در شکل زیر قاب مش بندی شده نشان داده شده است.





شکل ۸-۱۱۷- انجام مش بندی و مدل مش زده شده

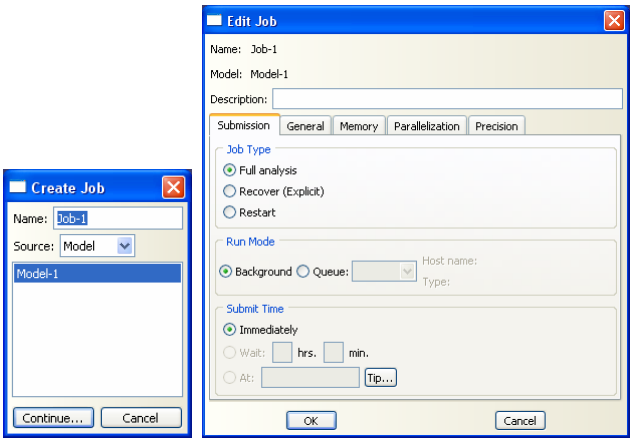
۸-۳-۱۲-برای انجام تحلیل از بخش ماژولها، ماژول Job را انتخاب کنید.



شکل ۸-۱۱۸- انتخاب ماژول Job

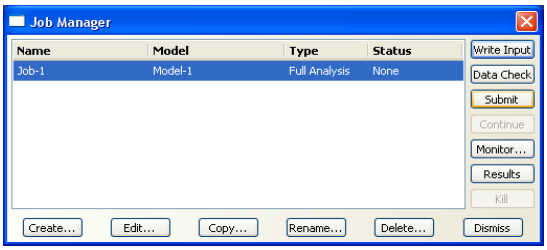
۱. در نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create Job کلیک کنید.
۲. اسم Job را Job-1 بگذارید.

۳. بر روی Continue کلیک کنید.
۴. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.
۵. بر روی Ok کلیک کنید.

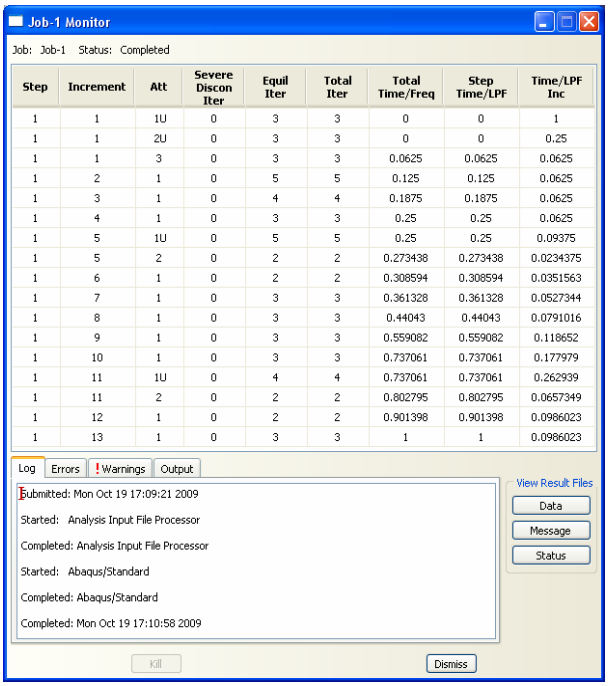


شکل ۸-۱۱۹- نام گذاری Job مورد نظر

۸-۳-۱۳- برای شروع تحلیل و نمایش لحظه به لحظه مراحل تحلیل در نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Job Manager کلیک کنید.
۱. در پنجره‌ای که باز می‌شود، Job-1 که قبلا ساخته اید را انتخاب کنید و بر روی گزینه Submit کلیک نمایید. با این کار تحلیل آغاز می‌شود.
۲. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است Monitor را انتخاب کنید.



شکل ۸-۱۲۰- مشاهده روند تحلیل

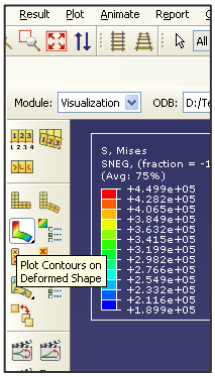


شکل ۸-۱۲۱- مشاهده روند تحلیل

۳. بعد از اتمام تحلیل برای رفتن به ماژول Visualization و مشاهده نتایج در پنجره Job Manager گزینه Results را انتخاب کنید.

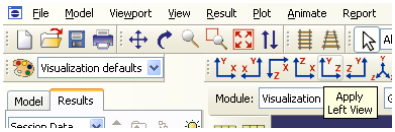
۸-۴- بررسی نتایج

۸-۴-۱- برای مشاهده تنشها بر روی عضو تغییرشکل یافته، در منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Plot contour on deformed shape کلیک کنید.

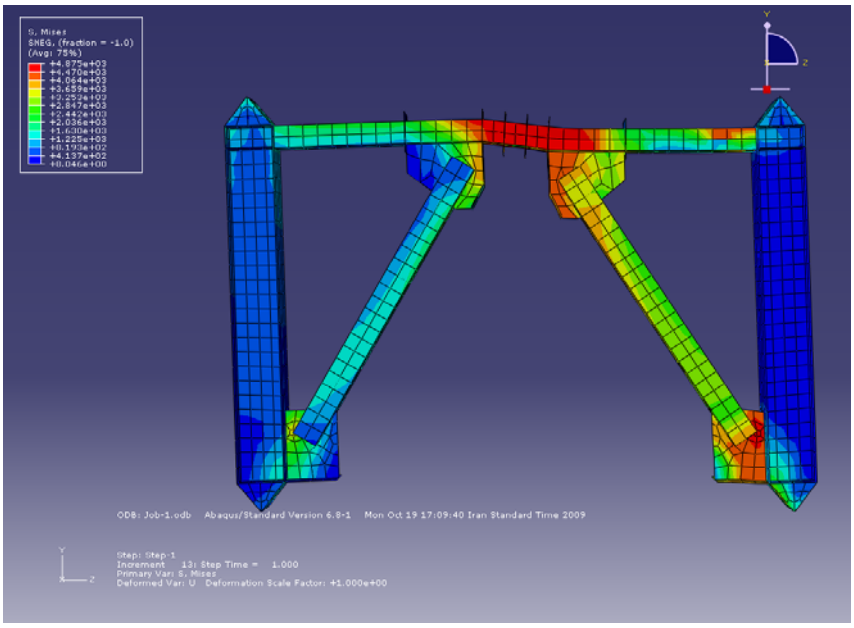


شکل ۸-۱۲۲- آیکون مشاهده کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته

۸-۴-۲- برای تغییر نمای قاب مورد نظر از حالت ۳ بعدی به صفحه YZ در منوی ابزار افقی بر روی گزینه Apply Left View کلیک کنید.



شکل ۸-۱۲۳- تغییر زاویه دید در پنجره گرافیکی



شکل ۸-۱۲۴- کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته

۸-۴-۳- برای رسم کردن منحنی برش تغییرمکان قاب از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create XYData کلیک نمایید.

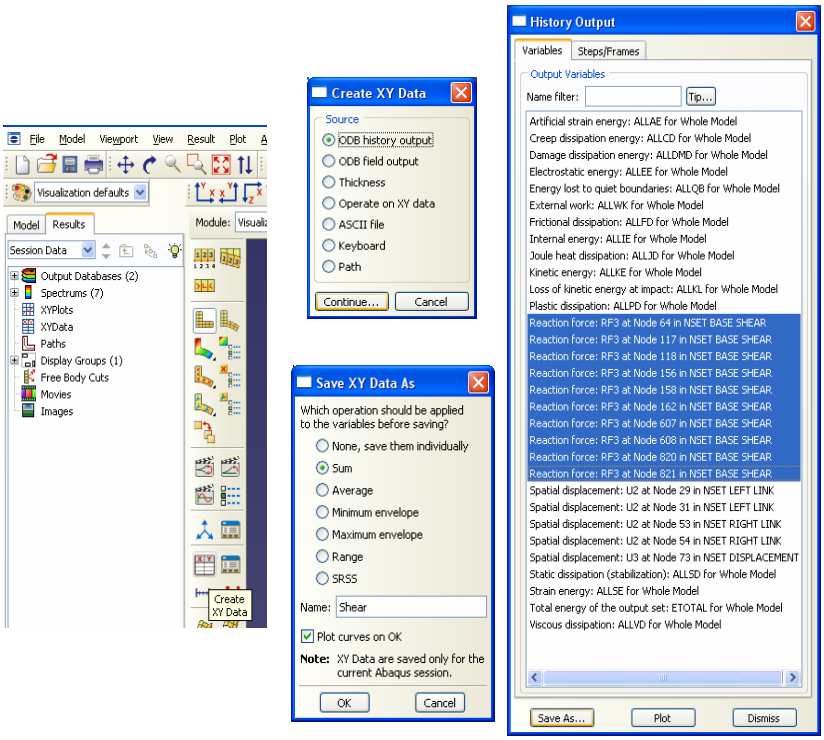
۱.در پنجره باز شده گزینه ODB History Output را انتخاب کنید. سپس بر روی Continue کلیک کنید.

۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود تمام گزینه‌هایی را که مربوط به نیرو در جهت ۳ است (RF3) را انتخاب کنید و در پایین پنجره بر روی گزینه Save As کلیک نمایید.

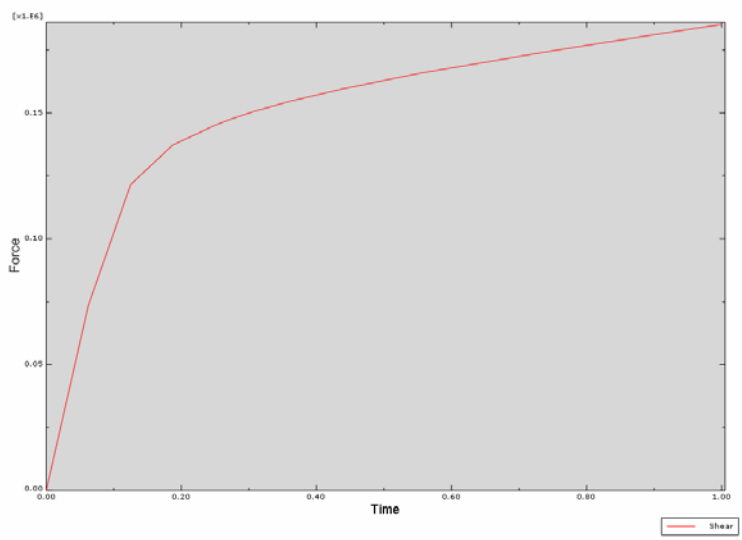
۳.در پنجره Save XYData As گزینه Sum را انتخاب کنید.

۴.نام Shear را در مستطیل مربوط به Name وارد نمایید و بر روی Ok کلیک کنید.

۵.همانطور که ملاحظه می‌کنید منحنی برش در برابر زمان به طور خودکار رسم خواهد شد. بر روی Dismiss کلیک کنید.



شکل ۸-۱۲۵- استخراج اطلاعات خروجی (برش) برای انجام پردازش و رسم نمودار



شکل ۸-۱۲۶- نمودار برش پایه در برابر زمان

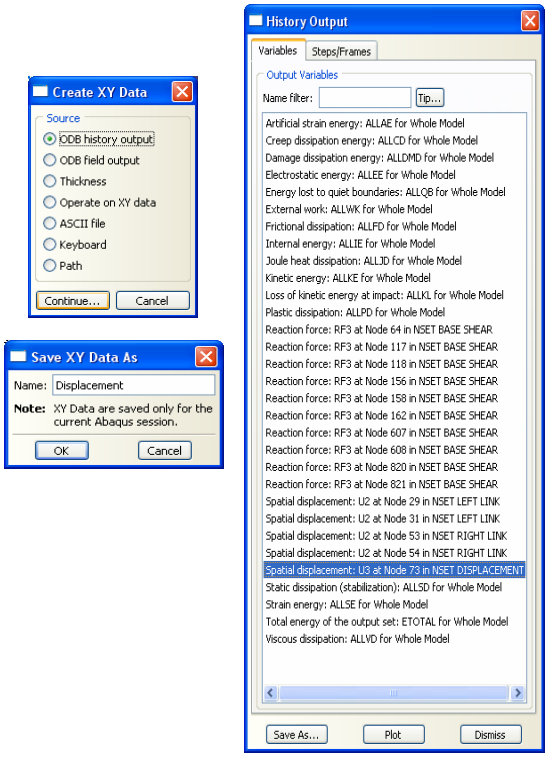
۶. مجددا در نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create XYData کلیک نمایید.

۷.در پنجره باز شده گزینه ODB History Output را انتخاب کنید. سپس بر روی Continue کلیک کنید.

۸. در پنجره‌ای که باز می‌شود تمام گزینه‌هایی را که مربوط به تغییرمکان در جهت ۳ است (U3) را انتخاب کنید و در پایین پنجره بر روی گزینه Save As کلیک نمایید.

۹.نام Displacement را در مستطیل مربوط به Name وارد نمایید و بر روی Ok کلیک کنید.

۱۰. بر روی Dismiss کلیک کنید.



شکل ۸-۱۲۷- استخراج اطلاعات خروجی (تغییرمکان) برای انجام پردازش و رسم نمودار

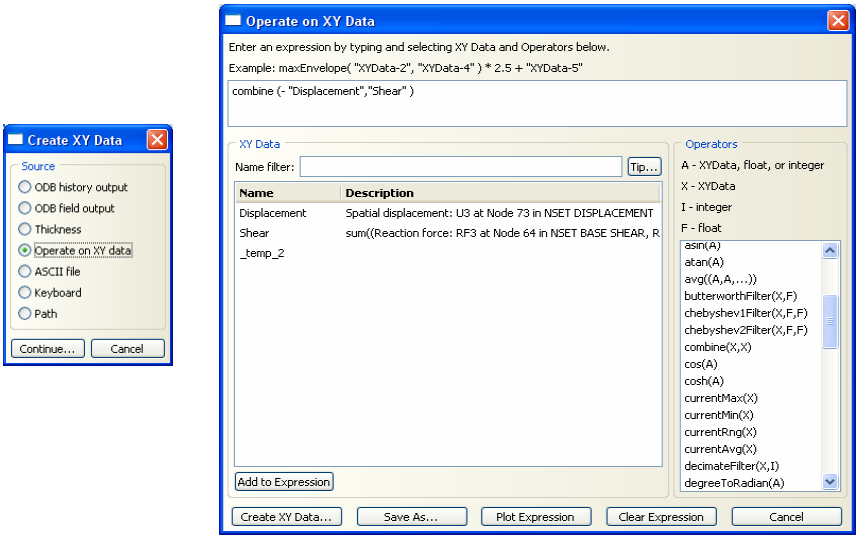
۱۱. برای رسم منحنی برش در برابر تغییرمکان باید با ترکیب داده‌های مرتبط با منحنی‌های فوق ، در نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Create XYData کلیک نمایید.

۱۲. در پنجره باز شده گزینه Operate XY Data را انتخاب کنید. سپس بر روی Continue کلیک کنید.

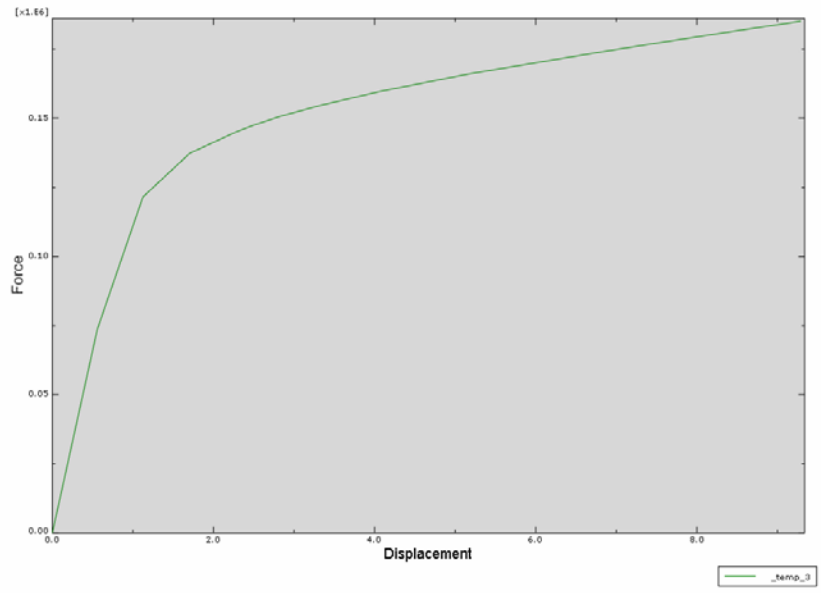
۱۳. در پنجره‌ای که باز می‌شود در بخش Operators گزینه Combine(X,X) را انتخاب کنید. سپس در همین پنجره در بخش XY Data بر روی Displacement دو بار کلیک

کنید و سپس بر روی Shear دو بار کلیک کنید. لازم است یک علامت منفی قبل Displacement ، تایپ نمایید.

۱۴. بر روی Plot Expression کلیک کنید تا منحنی برش تغییرمکان مورد نظر رسم شود.



شکل ۸-۱۲۸- تعریف منحنی برش- تغییرمکان

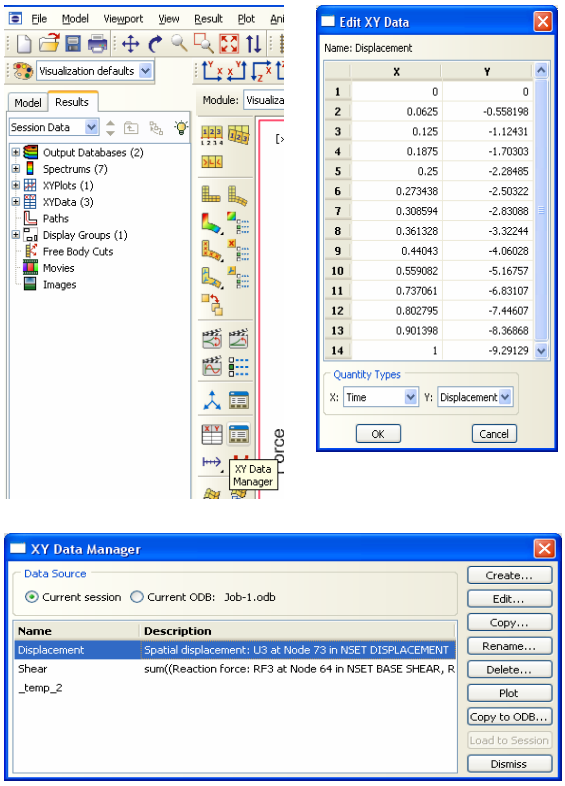


شکل ۸-۱۲۹- نمودار برش پایه تغییرمکان

۱۵. برای مشاهـــده داده‌های ذخـــیره شده در منـــوی ابزار عمـــــودی بر روی گزیـــنه XY Data Manager کلیک کنید.

۱۶. برای دسترسی به تک تک داده‌ها و انتقال آنها به نرم افزارهای دیگر مانند نرم افزار Excel ، پس از انتخاب آنها در این پنجره گزینه Edit را انتخاب کنید.

۱۷. در پنجره‌ای که باز می‌شود می‌توانید داده‌ها را Copy و سپس در نرم افزار دیگر Paste کنید. لازم است به این نکته توجه کنید که قبل از Past کردن نباید پنجره‌ای را که از آن اطلاعات را کپی کرده اید ببندید.



شکل ۸-۱۳۰- نمایش جدولی اطلاعات خروجی استخراج شده

فصل نهم

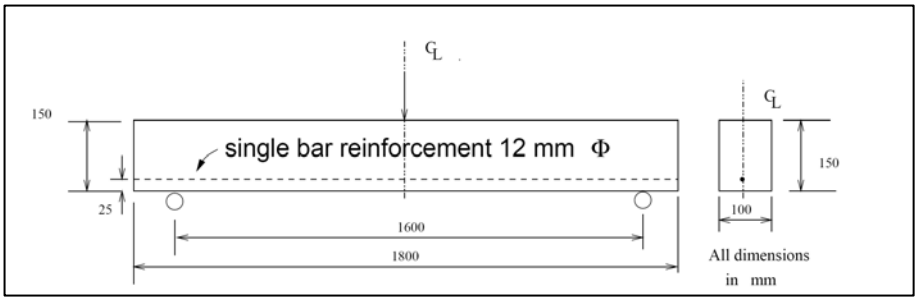
تحلیل تیر بتنی مسلح

۹-۱- مقدمه

در همه مثالهای قبل از برنامه ABAQUS/CAE برای ساختن مدل هندسی، خصوصیات مصالح، بارگذاری و شرایط تکیه گاهی و مش بندی مدل و تحلیل استفاده شده است. در این مثال روش دیگر مدلسازی با استفاده از فایل متنی نشان داده خواهد شد. لازم به توضیح است که مدلسازی سازه‌های بتنی که به دلیل آرماتور داخلی دارای هندسه پیچیده‌ای می‌باشند معمولا با استفاده از فایل متنی انجام می‌شود.

۹-۲-صورت مسئله

یک تیر بتنی با طول ۱۸۰ سانتیمتر و عرض ۱۵ سانتیمتر و ضخامت ۱۰ سانتیمتر را در نظر بگیرید. یک آماتور با قطر ۱۲ میلیمتر در قسمت پایین مقطع تیر و با پوشش ۲/۵ سانتیمتر قرار داده شده است. این تیر تحت اثر دو بار متمرکز ۱۰۰۰۰ نیوتنی در وسط دهانه تیر قرار گرفته است. شکل تیر و محورهای تقارن آن و همچنین شرایط تکیه گاهی آن در شکل ذیل نشان داده شده است. مطلوبست رسم منحنی خیز وسط تیر در برابر بار وارده.



شکل ۹-۱-نتایج حاصل از حل تئوری

۹-۳-مراحل تحلیل

با توجه به اینکه تیر بتنی مورد نظر حول دو محور دارای تقارن است، می‌توان تنها یک چهارم از تیر را مدلسازی کرد. در اینجا باید توجه کرد که به دلیل تقارن، شرایط تکیه گاهی در سمت راست یک چهارم مدل شده تیر به صورت $Ux = Uz = 0$ و دوران حول محور Z برابر صفر است. همچنین شرایط تکیه گاهی در سمت پشت یک چهارم مدل شده تیر به صورت $Uz = 0$ است.

۹-۳-۱-ایجاد فایل متنی ورودی

۱. برنامه Notepad را که یک نرم افزار ویرایشگر متن است باز کنید.
۲. برای اینکه مسیری برای ذخیره از ابتدای شروع مدلسازی به برنامه معرفی شود از منوی بالای صفحه گزینه File و سپس Save As را انتخاب کنید.
۳. برای فایل خود نامی انتخاب کرده و آن را در مسیر دلخواه ذخیره نمایید.

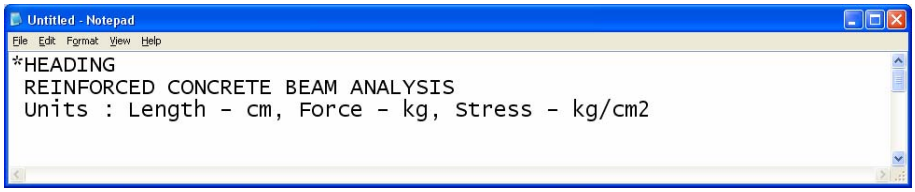
۹-۳-۲- ساختار فایل ورودی

اولین بخش در فایل ورودی باید در برگیرنده تمامی داده‌های مربوط به مدل باشد. این داده‌ها سازه‌ای را که می‌خواهید تحلیل کنید، تعریف می‌کند. این داده‌ها معمولا به دو بخش داده‌های هندسی و داده‌های مشخصات مصالح دسته بندی می‌شوند. در بخش هندسی داده‌ها در سه دسته تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از :

- اطلاعات مربوط به مختصات گره‌ها
- اطلاعات مربوط به اتصال گره‌ها برای ساخت المانها
- خصوصیات مقطع المانها

۹-۳-۲-۱-عنوان مدل

اولین دستور در هر فایل ورودی ABAQUS ، دستور HEADING* است. خطوط داده‌ای که در ادامه دستور HEADING* می‌آیند خطوط متنی هستند که مساله‌ای را که قرار است شبیه سازی شود توصیف می‌کنند. این کار به شما کمک می‌کند تا در هنگام مراجعات بعدی بتوانید سریعا اطلاعات مرتبط با مدل ساخته شده را به یاد آورید. همچنین بهتر است سیستم یکای استفاده شده و محورهای مختصات محلی را نیز در این قسمت ذکر کنید. دستور HEADING* مربوط به این پروژه به صورت ذیل است.



