

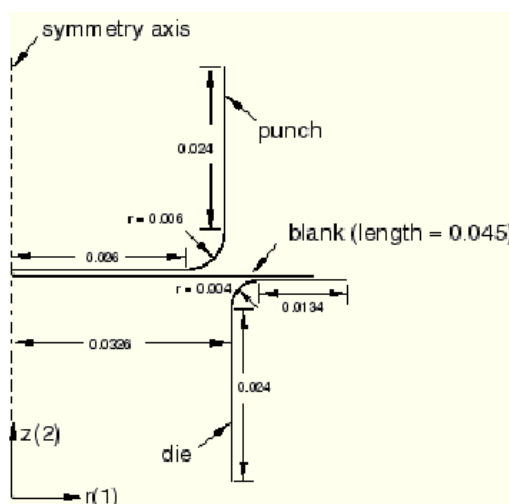


فرآیند کشش عمیق ورق در Abaqus /Explicit :

در این مثال فرآیند کشش عمیق ورق به صورت شبه استاتیکی در یک مرحله توضیح داده شده است. مدل این مسئله شامل یک ورق که عمل تغییر شکل در آن صورت می گیرد، یک پانچ و یک قالب (که به عنوان سطح صلب در نظر گرفته می شوند) می باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

از آنجایی که مدل این فرآیند به صورت متقارن محوری می باشد، می توان از المان پوسته ای (shell element) به صورت متقارن استفاده کرد. در صورتی که از مدل متقارن صفحه ای استفاده شود، نمی توان اثر چین خوردگی در مواقعی که تنش فشاری در جهت جانبی اهمیت دارد را بررسی کنیم.


با توجه به تاریخچه بارگذاری که از نتایج آنالیز فرآیند بدست می آید، می توان از صحت انجام فرآیند کسب اطلاع کرد و برای بدست آوردن یک جواب ایده آل از چندین بار سعی و خطا در پارامترهای ورودی انجام داد.



پیش پردازنده:

۱. مدل سازی در محیط Abaqus/CAE

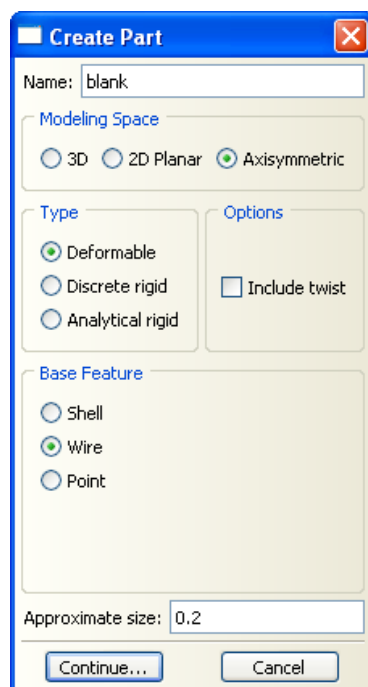
- در محیط Abaqus/CAE از مدول part جهت انجام مدل سازی این فرآیند استفاده می کنیم. پس از انتخاب مدول

part با استفاده از گزینه ی  create part نام ونوع مدل جدید را تعیین می کنیم، جهت مدل سازی ورق نام


blank را در قسمت name از پنجره create part وارد کنید ونوع مدل ورق را deformable و در قسمت



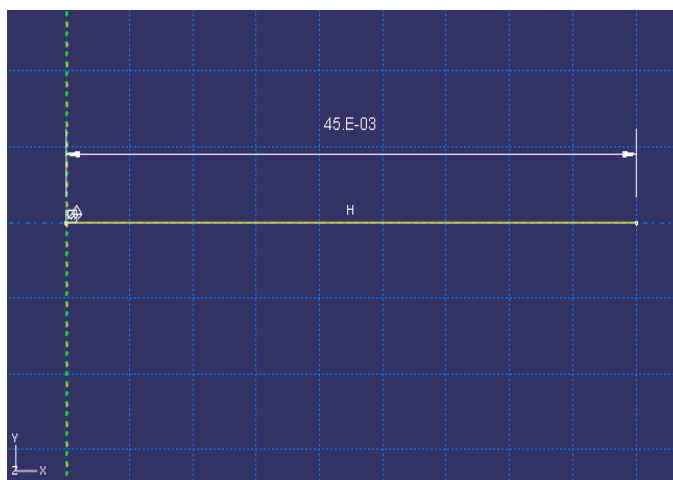
modeling space گزینه Axisymmetric را انتخاب کنید. اصول مدل سازی را براساس wire می باشد، برای تقریب شبکه بندی محیط ترسیم عدد ۰.۲ را وارد می کنید.




در محیط ترسیم با استفاده از آیکون  create line خطی در راستای افق رسم کرده وبا استفاده از آیکون Add

dimension  اندازه ۰.۰۴۵ را به عنوان طول خط وارد می کنیم.

