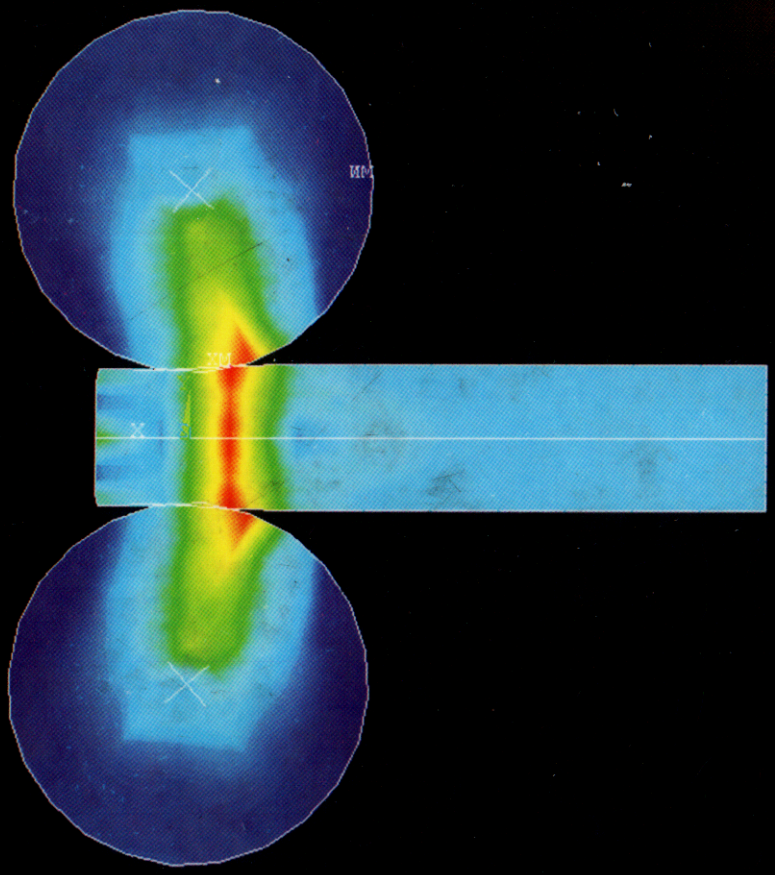
# ANSYS

www.mohandesidl.ir

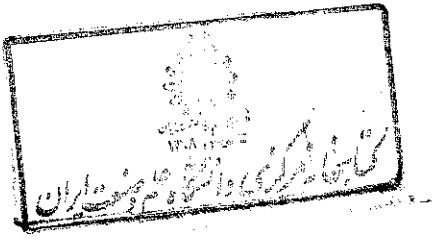


تالیف : حمید رضا جاهد مطلق
محمد رضا نوبان
محمد امین اشراقی

ANSYS
تالیف : حمید رضا جاهد مطلق ، رضا نوبان ، مح

۸۸
TA
345.5
.A57J3
1379
ن.۲

بسمه تعالی



# ANSYS

شماره ثبت
39828

تالیف :

حمیدرضا جاهد مطلق

محمدرضا نوبان

محمد امین اشراقی

B247D1
TA
345.5
.A57J3
1379
۲. ن
فیزیک

جاهد مطلق ، حمیدرضا

ANSYS [انسیس]/ ؛ تالیف حمید رضا جاهد مطلق، محمدرضا نوبان، محمدامین اشراقی. - تهران : دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز انتشارات، ۱۳۷۹ .

۴۰۰ص. : مصور، جدول، نمودار . - (دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز انتشارات؛ شماره ۳۲۳)

ISBN 964-454-382-3: ۲۹۵۰۰ ریال

فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا .

کتابنامه : ص. [۳۹۲].

۱ . نرم افزار انسیس. ۲ . مهندسی- داده پردازی. الف . نوبان، محمدرضا. ب. اشراقی، محمد امین. ج . دانشگاه علم و صنعت ایران. مرکز انتشارات. د. عنوان.

TA ۳۴۵/۵/ الف ۸ج ۲ ۶۲۰/۰۰۲۸۵۵۳۶

۱۳۷۹

کتابخانه ملی ایران ۷۹-۲۰۲۳۰م

● مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران - نارمک صندوق پستی۱۶۳-۱۶۷۶۵

● تلفن: ۷۴۵۱۱۸۶ - دور نویس: ۷۴۵۱۱۸۶

● فروشگاه شماره ۱ : میدان انقلاب - خیابان شهیدمنیری جاوید (اردیبهشت) - پلاك ۱۸۲ تلفن: ۶۴۶۶۹۰۰

● پست الکترونیک : Publication@sun.iust.ac.ir

نام کتاب: ANSYS

مؤلفین : حمیدرضا جاهد مطلق - محمدرضا نوبان - محمد امین اشراقی

چاپ اول : ۱۳۷۹

شماره گان : ۲۰۰۰ جلد

قیمت : ۲۹۵۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی : مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران

* حق چاپ برای دانشگاه علم و صنعت ایران محفوظ است .

شابک : ۳- ۳۸۲-۴۵۴-۹۶۴ ISBN : 964 - 454 - 382 -3

# فهرست


**پیشگفتار**

**فصل ۱ : آشنایی کلی با روش اجزاء محدود و نرم افزار ANSYS**

۱-۱ : آشنایی با روش اجزاء محدود ..... ۳

۱-۲ : معرفی نرم افزار ANSYS و هدف از انتخاب آن..... ۴

۱-۳ : آشنایی با نحوهٔ نصب نرم افزار و نیاز های سخت افزاری آن ..... ۵

۱-۴ : روشهای اجرای نرم افزار ..... ۶

۱-۵ : توضیح محیط نرم افزار و منوهای آن ..... ۱۱

۱-۶ : انواع فایلهای به کار گرفته شده توسط نرم افزار ..... ۱۷

۱-۷ : ارتباط با نرم افزارهای دیگر ..... ۱۸

**فصل ۲ : مدلسازی**

مقدمه ..... ۲۳

تمرین اول : صفحهٔ سوراخدار ..... ۲۵

تمرین دوم : تونل باد ..... ۴۱

تمرین سوم : نقشهٔ مهندسی ..... ۵۱

تمرین چهارم : سیلندر مخروطی ..... ۵۷

تمرین پنجم : آشنایی با کاربرد WorkPlane ..... ۶۶

تمرین ششم : آشنایی با انتخاب اجزا..... ۷۱

تمرین هفتم : قالب صنعتی ..... ۷۶



کتابخانه مرکزی دانشگاه علم و صنعت ایران

## فصل ۳ : آنالیزهای سازه ای

تمرین اول : استاتیکی ..... ۹۱
تمرین دوم : مودال ..... ۱۰۵
تمرین سوم : پاسخ منظم ..... ۱۱۸
تمرین چهارم : دینامیکی گذرا ..... ۱۳۳
تمرین پنجم : غیر خطی ..... ۱۴۵
تمرین ششم : خزش ..... ۱۶۱
تمرین هفتم : کمانش ..... ۱۶۹
تمرین هشتم : مواد مرکب ..... ۱۷۸
تمرین نهم : خستگی ..... ۱۸۹

## فصل ۴ : آنالیزهای حرارتی

تمرین اول : حالت پایدار ..... ۲۰۵
تمرین دوم : حالت گذرا ..... ۲۱۷
تمرین سوم : تشعشع ..... ۲۳۲

## فصل ۵ : آنالیز میدانهای کوپله

مقدمه : ..... ۲۴۷
تمرین اول : تحلیل ترموالاستیک ( غیر مستقیم ) ..... ۲۴۹
تمرین دوم : میدان های کوپلهٔ مستقیم ..... ۲۵۶
تمرین سوم : آکوستیک ..... ۲۶۵

## فصل ۶ : آنالیزهای ویژه

تمرین اول : تحلیل دینامیکی سیال ..... ۲۸۵
تمرین دوم : مکانیک شکست ..... ۲۹۸
تمرین سوم : بهینه سازی طراحی ..... ۳۰۷

تمرین چهارم : آنالیز مودال برای سازه های متقارن تکراری ..... ۳۲۷
تمرین پنجم : تحلیل ویسکو الاستیک..... ۳۳۶
تمرین ششم : آنالیز تماس ..... ۳۴۴

**فصل ۷ : آشنایی با برخی از امکانات ویژه**

تمرین اول : تولد و مرگ المان ..... ۳۵۹
تمرین دوم : ساخت ماکرو ..... ۳۷۹

**ضمائم** ..... ۳۸۳
پیوست ۱
پیوست ۲

**مراجع** ..... ۳۹۲

**فهرست موضوعی ( فارسی )** ..... ۳۹۳
**فهرست موضوعی ( انگلیسی )** ..... ۳۹۷

کتابخانه مرکزی دانشگاه علم و صنعت ایران
تاسیس ۱۳۰۸
شماره ثبت
39828

لیکن بدون آشنایی و درک مفاهیم پایه و به خصوص محدودیتهای روش اجزاء محدود استفادهٔ کارآمد از این نرم افزار ممکن نیست .

نرم افزارهای متعددی امروز در داخل کشور براحتی در دسترس علاقمندان قرار دارد که نرم افزار ANSYS نیز از آن جمله است . اما از آنجا که در دسترس بودن این نرم افزارها به همراه آموزش قابلیتها و نحوهٔ بکارگیری صحیح آنها نمی باشد ، امکان بهره برداری غیر علمی از آنها وجود دارد . گاهی حتی ظاهر دوستانه یا غیر دوستانهٔ یک نرم افزار بدون توجه به قابلیتهای آن و نیازمندیهای کاربر عاملی برای ترجیح یا عدم ترجیح آن می شود . این مهم می تواند باعث به وجود آمدن معضلات صنعتی و علمی گردد و عملاً صنعت را نسبت به بکارگیری این روش کارآمد دچار شک و تردید کند .

هدف از تهیهٔ خود آموز حاضر صرفاً ارائهٔ یک مرجع مناسب برای مهندسان صنایع و دانشجویان رشته های فنی و مهندسی جهت آموزش اولیهٔ بکارگیری صحیح این نرم افزار می باشد تا کاربر نتایج بدست آمده را پس از موشکافی علمی مورد استفادهٔ مطمئن قرار دهد . بدیهی است که صرف وجود یک نرم افزار در یک مرکز نمی تواند عامل مثبت تلقی شود بلکه بکارگیری صحیح آن همراه با ارزشیابی علمی نتایج بر اساس درایت مهندسی کاربر می تواند این ابزار را به عامل مثبت و قابل اعتماد تبدیل کند .

مخاطبین اصلی نوشتهٔ حاضر مهندسان صنایع ، به خصوص مهندسین شاغل در مراکز تحقیق و توسعه و دانشجویان رشته های مهندسی مکانیک و مهندسی عمران در سالهای آخر کارشناسی ، دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا می باشد .

نوشتهٔ حاضر ، به خصوص به دانشجویان تحصیلات تکمیلی در رشته های مهندسی مواد ، شیمی و برق کمک می کند چرا که این نرم افزارها در رشته های یاد شده کمتر شهرت داشته یا به کار گرفته شده است .

باید توجه داشت که صرف آشنایی با نرم افزار و دستورهای آن برای بهره برداری علمی و مفید از این نرم افزارها کافی نیست . دانش مهندسی و فراتر از آن درایت مهندسی است که امکان استفادهٔ مناسب را به وجود می آورد . اولین گام مدل نمودن یک مسالهٔ واقعی است . در این مدل شرایط مرزی و اولیه باید به خوبی تعریف شود . این امر مستلزم درک مهندسی از مسالهٔ واقعی می باشد . این درک کمک مینماید تا کاربر بتواند نوع المان مناسب برای مدل کردن رفتار قابل انتظار را تشخیص دهد . مثلاً بکارگیری المان تیر برای مدل کردن انحناء ، المان پوسته أی برای مدل کردن اثر غشایی یا المان تکین برای مدل کردن رفتار نوک ترک .

افزون بر این تشخیص نوع تحلیل نیز مستلزم درک صحیح مهندسی از مسالهٔ مورد نظر می باشد . پاسخ به سوالهایی مانند آیا رفتار مادی و هندسی خطی است یا غیر خطی ؟ آیا رفتار حالت پایدار است یا گذرا ؟ در تشخیص نوع تحلیل لازم است . مهمترین مرحله ، ارزشیابی

نتایج به دست آمده از تحلیل و سعی در تفسیر مهندسی آن است که علاوه بر دانش و درایت مهندسی تجربه را نیز لازم دارد . پس مشخص می شود که نوشتهٔ حاضر تنها فراهم کنندهٔ بستر اولیه برای استفاده از نرم افزار می باشد و موارد ذکر شده همگی لازمهٔ بکارگیری موثر و مفید می باشند .

کتاب حاضر در ۷ فصل و بر مبنای نرم افزار ANSYS نسخهٔ 5.4 و به بعد تهیه شده است . فصل اول به مرور موضوعات عمومی در بکارگیری نرم افزار ANSYS می پردازد . فصل دوم به نحوهٔ مدلسازی هندسی و اجزاء محدود مسائل می پردازد . فصول پی آمد آن به معرفی و نحوهٔ بکارگیری محصولات[1] مختلف ANSYS می پردازد که طی ۵ فصل به ترتیب زیر آمده است : فصل سوم آنالیزهای سازه ای ، فصل چهارم آنالیزهای حرارتی ، فصل پنجم آنالیزهای میدانهای کوپله ، فصل ششم آنالیزهای ویژه و فصل هفتم بررسی برخی از امکانات ویژهٔ نرم افزار است .

از کلیهٔ اساتید ، محققین ، دانشجویان ، صاحب نظران و کلیهٔ عزیزانی که از این مجموعه استفاده میکنند تقاضا می شود با عنایت خاص خود ، ما را از معایب و نارسایی های موجود در چاپ اول کتاب که ممکن است از نظر دور مانده باشد ، مطلع نمایند تا در چاپ های بعدی اشکالات موجود رفع گردند .

از خوانندگان گرامی تقاضا می شود هرگونه نظر صائب خود را در مورد محتوای این کتاب از طریق مکاتبه و یا پست الکترونیک به آدرس hjahedmo@iust.ac.ir به اطلاع ما برسانند .

امیدواریم که در چاپهای بعدی کتاب سایر امکانات و محصولات ANSYS نظیر الکترومغناطیس و Piping نیز مورد بحث قرار گیرد .

ضمنا متذکر می شویم که مولفین کتاب وابستگی به شرکت های داخلی و خارجی و نمایندگیهای نرم افزار ANSYS ندارند و هدف از تهیهٔ این کتاب تنها ارتقاء سطح علمی دانشجویان و استفاده از این نرم افزار در صنعت است .

در پایان بر خود لازم می دانیم از زحمات جناب مهندس عیوق در شرکت کامپیوتری سمن در امور تایپ و از لیتوگرافی و چاپخانه و انتشارات دانشگاه علم و صنعت در امور نشر و کلیهٔ کسانی که ما را در این امر یاری کردند ، قدردانی کنیم .

حمیدرضا جاهد مطلق

محمد رضا نوبان

محمد امین اشراقی

دی ۱۳۷۹

*1- Product or Modules*

# فصل اول

## آشنایی کلی با روش اجزاء محدود و نرم افزار ANSYS

ANSYS

www.mohandesidl.ir

## ۱-۱- آشنایی با روش اجزاء محدود[1] :

به طور کلی برای حل مسائل فیزیکی ، دو روش موجود است :

۱- حل تحلیلی دقیق ( Exact Solution )

۲- حل عددی ( Numerical Solution )

۳- روش تجربی ( Experimental Method )

در حل دقیق همانطور که از نام آن پیدا است ، به محاسبهٔ دقیق پارامتری معادلات دیفرانسیلی حاکم بر میدانهای فیزیکی همچون میدان الکتریکی ، میدان تنش ، میدان جریان ، میدان مغناطیسی ، میدان حرارتی و ... می پردازند . در حالیکه در روش دوم به حل تقریبی و عددی این مسائل می پردازند .

روش اجزاء محدود یکی از روشهای حل عددی می باشد .

از جمله مزیتهای حل عددی و به خصوص روش اجزاء محدود نسبت به حل دقیق به شرح زیر است :

۱- روش حل دقیق غالباً از تحلیل مدلهای با هندسهٔ پیچیده عاجز است و تنها روشهای حل عددی به خصوص اجزاء محدود در این زمینه کارگشا است . به عنوان مثال محاسبهٔ تنش ماکزیمم در میل لنگ اتومبیل و ...

۲- در حل سیستم های با شرایط مرزی و و اولیهٔ کمی پیچیده نیز حل دقیق ناتوان است و تنها روشهای مرسوم عددی در حل این مسائل به کار می رود . به عنوان مثال تحلیل استحکامی پرهٔ توربین بادی در اثر بارهای آیرودینامیکی وارده بر آن .

در روش اجزاء محدود کل مدل هندسی به اجزاء ریزتری با نام المان[2] تقسیم بندی می شود و تحلیل بر اساس المانهای قرار گرفته بر روی مدل انجام می شود . هر المان خود از گره ها[3]یی تشکیل شده است که مقادیر ورودی و خروجی به آنها اختصاص داده می شود . هر المان با یک تابع شکل[4] معرفی می شود که این تابع شکل می تواند خطی ( درجهٔ یک ) و یا غیر خطی ( درجهٔ ۲ یا بالاتر ) باشد . در هنگام تحلیل یک مدل با روش اجزاء محدود ، تعداد معادلات بسیار زیادی ـ که در بعضی از مدلها به بیش از ۲۰۰۰۰ معادله می رسد ـ همزمان باید حل شود .تعداد این معادلات بستگی مستقیم با تعداد گره ها و المانهای قرار گرفته روی مدل دارد . به همین دلیل در هنگام مدلسازی می بایست تا حدی که به دقت جوابهای خروجی لطمه نزند، از تعداد المانهای کمتری در مدل مساله استفاده نمود . با توجه به موارد فوق مشخص است که

---

*1- Finite Element Method*
*2- Element*
*3- Nodes*
*4- Shape Function*

کتابخانه مرکزی دانشگاه علم و صنعت ایران
تاسیس ۱۳۴۰

کاربر باید دید درستی از مساله داشته باشد تا بتواند با توجه به نوع مساله ، درجات آزادی مدل، شرایط مرزی ، شرایط اولیه ، بارگذاریها و ... مدل هندسی مساله را به تعدادی المان تقسیم بندی و یا به اصطلاح شبکه بندی[1] کند .

در نرم افزارهای اجزاء محدود به طور کلی در حل هر مساله ۳ مرحلهٔ کلی به شرح زیر باید توسط کاربر انجام شود :

۱- مدلسازی هندسی مساله و سپس انتخاب نوع المان از مجموعهٔ المانهای نرم افزار با توجه به نوع مساله ، تعیین خواص مواد سازندهٔ مدل و در نهایت تبدیل مدل هندسی به مدل اجزاء محدود به کمک انجام عمل شبکه بندی .

۲- تعیین نوع تحلیل ، اعمال شرایط مرزی و شرایط اولیه ، بارگذاری و سپس تحلیل مساله به کمک حل کنندهٔ[2] نرم افزار .

۳- مشاهدهٔ نتایج به صورت گرافیکی ، نموداری و ...

به عنوان مثال فرض کنید که مساله أی را در حالت دو بعدی و تحت بارگذاری حرارتی می خواهید تحلیل کنید . در این مساله پس از مدلسازی هندسی و تعیین خواص ماده یا مواد تشکیل دهندهٔ مدل ، باید با توجه به آنکه تحلیل از نوع تحلیل حرارتی است ، المانی را با درجهٔ آزادی حرارتی در حالت ۲ بعدی از مجموعهٔ المانهای نرم افزار انتخاب کرده و مدل هندسی ساخته شده را با انجام عمل شبکه بندی به صورت مجموعه أی از المانهای قرار گرفته در کنار هم بر روی مدل که همگی از نوع المان انتخاب شدهٔ فوق است ، تبدیل کنید و سپس بارگذاریهای مورد نظر را بر روی مدل اعمال کرده و در نهایت به کمک حل گر نرم افزار آنرا حل کنید و سپس نتایج را مشاهده کنید .

برای آشنایی بیشتر با روش اجزاء محدود می توانید به کتابهای مرجع "روش اجزاء محدود برای مهندسین نوشتهٔ کنیت هیوبنر" [۱] و یا " آنالیز اجزاء محدود نوشتهٔ لری سگرلیند" [۲] مراجعه کنید .

## ۲-۱- معرفی نرم افزار ANSYS و هدف از انتخاب آن :

این نرم افزار در سال ۱۹۷۱ توسط شرکت آمریکایی Swanson به عنوان یکی از پیشگامان نرم افزارهای اجزاء محدود ساخته شد و مورد استفادهٔ محققان قرار گرفت و جز، اولین نرم افزارهایی است که آنالیزهای غیر خطی ، مکانیک شکست ، مخازن و سایر آنالیزها را در بستهٔ نرم افزاری خود قرار داد .

هدف از انتخاب این نرم افزار به دلایل زیر است :

---

*1- Meshing* *2- Solver*

۱- نسخهٔ 5.4 این نرم افزار در دسترس است و از لحاظ نصب ، نیازهای سخت افزاری ، تحلیل و ... دارای مشکلی نمی باشد .

۲- حل گرهای قدرتمند و هوشمند این نرم افزار ، کاربرد آنرا از کاربردهای تحقیقاتی به کاربردهای صنعتی ارتقاء داده است به طوری که هم در امور تحقیقاتی و هم در امور صنعتی می توان از آن استفاده کرد .

۳- مدلسازی و شبکه بندی در این نرم افزار بسیار ساده و در عین حال قدرتمند است .

۴- رابطهای گرافیکی کاربر[1] این نرم افزارگویا است و دسترسی و کار با آنها بسیار ساده است .

۵- در این نرم افزار امکان انجام تحلیلهای مختلف مقدور است به طوری که از آن در ۳ شاخهٔ مهندسی مکانیک ، عمران و الکترونیک استفادهٔ مستقیم می شود و در شاخه های مهندسی مواد ، شیمی و پلیمر قابل بهره برداری می باشد .

۶- این نرم افزار دارای مترجم هایی[2] است که امکان برقراری ارتباط با نرم افزارهای CAD و نرم افزارهای دیگر اجزاء محدود را میسر کرده است .

۷- در این نرم افزار روشی موجود است که به کاربر اجازه می دهد تا قابلیتهای نرم افزار را به کمک ماکرو[3] افزایش دهد . لذا کاربر این اجازه را می یابد تا مطابق با نیاز ویژهٔ خود امکانات نرم افزار را به کار گیرد .

۸- دسترسی ساده تر و در عین حال بسیار جامع تر به نتایج خروجی نرم افزار در این نرم افزار موجود است .

ذکر این نکته لازم است که کاربر می تواند به دو روش با این نرم افزار کار کند :

۱- استفاده از رابطهای گرافیکی نرم افزار به کمک منوهای گرافیکی برای حل هر مساله .

۲- استفاده از دستورات نرم افزار به صورت جداگانه و یا نوشتن آنها در قالب یک ماکرو .

این دو روش تشابه زیادی به نرم افزارهای CAD دارد که در آنها هم به صورت گرافیکی و هم به صورت دستوری می توان قابلیتهای آنها را به کار گرفت .

در این کتاب بیشتر از روش اول برای انجام تحلیلهای مختلف استفاده می شود .

## ۳-۱- آشنایی با نصب نرم افزار و نیازهای سخت افزاری آن :

این نرم افزار برای نصب نیاز به حداقل منابع سخت افزاری زیر دارد :

۱- دارا بودن حداقل ۳۲ مگابایت فضای حافظه ( RAM )

---

*1- Graphical User Interface ( GUI )*
*2- Translators*
*3- Macro*

۲- دارا بودن حداقل ۵۰۰ مگابایت حجم دیسک سخت ( Hard Disk )
۳- دارا بودن پردازشگر ( CPU ) پنتیوم
۴- ترجیحاً دارا بودن کارت گرافیکی ۲ مگابایت
۵- ترجیحاً دارا بودن نمایشگر ۱۷ اینچ
از موارد فوق فقط ۳ مورد اول ضروری است به طوریکه می توان از یک نمایشگر ۱۴ اینچ و کارت گرافیکی ۱ مگابایت نیز استفاده نمود .
برای نصب نرم افزار ANSYS کافی است فایل INSTALL و یا SETUP را از روی دیسک فشردهٔ آن ( CD ) اجرا کنید .
در هنگام نصب نرم افزار باید دقت شود تا :
در پنجرهٔ مربوط به نوع نصب ، نوع FULL انتخاب شود و همچنین Help نرم افزار نیز برای کپی کردن انتخاب شود .

## ۴-۱-روشهای اجرای نرم افزار :

پس از نصب نرم افزار به یکی از دو روش زیر می توان نرم افزار را اجرا نمود که برای اجرای اولین بار نرم افزار ، روش اول توصیه می شود و در دفعات بعدی اجرا در صورتیکه کاربر نیاز به ایجاد تغییرات در پیش فرضهای اجرای نرم افزار نداشته باشد ، روش دوم سریعتر است .

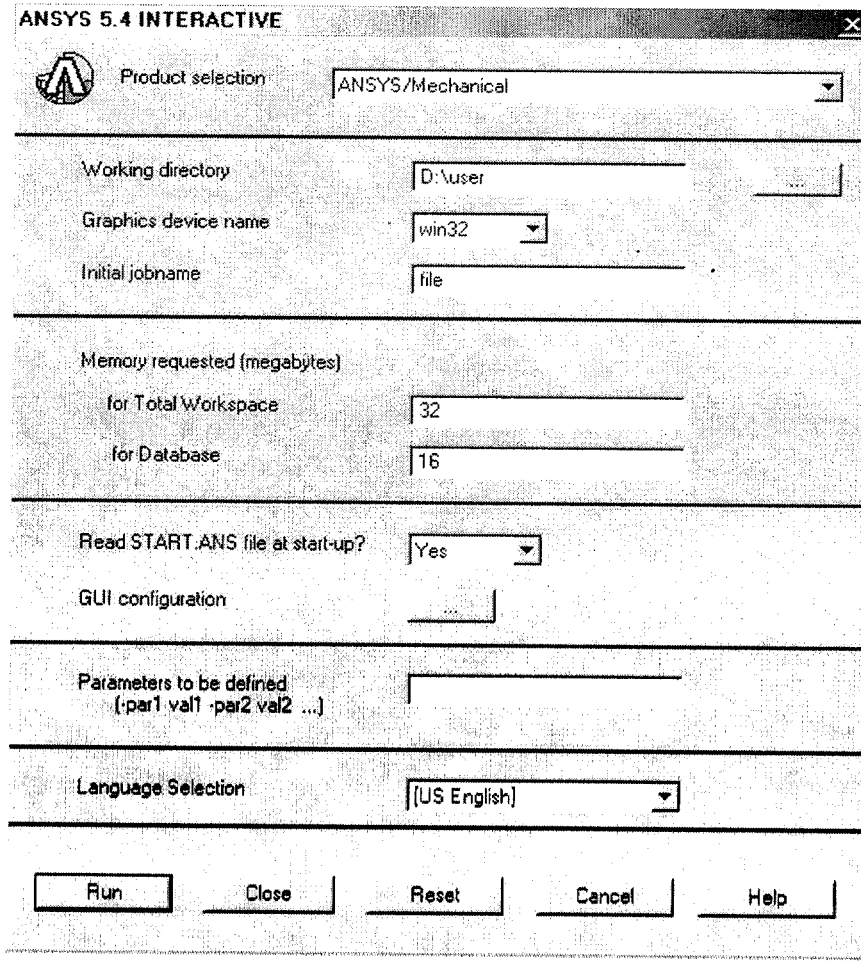
### ۱- اجرای نرم افزار از طریق منوی INTERACTIVE :

در این روش کاربر می تواند پیش فرضهای شروع نرم افزار را تعیین کند . برای انتخاب این روش مسیر زیر را دنبال کنید :
Microsoft Windows Start Menu > Programs > ANSYS 5.4 > Interactive

**نکته :**

ممکن است کاربر به دلخواه خود در هنگام نصب نرم افزار آنرا در مسیر دیگری قرار داده باشد . در این صورت برای انتخاب منوی Interactive باید به همان مسیر خود مراجعه کند .
با فعال کردن این مسیر جعبهٔ محاوره ای[1] مطابق با شکل (۱-۱) باز میشود .
در قسمت اول این جعبهٔ محاوره ، عبارت Product selection نمایان است . در این قسمت محصولات نرم افزار از پنجرهٔ گشودنی مقابل آن قابل انتخاب است . هرکدام از این محصولات دارای قابلیت و محدودهٔ کاری مخصوص به خود می باشند و مهمترین این محصولات به شرح زیر است :

*1- Dialogue Box*




**شکل (۱-۱) : جعبهٔ محاورهٔ ANSYS5.4 INTERACTIVE**

۱- محصول ANSYS Multiphysics (MP) :

در این محصول انجام کلیهٔ تحلیلها اعم از مغناطیسی ، الکتریکی ، سازه أی ، حرارتی ، سیالاتی و ... موجود است و تنها قابلیت LS – DYNA در آن وجود ندارد .

۲- محصول ANSYS Mechanical (ME) :

این محصول قابلیت انجام تحلیلهای حرارتی ، سیالاتی ، سازه أی خطی ، کمانش ، آکوستیک ، پیزو الکتریک ، LS-DYNA و ... را دارد .

۳- محصول ANSYS Emag 3D , 2D :

این دو محصول قابلیت انجام آنالیز الکترو مغناطیسی را در حالت ۲ بعدی و ۳ بعدی دارند از جملهٔ این آنالیزها می توان به آنالیز استاتیکی و فرکانس پایین الکتریکی ، شبیه سازی مدارهای الکتریکی و آنالیز میدان کوپلهٔ[1] حرارتی – الکتریکی اشاره کرد

۴- محصول ANSYS LS – DYNA :

این محصول قابلیت انجام و تحلیل برخوردهای پیچیده و تغییر شکلهای دینامیکی بزرگ و آنالیز دینامیکی گذرا و غیر خطی را دارد .

۵- محصول ANSYS FLOTRAN (FI) :

این محصول قابلیت انجام آنالیز پایدار و گذرای سیالات را دارد .

۶- محصول ANSYS Structural (St) :

این محصول قابلیت انجام آنالیزهای سازه أی را دارد .

۷- محصول ANSYS Linear Plus (LP) :

این محصول قابلیت انجام مسائل مختلف اما در حالت خطی را دارد .

و سایر محصولات نرم افزار ...

به کاربر توصیه می شود که هم اکنون محصول ANSYS / Mechanical (Me) را از پنجرهٔ گشودنی آن انتخاب کند زیرا این محصول اکثر قابلیتهای موجود را در بر دارد . در طول کتاب هر جا که نیاز به تغییر محصول باشد توضیح جداگانه داده شده است .

در قسمت دوم از جعبهٔ محاورهٔ فوق ، عبارت Working directory مشاهده می شود . منظور از Working directory مسیر و دایرکتوریی می باشد که نرم افزار کلیهٔ فایلهای محاسباتی خود را در آن قرار می دهد مثلاً در شکل (۱-۱) مسیر D : \ USER انتخاب شده است . به کاربر توصیه می شود که در صورت امکان مسیر معینی را برای Working directory اختصاص دهد زیرا تعداد فایلهای تولید شده در هنگام تحلیل یک مساله بسیار زیاد است و کاربر مجبور است گاهی به علت کمبود فضای دیسک سخت آنها را به دلیل عدم استفادهٔ مجدد ، پاک کند .

در قسمت سوم از جعبهٔ محاورهٔ فوق گزینهٔ Graphic device name قرار دارد که از پنجرهٔ گشودنی مقابل آن موارد زیر قابل انتخاب است :

۱- Win32 (پیش فرض) : که به مفهوم انتخاب نوع نمایش با کیفیت و تفکیک رنگ معمولی ( ۹ رنگ ) اما سرعت بیشتر است .

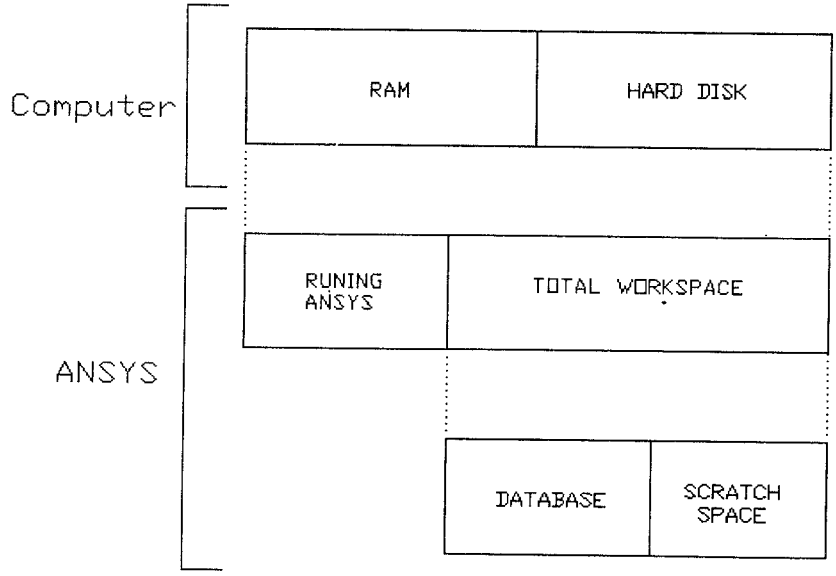
۲- Win32C : : که به مفهوم انتخاب نوع نمایش با کیفیت و تفکیک رنگ بالا ( ۱۲۸رنگ ) اما سرعت کمی کمتر است .

۳- 3D : که به مفهوم انتخاب نوع نمایش با کیفیت و تفکیک رنگ بهتر و با قابلیتهای نمایش قویتر نسبت به دو حالت قبلی اما سرعت کمتر نسبت به دو حالت قبل است .

---

*1- Coupled Field Analysis*

رعایت پیش فرض Win32 مناسب است و برای کارتهای گرافیکی ضعیف توصیه می شود .
در قسمت چهارم جعبهٔ محاورهٔ فوق، گزینهٔ Initial jobname قراردارد . دراین قسمت بـه طـور پیش فرض نام file نوشته شده است به طوریکه کلیـهٔ فایلـهای تولیـد شـده توسـط نـرم افـزار قسمت اول نامشان را این نام تشکیل می دهد ( به صورت کلی *.Jobname ) . انتخاب این نـام کاملا اختیاری است و کاربر می تواند هر نـام دلخواهـی را انتخـاب کنـد ( بـا توجـه بـه قواعـد نامگذاری فایلها ). این نام را می توان هم از این طریق وهم ازداخل نرم افزار تغییرداد.
مزیت وجود این نام و قابلیت تغییر آن ، آنست که اگرکاربر قبل از شروع انجام هر آنالیز یک نام متفاوت برایInitial jobname انتخاب کند ، اطمینان خواهد داشت که هیچ ۲ فایلی بـه علـت تشابه نام برروی همدیگر نوشته یا به اصطلاح Overwrite نخواهند شد . در نتیجه هیچ فایلی از دست نمی رود .
در قسمت پنجم از جعبهٔ محاورهٔ فوق ، گزینهٔ Memory requested قـرار دارد . بـه طـور کلـی فضای حافظه در کامپیوتر و نرم افزار به صورت شکل (۲-۱) تقسیم بندی می شود :




**شکل (۲-۱) : تقسیم حافظه و دیسک سخت در نرم افزار**

نرم افزار ANSYS دارای این قابلیت است که مقدار حافظهٔ مورد نیاز خود را در صورتـی کـه از مقدار حافظهٔ RAM بیشتر باشد ، از دیسک سخت تامین کند و کاربر می تواند با توجه به نیـاز خود دو بخش حافظه یعنی Database و Workspace را تغییر دهد . همانطور که از شکل فـوق پیداست ، Database جزئی از Workspace است و مربوط به آن قسمت از فضای حافظـه اسـت

که اطلاعات مدل شامل هندسه ، المانها ، بارگذاری ، خواص ماده و ... را در خود ذخیره می کند و بقیهٔ حافظه ( Scratch Space ) شامل کلیهٔ عملیاتهای داخلی نرم افزار همچون تحلیل و ... می باشد . در حالت پیش فرض مقدار Total Workspace برابر ۳۲ و مقدار Database برابر ۱۶ مگابایت است که برای مدلهای کوچک و متوسط تقریباً مناسب است .

در قسمت ششم از جعبهٔ محاورهٔ فوق ، گزینهٔ Read START ANS File at Start – Up قرار دارد که از کاربر میپرسد که آیا فایل راه انداز نرم افزار در هنگام شروع خوانده شود یا خیر .پیش فرض آن Yes است . به علاوه در این فایل کاربر می تواند با اضافه نمودن دستورات دلخواه خود در هر بار اجرای برنامه آنها را اجرا کند .

در قسمت هفتم از جعبهٔ محاورهٔ فوق ، گزینهٔ GUI Configuration مشاهده می شود . در این قسمت با فشار دادن دکمهٔ مقابل آن پنجرهٔ دیگری باز می شود که در آن محل قرار گیری و ابعاد هر منوی گرافیکی را در شروع نرم افزار می توان تعیین کرد . به کاربر توصیه می شود که در این پنجره تغییراتی اعمال نکند زیرا پیش فرضهای آن مناسب است .