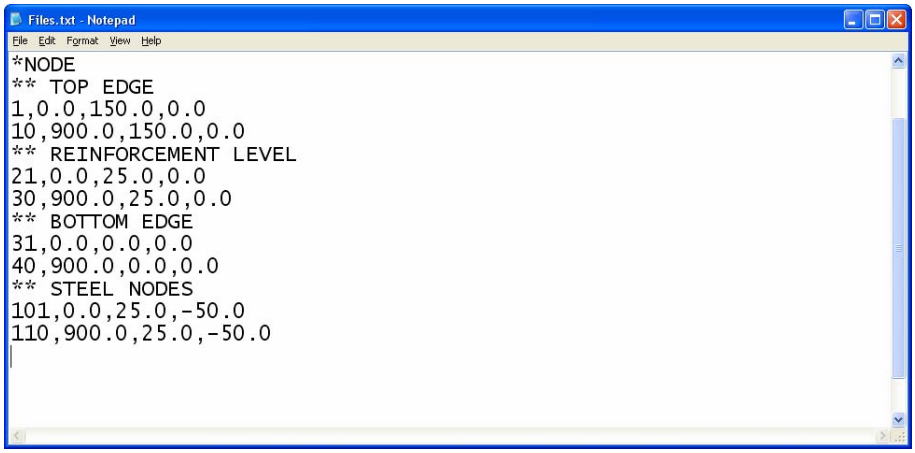
شکل ۹-۲-فایل متنی- دستورات آغاز مدل

۹-۳-۲-۲- ساختن هندسه تیر : اطلاعات مربوط به مختصات گره‌ها

مختصات هر گره را می‌توان بعد از طراحی مش و تعیین روش شماره گذاری نقاط تعریف کرد. برای تعریف مختصات نقاط از دستور NODE* استفاده می‌شود. هر خط داده مربوط به این دستور دارای فرمت ذیل می‌باشد. برای بیان توضیحات در بین دستورها می‌توانید با قرار دادن دو ستاره ** در ابتدای خط داده این خط را از نظر اجرایی بی اثر کنید.

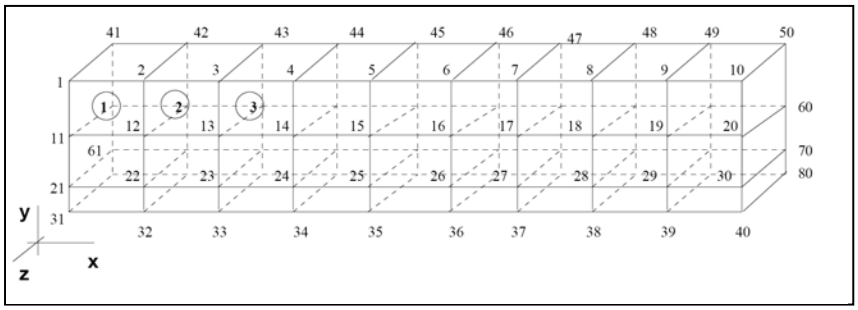
< مختصات گره در جهت محور z>,< مختصات گره در جهت محور y>,< مختصات گره در جهت محور x>,<شماره گره>

NODE* مربوط به این پروژه به صورت ذیل است.



شکل ۹-۳-فایل متنی- دستورات ساخت مختصات گره‌ها

با وارد کردن خطوط داده مختصات گره‌های مرزی سطح جلویی تیر تعریف خواهد شد. کلیه گره‌های تیر در شکل ذیل نشان داده شده است.



شکل ۹-۴- شماره گره‌ها

برای ساخت گره‌ها از دستور NGEN* استفاده می‌شود.

برای راحتی کار نیاز است تا در این مرحله همزمان گره‌های ساخته شده در مجموعه‌ای مشخص قرار داده شود. ساده ترین حالت برای این ساختن مجموعه استفاده از دستور زیر

است. شماره‌های گره اول ، گره آخر و شمارنده گره‌ها که به کمک آن گره‌ها شماره گذاری می‌شوند در خط داده بعد از این دستور آورده می‌شود.

*NGEN, NSET= < نام مجموعه >, GENERATE
< شمارنده گره > ,< شماره گره آخر> , < شماره گره اول>

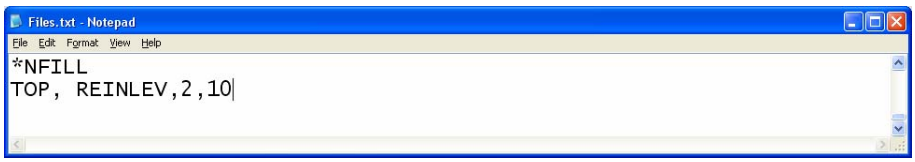
در این مثال نیاز به تعریف چهار مجموعه (SET) با نامهای ST1، TOP، REINLEV و BOTTOM خواهید داشت که به ترتیب ذیل تعریف شده اند.

شکل ۹-۵-فایل متنی- دستورات ساخت مختصات گره‌های جدید

در صورتی که بخواهید بین دو مرز صفحه‌ای تعدادی گره‌های بر روی صفحه متناظر با این مرزها ایجاد کنید از دستور *NFILL استفاده می‌شود. در خط داده بعد از این دستور چهار پارامتر تعیین می‌شود که در خط زیر توضیح داده شده است.

*NFILL
<نام مجموعه گرهی ناحیه مرزی دوم> , < نام مجموعه گرهی ناحیه مرزی اول>,
<تعداد مجموعه نقاطی که بین این دو ناحیه مرزی قرار می‌گیرد+۱>,
<میزان افزایش شماره گره‌ها در هر گام>

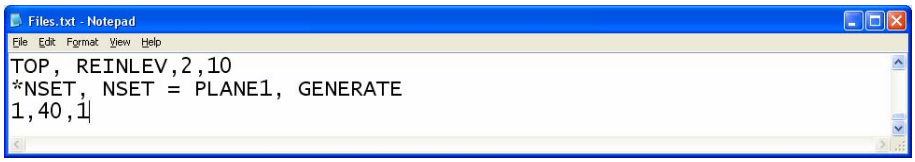
در این مثال مانند شکل زیر از این دستور استفاده شده است.



شکل ۹-۶-فایل متنی- دستورات ساخت مختصات گره‌های بعدی

تا این مرحله گره‌های مورد نیاز صفحه جلویی تیر ساخته شده است. در ادامه در این مثال نیاز بوده تا گره‌های تعریف شده در یک مجموعه قرار گیرند. برای این کار دستور *NSET در

برنامه نوشته شده است که مجموعه نقاط مشخص شده را در مجموعه معرفی شده قرار می‌دهد. در خط داده بعد از این دستور به ترتیب شماره گره اول، شماره گره آخر و میزان افزایش شماره گره‌های در نظر گرفته شده بیان می‌شود.

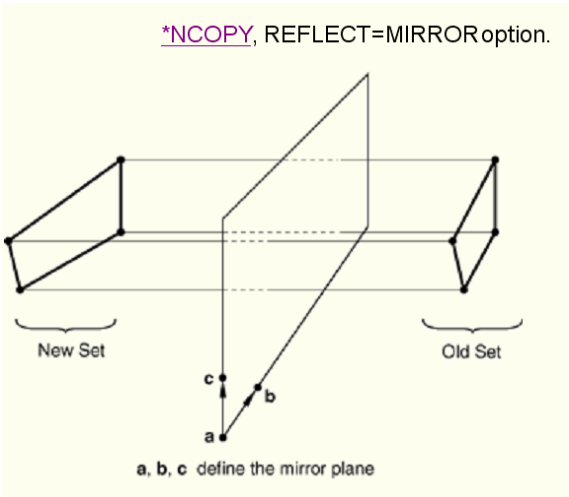


شکل ۹-۷-فایل متنی- دستورات ساخت مجموعه صفحه جلویی تیر

در این مرحله برای ساخت سطح پشتی تیر باید گره‌های واقع بر سطح جلویی را در فاصله مورد نظر که برابر عرض تیر است کپی کنید. برای این منظور از دستور *NCOPY استفاده می‌شود. این دستور دارای زیر دستورهای متعددی است که در اینجا از زیر دستور REFLECT=MIRROR استفاده می‌شود. اطلاعات مرتبط با این دستور در ادامه آورده شده است.

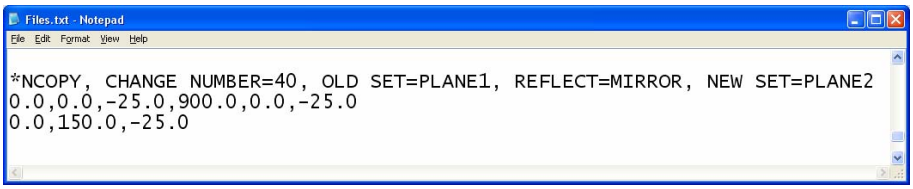
*NCOPY,
CHANGE NUMBER=<میزان افزایش شماره گره‌های جدید در مقایسه با گره‌های متناظر قدیمی>,
OLD SET=< نام مجموعه اولی که می‌خواهید آن را کپی کنید> ,
REFLECT=MIRROR, NEW SET=< نام مجموعه ثانوی که کپی شده است> ,
< مختصات گره a> , < مختصات گرهb> , < مختصات گرهc >

گره‌های a، b و c و مجموعه‌های اولیه و ثانویه برای این دستور در شکل ذیل نشان داده شده است.



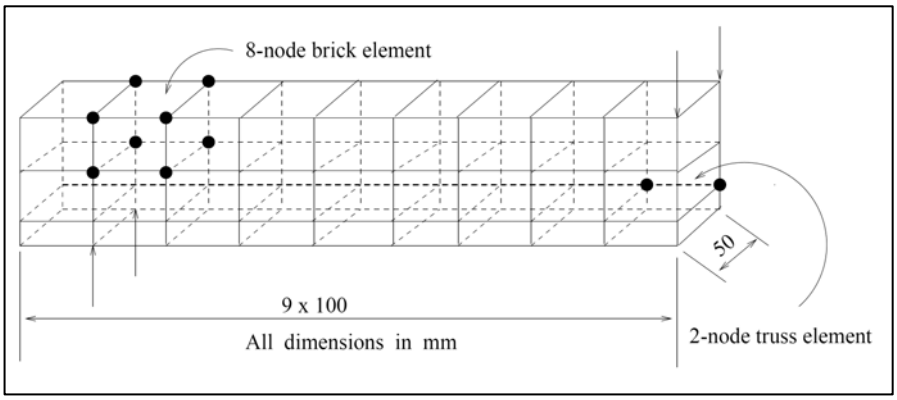
شکل ۹-۸- پیش فرضهای جهات برای انجام دستور کپی

در این مثال این دستور به صورت ذیل به کار برده شده است. با انجام این دستور گره‌های ۴۰ تا ۸۰ نیز ساخته خواهد شد.



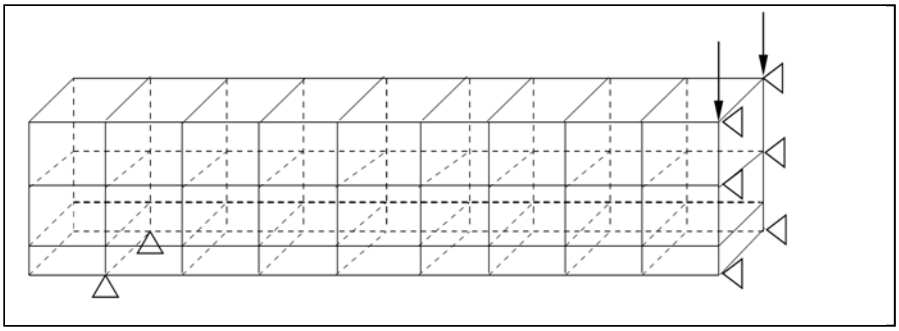
شکل ۹-۹-فایل متنی- دستورات کپی

شکل زیر مش اجزای محدود و نحوه بارگذاری مدل را نشان می‌دهد. از آنجایی که تنها یک چهارم تیر مدلسازی شده است، باری که به مدل وارد شده تنها یک چهارم بار وارده بر تیر اصلی است. نیمی از این مقدار به دو گرهی که در شکل ذیل نشان داده شده، وارد شده است.

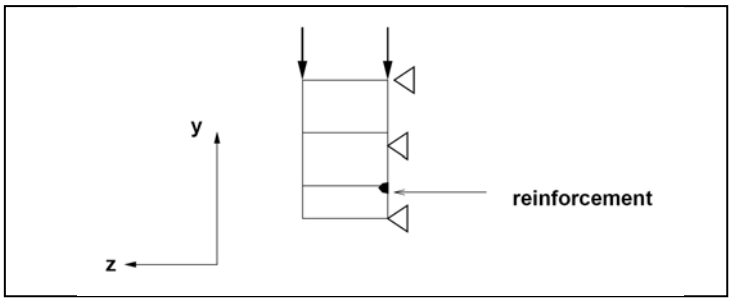


شکل ۹-۱۰- مش اجزای محدود

دو شکل ذیل شرایط مرزی مدل را نشان می‌دهند.



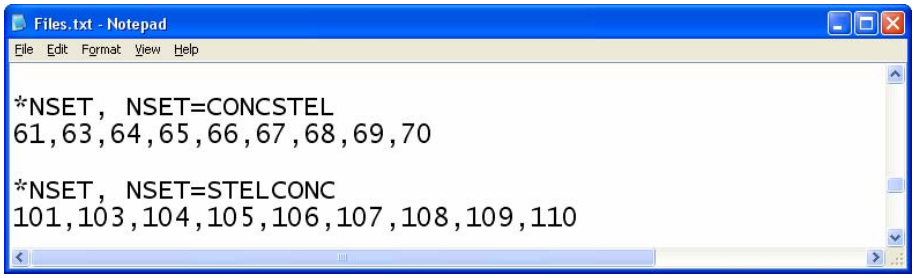
شکل ۹-۱۱- نحوه بارگذاری مدل و محل تکیه گاه‌ها



شکل ۹-۱۲- نحوه بارگذاری مدل و محل تکیه گاه‌ها

۹-۳-۲-۳- ساختن هندسه تیر : اطلاعات مربوط به المانها

برای تعریف المانهای تیر ابتدا می‌بایست دو مجموعه از گره‌ها (SET) در برنامه تعریف شوند. مجموعه اول شامل گره‌هایی است که بین بتن و آرماتورها مشترک هستند و CONCSTEL نام گذاری شده است. این مجموعه با استفاده از دستور زیر تعریف می‌شود.



شکل ۹-۱۳- فایل متنی- تعریف مجموعه‌های جدید از گره‌ها

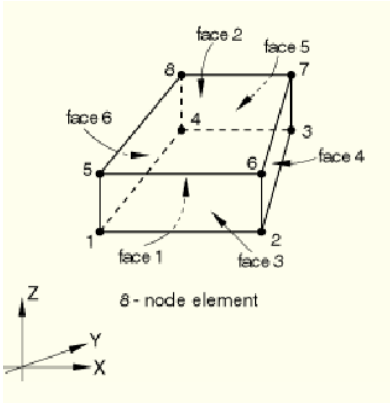
مجموعه دوم شامل گره‌های آرماتورها است. این مجوعه با نام STELCONC نام گذاری شده است. برای تعریف این مجموعه از دستور زیر استفاده می‌شود. باید توجه کرد که موقعیت مختصاتی گره‌های این دو مجموعه یکسان است. با این حال دو مجموعه از گره‌ها در این مختصات‌ها وجود دارند. دلیل این امر در ادامه مشخص خواهد شد. اگر هیچگونه لغزش نسبی بین بتن و المان لغزشی (که بعدا تعریف می‌شود) وجود نداشته باشد یعنی سطح تماس دارای رفتار کاملا مقید باشد، در آن صورت دیگر نیازی به تعریف دو گره در یک مختصات یکسان نخواهد بود.

حذف گره ۱۰۲ و گره متناظر آن یعنی گره ۶۲ از مجموعه‌های مربوطه عمدی است. گره ۱۰۲ یک گره ثابت است و به عنوان نقطه مرجع مورد استفاده قرار می‌گیرد.

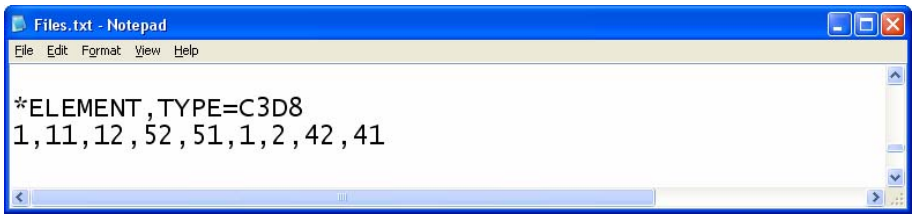
برای تعریف المانها از دستور ELEMENT* استفاده می‌شود. شکل این دستور در زیر نشان داده شده است. پس از دستور باید نوع المان و در خط داده بعد از این دستور شماره گره‌هایی که این المان را تشکیل می‌دهد، تعریف شود.

* ELEMENT, TYPE = < نام المان >
< شماره گره آخر> ,... ,< شماره گره دوم> , < شماره گره اول>

دستورات زیر المان بتن مرجع را تعریف کرده و تمام المانهای بتنی را می‌سازد. المانهای ۸ گرهی (C3D8) برای مدلسازی بتن مورد استفاده قرار گرفته است. شکل این المان و ترتیب شماره گذاری آنها در شکل ذیل نشان داده شده است.



شکل ۹-۱۴- شکل المان هشت گرهی



شکل ۹-۱۵- فایل متنی- تعریف المان تیر

برای ساخت و قرار دادن المانها در مجموعه از دستور *ELGEN, ELSET استفاده می‌شود. نحوه استفاده از این دستور به صورت ذیل می‌باشد.

* ELGEN, ELSET = < نام مجموعه >
< شماره المان مرجع>,
< تعداد المانهایی که باید در ردیف اول تولید شوند که المان مرجع نیز در محاسبه این تعداد منظور می‌شود>,
< میزان افزایش شماره گره‌های متناظر در دو المان کنار هم در یک ردیف، پیش فرض برابر ۱> ,
< میزان افزایش شماره المانها در یک ردیف، پیش فرض برابر ۱> ,

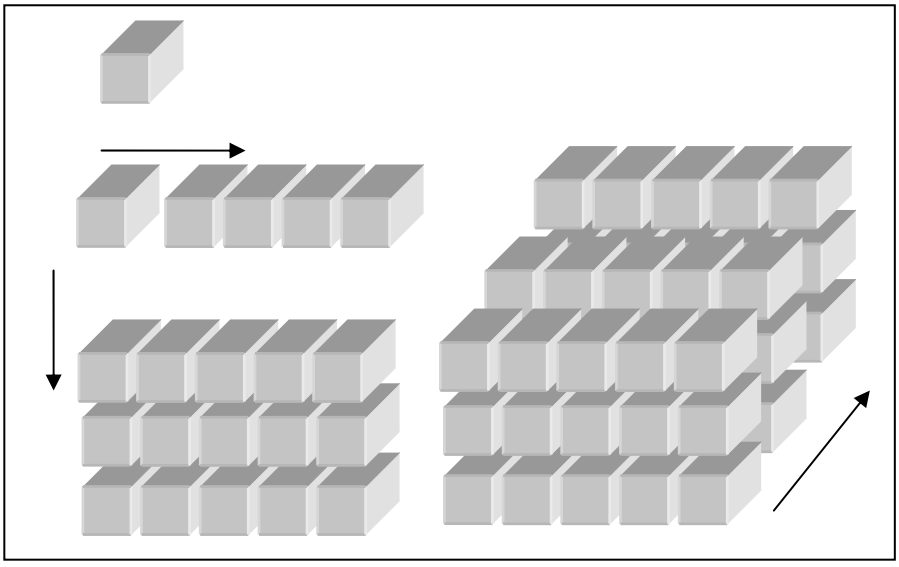
اگر لازم باشد می‌توان ردیف ساخته شده را به عنوان ردیف مرجع برای ایجاد یک لایه از المانها مورد استفاده قرار داد. در این صورت باید در ادامه خط داده به ترتیب موارد زیر نیز وارد شود.

,< تعداد ردیفهایی که باید در این لایه تولید شوند که ردیف مرجع نیز در محاسبه این تعداد منظور می‌شود>
, < میزان افزایش شماره گره‌های متناظر در دو ردیف کنار هم در یک لایه، پیش فرض برابر ۱>
< میزان افزایش شماره المانها از یک ردیف به ردیف دیگر، پیش فرض برابر ۱>

اگر لازم باشد می‌توان لایه ساخته شده را به عنوان لایه مرجع برای ایجاد یک بلوک از المانها مورد استفاده قرار داد. در این صورت باید در ادامه خط داده به ترتیب موارد زیر نیز وارد شود.

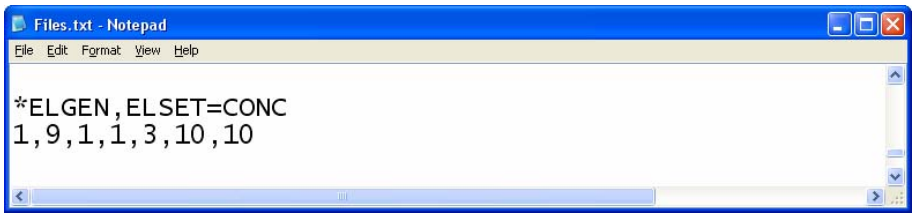
,< تعداد لایه‌هایی که باید در این بلوک تولید شوند که لایه مرجع نیز در محاسبه این تعداد منظور می‌شود>
, < میزان افزایش شماره گره‌های متناظر در دو لایه کنار هم در یک بلوک، پیش فرض برابر ۱>
< میزان افزایش شماره المانها از یک لایه به لایه دیگر، پیش فرض برابر ۱>

در شکل زیر نحوه ساختن ردیف المانها از المان مرجع، نحوه ساخت لایه از ردیف مرجع و نیز نحوه ساخت بلوک از لایه مرجع نشان داده شده است.



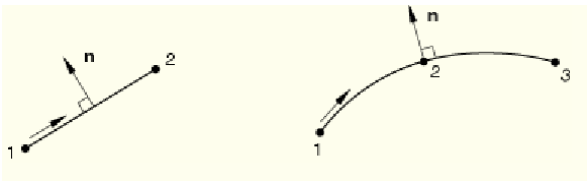
شکل ۹-۱۶- نحوه ساختن ردیف المانها از المان مرجع، نحوه ساخت لایه از ردیف مرجع و نیز نحوه ساخت بلوک از لایه مرجع

در ادامه تمامی این المانهای تیر مورد ساخته شده و به کمک دستور زیر در مجموعه CONC قرار داده شده اند.



شکل ۹-۱۷- فایل متنی- تعریف مجموعه از المانها

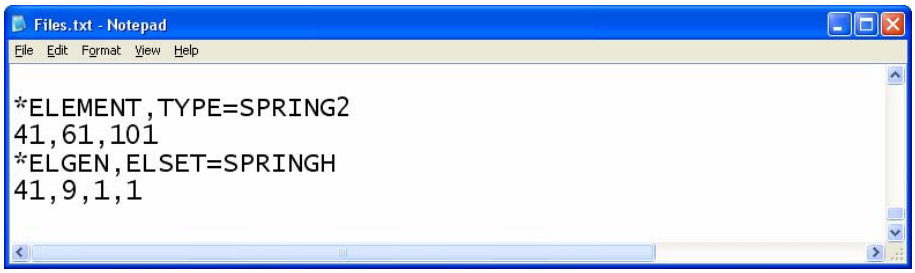
تا اینجا المانهای مورد نیاز بتنی ساخته شده‌اند، در ادامه باید المانهای مربوط به آرماتورهای فولادی را تولید نمایید. برای این کار ابتدا یک المان مرجع (المان ۳۱) به صورت یک المان خرپای دوگرهی (T2D2) تعریف می‌شود. تمامی المانهای آرماتور از روی این المان ساخته و در مجموعه‌ای به نام STEEL قرار داده می‌شوند. المان دو گرهی و دستورهای وارده به برنامه در ادامه نشان داده شده است.