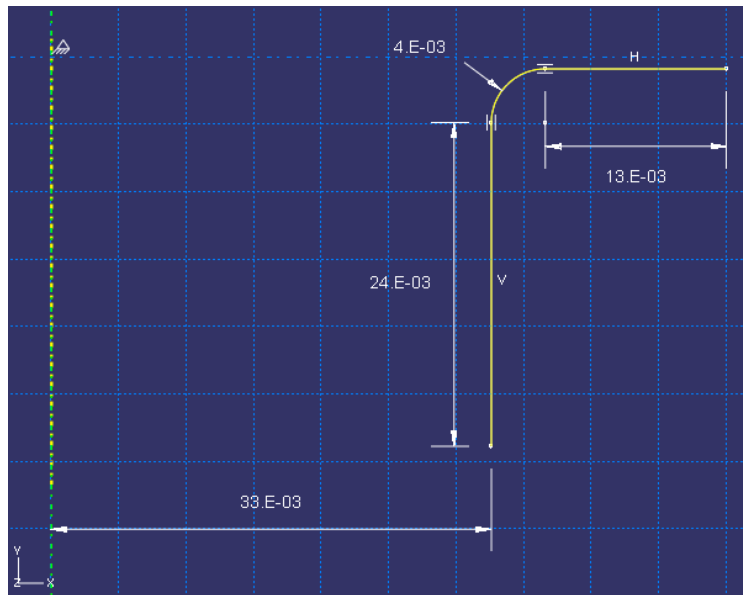
Done •



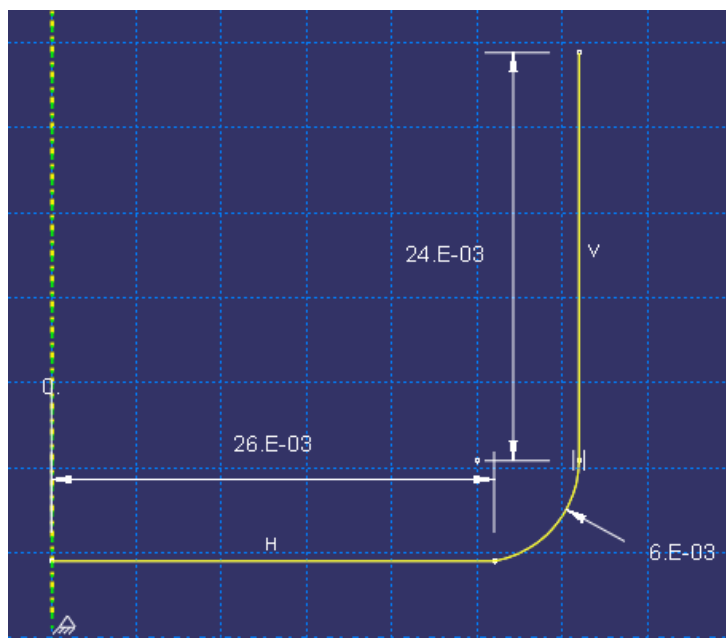


- جهت مدل کردن DIE بار دیگر از گزینه ی create part به ایجاد مدل جدید اقدام می کنیم. این بار نوع مدل را Analytical rigid و به صورت Axisymmetric در نظر می گیریم. جهت ایجاد پخ بر قالب از گزینه create  fillet استفاده کنید.

Done •



- در محیط part با استفاده از گزینه tools> reference point نقطه ی مرکز شعاع لبه die را به عنوان مرجع در قالب در نظر می گیریم.
- برای ایجاد مدل punch مشابه قالب عمل کنید.



۲. تعیین مواد (Material and section properties):

- برای تعیین خواص مواد و جنس ورق به مدول **property** رفته و با استفاده از گزینه **create material** مشخصات آن را وارد می کنیم در پنجره **edit material**، از قسمت **name** نام جنس را **steel** قرار داده و برای تعیین خواص جنس مذکور از قسمت **general** و گزینه **density**، چگالی ۷۸۰۰ را وارد کنید و برای تعیین خواص

Edit Material

Name: steel

Description:

Material Behaviors

- Density
- Elastic
- Plastic

General Mechanical Thermal Other Delete

Density

☐ Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

Data

	Mass Density
1	7800

OK Cancel

Edit Material

Name: steel

Description:

Material Behaviors

- Density
- Elastic
- Plastic

General Mechanical Thermal Other Delete

Elastic

Type: Isotropic Suboptions

☐ Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

Moduli time scale (for viscoelasticity): Long-term

☐ No compression

☐ No tension

Data

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	210e9	0.3

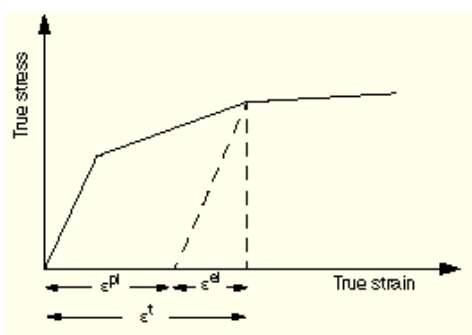
OK Cancel



الاستیک از قسمت mechanical، گزینه elastic مدول یانگ و ضریب پواسون (۰.۳) را وارد کنید. در قسمت type به علت یکسان در نظر گرفتن خواص مواد در جهات مختلف، گزینه isotropic را انتخاب کنید.

- برای مشخص کردن خواص پلاستیک از قسمت mechanical و گزینه plastic، ویژگی های پلاستیک جنس مورد نظر را وارد کنید. توجه داشته باشید که عدد وارد شده در قسمت plastic strain تنها بخش پلاستیک کرنش قطعه می باشد. به عبارتی دیگر کرنش نشان داده شده در نمودارهای تنش - کرنش، شامل دو بخش پلاستیک و الاستیک می باشد که جهت تعیین خواص مواد در این بخش از قسمت پلاستیک استفاده شده است.

	Yield Stress	Plastic Strain
1	91200000	0
2	131000000	0.00159
3	171000000	0.00649
4	211000000	0.0177
5	251000000	0.0395
6	291000000	0.0776
7	331000000	0.139
8	391000000	0.295

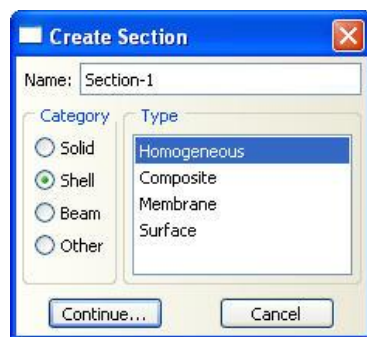




$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon^t - \varepsilon^{el} = \varepsilon^t - \sigma/E,$$

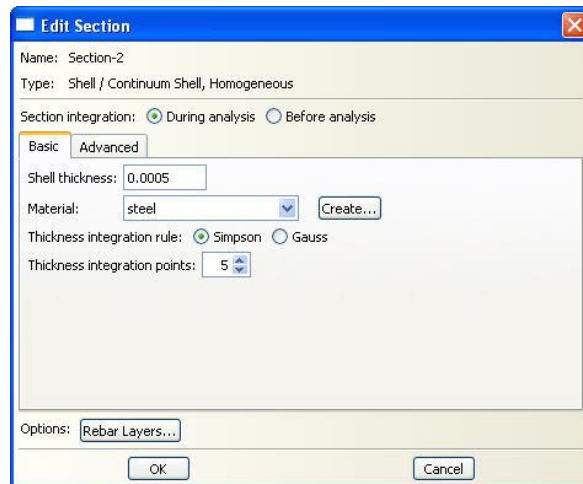
- جهت اختصاص دادن خواص مواد به ورق ،ابتدا با کلیک کردن بروی آیکون create section پنجره شکل؟ را باز کرده و یک section جدید ایجاد می کنیم و سپس با کلیک کردن بر آیکون section assignment خواص ماده steel که در بخش قبل تعریف شد را به ورق نسبت می دهیم. در پنجره create section ، در قسمت category نوع shell را انتخاب کنید. مدل shell را زمانی انتخاب می کنیم که نسبت ضخامت مدل به ابعاد آن کوچک باشد(تنش صفحه ای).