در قسمت هفتم از جعبهٔ محاورهٔ فوق گزینهٔ Parameters to be defined قرار دارد . در این قسمت کاربر می تواند اعداد ثابتی نظیر عدد π و یا هر ثابت هندسی و یا فیزیکی دیگر را که معمولاً در مسائل به تعداد دفعات زیاد استفاده می شود را به صورت پارامتری در این قسمت تعریف کند تا بدین ترتیب درطول کار با نرم افزار به جای تایپ کردن خود عدد ، پارامتر آنرا وارد کند . روش تعریف پارامتر در این قسمت به صورت [... Par2 Val2 - Par1 Val1 - ] میباشد . مثلاً برای تعریف ۲ پارامتر به صورت Pi = 3.1415 و $C = 3 * 10^8$ کافیست در پنجرهٔ سفیدرنگ مقابل آن عبارت Pi 3.1415 - C 3E8 – را تایپ کنید . قابل ذکر است که در خود نرم افزار نیز منویی برای تعیین پارامتری اعداد موجود است .

در قسمت هشتم و آخر از جعبهٔ محاورهٔ فوق گزینهٔ Language Selection قرار دارد که تنها زبان قابل انتخاب از پنجرهٔ گشودنی مقابل آن US (English) است .

اکنون با توجه به تنظیمات انجام شدهٔ فوق کاربر می تواند کلید RUN را در جعبهٔ محاورهٔ فوق فشار دهد تا راه اندازی نرم افزار شروع شود . در هنگام اجرای نرم افزار پنجرهٔ توضیح سفیدرنگی با نام ANSYS5.4 Notice نمایان می شود که باید کلید OK را در آن فشار داد تا اجرای نرم افزار ادامه یابد .

**نکته :**

تنظیمات منوی INTERACTIVE تا زمانی که هیچ گونه تغییراتی در آن اعمال نشود همواره ثابت بوده و در هر بار اجرای نرم افزار و شروع آن از آخرین تنظیمات انجام شده در آن استفاده می شود .

**۲- اجرای نرم افزار به روش مستقیم با استفاده از منوی Run Interactive Now :**

با استفاده از این روش ، نرم افزار برای راه اندازی خود از آخرین تغییرات انجام شـده در منـوی INTERACTIVE استفاده می کند و در مواردی کاربرد دارد که کاربر نیازی به اعمال تغییـرات در پیش فرضهای اجرای نرم افزار ندارد

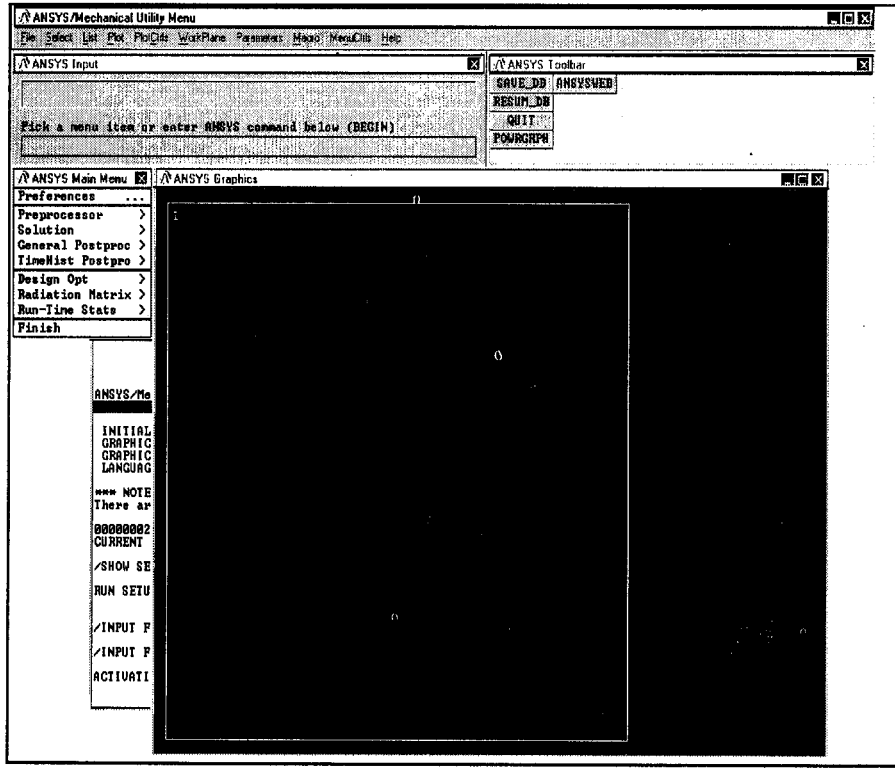
مسیر این روش به شرح زیر است :

Microsoft Windows Start Menu > Programs > ANSYS 5.4 > Run Interactive Now

و سپس در هنگام اجرای نرم افزار کلید OK در پنجرهٔ سـفیدرنگ ANSYS5.4 Notice فشـار داده شود .

## ۵-۱- توضیح محیط نرم افزار و منوهای آن :

با اجرای نرم افزار – به هریک از دو روش گفته شده – محیط نـرم افـزار مطـابق شـکل ( ۳-۱) نمایان می شود :




**شکل (۳-۱) : محیط نرم افزار پس از راه اندازی**

مطابق شکل (۳-۱) این محیط به ۵ ناحیهٔ متفاوت تقسیم می شود :

۱- ANSYS Mechanical Utility Menu : این منو که در قسمت بالایی محیط قرار دارد ، شامل ۱۰ زیر منوی خدماتی است . این منو که با توجه به محصول انتخاب شده ( که در اینجا محصول Mechanical انتخاب شده است ) نام گذاری می شود ، یکی از منوهای مهم نرم افزار است که در مراحل مختلف یک تحلیل از آن استفادهٔ زیادی می شود . در این کتاب هنگام آدرس دهی به این منو ، به طور اختصار از لفظ Ansys Utility Menu استفاده می شود و کاربر با مشاهدهٔ این اسم باید به این منو مراجعه کند .

۲- ANSYS Main Menu : این منو که به منوی اصلی نرم افزار معروف است ، محل قرارگیری پردازشگرهای[1] نرم افزار است و یکی از منوهای مهم در نرم افزار است . در هنگام آدرس دهی در طول کتاب هر جا که از لفظ Ansys Main Menu استفاده شده است ، کاربر باید به این منو مراجعه کند .

۳- ANSYS Input : این منو برای وارد کردن دستورات نرم افزار به کار میرود و در طول کتاب هر جا به لفظ Ansys Input اشاره شده است ، کاربر باید به این منو مراجعه کند .

۴- ANSYS Toolbar : در این منو کلیدهایی نظیر SAVE.DB و RESUME.DB و ... موجود است و برای ذخیره سازی ، فراخوانی داده ها ، خروج از نرم افزار ، نمایش و ... به صورت مستقیم به کار می رود . همچنین کاربر می تواند به دلخواه خود کلید های کنترلی دیگری به پنجرهٔ فوق اضافه کند . در طول کتاب هر جا به لفظ Ansys Toolbar اشاره شده است ، کاربر باید به این منو مراجعه کند .

۵- ANSYS Graphic Window : این پنجرهٔ سیاه رنگ که فضای بزرگی را اشغال کرده است ، به پنجرهٔ گرافیکی معروف است و کلیهٔ نمایشهای گرافیکی و نموداری نرم افزار در این پنجره نمایش داده می شود . در طول کتاب هر جا به لفظ پنجرهٔ گرافیکی اشاره شده است ، کاربر باید به این پنجره مراجعه کند .

۶- همچنین پنجرهٔ سفیدرنگی با نام ANSYS Output در زیر پنجره گرافیکی قرار دارد که به سختی قابل مشاهده است . در این پنجره کلیهٔ خروجی های نرم افزار ، دستورات اجرا شده و ... نوشته می شود . در طول کتاب هر جا به لفظ Ansys Output اشاره شده است ، کاربر باید به این پنجره مراجعه کند .

در زیر به معرفی دو منوی مهم نرم افزار یعنی Ansys Utility Menu و Ansys Main Menu می پردازیم اما تاکید می کنیم که آشنایی با نحوهٔ استفاده از این منوها در طول کتاب میسر است و کاربر در این قسمت تنها یک دید کلی نسبت به این منوها پیدا می کند .

## Ansys Utility Menu :

این منوی خدماتی دارای زیر منوهای دیگری به شرح زیر است :

---

*1- Processors*

۱- **زیر منوی File** : در این زیر منو کلیهٔ عملیات مربوط به ذخیره سازی ، فراخوانی ، وارد کردن فایل ، صادر کردن فایل ، تغییر نام Jobname ، تعیین موضوع مساله ، گزینه های فایل و ... انجام می شود .

۲- **زیر منوی Select** : در این زیر منو قابلیت انتخاب اجزای یک مدل هندسی یا شبکه بندی شده ، ساخت مولفه های انتخاب ، انتخاب کلیهٔ اجزای مدل و ... انجام می شود .

۳- **زیر منوی List** : در این زیر منو کلیهٔ عملیات لیست کردن نظیر لیست کردن تعداد احجام ، خواص مواد ، بارگذاریها و ... انجام می شود .

۴- **زیر منوی Plot** : در این زیر منو کلیهٔ عملیات ترسیمی ، نظیر ترسیم سطوح یک مدل یا نقاط آن و ... انجام می شود .

۵- **زیر منوی PlotCtrls** : در این زیر منو کلیهٔ عملیات کنترلی بر روی عملیات ترسیمی یک مدل در پنجرهٔ گرافیکی انجام می شود .

۶- **زیر منوی WorkPlane** : در این زیر منو کلیهٔ عملیات مربوط به انتخاب سیستم های مختصات نظیر تعویض سیستم مختصات دکارتی به استوانی و یا انتقال یک سیستم نسبت به سیستم مختصات اصلی و ... انجام می شود .

۷- **زیر منوی Parameters** : در این زیر منو عملیات تعریف پارامتری اعداد به صورت اسکالر و یا آرایه أی ، گرفتن نتایج به صورت پارامتر از فایل نتیجه و ... انجام می شود .

۸- **زیر منوی Macro** : در این زیر منو می توان دستورات نرم افزار را در قالب مجموعه أی به صورت فایل ذخیره و بازیابی کرد .

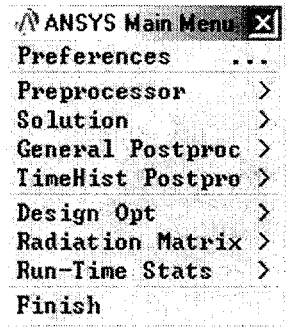
۹- **زیر منوی Menu Ctrls** : در این زیر منو کنترل و تنظیم ابعاد منوهای اصلی ذکر شده در نرم افزار انجام می شود .

۱۰- **زیر منوی Help** : در این زیر منو همانطور که از نام آن پیداست راهنمای نرم افزار موجود است .

## Ansys Main Menu :

در این منوی اصلی مطابق شکل (۴-۱) اکثر پردازشگرهای نرم افزار مشاهده می شوند :

۱- **فیلتر Preference** : در این زیر منو کاربر میتواند با توجه به نوع محصول انتخاب شده در منوی Interactive تنها یکی از قابلیتهای این محصول را انتخاب کند و قابلیتهای دیگر حل محصول را در حالت غیر فعال قرار دهد و به طور کلی یک نوع فیلتر محسوب می شود . همچنین در این زیر منو می توان ۲ نوع روش حل خاص را انتخاب کرد.




**شکل (۴-۱) : پنجرهٔ ANSYS Main Menu**

۲- **پردازشگر Prep7 یا Preprocessor** : یکی از پردازشگرهای مهم نرم افزار است که در آن عملیاتی نظیر انتخاب نوع المان ، تنظیم گزینه های آن ، تعیین مقادیر حقیقی یا مقادیر ثابت آن ، تعیین خواص مواد ، مدلسازی هندسی ، شبکه بندی مدل هندسی ، حذف و پاک کردن مدل یا اجزای تشکیل دهندهٔ آن و ... انجام می شود . از این پردازشگر در کلیهٔ مراحل مدلسازی یک مساله و آماده کردن آن برای بارگذاری و حل استفاده می شود .

۳- **پردازشگر Solution** : از این پردازشگر برای بارگذاری بر روی مدل ، انتخاب نوع آنالیز ، تنظیمات زمانی مساله ، انتخاب نوع حل گر مساله ، حل و... استفاده می شود . مهمترین حل گرهای نرم افزار به صورت جدول (a-۱) معرفی شده اند .

کاربر با توجه به موارد ذکر شده در مورد حلگرهای نرم افزار می تواند در تحلیل خود یکی از آنها را انتخاب کند . پیش فرض نرم افزار در انتخاب حل گر، نوع Frontal است که غالباً بهترین حل گر می باشد و اغلب نیاز به تغییر حل گر نیست .

بارگذاریهای اعمال شده در یک مدل از یک دیدگاه به صورت زیر است :

۱- بارگذاریهای سازه أی : نظیر جابجایی ، نیرو ، فشار ، دما ( در حالت تحلیل کرنش حرارتی ) و ...

۲- بارگذاریهای حرارتی : نظیر دما ، نرخ شار حرارتی ، همرفت ، تولید دمای داخلی و ...

۳- بارگذاریهای مغناطیسی : نظیر پتانسیل مغناطیسی ، شار مغناطیسی ، جریان مغناطیسی ، چگالی جریان منبع و ...

۴- بارگذاریهای الکتریکی : نظیر ولتاژ ، شار الکتریکی ، شارژ الکتریکی و ...

۵- بارگذاریهای سیالاتی : نظیر سرعت سیال و فشار و ...

| نام حل گر | موارد استفاده | اندازهٔ مدل | نیاز به حافظهٔ RAM | نیاز به فضای دیسک سخت |
|---|---|---|---|---|
| Frontal Solver (Direct elimination solver) | در مواردی نظیر آنالیز غیر خطی که قدرت محاسباتی بالا مورد نیاز است در حالیکه حافظه محدود است | حداکثر تا ۵۰۰۰۰ درجهٔ آزادی | پایین | بالا |
| Sparse direct solver (Direct elimination solver) | در مواردی که هم قدرت حل و هم سرعت تحلیل مورد نیاز است و در تحلیلهای غیر خطی که همگرایی مساله کند است . | از ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ درجهٔ آزادی به خصوص برای المانهای Shell - Beam | متوسط | بالا |
| PCG Solver (Iterative solver) Preconditioned Conjugate Gradient | در آنالیزهای خطی در مدلهای حجیم که سرعت حل بالا نیاز است | ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ درجهٔ آزادی برای مدلهای با المان Solid | بالا | پایین |
| ICCG (Iterative Solver) Incomplete Cholesky Conjugate Gradient | در مواردی که سرعت حل بالا نیاز است و در مدلهایی که در حل گرهای تکراری دیگر احتمال همگرایی آنها کم است | ۵۰۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ درجهٔ آزادی | بالا | پایین |
| JCG Solver (Iterative Solver) Jacobi Conjugate Gradient | در مواردی که سرعت حل بالا نیاز است و در مسائل تک میدانی حرارتی – مغناطیسی – آکوستیک و ... | از ۵۰۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ درجهٔ آزادی | متوسط | پایین |

**جدول (a-۱) : انواع حل گر در نرم افزار**

از دیدگاه دیگر بارگذاریها به صورت زیر تقسیم بندی می شوند :

۱- درجهٔ آزادی[1] : تعیین مقدار درجهٔ آزادی یک یا چند نقطه از مدل نظیر جابجایی ، اعمال شرایط مرزی تقارن محوری در آنالیزهای سازه ای و ...

*1- Degree of Freedom (DOF)*

۲- نیروها ( بارهای متمرکز[1] ) : نظیر گشتاور ، نیرو و ... که بر نقطه أی از مدل اعمال می شود .

۳- بارگذاریهای سطحی[2] : نظیر فشار ، همرفت و ...

۴- بارگذاریهای حجمی[3] : نظیر وزن ، دما ، نرخ تولید حرارت ، چگالی جریان و ... که بر روی حجم تاثیر میکنند .

۵- بارگذاریهای اینرسی[4] : که به علت صفات اینرسی ماده ( جرم ) ظاهر می شوند نظیر سرعت و شتاب زاویه أی در آنالیزهای سازه أی .

۶- بارگذاریهای میدان کوپله[5] : این بارها به صورت نتایج یکی از بارگذاریهای فوق که به صورت بارگذاری در آنالیز دیگری اعمال می شوند ، ظاهر می شود .

**۴- PostProcessor :**

پس از مدلسازی و حل مساله ، کاربر نیاز به مشاهدهٔ نتایجی از قبیل مقدار تنش تولیدی ، افت دما ، توزیع حرارت ، شار مغناطیسی و... ( با توجه به تحلیل انجام شده ) دارد تا بتواند بر اساس جوابهای به دست آمده طراحی خود را در صورت نیاز تغییر دهد و یا همان طراحی قبلی را در عمل به کار بندد .

برای مشاهدهٔ نتایج پردازشگر Postprocessor در نرم افزار Ansys به کار می رود استفاده از این پردازشگر یکی از مهمترین مراحل در تحلیل مساله است . دو پردازشگر مهم در Ansys Main Menu برای مشاهدهٔ نتایج موجود است :

۱- پردازشگر Post1 یا General Postprocessor : در این پردازشگر مشاهدهٔ نتایج برروی یک مدل در زمانی معین انجام می شود مثلاً در یک آنالیز استاتیکی می توان توزیع تنش را بر روی یک مدل تحت بارگذاری معین در یک زمان معین به کمک این پردازشگر مشاهده کرد یا در یک آنالیز گذرا و وابسته به زمان حرارتی توزیع حرارت را در زمان ۱۰۰ به کمک این پردازشگر مشاهده نمود .

۲- پردازشگر Post26 یا TimeHistory Postprocessor : در این پردازشگر می توان نتایج یک مساله را بر حسب زمان ، فرکانس و ... مشاهده نمود . به عنوان مثال در یک آنالیز گذرای مغناطیسی می توان تغییرات مقدار جریانهای گردابی در یک المان را بر اساس زمان بر روی نمودار مشاهده کرد .

به طور کلی در هنگام پردازش نتایج با ۲ نوع نتایج برخورد می کنید :

---

*1- Concentrated Loads*
*2- Surface Loads*
*3- Body Loads*
*4- Inertia Loads*
*5- Coupled Field Loads*

۱- نتایج اولیه ( Primary Data ) : که شامل درجات آزادی در هـرگره اسـت مثـل جابجـایی سازه در یک آنالیز سازه أی ، حرارت در یک آنالیز حرارتـی ، سـرعت در آنـالیز سـیالاتی ، پتانسیل مغناطیسی در یک آنالیز الکترومغناطیسی و ... که به این نتایج Nodal Solution Data یا نتایج داده های حل گره أی نیز می گویند.

۲- نتایج مشتق شده ( Derived Data ) : این نتایج از نتایج اولیه بـه دسـت مـی آینـد مـانند تنش و کرنش در آنالیز سازه أی ، گرادیان حرارتی در آنالیز حرارتی ، شـار مغناطیسـی در یک آنالیز مغناطیسی و ....

این نتایج برای هر المان مدل محاسبه شده و معمولاً نتایج داده های حل المـانی یـا Element Solution Data نام می گیرند .

نکتهٔ قابل توجه آنستکه نتایجی که به صورت میانگین در گره های مدل محاسبه می شوند ، از نتایج نوع اول محسوب می شوند . به جدول (b-۱) توجه کنید :

| نتایج مشتق شده | نتایج اولیه | نوع آنالیز |
|---|---|---|
| تنش – کرنش – عکس العمل ... | جابجایی | سازه أی |
| گرادیان حرارتی و ... | دما | حرارتی |
| شار مغناطیسی ، چگالی جریان و ... | پتانسیل مغناطیسی | مغناطیسی |
| میدان الکتریکی ، چگالی شار و ... | پتانسیل اسکالر الکتریکی | الکتریکی |
| گرادیان فشار ، شار حرارتی و ... | سرعت و فشار | سیالاتی |

**جدول (b-۱) : انواع نتایج در آنالیزهای مختلف**

۵- **پردازشگر AUX12 یـا Radiation Matrix** : از ایـن پردازشـگر بـرای تحلیـل مسـائل عمومی تشعشع جهت ساخت ماتریس تشعشع استفاده می شود .

۶- **Design Opt** : از این گزینه برای طراحی بهینهٔ سازه تحت شرایط و قیـود اعمـالی بـر آن استفاده می شود .

۷- **Run – Time Stats** : برای دستیابی اطلاعات در مورد حجم مدل از لحاظ تعداد گره هـا و یا المانها و یا تخمین اولیهٔ حجم حافظهٔ مورد نیاز جهت تحلیل و زمان انجام آن میباشد .

۸- **Finish** : در اصل یک دستور برای اعلام خروج از هریک از پردازشگرها می باشد .

## ۶-۱- انواع فایلهای به کار گرفته شده توسط نرم افزار :

در نرم افزار Ansys به طور وسیعی از انواع فایلها جـهت ذخـیره سـازی و فراخوانـی اطلاعـات استفاده می شود ( به خصوص در هنگام حل یک مساله ) که بسیاری از آنها با نـام Jobname.* ذخیره می شوند . در زیر تعدادی از فایلهای مهم تولید شده توسط نرم افزار معرفی شده اند :

۱- ***.db** : فایل اصلی نرم افزار است ( Database File ) که کلیهٔ اطلاعات مربوط به مدل هندسی ، المانها ، بارگذاریها و حتی نتایج را در خود ذخیره می کند .

نحوهٔ ذخیره سازی این فایل به یکی از ۳ صورت زیر است :

1- Ansys Utility Menu > File > Save as ...
2- Ansys Utility Menu > File > Save as Jobname.db
3- Ansys Toolbar > SAVE _ DB

و نحوهٔ فراخوانی آن به یکی از ۳ صورت زیر است :

1- Ansys Utility Menu > File > Resume from ...
2- Ansys Utility Menu > File > Resume Jobname.db
3- Ansys Toolbar > RESUME _ DB

۲- ***.Lgw** : در این فایل کلیهٔ عملیاتهای انجام شده در هنگام کار با نرم افزار را می توان ذخیره کرد به طوریکه با اجرای مجدد آن ، به همان ترتیب دستورات اجرا می شوند و همچنین می توان تغییرات مورد نیاز احتمالی را در آن انجام داد .

نحوهٔ ذخیره سازی این فایل به صورت زیر است :

Ansys Utility Menu > File > Write DB Log File ...

و نحوهٔ فراخوانی آن به صورت زیر است :

Ansys Utility Menu > File > Read Input from ...

۳- **فایل نتایج :** که اطلاعات مربوط به نتایج حل مساله در آن ذخیره می شود به عنوان مثال به موارد زیر توجه کنید :

*.RST : فایل نتیجهٔ تحلیل سازه أی

*.RTH : فایل نتیجهٔ تحلیل حرارتی

*.RFL : فایل نتیجهٔ تحلیل سیالاتی

*.RMG : فایل نتیجهٔ تحلیل مغناطیسی

و غیره ...

۴- **فایل بارگذاری ( Jobname.Sn )** : که در آن می توان بارگذاریهای اعمالی روی مدل را در فایل خروجی ذخیره سازی کرد . که n در پسوند فایل بیانگر شمارهٔ بارگذاری ( Load Step ) است که در قسمت بعدی کتاب بیشتر با آن آشنا خواهید شد .

**نکته :**

فایلهایی که در نرم افزار ANSYS جهت حل یک مساله به کار می رود و تولید می شود بسیار زیاد است . کاربر در صورت تمایل برای آشنایی با کلیهٔ فایلهای نرم افزار می تواند به مسیر زیر در راهنمای نرم افزار مراجعه کند :

ANSYS Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides > ANSYS Basic Analysis Procedures Guide > Chapter 18 : File Management and Files

## ۷-۱ - ارتباط با نرم افزارهای دیگر :

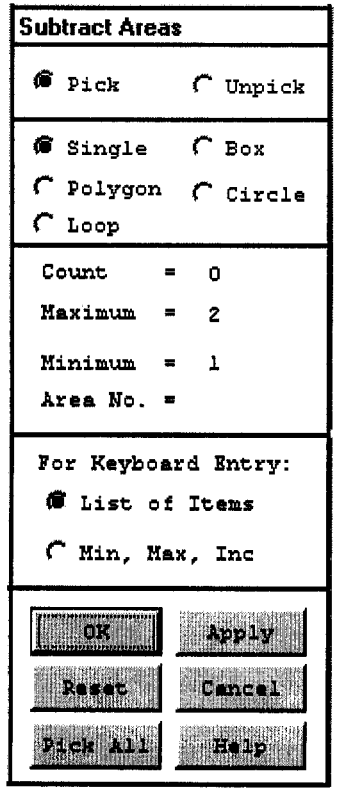
نرم افزار Ansys قابلیت ارتباط با ۲ گروه از نرم افزارهای دیگر را دارد :

۱- نرم افزارهای CAD نظیر AUTOCAD ، CADAM ، CADKEY ، PRO/ENGINEER و ...

۲- نرم افزارهای دیگر اجزاء محدود ( FEA ) : که مترجمی به نام ANSYS / NASTRAN برای ارتباط این دو نرم افزار با هم موجود است .

**نکتهٔ ۱ :**

در این کتاب از لفظ پنجرهٔ انتخاب بسیار استفاده خواهد شد به طور کلی هر پنجرهٔ انتخاب مطابق شکل (۵-۱) در پایین خود دارای ۶ کلید با نامهای OK ، Apply ، Pick All ، Reset ، Cancel ، Help میباشد . این پنجره ها برای انتخاب اجزای یک مدل به کار می روند و با توجه به نام هر پنجره که در بالای آن قرار دارد ، کاربر متوجه می شود که کدام جزء مدل را باید انتخاب کند . مثلاً در پنجرهٔ انتخاب شکل (۵-۱) که با نام Subtract Areas مشاهده می شود ، کاربر را متوجه انتخاب حد اقل ۲ سطح از مدل برای انجام عمل کم شدن می کند در این کتاب هر جا که کاربر به لفظ پنجرهٔ انتخاب برخورد می کند ، باید به اینگونه پنجره ها مراجعه کند . همچنین برای اختصار برای همهٔ پنجره های انتخاب با هر نامی ، از لفظ پنجرهٔ انتخاب استفاده شده است مگر در زمانی که نیاز به ذکر نام کامل آن باشد .




**شکل ( ۵-۱) : یک نمونه از پنجرهٔ انتخاب**

**نکتهٔ ۲ :**

در این کتاب با بعضی از تعاریف برخورد خواهید کرد که با آن آشنایی دارید و در اینجا برای یاد آوری ذکر شده اند :

۱- **تنش صفحه أی** : زمانی که در تانسور تنش $\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = \sigma_{zz} = 0$ برقرار باشد و معمولاً مسائل با ضخامت کم را در این حالت تحلیل می کنند .

۲- **کرنش صفحه ای** : زمانی که در تانسور کرنش $\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zz} = 0$ برقرار باشد و معمولاً مسائلی را که در آن یک بعد نسبت به دو بعد دیگر خیلی بزرگتر است در این حالت تحلیل می کنند .

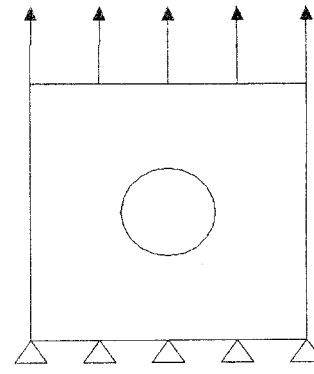
۳- **مسائل متقارن محوری** : به مسائلی گفته می شود که دو عامل زیر را دارا باشند :

الف – هندسهٔ مساله نسبت به یک یا چند محور متقارن باشد .

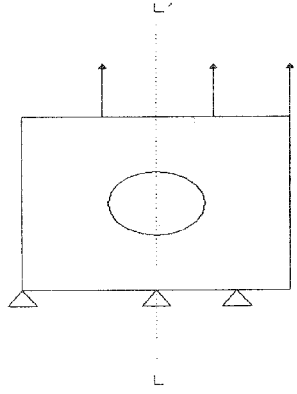
ب – بارگذاری اعمالی در آن نسبت به همان یک یا چند محور متقارن باشد .

مثلاً در شکل (۶-۱) با آنکه هندسهٔ مساله نسبت به محور L – L' متقارن است ، اما به علت متقارن نبودن بارگذاریهای اعمالی در آن مساله در حالت تقارن محوری قرار ندارد .

اما مدل شکل (۷-۱) در حالت تقارن محوری قرار دارد .



**شکل ( ۷-۱) : مدل متقارن محوری**



**شکل (۶-۱) : مدل نامتقارن محوری**

در مسائل متقارن محوری معمولاً برای کم حجم شدن و سادگی حل مساله ، با توجه به تعداد محورهای تقارن ، یک نیمه یا ربع و یا ... از یک مدل را تحلیل می کنند .

۴- **رفتار مواد** :

خواص مواد می تواند به یکی از ۳ صورت زیر باشد :

الف ) خطی یا غیر خطی

ب ) Isotropic , Orthotropic , Anisotropic

ج ) وابسته یا مستقل از دما

در نرم افزار Ansys کتابخانه ای از چند نوع ماده در سیستم های اینچی ، متریک و ... موجود است که کاربر می تواند در صورت تمایل از آنها نیز استفاده کند . مسیر کلی انتخاب ماده از این کتابخانه به صورت زیر است :

Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Library > ...

# فصل دوم

## مدلسازی MODELING

ANSYS

www.mohandesidl.ir


## مقدمه :

در این فصل قبل از شروع انجام هرگونه آنالیز به کمک نرم افزار به معرفی روش های مدلسازی (دو بعدی و سه بعدی) پرداخته خواهد شد .
تمرینهای فصل طوری تنظیم شده اندکه ابتدا ازیک مدل ساده استفاده شده است وسپس به تدریج در تمرینهای بعدی مدلهای پیچیده تری ارائه شده است . به همین دلیل به کاربر توصیه میشود که کلیهٔ تمرین های این فصل را به ترتیب انجام دهد .
مدلسازی در نرم افزار ANSYS به دو روش انجام می شود :

### ۱ ) روش مدلسازی غیر مستقیم[1]

در این روش کاربر می بایست ابتدا مدل هندسی مساله را به کمک یکی از دو روش زیر ساخته وسپس با انجام عمل شبکه بندی[2] بر روی آن ، مدل را به یک مدل اجزا محدود[3] تبدیل کند تا مدل برای بارگذاری و حل آماده شود :

۱-۱) ساخت مدل هندسی به کمک قابلیت های مدلسازی هندسی نرم افزار ANSYS .

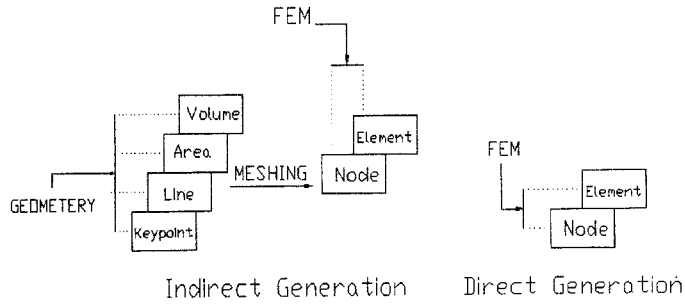
۱-۲) همچنین میتوان مدل را درنرم افزار های CAD نظیر AutoCAD,Mechanical Desktop,Solid Work,... در قالب فایل IGES.* ساخته و وارد نرم افزار نمود .

### ۲ ) روش مدلسازی مستقیم[4]

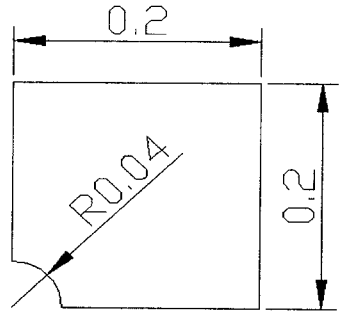
این روش برای مدل های ساده تر به کار می رود به این طریق که بدون انجام مدلسازی هندسی ، مستقیماً مدل اجزا محدود که شامل المان[5] و گره های[6] آن است ، ساخته می شود .از این روش در این فصل استفاده نخواهد شد اما در انجام بعضی از آنالیزها در فصل های بعدی استفاده خواهد شد. به شکل صفحهٔ بعد توجه کنید . این شکل به أین معنا است که :
۱: درمدلسازی غیرمستقیم یک خط حتماً متشکل از دو یا چند نقطه ، یک سطح متشکل از چند خط و نقطه های آن ویک حجم متشکل ازچند سطح و خط و نقطه است و پس ازشبکه بندی ، تعدادی المان وگره های آن برروی مدل قرار می گیرد.
۲: در مدلسازی مستقیم یک المان با توجه به نوع آن،متشکل از یک یا چند گره است.
همچنین درعملیات تصحیحی برروی مدل ، تقدم عملیات از بالا به پایین صورت می گیرد به این مفهوم که مثلاً نمیتوان سطوح یک حجم را قبل از پاک کردن خود حجم پاک کرد.

---

*1 - Indirect Generation*
*2 - Meshing*
*3 - Finite Element*
*4 - Direct Generation*
*5 – Element*
*6 - Nodes*


FEM
Volume
Area
Line
Keypoint
GEOMETERY
MESHING
Element
Node
FEM
Element
Node
Indirect Generation
Direct Generation

**تمرین ۱ : مدل هندسی زیر را مطابق شکل (۱-۱) بسازید و آنرا شبکه بندی کنید.**




**شکل (۱-۱) : نقشهٔ مدل به همراه ابعاد برحسب متر**

**راهنمایی :** برای ساختن مدل ابتدا یک مربع به ابعاد ۰/۲×۰/۲ ساخته و سپس یک دایره به شعاع ۰/۰۴ و به مرکز راس پایینی سمت چپ مربع ( مبدا مختصات ) ساخته و آنرا از سطح مستطیلی کم کنید.

**اهداف تمرین :**

۱ - آشنایی با ترسیم سطوح اولیه و اصلی نظیر مستطیل و دایره.

۲ - آشنایی با عملیات تصحیحی روی مدلهای هندسی.

۳ - آشنایی با شبکه بندی و انواع آن ( شبکه دستی[1] و شبکه اتوماتیک[2] ).

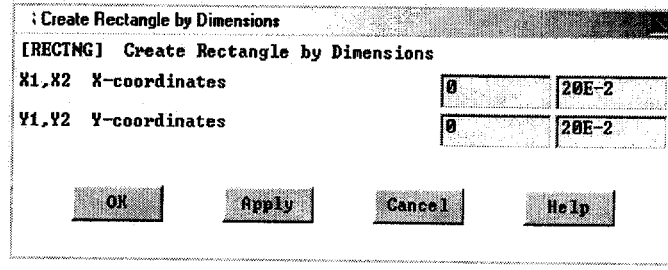
## مرحلهٔ اول - ساخت مربع :

برای ساختن مربع یا مستطیل مسیر زیر را دنبال کنید :

1)Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling -Create> -Areas -Rectangle> By Dimensions ...

۲) مطابق شکل (۲-۱) در پنجرهٔ بازشده مقادیر زیر را وارد کنید ( در اصل طول و عرض مستطیل را تعریف می کنید ).

X1 = 0 , X2 = 20E-2
Y1 = 0 , Y2 = 20E-2

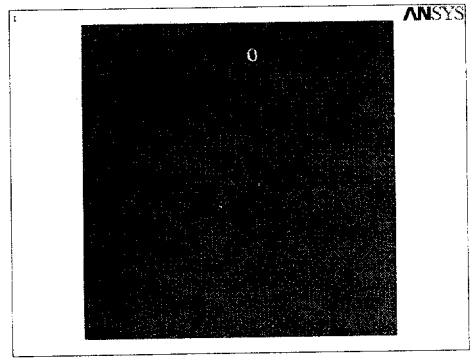



**شکل (۲-۱) : پنجرهٔ محاورهٔ ساخت مستطیل**

---

*1- Mapped Mesh* *2- Free Mesh*

۳) کلید OK را فشار دهید تا مطابق شکل (۳-۱) در صفحهٔ گرافیکی مربع ساخته شود.




**شکل (۳-۱) : مربع تولید شده در پنجرهٔ گرافیکی**

## مرحلهٔ دوم - ساخت دایره :

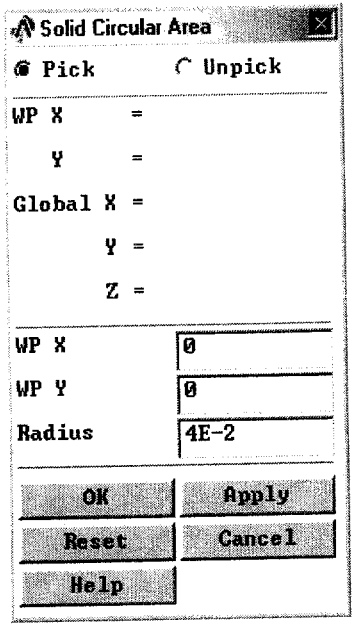
برای ساخت دایره مسیر زیر را دنبال کنید :

1)Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Circle > Solid Circle...