شکل ۹-۱۸- المان دو گرهی

شکل ۹-۱۹- فایل متنی- تعریف المان آرماتور

برای تعریف المان تماس بین آرماتور و بتن، از المانهای فنری استفاده می‌شود. هر جفت از گره‌ها توسط یک فنر به یکدیگر متصل می‌شوند. برای مثال گره‌های ۶۱ و ۱۰۱ توسط المان فنری (المان۴۱) به یکدیگر متصل می‌شوند. سپس تمامی المانهای فنری در داخل مجموعه‌ای با نام SPRINGH قرار داده می‌شوند. شکل این دستور در فایل متنی به صورت ذیل می‌باشد.



شکل ۹-۲۰- فایل متنی- تعریف المان فنر

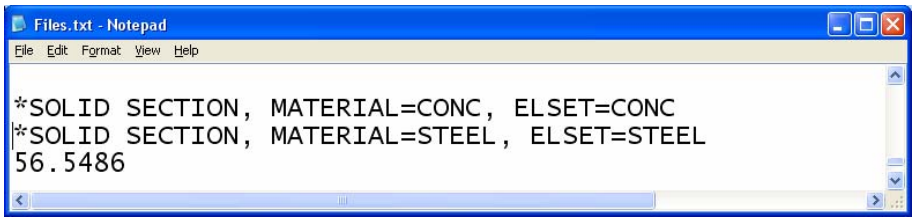
۹-۳-۲-۴- اختصاص خصوصیات المانها

در این مرحله خصوصیات المانها برای تیر و آرماتور داخل آن مشخص می‌شود. برای المانهای سه بعدی از دستور SOLID SECTION* بدون هیچ خط داده‌ای استفاده می‌شود.

* SOLID SECTION, MATERIAL = < نام مصالح >, ELSET=<نام مجموعه>

برای المان T2D2 نیز با استفاده از دستور بالا می‌توان خصوصیات المان را تعریف نمود با این تفاوت که مساحت سطح مقطع باید در خط داده وارد شود.

در این مثال آرماتوری با قطر ۱۲ میلیمتر مورد استفاده قرار گرفته است که تنها نصف سطح مقطع آن به عنوان سطح مقطع در برنامه وارد شده است. شکل دستورهای استفاده شده در این فایل متنی در ذیل آورده شده است.



شکل ۹-۲۱- فایل متنی- تعریف سطح مقطع تیر و آرماتور آن

همانطور که مشاهده می‌شود در این دستور نوع مصالح و مجموعه CONC اختصاص داده می‌شود. مجموعه CONC قبلا تعریف شده اما مصالح CONC قبلا تعریف نشده و در ادامه تعریف خواهد شد. این مساله در مورد STEEL هم صادق است.

۹-۳-۲-۵- تعریف و اختصاص خصوصیات المان فنر

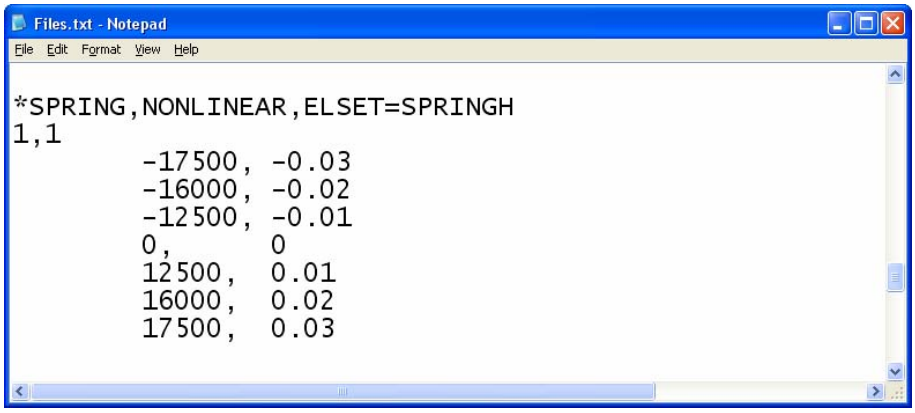
برای معرفی رفتار المان تماس که بصورت فنر مدل شده است از دستور SPRING* استفاده می‌شود. این دستور برای تعریف سختی المان فنر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مجموعه‌ای از فنرها که این خصوصیات به آنها اختصاص داده خواهد شد باید قبلا در مجموعه جداگانه‌ای

تعریف شده و قرار گرفته باشند. با استفاده از گزینه NONLINEAR در این خط دستور می‌توان سختی فنر(نسبت نیروی وارده به تغییرمکان ایجاد شده در فنر) را به صورت غیرخطی تعریف کرد.

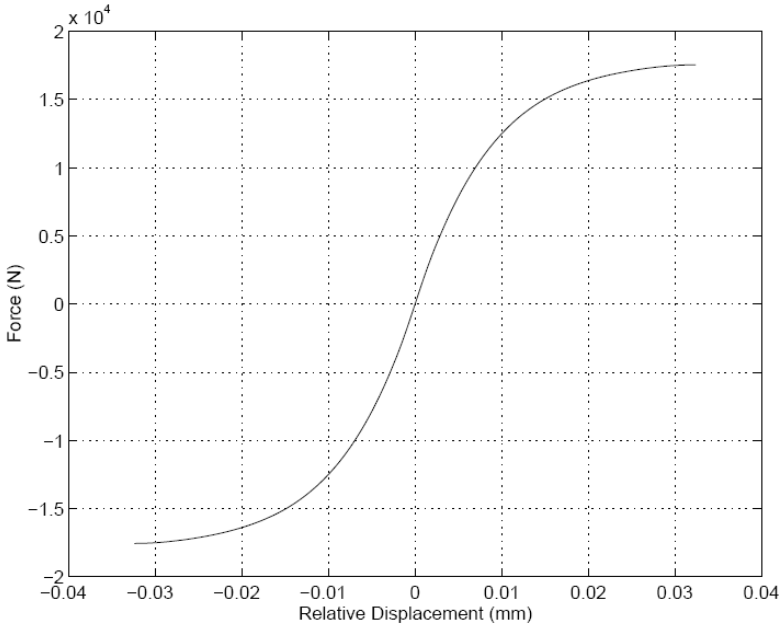
*SPRING, NONLINEAR, ELSET=<نام مجموعه فنرها>
< درجه آزادی مربوط به گره دوم> ,< درجه آزادی مربوط به گره اول>
<تغییرمکان متناظر با نیروی وارده> ,< نیروی وارده به فنر>
<تغییرمکان متناظر با نیروی وارده> ,< نیروی وارده به فنر>
<تغییرمکان متناظر با نیروی وارده> ,< نیروی وارده به فنر>
..... , ...

چون المان انتخاب شده در اینجا از نوع SPRING2 است، در خط داده بعد از این دستور درجه آزادی مربوط به فنر در اولین و دومین مجموعه گره آورده می‌شود. در سایر المانهای فنر نیازی به تعریف درجه آزادی گره دوم وجود ندارد.

در این مثال این دستور به صورت زیر نوشته می‌شود. برای تعریف سختی غیرخطی فنر از منحنی شکل زیر استفاده می‌شود.



شکل ۹-۲۲- فایل متنی- تعریف خصوصیات فنر غیرخطی



شکل ۹-۲۳- منحنی نیرو-تغییرمکان فنر غیرخطی

۹-۳-۲-۶- تعریف خصوصیات مصالح

همانطور که قبلا اشاره شد، مصالح بتن و آرماتور باید در این مرحله تعریف شود. برای شروع به تعریف خصوصیات مصالح از دستور MATERIAL* به صورت زیر استفاده می‌شود.

*MATERIAL, NAME=<نام مصالح>

برای تعریف ویژگی‌های ارتجاعی از دستور ELASTIC* به صورت زیر استفاده می‌شود. در این دستور مدول الاستیسیته و ضریب پوآسون مصالح تعریف می‌شود.

*ELASTIC
< ضریب پوآسون > ,< مدول الاستیسیته >

برای مصالح بتنی باید از دستور CONCRETE* استفاده کرد. در این دستور مقدار مطلق تنش فشاری و کرنش پلاستیک بتن تعریف می‌شود.

* CONCRETE
< کرنش پلاستیک > ,< تنش فشاری>
< کرنش پلاستیک > ,< تنش فشاری>
..... ,.....

دستورات دیگری که برای تعریف سایر مشخصات مربوط به رفتار مصالح بتنی به کار گرفته می‌شوند در ادامه بیان خواهد شد. یکی از این دستورات FAILURE RATIO* است که برای تعریف دو نسبت تنش فشاری دومحوری نهایی به تنش فشاری تک محوری و نسبت تنش کششی تک محوری به تنش فشاری تک محوری در نقطه گسیختگی به کار گرفته می‌شود. مقدار پیش فرض نسبت اول در نرم افزار برابر ۱/۱۶ است.

*FAILURE RATIO
<نسبت تنش فشاری دومحوری نهایی به تنش فشاری تک محوری>,
<نسبت تنش کششی تک محوری به تنش فشاری تک محوری >

دستور دیگری که برای تعریف سخت شوندگی کششی به کار برده می‌شود دستور TENSION STIFFENING* است. اولین پارامتر نسبت تنش باقی مانده به تنش در نقطه شروع ترک خوردگی است. پارامتر دوم مقدار قدر مطلق تفاضل کرنش مستقیم و کرنش مستقیم در نقطه شروع ترک خوردگی می‌باشد. این پارامترها تنش کششی باقی مانده در جهت عمود بر ترک را به صورت تابعی از تغییر شکل در جهت عمود بر ترک معرفی می‌کنند.

*TENSION STIFFENING
<نسبت تنش باقی مانده به تنش در نقطه شروع ترک خوردگی>,
<قدر مطلق تفاضل کرنش مستقیم و کرنش مستقیم در نقطه شروع ترک خوردگی>

دستور بعدی، دستور SHEAR RETENTION* است که برای توصیف کاهش مدول برشی مربوط به سطح ترک به عنوان تابعی از کرنش کششی در طول ترک به کار گرفته می‌شود. دو پارامتری که در خطوط بعد از این دستور به کار برده می‌شوند عبارتند از : ρ^{close} و ε^{max} برای بتن خشک.

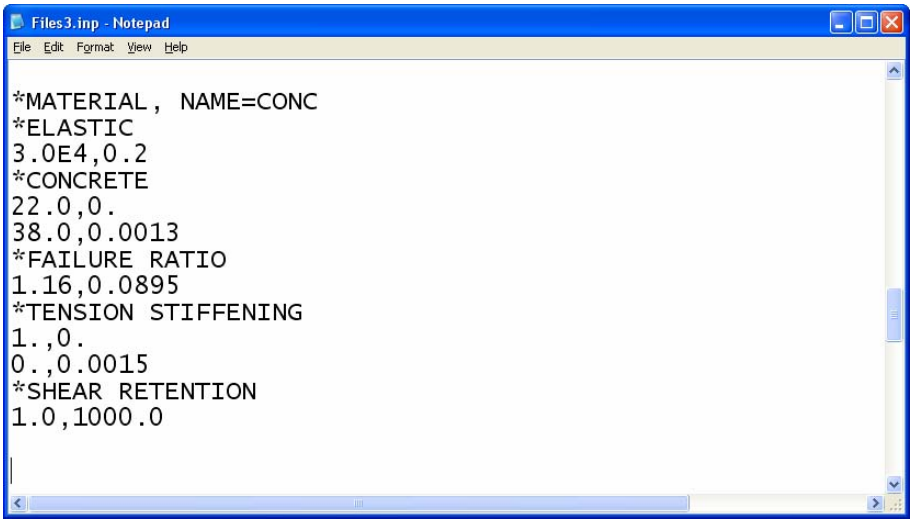
دستور SHEAR RETENTION برای تعریف ضریب ρ که مدول برشی ترک‌ها را با فرمول $\hat{G} = \rho G$ و مقدار مدول برشی الاستیک بتن ترک نخورده G محاسبه می‌کند. مدل SHEAR RETENTION در این نرم افزار فرض می‌کند که سختی برشی ترکهای باز شده با افزایش میزان بازشدگی ترک تا مقدار صفر به طور خطی کاهش پیدا می‌کند. مقادیر این پارامترها با استفاده از فرمولهای زیر محاسبه می‌شود.

$$\rho = (1 - \varepsilon / \varepsilon^{\max}) \quad for \quad \varepsilon < \varepsilon^{\max}, \quad \rho = 0 \qquad for \quad \varepsilon \geq \varepsilon^{\max}$$

$$\rho = \rho^{close} \qquad for \quad \varepsilon < 0$$

*SHEAR RETENTION
$<\rho^{close}>, <\varepsilon^{max}>$

برای این مثال دستورات ذکر شده در بالا بصورت زیر است.

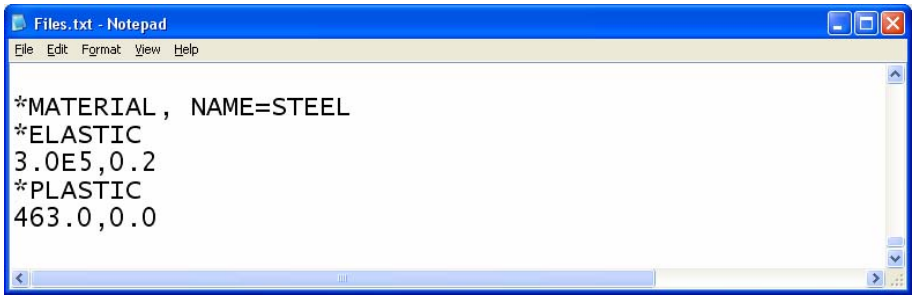


شکل ۹-۲۴- فایل متنی- تعریف خصوصیات مصالح بتن

برای شروع به تعریف مصالح فولادی برای آرماتورها همانطور که قبلا اشاره شد از دستور *MATERIAL استفاده می‌شود. برای وارد کردن ویژگی‌های ارتجاعی از دستور *ELASTIC استفاده می‌شود. برای وارد کردن ویژگی‌های غیر ارتجاعی از دستور *PLASTIC به صورت ذیل استفاده می‌شود.

*PLASTIC
< کرنش پلاستیک> ,<تنش جاری شدن>

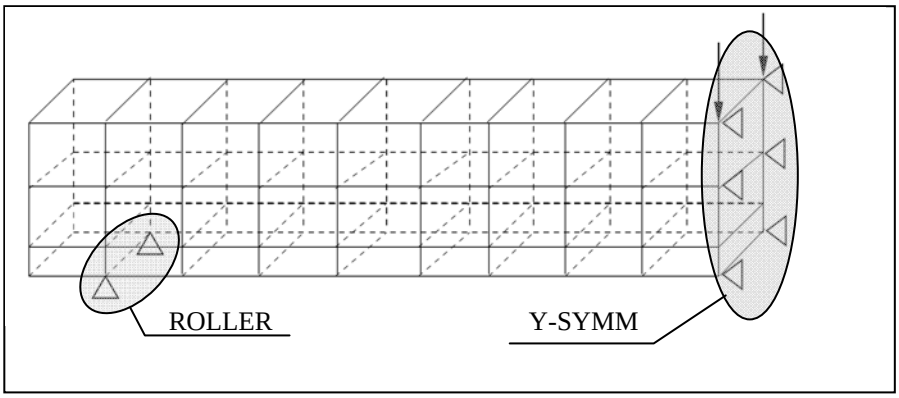
در این مثال ویژگی‌های فولاد به صورت زیر تعریف می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود رفتار فولاد به صورت دو خطی (الاستیک- پلاستیک کامل) تعریف شده است.



شکل ۹-۲۵- فایل متنی- تعریف خصوصیات مصالح فولاد

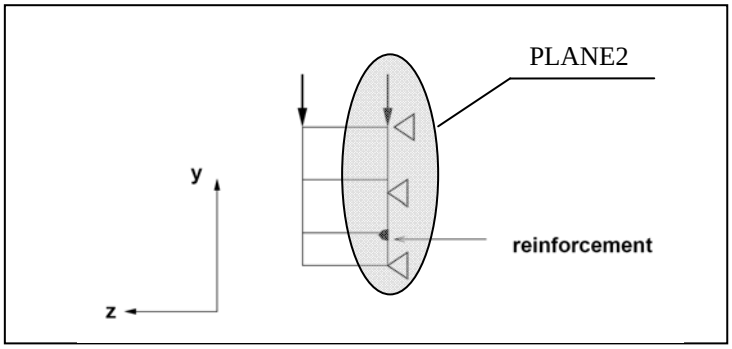
۹-۳-۲-۷- تعریف شرایط مرزی

در این مرحله باید شرایط مرزی و تکیه گاهی مرتبط با تیر را تعریف نمایید . برای این منظور ابتدا باید چندین مجموعه گره تعریف نمود. یکی از این مجموعه گره‌ها، با نام Y-SYMM برای تعریف شرایط مرزی برای گره‌هایی که بر روی محور تقارن قرار گرفته اند و تغییرمکان آنها در جهت X برابر صفر است به کار برده شده است. مجمعه دیگری با نام ROLLER تعریف شده که محتوی گره‌های ۳۲ و ۷۲ است که تغییر مکان عمودی (جهت Y) آنها برابر صفر است. این مجموعه‌ها در شکل ذیل نشان داده شده اند.

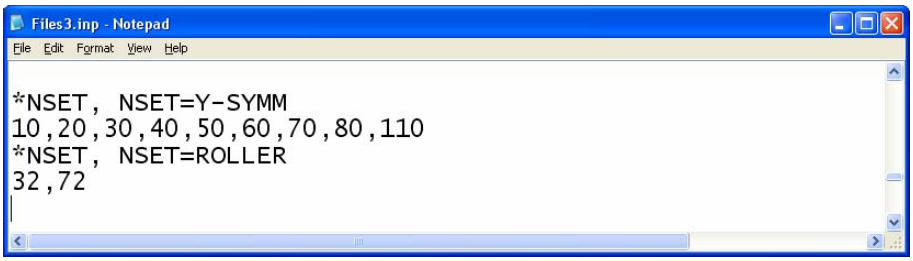


شکل ۹-۲۶- شرایط مرزی (تکیه گاه‌ها)

گره‌های عضو مجموعه PLANE2 بر روی محور تقارن قرار دارند و بنابراین جابجایی آنها در جهت Z برابر صفر است. گره‌هایی که در طول آرماتور قرار دارند نیز در این صفحه تقارن قرار دارند و بنابراین جابجایی آنها در جهت Z برابر صفر است.



شکل ۹-۲۷- شرایط مرزی (تکیه گاه‌ها)

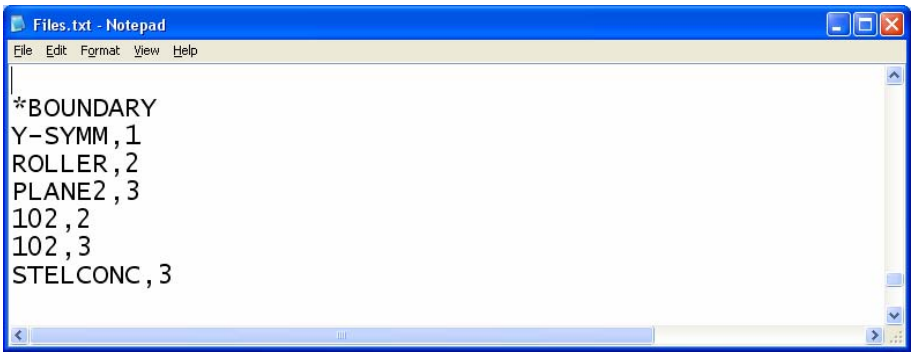


شکل ۹-۲۸- فایل متنی- تعریف مجموعه‌هایی که شرایط مرزی در آنها تعریف می‌شود

برای تعریف شرایط مرزی از دستور *BOUNDARY استفاده می‌شود. در خط داده پس از این دستور نام مجموعه و شماره درجه آزادی که گره‌های این مجموعه باید در آن مقید شوند آورده می‌شود.

*BOUNDARY
<نام مجموعه>, <شماره درجه آزادی مقید شده>

در مورد مثال تیر بتنی، این دستور مطابق شکل زیر به کار برده می‌شود.



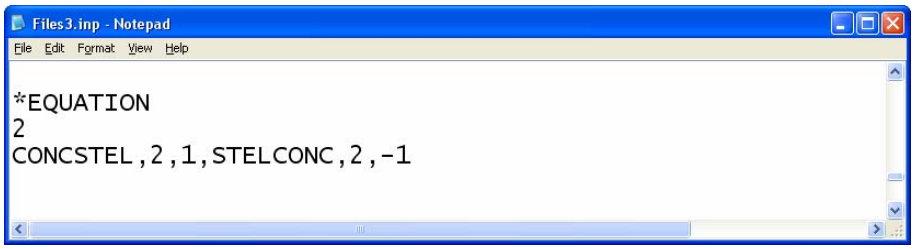
شکل ۹-۲۹- فایل متنی- تعریف شرایط مرزی

علاوه بر تکیه گاه‌ها و شرایط مرزی مرتبط با تقارن، شرط مرزی دیگری نیز بین آرماتور و بتن وجود دارد که باید تعریف شود. فرض شده است که گره‌هایی که مجموعه آرماتور را می‌سازد و گره‌های متناظر با آنها در بتن تغییر مکان یکسانی در جهت عمودی (جهت Y) داشته باشند. برای تعریف این مورد از دستور *EQUATION استفاده می‌شود. در این مثال به کمک این دستور معادله‌ای با دو پارامتر تعریف می‌شود که این دو پارامتر درجات آزادی دوم نقاط متناظر در دو مجموعه می‌باشند. این معادله را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$u_2^1 - u_2^{101} = 0$$

*EQUATION
<تعداد پارامترها>
,< ضریب پارامتر اول > ,<درجه آزادی مربوط به پارامتر اول > ,<نام مجموعه مربوط به پارامتر اول>
< ضریب پارامتر دوم > ,<درجه آزادی مربوط به پارامتر دوم > ,<نام مجموعه مربوط به پارامتر دوم>

در این مثال این دستور به صورت زیر در فایل متنی نوشته می‌شود.



شکل ۹-۳۰- فایل متنی- تعریف شرایط مرزی با استفاده از معادله

۹-۳-۲-۸- تعریف مراحل تحلیل

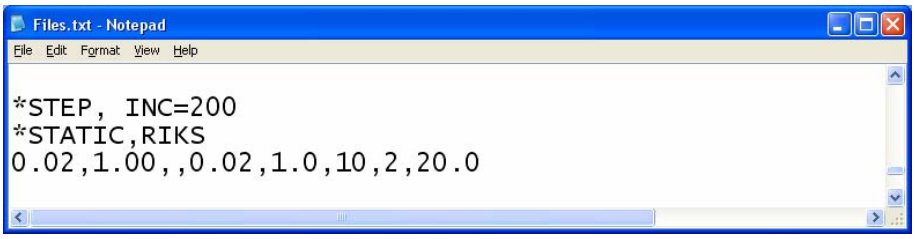
در این مرحله می‌بایست مراحل تحلیل را برای مدل تعریف نمایید. دستور *STEP برای شروع به تعریف مرحله‌های تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از گزینه‌هایی که می‌تواند به همراه این دستور مورد استفاده قرار گیرد، گزینه INC است که حداکثر تعداد نموهای تحلیل را به برنامه معرفی می‌کند. مقدار پیش فرض تعداد نموها برابر ۱۰۰ است.

*STEP, INC = <تعداد نموها>

دستور بعدی که مورد استفاده قرار می‌گیرد دستور *STATIC است. این دستور مشخص می‌کند که تحلیل باید به صورت استاتیکی انجام شود. گزینه RIKS به همراه این دستور مورد استفاده قرار گرفته است زیرا این مثال یک مساله غیرخطی است و امکان ایجاد ناپایداری وجود خواهد داشت.

*STATIC, RIKS
,<حداکثر میزان نمو> ,<حداقل میزان نمو> ,<بازه زمانی تحلیل> ,<میزان نمو اولیه >
,<شماره گرهی که میزان تغییرمکان در آن کنترل می‌شود> ,< حداکثر میزان ضریب نسبت بار>
<مقدار جابجایی نهایی> ,<درجه آزادی که جابجایی در آن اعمال می‌شود>

در این مثال دستورات ذکر شده به صورت زیر در فایل متنی نوشته می‌شود.