Continue •

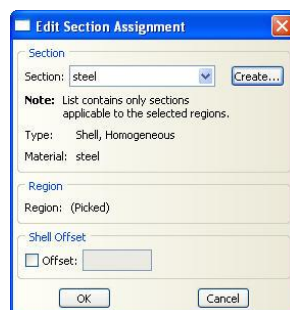


- در این قسمت پنجره دیگری به نام edit section باز می شود. در این بخش ماده مورد نظر را به section اختصاص می دهیم و در قسمت shell thickness ضخامت ورق را ۰.۰۰۰۵ متر تعیین کنید. در قسمت section integration که نشان دهنده تعیین خواص مواد section با استفاده از انتگرال گیری در حین تحلیل (during analysis) ویا پیش از شروع تحلیل می باشد. در مواردی که رفتار غیر خطی ماده مورد نظر است از گزینه during analysis استفاده می کنیم.


Ok •



- حال با استفاده از کلیک کردن بر آیکون  section assignment و انتخاب ورق ، خواص section را به آن نسبت می دهیم.
- Ok

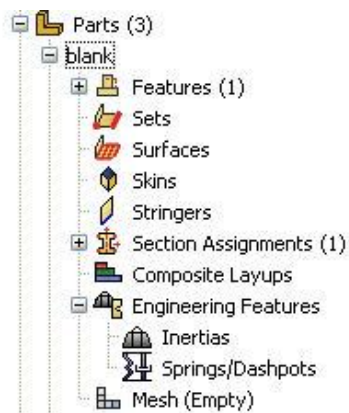
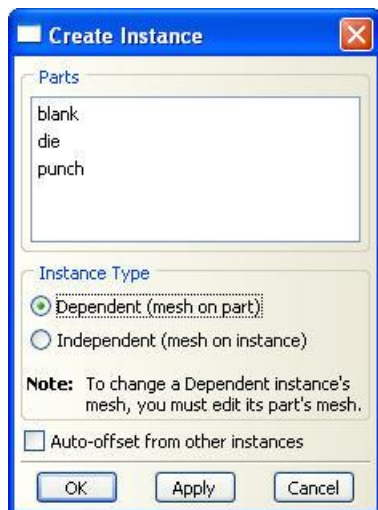


۳. مونتاژ قطعات (Assembling the part):

- جهت مونتاژ در مدول Assembly با استفاده از دستور instance part قطعات را فرا خوانی می کنیم. یادآوری می شود که هنگام برقراری تماس در abaqus/explicit ضخامت پوسته مورد نظر لحاظ می شود، بنابراین باید بین ورق و قطعات صلب (قالب و پانچ) لقی معادل نصف ضخامت ورق (۰.۰۰۰۲۵ m) در نظر گرفته شود.
- با استفاده از کلیک کردن بر آیکون  instance part پنجره create instance را باز می کنیم . جهت وارد کردن قطعات ، با انتخاب قطعه مورد نظر و کلیک کردن بر کلید apply آنها را فرا خوانی کنید. در هنگام انتخاب قطعه ی blank گزینه ی independent را انتخاب کنید و در انتخاب دیگر قطعات (die و punch) گزینه dependent یا وابسته را فعال کنید . در حالت dependent مش زیر مجموعه model می شود و به آن وابسته است. و در قطعاتی که حجم مش و یا تعداد قطعات آنها زیاد است ، توصیه می شود. و مزیت آن کاهش حافظه مورد نیاز



جهت مش بندی و انجام مش بندی برای یک بار می باشد. در حالت independent مش بندی قطعات به صورت مستقل و جدا از هم انجام می شود. در صورتی که گزینه auto- offset from other instance را انتخاب کنیم، از روی هم افتادن قطعات جلوگیری می شود.



Independent



Dependent

- جهت مونتاژ پانچ با ورق از قید edge to edge استفاده می کنیم (constraint > edge to edge) و فاصله ورق و پانچ را تعیین می کنیم. بدین منظور پس از کلیک کردن بر آیکن edge to edge ابتدا قطعه متحرک (punch) و سپس قطعه ثابت (blank) را انتخاب کنید و پس از مشخص کردن جهت تماس با استفاده از کلید flip، مقدار لقی (۰.۰۰۰۲۵) مورد نظر را وارد کنید (توجه کنید که علامت لقی وارد شده به جهت تماس وابسته می باشد)
- به منظور مونتاژ die مراحل قبل را طی می کنیم و این بار نیز با استفاده از قید edge to edge لقی مورد نیاز (۰.۰۰۰۲۵) بین قالب و ورق را ایجاد می کنیم.



۴. Geometry set :

- به منظور سهولت در انتخاب برخی از قسمت های هندسی که در ادامه از آنها در مدول بارگذاری و شرایط مرزی استفاده می کنیم ، به ایجاد و نامگذاری آنها می پردازیم.

بدین منظور از مسیر `tools> set > create` استفاده می کنیم. و به صورت زیر مناطق هندسی را تعریف کنید:

- Ref punch: نقطه ی reference پانچ

- Ref die: نقطه ی reference قالب


- Blank: ورق

- Bsym: نقطه ی سمت چپ ورق

- Bend: نقطه ی سمت راست ورق

۵. بدست آوردن زمان مناسب:

- برای بدست آوردن زمان مناسب فرآیند شبه استاتیکی باید با استفاده از یک آنالیز frequency در قسمت abaqus standard / فرکانس شکل اول را بدست آورده و با استفاده از آن مینیمم زمان لازم برای انجام فرآیند را تعیین می کنیم.

- بدین منظور در مدول step با کلیک کردن بر آیکون  و انتخاب آنالیز frequency از لیست linear perturbation یک step ایجاد کنید.