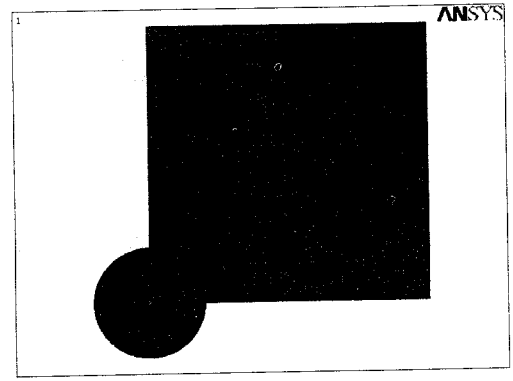
۲) مطابق شکل (۴-۱) در پنجرهٔ تولید دایره مقادیر زیر را وارد کنید ( در اصل مختصات مرکز دایره (WPX , WPY) و شعاع دایره را وارد کنید ).

WP X = 0
WP Y = 0
Radius = 4E-2

۳) کلید OK را فشار دهید. اکنون ۲ سطح دایره ای و مستطیلی مطابق شکل (۵-۱) ساخته شده اند.




**شکل (۴-۱) : پنجرهٔساخت دایره**




**شکل (۵-۱) : سطوح ساخته شده**

**مرحلهٔ سوم – کم کردن سطح دایره ای از سطح مربعی :**

حال دایره ساخته شده در مرحلهٔ دوم را از مربع ساخته شده در مرحلهٔ اول کم کنید. برای این منظور مسیر زیر را دنبال کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling -Operate > -Booleans -Subtract > Areas+

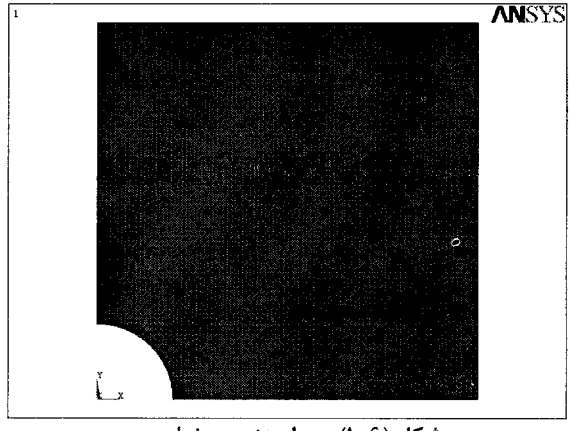
۲) در پنجرهٔ گرافیکی مربع را انتخاب کنید. برای این منظور روی سطح مربعی در گوشه ای از آن که از سطح دایره‌ای دور می باشد، با ماوس یکبار فشار دهید تا پررنگ شود ( که به مفهوم انتخاب شدن سطح است ) سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید. حال دوباره در پنجرهٔ گرافیکی بر روی سطح دایره ای رفته و یکبار بر روی آن با ماوس فشار دهید تا پررنگ شود ( انتخاب شود ) سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید ( اکنون سطوح از هم کم می شوند ).

**نکته :** اگر احتمالاً در موقع انتخاب ، سطحی را اشتباهاً انتخاب کردید می توانید برای رفع اشتباه ، در پنجرهٔ انتخاب دکمهٔ Reset را یکبار فشار دهید تا عمل انتخاب قبلی از بین برود و اجازهٔ انتخاب مجدد را به شما بدهد.

حال برای ترسیم سطوح نهایی مسیر زیر را دنبال کنید.

3) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

مطابق شکل (۶-۱) نتیجه را مشاهده کنید.




**شکل (۶-۱) : مدل هندسی نهایی**

**مرحلهٔ چهارم – شبکه بندی مدل :**

در نرم افزارهای المان محدود هدف از ساختن یک مدل تحلیل آن است در اینگونه نرم افزارها مدل هندسی به لحاظ تحلیلی ارزشی ندارد. ( منظور از مدل هندسی مدل حاوی نقطه ، خط ، سطح و حجم است ) بلکه در این نرم‌افزارها اساس حل از روش تقسیم مدل به المانها انجام می

شود. پس از ساختن مدل هندسی و به کمک آن ، مدل اجزاء محدود[1] ساخته می شود یعنی مدل هندسی به تعدادی گره[2] و المان[3] تبدیل می شود. این المانها با توجه به نوع تحلیل و درجات آزادی مورد نظر می توانند المانهای سازه ای[4] یا حرارتی[5] و ... باشند.

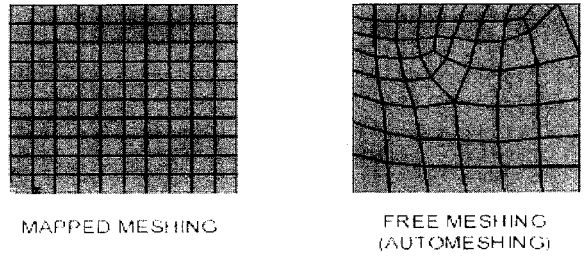
در نرم افزار Ansys به دو روش می توان یک مدل را شبکه بندی نمود.

۱) روش اتوماتیک ( Free ) ۲) روش دستی ( Mapped )

شبکه بندی اتوماتیک این نرم افزار بسیار قدرتمند است و غالبا المانهای خوبی ( از لحاظ قرار گرفتن ، ریز بودن المان در نواحی حساس و ... ) تولید می کند. اما در مواردی که می خواهید ترتیب قرار گرفتن المانها منظم تر باشد و یا ترتیب خاصی برای قرار گرفتن المانها مورد نظر باشد می توانید از شبکه بندی دستی استفاده کنید.

غالباً نتایج شبکه بندی دستی بهتر از شبکه بندی اتوماتیک می باشد.

شبکهٔ تولید شده در یک سطح مربعی از طریق دو روش در شکل (۷-۱) مقایسه گردیده است.




**شکل (۷-۱) : مقایسهٔ دو نوع شبکه بندی یک سطح مربعی**

در شبکه بندی ( هر دو روش ) باید موارد زیر را معین نمود :

**۱) نوع المان :** در نرم افزار ANSYS کتابخانه ای از انواع المانها با کاربردهای مختلف وجود دارد. کاربر نسبت به مسئلهٔ مورد نظر و نوع تحلیل می بایست یک نوع المان را برای تولید شبکه انتخاب کند. مثلاً در یک تحلیل حرارتی باید مدل خود را با المانهای حرارتی شبکه بندی کند یا در یک آنالیز سازه ای مدل خود را با المانهای سازه‌ای شبکه بندی کند. جدولی از المانهای موجود در آرشیو ANSYS و کاربرد آنها در پیوست ۱ می باشد. برای

*1- Finite Element*
*2- Node*
*3- Element*
*4- Structural*
*5- Thermal*

آشنایی بیشتر و تفصیلی با المانها به دفترچهٔ راهنمای[1] جلد مخصوص المانها مراجعه کنید. این دفترچه از طریق مسیر زیر در دسترس شماست.

Ansys Utility Menu > Help >Table of Contents > Element Manual

**۲) مقادیر ثابت المان :** بعضی از المانها نیاز به تعریف یک سری مقادیر ثابت دارند مثلا برای المان جرم تعریف مقدار ثابت جرم در هر جهت ( x , y , z ) لازم است. بطور معمول پارامترهای لازم برای هر المان با انتخاب المان از کاربر خواسته می شود. در پیوست ۱ پارامترهای مورد نیاز المانها ذکر شده است. اطلاعات تفضیلی مربوط به این پارامترها در دفترچهٔ راهنمای المان موجود است .

**۳) خواص مواد :** برای تحلیل باید خواص مادهٔ المانهای ریخته شده روی مدل معلوم باشد. بطور معمول این خواص شامل جنس و خصوصیات مکانیکی و حرارتی آن می باشد.

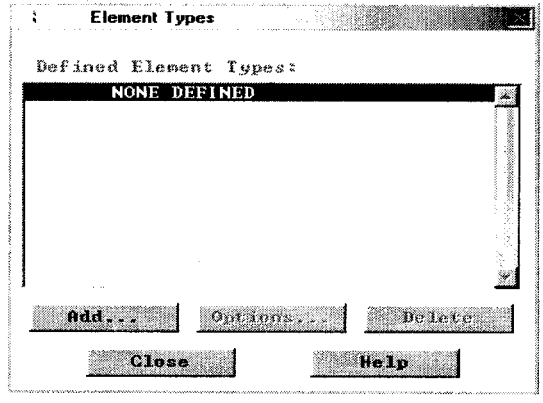
در تمرینهای مدلسازی چون قصد تحلیل مدل را نداریم و فقط هدف آشنایی با مدل سازی و شبکه بندی است در هنگام تولید شبکه از تعریف مقادیر ثابت المان و خواص مادهٔ المان خودداری می کنیم و فقط نوع المان را معین می‌کنیم. ولی دقت کنید که در قسمتهای تحلیلی یک مدل حتماً باید همهٔ عوامل فوق را تعریف کرد.

## ۴-۱- شبکه بندی اتوماتیک :

برای شبکه بندی مدل ساخته شده از المان دو بعدی PLANE82 استفاده می کنیم. این المان از نوع سازه ای بوده و دارای درجات آزادی X , Y می باشد. برای انتخاب این المان مراحل زیررا انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

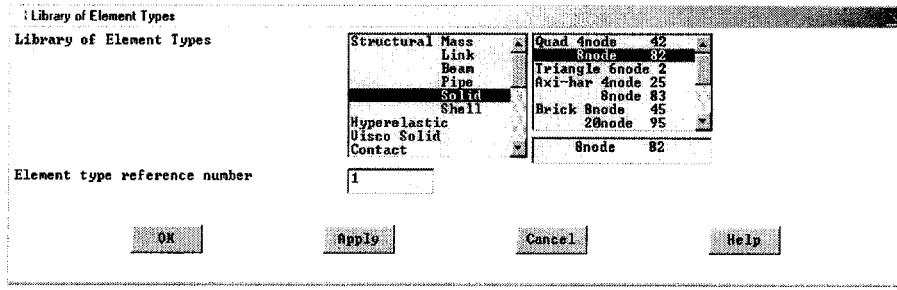
۲) مطابق شکل (۸-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.




**شکل (۸-۱) : پنجرهٔ محاورهٔ Element Types**

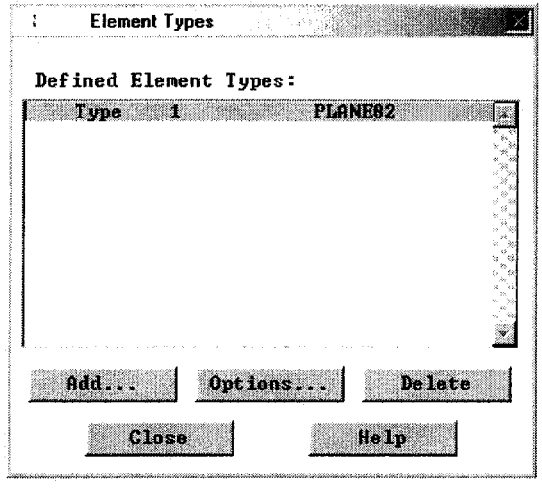
*1- Element Manual*

۳) مطابق شکل (۹-۱) در جعبهٔ محاورهٔ کتابخانهٔ المانها در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ المانهای Structural نوع Solid را انتخاب کرده و سپس در پنجرهٔ مقابل آن المان Quad 8node 82 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید. بدین ترتیب نوع المان را المان ۲ بعدی که دارای ۸ گره است انتخاب کرده اید ( PLANE82 ).




**شکل (۹-۱) : پنجرهٔ محاورهٔ کتابخانهٔ المانها**

۴) مطابق شکل (۱۰-۱) اکنون در جعبهٔ محاورهٔ Element Types در پنجرهٔ Defined Element Types مشاهده می‌کنید که المان PLANE82 تعریف شده است سپس کلید Close را فشار دهید.




**شکل (۱۰-۱) : اضافه شدن المان PLANE82 به جعبهٔ محاورهٔ Element Types**

۵) حال برای انجام عملیات شبکه بندی مسیر زیر را دنبال کنید :

Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool.....

مطابق شکل (۱۱-۱) ـ که در صفحهٔ بعد قرار دارد ـ در جعبه ابزار شبکه بندی MeshTool شکل المان را (Shape) از نوع Quad و نوع Mesher را Free انتخاب کنید و دقت کنید که در مقابل کادر Mesh گزینهٔ Areas انتخاب شده باشد و سپس دکمهٔ Mesh را فشار دهید.

۶) در پنجرهٔ گرافیکی یک بار روی مدل با ماوس فشاردهید تا انتخاب شود سپس درپنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید (یا درهمان پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید).

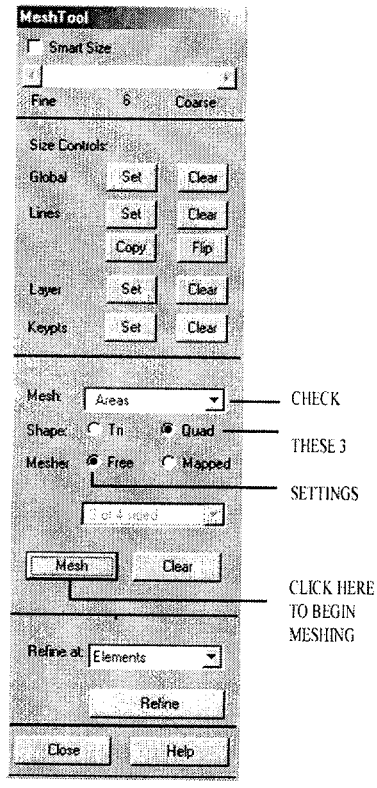
۷) مطابق شکل(۱۲-۱)سطح شما شبکه بندی می شود. به بزرگی المان ها و نوع قرارگرفتن آنها دقت کنید.

اکنون سطح بـه مجموعـه ای از المانـهای دو بعـدی PLANE82 تبدیـل شـده اسـت. اگر المانها کمی بـزرگ بودنـد مـی تـوان آنـها را ریزترکرد( مثلا برای تحلیـل اسـتاتیکی مـدل تحت بارکششی نواحی نزدیک به کمان دایـره ای نواحی حساس و بحرانی هستند پس بـاید المانها در ایـن ناحیـه ریزتـر باشـند تـا دقـت محاسبات بالاتر باشد ).

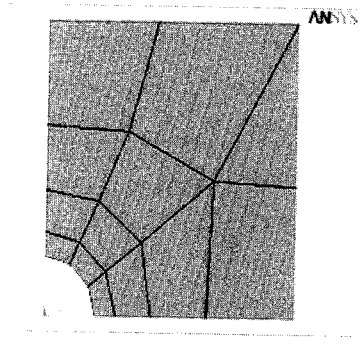
برای ریز کردن المانهامراحل زیر را انجام دهید.

الف) در جعبه ابزار MeshTool دکمهٔ Refine را فشار دهید.

ب ) در پنجـرهٔ انتخـاب Refine Mesh at Elements می توانید جهت ریز کـردن تمـام المانها دکمهٔ Pick All را فشار دهید تـا همـهٔ المانها به یک مقدار ریـز شـوند یـا اینکـه اگر المانهای بخصوصی را می خواهید ریـز کنیـد در پنجرهٔ گرافیکی با فشار دادن بـر روی هـر کـدام ، آنـها را انتخـاب کنیـد و در پنجـرهٔ انتخاب کلید OK فشار دهید.

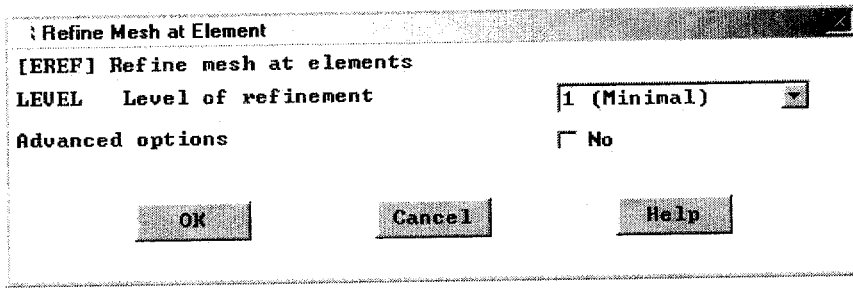



**شکل (۱۱-۱) : جعبه ابزار MeshTool**

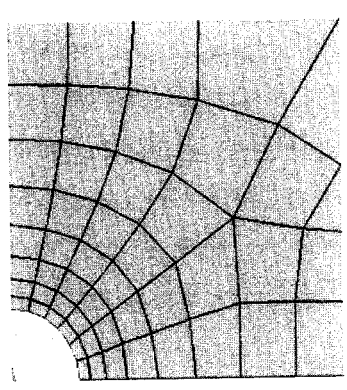



**شکل (۱۲-۱) : شبکه بندی اتوماتیک مدل**

ج) مطابق شکل ( ۱۳-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Refine Mesh at Element می توان درجهٔ ریز شدن المانها را تعیین کرد بـه طـور پیـش فـرض درجـهٔ ۱ ( Minimal ) فعـال اسـت . اگر میخواهیـد المانها خیلی ریز شوند ، در مقابل کـادر مربوطـه از منـوی گشـودنی آن درجـهٔ ۲ یـا ۳ یـا ...را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۱۳-۱) : جعبهٔ محاورهٔ ریز کردن المانها**



**شکل (۱۴-۱) : شکل نهایی مدل شبکه بندی شده با درجهٔ ریز شدن ۱ برای تمام المان ها**

مطابق شکل (۱۴-۱) ، شکل نهایی مدل شبکه بندی شده با درجهٔ ریز شدن ۱به صورت زیر است. این عمل را با درجهٔ ریز شدن ۲ ، ۳ و ۴ تکرار کنیدو تفاوتها را ببینید.

## ۴-۲- شبکه بندی دستی :

قبل از شروع شبکه بندی دستی باید المانهای ریخته شده روی مدل خود را که درمرحلهٔ قبل انجام شد پاک کنید زیرا یک مدل را نمی توان ۲ بار شبکه‌بندی کرد. برای این منظور مسیر زیر را که عملاً مسیر پاک کردن شبکهٔ تولید شده است ، دنبال کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing- Clear > Areas +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا کلیهٔ سطوح موجود ( که در این مثال فقط ۱ سطح است ) انتخاب شوند و المانهای آن پاک شود. حال شکل را از طریق مسیر زیر مجدداً ترسیم نمایید :

3) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

**نکته :** در جعبه ابزار MeshTool نیز می توانید برای پاک کردن المانها از کلید Clear که در مقابل کلید Mesh قرار دارد استفاده کنید.

## قوانین مهم در شبکه‌بندی دستی :

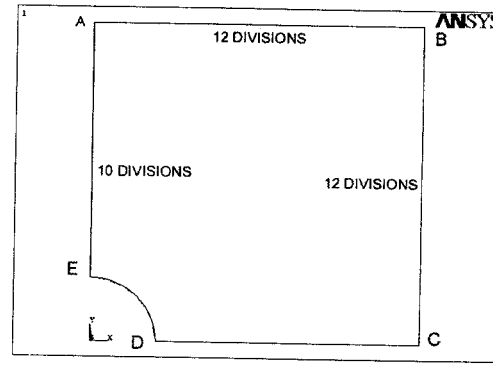
۱ : در شبکه‌بندی دستی باید سطوح از ۴ مرز تشکیل شده باشند.

۲ : درمورد سطوحی که بیش‌از ۴ مرز دارند می‌توان از Concatenate (که توضیح آن بدنبال می آید)، استفاده کرد.

در این مدل سطح از ۵ مرز که شامل ۴ خط راست و ۱کمان است تشکیل شده است پس یک سطح ۵ ضلعی محسوب می شود.

### ۴-۲-۱- تولید شبکهٔ دستی به روش Concatenate :

می خواهیم تعداد المانهای ریخته شده در راستای خطوط مطابق شکل (۱۵-۱) باشد.



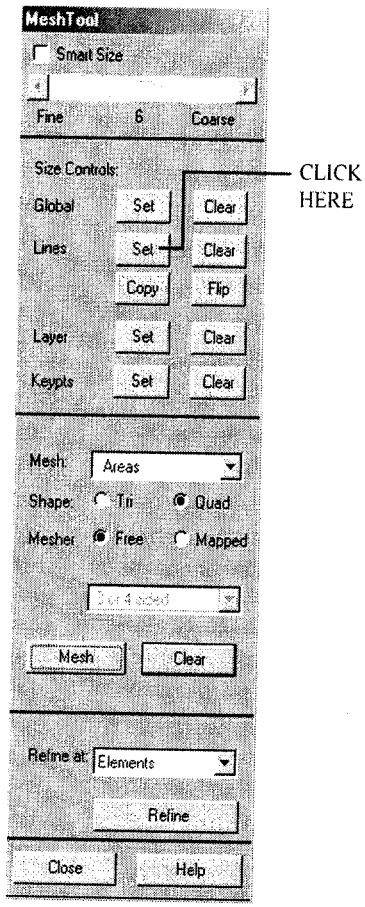

**شکل (۱۵-۱) : تعداد تقسیمات در راستای هر خط**

برای تعیین تعداد تقسیمات در راستای خطوط عمل زیر را انجام دهید.

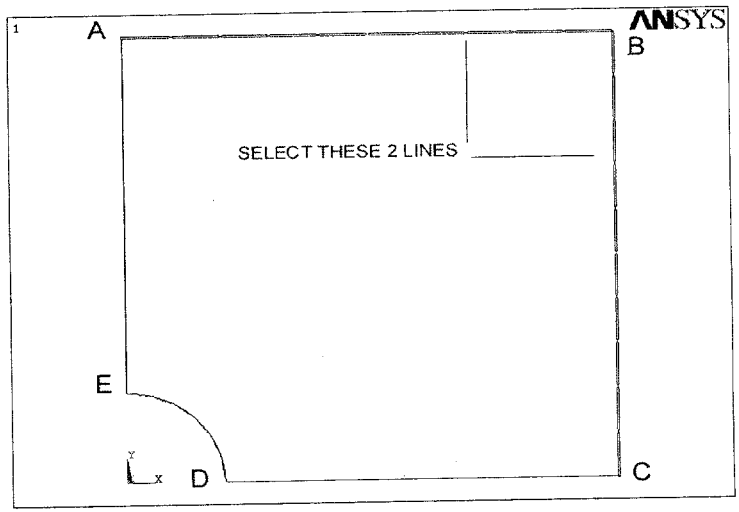
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۲) مطابق شکل (۱۶-۱) در جعبه ابزار MeshTool در مقابل قسمت Lines یکبار دکمهٔ Set را فشار دهید.

۳) مطابق شکل (۱۷-۱) در پنجرهٔ گرافیکی دوخط طولی AB و عرضی BC را انتخاب کنید.



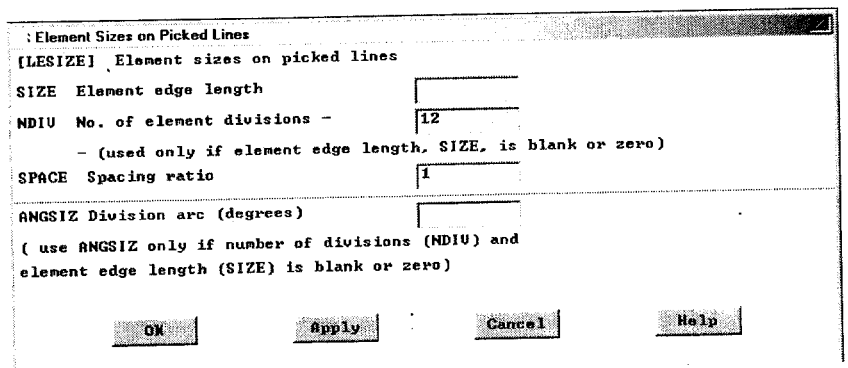

**شکل (۱۶-۱) : جعبه ابزار MeshTool**




**شکل (۱۷-۱) : انتخاب دو خط AB و BC از مدل در پنجرهٔ گرافیکی**

۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۵) مطابق شکل (۱۸-۱) درجعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۱۲ را تایپ کنید.



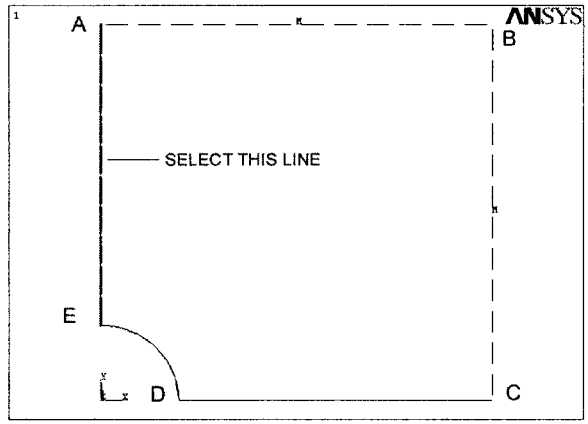

**شکل (۱۸-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین اندازهٔ المانها بر روی خطوط**

۶) کلید Apply را فشار دهید.

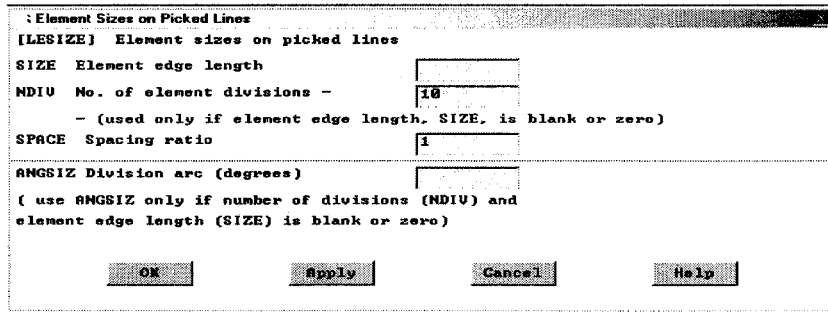
۷) مطابق شکل (۱۹-۱) در پنجرهٔ گرافیکی اینبار خط عرضی سمت چپ مدل(AE) را انتخاب کنید.

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشاردهید.

۹) مطابق شکل (۲۰-۱) درجعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines این بار در مقابل کادر NDIV No.of element divisions- عدد ۱۰ را وارد کنید.



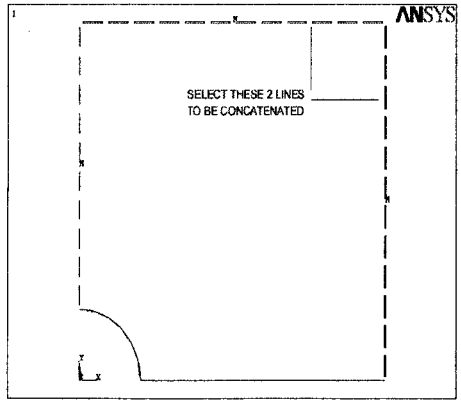

**شکل (۱۹-۱) : انتخاب خط عرضی سمت چپ مدل (AE)**




**شکل (۲۰-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین اندازهٔ المانها بر روی خطوط**

۱۰) کلید OK را فشار دهید.

اکنون نوبت استفاده از قابلیت Concatenate است این روش به طور فرضی ۲ ضلع از مدل را ۱ ضلع فرض می کند ومدل را با فرض ۴ ضلع شبکه بندی دستی می کند. مسیر زیر را دنبال کنید :




1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing - Concatenate > Lines +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۲۱-۱) دوخط طولی بالا و عرضی سمت راست مدل را انتخاب کنید.

**شکل (۲۱-۱) : انتخاب دو خط طولی و عرضی مدل برای انجام عمل Concatenate**

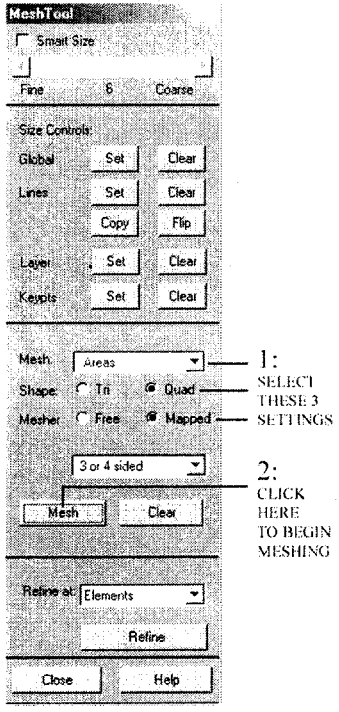
۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool...

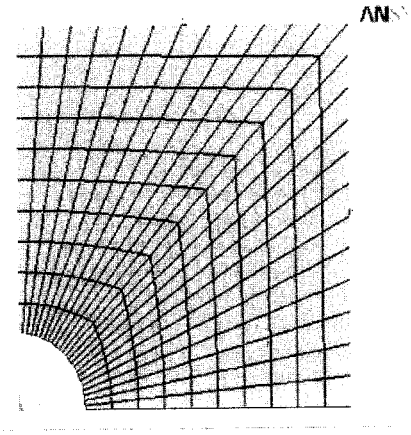
۵) مطابق شکل (۲۲-۱) درجعبه ابزار MeshTool ، Shape را از نوع Quad و گزینهٔ Mesher را از نوع Mapped انتخاب کنید.

۶) کلید Mesh را فشار دهید.

۷) در پنجرهٔ گرافیکی سطح را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید ( یـا از همان ابتدا در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید ) سطح شبکه بندی مـی شـود. نـوع المانهای ریخته شده برروی مدل به صورت شکل (۲۳-۱) خواهد بود.




**شکل (۲۲-۱) : تنظیمات شبکه بندی**



**شکل (۲۳-۱) : شبکه بندی دستی بر روی مدل به روش Concatenate**

## ۴-۲-۲- شبکه بندی دستی به روش تقسیم سطح به ۲ سطح ۴ ضلعی :

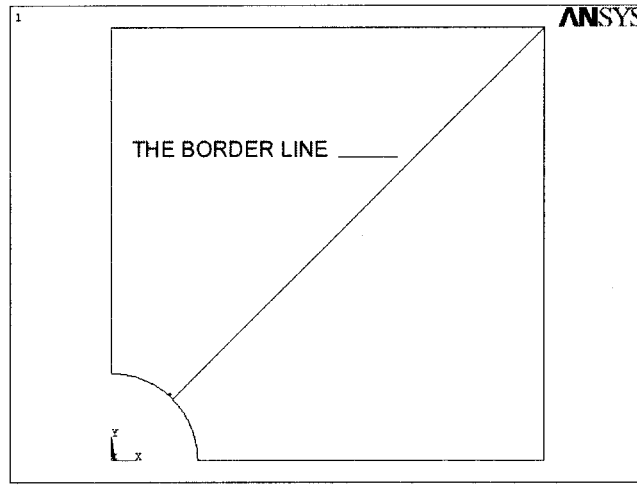
در این روش سطح را به کمک یک خط اضافی ( کمکی ) بـه دو سـطح ۴ ضلعـی تقسـیم مـی کنیم و دو سطح را شبکه بندی دستی می کنیم ( مطابق شکل ۲۴-۱ ).

ابتدا المانهای ریخته شده روی مدل را که در قسمت قبلی ریخته شد ، پاک کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing - Clear > Areas +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا المانهای مدل پاک شود.

3) Ansys Utility Menu > Plot > Lines




**شکل (۲۴-۱) : ایجاد خط کمکی برای تقسیم سطح**

توجه کنید برای رسم خط اضافی نیاز به نقطهٔ وسط کمان دارید و همچنین کمان باید به ۲ کمان تبدیل شود تا هر قسمت ازآن یکی از خطوط سطوح به وجود آمده باشد. دقت کنید خط فرضی که از به هم پیوستن دو خط در قسمت شبکه بندی دستی به روش Concatenate به وجود آمده نیز باید پاک شود. برای پاک کردن خط Concatenate عمل زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Delete > Lines Only +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید این عمل باعث پاک شدن کلیهٔ خطوط مدل می شود ولی قادر به پاک کردن خطوطی که به سطح متصل هستند نمی باشد در نتیجه پیغام های خطا می دهد شما تمام این پیغام ها را با فشار دادن کلید OK ببندید تا فقط خط فرضی Concatenate که به سطح متصل نیست پاک شود.

برای تقسیم کمان به ۲ کمان عملیات زیر را انجام دهید.

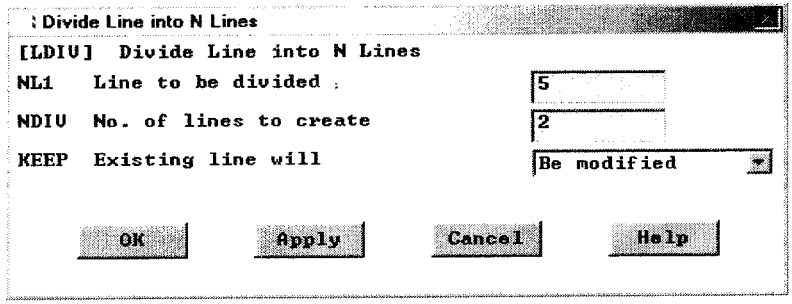
1) Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling-Operate>-Booleans-Divide> Line into N ln's +

۲) کمان را در پنجرهٔ گرافیکی انتخاب کنید و کلید OK را در پنجره فشار دهید.

۳) مطابق شکل (۲۵-۱) جعبهٔ محاورهٔ Divide Line into N Lines باز می شود در این جعبه ، در قسمت اول در مقابل کادر NL1 Line to be divided شماره خط نوشته شده است و در قسمت دوم در مقابل کادر NDIV No. of lines to create عدد ۲ را وارد کنید تا خط شما به دو قسمت تبدیل شود. سپس کلید OK را فشار دهید. تا کمان به ۲ کمان تبدیل شود.

برای رسم خط مرزی عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Lines - Lines > Straight Line +




**شکل (۲۵-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تقسیم خط به چند خط**

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا نقطهٔ برخورد دو خط را که در گوشه بالایی سمت راست مدل قرار دارد انتخاب کنید سپس نقطهٔ وسط که مربوط به محل برخورد دو کمان است را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا خط مرزی تولید شود.

برای تقسیم سطح به دو سطح ۴ضلعی مراحل زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling-Operate > -Booleans -Divide > Area by Line..

۲) در پنجرهٔ گرافیکی یکبار روی سطح با ماوس فشار دهید و سپس دکمهٔ Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ گرافیکی حال خط مرزی مورب را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید. تا سطح به ۲ سطح ۴ ضلعی تبدیل شود.

( محتویات پنجرهٔ زرد رنگ warning را بخوانید و علت این پیغام را حدس بزنید و سپس آنرا ببندید )

4) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

قبل از شروع شبکه بندی دستی به روش تقسیم سطح باید تقسیمات خطوط را که برای شبکه بندی به روش Concatenate تعریف شد پاک کنید. برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool....

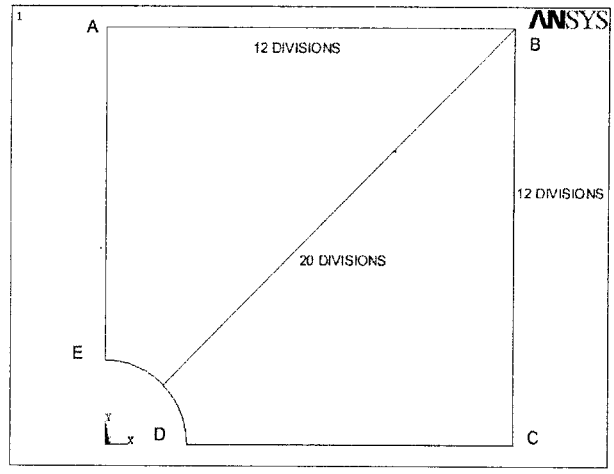
۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت Lines روی دکمهٔ Clear یکبار فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

برای شبکه بندی دستی مراحل زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

می خواهیم تعداد المانهای ریخته شده روی خطوط به صورت شکل (۲۶-۱) باشد یعنی روی خطوط طولی بالا و عرضی سمت راست مدل تعداد ۱۲ المان و روی خط مرزی دو سطح ، تعداد ۲۰ المان ریخته شود.




**شکل (۲۶-۱) : تعیین تعداد تقسیمات خطوط**

برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

۲) در جعبه‌ابزار MeshTool در قسمت Lines دکمهٔ Set را یکبار فشار دهید.

۳) خطوط طولی بالا و عرضی سمت راست مدل را در پنجرهٔ گرافیکی انتخاب کنید و کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ تنظیم تقسیمات خط درمقابل کادر-NDIV No. of element divisions عدد ۱۲ را تایپ کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۵) این بار در پنجرهٔ گرافیکی خط مرزی دو سطح را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۶) این بار در مقابل کادر -NDIV No. of element divisions عدد ۲۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

۷) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت Mesh نوع Mesher را به Mapped و شکل المان Shape را به Quad تبدیل کنید.