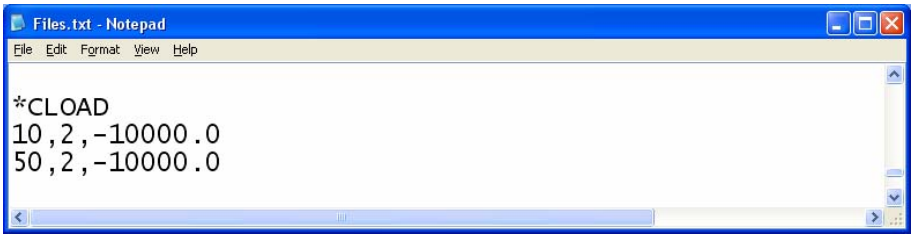
شکل ۹-۳۱- فایل متنی- تعریف پارامترهای تحلیل

۹-۳-۲-۸-۱- تعریف بارگذاری

برای تعریف بارگذاری در مدل ساخته شده از دستور *CLOAD به صورت زیر استفاده می‌شود.

*CLOAD
<بزرگی بار > ,<درجه آزادی امتداد بار > ,<شماره گرهی که بار متمرکز در آن وارد می‌شود >

در این مثال دستور ذکر شده به صورت زیر در فایل متنی نوشته می‌شود.



شکل ۹-۳۲- فایل متنی- تعریف بارگذاری

۹-۳-۲-۸-۲- تعریف خروجی‌ها

در این مرحله باید خروجی‌هایی را که بعد از تحلیل به آنها احتیاج دارید به نرم افزار معرفی کنید. برای تعریف خروجی‌هایی که باید به صورت جدولی از گره‌ها در فایل اطلاعات خروجی گرفته شود از دستور *NODE PRINT استفاده می‌شود. در این حالت، این فایل از طریق برنامه و با ابزار VISUALIZATION قابل دسترسی و نمایش خواهد بود. اگر به همراه این دستور از گزینه NSET استفاده شود اطلاعات خروجی درخواست شده مربوط به کلیه گره‌های موجود در مجموعه‌ای که نام آن بعد از NSET آورده می‌شود در فایل خروجی ذخیره می‌شود. اگر به همراه این دستور از گزینه FREQUENCY=1 استفاده شود اطلاعات خروجی درخواست در تمامی نموها در فایل خروجی ذخیره می‌شود. چنانچه این مقدار بزرگتر از ۱ قرار داده شود، اطلاعات مربوط به تعدادی از نموها در فایل خروجی نوشته نخواهد شد.

*NODE PRINT, NSET=<نام مجموعه>, FREQUENCY=<تعداد>
<نوع خروجی درخواستی>

برای تعریف خروجی‌هایی که باید از گره‌ها در فایل اطلاعات خروجی گرفته شود از دستور *NODE FILE استفاده می‌شود. در این حالت اطلاعات خروجی در یک فیلی با پسوند (*.FIL) ذخیره می‌شود. اگر به همراه این دستور از گزینه NSET استفاده شود اطلاعات خروجی درخواست شده مربوط به کلیه گره‌های موجود در مجموعه‌ای که نام آن بعد از NSET آورده می‌شود در فایل خروجی ذخیره می‌شود. اگر به همراه این دستور از گزینه FREQUENCY=1 استفاده شود اطلاعات خروجی درخواست در تمامی نموها در فایل خروجی ذخیره می‌شود. چنانچه این مقدار بزرگتر از ۱ قرار داده شود، اطلاعات مربوط به تعدادی از نموها در فایل خروجی نوشته نخواهد شد.

*NODE FILE, NSET=<نام مجموعه>, FREQUENCY=<تعداد>
<نوع خروجی درخواستی>
برای تعریف خروجی‌هایی که باید به صورت جدولی از المانها در فایل اطلاعات خروجی گرفته شود از دستور *EL PRINT استفاده می‌شود. اگر به همراه این دستور از گزینه FREQUENCY=1 استفاده شود اطلاعات خروجی درخواست در تمامی نموها در فایل خروجی ذخیره می‌شود. چنانچه این مقدار بزرگتر از ۱ قرار داده شود، اطلاعات مربوط به تعدادی از نموها در فایل خروجی نوشته نخواهد شد.

*EL PRINT, FREQUENCY=<تعداد>
<نوع خروجی درخواستی>

برای تعریف خروجی‌هایی که باید از گره‌ها در فایل اطلاعات خروجی گرفته شود از دستور *EL FILE استفاده می‌شود. اگر به همراه این دستور از گزینه FREQUENCY=1 استفاده شود اطلاعات خروجی درخواست در تمامی نموها در فایل خروجی ذخیره می‌شود. چنانچه این مقدار بزرگتر از ۱ قرار داده شود، اطلاعات مربوط به تعدادی از نموها در فایل خروجی نوشته نخواهد شد.

*EL FILE, FREQUENCY=<تعداد>
<نوع خروجی درخواستی>

مهمترین نوع خروجی‌ها درخواستی برای گره‌ها عبارتند از :

U : تغییرمکانها

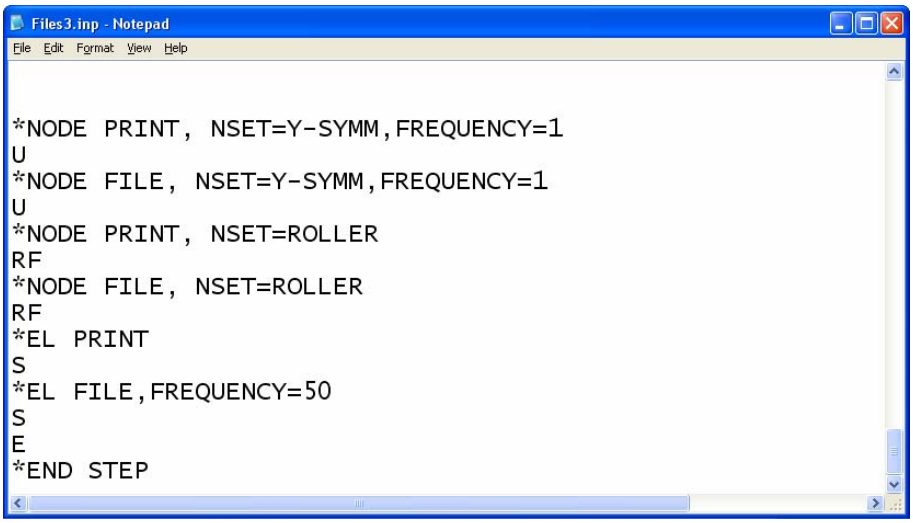
S : تنشها

RF : واکنشهای تکیه گاهی

E : کرنشها

پس از اتمام کلیه خروجی‌های مورد نظر باید برای خارج شدن از دستور STEP ، دستور END STEP* را در فایل وارد نمایید.

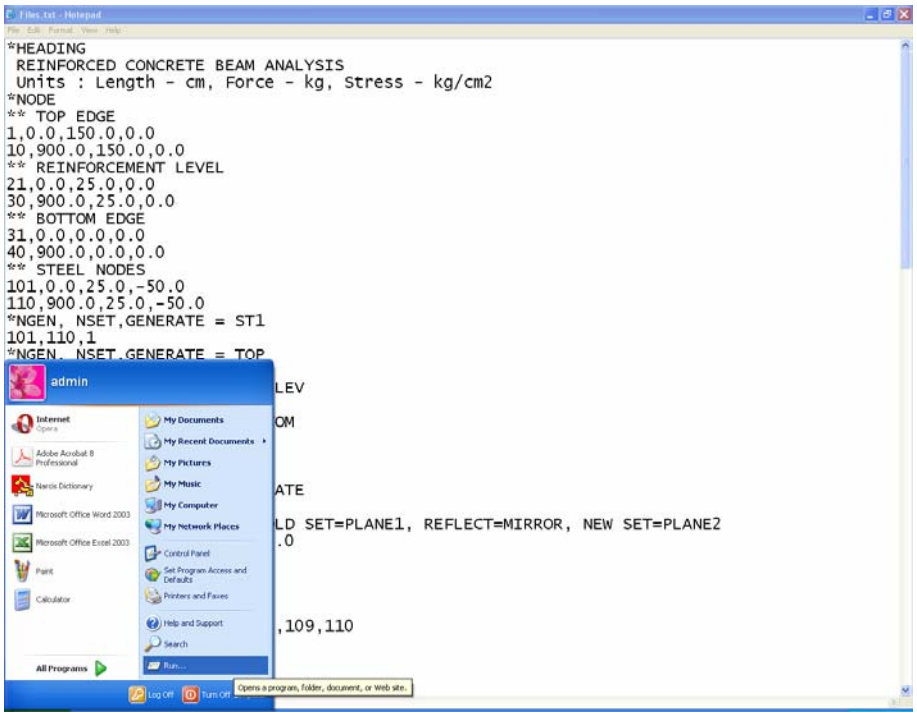
در این مثال دستورات فوق به صورت ذیل در فایل متنی نوشته شده اند.



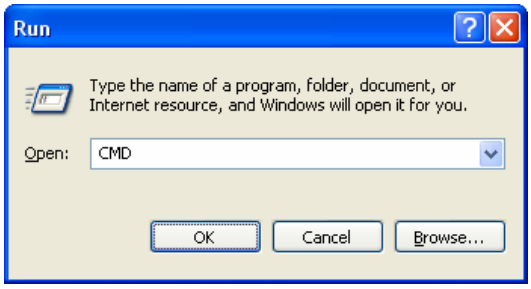
شکل ۹-۳۳- فایل متنی- تعریف خروجی‌های مورد نیاز

۹-۳-۳- نحوه تحلیل فایل ساخته شده در برنامه ABAQUS

برای تحلیل فایل متنی ساخته شده باید وارد سیستم عامل DOS شوید. ابتدا باید مطابق شکل ذیل از منوی پایین صفحه در صفحه Desktop کامپیوتر گزینه Start و سپس گزینه Run را انتخاب نمایید. سپس در پنجره Run که باز می‌شود، نام برنامه که می‌خواهید باز شود (CMD) را وارد نمایید.



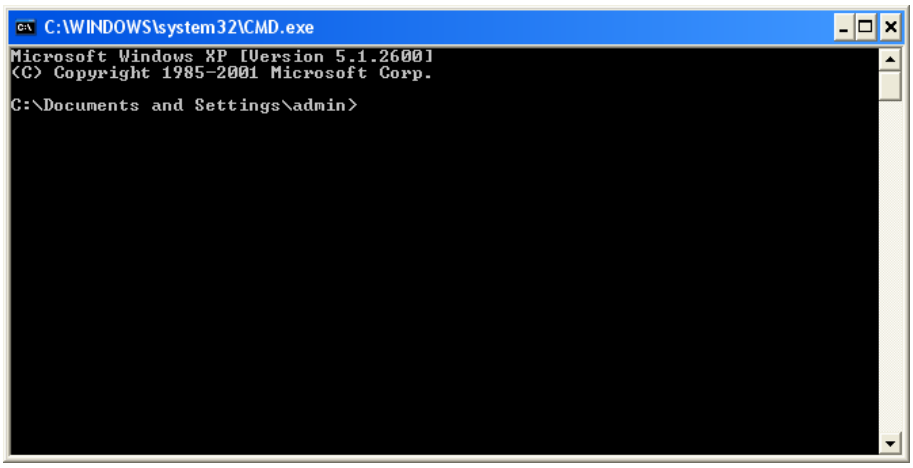
شکل ۹-۳۴- نحوه اجرای سیستم عامل DOS



شکل ۹-۳۵- نحوه اجرای سیستم عامل DOS

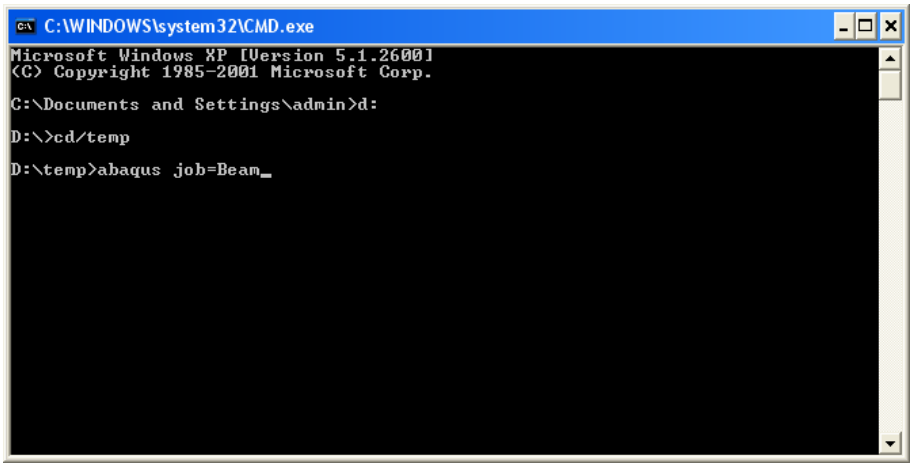
با این کار سیستم عامل DOS اجرا می‌شود. در پنجره باز شده باید نام و محل فایل متنی ساخته شده را وارد نمایید.

قبل از این کار باید فایل را در مسیری که برنامه از آن بالا می‌آید که معمولا پوشه TEMP در محل نسب برنامه است با نام مورد نظر که در اینجا Beam است با پسوند *.inp ذخیره نمایید.



شکل ۹-۳۶- اجرای نرم افزار ABAQUS در سیستم عامل DOS

همانطور که در شکل ذیل مشاهده می‌نمایید باید فایل متنی نوشته شده را از محل آن به صورت زیر فراخوانی نمایید. پس از وارد کردن نام فایل کلید Enter را فشار دهید.



شکل ۹-۳۷- اجرای نرم افزار ABAQUS در سیستم عامل DOS

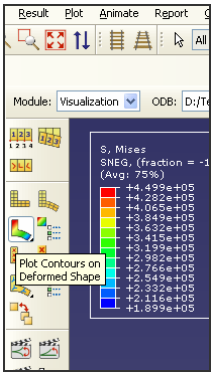
با این کا برنامه ABQUS شروع به تحلیل فایل مورد نظر کرده و و خروجی‌ها را در همان پوشه‌ای که فایل ورودی در آن قرار دارد، ذخیره می‌نماید.

در میان فایل‌های خروجی فایلی با نام فایل ورودی و پسوند dat قرار دارد که تمام اطلاعات ورودی و پیغامهای حین تحلیل و در نهایت خروجی‌های تحلیل در آن ذخیره می‌شود. همچنین فایلی با نام فایل ورودی و پسوند odb پس از تحلیل برنامه تولید می‌شود که با استفاده از ماژول Visualization در ABAQUS/CAE می‌توان نتایج تحلیل (از پیش تعیین شده) را علاوه بر داده‌ای و جدولی به صورت گرافیکی و نموداری نیز مشاهده نمود.

۹-۴-بررسی نتایج

برای بررسی خروجی‌های برنامه, با انجام دو بار کلیک بر روی فایل odb این فایل در برنامه ABAQUS/CAE باز می‌شود.

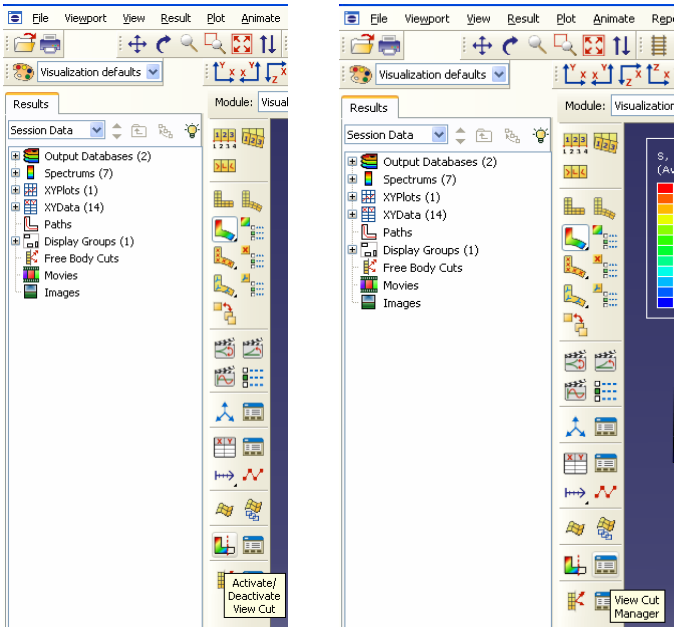
۱. برای مشاهده تنشها بر روی عضو تغییرشکل یافته، در منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Plot contour on deformed shape کلیک کنید.



شکل ۹-۳۸-آیکون مشاهده کانتور تنش بر روی عضو تغییرشکل یافته

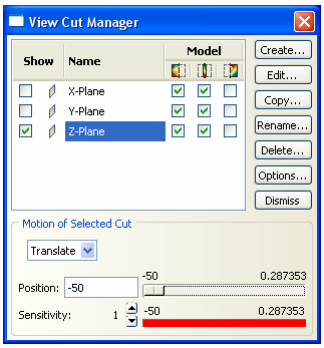
۲. در این حالت تنش بر روی کل المانها قابل مشاهده خواهد بود. اگر بخواهید تنش بر روی آرماتور داخل بتن را مشاهده نمایید می‌توانید در منوی ابزار عمودی بر روی گزینه Activate/Deactivate View Cut کلیک کنید.

۳. سپس بر روی گزینه View Cut Manager در نوار ابزار عمودی کلیک نمایید.

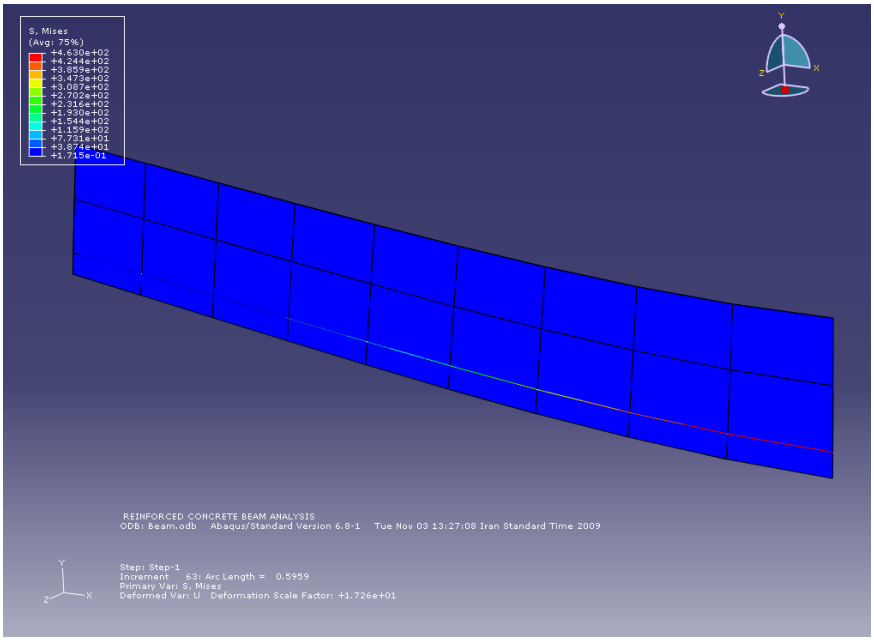


شکل ۹-۳۹-مراحل نمایش بخشی از عضو برای مشاهده تنش بر روی آرماتور داخل بتن

۴. در پنجره‌ای که باز می‌شود امکان انتخاب صفحه برش و نسبت مدلی که نشان داده خواهد شد وجود دارد. تنظیمات این پنجره را مطابق شکل زیر انجام دهید. و بر روی OK کلیک کنید.



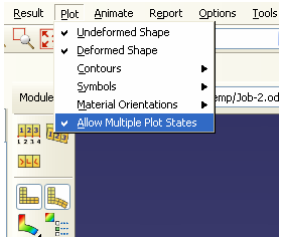
شکل ۹-۴۰-مراحل نمایش بخشی از عضو برای مشاهده تنش بر روی آرماتور داخل بتن



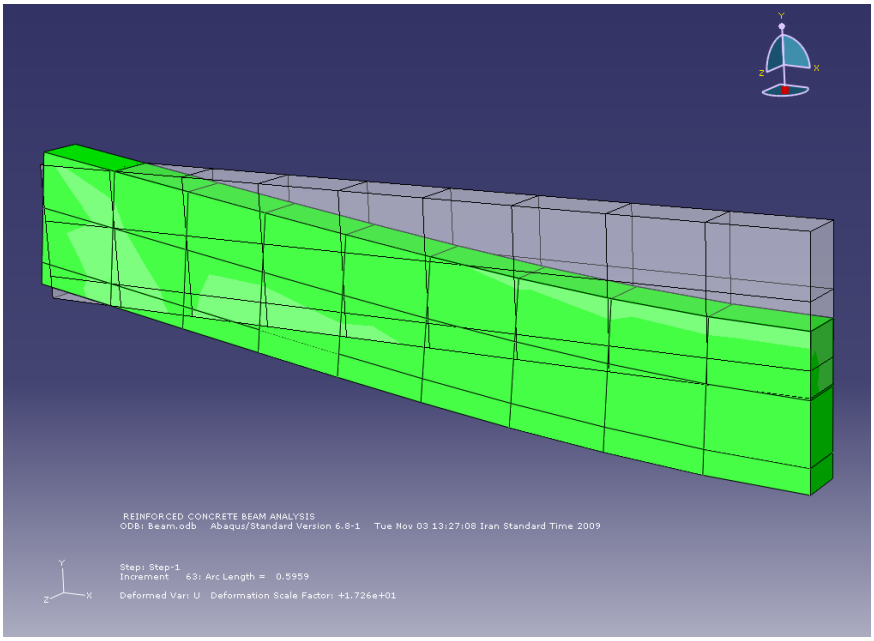
شکل ۹-۴۱-تنش بر روی آرماتور داخل بتن در مدل تغییرشکل یافته

۵. برای نشان دادن شکل تیر در دو حالت تغییرشکل یافته و اولیه به صورت همزمان از منوی Plot گزینه Allow multiple plot states را انتخاب کنید. در کنار گزینه‌های Deformed shape و Undeformed shape تیک بزنید.

۶. برای انتقال تصویر سازه از ABAQUS به نرم افزار Word می‌توان با استفاده از Ctrl+C در ABAQUS شکل را کپی نموده و با استفاده از Ctrl+V برنامه Word آن را در وارد نمایید.



شکل ۹-۴۲-نحوه تنظیمات نمایش همزمان مدل تغییرشکل یافته و مدل اولیه



شکل ۹-۴۳-مدل تغییرشکل یافته و مدل اولیه

۷. برای رسم منحنی نیرو- تغییرمکان پس از تحلیل می‌توان از منوی ابزار عمودی گزینه Create XY Data را انتخاب نمایید. در پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه ODB Filed Output را انتخاب نمایید.

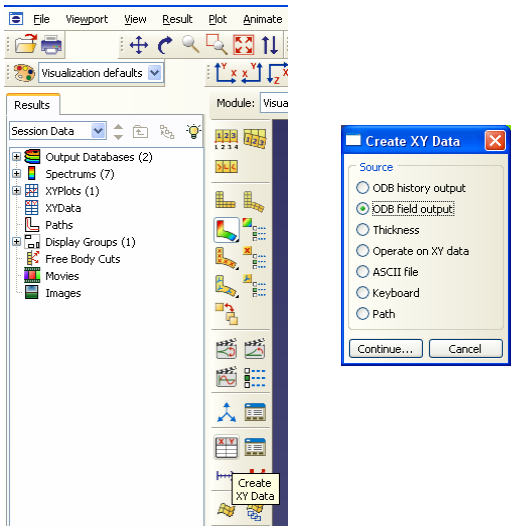
۸. در نوار بالای پنجره XY Data From ODB Field Output گزینه Elements/Nodes را انتخاب کنید.

۹. در قسمت Selection گزینه Node sets را انتخاب کنید و در قسمت سمت راست مجموعه PART-1-1-Y-SYMM را انتخاب نمایید.