- Continue



Create Step

Name: Step-1

Insert new step after

Initial

Procedure type: Linear perturbation

Buckle

Frequency

Static, Linear perturbation

Steady-state dynamics, Direct


Continue... Cancel

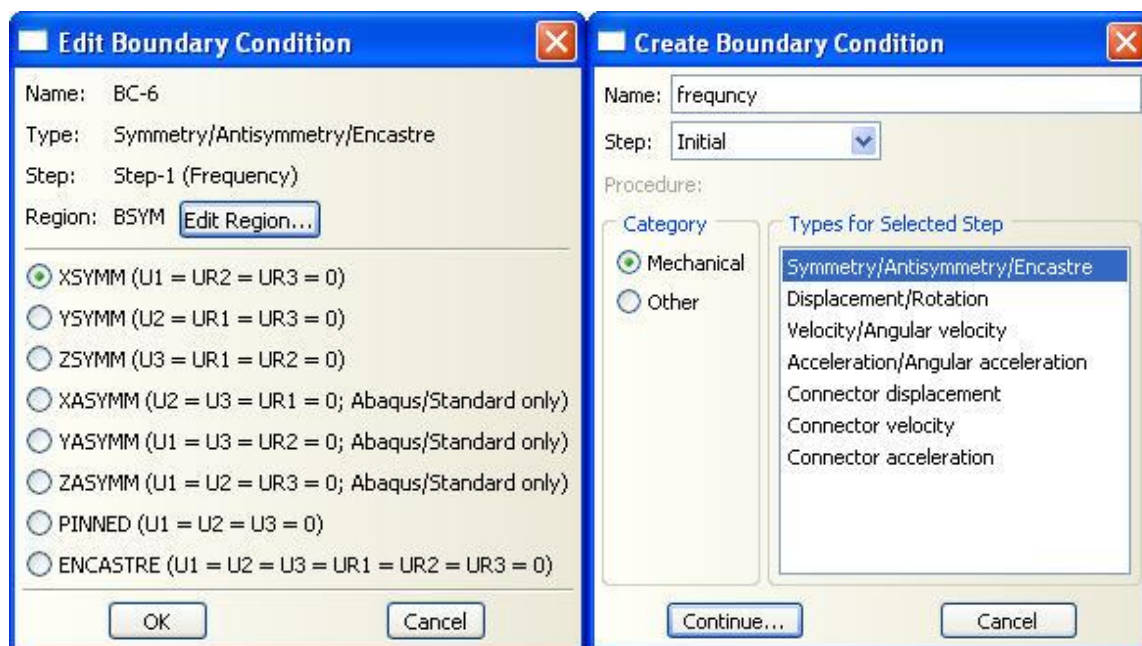
- در این قسمت پنجره ی **edit step** باز خواهد شد که در آن مکزیمم فرکانس مود ها در حل را وارد کنید . به بیان دیگر نرم افزار تا فرکانس ذکر شده مودهای ارتعاشی را حساب خواهد کرد، با توجه به آنکه در این مسئله تنها به فرکانس مود اول نیاز داریم بنابراین برای مثال می توانیم فرکانس **2000 hz** را وارد کنیم.





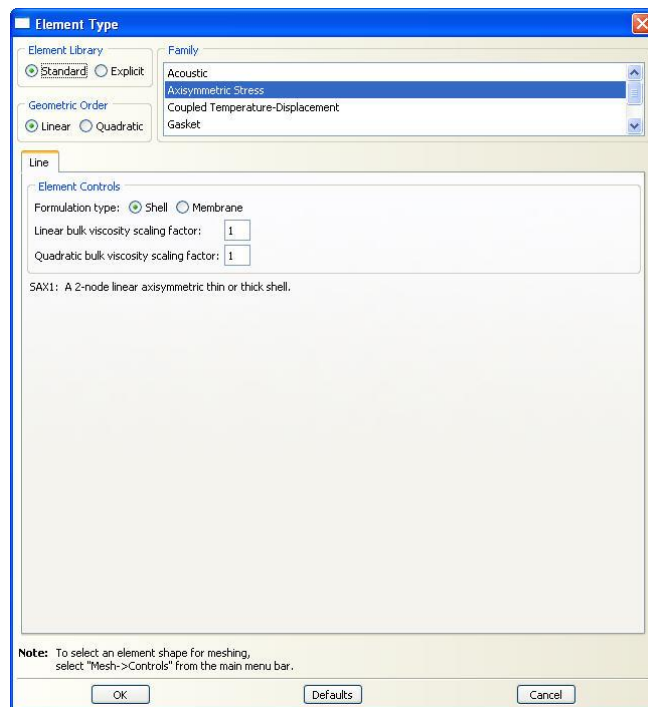
- برای تعیین نتایج خروجی حل از مسیر **field output > output > field output request > create** را باز کنید و نتایج مورد نیاز را انتخاب کنید.



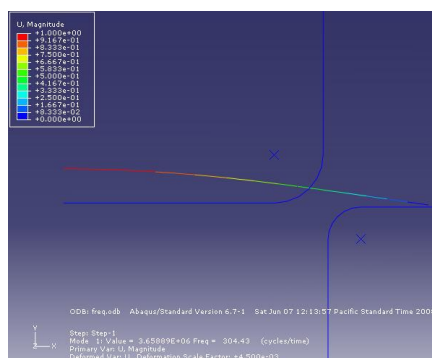
- برای تعریف شرایط مرزی به مدول load رفته وبا کلیک کردن بروی آیکون create boundary condition  پنجره ی زیر را باز کرده و نقطه Bend را در دو جهت آزادی U1 و U2 مقید و نقطه Bsym را در صورت xsymm مقید کنید.



- برای ایجاد مش ، مدول MESH را انتخاب کرده وبا کلیک کردن بروی آیکون seed edge: by number  انتخاب Blank، تعداد ۵۰ گره را در طول ورق ایجاد کنید. سپس با استفاده از آیکون assign element type  نوع المان مورد نظر را انتخاب کنید . در این فرآیند که ارتعاشی واز نوع abaqus / standard می باشد از المان پوسته ای sax1 استفاده کنید.
- Done




برای حل ارتعاشی در مدول **job** بروی آیکون **create job** کلیک کنید و حل ارتعاشی را **submit** کنید. برای مشاهده نتایج به مدول **visualization** رفته و مقدار فرکانس مود اول را یادداشت کنید. اگر به نتیجه ی ۳۰۴ نرسیده اید، مراحل را مجددا بررسی کنید. حداقل زمان لازم برای انجام آنالیز کشش عمیق یک مرحله ای، عکس فرکانس بدست آمده ($1/304 = 0.0033$) می باشد.