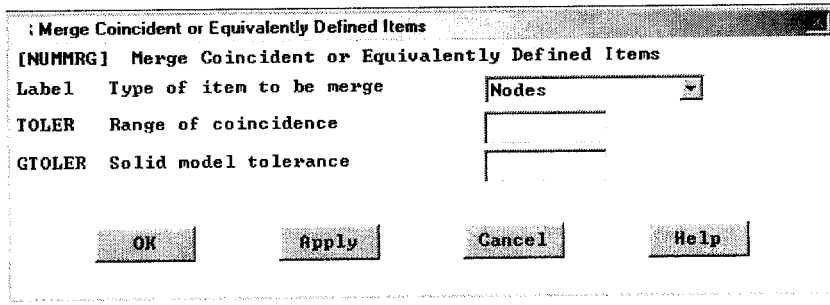
۸) کلید Mesh را در جعبه ابزار MeshTool فشار دهید.

۹) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید ، تا همهٔ سطوح انتخاب شوند و شبکه بندی شوند.

چون دو سطح در نقاط مرزی با هم مشترک هستند برای یکی شدن گره های این دو سطح باید عمل ممزوج کردن (Merge) را انجام داد. برای این منظور به ترتیب زیر عمل کنید :

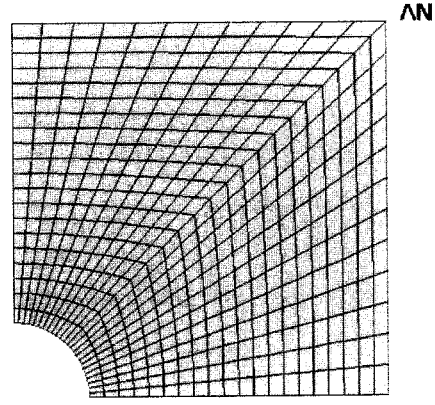
1) Ansys Main Menu > Preprocessor >Numbering Ctrls > Merge Items...

۲) مطابق شکل (۲۷-۱) درجعبهٔمحاورهٔ بازشده،درمقابل کادرType of item to be merge عبارت Nodes را انتخاب کنید.




**شکل (۲۷-۱) : جعبهٔ محاورهٔ ممزوج کردن اجزاء.**

۳) کلید OK را فشار دهید. مدل به صورت شکل (۲۸-۱) شبکه بندی خواهد شد .




**شکل (۲۸-۱) : مدل شبکه بندی شدهٔ نهایی.**

مدل تولید شده را از طریق عملیات زیر ذخیره کنید :

1) Ansys Utility Menu > File > Save as ...

۲) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Filename یک اسم نظیر Example1. Db را تایپ کنید ( پسوند Db را حتما تایپ کنید )

۳) کلید OK را فشار دهید.

برای باز فراخوانی مدل نیز می توانید عمل زیر را انجام دهید.

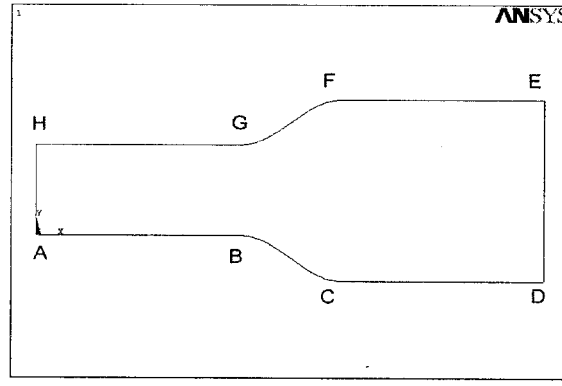
1) Ansys Utility Menu > File > Resume from...

۲) در پنجرهٔ باز شده با توجه به اسم فایل ذخیره شده ( Example1 ) آنرا انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید. برای دیدن مدل کامل مسیر زیر را دنبال کنید :

4) Ansys Utility Menu > Plot > Elements.

**تمرین ۲ : مدل زیر را ساخته و هردو عمل شبکه بندی اتوماتیک و شبکه بندی دستی را انجام دهید.**




**شکل (۱-۲) : نقشهٔ مدل به همراه نقاط**

## اهداف تمرین :

۱- آشنایی با تولید نقاط[1]

۲- آشنایی با مماس کردن یک خط منحنی بر دو خط دیگر

۳- آشنایی با تولید سطح به کمک خط

۴- آشنایی با شبکه بندی به کمک گزینهٔ Spacing ratio

مختصات نقاط روی شکل به صورت زیر است :

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | B | 0.2 | C | 0.3 | D | 0.5 | E | 0.5 | F | 0.3 | G | 0.2 | H | 0 |
| | 0 | | 0 | | −0.05 | | −0.05 | | 0.15 | | 0.15 | | 0.1 | | 0.1 |
| | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 |

برای شبکه بندی ، از المان PLANE82 استفاده کنید.

## مرحلهٔ اول – تولید نقاط :

ابتدا باید نقاط A تا H را بوجود آورد. برای ایجاد نقاط از طریق دادن مختصات آنها ، مسیر زیر را دنبال کنید :

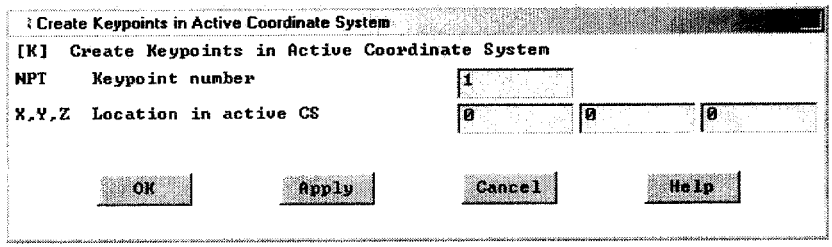
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > Keypoints > In Active CS …

۲) مطابق شکل (۲-۲) در پنجرهٔ تولید نقطه برای نقطهٔ A مقادیر زیر را وارد کنید.

Keypoint number : 1 X , Y , Z : 0 , 0 , 0

---

*1- Keypoints*

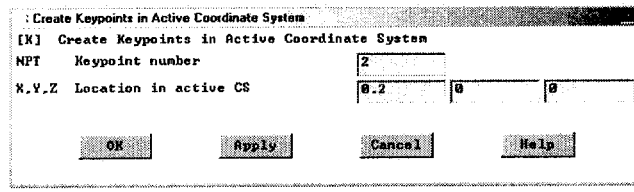



**شکل (۲-۲) : پنجرهٔ تولید نقطهٔ A**

۳) کلید Apply را فشار دهید.

۴) برای تولید نقطهٔ B مطابق شکل (۳-۲) مقادیر زیر را وارد کنید.

Keypoint number : 2
X , Y , Z : 0.2 , 0 , 0




**شکل (۳-۲) : پنجرهٔ تولید نقطهٔ B**

۵) کلید Apply را فشار دهید.

به همین ترتیب نقاط C , D , E , F , G را بسازید. و پس از وارد کردن مختصات نقطهٔ H کلید OK را فشار دهید. حال باید تمام نقاط روی صفحهٔ گرافیکی دیده شوند. اگر همهٔ نقاط در صفحهٔ گرافیکی دیده نمی شوند از روش زیر استفاده کنید.

1) Ansys Utility Menu > Plot Ctrls > Pan , Zoom , Rotate...

۲) در جعبه ابزار Pan , Zoom کلید Fit را فشار دهید ( مطابق شکل ۴-۲ ).

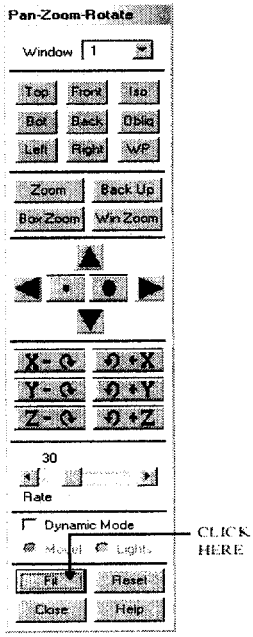
۳) جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate را با فشار دادن کلید Close ببندید .

**نکته :** نقطهٔ A به علت قرار گرفتن در مبدا مختصات به وضوح دیده نمی شود.

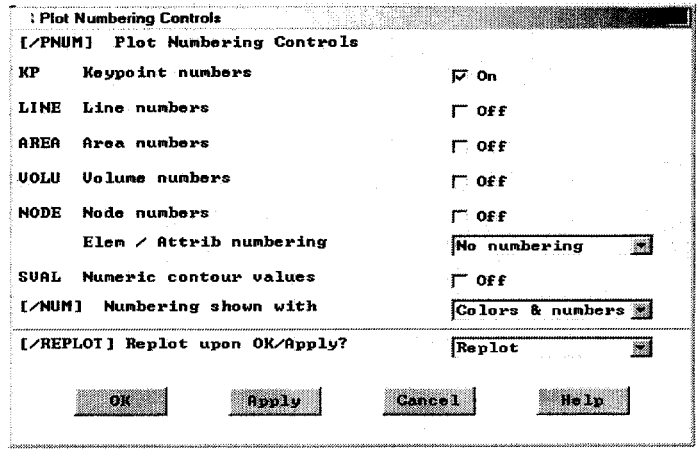
برای نمایش شماره‌گذاری نقاط از روش زیر استفاده کنید :

1) Ansys Utility Menu >Plot Ctrls>Numbering...

۲) مطابق شکل (۵-۲) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls گزینهٔ KP Keypoint numbers را فعال کنید.




**شکل (۴-۲) : جعبه ابزار Pan-Zoom-Rotate**




**شکل (۵-۲) : پنجرهٔ کنترل شماره گذاری**

۳) کلید OK را فشار دهید. بدین ترتیب تمام نقاط ساخته شده همراه با شماره دیده می شوند. حال به ساختن خطوط بپردازید.

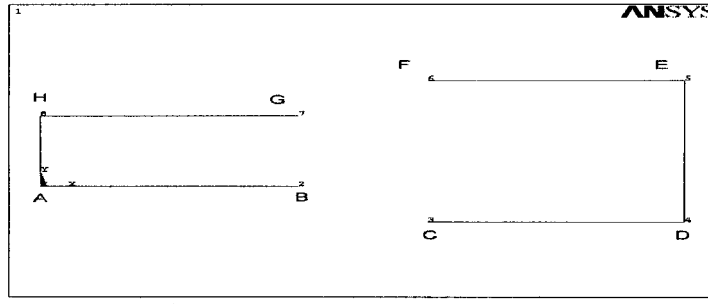
### مرحلهٔ دوم- ساخت خطوط راست :

برای تولید یک خط راست بین دو نقطه ، مسیر زیر را دنبال کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Lines - Lines > Straight Line +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی روی نقطهٔ ۱و ۲ به ترتیب با ماوس فشار دهید تا خط AB ساخته شود. به همین ترتیب خط CD را به کمک نقاط ۳ و ۴ و سپس خطوط ED , EF , HG , AH را بسازید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید. اکنون باید مطابق شکل (۶-۲) خطوط به صورت زیر در پنجرهٔ گرافیکی نمایان باشند.



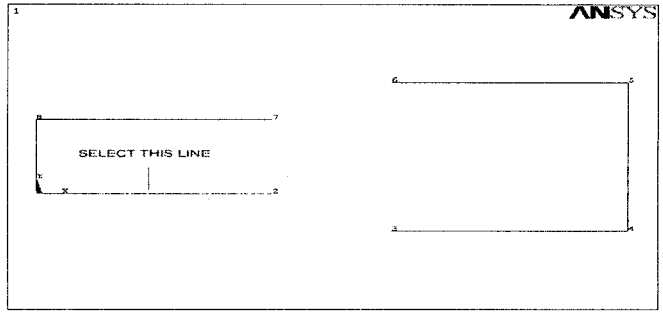

**شکل (۶-۲) : خطوط راست تولید شده درپنجرهٔ گرافیکی**

**مرحلهٔ سوم- ساخت دو خط منحنی :**

یک منحنی را بین دو خط AB و CD در نقاط C , B مماس کنید. برای این منظور مسیر زیر را دنبال کنید :

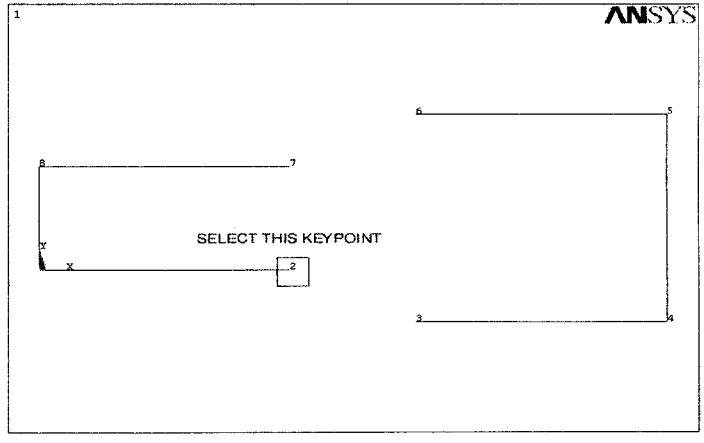
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Lines - Lines > Tan to 2 lines +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا روی خط AB ( ۲-۱ ) یکبار با ماوس فشار دهید ( مطابق شکل ۲-۷ ) و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید.



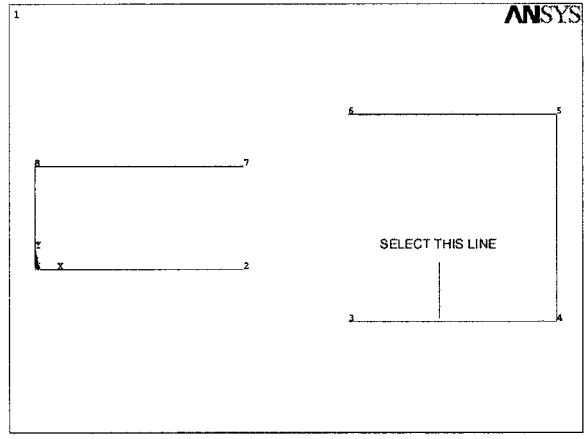

**شکل (۲-۷) : انتخاب خط ۲-۱ (AB) در پنجرهٔ گرافیکی**

۳) مطابق شکل (۲-۸ ) در پنجرهٔ گرافیکی روی نقطهٔ شمارهٔ ۲ یکبار با ماوس فشار دهید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید .



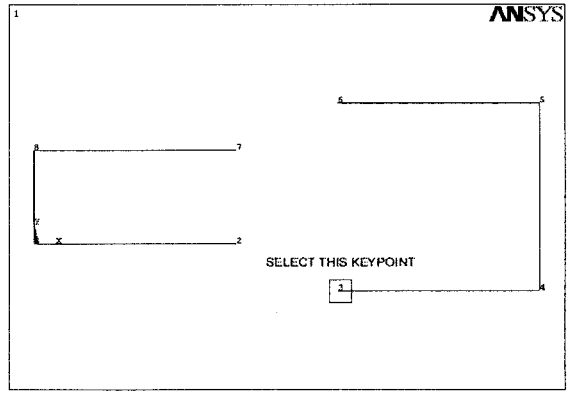

**شکل (۲-۸) : انتخاب نقطهٔ ۲ در پنجرهٔ گرافیکی**

۴) مطابق شکل (۲-۹) در پنجرهٔ گرافیکی روی خط CD ( ۴-۳ ) یکبار با ماوس فشار دهید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید .




**شکل (۹-۲) : انتخاب خط ۴-۳ (CD) در پنجرهٔ گرافیکی**

۵) مطابق شکل (۱۰-۲ ) در پنجرهٔ گرافیکی روی نقطهٔ شمارهٔ ۳ یکبار با ماوس فشـــار دهیـد و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید .




**شکل (۱۰-۲) : انتخاب نقطهٔ ۳ در پنجرهٔ گرافیکی**

اکنون خط منحنی وار پایینی ساخته می شود.

**نکته** : این خط منحنی بر خط AB در نقطـــه B ممـاس بوده و بـر خـط CD در نقطـه C نـیز مماس است برای ساخت این خط منحنی، ابتدا خط مماسی اول سپس نقطهٔ تماس و بعد خـط مماسی دوم و نقطهٔ تماس دوم باید معرفی شود.

برای ساخت خط منحنی بالائی تمام عملیات فوق را تکرار کنید و فقط خطوط را دو خط HG و EF و نقاط تماس را دو نقطهٔ G و F معرفی کنید.

حال باید به کمک خطوط تولید شده یک سطح تولید کرد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Areas - Arbitrary > By Lines +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ خطوط موجود را انتخاب کنید ( با فشار دادن ماوس روی هر خط آنرا انتخاب کنید ).

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

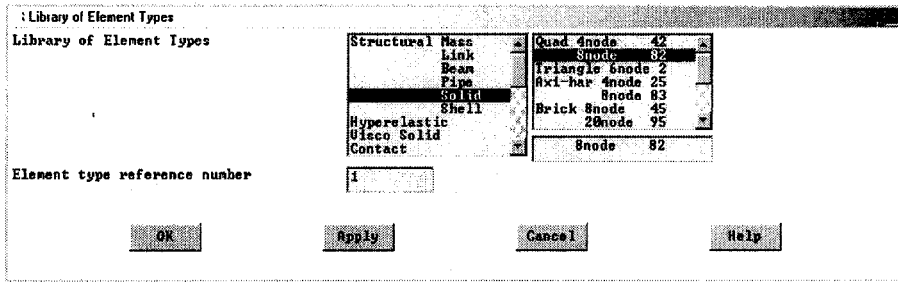
**مرحلهٔ چهارم - تعریف المان و شبکه بندی مدل :**

برای این مدل از المان PLANE82 استفاده کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) مطابق شکل (۱۱-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع Solid را انتخاب کنید و در پنجرهٔ مقابل آن Quad 8node 82 را انتخاب کنید .




**شکل (۱۱-۲) : انتخاب PLANE82 از کتابخانهٔ المانها**

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) جعبهٔ محاورهٔ Element Types را با فشار دادن کلید Close ببندید .

اکنون می توانید سطح را شبکه بندی اتوماتیک ( Free ) کنید. این کار را انجام دهید ولی قبل از شروع عمل شبکه‌بندی ، مطابق شکل (۱۲-۲) ، Smart Size را در جعبه ابزار Meshtool فعال کرده و درجهٔ آنرا روی عدد ۳ تنظیم کنید و سپس شبکه را تولید کنید.

Smart Size میزان دانسیتهٔ شبکه را که از ۱ تا ۱۰ قرار دارد ( همان کوچک و بزرگی شبکه ) را تعیین می کند که شمارهٔ ۱ ، شبکه از نوع مناسب و ریز[1] تولید می کند. شمارهٔ ۱۰ نیز شبکه بندی ابتدایی و درشت[2] تولید می کند.

**شبکه بندی دستی :**

ابتدا المانهای ریخته شده را که در قسمت Automeshing بر روی مدل قرار دادید پاک کنید.

1) Ansys Main Menu> Preprocessor> - Meshing -Clear> Areas+

---

*1- Fine*
*2- Coarse*

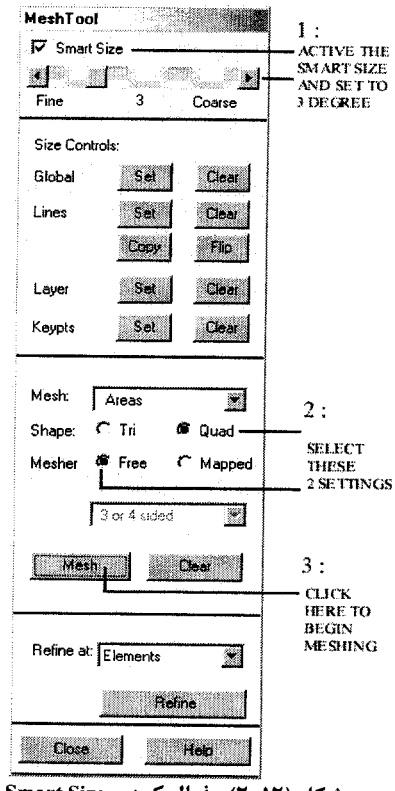
۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید. تا المانهای دو بعدی PLANE82 از روی مدل پاک شوند.

3) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

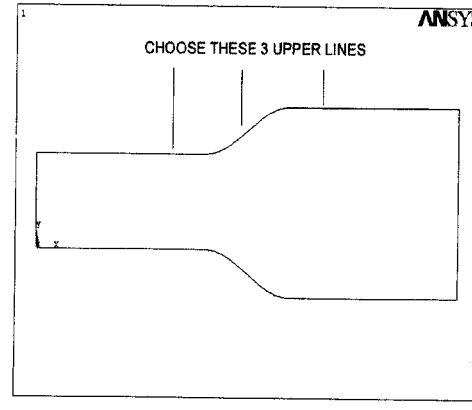
برای تولید شبکهٔ دستی با اینکه سطح دارای ۸ ضلع می باشد ولی می‌توان آنرا به یک سطح ۴ ضلعی تبدیل کرد. ( بدون تقسیم سطح ) به این صورت که ۳ خط طولی بالایی مدل را به یک خط تبدیل کنید و ۳ خط طولی پایینی مدل را هم به یک خط.

1) Ansys Main Menu> Preprocessor> - Modeling -Operate > - Booleans - Add > Lines +

۲) مطابق شکل(۱۳-۲) در پنجرهٔ گرافیکی ۳ خط طولی بالایی را انتخاب کنید .




**شکل (۱۲-۲) : فعال کردن Smart Size**




**شکل (۱۳-۲) : انتخاب ۳ خط طولی بالایی در پنجرهٔ گرافیکی**

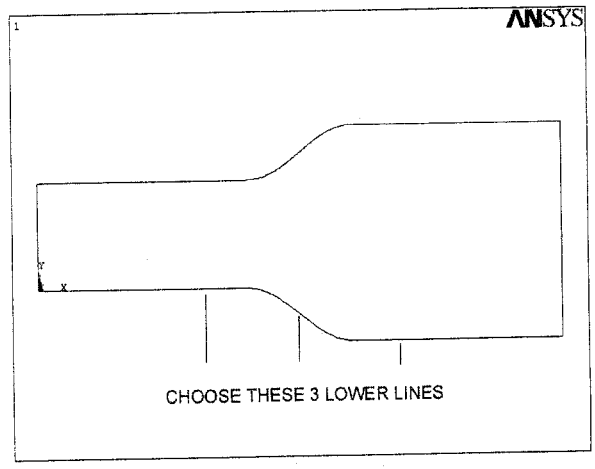
۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده کلید Apply را فشار دهید. اکنون ۳ خط انتخاب شده به ۱ خط تبدیل شده و ۳ خط قبلی پاک می شوند.

۵) در پنجرهٔ گرافیکی اینبار ۳ خط طولی پایینی مدل را مطابق شکل ( ۱۴-۲ ) انتخاب کنید .

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

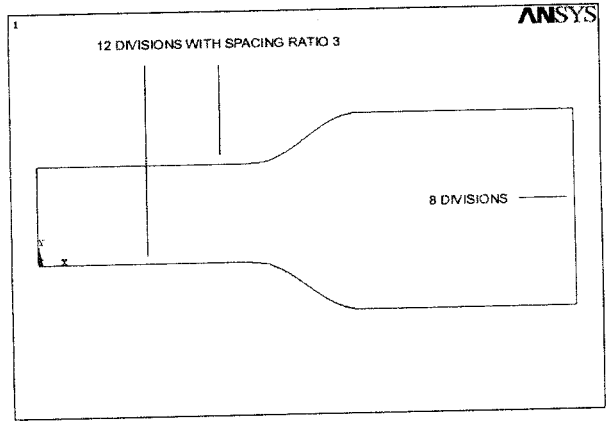
۷) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید. اکنون سطح به یک سطح ۴ ضلعی تبدیل شده است.




**شکل (۱۴-۲) : انتخاب سه خط طولی پایینی مدل**

## تعیین تقسیمات خطوط جهت شبکه بندی :

می خواهیم تعداد تقسیمات در جهت محورY برابر ۸ تقسیم باشد و در جهت خط افقی برابر ۱۲ تقسیم باشد همچنین می خواهیم المانهای ریخته شده با جلو رفتن در جهت محور X بزرگتر شوند ، بطوریکه قدر نسبت این بزرگ شدن ۳ باشد یعنی آخرین المان خط سه برابر اولین المان آن باشد ( مطابق شکل ۱۵-۲ ).

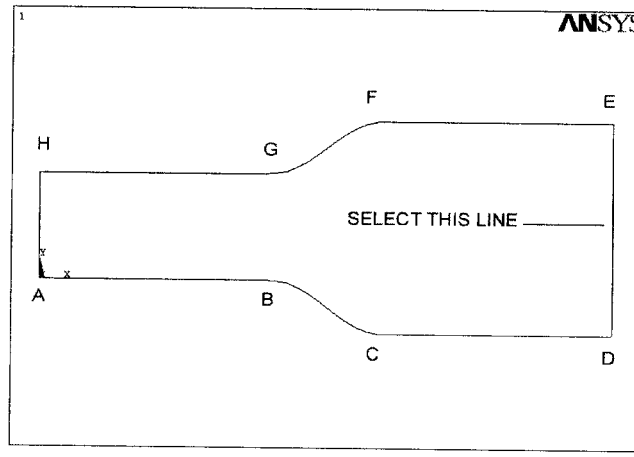



**شکل (۱۵-۲) : تعیین تقسیمات خطوط مدل**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ....

۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت Lines دکمهٔ Set را یکبار فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ گرافیکی خط عمودی ED را انتخاب کنید ( مطابق شکل ۱۶-۲ ).



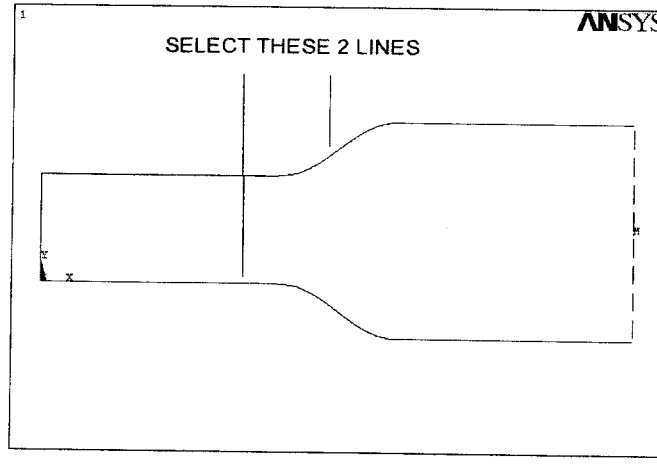

**شکل (۱۶-۲) : انتخاب خط عمودی**

۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۵) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر -No. of element divisions NDIV عـدد ۸ را تایپ کنید.

۶) کلید Apply را فشار دهید.

۷) در پنجرهٔ گرافیکی این بار دو خط طولی را انتخاب کنید ( مطابق شکل ۱۷-۲ ).

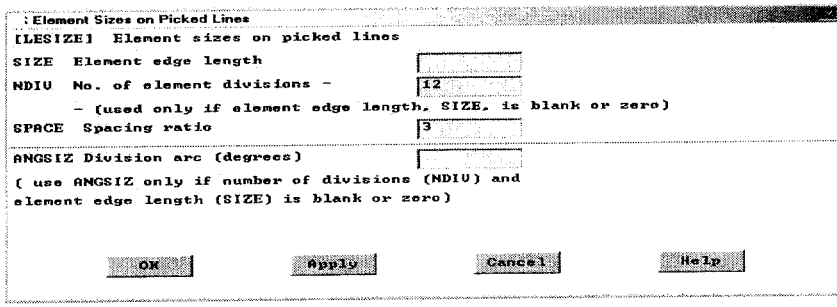



**شکل (۱۷-۲) : انتخاب دو خط طولی**

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۹) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر - No. of element divisions NDIV عـدد ۱۲ را وارد کنید.

۱۰) در مقابل کادر SPACE Spacing ratio عدد ۳ را وارد کنید ( مطابق شکل ۱۸-۲ ).




**شکل ( ۱۸-۲ ) : تنظیمات اندازهٔ المانها بر روی خطوط انتخاب شده**

۱۱) کلید OK را فشار دهید.

برای شروع شبکه بندی مدل عملیات زیر را انجام دهید.

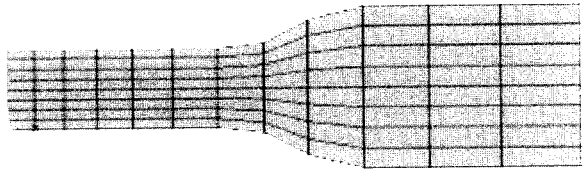
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool...

۲) در جعبه ابزار Meshtool ابتدا گزینهٔ Smart Size را غیر فعال کنید و سپس تنظیمات Shape را به Quad و Mesher را به Mapped تبدیل کنید.

۳) کلید Mesh را فشار دهید.

۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطح انتخاب شود و شبکه بندی شود.

به نوع المانها دقت کنید اندازهٔ المانها با پیشروی در جهت محور X به تدریج بزرگ می شود ( شکل ۱۹-۲ ).

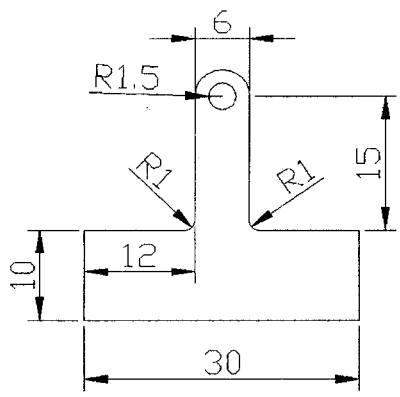


**شکل (۱۹-۲) : مدل شبکه بندی شدهٔ نهایی**

مدل کامل گردید. اکنون در صورت نیاز می توانید مدل را مطابق تمرین اول ذخیره کنید. اگر می خواهید تمرین بعدی را انجام دهید عملیات زیر را تکرار کنید.

1) Ansys Utility Menu > File > Clear & Start new
2) OK
3) Yes

## تمرین ۳ – مدل هندسی زیر را بسازید و سپس شبکه بندی کنید :




**هدف :** در این مثال مدلسازی با دستورات Glue و fillet آشنا می شوید.

**شکل (۱-۳) : نقشهٔ مدل با ابعاد برحسب (Cm)**

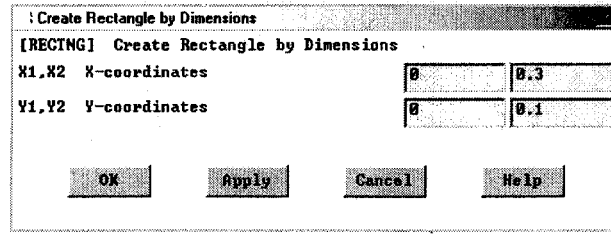
### مرحلهٔ اول – ساخت دو مستطیل :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Areas - Rectangle > By Dimensions…

۲) مطابق شکل (۲-۳) در پنجرهٔ ساخت مستطیل ، ابعاد مستطیل اول را وارد کنید.

الف) X1 = 0 , X2 = 0.3

ب) Y1 = 0 , Y2 = 0.1



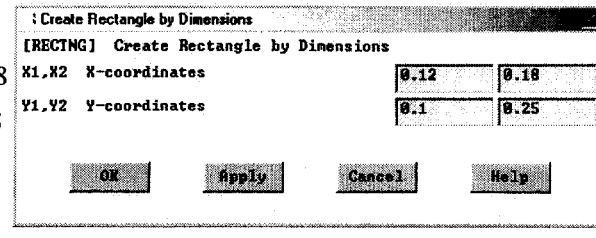

**شکل (۲-۳) : ساخت مستطیل اول.**

۳) کلید Apply را فشار دهید ، تا مستطیل اول ساخته شده و پنجرهٔ ساخت مستطیل دوم نمایان شود :

۴) مطابق شکل (۳-۳) ابعاد مستطیل دوم را وارد کنید.

الف) X1 = 0.12 , X2 = 0.18

ب) Y1 = 0.1 , Y2 = 0.25




**شکل (۳-۳) : ساخت مستطیل دوم**

۵) کلید OK را فشار دهید تا مستطیل دوم نیز ساخته شود

**مرحلهٔ دوم – چسباندن[1] دو سطح :**

قبل از ایجاد fillet ، دو مستطیل را به همدیگر بچسبانید. خاصیت Glue-Areas این است که دو سطح مستطیلی که در بعضی از قسمتهای خطوط مرزی خود بر هم منطبقند با انجام عمل چسباندن ، بخش مشترک دو خط مرزی به یک خط تبدیل می شوند. این کار برای احجام نیز قابل تعریف است. برای چسباندن دو سطح به طریق زیر عمل کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Operate > - Booleans - Glue > Areas +

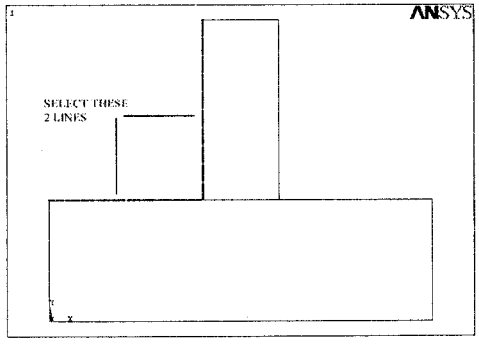
۲) در پنجرهٔ انتخاب ، دکمهٔ Pick All را با ماوس فشار دهید تا عمل چسباندن انجام گردد.

3) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

**مرحلهٔ سوم– ساخت fillet :**

یک fillet را بین دو خط و با مشخص کردن اندازهٔ شعاع (r) آن تولیدکنید.

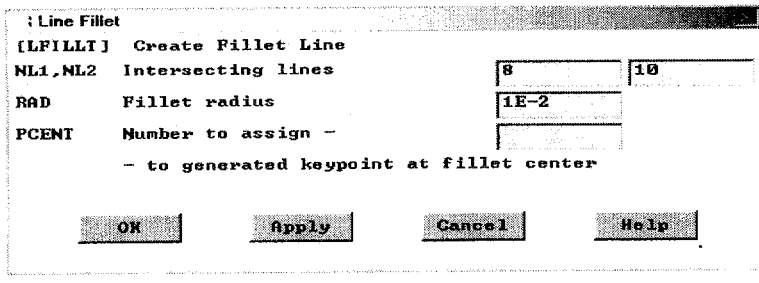
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Lines - Line Fillet +




۲) دو خط را مطابق شکل (۴-۳) با ماوس انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

**شکل (۴-۳) : انتخاب دو خط عمود برهم سمت چپ مدل**

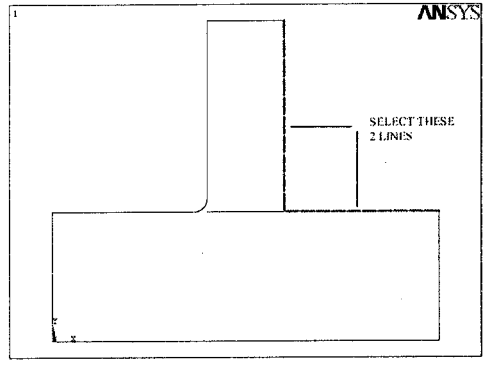
۳) مطابق شکل (۵-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Line Fillet ، در مقابل کادر Fillet radius RAD ، مقدار شعاع fillet را که برابر 1E-2 است، وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.




**شکل (۵-۳) : جعبهٔ محاورهٔ تولید خط fillet**

*1- Glue*

۴) مطابق شکل (۶-۳) دو خط دیگر را جهت رسم fillet انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.




**شکل (۶-۳) : انتخاب دو خط عمود برهم سمت راست مدل**

۵) درجعبهٔ محاورهٔ Line Fillet ، بدون تغییرات کلید OK را فشار دهید تا خط fillet دوم نیزتولید شود .

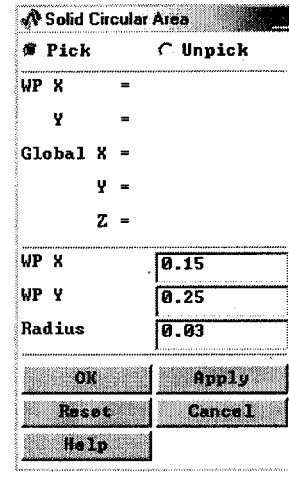
## مرحلهٔ چهارم - ایجاد دایرهٔ بزرگتر بالایی :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Areas - Circle > Solid Circle...

۲) مطابق شکل (۷-۳) مختصات مرکز وشعاع دایره را وارد کنید .

WP X = 0.15
WP Y = 0.25
Radius = 0.03

۳) کلید OK را در پنجرهٔ تولید دایره ، فشار دهید.




**شکل (۷-۳) : پنجرهٔ تولید دایره**

## مرحلهٔ پنجم- پاک کردن سطوح بدون پاک کردن خطوط :

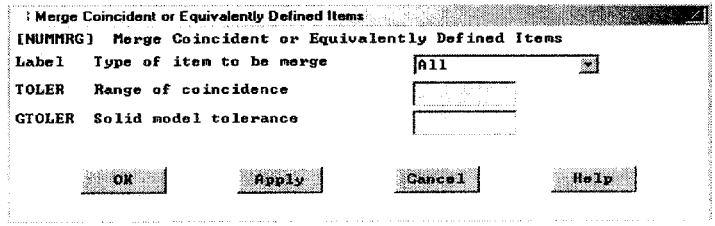
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling -Delete > Areas Only +

۲) در پنجرهٔ انتخاب دکمهٔ Pick All را فشار دهید تا سطوح پاک شوند.