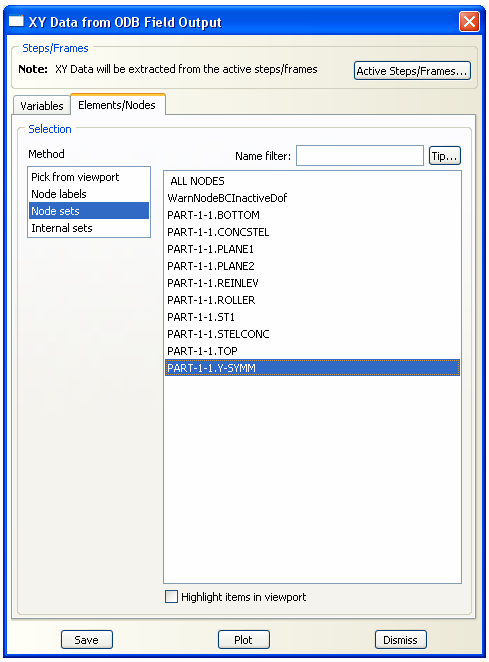
۱۰. سپس در نوار بالای پنجره گزینه Variables را انتخاب نموده و در بخش Output Variables بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه U کلیک کنید و سپس گزینه مربوط به U2 را که به معنی تغییرمکان در امتداد محور Yها است ، تیک بزنید.

۱۱. بر روی Save کلیک نمایید.

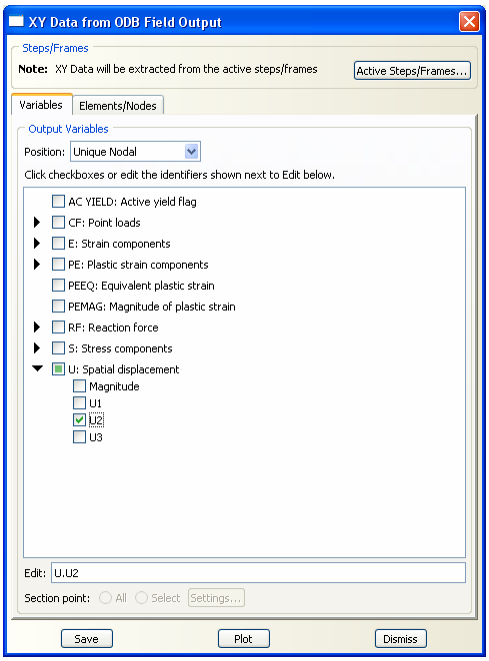
۱۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود بر روی OK کلیک نمایید. با انجام این کارها تاریخچه زمانی تغییرمکان قایم نقاط عضو مجموعه Y-SYMM که قبلا تعریف کرده بودید، به عنوان داده‌های قابل ترسیم در بخش XY Data ذخیره می‌شود.



شکل ۹-۴۴-مراحل استخراج اطلاعات مورد نظر از فایل متنی ساخته شده به منظور مشاهده آنها

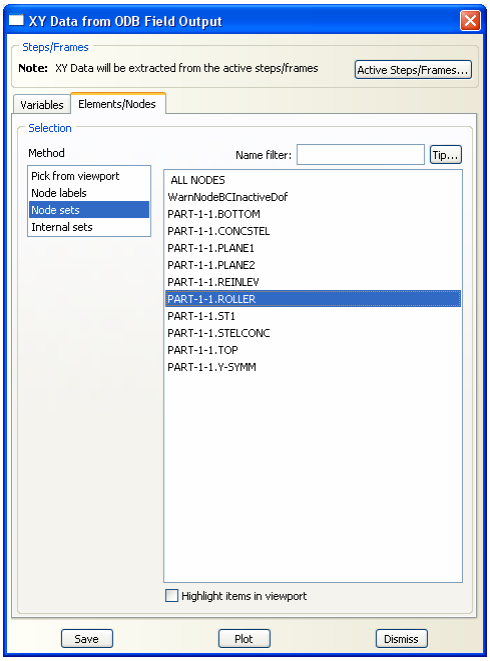


شکل ۹-۴۵-مراحل استخراج اطلاعات مورد نظر (بر روی صفحه تقارن-وسط تیر) از فایل متنی ساخته شده به منظور مشاهده آنها

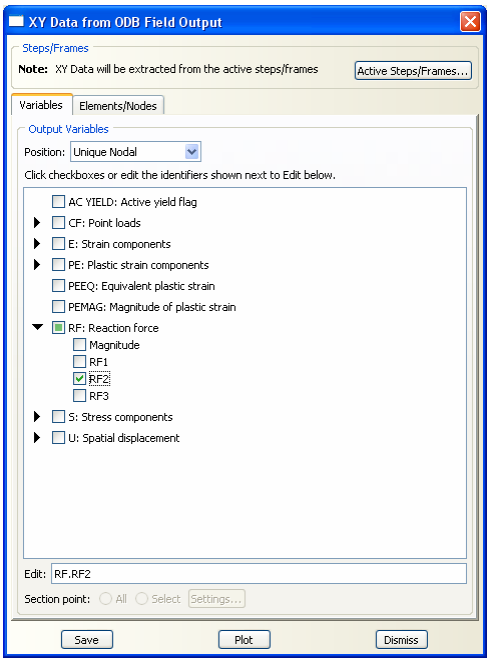


شکل ۹-۴۶-مراحل استخراج اطلاعات مورد نظر از فایل متنی ساخته شده به منظور مشاهده آنها (انتخاب تغییرمکان در جهت Y)

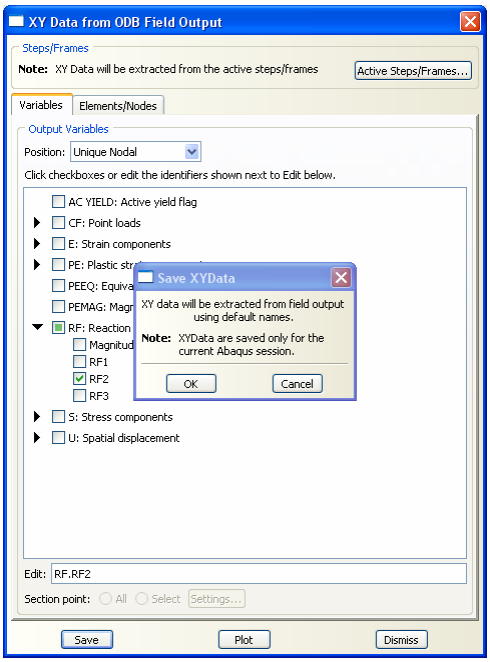
۱۳. مجددا در نوار بالای پنجره XY Data From ODB Field Output گزینه Elements/Nodes را انتخاب کنید.
۱۴. در قسمت Selection گزینه Node sets را انتخاب کنید و در قسمت سمت راست مجموعه PART-1-1-ROLLER را انتخاب نمایید
۱۵. سپس در نوار بالای پنجره گزینه Variables را انتخاب نموده و در بخش Output Variables بر روی فلش سیاه رنگ کنار گزینه RF کلیک کنید و سپس گزینه مربوط به RF2 را که به معنی نیروی تکیه گاهی در امتداد محور Yها است ، تیک بزنید.
۱۶. بر روی Save کلیک نمایید.
۱۷. در پنجره‌ای که باز می‌شود بر روی OK کلیک نمایید. با انجام این کارها تاریخچه زمانی نیروی تکیه گاهی قایم نقاط عضو مجموعه ROLLER که قبلا تعریف کرده بودید، به عنوان داده‌های قابل ترسیم در بخش XY Data ذخیره می‌شود.



شکل ۹-۴۷-مراحل استخراج اطلاعات مورد نظر (بر روی تکیه گاه غلطکی) از فایل متنی ساخته شده به منظور مشاهده آنها



شکل ۹-۴۸-مراحل استخراج اطلاعات مورد نظر (بر روی تکیه گاه غلطکی) از فایل متنی ساخته شده به منظور مشاهده آنها (نیروی تکیه گاهی در جهت Y)



شکل ۹-۴۹-انتقال اطلاعات استخراج شده جهت پردازش آنها

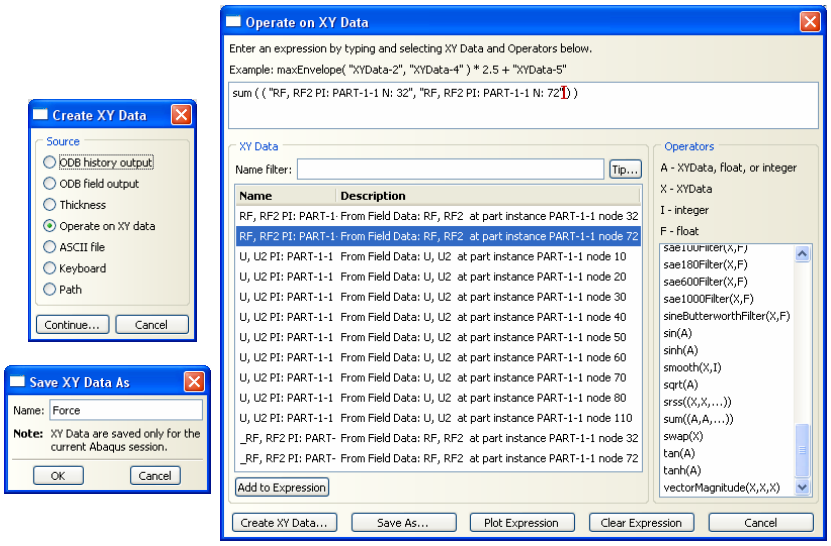
۱۸. مجددا از منوی ابزار عمودی گزینه Create XY Data را انتخاب نمایید. در پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه Operate on XY Data را انتخاب نمایید.

۱۹. برای آنکه جمع نیروهای گره‌های مجموعه ROLLER را به دست آورید باید در بخش Operators در Operate on XY Data گزینه SUM را انتخاب کرده و سپس در بخش XY Data تمامی داده‌های مرتبط با نیروهای گرهی که شامل گره‌های ۳۲ و ۷۳ است انتخاب نمایید و بر روی Save AS کلیک نمایید.

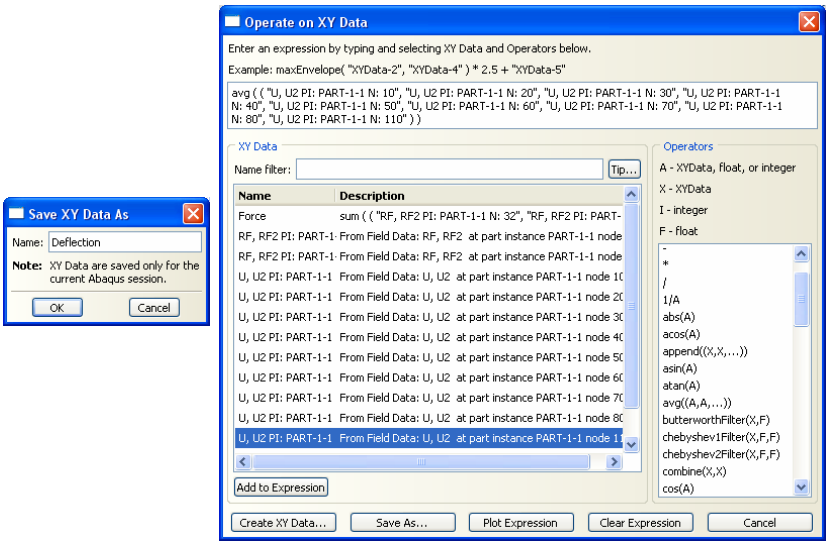
۲۰. در پنجره‌ای که باز می‌شود نام دسته داده جدید را Force بگذارید. و بر روی OK کلیک کنید.

۲۱. برای آنکه میانگین تغییرمکانهای گره‌های مجموعه Y-SYMM را به دست آورید باید در بخش Operators در Operate on XY Data گزینه AVE را انتخاب کرده و سپس در بخش XY Data تمامی داده‌های مرتبط با تغییرمکانهای گرهی که شامل گره‌های ۱۰ ، ۲۰ ، ۳۰ ، ۴۰ ، ۵۰ ، ۶۰ ، ۷۰ ، ۸۰ و ۱۱۰ است انتخاب نمایید و بر روی Save AS کلیک نمایید.

۲۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود نام دسته داده جدید را Deflection بگذارید. و بر روی OK کلیک کنید.



شکل ۹-۵۰- مراحل انجام پردازش اطلاعات استخراج شده



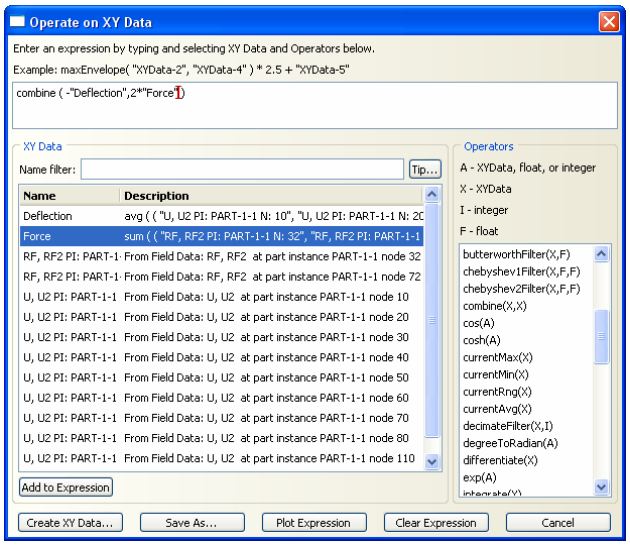
شکل ۹-۵۱- مراحل انجام پردازش اطلاعات استخراج شده

۲۳. برای رسم منحنی نیرو- تغییرمکان وسط تیر، باید در بخش Operators در Operate on XY Data گـزینـه Combine را انتخاب کرده و سپس در بخش XY Data به ترکیبی از Deflection با علامت منفی و دو برابر Force را بسازید.

۲۴. بر روی Save AS کلیک نمایید.

۲۵. در پنجره‌ای که باز می‌شود نام دسته داده جدید را به دلخواه تعیین کنید. و بر روی OK کلیک کنید.

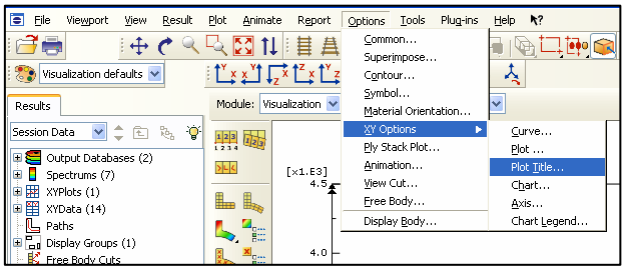
۲۶. سپس در قسمت پایین پنجره بر روی Plot Expression کلیک کنید. با این کار نمودار مورد نظر رسم خواهد شد.



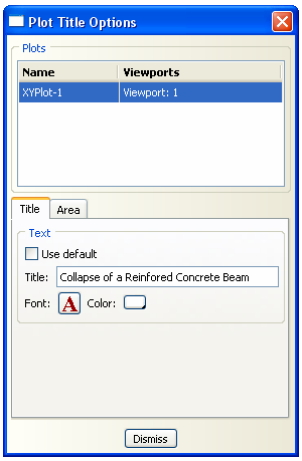
شکل ۹-۵۲- رسم منحنی نیرو-تغییرمکان وسط تیر بر اساس اطلاعات استخراج شده

۲۷. در صورت تمایل می‌توان برای نمودار رسم شده تیتری دلخواه تعیین نمود. برای این کار از نوار منوی اصلی بر روی گزینه Options کلیک کنید. سپس به ترتیب گزینه‌های XY Options و Plot Title را انتخاب نمایید.

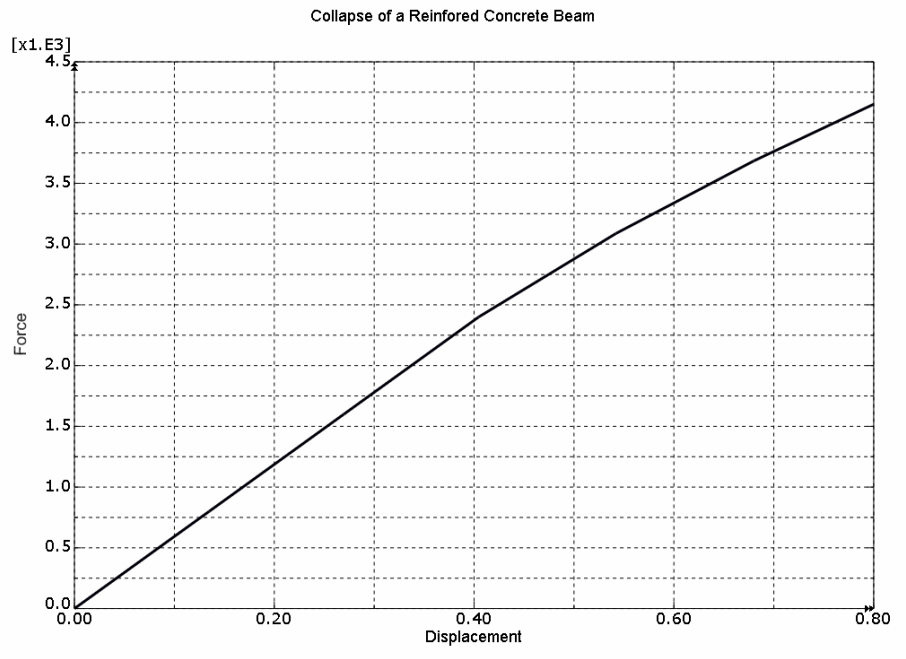
۲۸. در پنجره‌ای که باز می‌شود در قسمت Title و سپس در قسمت Text نام مورد نظر را وارد نموده و بر روی گزینه Dismiss کلیک کنید.



شکل ۹-۵۳-آیکون انجام تنظیمات بر روی نمودار رسم شده



شکل ۹-۵۴-تغییر تیتر نمودار رسم شده



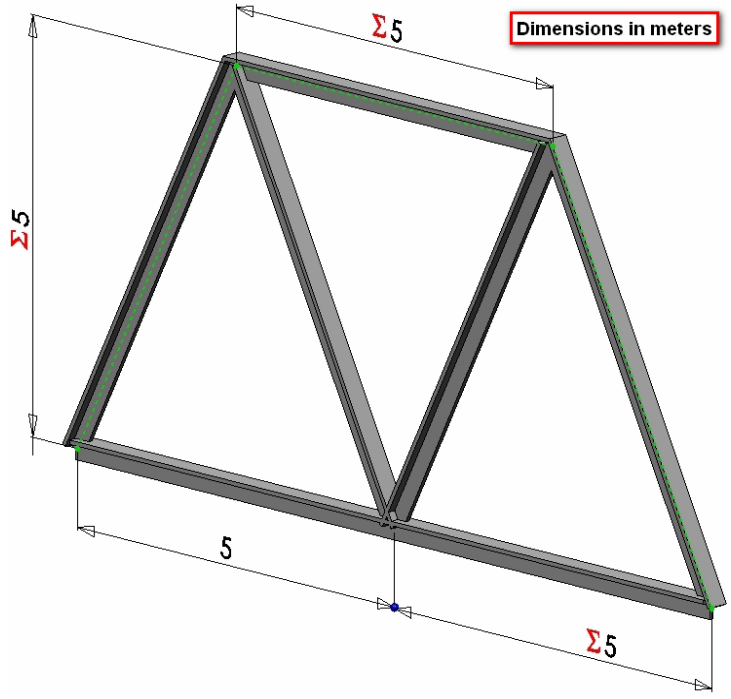
شکل ۹-۵۵- منحنی نیرو-تغییرمکان وسط تیر

فصل دهم

تحلیل ارتعاشی پل

۱۰-۱- صورت مساله

سازه دو بعدی یک پل که از مقاطع T شکل فولادی تشکیل شده است، در گوشه‌های پایینی خود دارای تکیه گاه مفصلی است. مطلوبست محاسبه ده فرکانس طبیعی پل. مدول الاستیسیته فولاد برابر $۲۱۰\times۱۰^{۹}\ Kg/m^2$ و $\nu = ۰/۲۵$ است.

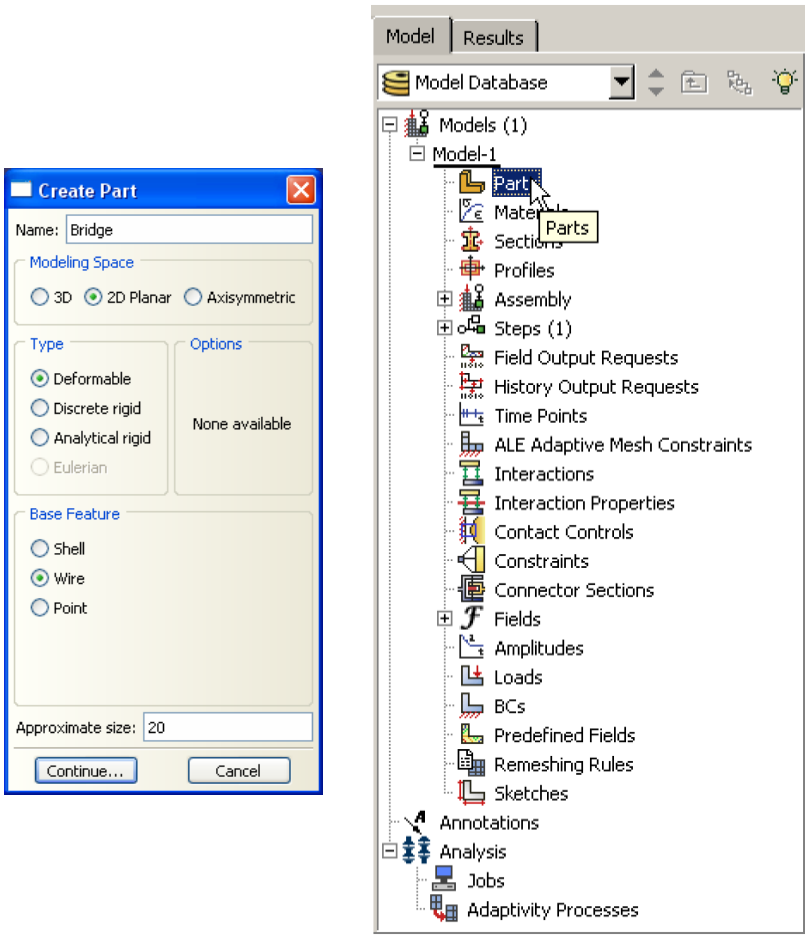


شکل ۱۰-۱- شکل پل خرپایی

۱۰-۲-مراحل تحلیل

۱۰-۲-۱- برنامه ABAQUS را باز کرده و گزینه create a new model database را انتخاب کنید.

۱۰-۲-۲- برای ایجاد یک عضو جدید، در منوی درختی ، بر روی گزینه Parts دوبار کلیک کنید (یا بر روی گزینه Parts راست کلیک کرده و Create را انتخاب نمایید).



شکل ۱۰-۲- مراحل تعریف اعضا

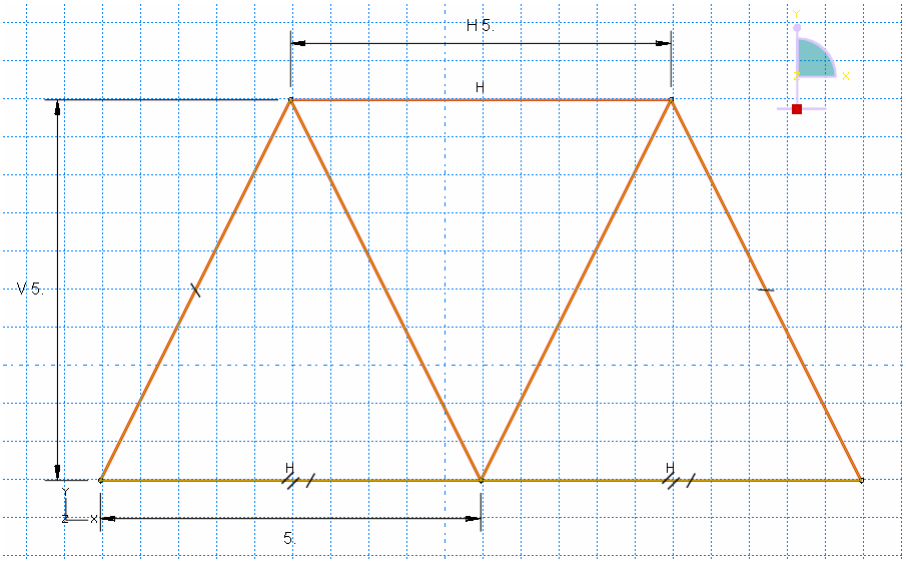
۱۰-۲-۳- در پنجره Create Part (که در بالا نشان داده شده است) عضو مورد نظر را نامگذاری کرده و مراحل ذیل را انجام دهید:

۱. گزینه 2D را انتخاب نمایید.