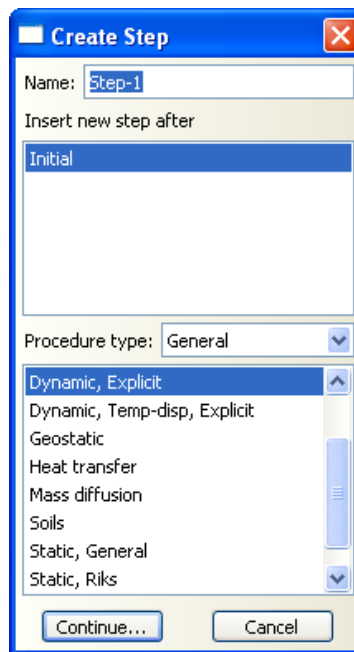
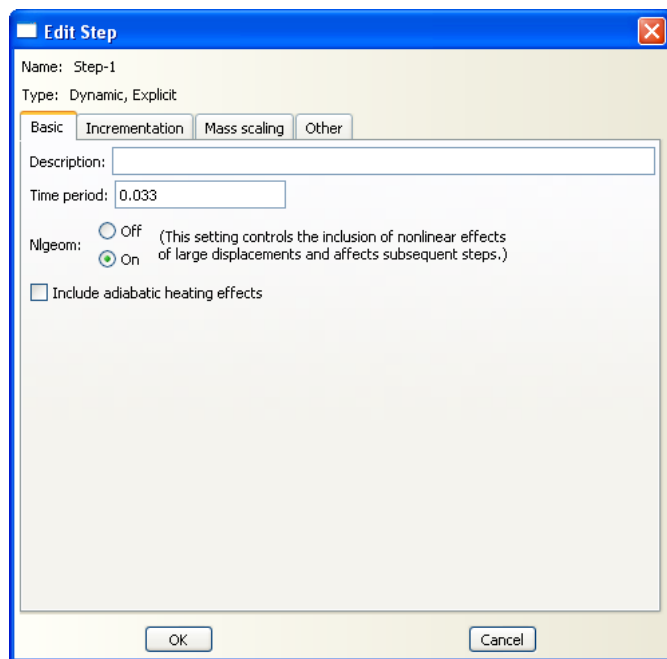


۶. step :

برای تعیین مرحله انجام فرآیند ابتدا **step** ایجاد شده در مرحله فرکانسی را **delete** کرده و با ایجاد یک **step** جدید از نوع **dynamic, explicit** با ویژگی های زیر اقدام کرده و سپس در پنجره محاوره ای **edit step** زمان مرحله فرآیند را که در قسمت قبل بدست آورده اید (۰.۰۳۳) را وارد کنید.



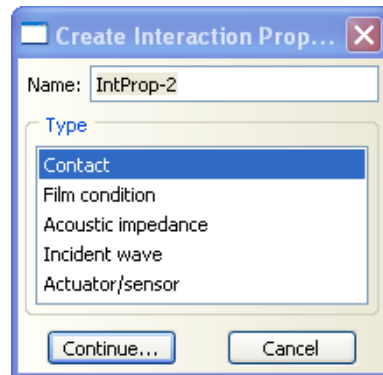
- برای تعیین نتایج خروجی حل از مسیر  create > field output request > output پنجره field output را باز کنید و نتایج مورد نیاز را انتخاب کنید.



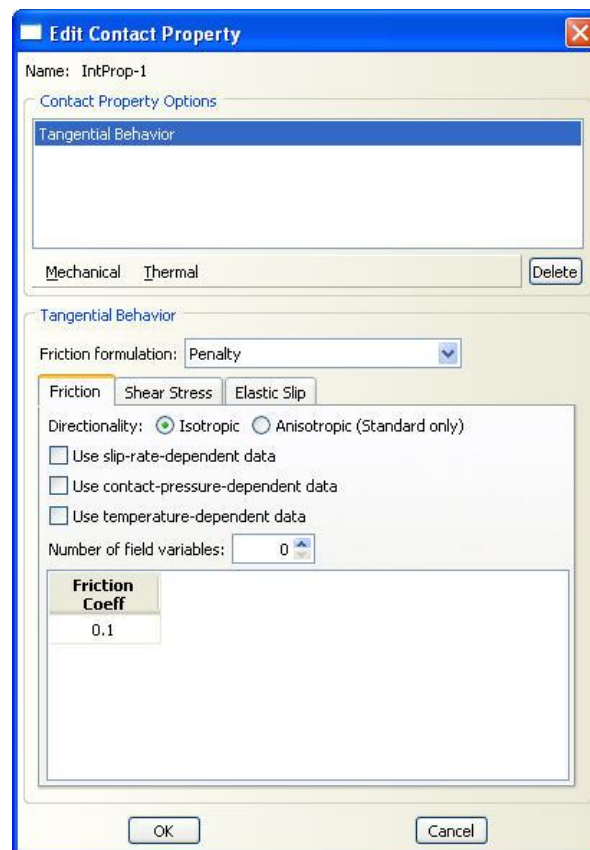
تماسها (Define contact interaction):



برای تعریف شرایط تماس به مدول interaction رفته و با کلیک کردن بروی آیکون interaction property create پنجره ی زیر را باز کرده و نوع تماس را از نوع contact تعریف کنید. سپس Continue.

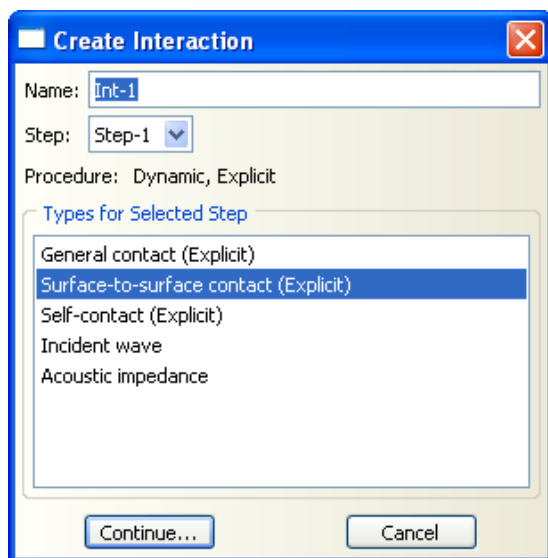


در ادامه کادر محاوره ای زیر باز می شود که در آن میزان ضریب اصطکاک بین سطوح را ۰.۱ وارد کنید.