### مرحلهٔ ششم - ممزوج کردن[1] کلیهٔ اجزاء :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items...

۲) مطابق شکل (۸-۳) درمقابل کادر Type of item to be merge گزینهٔ All را انتخاب کرده و کلید OK را فشاردهید.

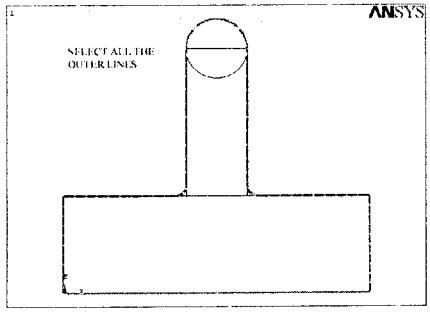



**شکل (۸-۳) : جعبهٔ محاورهٔ ممزوج کردن اجزاء**

### مرحلهٔ هفتم - ایجاد سطح اصلی :

1) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

2) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Areas - Arbitrary > By Lines +




۳) کلیهٔ خطوط خارجی مدل را انتخاب کنید (مطابق شکل (۹-۳)).

۴) کلید OK را فشار دهید.

**شکل (۹-۳) : انتخاب کلیهٔ خطوط خارجی مدل**

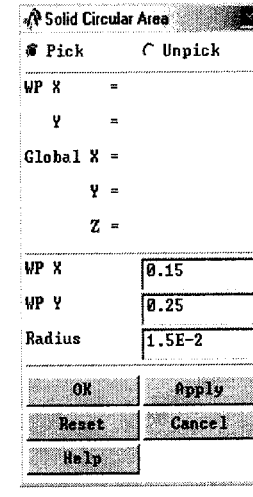
### مرحلهٔ هشتم - ایجاد سطح دایره ( مربوط به سوراخ ) :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > -Areas-Circle > Solid Circle...

۲) مطابق شکل (۱۰-۳) مختصات مرکز و شعاع دایره به ترتیب زیر وارد کنید.

WP X = 0.15
WP Y = 0.25
Radius = 1.5E-2

۳) کلید OK را فشار دهید تا سطح دایره ای تولید شود .




**شکل (۱۰-۳) : تولید سطح دایره**

*1- Merge*

**مرحلهٔ نهم - کم کردن دو سطح از یکدیگر :**

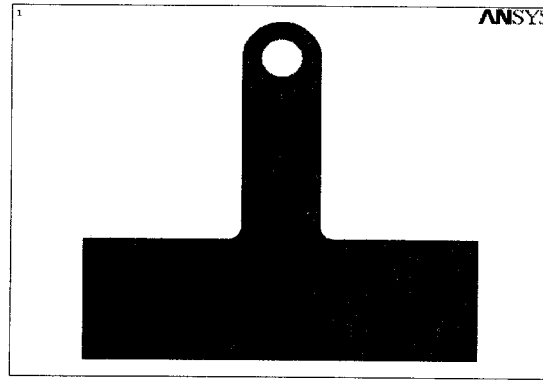
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling -Operate > -Booleans –Subtract > Areas +

۲) سطح اصلی را انتخاب کنید و کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) سطح دایره أی (مربوط به سوراخ ) را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

4) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

۵) مطابق شکل (۱۱-۳) مدل نهایی ساخته می شود



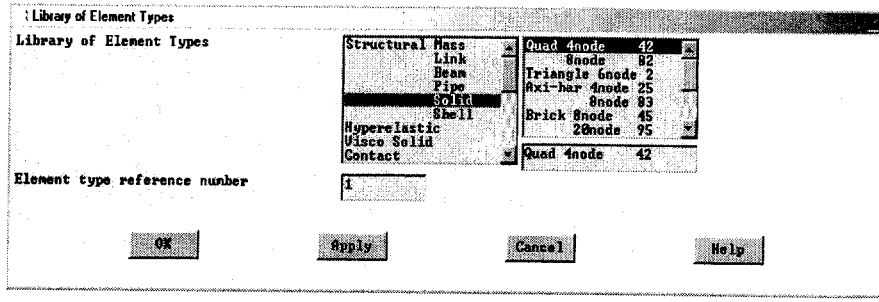

**شکل (۱۱-۳) : مدل نهایی ساخته شده.**

**مرحلهٔ دهم- تعریف المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) مطابق شکل (۱۲-۳ ) ، در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types ، از خانوادهٔ Structural المان نوع Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان Quad 4node 42 را انتخاب کنید .




**شکل (۱۲-۳) : جعبهٔ محاورهٔ کتابخانهٔ المانها.**

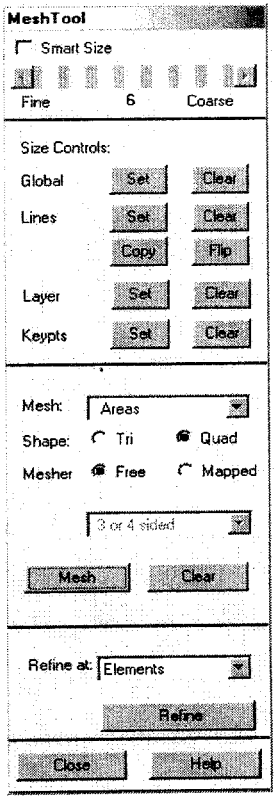
**مرحلهٔ یازدهم - شبکه بندی مدل :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

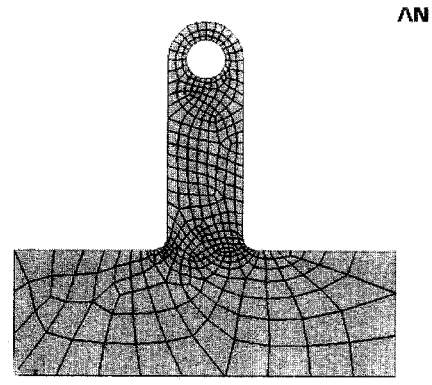
۲) مطابق شکل (۱۳-۳) درجعبه ابزار MeshTool ، شکل المـان (Shape ) را از نـوع Quad و Mesher را از نوع Free انتخاب کرده و کلید Mesh را فشار دهید.

۳) درپنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تاسطح مزبورشبکه بندی شود .

۴) مدل شبکه بندی شده به صورت شکل (۱۴-۳) است.




**شکل (۱۳-۳) : جعبه ابزار MeshTool**

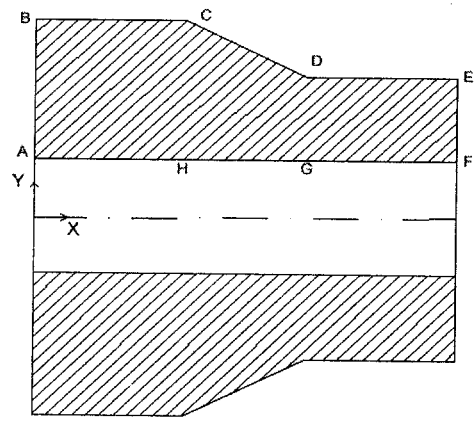



**شکل (۱۴-۳) : مدل شبکه بندی شدهٔ نهایی.**

**نکته** : در مرحلهٔ ۲، کاربر می تواند به جای دستور Glue از دستورAdd یا Partition نیز استفاده نمایـد.
هدف در اینجا آشنایـی با دستور چسباندن (Glue) بوده است.

**تمرین ۴** : نمای برش خوردهٔ یک سیلندر مخروطی با سطح مقطع دایره ای درجهت محور طولی به صورت شکل (۱-۴) است. این نما کاملاً نسبت به محور X متقارن است. مدل را به صورت سه بعدی ساخته و شبکه بندی کنید.

مختصات نقاط به ترتیب زیر است : ( ابعاد برحسب mm )




**شکل(۱-۴) : نمای برش خوردهٔ مدل در جهت محور طولی**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0<br>12.5<br>0 | B | 0<br>30<br>0 | C | 40<br>30<br>0 | D | 70<br>24<br>0 |
| E | 110<br>24<br>0 | F | 110<br>12.5<br>0 | G | 70<br>12.5<br>0 | H | 40<br>12.5<br>0 |

**اهداف این مساله عبارتند از :**

۱- مدلسازی سه بعدی

۲- آشنایی با دستور Sweep

**راهنمایی ۱** : برای ساختن مدل سطح مقطع ، ساختن نیمهٔ بالایی آن کافی است.

**راهنمایی ۲** : پس از ساختن نیمهٔ بالایی باید سطح را حول دو نقطهٔ X به $\begin{matrix}0\\0\\0\end{matrix}$ و Y به $\begin{matrix}110\\0\\0\end{matrix}$ اندازهٔ ۳۶۰ درجه دوران دهید تا حجم ساخته شود.

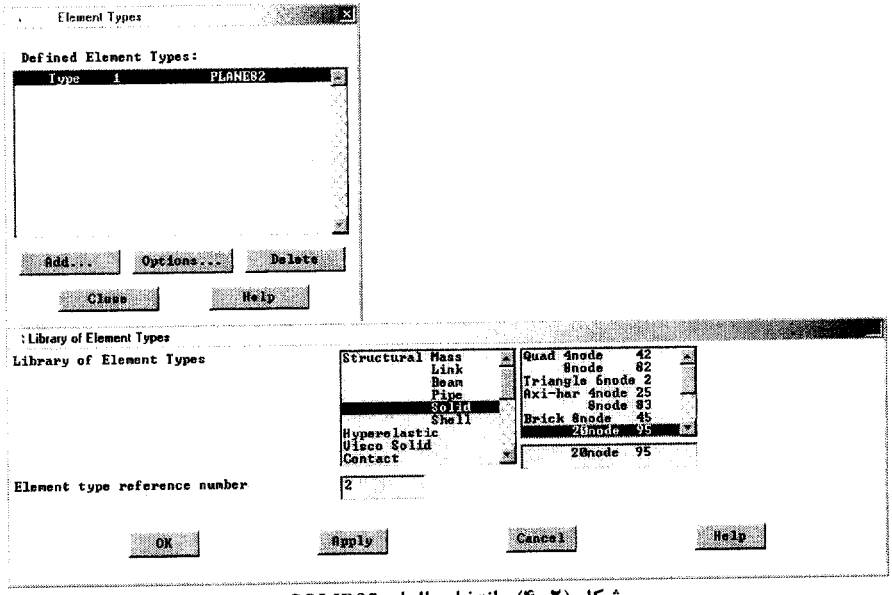
**مرحلهٔ اوّل - تعریف کردن المان سطح :**

از المان دو بعدی PLANE82 برای ساخت سطح مقطع استفاده کنید :

1)Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types دکمهٔ Add را فشار دهید و در جعبهٔ محاورهٔ کتابخانهٔ المانها از خانوادهٔ Structural نوع Solid را انتخاب کرده ودرپنجرهٔ مقابل Quad 8node 82 انتخاب کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۳) برای ساختن مدل سه بعدی نیاز به یک المان ۳ بعدی هم دارید پس در همان قسمت Structural - Solid مطابق شکل (۲-۴) المان Brick 20node 95 ( solid 95 ) را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید و سپس جعبهٔ محاورهٔ Element Types را با فشردن کلید Close ببندید.




**شکل (۲-۴) : انتخاب المان SOLID95**

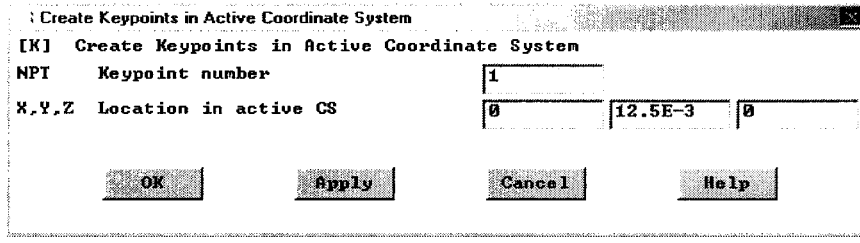
**مرحلهٔ دوم - ساخت مدل سطح مقطع :**

ساخت نیمهٔ بالایی سطح مقطع آسان است. ابتدا نقاط را بسازید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > Keypoints > In Active CS ...

۲) مطابق شکل (۳-۴) در پنجرهٔ تولید نقطه ، در مقابل کادر NPT Keypoint number عدد ۱ را وارد کنید و سپس برای مختصات آن اعداد زیر را وارد کنید.

X = 0 , Y = 12.5 E-3, Z = 0




**شکل (۳-۴) : جعبهٔ محاورهٔ تولید نقاط**

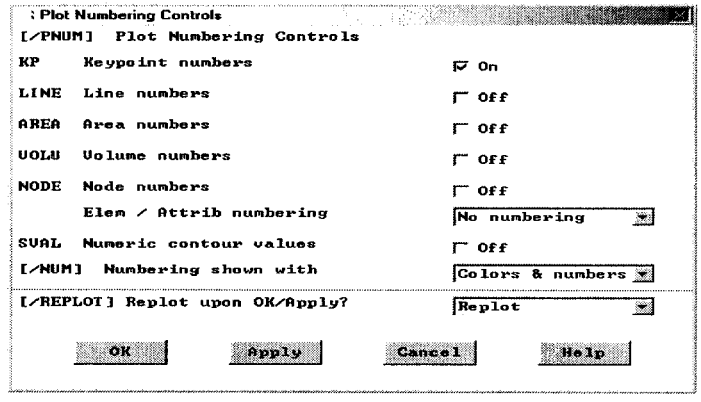
۳) کلید Apply را فشار دهید تا نقطهٔ A ( شماره ۱ ) ساخته شود.

۴) به همین ترتیب با عوض کردن شمارهٔ نقطه ( NPT Keypoint number ) بـه شـمارهٔ ۲ و وارد کردن مختصات نقطهٔ B ، نقطهٔ دوم را هم ساخته و سپس به همین صورت کلیهٔ نقاط , H G , F , E , D , C را بسازید.

برای نمایش شماره گذاری نقاط رسم شده ، عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > Plot Ctrls > Numbering ...

۲) مطابق شکل (۴-۴) درجعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls گزینـهٔ KP Keypoint numbers را فعال کنید.




**شکل (۴-۴) : فعال کردن شماره گذاری نقاط**

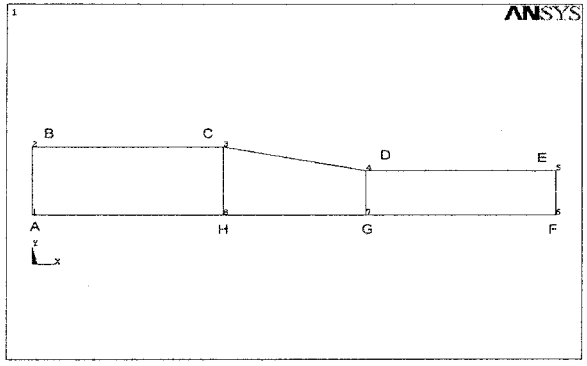
۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید خطوط مرزی مدل را به کمک نقاط ساخته شده بسازید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Lines - Lines > Straight Line +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب روی نقطهٔ شمارهٔ ۱ و ۲ یکبار با ماوس فشار دهید تا خـط AB ساخته شود.

۳) به همین ترتیب برای ساخت خط BC نقـاط ۲ و ۳ و بـرای خـط DE نقـاط ۴ و ۵ و بـرای ساخت خط EF نقاط ۵ و ۶ و برای خط GF نقاط ۶ و ۷ و برای خـط GH نقـاط ۷ و ۸ و بـرای خط AH نقاط ۱ و ۸ و برای خط CH نقاط ۳ و ۸ و برای خط DG نقاط ۴ و ۷ را انتخاب کنید تا کلیهٔ خطوط فوق ساخته شوند سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید. اکنـون بـاید خطوط مدل، مطابق شکل ( ۵-۴ ) ساخته شوند.

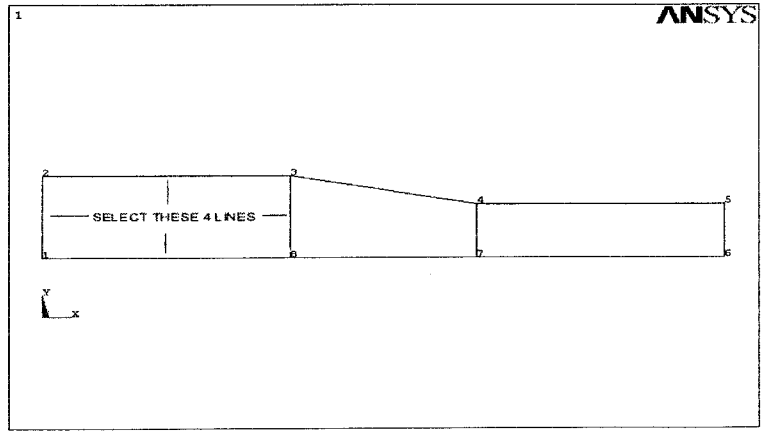



**شکل (۵-۴) : خطوط ساخته شده به کمک نقاط**

## مرحلهٔ سوم – تولید ۳ سطح به کمک خطوط :

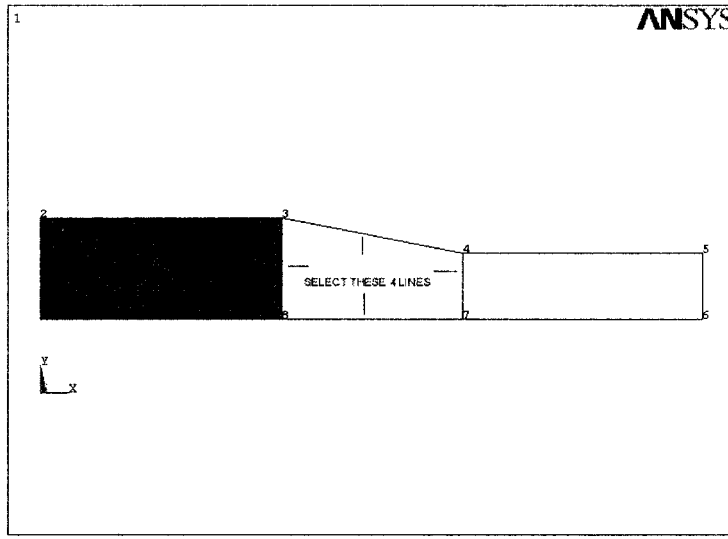
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Areas - Arbitrary > By Lines +

۲) مطابق شکل (۶-۴) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب خطوط AB , BC , CH , AH را انتخـاب کنید و کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا سطح اول ساخته شود.



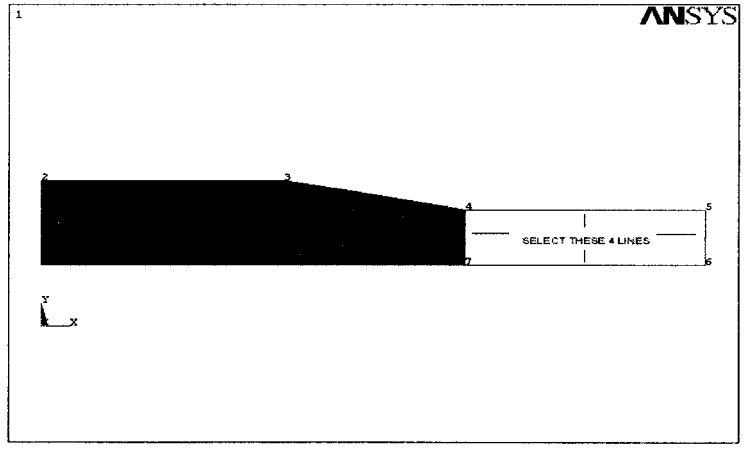

**شکل (۶-۴) : انتخاب ۴ خط سمت چپ مدل.**

۳) مطابق شکل (۷-۴) در پنجرهٔ گرافیکی خطوط CH , CD , DG , GH را انتخـاب کـرده و کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا سطح دوم ساخته شود.




**شکل (۷-۴): انتخاب ۴ خط وسطی مدل**

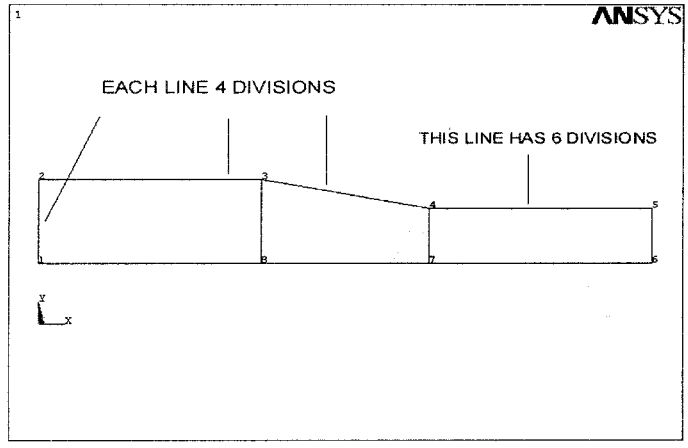
۴) مطابق شکل (۸-۴) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب خطوط DG , DE , EF , FG را انتخاب کرد. و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا سطح سوم ساخته شود .




**شکل (۸-۴) : انتخاب ۴ خط سمت راست مدل**

**مرحلهٔ چهارم - شبکه بندی سطوح :**

برای ریختن المانهای دو بعدی بر روی ۳ سطح ( شبکه بندی ) طبق تقسیمات شکل (۹-۴) عمل کنید.




**شکل (۹-۴) : تعیین تقسیمات خطوط**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت Lines دکمهٔ Set را یکبار فشار دهید. سپس در پنجرهٔ گرافیکی سه خط AB CD , BC را انتخاب کنید و کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر No. of element divisions- NDIV تعداد ۴ تقسیم را وارد کرده و کلید Apply را فشار دهید.

۴) اینبار در پنجرهٔ گرافیکی خط DE را به کمک ماوس انتخاب کنید (به کمک ماوس بر روی آن فشار دهید) و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۵) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر NDIV اینبار به جای عدد ۴ عدد ۶ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

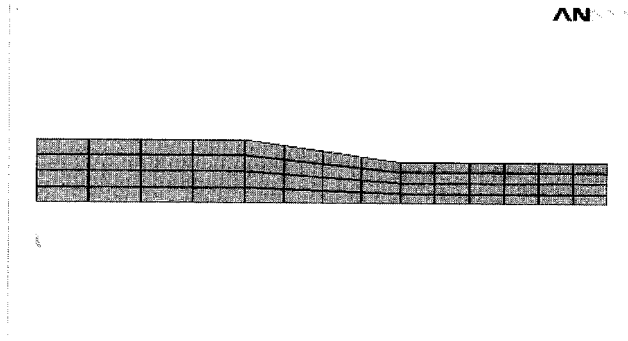
۶) از قسمت Mesh در جعبه ابزار MeshTool شکل المان ( Shape ) را به Quad و نوع Mesher را به Mapped تبدیل کنید ( روش شبکه بندی دستی ).

۷) کلید Mesh را فشار دهید. سپس در پنجرهٔ انتخاب دکمهٔ Pick All را فشار دهید تا سطوح مطابق شکل (۱۰-۴) شبکه بندی شوند.

**مرحلهٔ پنجم - دوران سطح حول دو نقطهٔ** $\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$ **X و** $\begin{vmatrix} 110 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$ **Y به اندازه ۳۶۰ درجه**

**جهت تولید مدل نهایی :**

ابتدا نقاط فوق را با شماره ۲۰ و ۲۱ بسازید.



**شکل (۱۰-۴) : شبکه بندی دستی سطوح**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create >Keypoints > In Active CS....

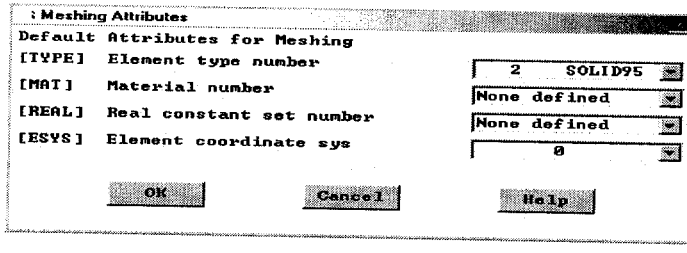
۲) درپنجرهٔ تولید نقطه ، در مقابل کادر Keypoint number NPT عدد ۲۰ را وارد کرده و برای مختصات آن X= 0 , Y= 0 , Z= 0 را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۳) اینبار در پنجرهٔ تولید نقطه ، در مقابل کادر Keypoint number NPT عدد ۲۱ را وارد کرده و برای مختصات نقطه به ترتیب مقادیر X = 110 , Y = 0 , Z = 0 را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

حال باید سطح را به حجم تبدیل کرد ( المان دو بعدی به المانهای ۳ بعدی ) لذا قبل از شروع این کار باید صفات[1] شبکه بندی را برای شبکه بندی ۳ بعدی ، به المان ۳ بعدی تبدیل کرد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes - Define > Default Attribs ...

۲) مطابق شکل (۱۱-۴) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Element type number [TYPE] از منوی گشودنی آن عدد ۲ یعنی المان SOLID95 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.




**شکل (۱۱-۴) : تنظیمات شبکه بندی سه بعدی**

*1- Attributes*

حال باید سطح را حول دو نقطهٔ ۲۰ و ۲۱ به روش زیر دوران دهید.

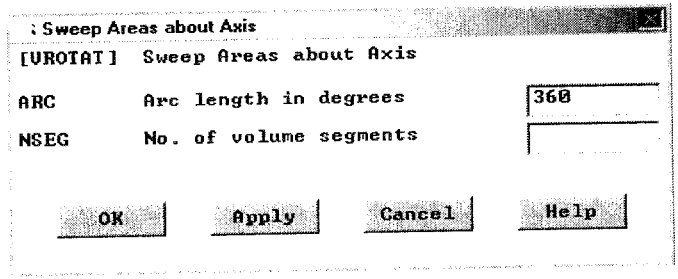
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Operate > Extrude / Sweep > Size...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۸ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید ، با این کار تعداد المانهای تولید شده روی هر حجم در جهت چرخش معین خواهد شد .

3)Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling-Operate> Extrude/Sweep> -Areas - About Axis+

۴) در پنجرهٔ گرافیکی هر ۳ سطح را به ترتیب انتخاب کنید و سپس کلید Apply را فشار دهید حال به ترتیب ابتدا نقطهٔ ۲۰ سپس نقطهٔ ۲۱ را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۵) مطابق شکل(۱۲-۴)درجعبهٔ محاورهٔ Sweep Areas about Axis درمقابل کادر Arc length in degrees عدد ۳۶۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید. اکنون مدل سه بعدی ساخته شده است.




**شکل (۱۲-۴) : تعیین زاویهٔ چرخش سطح**

۶) به کمک جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate نمای دید را با فشار دادن کلید Iso به دید ایزومتریک تبدیل کنید.

7) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

## مرحلهٔ ششم -پاک کردن المانهای ۲ بعدی :

این مساله ، یک مسالهٔ ۳ بعدی است و در آن فقط نیاز به المانهای ۳ بعدی است ، بنابراین وجود المانهای دو بعدی PLANE82 زائد است پس باید آنها را پاک کرد :

1)Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing - Clear > Areas +

۲) دکمهٔ Pick All را فشار دهید تا المانهای ۲ بعدی پاک شوند. دقت کنید که فقط المانهای ۲ بعدی سطوح پاک خواهند شد و از آنجا که همهٔ سطوح به جز سطح اولیه دارای المانهای ۳ بعدی هستند ، بنابراین فقط همان المانهای ۲ بعدی سطح اولیه پاک خواهد شد. سپس پیغام های پنجرهٔ Warning را ببندید (Close).

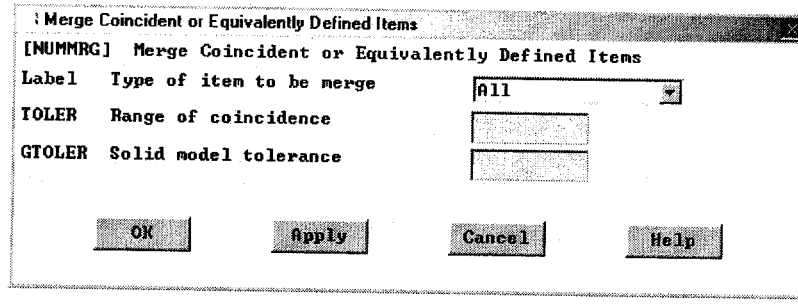
3) Ansys Utility Menu > Plot > Replot

**مرحلهٔ هفتم -ممزوج کردن :**

در این مدل ۳ سطح مقطع حول محور دوران داده شد. لذا حجم از لحاظ مرزی یک تکه نیست برای یکی کردن گره ها و المانها در قسمت های مشترک حجم باید از روش زیر استفاده کرد.

1)Ansys Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items ...

۲) مطابق شکل (۱۳-۴) در پنجرهٔ محاورهٔ باز شده درمقابل کادر Label Type of item to be merge به طور پیش فرض به جای Nodes از پنجرهٔ گشودنی آن عبارت آخر یعنی گزینهٔ All را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

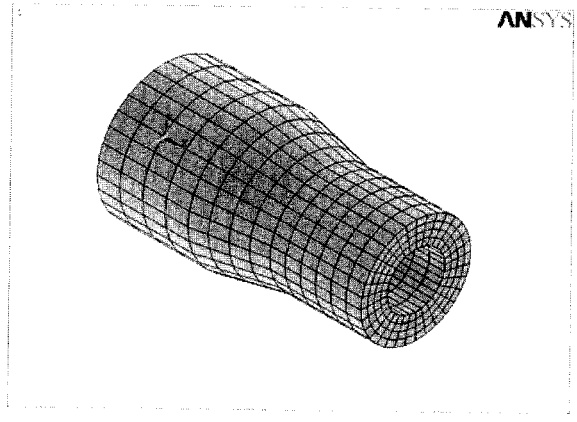



**شکل (۱۳-۴) : ممزوج کردن کلیهٔ اجزاء**

حال مدل خود را ذخیره کنید زیرا به این مدل در تمرین ششم نیاز خواهید داشت.

1) Ansys Utility Menu > File > Save as ...

۲) در پنجرهٔ ذخیرهٔ فایل در مقابل کادر filename عبارت Select.db را وراد کنید و کلید OK را فشار دهید. مدل نهایی شبکه بندی شده به صورت شکل (۱۴-۴) است.




**شکل (۱۴-۴) : مدل شبکه بندی شدهٔ نهایی**

## تمرین ۵ : مدل را مطابق شکل (۱-۵) بسازید و شبکه بندی کنید.

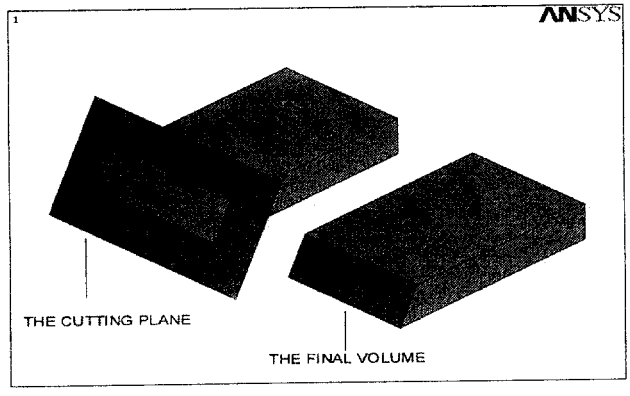
هدف از این تمرین آشنایی با مبحث WorkPlane می باشد. مدلسازی این مثال بسیار ابتدایی و ساده است ، ولی منظور از این کار همان آشنایی با مبحث WorkPlane است.

**مقدمه :**

گاهی اوقات در مراحل مختلف مدلسازی نیاز دارید که مثلاً صفحه ای به موازات صفحهٔ X-Y اما مثلاً در ارتفاع ۸ متری صفحهٔ X-Y بسازید. حتی گاهی اوقات نیاز دارید که صفحه ای را به صورت زاویه دار با یکی از محورهای اصلی ایجاد کنید. بنابراین به نظر می رسد که علاوه بر مختصات ثابت و اصلی نرم افزار ( Global ) به یک مختصات دیگر نیاز دارید که اولاً بتواند نسبت به مختصات اصلی در هر سه جهت حرکت کند و ثانیاً بتواند حول محورهای اصلی دوران کند این مختصات در نرم افزار، WorkPlane نام دارد.

در مثال زیر با یک مدلسازی ساده که در آن WorkPlane به کار می رود آشنا خواهید شد.

**مثال :** یک مکعب مستطیل را از انتها توسط یک صفحهٔ مورب تحت زاویهٔ ۲۵ درجه برش دهید و سپس قسمت برش خوردهٔ کوچک را پاک کنید ( مطابق شکل ۱-۵ ).




**شکل (۱-۵) : صفحهٔ برش و حجم نهایی.**

ابعاد مکعب مستطیل = ۰/۳ × ۰/۱ × ۰/۵ ($m^3$)

**حل :**

**مرحلهٔ اول - تولید مکعب مستطیل :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling -Create > -Volumes -Block > By Dimensions...

۲) در پنجرهٔ تولید مکعب مستطیل مقادیر زیر را به ترتیب وارد کنید.

X1 , X2 : 0 , 0.3

Y1 ,Y2 : 0 , 0.1
Z1, Z2 : 0 , 0.5

۳) کلید OK را فشار دهید تا مکعب مستطیل ساخته شود.

**مرحلهٔ دوم - تبدیل دید دو بعدی به دید ایزومتریک :**

1) Ansys Utility Menu > Plot Ctrls > Pan , Zoom , Rotate ...

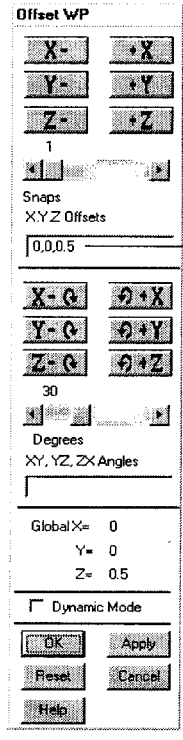
۲) در جعبه ابزار Pan-Zoom-Rotate کلید Iso را فشار دهید.

۳) جعبه ابزار Pan-Zoom-Rotate را با فشردن کلید Close ببندید.

**مرحلهٔ سوم - ساخت یک صفحهٔ مستطیلی در انتهای مکعب مستطیل با زاویهٔ ۲۵ درجه :**

تولید سطح بدون استفاده از ابزار WorkPlane مشکل است زیرا سطح در صفحهٔ X-Y قرار ندارد و دارای ارتفاعی نسبت به صفحهٔX-Y و همچنین دارای زاویه با محور X می باشد.

برای این منظور ابتدا Workplane را به نقطهٔ $\begin{vmatrix}0\\0\\0.5\end{vmatrix}$ منتقل کنید. سپس آنرا به اندازهٔ ۲۵ درجه در جهت منفی محور X دوران دهید.




شکل (۲-۵) : پنجرهٔ تنظیمات WorkPlane

مراحل کار به صورت زیر است :

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Display WorkPlane

با این کار محورهای مختصات کاری WZ , WY , WX روی محورهای اصلی Z,Y,X نمایان خواهند شد.

2) Ansys Utility Menu > Work Plane > Offset WP by Increments ...

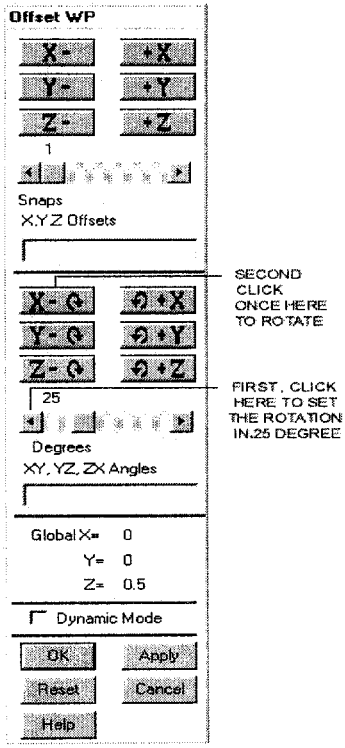
۳) مطابق شکل (۲-۵ ) در جعبه ابزار WorkPlane در زیر کادر XYZ Offset مختصات 0,0,0.5 را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید. با این کار WorkPlane به نقطه $\begin{vmatrix}0\\0\\0.5\end{vmatrix}$ منتقل می شود.

۴) مطابق شکل (۳-۵) ابتدا مقدار زاویهٔ چرخش را به کمک لغزندهٔ آن به ۲۵ درجه تبدیل کنید (پیش فرض

آن ۳۰ درجه است ) سپس دکمهٔ چرخش X-Q را یکبار فشار دهید .

۵) با فشار دادن کلید Close جعبه ابزار Offset WP را ببندید .

اکنون محور مختصات WorkPlane حول محور X به اندازهٔ ۲۵ درجه در جهت منفی دوران می کند ( چرخش حول محورها از قانون دست راست تبعیت می کند ).