۲. گزینه Deformable را انتخاب کنید.

۳. گزینه Wire را انتخاب کنید.
۴. گزینه Planar را انتخاب کنید.
۵. سایز تقریبی را برابر ۲۰ قرار دهید.
۶. برای رفتن به مرحله بعد بر روی Continue کلیک کنید.

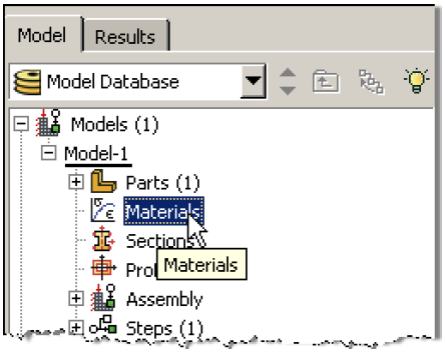
۱۰-۲-۴- هندسه مدل را همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است ترسیم نمایید.



شکل ۱۰-۳- هندسه خرپای ترسیم شده

۱۰-۲-۵- برای آنکه خصوصیات مصالح عضو مورد نظر را تعریف نمایید، بر روی گزینه Materials در منوی درختی کلیک کنید.

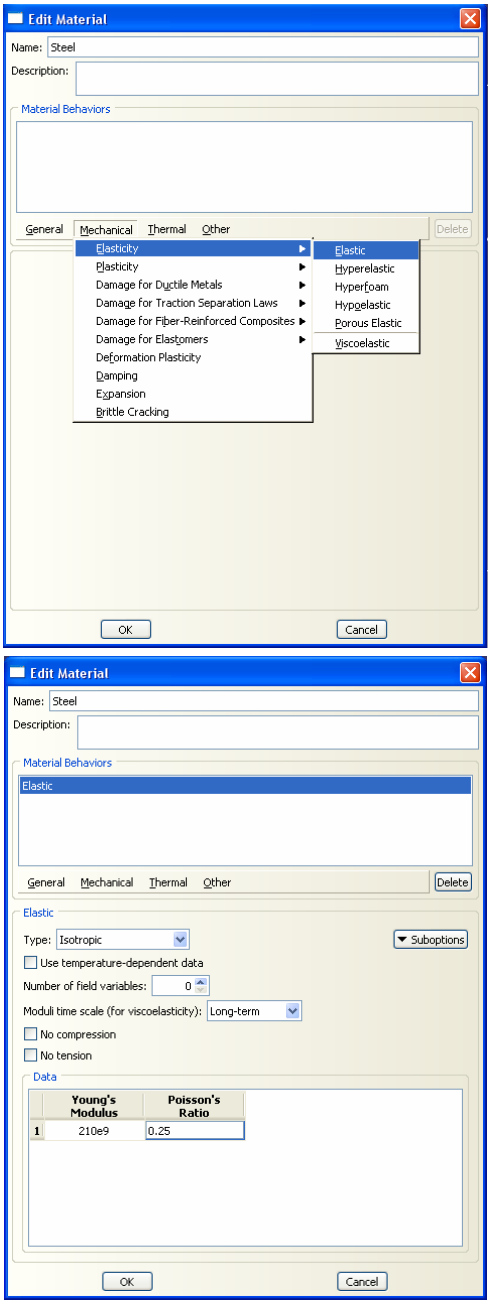
۱. برای مصالح جدید نام انتخاب کنید (Steel).



شکل ۱۰-۴- آیکون تعریف خصوصیات مصالح

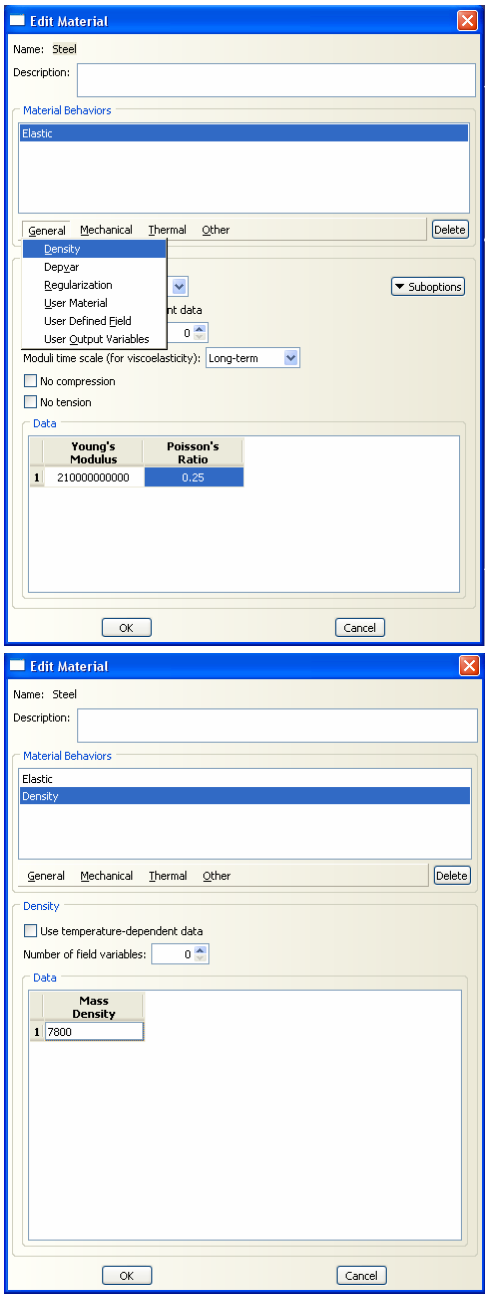
۲. در پنجره‌ای که باز می‌شود به ترتیب گزینه‌های Mechanical، Elasticity و Elastic را انتخاب نمایید.

۳. مقادیر مدول الاستیسیته و ضریب پواسون را مطابق شکل ذیل اختصاص دهید.



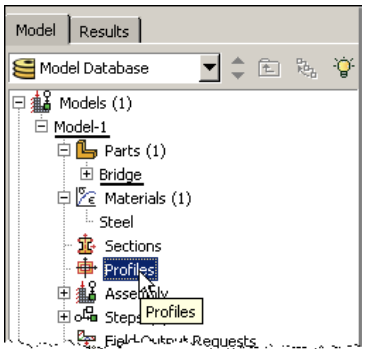
شکل ۱۰-۵- مراحل تعریف خصوصیات مصالح اعضای پل

۴. در همین پنجره به ترتیب گزینه‌های General و سپس Density را انتخاب نمایید.
۵. مقدار چگالی فولاد را مطابق شکل ذیل اختصاص دهید.
۶. بر روی OK کلیک کنید.



شکل ۱۰-۶- مراحل تعریف خصوصیات مصالح اعضای پل

۱۰-۲-۶- برای انتخاب نوع پروفیل عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Profile دوبار کلیک کنید.



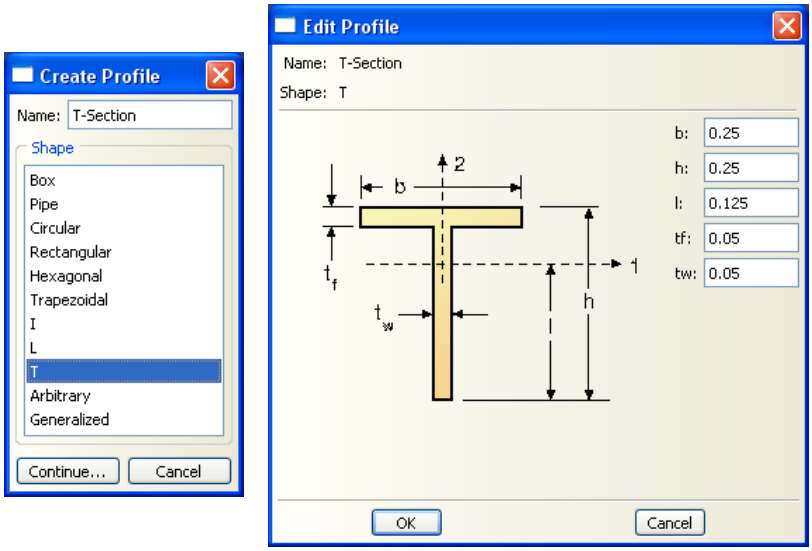
شکل ۱۰-۷- آیکون تعریف پروفیل اعضای پل

۱.در پنجره‌ای که باز می‌شود Profile مورد نظر را به نام T-Section نامگذاری کرده و Shape آن را از نوع T انتخاب کنید.

۲.برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.

۳.برای Profile مورد نظر، ابعاد هندسی را مطابق شکل ذیل وارد نمایید.

۴.برروی OK کلیک کنید.

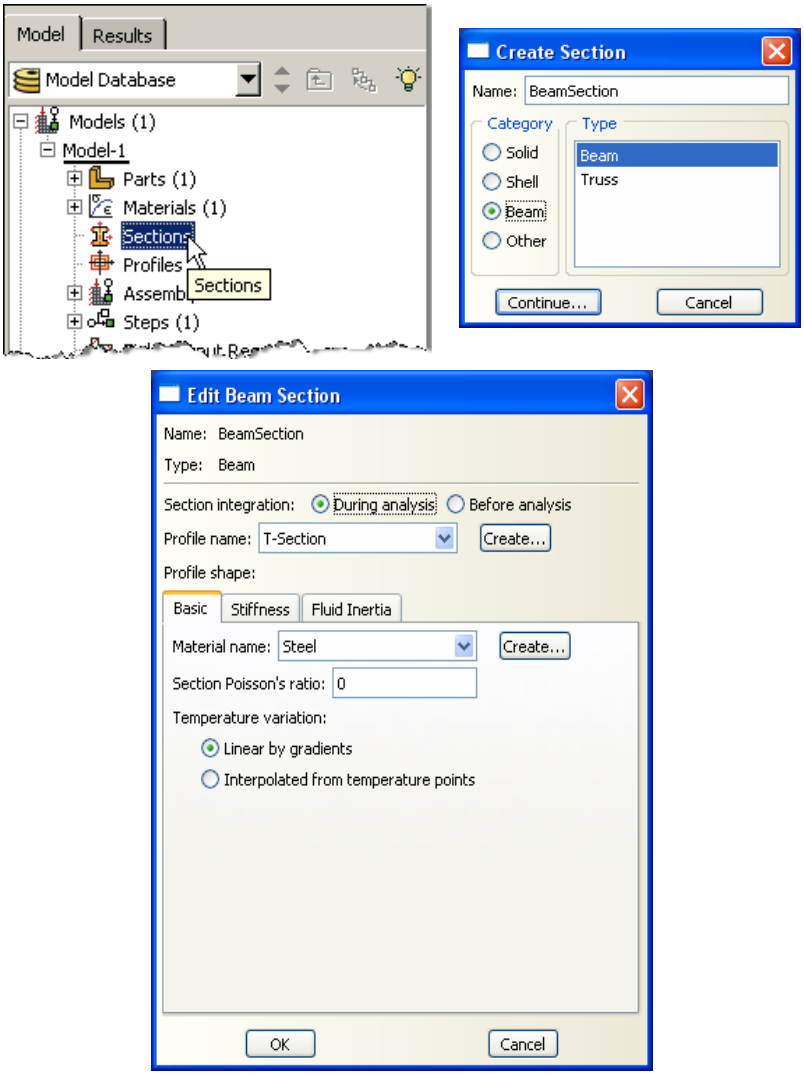


شکل ۱۰-۸- مراحل تعریف پروفیل اعضای پل

۱۰-۲-۷- برای انتخاب نوع سطح مقطع عضو مورد نظر، در منوی درختی بر روی گزینه Sections دوبار کلیک کنید.

۱. مقطع مورد نظر را به نام BeamProperties نامگذاری کرده و category آن را از نوع Beam انتخاب کرده و نوع آن را Beam انتخاب کنید.

۲. برای ادامه کار بر روی Continue کلیک کنید.
۳. برای انتگرال گیری مقطع گزینه During Analysis را انتخاب کنید.
۴. پروفایلی را که در بالا ساخته بودید در قسمت Profile Name انتخاب کنید.
۵. مصالح Steel را در بخش Material Name به عنوان مصالح مورد نظر برای این مقطع انتخاب کنید.
۶. برروی OK کلیک کنید.

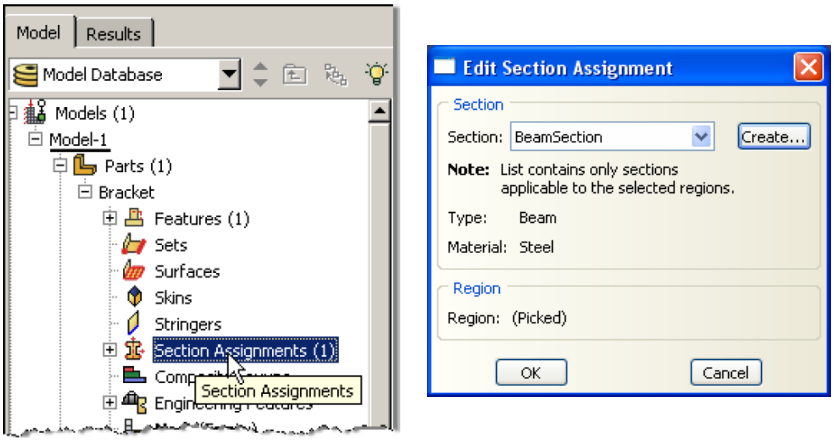


شکل ۱۰-۹- مراحل تعریف سطح مقطع اعضای پل

۱۰-۲-۸- از منوی درختی بر روی علامت + در کنار گزینه Parts کلیک کنید تا منوی عضوهای تعریف شده باز شود. از داخل این منو، عضو تعریف شده را انتخاب کرده و سپس بر

روی علامت + در کنار اسم عضو کلیک نمایید تا منوی اطلاعات متناظر با این عضو باز شود. بر روی گزینه Section Assignments دوبار کلیک کنید.

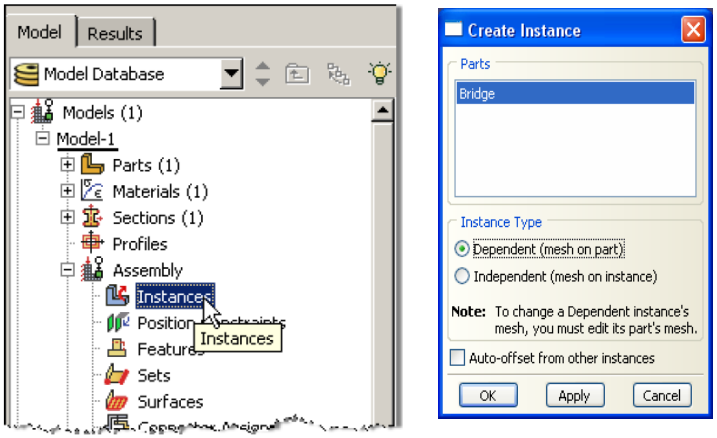
۱. شکل هندسی المانهای پل ساخته شده را از پنجره گرافیکی انتخاب کرده و بر روی Done در زیر پنجره گرافیکی کلیک کنید.
۲. مقطع ساخته شده در بالا (BeamProperties) را انتخاب کنید.
۳. بر روی Ok کلیک کنید.
۴. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.



شکل ۱۰-۱۰-مراحل اختصاص سطح مقطع به اعضای پل

۱۰-۲-۹- از منوی درختی، بر روی علامت + در کنار گزینه Assembly کلیک کرده تا منوی مربوط به آن باز شود. در این منو بر روی Instances کلیک کنید.

۱. برای نوع instance گزینه Dependent را انتخاب کنید.
۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۱۰-۱۱-وارد کردن عضو ساخته شده به ماژول Assembly

۱۰-۲-۱۰- در منوی درختی بر روی گزینه Steps دوبار کلیک کنید.

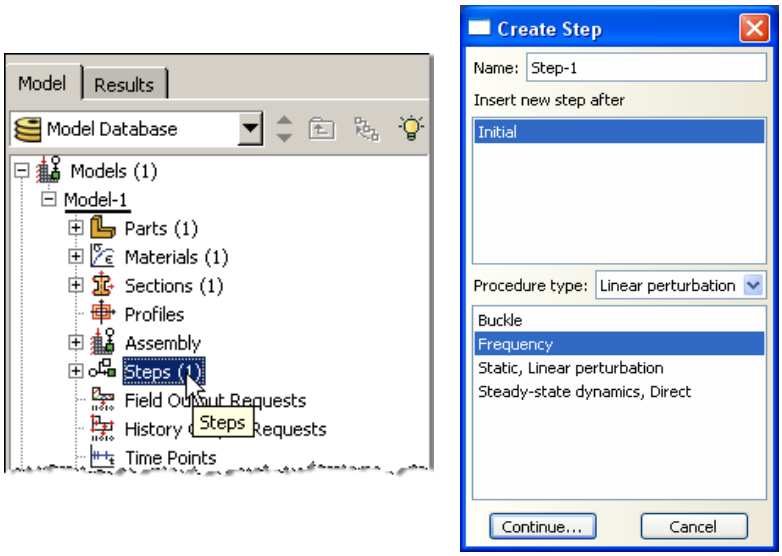
۱. Step را نامگذاری کنید، در قسمت procedure گزینه Linear perturbation را انتخاب کنید و در قسمت پایینی پنجره باز شده گزینه Frequency را انتخاب کنید.

۲. بر روی Continue کلیک کنید.

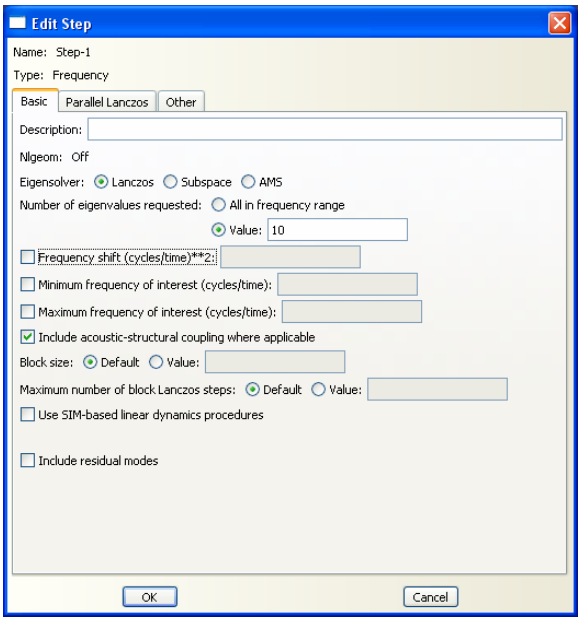
۳. در صورت نیاز می‌توانید برای Step تعریف شده توضیحاتی در قسمت description بنویسید. انجام این مرحله اختیاری است.

۴. در قسمت پایین تر پنجره باز شده بر روی دایره کوچک کنار Value کلیک کنید تا فعال شود و مقدار آن را برابر ۱۰ قرار دهید.

۵. بر روی Ok کلیک کنید.

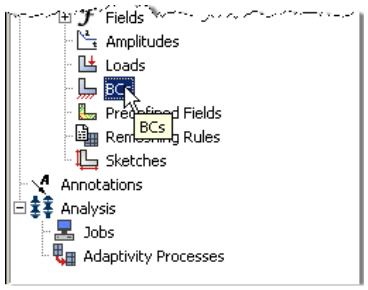


شکل ۱۰-۱۲-مراحل تعریف گامهای تحلیل



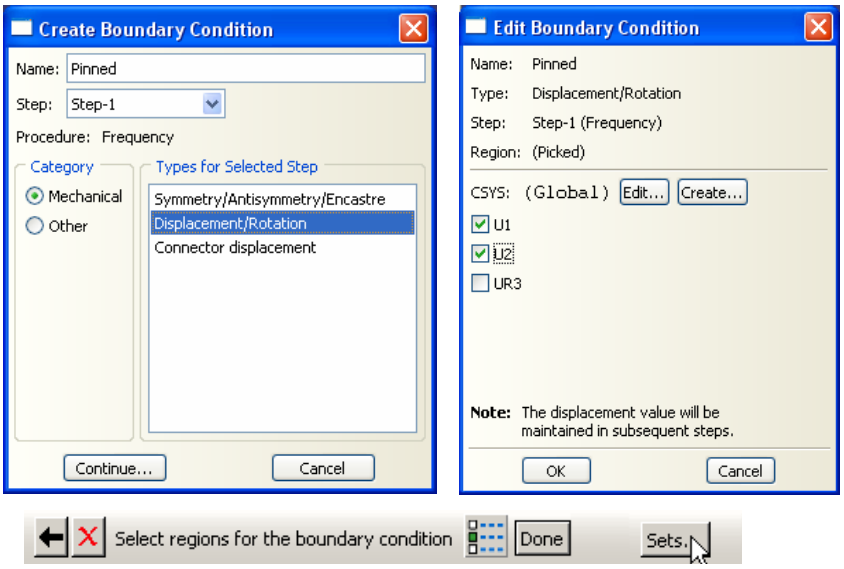
شکل ۱۰-۱۳-مراحل تعریف گامهای تحلیل

۱۰-۲-۱۱- در منوی درختی بر روی گزینه BCs دوبار کلیک کنید.



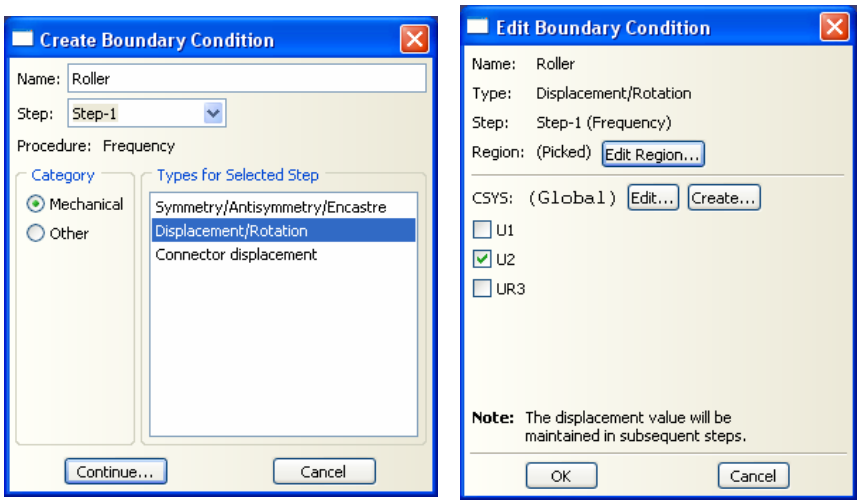
شکل ۱۰-۱۴-آیکون تعریف تکیه گاه

۱. شرط مرزی مربوطه را Pinned نامگذاری کنید و در قسمت type گزینه Displacement/Rotation را انتخاب کنید.
۲. بر روی Continue کلیک کنید.
۳. در پنجره گرافیکی بر روی گره گوشه پایین سمت چپ (مطابق شکل ذیل) کلیک کنید.
۴. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک کنید.
۵. در پنجره‌ای که باز می‌شود در کنار گزینه‌های U1 و U2 تیک بزنید. با این کار یک تکیه گاه مفصلی در این گره تعریف می‌شود.
۶. بر روی Ok کلیک کنید.