برای تعریف تماس بین سطوح مختلف با استفاده از دستور create interaction ابتدا با انتخاب سطح پانچ و تعیین سطح تماس توسط رنگ های بنفش و زرد که نشان دهنده سطوح بالا و پایین پانچ می باشند و سپس با انتخاب ورق ، تماس بین آنها را مشخص کنید. نوع تماس از نوع surface-to – surface contact(explicit) می باشد.



پس از این مرحله پنجره زیر باز شده که در آن مشخصات تماس را که در قسمت interaction property تعریف کرده بودید را تعیین می کنید. توجه داشته باشید که سطح اول تماس (first surface) ، سطح پانچ باشد. به همین ترتیب تماس بین سطح قالب و ورق را ایجاد کنید.



Edit Interaction

Name: Int-1
 Type: Surface-to-surface contact (Explicit)
 Step: Step-1 (Dynamic, Explicit)

First surface: (Picked) ■ Switch
 Second surface: (Picked) ■

Mechanical constraint formulation: Kinematic contact method
 Sliding formulation: ☒ Finite sliding ☐ Small sliding

Clearance
Note: Clearance can only be used with small sliding in the first analysis step.

Contact interaction property: IntProp-1 Create...
 Weighting factor: ☒ Use analysis default ☐ Specify

Contact controls: (Default)

OK Cancel

۸. بارگذاری و شرایط مرزی :

جهت انجام شرایط مرزی در قسمت load ، قیدی را که در مرحله ارتعاشی در نقطه Bend ایجاد کرده بودید را delete کنید و قالب (REF die) را در دو مرحله INITIAL و STEP با ایجاد قید، ثابت (FIX) کنید. پانچ (REF punch) را در مرحله INITIAL ثابت کرده و در مرحله STEP در راستای U2 میزان جابجایی 0.015- را وارد کنید.

Edit Boundary Condition

Name: BC-6
 Type: Displacement/Rotation
 Step: Step-1 (Dynamic, Explicit)
 Region: (Picked)

CSYS: (Global) Edit...

Distribution: Uniform Create...

☐ U1:
☒ U2: -0.015
☐ UR3: radians

Amplitude: (Instantaneous) Create...

Note: The displacement boundary condition will be reapplied in subsequent steps.

OK Cancel

Boundary Condition Manager

Name	Initial	Step-1
✓ BC-1	Created	Propagated
✓ BC-2	Created	Propagated
✓ BC-3		Created
✓ BC-5	Created	Propagated
✓ BC-6		Created

Step procedure: Dynamic, Explicit
 Boundary condition type: Displacement/Rotation
 Boundary condition status: Created in this step


Create... Copy... Rename... Delete... Dismiss




در پنجره ی edit boundary condition برای ایجاد amplitude ، بروی گزینه create کلیک کنید تا صفحه زیر باز شود. در این پنجره رابطه زمان با میزان دامنه جابجایی را مطابق شکل زیر وارد کنید .

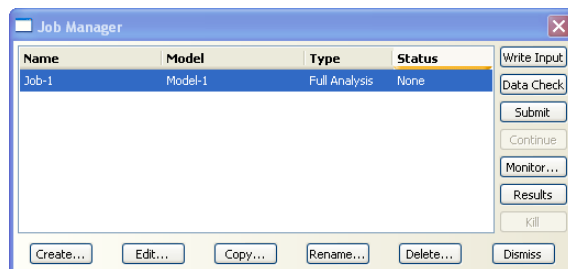
	Time/Frequency	Amplitude
1	0	0
2	0.033	1

مش بندی :


برای تعیین مش از تقسیمات مرحله قبل استفاده کنید ، و تنها نوع مش را در پنجره element type  standard به explicit تغییر دهید.

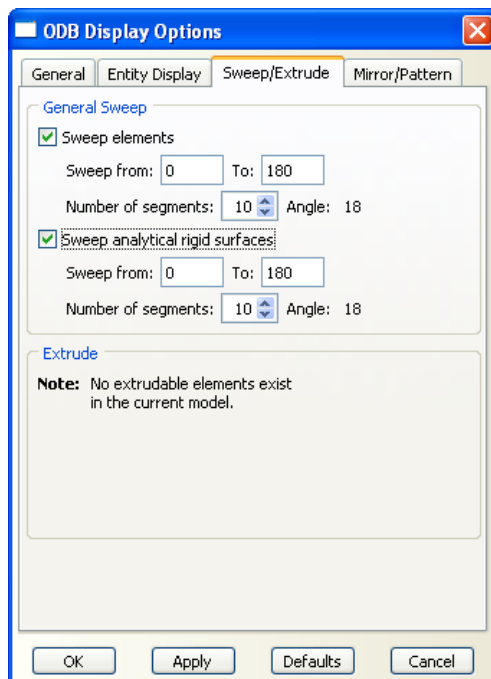
پردازنده یا حل کننده:

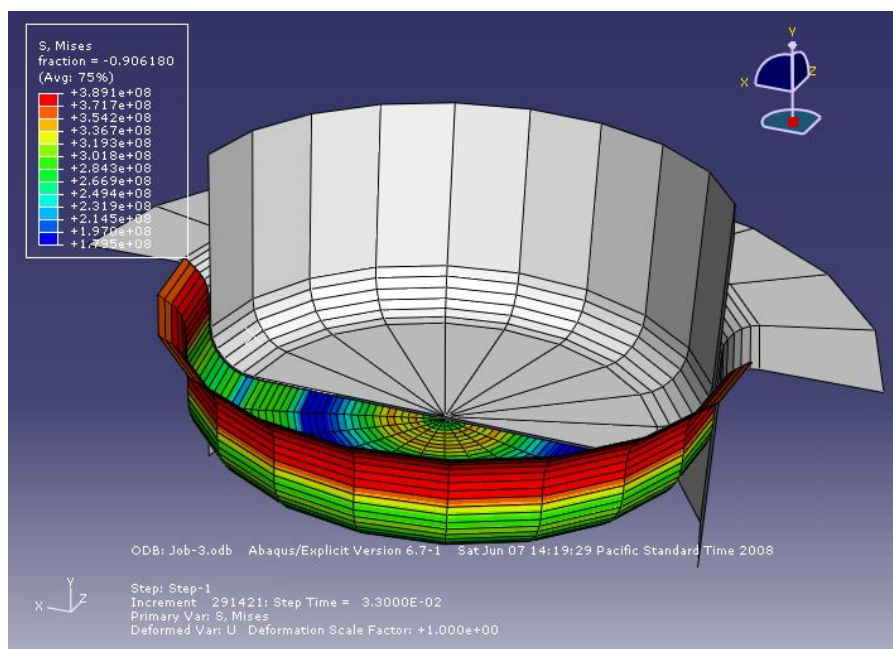
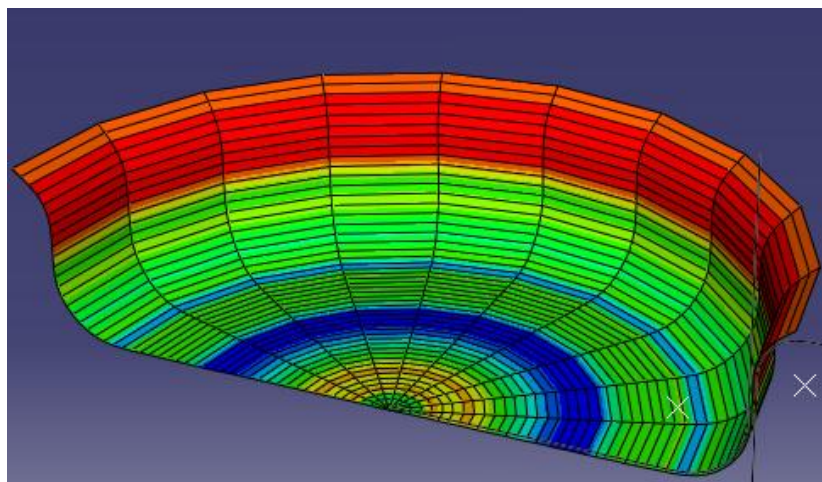
برای حل کردن فرآیند کشش عمیق شبه استاتیکی یک مرحله ای در قسمت job با کلیک کردن بر وی کلید create job  پنجره محاوره ای زیر راباز کنید. در این پنجره با ایجاد یک job name و بعد از آن تعیین مشخصات حل کننده از نوع full analysis و با کلیک کردن بر کلید submit در پنجره job manager راه اندازی مراحل حل را آغاز کنید. در این هنگام یک فایل با پسوند inp شامل مشخصات مدل پیش از آنالیز ایجاد می شود و به حل کننده ارسال می گردد. توجه داشته باشید فایل هایی که در محیط پیش پردازنده (Abaqus / CAE) که شامل مشخصات مدل می باشند با پسوند CAE ایجاد و ذخیره می شوند . بعد از ارسال فایل به حل کننده ، حل مسئله آغاز می شود. با پایان پذیرفتن حل ، یک فایل با پسوند ODB ایجاد می شود که در بخش پس پردازنده از آن استفاده می شود. در صورتی که در انجام حل خطایی داشته باشیم ، یک فایل با پسوند msg را ایجاد خواهد کرد که شامل خطاها و هشدارها می باشد.



پس پردازنده :

در این قسمت نتایج حل را مشاهده و بررسی می کنیم . با استفاده از کلیک کردن بر کلید result از پنجره job manager ویا رفتن به مدول visualization ف می توانید وارد محیط پس پردازنده شوید. در این محیط توانایی مشاهده و بررسی نتایج را دارا می باشید. جهت مشاهده تغییر شکل ورق در این فرایند ، بر آیکون  plot contours on deformed shape کلیک کنید .در صورت تمایل می تونید از مسیر view > odb display پنجره ی odb را باز کنید ودر سر برگ sweep/extrude میزان زاویه ای که جهت چرخش در ورق و یا قطعات صلب نیاز دارید را وارد کنید.





- برای گرفتن فایل خروجی می توانید از منوی **report > field output** یک فایل با پسوند **rpt** ایجاد کنید. که شامل نتایج حل مورد نیاز می باشد.
- جهت گرفتن **animation** بروی یکی از کلیدهای یک کنید.

بررسی صحت نتایج :

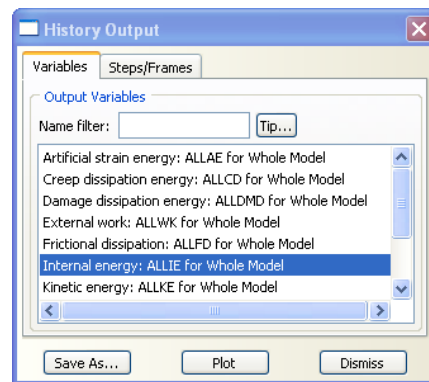
- جهت بررسی صحت نتایج باید به این نکته اشاره کرد که در فرآیند شبه استاتیکی کشش عمیق ، بیشترین انرژی تغییر شکل ناشی از انرژی داخلی می باشد و انرژی جنبشی در صد کمی از (کمتر از ۱ در صد) انرژی شکل دهی می باشد. همچنین نباید نمودار سرعت حرکت پانچ دارای ارتعاش زیاد باشد. بنابراین با مقایسه بین انرژی جنبشی و تاریخچه



انرژی داخلی می توان از صحت عملکرد فرآیند مطلع شد. در صورتی که بارگذاری ملایم باشد، باید میزان نوسانات انرژی جنبشی کم شود. در غیر این صورت با تغییر پارامترهای ورودی از صحت فرآیند اطمینان حاصل می کنیم.