**شکل (۳-۵) : تنظیم کردن مقدار چرخش**

**مرحلهٔ چهارم - فعال کردن WorkPlane به جای مختصات فعلی (Global) و ساخت سطح برش :**

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > WorkingPlane

با این کار محور مختصات WorkPlane به عنوان محور مختصات اصلی فعال می شود.

2) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas - Rectangle > By Dimensions …

۳) در پنجرهٔ تولید مستطیل مقادیر زیر را وارد کنید.

X1,X2 : -0.1 , 0.4

Y1,Y2 : -0.1 , 0.3

۴) کلید OK را فشار دهید تا سطح ساخته شود.

5) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

**نکته :** ممکن است بپرسید که چرا مستطیل فوق کمی بزرگتر از ابعاد مکعب مستطیل ساخته شده است. علت این امر به دو دلیل است.

۱- ایجاد یک برش کامل به طوری که دو حجم کاملاً از هم جدا شوند.

۲- مشخص بودن سطح مستطیلی در هنگام انتخاب برای انجام عملیات تقسیم حجم .

**مرحلهٔ پنجم - تقسیم حجم به ۲ حجم توسط صفحهٔ برش :**

1) Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling-Operate> -Booleans-Divide> Volume by Area +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا مکعب مستطیل را انتخاب کنید. و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ گرافیکی سطح مستطیلی ساخته شده را انتخاب کنید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

اکنون حجم توسط صفحهٔ برش به ۲ تکه تقسیم می شود و سطح مستطیلی نیز پاک می شود.
4) Ansys Utility Menu > Plot > Volumes

**نکته** : اگر در انتخاب سطح مستطیلی اشتباه کردید می توانید با فشار دادن دکمهٔ سمت راست ماوس و قرار گرفتن در حالت Unselect رفع اشتباه کنید یا اینکه دکمهٔ Reset را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

**مرحلهٔ ششم - پاک کردن حجم اضافی کوچک :**

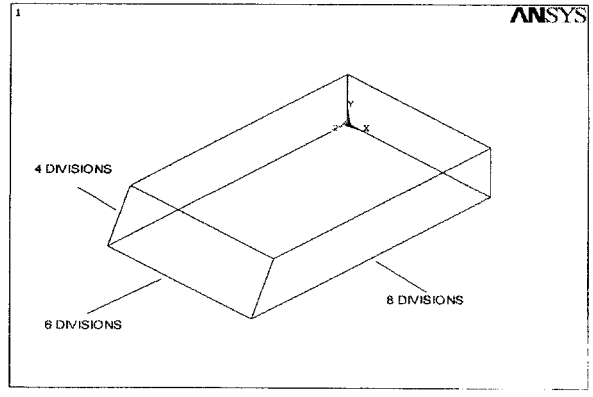
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Delete > Volume and Below +
۲) در پنجرهٔ گرافیکی حجم کوچک اضافی را انتخاب کنید.
۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.
4) Ansys Utility Menu > Plot > Volumes

**مرحلهٔ هفتم – شبکه بندی مدل :**

مدل یک حجم است لذا برای شبکه بندی نیاز به المانهای ۳ بعدی دارید برای این منظور المان Brick 8node 45 پیشنهاد می شود .

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete....
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ مقابل آن المان Brick 8node 45 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.
۴) پنجرهٔ Element Types را با فشار دادن کلید Close ببندید.

اکنون باید تعداد تقسیمات خطوط جهت شبکه بندی مدل را مطابق شکل (۴-۵ ) تعیین کنید.




**شکل (۴-۵) : تعیین تعداد تقسیمات خطوط**

برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool.....

۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت Lines دکمهٔ Set را فشار دهید.

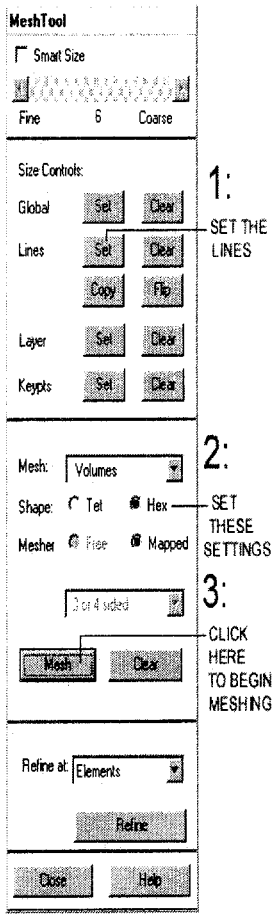
۳) مطابق شکل (۴-۵) تقسیمات هرخط را تعیین کنید.

۴) پس از تعیین تقسیمات خطوط در جعبه ابزار MeshTool در قسمت Mesh مطابق شکل (۵-۵ ) شکل المان (Shape) را از نوع Hex (المان مکعبی) انتخاب کنید.

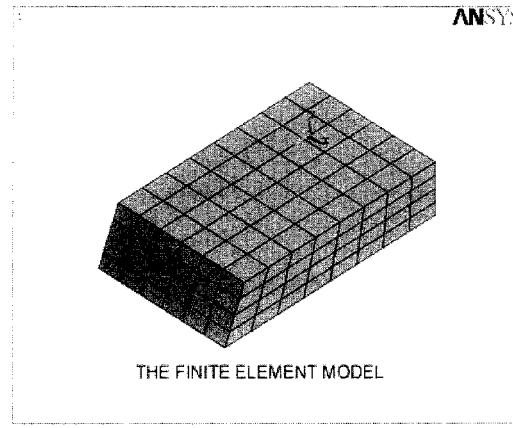
۵) کلید Mesh را فشار دهید.

۶) کلید Pick All را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۷) پس از مدتی مدل مطابق شکل (۶-۵) شبکه بندی خواهد شد.




**شکل (۵-۵) : تنظیمات شبکه بندی**




**شکل (۶-۵) : مدل شبکه بندی شدهٔ نهایی**

**نکته :** این مدل را به روش ساده تری نیز می توان ساخت بطوریکه در ابتدا یک سطح ذوزنقه ای بسازید و سپس به کمک دستور Extrude آنرا امتداد دهید تا حجم ساخته شود. با این روش در تمرینهای آینده آشنا خواهید شد. همچنین این مدل یک مدل کاربردی نبوده و فقط جهت آشنایی با مبحث WorkPlane مطرح شده است .

## تمرین ۶ : در این تمرین با جعبه ابـزار Select Entities و روشـهای انتخـاب آشنا می شوید.

**مقدمه:**

در مراحل مختلف مدل سازی ، شبکه بنـدی ، بـارگذاری ، تحلیـل و حتـی مشـاهده نتـایج در بسیاری از موارد نیاز به حذف کردن موقت ( unselect ) بعضی از اجزاء مدل و یا نیاز به انتخاب بعضی از اجزاء مدل می باشید. لذا وجود روشی جهت انتخاب کردن اجزاء ضروری به نظـر مـی رسد. جعبه ابزار Select Entities روشهای انتخاب اجزاء را آسانتر می کنـد و همچنیـن سـرعت کار در مدلهای بزرگ و پیچیده را بالا می برد.

فرض کنید می خواهید دریک مدل شبکه بندی شده ، تمامی گره های مربوط به یک سـطح از مدل را انتخاب کنید (یعنی تمام گره هایی را که در آن سطح قرار گرفته انـد ) و بـر روی آنـها فشار یا هر بارگذاری دیگر قرار دهید. یک روش آنست که تمامی این گره ها را با روش انتخـاب تک تک هر کدام از آنها ( روش چشمی ) انتخاب کنید.

واضح است که در انتخاب این گره ها دچار خطا خواهید شد. به خصوص اگر تعداد ایـن گره هـا خیلی زیاد باشد ، زمان زیادی را از دست خواهید داد.

اما به کمک جعبه ابزار Select Enities ابتدا سطح را انتخاب می کنید و سپس گره هایی را کـه در این سطح قرار دارند به راحتی انتخاب می کنید.

برای آشنایی به مثال زیر توجه کنید.

**مثال :** تمرین چهارم از قسمت مدلسازی را که با نام Select. dB ذخیره کردید فراخوانی کنیـد ( اگر این مدل را ندارید مطابق تمرین چهارم آنرا بسازید ).

### مرحلهٔ اول - فراخوانی مدل :

برای این کار عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > File > Resume From ...

۲) در پنجرهٔ باز شده فایل Selete.Db را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

3) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

اگر مدل دید سه بعدی ندارد عمل زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > Plot Ctrls > Pan , Zoom , Rotate...

۲)در جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate دکمهٔ Iso را فشار دهید .

۳) جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate را با فشار دادن کلید Close ببندید.

### مرحلهٔ دوم - انتخاب کلیهٔ گره های داخلی مدل :

برای انتخاب این گره ها ابتدا سطوح داخلی مدل را انتخاب کنید.

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities…

۲) جعبه ابزار Select Entities باز می شود مطابق شکل(۱-۶ ) در این جعبـه در قسـمت اول از منوی گشودنی آن عبارت Areas را انتخاب کنید.

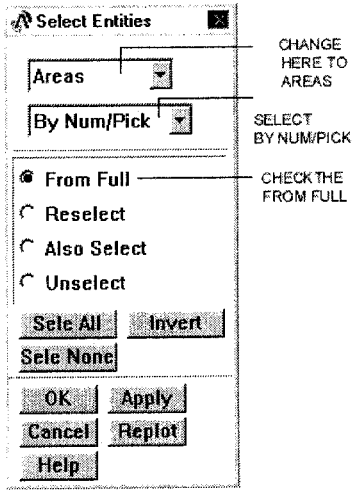
۳) در قسمت دوم پنجره، عبارت By Num/Pick را انتخاب کنید.

۴) دقت کنید که در جعبه ابزار Select Entities گزینهٔ From Full فعال باشد.

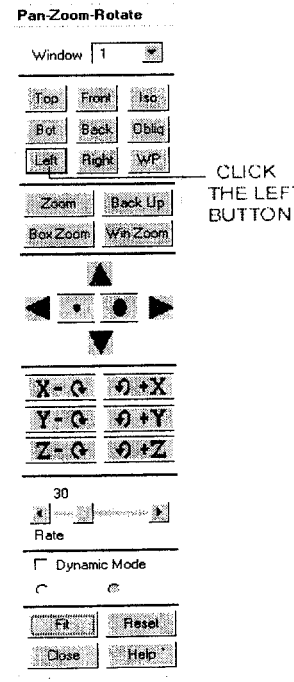
۵) کلید Apply را فشار دهید.

6) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate

۷) در جعبه ابزار Pan-Zoom-Rotate روی دکمهٔ Left فشار دهید تا نمای دید از قسمت پهن انتهایی ( قسمت عقبی ) مدل شود. ( مطابق شکل (۲-۶) )

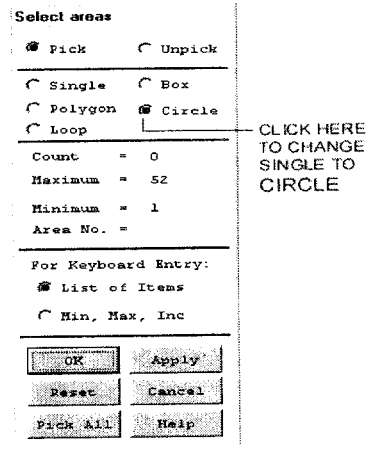



**شکل (۱-۶) : تنظیمات جعبه ابزار Select Entities**




**شکل (۲-۶ ) : تنظیم دید دو بعدی**

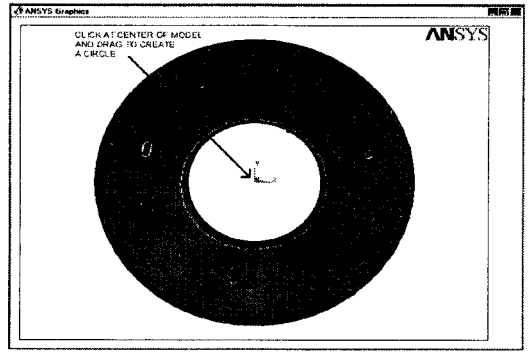
۸) مطابق شکل (۳-۶) در پنجـرهٔ انتخـاب بـه جای معیـار انتخـاب Single گزینـهٔ Circle را انتخاب کنید.




**شکل (۳-۶ ): تغییر روش انتخـــاب گرافیکـی**

۹) مطابق شکل (۴-۶ ) در پنجرهٔ گرافیکی ، نشـانگـر مـاوس را بـه مرکـز دایـرهٔ مـدل انتقـال

داده و یکبار دکمهٔ سمت چپ آنرا فشار داده و بدون رها کردن آن ، ماوس را طوری حرکت دهیدکه دایره ای ساخته شود که فقط دایرهٔ داخلی مدل را در بر بگیرد.




**شکل (۴-۶) : انتخاب کردن سطوح داخلی به کمک ایجاد یک دایرهٔ انتخاب**

۱۰) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

11) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

۱۲) در جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate نمای دید را با فشردن کلید Iso به دید ایزومتریک تبدیل کنید.

**نکته :** ممکن است علاوه بر سطوح داخلی مدل چند سطح اضافه نیز انتخاب شده باشد برای حذف کردن سطوح اضافی انتخاب شده ، عمل زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities....

۲) در جعبه ابزارSelect Entities در قسمت اول Areas و در قسمت دوم By Num/Pick را انتخاب کرد. و اینبار به جای From Full گزینهٔ Unselect را انتخاب کنید.

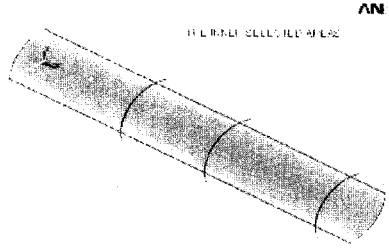
۳) کلید Apply را فشار دهید.

۴) در پنجرهٔ گرافیکی سطوح اضافی را با فشار دادن ماوس بر روی هر کدام ، انتخاب کنید.

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

6) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

۷) اکنون باید سطوح مطابق شکل (۵-۶) انتخاب شده باشد.



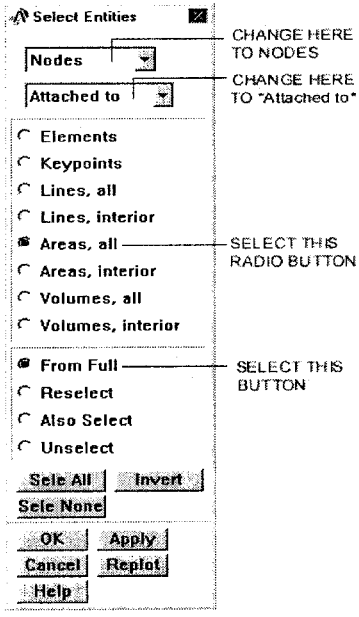
**شکل (۵-۶) : سطوح انتخاب شده**

۸) مطابق شکل (۶-۶) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم Attached to را انتخاب کنید و در زیر آن گزینهٔ Areas, all را انتخاب کنید و سپس دوباره گزینهٔ From Full را فعال کنید.

۹) کلید OK را فشار دهید.

10) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

اکنون باید کلیهٔ گره های داخلی مدل انتخاب شده باشند.




**شکل (۶-۶): تنظیمات جعبه ابزار Select Entities**

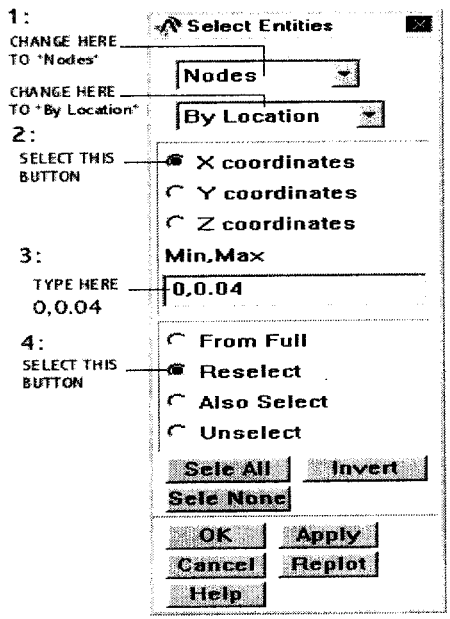
حال فرض کنید که می خواهید از کلیهٔ گره های داخلی انتخاب شدهٔ فوق، آنهایی را انتخاب کنیدکه از لحاظ موقعیت مکانی درجهت محور X از موقعیت ۰ تا ۰/۰۴ قرار دارند ( انتخاب مجدد Reselect ).

برای این کار عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities...

۲) در جعبه ابزار Select Entities مطابق شکل (۶-۷) درکادر اول از منوی گشودنی آن عبارت Nodes و در کادر دوم از منوی گشودنی آن عبارت By Location را فعال کنید. سپس در زیر آن دکمهٔ رادیویی X coordinates را انتخاب کنید. سپس در زیر کادر Min , Max عبارت 0,0.04 را تایپ کرده و اینبار گزینهٔ Reselect را فعال کنید و کلید OK را فشار دهید.

3) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes




**شکل(۶-۷) : تنظیمات جدید جعبه ابزار Select Entities**

اکنون باید در پنجرهٔ گرافیکی گره هایی مشاهده شوند که اولاً از گره های داخلی مدل بوده و دوماً از لحاظ مکانی در جهت X از موقعیت صفر تا ۰/۰۴ قرار داشته باشند .

**نکته :**

دکمهٔ Also Select بر شیءهای انتخاب شدهٔ قبلی ، شیءهای را که انتخاب خواهند شد ، اضافه می کند .

دکمهٔ Invert تمام شیءهای انتخاب شدهٔ قبلی را غیر فعال کرده و شیءهای انتخاب نشدهٔ قبلی را انتخاب می کند .

با توجه به گسترده بودن استفاده از منوی Select از این به بعد سعی خواهد شد در مباحث بعدی از این منو برای انتخاب استفاده شود .

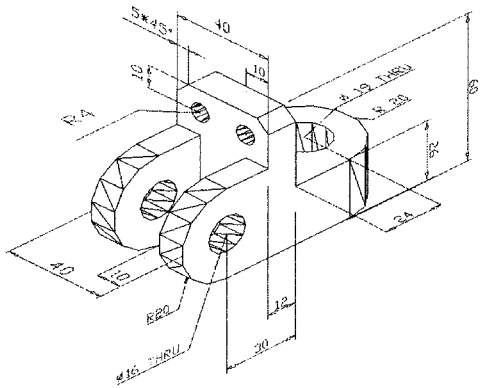
## تمرین ۷ : مدل شکل (۱-۷) را بسازید.

اهداف این تمرین عبارتند از :

۱- روش Import کردن فایلهای ساخته شده به کمک نرم افزارهای دیگر به داخل ANSYS.

۲- ساختن مدل بدون استفاده از Import کردن ، با قابلیت مدلسازی خود نرم افزار ANSYS

۳- آشنایی با دستور Extrude.




**شکل (۱-۷) : نقشهٔ مدل به همراه ابعاد**

**روش اول : ساخت مدل در نرم افزارهای دیگر نقشه کشی نظیر Mechanical desktop**

ساخت مدل فوق درنرم افزارهای CAD آسان است. اما دقت کنید پس از ساخت مدل فوق باید آنرا به کمک نرم افزار Mechanical Desktop به فایل با فرمت igs.* تبدیل کنید ( Exporting to .igs file ) عملیات فوق را انجام دهید و فایل igs.* نقشهٔ فوق را بسازید. دقت کنید نقشهٔ فوق باید حتماً یک مدل Solid باشد.

همچنین فایل igs خود را در Working Directory نرم افزار Ansys کپی کنید. اکنون برای وارد کردن مدل فوق در نرم افزار Ansys عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > File > Import. > .IGES...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Import IGES File کلید OK را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ باز شده فایل خود را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۴) پس از مدتی مدل وارد نرم افزار می شود برای دید ایزومتریک از جعبه ابزار , Zoom , Pan Rotate استفاده کنید.

**روش دوم : ساخت مدل هندسی فوق با استفاده از قابلیت مدلسازی نرم افزار Ansys :**

**مرحلهٔ اول : ساخت یک نیمهٔ بلوک میانی مدل :**

ابتدا نصف سطح مقطع بلوک را بسازید به این صورت که یک مستطیل به ابعاد ۶۰ × ۲۰ بسازید سپس قسمت بالایی آنرا به کمک یک خط برش ، پخ بزنید و سوراخ آنرا ایجاد کنید سپس مدل را در جهت محورZ ، امتداد[1] دهید تا نصف بلوک میانی ساخته شود.

**۱) ساخت مستطیل :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Rectangle > By Dimensions …

۲) در پنجرهٔ تولید مستطیل برای X1,X2 به ترتیب مقادیر (۲۰ و ۰ ) را وارد کرده و برای Y1 Y2 , به ترتیب مقادیر (۶۰ و ۰)را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

**۲) تولید ۲ نقطه :**

اکنون باید دو نقطه ایجاد کرد تا به کمک آن خطی رسم نمود و سطح را جهت ایجاد پخ در قسمت بالا آماده کرد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Keypoints > In Active CS…

۲) در پنجرهٔ محاورهٔ تولید نقطه، برای شمارهٔ نقطه ( Keypoint number ) عدد ۵ را وارد کنید سپس برای مختصات X , Y , Z آن به ترتیب اعداد (۰ و ۶۰ و ۱۵ )را وارد کرده و کلید Apply را فشار دهید.

۳) این بار در پنجرهٔ محاورهٔ تولید نقطه برای شمارهٔ نقطه ( Keypoint number ) عدد ۶ را وارد کرده سپس برای مختصات X , Y , Z آن به ترتیب اعداد ( ۰ و ۵۵ و ۲۰ ) را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

**۳) ساخت خط برش :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Lines - Lines > Straight Line +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی دو نقطهٔ شمارهٔ ۵ و ۶ را به ترتیب انتخاب کنید.

۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

**۴) تقسیم سطح به ۲ سطح توسط خط برش :**

اکنون باید سطح را توسط خط ساخته شده برش دهیم ( به دو سطح تقسیم کرده و قسمت اضافی سطح را پاک کنیم )

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling –Operate > -Booleans – Divide > Area By Line +

---

*1- Extrude*

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا سطح را انتخاب کنید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید.

۳) این بار در پنجرهٔ گرافیکی خط ساخته شدهٔ مورب را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

**۵) پاک کردن سطح اضافی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Delete > Area and Below+

۲)) در پنجرهٔ گرافیکی سطح کوچکتر را که در قسمت بالایی مدل قرار دارد انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

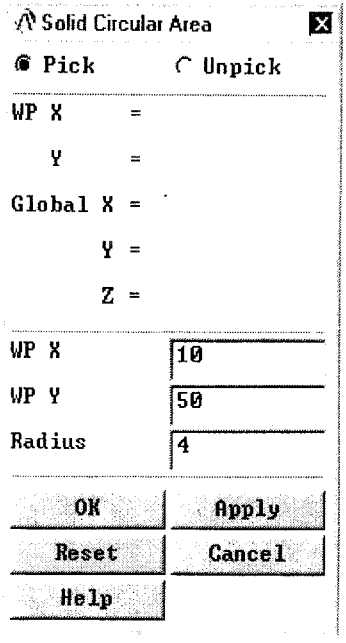
3)Ansys Utility Menu > Plot > Areas

**۶) ساخت سوراخ دایره ای :**

اکنون باید سوراخ دایره ای مدل را ایجاد کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Areas - Circle > Solid Circle +

۲) در پنجرهٔ تولید دایره مطابق شکل (۲-۷) مقادیر زیر را وارد کنید.




شکل (۲-۷) : پنجرهٔ ساخت دایره

WP X = 10
WP Y = 50
Radius = 4

۳) کلید OK را فشار دهید.

**۷) کم کردن سطح دایره ای جهت تولید سوراخ :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate >-Booleans–Subtract > Areas +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا سطح مستطیلی را انتخاب کنید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۳) این بار در پنجرهٔ گرافیکی سطح دایره ای را انتخاب کنید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا دو سطح از هم کم شوند.

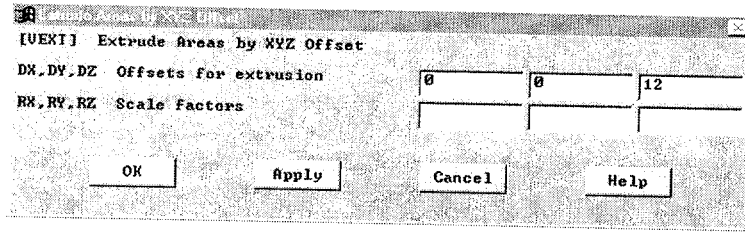
**۸) امتداد دادن سطح در جهت محور Z جهت ایجاد حجم :**

اکنون باید سطح ساخته شده را به اندازهٔ ۱۲ واحد در جهت محور Z امتداد (Extrude) دهید تا حجم ساخته شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Operate > Extrude / Sweep > - Areas - By XYZ Offset

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید ( یا اینکه در پنجرهٔ گرافیکی سطح را انتخاب کنید و سپس کلید OK را فشار دهید ).

۳) مطابق شکل (۳-۷) درکادرمربوط به DX,DY,DZ Offsets for extrusion به ترتیب مقادیر(۱۲ و ۰ و ۰) را وارد کنید.




**شکل (۳-۷) : پنجرهٔ تنظیم مقدار کشیده شدن**

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) نمای دید را با جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate به دید ایزومتریک ( ISO ) تبدیل کنید.

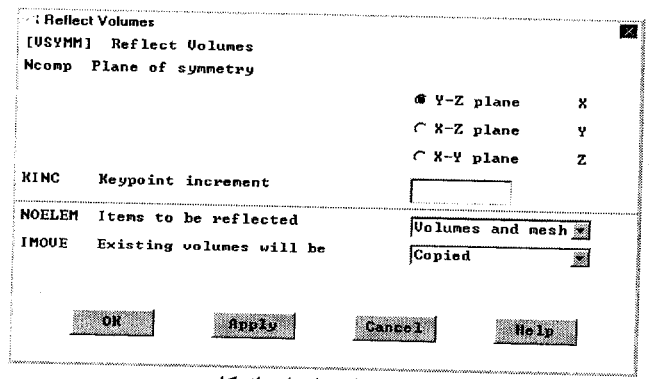
**۹) انعکاس آئینه ای حجم جهت تولید کامل قسمت میانی مدل :**

اکنون باید توسط یک انعکاس آئینه ای نسبت به صفحهٔ Y – Z حجم را کامل کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > Volumes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی حجم ساخته شده را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) مطابق شکل (۴-۷) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Volumes صفحهٔ تقارن را صفحهٔ Y – Z انتخاب کنید.




**شکل (۴-۷): پنجرهٔ تنظیمات انعکاس**

۴) کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ دوم - ساخت قسمت عقبی مدل :**

برای ساخت قسمت عقبی مدل دو راه وجود دارد.

**روش اول :** ساختن یک مکعب مستطیل و سپس یک استوانه و یکپارچه کردن آنها با هم و سپس کم کردن یک استوانه از آن است.

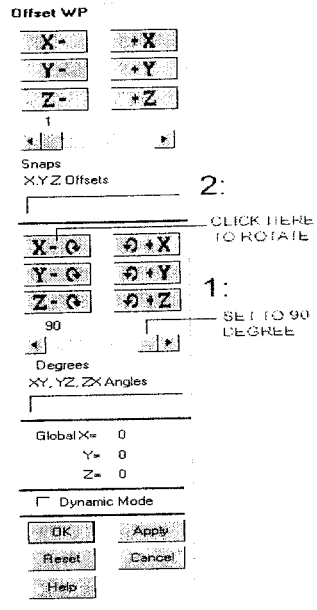
**روش دوم :** ساختن سطح مقطع مدل است ( یعنی یک مستطیل و یک دایره و ایجاد سوراخ در آن ) و سپس امتداد دادن آن در جهت محور سوم جهت تولید حجم. برای آشنایی با دستور Extrude از روش دوم استفاده خواهد شد.

**۱) تنظیم WorkPlane :**

سطح مقطع مدل باید به موازات صفحهٔ X – Z ازمختصات اصلی ( Origin ) ساخته شود بنابراین باید برای ساخت این سطح از WorkPlane استفاده کرد. و آنرا طوری تنظیم کرد که صفحهٔ WX – WY آن به موازات صفحهٔ X – Z از مختصات اصلی قرار گیرد. برای اینکار عملیات زیر را انجام دهید.

1)Ansys Utility Menu > WorkPlane > Display WorkPlane
2)Ansys Utility Menu > WorkPlane > Offset WP By Increments...

۳) درجعبه ابزار WorkPlane مطابق شکل ( ۵ - ۷ ) ابتدا میزان زاویهٔ چرخش را به ۹۰ درجه تبدیل کنید (به کمک لغزنده ) سپس یکبار دکمهٔ چرخش X-C را فشار دهید تا محورهای WorkPlane حول محورX به اندازهٔ ۹۰ درجه در جهت منفی دوران کنند . اکنون صفحهٔ WX - WY به موازات صفحهٔ X-Z قرار گرفته است.




**شکل (۵-۷) : جعبه ابزار Offset WP**

4)Ansys Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > Working Plane

**۲) ساخت مستطیل :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Rectangle > By Dimensions ...

۲) در پنجرهٔ تولید مستطیل به ترتیب برای مختصات X1 , X2 اعداد (۲۰و۲۰- ) را وارد کرده و برای مختصات Y1 , Y2 به ترتیب اعداد (۲۴ و ۰ )را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

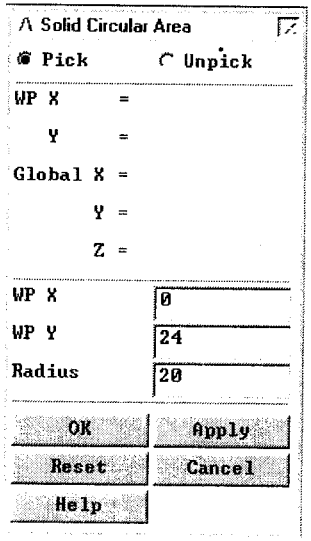
**۳) ساخت قسمت دایره ای :**

برای تولید دایره عملیات زیر را انجام دهید.

1)Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > - Areas - Circle > Solid Circle +

۲) در پنجرهٔ تولید دایره مطابق شکل (۶-۷) مقادیر زیر را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

WP X = 0
WP Y = 24
Radius = 20




شکل (۶-۷) :پنجرهٔ تولید دایره

**۴) یکپارچه کردن دو سطح ایجاد شده :**

برای یکپارچه کردن دو سطح ایجاد شده عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu> Preprocessor> - Modeling -Operate > - Booleans - Add > Areas +

۲) جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate را فعال کرده و سپس به کمک دوران حول محور Y در جهت منفی نمای دید را طوری تنظیم کنید که دو سطح ساخته شده کاملاً در معرض دید شما قرار گیرد .

۳) در پنجرهٔ گرافیکی دو سطح فوق را انتخاب کرده و سپس کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

**۵) تولید سوراخ دایره ای :**

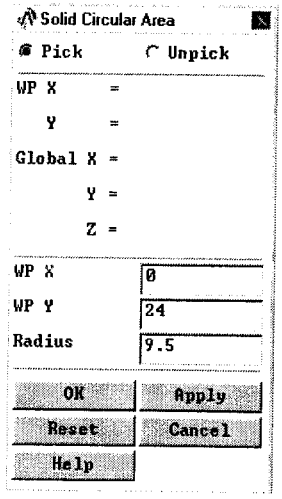
برای تولید سوراخ عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Circle> Solid Circle ...

۲) مطابق شکل (۷-۷) مقادیرزیر را برای تولید دایره وارد کنید.

WP X = 0
WP Y = 24
Radius = 9.5

۳) کلید OK را فشار دهید.




شکل (۷-۷) : پنجرهٔ تولید دایره

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans - Subtract > Areas +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی سطح اصلی را انتخاب کرده و در پنجـرهٔ انتخـاب کلیـد Apply را فشـار دهید .

۶) در پنجرهٔ گرافیکی دایرهٔ کوچک را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا دو سطح از هم کم شوند .

**۶) امتداد دادن سطح جهت تولید حجم :**

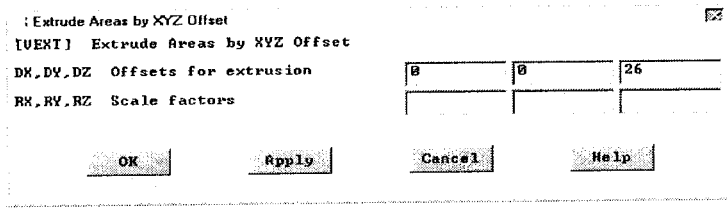
برای ساختن حجم کافی است سطح ساخته شده را در جهت محور WZ امتداد دهیم.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling -Operate > Extrude/Sweep > -Areas –By XYZ Offset …

۲) در پنجرهٔ گرافیکی سطح مورد نظر را انتخاب کنید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۴) مطابق شکل (۸-۷) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده مقادیر (۰و۰) را در کـادر DX , DY و بـرای DZ مقدار ۲۶ را وارد کنید.




**شکل (۸-۷) : پنجره تنظیمات امتداد سطح درجهت محورها**

۵) کلید OK را فشار دهید.

۶) به کمک جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate و فشـار دادن دکمـهٔ Iso نمـای دیـد را بـه دیـد ایزومتریک تبدیل کنید.

## مرحلهٔ سوم - ساخت دو حجم جلوئی مدل :

برای ساختن حجم های جلوئی مدل نیز دو راه وجود دارد که از روش دوم یعنـی سـاختن سطح مقطع و امتداد دادن آن در جهت محور سوم استفاده خواهد شد .

**۱) تنظیمات WorkPlane :**

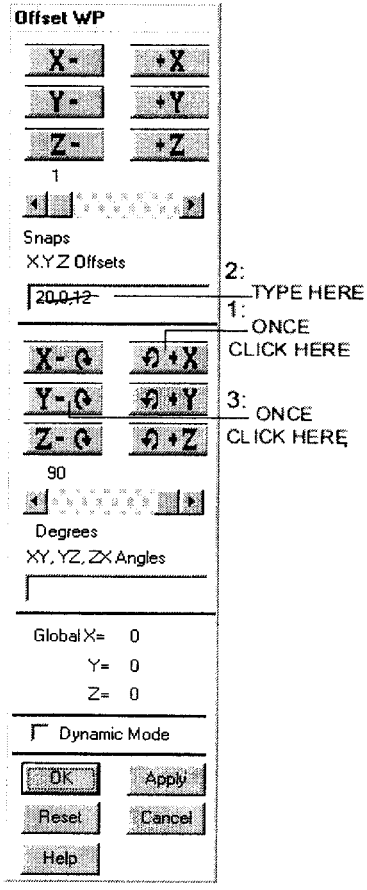
سطح مقطع های فوق به موازات صفحهٔ Y – Z قـرار دارنـد بنـابراین بـاید WorkPlane طـوری تنظیم شود که صفحهٔ WX – WY به موازات صفحهٔ Y – Z قرار گیرد برای این منظور عملیـات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Offset WP By Increments...

۲) مطابق شکل (۹-۷) در جعبه ابزار WorkPlane یکبار دکمهٔ چرخش X+ را فشار دهید تا محورهای WorkPlane دقیقاً بر محورهای مختصات اصلی منطبق شود ( یعنی WX بـر X و WY بر Y و WZ بر Z )

۳) در جعبه ابزار WorkPlane درمقابل کادر XYZ Offsets مقدار (۱۲و ۰و۲۰ )را وارد کنیـد و کلید Enter را فشار دهید.

۴) در جعبه ابزار WorkPlane دقت کنید که درجهٔ چرخش برابر ۹۰ درجه بوده و سپس دکمهٔ چرخش Y- را یکبارفشار دهید تا صفحهٔ WX – WY به موازات صفحهٔ Y – Z قرار گیرد.




12,0,-20

**شکل (۹-۷): جعبه ابزار Workplane**

**۲) ساخت مستطیل :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling -Create > - Areas - Rectangle > By Dimensions +

۲) درپنجرهٔ تولیدمستطیل، برای مختصات X1,X2 به ترتیب مقادیر(۱۸ و ۰) و بـرای مختصـات , Y1 Y2 به ترتیب مقادیر (۴۰ و ۰) را وارد کرده وکلیـد OK را فشار دهید تا سطح مستطیلی ساخته شود.