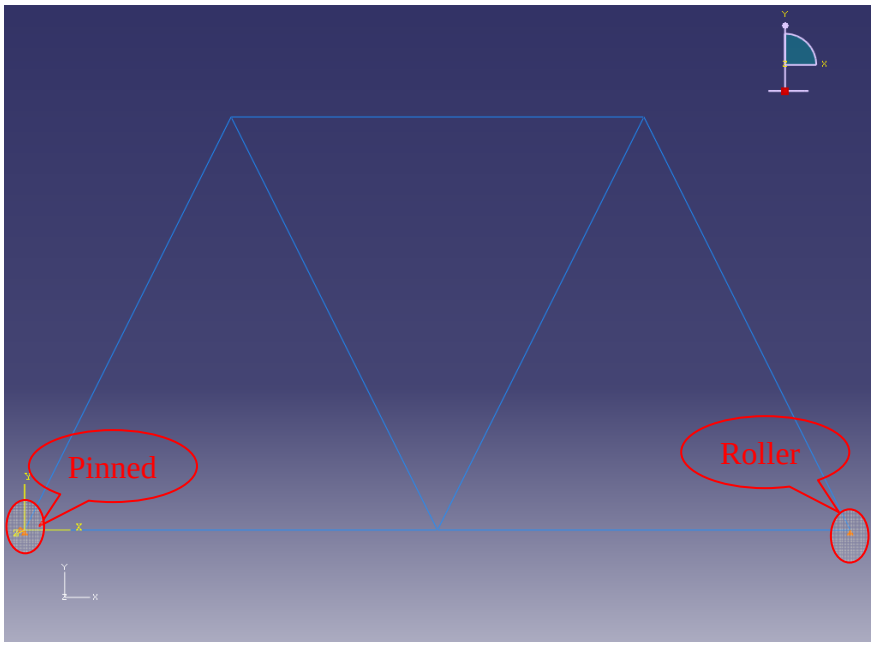


شکل ۱۰-۱۵-مراحل تعریف تکیه گاه

۷. عملیات فوق را برای گوشه پایین سمت راست تکرار کنید. با این تفاوت که در این حالت تنها تغییرمکان در امتداد قایم (U2) بسته می‌شود و در این گره تکیه گاهی غاطکی تعریف می‌کنید.



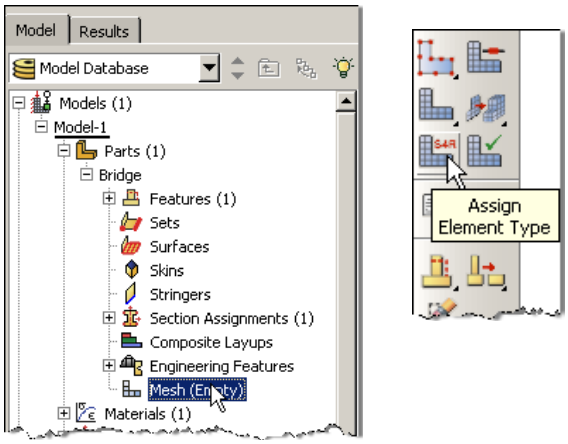
شکل ۱۰-۱۶-مراحل تعریف تکیه گاه

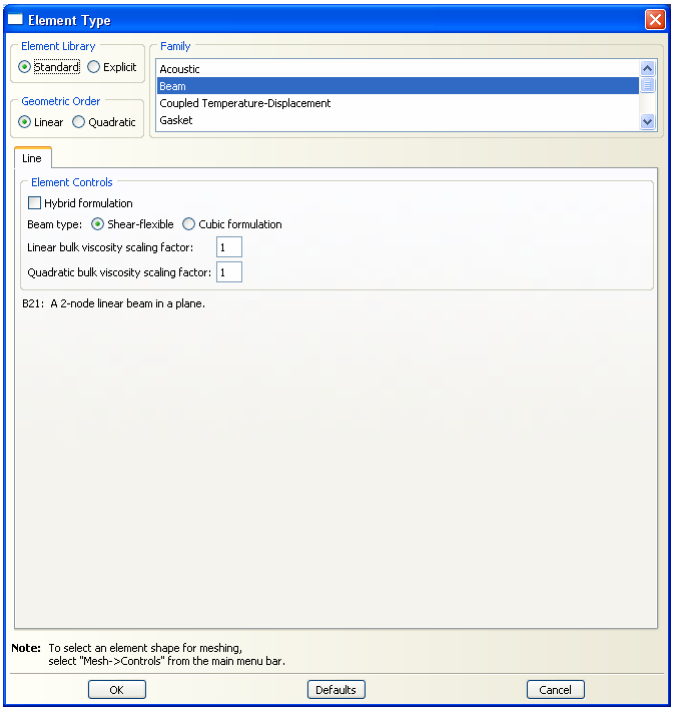


شکل ۱۰-۱۷-هندسه و تکیه گاه‌های پل خرپایی

۱۰-۲-۱۲- از منوی درختی بر روی علامت + کنار بخش Parts کلیک کنید. سپس بر روی علامت + کنار بخش Bridge کلیک کنید و بر روی گزینه Mesh دوبار کلیک کنید.

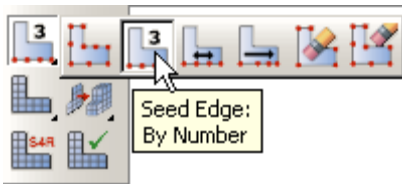
۱. در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Assign Element Type کلیک کنید.
۲. در پنجره گرافیکی با کشیدن مستطیلی حول اعضای پل ، کلیه آنها را انتخاب کرده و بر روی Done در نوار پایین صفحه کلیک کنید.
۳. نوع المان را Standard انتخاب کنید.
۴. مرتبه هندسی (geometric order) را Linear انتخاب کنید.
۵. در بخش family گزینه Beam را انتخاب کنید.
۶. توجه کنید که نام المان (B21) و توضیحات مربوط به آن در پایین بخش element controls در پنجره باز شده قرار دارد.
۷. بر روی Ok کلیک کنید.
۸. بر روی Done در نوار پایین صفحه کلیک کنید.





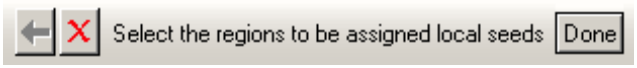
شکل ۱۰-۱۸-مراحل تعریف نوع المان مش‌بندی

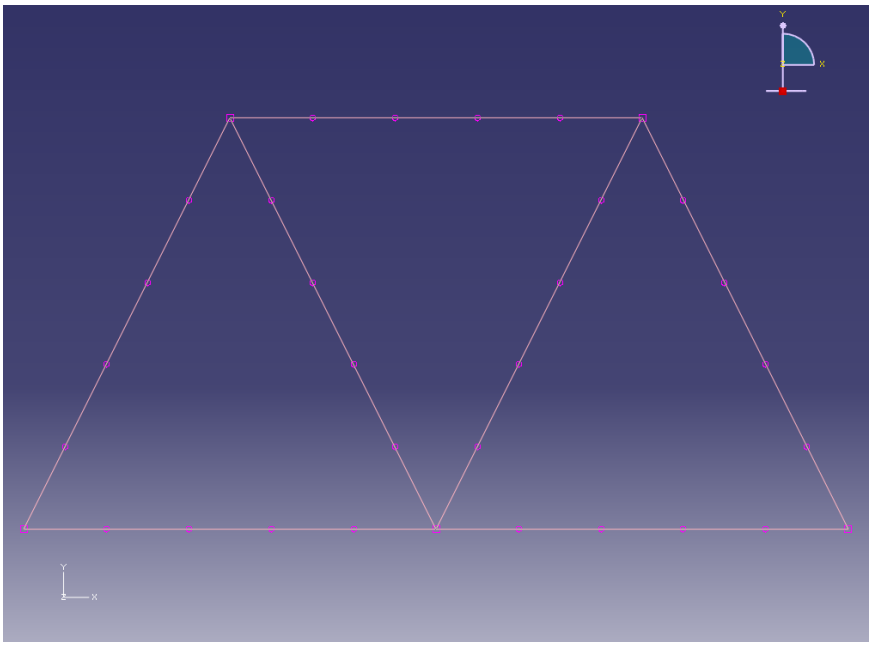
۱۰-۲-۱۳- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Seed Part کلیک کنید و دکمه موس را برای چند ثانیه نگه دارید تا مطابق شکل زیر آیکونهای موجود در این قسمت نمایان شود. در میان این آیکونها گزینه Seed Edge: By Number را انتخاب کنید.



شکل ۱۰-۱۹- انتخاب آیکون مناسب برای تعریف اندازه مش‌ها

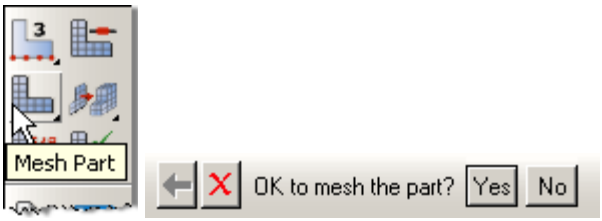
۱. تمام اعضای پل را در پنجره گرافیکی انتخاب کرده و در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک نمایید.
۲. تعداد المانها را در طول هر لبه برابر ۵ قرار دهید.
۳. کلید Enter را فشار دهید و در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک نمایید.





شکل ۱۰-۲۰-شکل مش بندی شده

۱۰-۲-۱۴- در منوی ابزار عمودی بر روی دکمه Mesh Part کلیک کنید.
۱. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Yes کلیک نمایید.



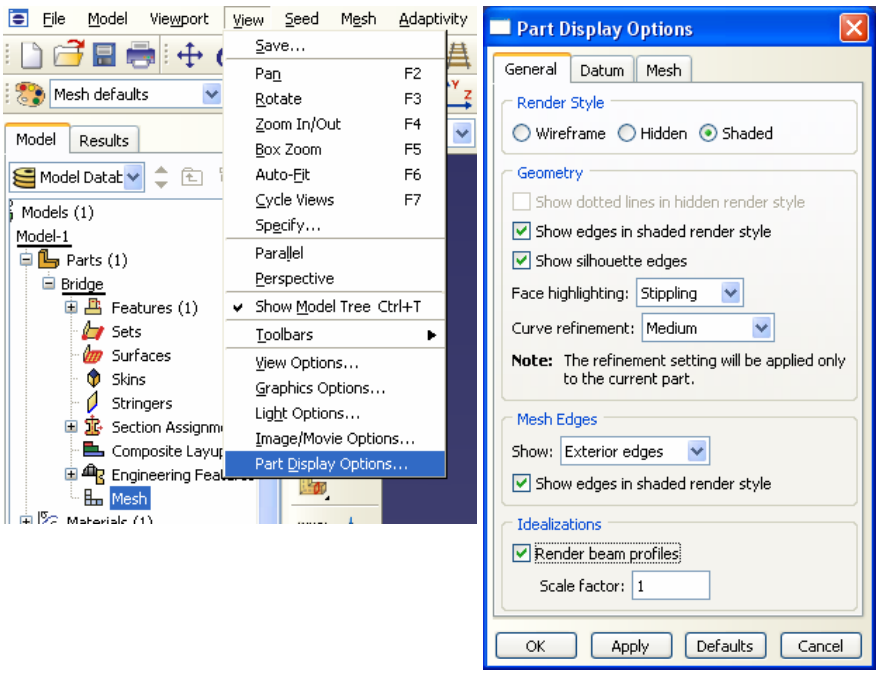
شکل ۱۰-۲۱-آیکون انجام مش بندی

۱۰-۲-۱۵- برای مشاهده پروفایل تیر به شکل ۳ بعدی به ترتیب ذیل عمل نمایید.

۱. از نوار منوی اصلی گزینه Viewو سپس گزینه Part Display Options را انتخاب کنید.

۲. در پنجره باز شده تیک کنار گزینه Render beam profiles را بزنید.

۳. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۱۰-۲۲-انجام تنظیمات برای نمایش اعضای پل خرپایی به صورت سه بعدی

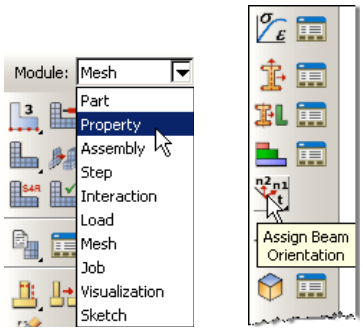
۴. در بخش ماژولها ، ماژول Property را انتخاب کنید.

۵. در نوار ابزار عمودی روی گزینه Assign Beam Orientation کلیک کنید.

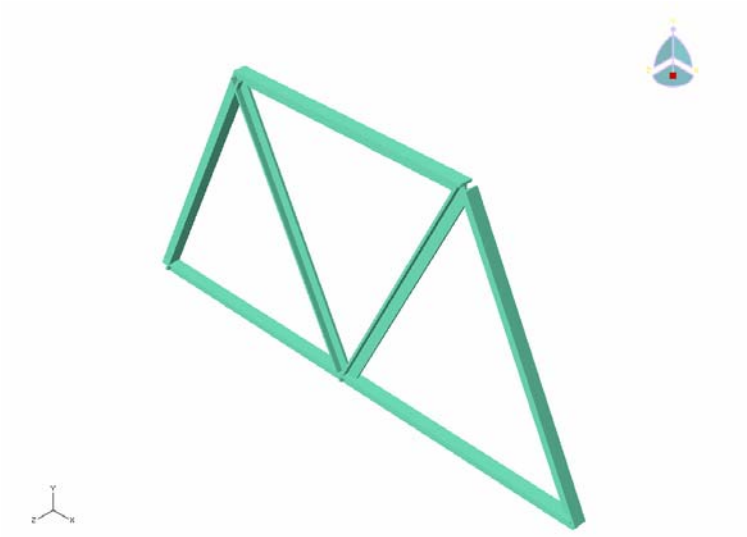
۶. در پنجره گرافیکی تمامی اعضا را انتخاب کنید.

۷. در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک نمایید.

۸. مقادیر پیش فرض را پذیرفته و کلید Enter را فشار دهید.



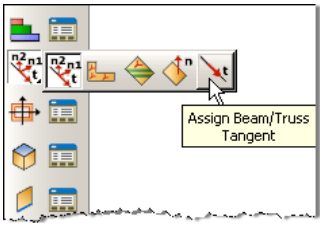
شکل ۱۰-۲۳-تغییر جهت گیری اعضای پل خرپایی



شکل ۱۰-۲۴-مشاهده جهت گیری اعضای پل خرپایی

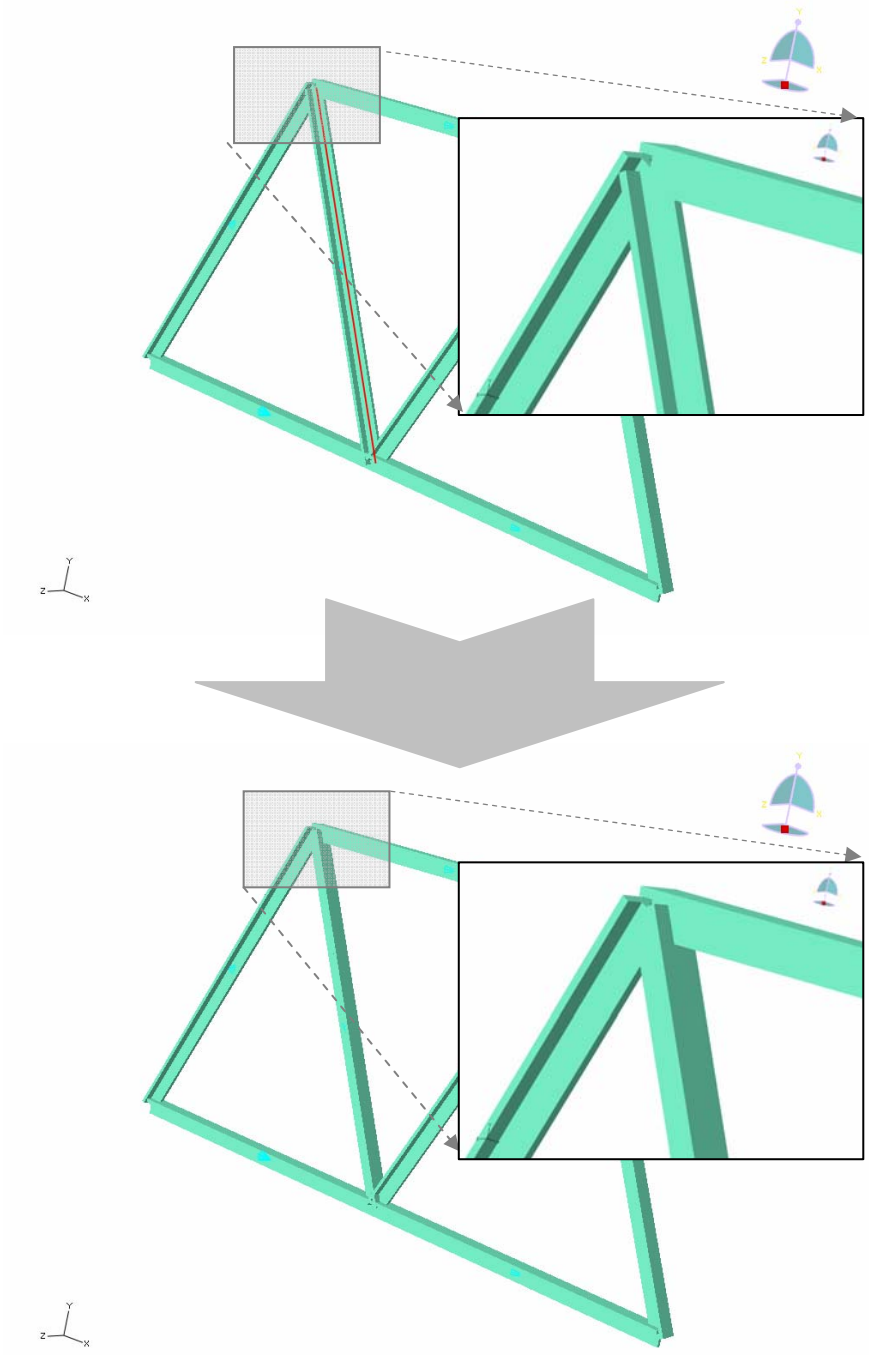
۱۰-۲-۱۶- همانطور که در شکل بالا مشاهده می‌کنید، جهت قرار گیری اعضای تیرهای پل، مانند شکلی که در صورت مساله تعریف شده نیست و بنابراین ایراد را برطرف کنید. برای این کار مراحل زیر را انجام دهید.

۱.در نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Assign Beam Orientation کلیک کرده و دکمه موس را نگه دارید تا آیکونهای موجود در این بخش نمایش داده شود. مطابق شکل زیر گزینه Assign Beam/Truss Tangent را انتخاب کنید.



شکل ۱۰-۲۵-آیکون مربوط به تنظیم جهت گیری اعضای پل خرپایی

۲.بر روی اعضایی که نحوه قرار گیری پروفیل آنها نامناسب است کلیک کنید.
۳.در نوار پایین صفحه بر روی گزینه Done کلیک نمایید.



شکل ۱۰-۲۶-مدل اولیه و مدل اصلاح شده پس از تغییر جهت گیری اعضای پل خرپایی

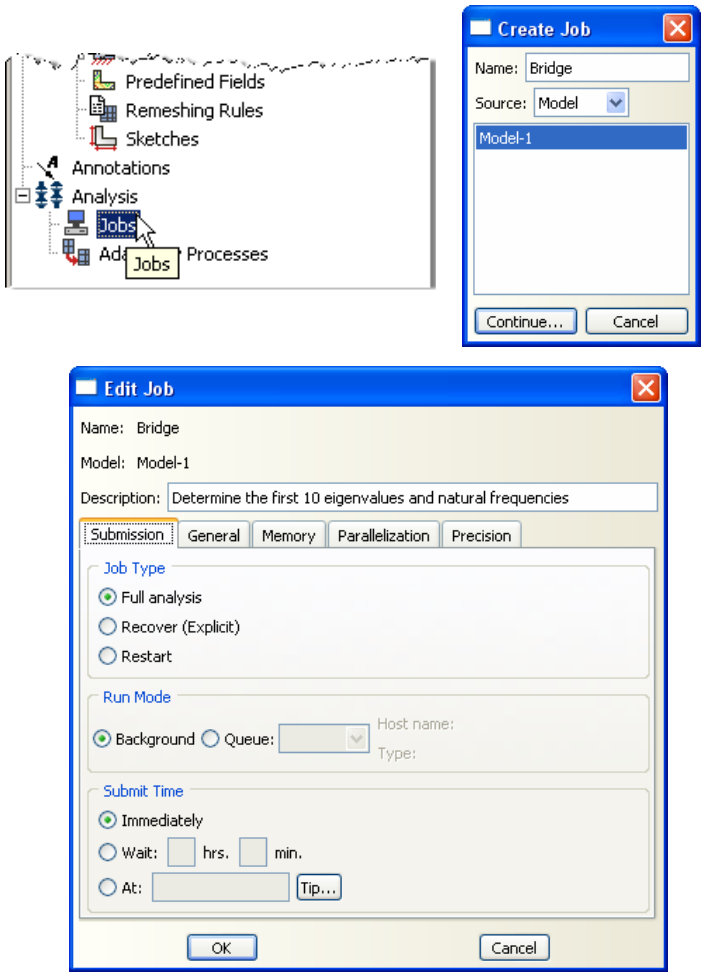
۱۰-۲-۱۷- در منوی درختی بر روی گزینه Job کلیک کنید.

۱.اسم Job را Bridge بگذارید.

۲.بر روی Continue کلیک کنید.

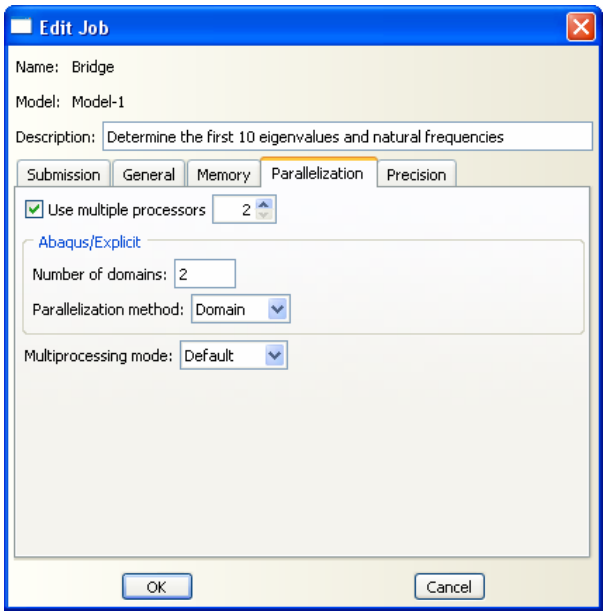
۳. در قسمت مربوط به توضیحات، توضیحات مربوط به این Job را وارد کنید و تمامی پارامترهای پیش فرض را قبول کنید.

۴. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۱۰-۲۷-مراحل تعریف Job

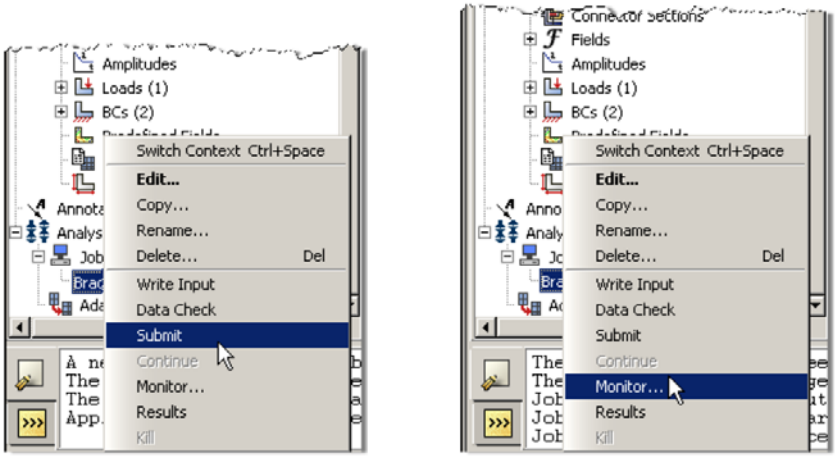
۵.در کامپیوترهای دو هسته ای، برای آنکه از هر دو هسته پردازشگر، به منظور افزایش سرعت و ظرفیت تحلیل، استفاده کنید می‌توانید در نوار بالای پنجره Edit Job، گزینه Parallelization را انتخاب کنید و مطابق شکل زیر داده‌های آن را تنظیم نمایید.



شکل ۱۰-۲۸-تنظیمات مربوط به استفاده از دو هسته کامپیوتر جهت کاهش زمان تحلیل

۱۰-۲-۱۸- در منوی درختی بر روی Jobای که در مرحله قبل ساختید (Bridge) راست کلیک کنید و Submit را انتخاب کنید.