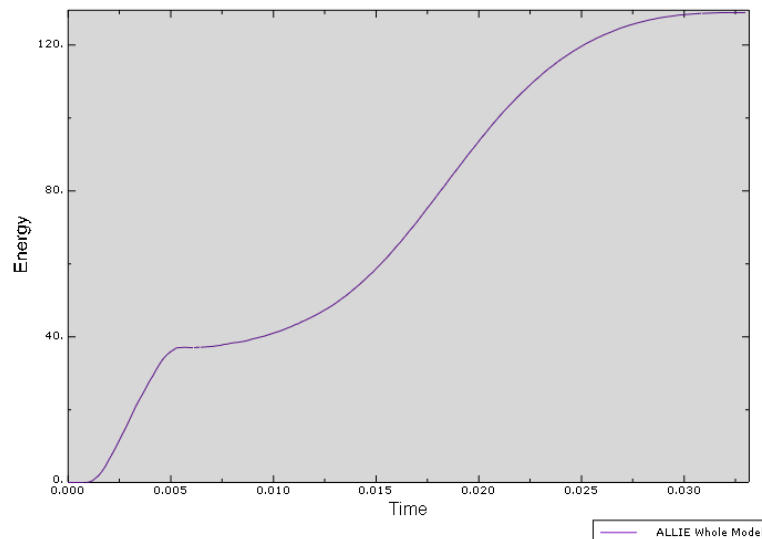
- جهت رسم نمودار انرژی داخلی و انرژی جنبشی از مسیر زیر پنجره history output را باز کنید.

Menu > Result > history out put

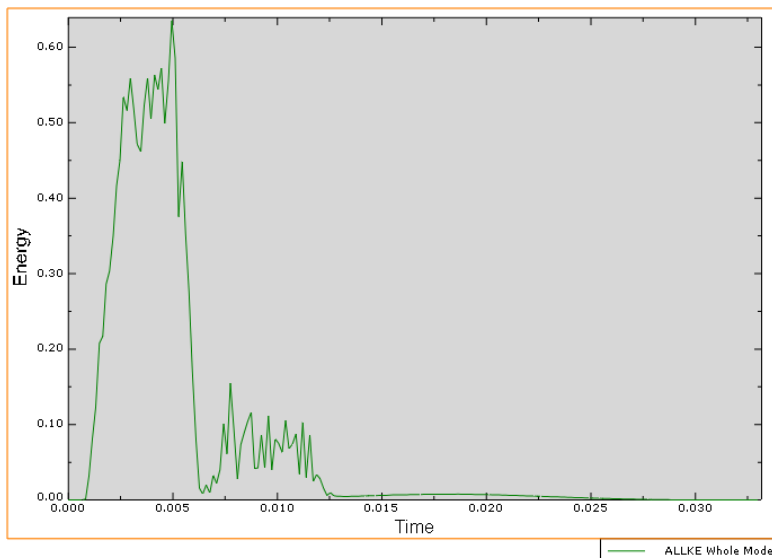


با انتخاب internal energy و kinetic energy از این پنجره نمودار تا ریخچه انرژی داخلی و تا ریخچه انرژی جنبشی را به شکل زی رسم کنید.

تا ریخچه انرژی داخلی job1



تا ریخچه انرژی جنبشی job1

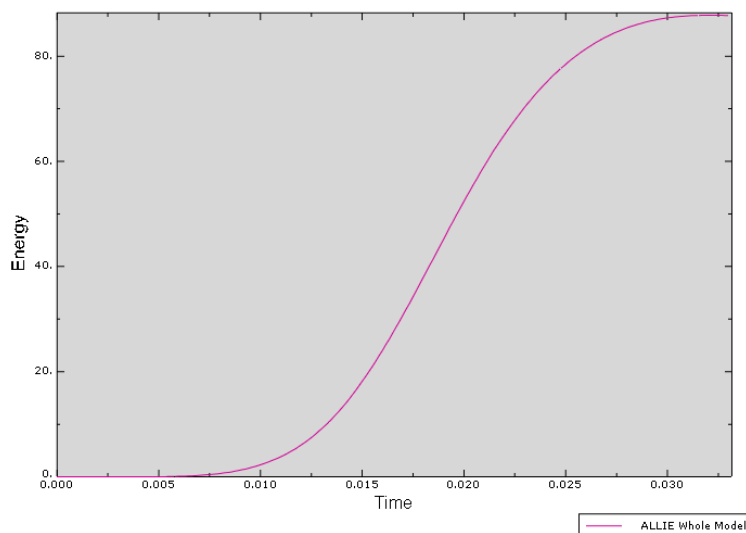


- با توجه به نتایج بدست آمده در این نمودارها و مقدار ارتعاش بالا و شکل نامنظم نمودار انرژی جنبشی ، غیر قابل اعتماد بودن این حل مشخص می شود. بالا بودن ارتعاش نمودار انرژی جنبشی نشان از پلاستیسیته قابل توجه مدل می باشد. بنابراین در مدول property ، مشخصه ای برای damping وارد می کنیم.

Property > material manager > edit > mechanical > damping > β $\beta = 1e-7$

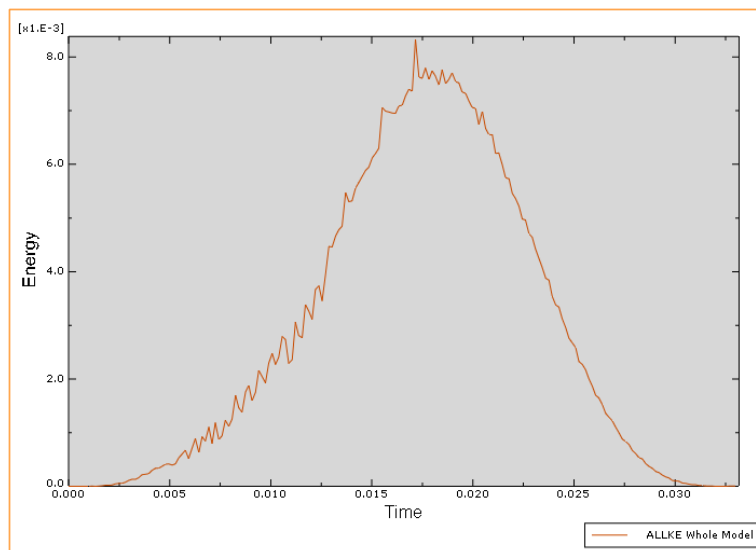
حال مجددا یک حل جدید را همانند قبل ایجاد کنید.

تاریخچه انرژی داخلی job2





تاریخچه انرژی جنبشی job2



با توجه به نتایج بدست آمده و مقایسه دو انرژی ، از صحت نتایج بدست آمده اطمینان حاصل می کنیم. توجه کنید که در اواسط زمان فرآیند با بالا بودن سرعت در این لحظه ، بیشترین انرژی جنبشی تولید شده است.