**۳) ساخت قسمت دایره ای :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Circle > Solid Circle ...

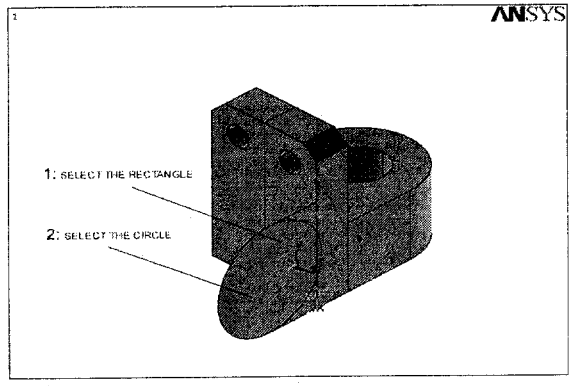
۲) در پنجرهٔ تولید دایره، برای WPX مختصات ۱۸ و برای WPY مختصات ۲۰ وبرای شعاع مقـدار ۲۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

**۴) پاک کردن قسمت اضافی دایره :**

از آنجائیکه دایرهٔ سـاخته شـده ازسـطح مسـتطیلی بزرگتر است (از لحاظ مرزی) بنابراین باید قسـمت اضافی آن پاک شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Overlap > Areas +

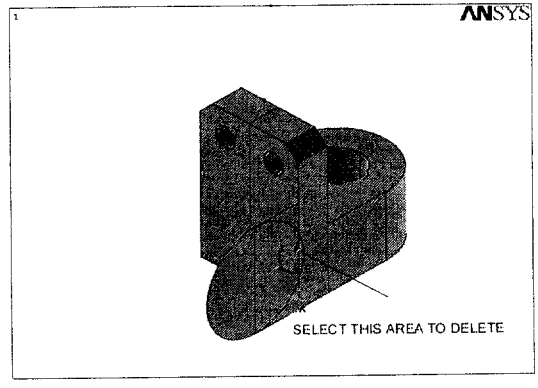
۲) مطابق شکل (۱۰-۷) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا سطح مستطیلی را انتخاب کنید سپس درپنجرهٔ گرافیکی سطح دایره‌ای را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.




**شکل (۱۰-۷) : انتخاب سطوح در پنجرهٔ گرافیکی**

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Delete > Areas and Below +

۴) مطابق شکل (۱۱-۷) در پنجرهٔ گرافیکی قسمت اضافی را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.



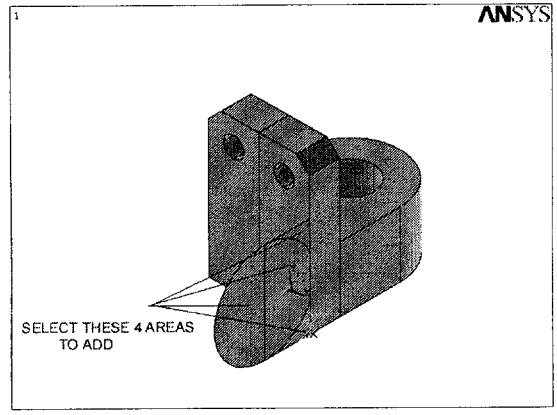

**شکل (۱۱-۷) : انتخاب سطح اضافی**

5) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

**۴) یکپارچه کردن ۴ سطح :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Add > Areas +

۲) مطابق شکل (۱۲-۷) در پنجرهٔ گرافیکی ۴ سطح را انتخاب کنید.




**شکل (۱۲-۷) : انتخاب ۴ سطح در پنجرهٔ گرافیکی**

۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

**۵) ایجاد سوراخ دایره ای درسطح :**

اکنون باید سوراخ دایره ای را در سطح مقطع ایجاد کرد برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Circle > Solid Circle …

۲) در پنجرهٔ تولید دایره برای WPX مقدار ۱۸ و برای WPY مقدار ۲۰ و برای Radius عدد ۸ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید تا سطح دایره ای ساخته شود.

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Subtract > Areas +

۴) در پنجرهٔ گرافیکی سطح بزرگتر را انتخاب کنید وکلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۵) در پنجرهٔ گرافیکی دایرهٔ کوچک را انتخاب کنید وکلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا سطوح از هم کم شوند.

**۶) تولید حجم توسط امتداد دادن سطح در جهت محور سوم :**

اکنون باید سطح را در جهت محور سوم امتداد داد .

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Operate > Extrude/Sweep > - Areas - By XYZ Offset

۲) در پنجرهٔ گرافیکی سطح مورد نظر را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده به ترتیب برای DX, DY, DZ مقادیر (۱۰ و ۰ و ۰) را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

**۷) انعکاس آئینه ای حجم تولید شده برای تکمیل مدل :**

با یک انعکاس آئینه ای نسبت به صفحهٔ Y – Z مدل کامل خواهد شد برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cartesian

2) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > Volumes +

۳) در پنجرهٔ گرافیکی حجم مورد نظر(حجم جلویی مدل ) را انتخاب کنید.

۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK رافشار دهید.

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Volumes درمقابل کادر ( plane of symmetry ) Ncomp گزینهٔ Y– Z Plane (X) را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

6) Ansys Utility Menu > Plot > Volumes

**۸) یکپارچه کردن کلیهٔ احجام :**

اکنون باید کل حجم ها را به هم اضافه کنید تا یک حجم یکپارچه ساخته شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Add > Volumes +

۲) درپنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید. پس از مدتی حجم یکپارچه می شود.

## مرحلهٔ چهارم – شبکه بندی مدل :

برای شبکه بندی مدل از المان SOLID45 استفاده کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete ...

۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural المان نوع Solid را انتخاب کرده و درپنجرهٔ مقابل آن المان Brick 8node 45 را انتخاب کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

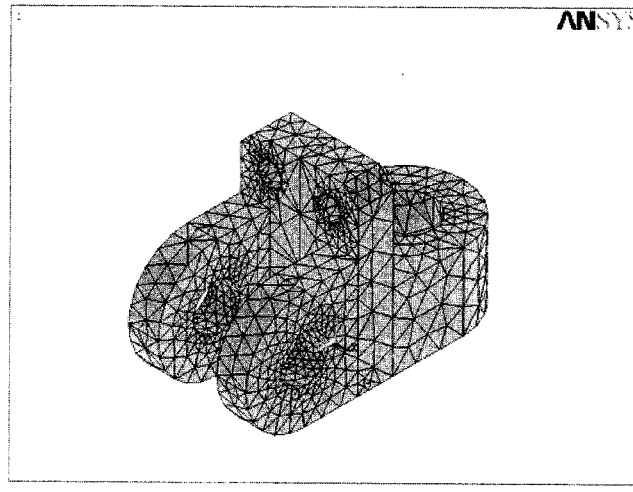
۵) دکمهٔ Close را در جعبهٔ محاورهٔ Element Types فشار دهید.

6)Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool...

۷) در جعبه ابزار MeshTool کلید Mesh را فشار دهید.

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۹) پس از مدتی مدل مطابق شکل (۱۳-۷) شبکه بندی خواهد شد.




**شکل (۱۳-۷) : مدل شبکه بندی شدهٔ نهایی**

# فصل سوم

## آنالیزهای سازه ای

## Structural Analysis

ANSYS

# تمرین اوّل : استاتیکی[1]

**مقدمه :**

هدف از انجام این آنالیز محاسبهٔ رفتار مستقل از زمان یک سازه در برابر بارگذاریهای مختلف است. بارگذاریها می توانند از انواع زیر باشند :

۱) بارهای خارجی[2] وارد بر سازه ( نظیر نیرو و گشتاور )

۳) بارهای حجمی[3] ( نظیر نیروهای اینرسی[4] در حالت پایدار[5] ، جاذبه )

در مورد آنالیز استاتیکی با دو نوع آنالیز برخورد خواهید کرد :

۱) آنالیز خطی[6] ۲) آنالیز غیرخطی[7]

در مورد آنالیزهای غیرخطی به طور مفصل در فصول بعدی بحث خواهد شد فقط جهت آشنایی بدانید که عوامل موثر در غیرخطی شدن یک آنالیز عبارتند از :

1 : Large Deformation
2 : Plasticity
3 : Creep
4 : Contact Problems
5 : Stress Stiffening
6 : Hyperelastic Elements

خواص مواد زیر در آنالیز استاتیکی با توجه به بارگذاری انجام شده باید معلوم باشد.

۱) مدول الاستیسیته[8] را تعریف کنید. در صورت وجود تاثیر پواسون ، ضریب پواسون[9] را نیز تعریف کنید.

۲) در مورد بارگذاریهای از نوع اینرسی ( نظیر وزن و سرعت زاویه ای ) چگالی ماده را نیز تعریف کنید.

۳) در مورد بارگذاریهای از نوع حرارتی ، ضریب انبساط حرارتی را نیز تعریف کنید.

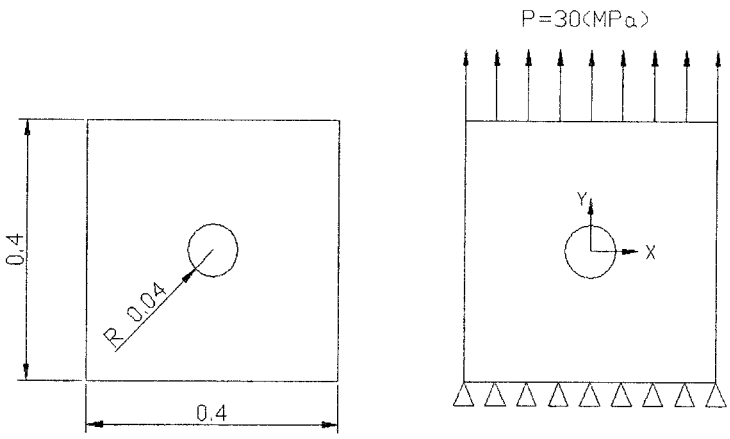
در خصوص آنالیز استاتیکی مراجع متعددی وجود دارد که از آن جمله می توان به کتابهای تئوری الاستیسیته نوشتهٔ تیموشنکو[10] [۳] و یا مکانیک جامدات نوشتهٔ کراندال[11] [۴] اشاره نمود .

**مثال :**

---

*1- Static Analysis*
*2- External Loads*
*3- Body Loads*
*4- Inertia Loads*
*5- Steady State*
*6- Linear Analysis*
*7- Nonlinear Analysis*
*8- Young's Modulus*
*9- Poisson's ratio*
*10- Timoshenko*
*11- Crandall*

صفحهٔ سوراخداری مطابق شکل ( ۱-۱ ) تحت بارکششی بـه مـیزان ( MPa ) ۳۰ قـرار گرفتـه است مساله در حالت تنش صفحه‌ای بررسی می شود و ضخـامت صفحـه در راسـتای محـور Z برابر با ۸ میلیمتر است. مطلوبست محاسبهٔ تنش ( در جهت محور X , Y ) ، جابجـایی و رسـم نمودار تغییرات تنش بر روی مسیری که از یک نقطه واقع بر سوراخ دایره ای به نقطه ای واقـع بر خارج صفحه وصل می شود :




**شکل ( ۱-۱ ) : مدل هندسی و مدل تحت بارگذاری**

**خواص مواد :**

| | |
|---|---|
| مدول یانگ | Young's modulus ( EX ) = 207 ( GPa ) |
| ضریب پواسون | Poisson's ratio ( ν ) = 0.3 |

**اهداف مساله عبارتند از :**

۱) آشنایی با نحوهٔ انجام آنالیز استاتیکی خطی

۲) آشنایی با نحوهٔ مشاهدهٔ نتایج در General Postprocessor.

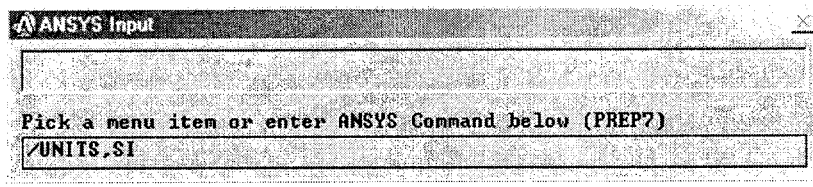
۳) مقایسهٔ جوابهای حاصل ازشبکه بندی اتوماتیک وشبکه بندی دستی در بارگذاریهای یکسان.

**مرحلهٔ اول - تنظیم سیستم آحاد به SI :**

در نرم افزار ANSYS می توان سیستم واحدهای مختلـف نظـیر سیسـتم انگلیسـی و سیسـتم متریک را تعریف کرد.تنظیم سیستم آحاد به هرکـدام از سیسـتم هـای موجـود درنـرم افـزار ، تاثیری در نحوهٔ انجام محاسبات و پاسخ مساله ندارد و فقط جهت اطلاع کاربر بـه کـار مـی رود یعنی کاربر باید دقت کند که اگر مساله ای را در سیستم اینچی حل می کند مقـادیر مربـوط

به هر بارگذاری را نسبت به واحدهای این سیستم بر روی مدل قرار دهد یا در هنگام مدلسازی ابعاد را نسبت به واحد این سیستم وارد کند. تا درحل مساله دچار اشتباه نشود.
برای تنظیم سیستم واحدها به سیستم SI می توان یکی از دو عمل زیر را انجام داد :

۱) در پنجرهٔ ANSYS Input مطابق شکل ( ۲-۱ ) عبارت /Units , SI را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید.




**شکل ( ۲-۱ ) : تنظیم سیستم واحدها به SI**

۲) یا اینکه مطابق مسیر زیر عمل کنید.

Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Library > Select Units...

و در پنجرهٔ باز شده یک سیستم واحد دلخواه ( در اینجا ( SI ( MKS را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

پس از انتخاب سیستم آحاد به هر یک از دو روش فوق می توانید نتیجه را در پنجرهٔ سفید رنگ ANSYS Output مشاهده کنید.

**مرحلهٔ دوم - تعریف موضوع مساله :**

در هر مساله می توانید موضوع مساله را برای نرم افزار تعریف کنید با انجام این کار موضوع مساله در پائین پنجرهٔ گرافیکی نمایان می شود. این کار ، کاملاً اختیاری بوده و موضوع موردنظر با توجه به صورت مساله تنظیم می شود. در این مثال موضوع مساله عبارت A THIN PLATE UNDER TENSION در نظر گرفته شده است برای تنظیم این موضوع عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu >File > Change Title ...

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت A THIN PLATE UNDER TENSION را تایپ کنید و کلید OK رافشار دهید.

3) Ansys Utility Menu > Plot > Replot

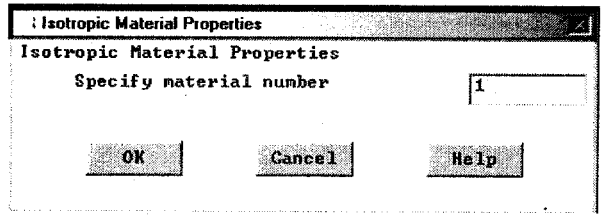
با انجام عمل فوق عبارت تایپ شده در پائین پنجرهٔ گرافیکی نمایان خواهد شد.

**مرحلهٔ سوم : تعریف خواص ماده :**

برای تعریف خواص ماده عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic....

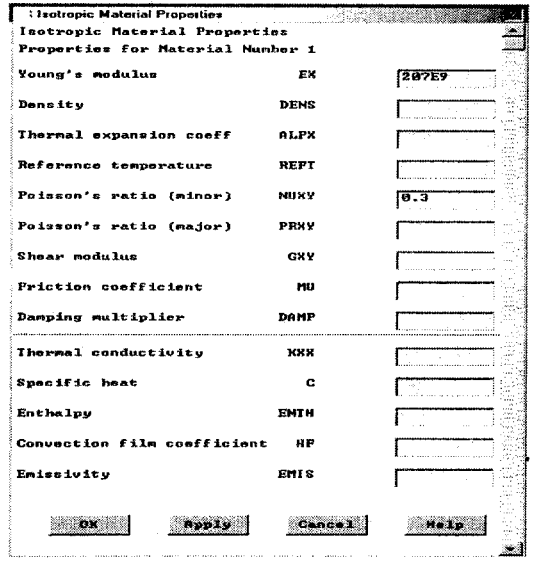
۲) مطابق شکل ( ۳-۱ ) در پنجـرهٔ تعریـف شـمارهٔ مـاده در مقـابل کـادر Specify material number عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .




**شکل ( ۳-۱ ) : اختصاص دادن شمارهٔ ماده**

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties مطابق شکل (۴-۱) اعداد زیر را وارد کنید.
Youngs modulus ( EX ) : 207E9
Poisson's ratio ( minor ) ( NUXY ) : 0.3

۴) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید.




**شکل (۴-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین خواص مواد**

### مرحلهٔ چهارم : تعریف المان سازه ای PLANE42 :

با توجه به اینکه مساله در حالت تنش صفحه ای حل می شود و همچنین مدل دارای ضخـامت می‌باشد باید از المان PLANE42 ( یا PLANE82 ) بـا گزینـهٔ تنـش صفحـه ای بـا ضخـامت استفاده کرد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

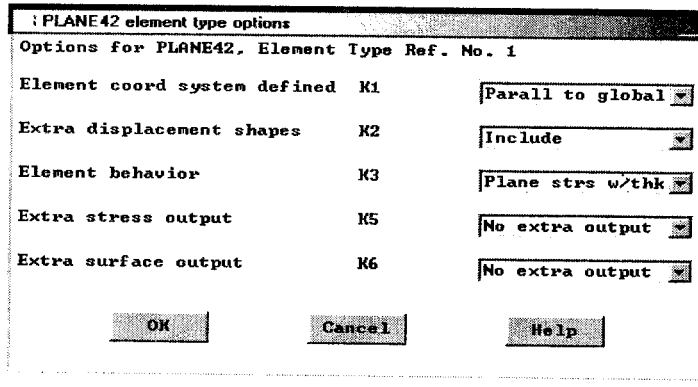
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural ، المان نوع Solid و در پنجرهٔ مقابل آن المان Quad 4node 42 را انتخاب کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) در پنجرهٔ Element Types کلید Options را فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ PLANE42 element type options در مقابل کادر Element behavior (K3) مطابق شکل (۵-۱) گزینه Plane strs w/thk را از منوی گشودنی آن انتخاب کنید.




**شکل ( ۵-۱ ) : تعریف گزینهٔ تنش صفحه ای با ضخامت**

۷) کلید OK را فشار دهید.

۸) پنجرهٔ Element Types را با فشردن کلید Close ببندید.

### مرحلهٔ پنجم - تعریف مقادیر ثابت المان :

مقادیرثابت المان PLANE42 درحالت تنش صفحه ای با ضخامت ، همان ضخامت المان ( که در این مثال (mm) ۸ است ) می باشد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor> Real Constants....

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants دقت کنید که المان PLANE42 انتخاب شده باشد و کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for PLANE42 در مقابل کادر Real Constants Set NO. عدد ۱ را وارد کرده و سپس در مقابل کادرReal Constants for Stress With Thickness Plane برای ضخامت المان در مقابل کادر Thickness THK عدد 8E – 3 را وارد کنید.

۵) کلید OK را فشار دهید.

۶) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید.

اکنون المان سازه ای PLANE42 در حالت تنش صفحه ای با ضخامت ۸ میلیمتر تعریف شده است.

**مرحلهٔ ششم - مدلسازی و شبکه بندی :**

مدل مساله دقیقا مانند مدل تمرین اول در فصل مدل سازی انجام می شود به این طریق که دقیقا مطابق تمرین اول در فصل مدل سازی ابتدا ربع ( یک چهارم ) مدل را بسازید وبه طریقهٔ شبکه - بندی دستی از روش Concatenate مدل را شبکه بندی کنید تا مدل اجزاء محدود که ربع مدل اصلی است ساخته شود برای تولید مدل کامل مساله باید یکبار یک انعکاس آئینه ای نسبت به صفحهٔ X – Z انجام دهید تا نصف مدل تولید شود برای اینکار ( پس از تولید ربع مدل مطابق تمرین اول ) عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor> - Modeling – Reflect > Areas +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Areas در مقابل کادر Ncomp Plane of symmetry گزینهٔ X – Z Plane (Y) را انتخاب کنید.

۴) کلید Apply را فشار دهید. ( پنجرهٔ اخطار زردرنگ را ببندید ، علت این پیغام منعکس نشدن خط Concatenate است.)

اکنون نصف مدل ساخته شده است جهت تولید کامل مدل باید از یک انعکاس آئینه ای نسبت به صفحهٔ Y – Z استفاده کرد.

۱) برای این منظور کلیهٔ مراحل ۱و۲ را تکرار کنید.

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Areas در مقابل کادر Ncomp Plane of symmetry صفحهٔ انعکاس را این بار صفحهٔ Y - Z Plane (x) انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید تا دو سطح قبلی نسبت به صفحهٔ Y – Z منعکس شده و مدل کامل تولید شود. ( پنجرهٔ زردرنگ اخطار را ببندید.)

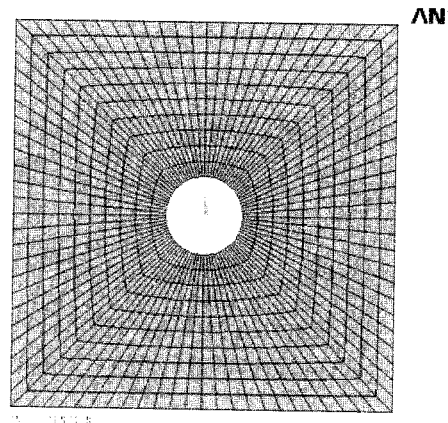
چون ۴ سطح در مرزهای مشترک خود منفصل هستند باید عمل ممزوج کردن را انجام دهید تا این ۴ سطح در مناطق مرزی ممزوج شوند .

1) Ansys Main Menu > Preprocessor>Numbering Ctrls > Merge Items....

۲) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر Label Type of item to be merge به جای گزینهٔ Nodes از منوی گشودنی آن گزینهٔ All را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید مدل اجزاء محدود مطابق شکل (۶-۱ ) تولید شده باشد :



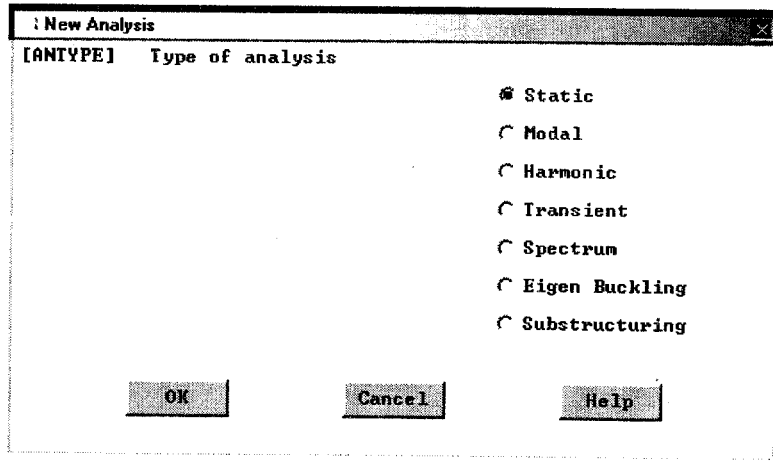

**شکل ( ۶-۱ ) : مدل اجزاء محدود نهایی**

## مرحلهٔ هفتم - بارگذاری و حل :

قبل از شروع حل مساله باید نوع آنالیز را برای نرم افزار معین کرد با توجه به اینکه ایـن مسـاله یک مسالهٔ استاتیکی است باید نوع آنالیز را به آنالیز استاتیکی تنظیم کرد.

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis.....

۲) مطابق شکل ( ۷-۱ ) در پنجرهٔ باز شده گزینهٔ Static را فعال کنید.




**شکل ( ۷-۱ ) : تنظیم نوع آنالیز به آنالیز استاتیکی**

۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید شرایط مرزی در جهت محور Y بر روی گره های دو خط طولی پائینی مـدل اعمـال شود برای این کار عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

2) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > On Nodes +

۳) در پنجرهٔ انتخاب معیار انتخاب را از Single به Box تغییر دهید.

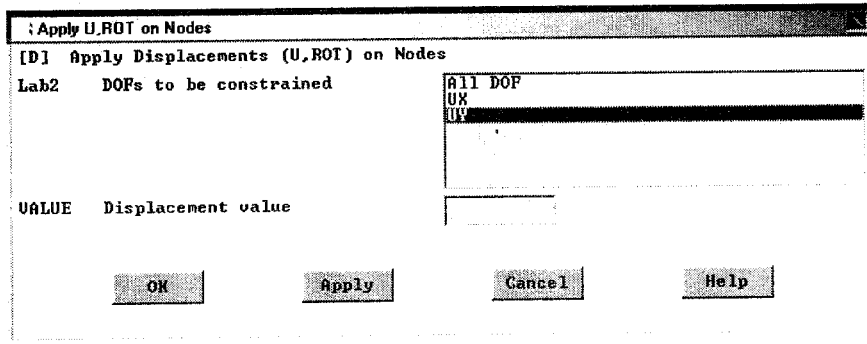
۴) در پنجرهٔ گرافیکی نزدیک گره ای که در انتهای خط طولی پائینی قرار دارد یکبار با ماوس فشار دهید و بدون رها کردن دکمهٔ ماوس با حرکت دادن ماوس مستطیل انتخابی بسازید که فقط گره های خط طولی پائینی را در بربگیرد. و سپس دکمهٔ ماوس را رها کنید.

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

**نکتهٔ ۱ :** می توانید برای انتخاب گره های فوق بدون تغییر معیار انتخاب از Single به Box در پنجرهٔ گرافیکی با فشار دادن ماوس بر روی هر گره آن را انتخاب کنید.

**نکتهٔ ۲ :** برای انتخاب گره های فوق می توانید از جعبه ابزار Select Entities نیز استفاده کنید. به این صورت که ابتدا دو خط پایینی مدل را انتخاب کرده و سپس گره هایی را که به این دو خط متصل هستند انتخاب کنید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes مطابق شکل ( ۸-۱ ) در پنجرهٔ Lab2 DOFs to be constrained بر روی گزینهٔ UY یکبار با ماوس فشار دهید تا انتخاب شود(پررنگ شود ).




**شکل ( ۸-۱ ) : قرار دادن شرط تکیه گاهی در جهت محور Y**

۷) کلید Apply را فشار دهید .

شرایط مرزی اعمال شد با توجه به اینکه مساله در جهت محور X دارای شرایط تکیه گاهی نیست لذا در هنگام شروع حل مساله با پیغام خطای Rigid Body Motion مواجه خواهید شد یعنی سازه دراثر کوچکترین اعمال بارداری حرکت صلب وار در جهت محور X خواهد شد.

برای جلوگیری از تولید این پیغام خطا باید در این گونه مسائل بر روی یک یا چند گره از مدل شرایط تکیه گاهی در جهت محور X قرار داد. به طوریکه قرار دادن این تکیه گاهها بر روی گره

های مورد نظر از لحاظ تاثیر در محاسبات، کاملاً بدون تاثیر باشد مثلاً در این مثال می توانید روی گرهٔ میانی خط طولی پائینی مدل شرط تکیه گاهی در جهت محور X قرار دهید برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

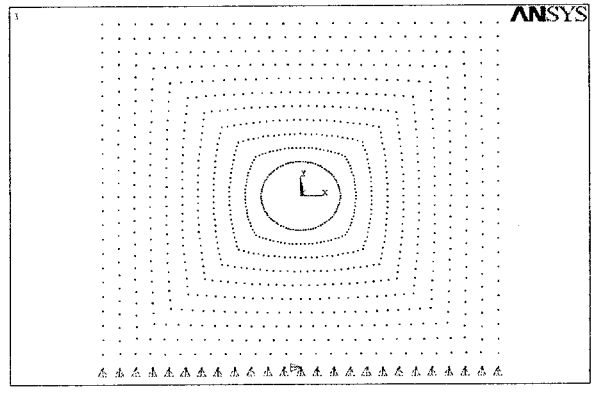
۸) در پنجرهٔ گرافیکی ، گرهٔ میانی خط طولی پائینی مدل را انتخاب کنید.

۹) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۱۰) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained یکبار روی UY با ماوس فشار دهید تا کمرنگ و غیرفعال شود سپس روی UX با ماوس فشار دهید تا پررنگ و فعال شود.

۱۱) کلید OK را فشار دهید.

۱۲) اکنون باید شرایط تکیه گاهی روی مدل مطابق شکل ( ۹-۱ ) مشاهده شوند.




**شکل ( ۹-۱ ) : قرار گرفتن شرایط تکیه گاهی روی مدل**

اکنون باید بار کششی بر روی دوخط طولی بالائی مدل اعمال شود برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

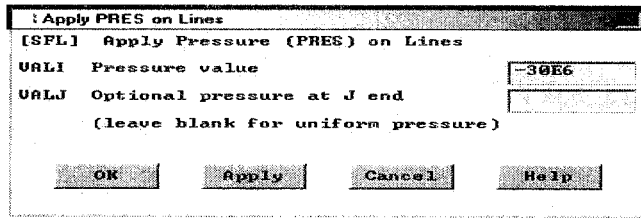
1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Pressure > On Lines +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی دو خط طولی بالایی مدل را به کمک ماوس انتخاب کنید.

۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۴) مطابق شکل (۱۰-۱ ) در جعبهٔ محاورهٔ Apply PRES on Lines در مقابل کادر VALI Pressure value مقدار کشش 30E6– را وارد کنید.

۵) کلید OK را فشار دهید . اکنون مدل آماده برای حل می باشد برای شروع حل مساله عملیات زیر را انجام دهید.




**شکل ( ۱۰-۱ ) : جعبهٔ محاورهٔ قراردادن فشار بر روی خط**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ/STAT را خوانده وسپس آنرا ببندید . ( این پنجره حاوی اطلاعاتی در مورد نوع المان ، خواص مواد ، شرایط مرزی ، بارگذاری و ... می باشد . )

۳) جهت شروع حل مساله در پنجرهٔ Solve Current Load Step کلید OK را فشار دهید.

۴) پس از مشاهدهٔ پنجره زرد رنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل شده است این پنجره را با فشار دادن کلید Close ببندید.

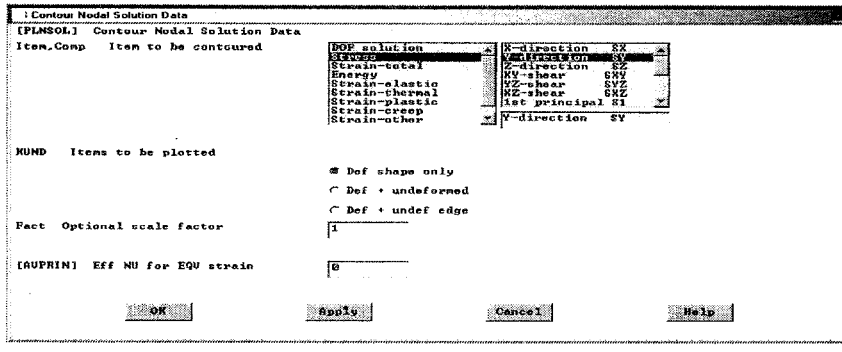
**نکته :** مدت زمان حل هر مساله با توجه به تعداد المانهای ریخته شده روی مدل و نوع آنالیز به سرعت کامپیوتر بستگی دارد.

### مرحلهٔ هشتم - مشاهدهٔ نتایج :

مشاهدهٔ نتایج به صورت شمارنده های گرافیکی در General Postprocessor میسر است. برای مشاهدهٔ کانتور تنش در جهت محور X عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu...

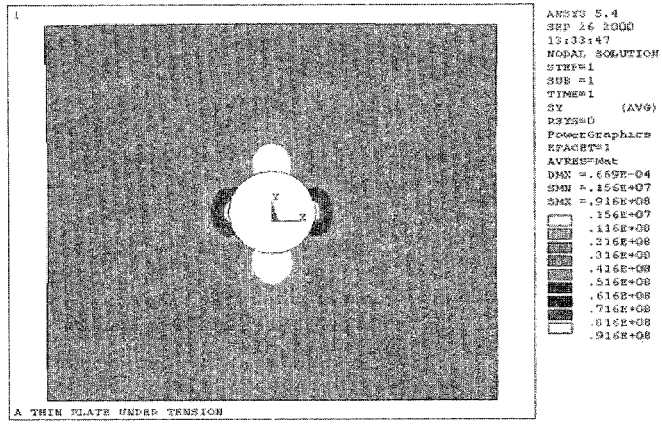
۲) مطابق شکل (۱۱-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data ، در مقابل کادر Item to be Contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress و در پنجرهٔ مقابل آن گزینهٔ Y – direction SY را انتخاب کنید.




**شکل ( ۱۱-۱ ) : پنجرهٔ تنظیم کانتور تنش در جهت محور Y**

۳) کلید OK را فشار دهید.

۴) مطابق شکل ( ۱۲-۱ ) کانتورهای تنش به صورت گرافیکی بر روی مدل نمایان خواهند شد.




**شکل ( ۱۲-۱ ) : کانتور تنش در جهت محور Y روی مدل**

۵) عملیات فوق را برای مشاهدهٔ کانتور تنش معادل von Mises و کانتور تنش در جهت محور X انجام دهید به این صورت که برای مشاهدهٔ کانتور تنش معادل von Mises کلیهٔ مراحل فوق را انجام دهید و فقط در مرحلهٔ دوم در پنجرهٔ مقابل Stress به جای SY با پائین کشیدن لغزندهٔ پنجرهٔ سمت راست عبارت von Mises SEQV را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۶) برای مشاهدهٔ جابجایی مدل تحت بار کششی کلیهٔ عملیات فوق را انجام دهید فقط در مرحلهٔ دوم در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر Item to be Contoured , Comp Item در پنجرهٔ سمت چپ عبارت DOF solution و در مقابل آن Translation - UX یا UY یا USUM را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

برای گرفتن یک عکس گرافیکی در قالب فایل با پسوند BMP.* عملیات زیر را انجام دهید.

۱) کانتور دلخواه را مطابق موارد فوق از مدل تهیه کنید.

2)Ansys Utility Menu > Plot Ctrls > Capture Image

۳) نرم افزار یک عکس از پنجرهٔ گرافیکی تهیه می کند این عکس را به کمک منوی File موجود بر بالای پنجرهٔ عکس ذخیره کنید .

همانطور که می دانید در اثر اعمال بار کششی به مدل در اطراف سوراخ دایره ای تنش به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد و حدوداً مقدار آن ۳ برابر کشش اعمال شده است برای بررسی این موضوع به صورت نموداری عملیات زیر را انجام دهید.

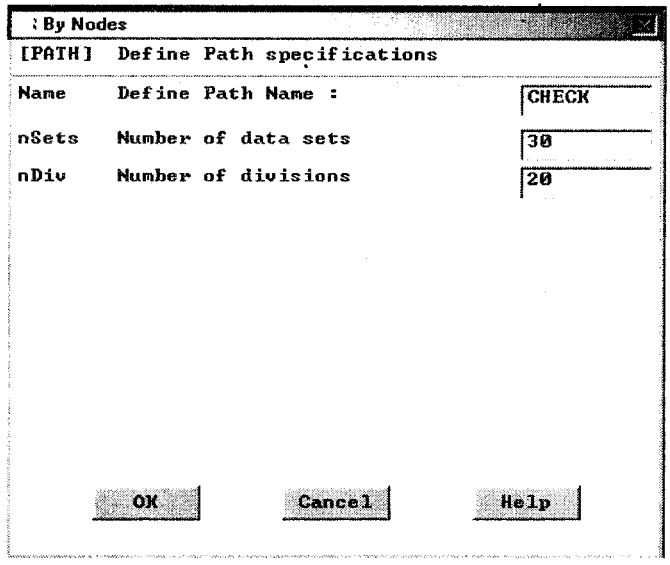
1) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes
2) Ansys Main Menu > General Postproc > Path Operations > Define Path > By Nodes

۳) در پنجرهٔ Ansys Input برای گرهٔ اول شمارهٔ گرهٔ ۲ را وارد کرده و سپس کلید Enter را فشار دهید ( این گره ، بر روی سطح سوراخ دایره ای قرار دارد ).

۴) در پنجرهٔ ANSYS Input برای گرهٔ دوم شمارهٔ گرهٔ ۱ را وارد کرده و سپس کلید Enter را فشار دهید ( این گره بر روی مرز خارجی مدل قرار دارد ).

۵) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید. تا مسیری بین این دو گره تولید شود.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ By Nodes مطابق شکل ( ۱۳-۱ ) برای مسیر تولید شده در مقابل کادر Name Define Path Name یک اسم نظیر CHECK را تایپ کنید و کلید OK را فشار دهید .




**شکل ( ۱۳-۱ ) : تعیین نام برای مسیر تولید شده**

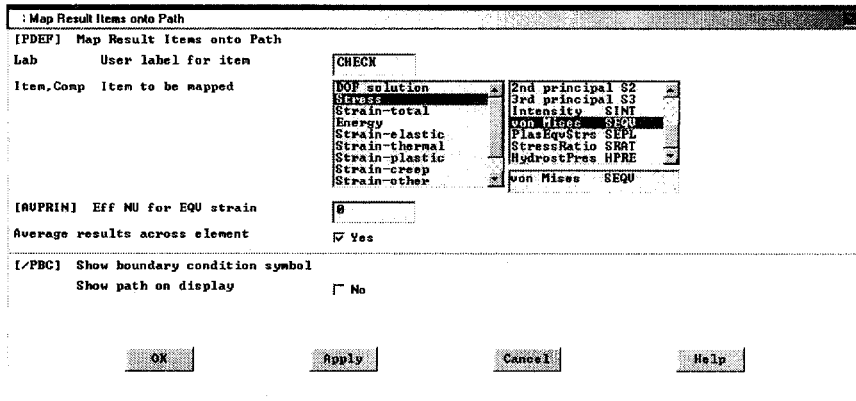
7) Ansys Main Menu > General Postproc > Path Operations >Map Onto Path...