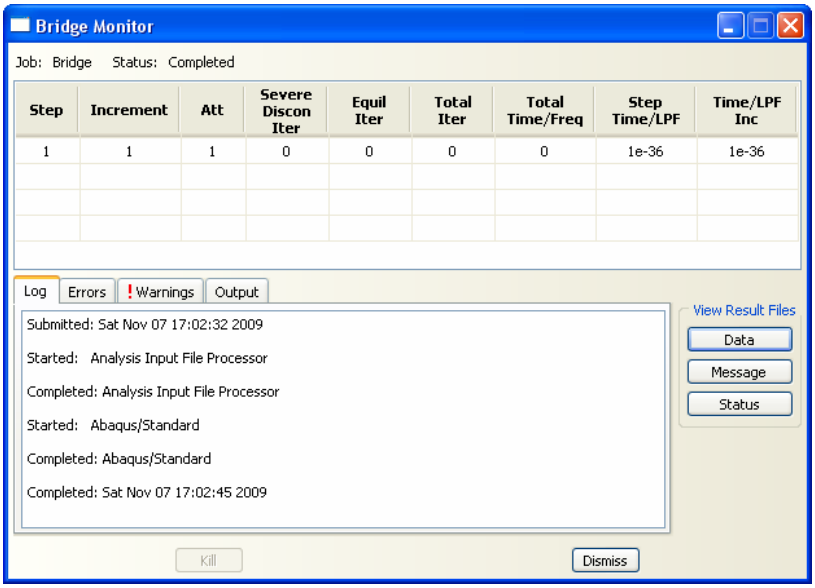
۱. در حالی که ABAQUS در حال انجام تحلیل است بر روی job در حال تحلیل (Bridge) راست کلیک کرده و Monitor را انتخاب کنید.



شکل ۱۰-۲۹-مشاهده مراحل تحلیل

۲. در پنجره‌ای که با نام Monitor باز شده است کنترل کنید که error (خطا) یا warning (اخطار) وجود ندارد.

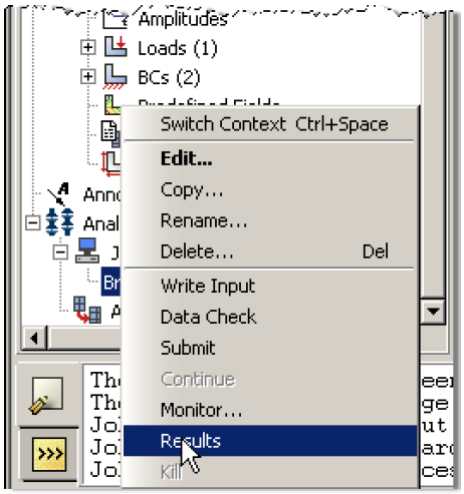
- در صورتی که خطا وجود داشته باشد باید قبل از آغاز مجدد تحلیل این خطاها را برطرف نمود.
- در صورتی که اخطار وجود داشته باشد باید کنترل شود که آیا این اخطارها باعث ایجاد مشکل در تحلیل خواهند شد یا خیر. از بسیاری از اخطارها می‌توان بطور ایمن چشمپوشی نمود.



شکل ۱۰-۳۰-مشاهده روند تحلیل

۱۰-۳- بررسی نتایج

۱۰-۳-۱- بعد از اتمام تحلیل در منوی درختی بر روی jobای که submit و تحلیل شده است (Bridge) راست کلیک کرده و گزینه Results را انتخاب کنید.



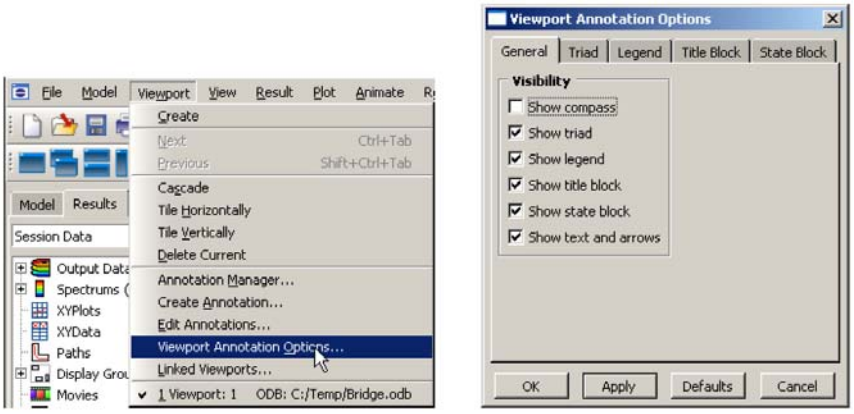
شکل ۱۰-۳۱-مشاهده نتایج

۱۰-۳-۲- در منوی میله‌ای بالای صفحه بر روی گزینه Viewport و سپس بر روی گزینه Viewport Annotations Options کلیک کنید.

۱. تیک مربوط به گزینه Show compass option را بردارید.

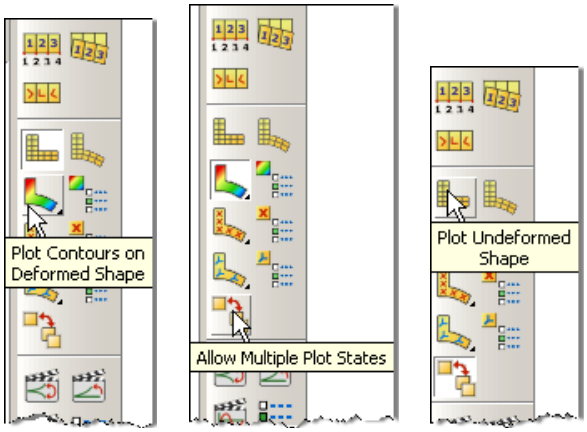
۲. بر روی Ok کلیک کنید.

۱۰-۳-۳- برای عوض کردن نتایجی که در حال نمایش است، در منوی میله‌ای بالای صفحه بر روی گزینه Results و سپس بر روی گزینه Field Output کلیک کنید.



شکل ۱۰-۳۲-تغییر تنظیمات صفحه نمایش

۱. برای نمایش همزمان شکل اولیه و تغییرشکل یافته، در نوار ابزار عمودی بر روی آیکونهای Plot Contours on Deformed Shape ، Allow Multiple Plot States و Plot Unreformed Shape به ترتیب کلیک کنید.



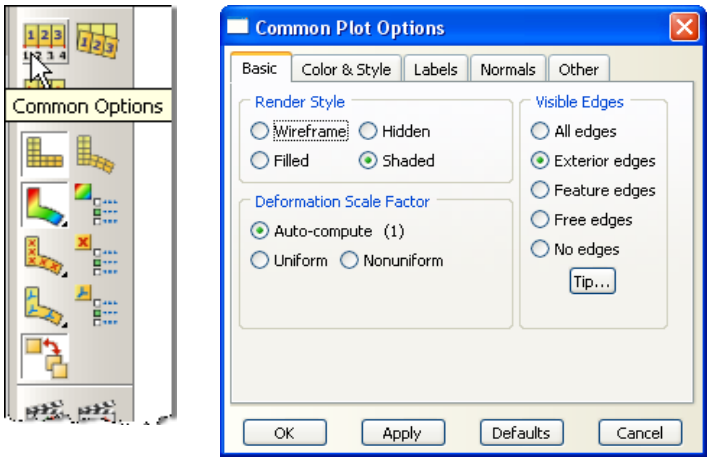
شکل ۱۰-۳۳-آیکونهای مرتبط با رسم کانتور بر روی مدل ساخته شده و همچنین نمایش مدل تغییرشکل یافته و مدل اولیه به صورت همزمان

۲. در نوار ابزار عمودی بر روی آیکون Common Plot Options کلیک کنید.

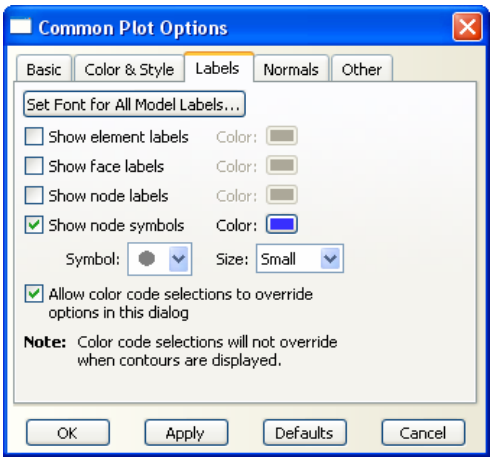
۳. توجه داشته باشید که ضریب مقیاس تغییرشکل را می‌توانید در نوار بالای پنجره گزینه Basic تغییر دهید.

۴. در همین پنجره در نوار بالا، گزینه Labels را انتخاب کنید. تیک مربوط به گزینه show node symbols را بزنید.

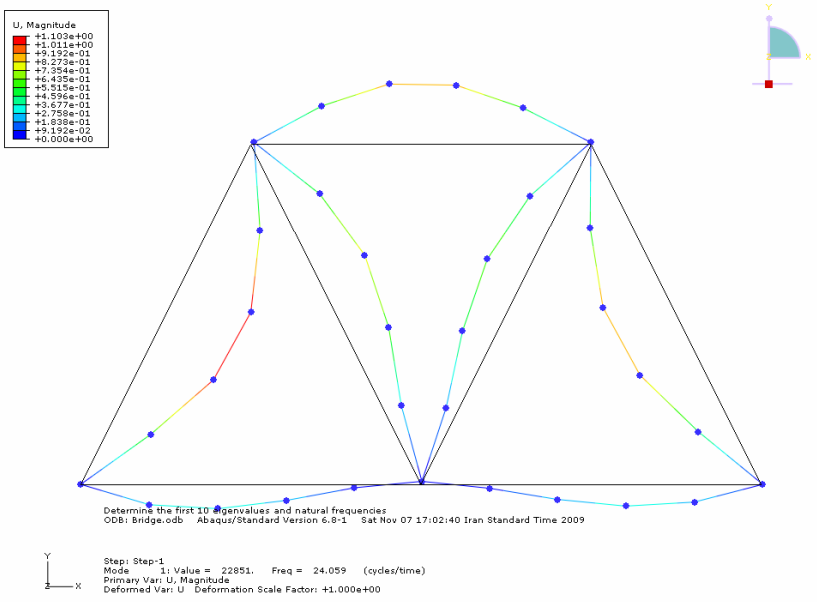
۵. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۱۰-۳۴-تنظیمات عمومی نمایش در پنجره گرافیکی



شکل ۱۰-۳۵-تغییر تنظیمات نمایش رنگی گره‌ها بر روی اعضای پل

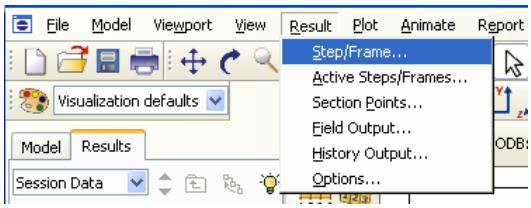


شکل ۱۰-۳۶-تغییرمکان بر روی مدل تغییرشکل یافته و مدل اولیه به صورت همزمان

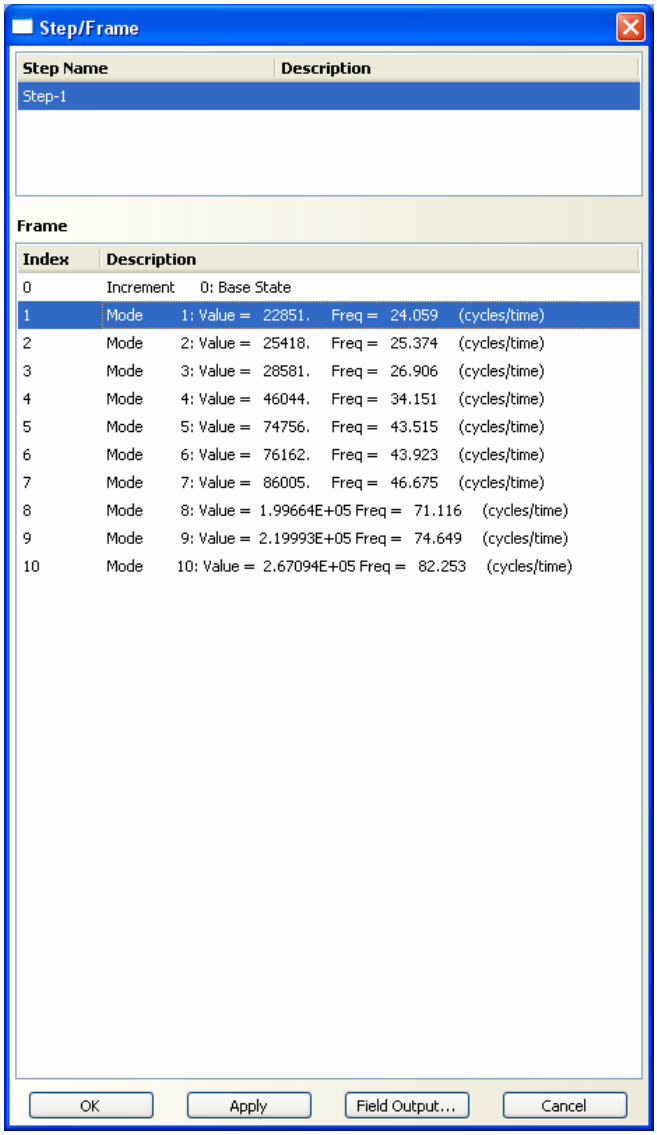
۱۰-۳-۴- از نوار منوی اصلی گزینه Results و سپس گزینه Step/Frame را انتخاب کنید.

۱. با کلیک کردن بر روی هر یک از مودهای ۱ تا ۱۰ می‌توانید شکل مودی مربوطه را مشاهده کنید.

۲. بر روی Ok کلیک کنید.

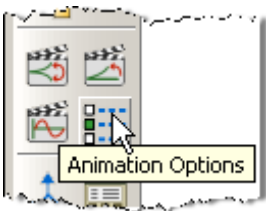


شکل ۱۰-۳۷-نحوه مشاهده شکل مودی مربوطه



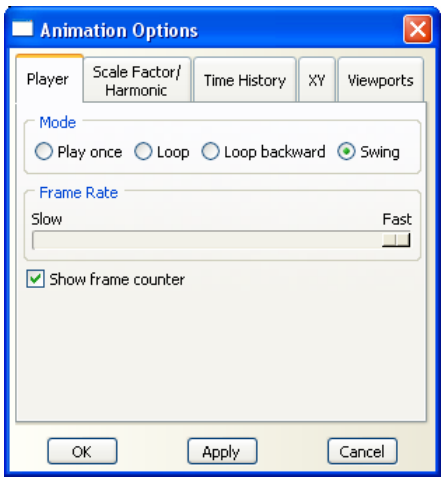
شکل ۱۰-۳۸-اطلاعات مرتبط با هریک از مودهای ارتعاشی

۱۰-۳-۵- از نوار ابزار عمودی بر روی گزینه Animation Options کلیک کنید.



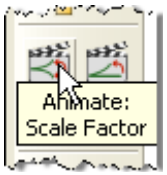
شکل ۱۰-۳۹-آیکون انجام تنظیمات برای ساخت انیمیشن

۱. در پنجره‌ای که باز می‌شود در قسمت Mode گزینه Swing را انتخاب کنید.
۲. بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۱۰-۴۰-تنظیمات انیمیشن

۳. بر روی گزینه Animate: Scale Factor در نوار ابزار عمودی کلیک کنید تا انیمیشن مربوطه را مشاهده نمایید.



شکل ۱۰-۴۱-آیکون تنظیمات مقیاس انیمیشن

۴. با کلیک دیگری بر روی همین آیکون می‌توانید پخش انیمیشن را متوقف کنید.
۵. برای رفتن به اسلاید بعدی برروی گزینه Next از آیکونهای زیر کلیک کنید.

شکل ۱۰-۴۲-آیکون‌های پخش انیمیشن

۱۰-۳-۶- در منوی درختی نتایج بر روی + کنار گزینه Bridge.odb کلیک کنید. سپس بر روی + کنار گزینه History Output کلیک کنید .

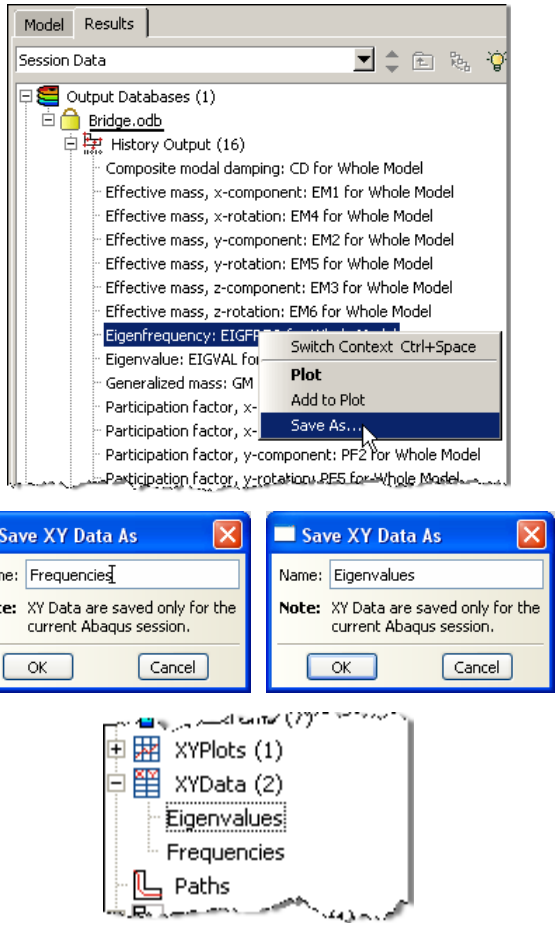
۱. بر روی Eigenfrequency راست کلیک کنید.

۲. بر روی Save As کلیک کنید.

۳. نام داده‌ای که می‌سازید را Frequencies بگذارید.

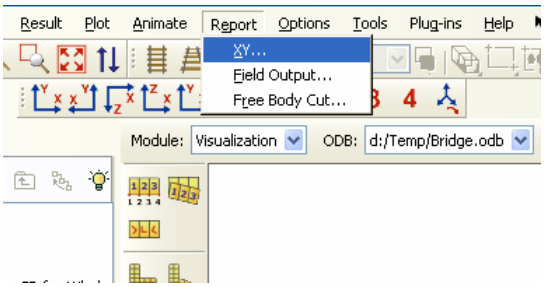
۴. مجددا همین کار را برای مقادیر Eigenvalues انجام دهید.

۵. می‌توانید داده‌های ساخته شده را در منوی درختی در بخش XY Data مشاهده نمایید.



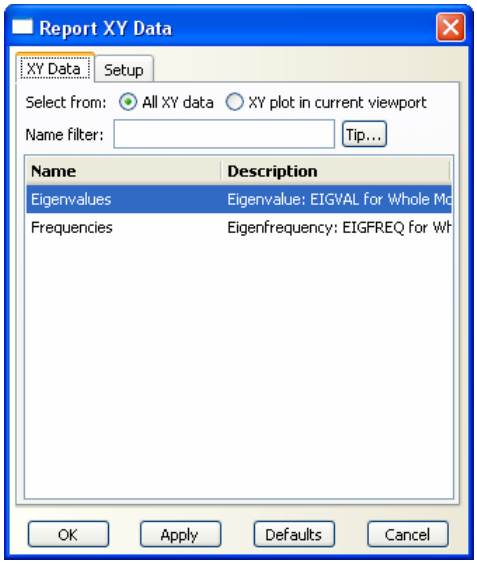
شکل ۱۰-۴۳-ذخیره اطلاعا ت خروجی مرتبط با فرکانس و مقادیر ویژه

۶. در نوار منوی اصلی بر روی گزینه Report و سپس XY… کلیک کنید.

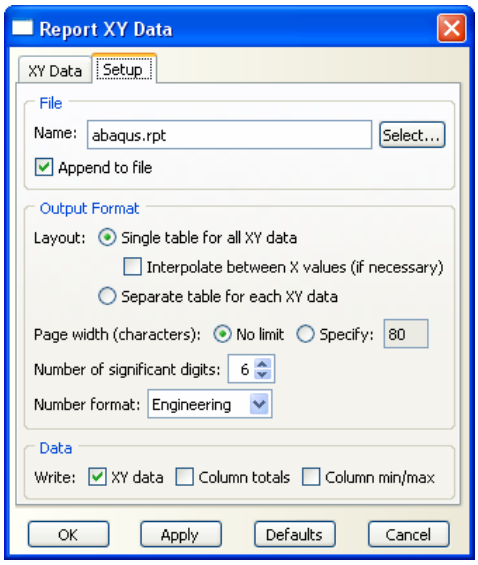


شکل ۱۰-۴۴-گرفتن گزارش اطلاعات خروجی

۷. در پنجره‌ای که باز می‌شود گزینه Eigenvalues را انتخاب کرده در نوار بالای صفحه گزینه Setup را انتخاب کنید.
۸. با استفاده از گزینه select می‌توانید نام File و محل ذخیره شدن آن را مشخص کنید.
۹. بر روی گزینه Apply در پایین پنجره کلیک کنید.

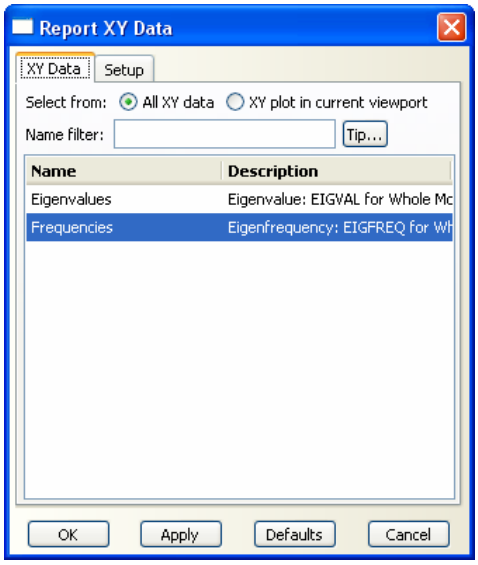


شکل ۱۰-۴۵-گرفتن گزارش اطلاعات خروجی



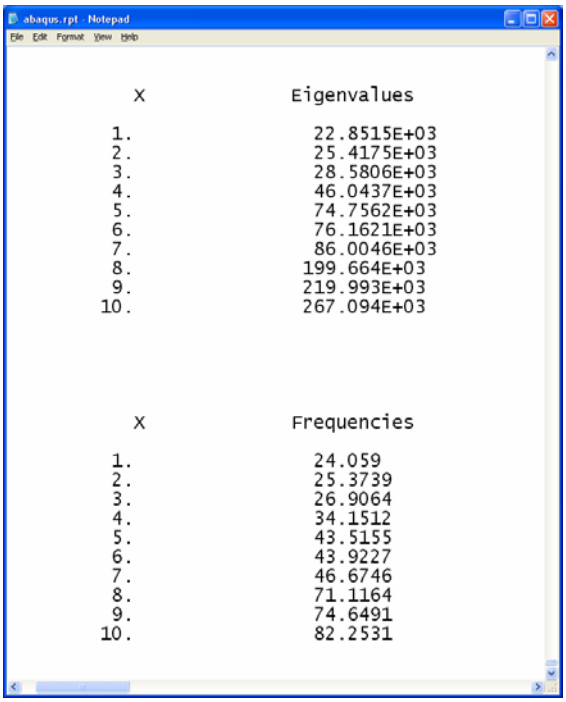
شکل ۱۰-۴۶-تنظیمات مرتبط با گزارش اطلاعات خروجی

۱۰. بر روی گزینه XY Data در نوار بالای پنجره کلیک کنید این بار گزینه Frequencies را انتخاب نموده و بر روی Ok کلیک کنید.



شکل ۱۰-۴۷-گرفتن گزارش اطلاعات خروجی

۱۱. حال می‌توانید با استفاده از یک نرم افزار ویرایش متن مانند Notepad محتویات فایلی را که در بالا ساختید مشاهده کنید.



شکل ۱۰-۴۸-فایل متنی گزارش اطلاعات خروجی

فهرست مراجع

1- ABAQUS Documentation, Version 6.8-1

2- D. G. Taggart, University of Rhode Island. 2008

3- A.F. Ashour and C.T. Morley, Three-dimensional nonlinear finite element modeling of reinforced concrete structures, Finite Elements in Analysis and Design, The International Journal of Applied Finite Elements and Computer Aided Engineering. (1993)

4- Arul M Britto, ABAQUS Example Reinforced Concrete Beam, 1998.

۵- ضیائی، بررسی پایداری قاب های مهار شده واگرای K شکل در برش در محیط پلاستیک، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ۱۳۸۶