۸) مطابق شکل ( ۱۴-۱ ) در جعبهٔ محاورهٔ Map Result Items onto Path درمقابل کادر User Label for item نامی را که در مرحلهٔ قبل وارد کردید (CHECK) تایپ کنید و سپس در مقابل کادر Item,Comp Item to be mapped در پنجرهٔ سمت چپ عبارت Sterss و در پنجرهٔ مقابل آن عبارت SEQV von Mises را انتخاب کنید.

۹) کلید OK را فشار دهید.

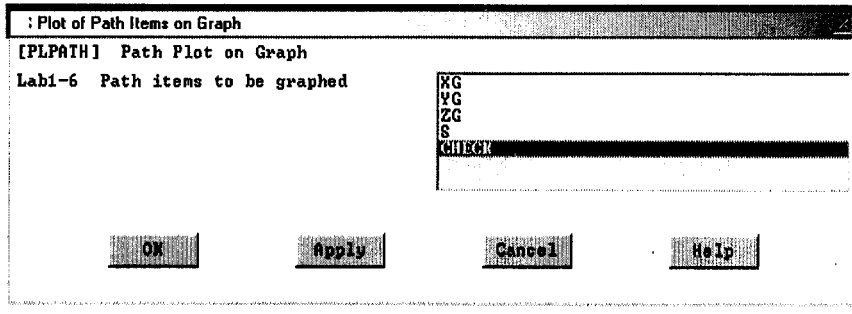
اکنون برای نمایش مقدار تنش معادل بر روی مسیر بین دو گره باید عمل زیر را انجام داد.

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Path Operations >- Plot Path Item – On Graph...




**شکل ( ۱۴-۱ ) : تصویر کردن تنش معادل وان مایز بر روی مسیر .**

۲) مطابق شکل ( ۱۵-۱ ) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Path items to be graphed عبارت CHECK را انتخاب کنید.




**شکل ( ۱۵-۱ ) : پنجرهٔ انتخاب مسیر ساخته شده جهت نمایش**

۳) کلید OK را فشار دهید.

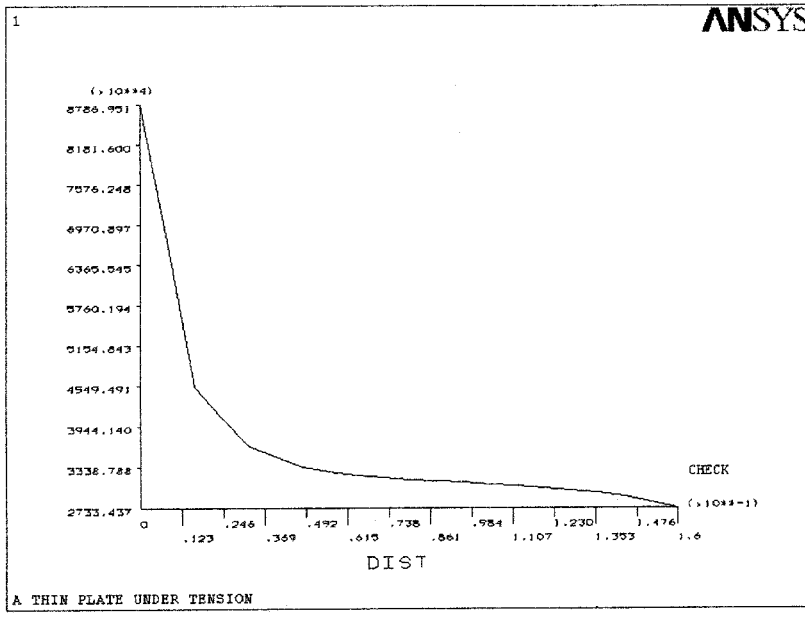
۴) مطابق شکل ( ۱۶-۱ ) نتیجه را مشاهده کنید.

**نکتهٔ ۱ :**

در این مثال مدلسازی به علت تقارن می توان نصف مدل یا حتی ربع مدل را مدلسازی کرد و مساله را با شرط تقارن حل کرد. با این کار تعداد المانهای مساله کمتر شده و در نتیجه زمان‌کمتری در هنگام تحلیل مساله صرف می شود و حافظهٔ اشغال شده و حجم فایلهای تولید شده نیز کاهش می یابد.

**نکتهٔ ۲ :**

کاربر باید سعی کند مساله را به کمک شبکه بندی اتوماتیک نیز حل کرده و جوابهای هر دو روش را با هم مقایسه کند.




**شکل ( ۱۶-۱ ) : نمودار تنش معادل وان مایز برروی مسیر**

# تمرین دوم : مودال[1]

**مقدمه :**

در مرحلهٔ طراحی سازه ای و قطعات صنعتی که تحت تاثیر نوسانات به واسطهٔ بارها و محرکهای ارتعاشی می‌باشند، انجام آنالیز مودال کاملاً ضروری است. زیرا باید قطعه طوری طراحی شود که تا حد امکان از محدودهٔ فرکانس تشدید[2] آن دور باشد ، زیرا نوسانات در محدودهٔ فرکانس طبیعی[3] سازه ، موجب افزایش دامنهٔ نوسانی و در نتیجه خطر از هم پاشیدگی قطعه را بسیار زیاد می کند. ( جهت کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به کتاب تئوری ارتعاشات[4] ، نوشتهٔ تامسون [۵] فصل اول و یا کتاب روابط برای فرکانس طبیعی و شکل مود نوشتهٔ بلوینز [۶] می توان مراجعه نمود ).

از آنالیز مودال جهت تعیین مقدار فرکانسهای طبیعی و شکل مود[5] آن ، در فرکانس مزبور استفاده می گردد. مقدار فرکانس طبیعی هر سازه بستگی به شکل آن سازه ، جنس و تکیه گاههای آن سازه دارد. در عین حال مقدار بارگذاریها و نوع بارگذاری نیز می تواند در مقدار فرکانس طبیعی مؤثر باشد. به همین دلیل نرم افزار Ansys دو نوع آنالیز مودال (تنش آزاد[6] و پیش تنش[7]) را در اختیار کاربر قرار داده است. برای آشنایی دقیق تر با این آنالیز می توانید به آدرس زیر مراجعه کنید :

Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides > Ansys Structural Analysis Guide > Chapter 3 : Modal Analysis

این نکته قابل ذکر است که این محصول از Ansys ، به صورت خطی آنالیز مدال را انجام می دهد و هرگونه اعمال خواص غیرخطی همچون خواص پلاستیسیته ، المانهای تماسی و... حتی در صورت تعریف نادیده گرفته می شود.

**نکته :**

جهت انجام آنالیز غیرخطی دینامیکی می توان از آنالیز گذرا[8] استفاده نمود.

جهت استخراج و محاسبهٔ مودها و مقادیر ویژه ، روشهای عددی متنوعی این نرم افزار در اختیار کاربر قرار می دهد که آنها را تحت نام Eigen Solver می شناسیم. هریک از این روشها از لحاظ کاربردی ، همچون اشغال حافظهٔ حقیقی و یا مجازی جهت تحلیل ، سرعت تحلیل ، دقت محاسبات ، مقدار حجم مدل و تعداد فرکانسهای درخواستی از حل گر ، دارای نقاط قوت

---

*1- Modal Analysis*
*2- Resonant Frequency*
*3- Natural Frequency*
*4- Theory of Vibration*
*5- Mode Shape*
*6- Stress Free*
*7- Prestress*
*8- Transient Dynamic Analysis*

و ضعف نسبت به یکدیگر می باشند و انتخاب هریک متناسب با کاربرد آنها ، توسط کاربر انجام می پذیرد.

برای آشنایی بیشتر با کاربرد هرکدام می توانید به پیوست ۲ مراجعه کنید.

## مراحل انجام آنالیز مودال ( تنش آزاد ) :

۱- *مدل سازی* : تعریف المان ، خواص مواد ، مدل هندسی و شبکه بندی مدل.

۲- *شرایط مرزی*: اعمال شرایط مرزی تکیه گاهی مدل.

۳- *تحلیل* : فعال نمودن آنالیز مودال ، تعریف تعداد فرکانسهاس طبیعی مورد نیاز، تعیین نوع حل گر و انجام آنالیز.

۴- *مشاهدهٔ نتایج*.

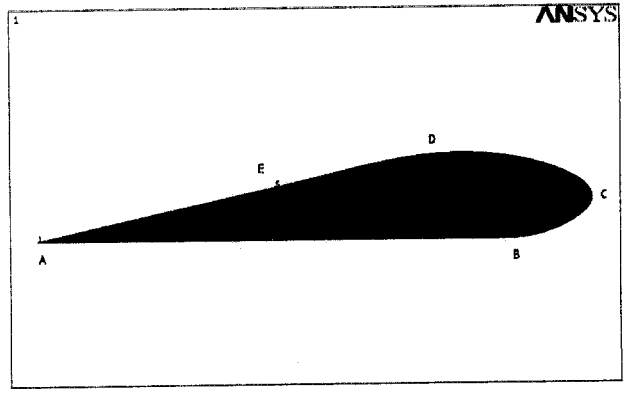
### نکته :

آنالیز مودال از نوع پیش تنش تقریباً مشابه نوع تنش آزاد می باشد ، با این تفاوت که قبل از انجام آنالیز مودال می‌بایست یک آنالیز استاتیکی انجام داد و همچنین در پنجرهٔ آنالیز گزینهٔ Prestress را فعال نمود.

### مثال :

بال هواپیمایی را در نظر بگیرید که سطح مقطع آن با جلو رفتن بر روی محور Z کوچک می شود و این کاهش طوری است که سطح مقطع انتهایی نصف سطح مقطع ابتدایی است. مدل سطح مقطع اولیه مطابق شکل (۱-۲) ترسیم شده است. مطلوبست محاسبهٔ ۵ فرکانس طبیعی اول این بال.

نوع آنالیز از نوع آنالیز تنش آزاد بوده و شرایط مرزی بر روی سطح مقطع اولیه در هر جهتی ثابت است.




**شکل (۱-۲) : مدل سطح مقطع اولیه به همراه نقاط**

مختصات نقاط موجود بر روی سطح مقطع به شرح زیر است :

| A | | B | | C | | D | | E | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 2 | 0 | 2.3 | 0.2 | 1.9 | 0.45 | 1 | 0.25 |
| 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |

خواص مادهٔ بال هواپیما به صورت زیر است :

$E = 200$ ( Gpa )
$\nu = 0.3$
$\rho = 8000$ ( $Kg / m^3$ )

همچنین طول بال در جهت محور Z برابر ۱۰ متر است.

**اهداف مساله :**

۱- آشنایی با ساخت خط Spline
۲- آشنایی با آنالیز مودال
۳- آشنایی با ساختن یک فایل متحرک سازی[1]

**مرحلهٔ اول - تعریف المانهای مورد نیاز :**

با توجه به اینکه در این مثال ابتدا سطح مقطع ساخته شده و شبکه بندی می شود و سپس مدل سطح مقطع به همراه المانهای آن در جهت محور سوم کشیده می شود تا حجم نهایی تولید شود .

بنابراین به دو نوع المان سازه ای دوبعدی و سه بعدی نیاز دارید که عبارتند از :

۱- المان PLANE82
۲- المان SOLID95

برای انجام این کار مسیر زیر را دنبال کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع المان Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان Quad 8node 82 را انتخاب کنید.

۴) کلید Apply را فشار دهید.

*1- Annimation File*

۵) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از المانهای خانوادهٔ سازه ای نوع Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان Brick 20node 95 را انتخاب کنید.

۶) کلید OK را فشار دهید.

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Close را فشار دهید.

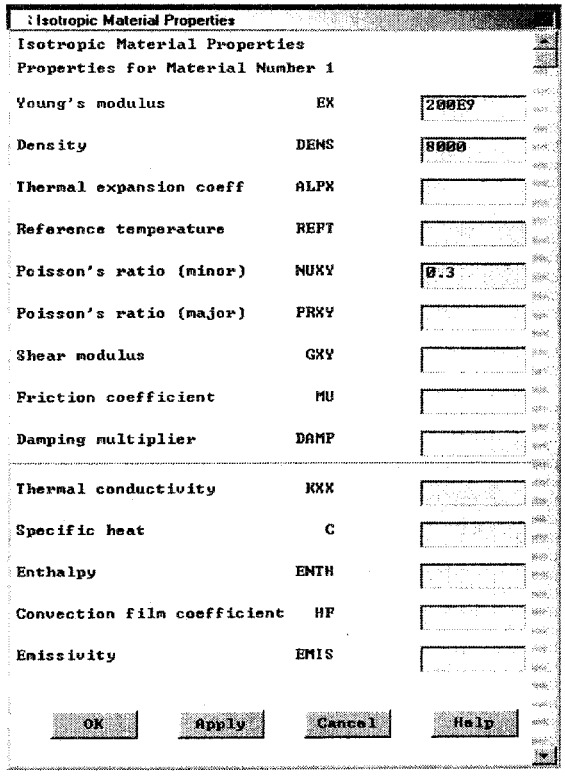
**مرحلهٔ دوم - تعریف خواص مواد :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا پیش فرض شمارهٔ ماده ۱ در نظر گرفته شود.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص مواد مطابق شکل (۲-۲) در مقابل کادر Young's modulus (EX) عدد 200E9 را وارد کرده و در مقابل کادر Density (DENS) عدد 8000 را وارد کرده و در مقابل کادر Poisson's ratio (minor) مقدار 0.3 را وارد کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود.




**شکل (۲-۲) : پنجرهٔ تعریف خواص مادهٔ شمارهٔ ۱**

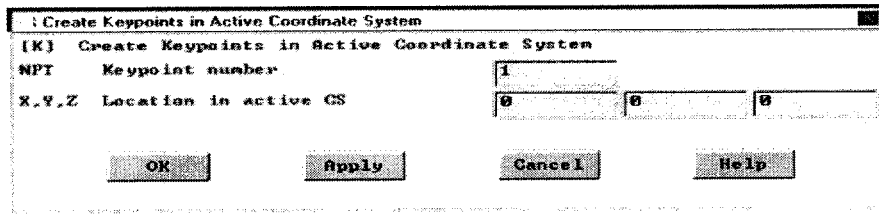
**مرحلهٔ سوم - مدل سازی :**

برای مدلسازی ابتدا به کمک نقاط و خطوط مرزی ، سطح مقطع اولیه را ساخته و آنرا شبکه‌بندی کنید و سپس این سطح را در جهت محور سوم به اندازهٔ ۱۰ متر بکشید تا حجم تولید شود.

برای تولید نقاط عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > Keypoints > In Active CS...

۲) مطابق شکل (۳ـ۲)در پنجرهٔ تولید نقطه ، در مقابل کادر NPT Keypoint number عـدد ۱ را وارد کنید و در مقابل کادر X,Y,Z Location in active CS بـه ترتیـب مقـادیر 0,0,0 را وارد کرده و کلید Apply را فشار دهید.




**شکل (۳-۲) : تولید نقطهٔ اول (A) در پنجرهٔ تولید نقطه**

۳) در پنجرهٔ تولید نقطه جهت تولید نقطهٔ دوم (B) شمارهٔ نقطه را بـه ۲ عـوض کـرده و بـرای مختصات آن (X,Y,Z) به ترتیب اعداد 2,0,0 را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۴) به همین ترتیب بقیهٔ نقاط ( E , D , C ) را ساخته و کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید به کمک نقاط ساخته شده خطوط مدل را تولید کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Lines - Lines > Straight line +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ، نقاط شمارهٔ ۱ و ۲ را انتخاب کنید. خط AB ساخته می شود.

۳) در پنجرهٔ گرافیکی ، نقاط ۱ و ۵ را انتخاب کنید تا خط AE تولید شود.

۴) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

خطی که از نقاط E , D , C , B می گذرد یک منحنی Spline اسـت کـه شـیب شـروع[1] آن در نقطهٔ B برابر شیب خط AB یعنی صفر است و شیب انتهایی[2] آن در نقطهٔ E برابـر شـیب خـط AE (۰/۲۵) است.

برای تولید این منحنی مسیر زیر را دنبال کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Lines - Splines > With Options > Spline thru KPs +

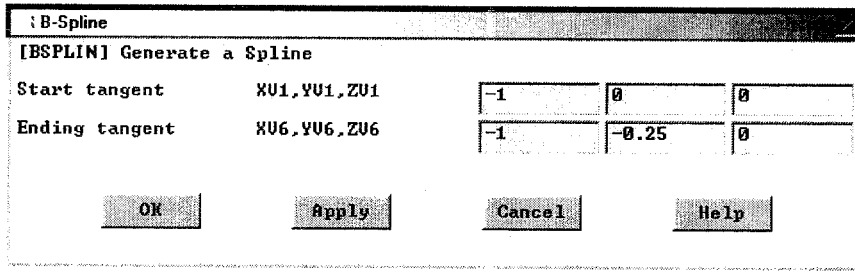
۲) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب نقاط ۲ و ۳ و ۴ و ۵ را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۴) مطـابق شـکل (۴-۲) در جعبـهٔ محـاورهٔ B-Spline در مقـابل کـــادر Start tangent XV1,YV1,ZV1 به ترتیب مقادیر 1,0,0– را وارد کرده و در مقابل کادر ZV6 , YV6 , XV6 Ending tangent به ترتیب مقادیر 1,-0.25,0- را وارد کنید.

*1- Start Tangent* *2- Ending Tangent*

کتابخانه مرکزی دانشگاه علم و صنعت ایران




**شکل (۴-۲) : تعیین شیب شروع و شیب انتهای منحنی**

۵) کلید OK را فشار دهید تا منحنی ساخته شود.

اکنون باید به کمک خطوط تولید شده ، سطح مقطع اولیه را ساخت. برای تولید سطح مقطع عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > - Areas - Arbitrary > By Lines+

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ۳ خط را ( که ۲ تای آن خط راست و یکی از آن ها خط منحنی است ) انتخاب کنید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا سطح ساخته شود.

برای شبکه بندی مدل ابتدا باید صفات[1] شبکه بندی را تنظیم نمود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes - Define > Default Attribs....

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Element type number [ TYPE ] از منوی گشودنی آن المان نوع اول یعنی PLANE82 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

برای شبکه بندی سطح مقطع از شبکه اتوماتیک استفاده کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۲) در جعبه ابزار MeshTool شکل المان (Shape) را از نوع Quad و نوع Mesher را از نوع Free انتخاب کرده و کلید Mesh را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطح شبکه بندی شود.

**مرحلهٔ چهارم - کشیدن سطح در جهت محور Z جهت تولید مدل نهایی :**

قبل از شروع کشیدن سطح در جهت محور سوم جهت تولید حجم ، باید صفات شبکه بندی را به المان سه بعدی تبدیل کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes - Define > Default Attribs ...

---

*1- Attributes*

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Element type number [ TYPE ] از منوی گشودنی آن المان نوع دوم یعنی SOLID95 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

برای کشیدن سطح جهت تولید حجم باید تعداد المانهای تولید شده در جهت محور سوم را معین کرد در این مساله تعداد ۱۰ المان پیشنهاد می شود :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > Extrude/Sweep > Size...

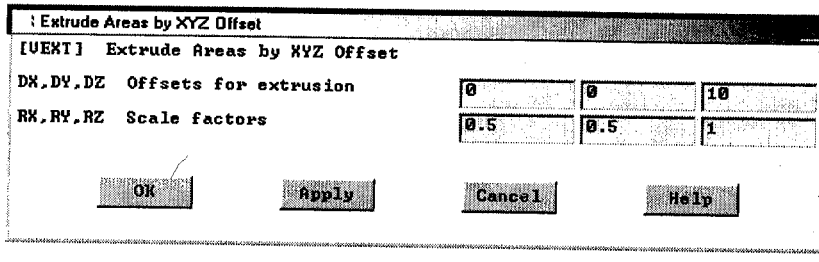
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Global Element Sizes در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۱۰ را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > Extrude/Sweep >- Areas – By XYZ Offset +

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۶) مطابق شکل ( ۵-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Extrude Areas by XYZ Offset در مقابل کادر DX , DY , DZ Offsets for extrusion به ترتیب اعداد 0,0,10 را وارد کرده و در مقابل کادر RX , RY , RZ Scale factors به ترتیب اعداد 1 , 0.5 , 0.5 را وارد کنید.




**شکل (۵-۲) : تعیین مقدار کشش و مقیاس آن در جهت هر محور**

۷) کلید OK را فشار دهید تا حجم ساخته شود و پنجرهٔ اخطار را ببندید.

۸) به کمک جعبه ابزار Pan , Zoom , Rotate و با فشردن کلید ISO نمای دید را به دید ایزومتریک تبدیل کنید.

**مرحلهٔ پنجم - پاک کردن المانهای دو بعدی :**

در این مساله با توجه به سه بعدی بودن مدل ، وجود المانهای دو بعدی PLANE82 زائد است و باید از روی مدل برداشته شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Clear > Areas +

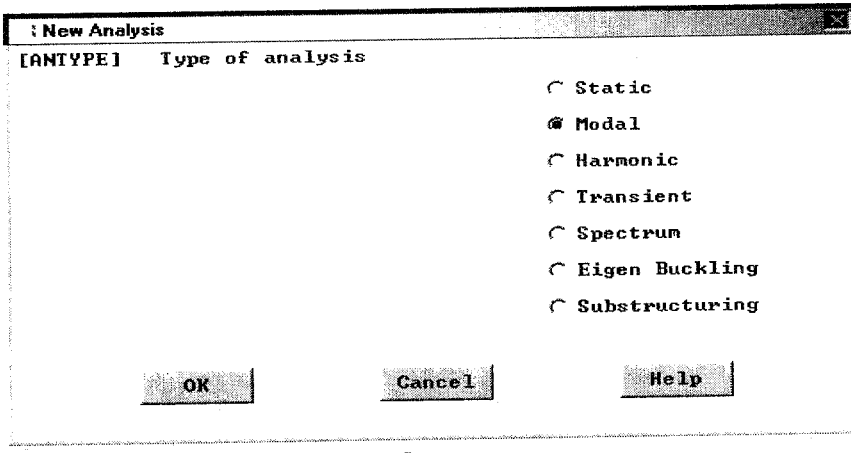
۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا فقط المانهای دو بعدی پاک شوند. همچنین پنجرهٔ اخطار را نیز ببندید . (علت این اخطار آنست که نرم افزار قادر به پاک کردن المانهای سه بعدی سطوح متصل به حجم نیست)

3)Ansys Utility Menu > Plot > Replot

**مرحلهٔ ششم - تعیین نوع آنالیز و گزینه های مربوط به آن :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type - New Analysis ...

۲) مطابق شکل ( ۶-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ New Analysis گزینهٔ Modal را انتخاب کنید.




**شکل (۶-۲) : تنظیم نوع آنالیز به آنالیز مدال**

۳) کلید OK را فشار دهید.

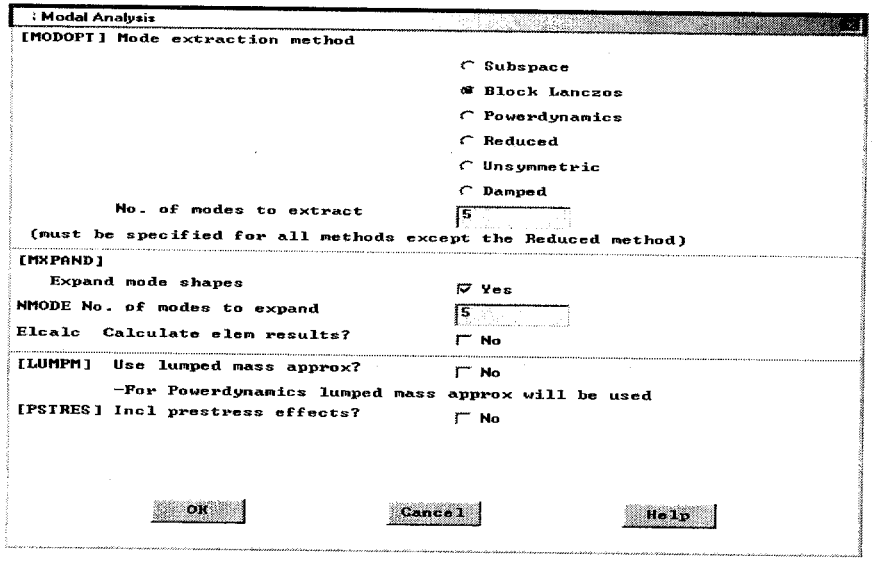
اکنون باید نوع حل کنندهٔ مساله و همچنین تعداد فرکانسهای طبیعی و شکل مود موردنظر را برای نرم افزار تعریف کنید تا محاسبه شود. در این مساله از حل کنندهٔ Block Lanczos استفاده کنید .

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type - Analysis Options ...

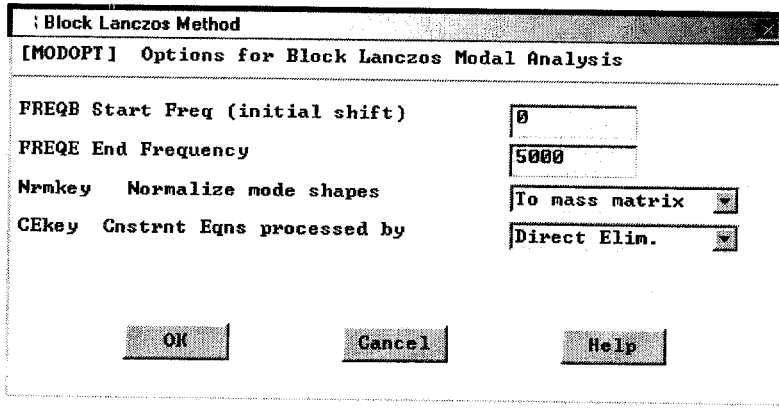
۲) مطابق شکل ( ۷-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Modal Analysis درمقابل کادر [MODOPT] Mode extraction method گزینهٔ Block Lanczos را فعال کنید سپس برای تعیین محاسبه تعداد فرکانسهای طبیعی درمقابل کادر NO . of modes to extract عدد ۵ را وارد کنید و در مقابل کادر NMODE NO . of modes to expand نیز عدد ۵ را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

۴) مطابق شکل ( ۸-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Block Lanczos Method در مقابل کادر FREQB Start Freq (initial shift) عدد صفر (۰) و در مقابل کادر FREQE End Frequency عدد ۵۰۰۰ را وارد کنید با انجام این کار محاسبات در محدودهٔ فرکانسی ۰ تا ۵۰۰۰ انجام خواهد شد.




شکل (۷-۲) : پنجرهٔ تنظیمات نوع حل گر و تعیین تعداد مودها




شکل (۸-۲) : پنجرهٔ تنظیمات محدودهٔ فرکانسی

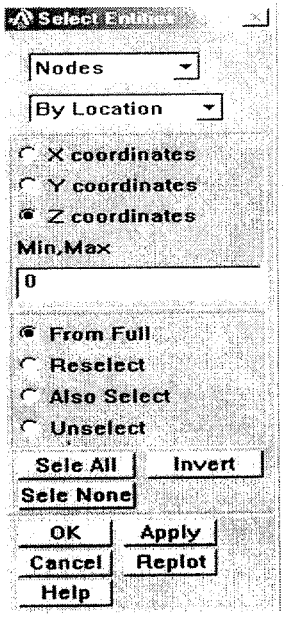
۵) کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ هفتم – قرار دادن شرایط مرزی روی گره های سطح مقطع اولیه :**

در این مساله گره های سطح مقطع اولیه دارای شرایط مرزی در هر سه جهت ثـابت ، هسـتند. برای قرار دادن شرایط مرزی ابتدا کلیهٔ گره های مربوط به سطح مقطـع اولیـه را کـه از لحـاظ مکانی در جهت محور Z دارای موقعیت صفر هستند، انتخاب کنید.

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities…

۲) مطابق شکل ( ۹-۲ ) در جعبه ابزار Select Entities از منوی گشودنی اول عبارت Nodes و از منوی گشودنی دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و در زیر آن گزینهٔ Z coordinates را فعال کنید سپس درکادر Min , Max عدد ۰ ( صفر ) را وارد کرده و دقت کنید گزینهٔ From Full فعال باشد و کلید OK را فشار دهید.




3) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

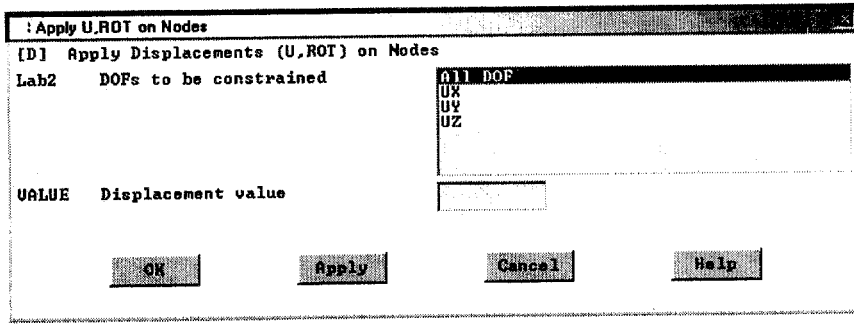
اکنون باید کلیهٔ گره های سطح مقطع اولیه انتخاب شده باشند.

4)Ansys Main Menu > Solution > -Loads -Apply > -Structural -Displacement > On Nodes +

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا کلیهٔ گره های انتخاب شده در مرحلهٔ قبل ، انتخاب شوند.

۶) مطابق شکل ( ۱۰-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل پنجره Lab 2 DOFs to be constraind گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید.

**شکل (۹-۲) : انتخاب گره های سطح مقطع اولیه**




**شکل (۱۰-۲) : قرار دادن شرایط مرزی روی گره ها**

۷) کلید OK را فشار دهید.

مساله آمادهٔحل است ولی قبل از شروع حل باید کلیهٔ گره های مدل را انتخاب کنید. برای این کار عمل زیر را انجام دهید.

8)Ansys Utility Menu > Select > Everything

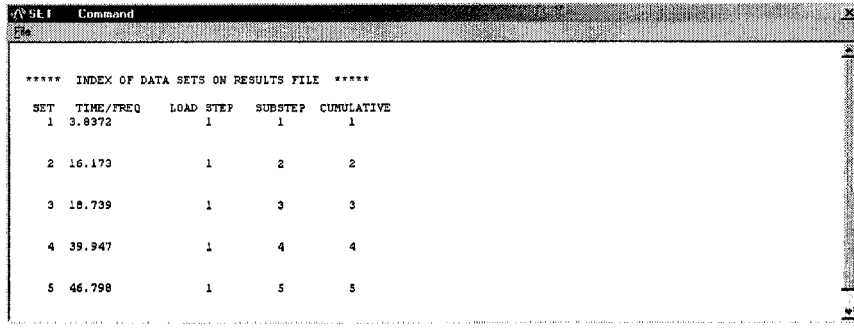
**مرحلهٔ هشتم – حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > Solve - Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ STAT / را خوانده و آنرا ببندید.
۳) جهت شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ Solve Current Load Step فشار دهید.
۴) در صورت مشاهدهٔ پیغام اخطار کلید Yes را فشار دهید علت این اخطار وجود المانهای گوه ای است که به کاربر توصیه می کند در صورت امکان از المانهای مکعبی استفاده کند تا دقت مساله بالاتر رود این تذکر همچنین در صورت استفاده از المانهای هرمی نیز داده می شود.
۵) با مشاهدهٔ پیغام Solution is done حل مساله کامل است.

**مرحلهٔ نهم - مشاهده نتایج در Post1 :**

جهت مشاهدهٔ فرکانسهای طبیعی به صورت لیست شده عملیات زیر را انجام دهید.
1)Ansys Main Menu > General Postproc > List Results > Results Summary
۲) مطابق شکل ( ۱۱-۲ ) فرکانسهای طبیعی را مشاهده کنید. و پس از اتمام مشاهدات پنجرهٔ SET را ببندید.



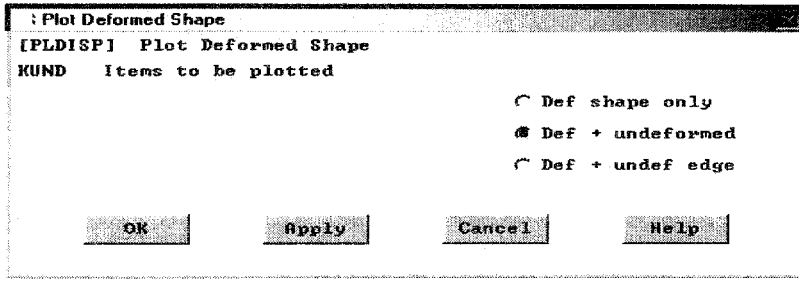

**شکل (۱۱-۲) : پنجرهٔ لیست ۵ فرکانس طبیعی**

جهت مشاهدهٔ شکل مود اول باید عمل زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results - Frist Set

با این عمل اولین فرکانس طبیعی خوانده می شود ( اولین نتیجه ) اکنون جهت مشاهدهٔ فرم تغییر شکل یافتهٔ بال تحت این فرکانس عمل زیر را انجام دهید.

2)Ansys Main Menu > General Postproc > - Plot Results > Deformed Shape...
۳) مطابق شکل ( ۱۲-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Deformed Shape در مقابل کادر KUND Items to be plotted گزینهٔ Def + undeformed را انتخاب کنید تا شکل اولیه و نهایی همزمان نمایش داده شوند .
۴) کلید OK را فشار دهید تا فرم تغییر شکل بال تحت فرکانس طبیعی اول مشاهده شود.




**شکل (۱۲-۲) : انتخاب نمایش مدل تغییر شکل یافته و نیافته با هم**

**نکته :** دستور Last Set نتیجهٔ آخر ( فرکانس طبیعی آخر ) را می خوانـد و دسـتور Next Set نتیجهٔ بعدی را می خواند یعنی اگر قبلا نتیجهٔ دوم را خوانده بود نتیجهٔ سوم را با فعـال کـردن این دستور می خواند.

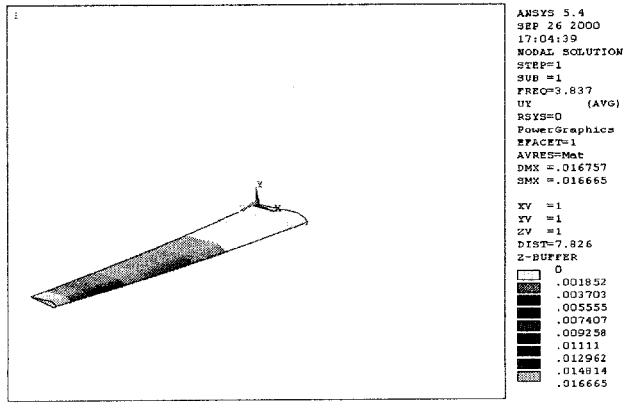
برای مشاهدهٔ میزان جابجایی در جهت محور Y تحت فرکانس طبیعی اول عملیات زیر را انجـام دهید.

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu…

۲) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Item to be contoured Comp , Item در پنجـرهٔ سـمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخاب کرده و در پنجرهٔ مقابل آن عبارت UY – Translation را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

مطابق شکل ( ۱۳-۲ ) کانتور جابجایی درجهت محـور Y تحـت فرکـانس طبیعـی اول نمایـان می شود.




**شکل (۱۳-۲) : کانتور جابجایی درجهت محور Y تحت فرکانس طبیعی اول**

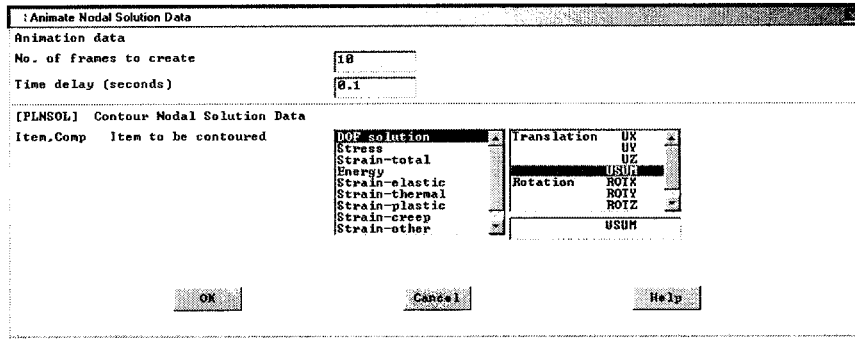
## مرحلهٔ دهم- گرفتن یک فایل متحرک سازی از جواب ها :

اکنون توزیع جابجایی کلی تحت فرکانس طبیعی پنجم ( آخر ) به صورت یک فایل متحرک نمایش داده خواهد شد.

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results- Last Set

2)Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Animate > Deformed Results ...

۳) مطابق شکل (۱۴-۲) در جعبهٔ محاورهٔ Animate Nodal Solution Data در مقابل کادر .No of frames to create تعداد ۱۰ عدد را وارد کرده و در مقابل پنجرهٔ Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Translation - USUM را انتخاب کنید.




**شکل (۱۴-۲) : انتخاب جابجایی کلی بال تحت فرکانس طبیعی آخر برای تولید فایل متحرک**

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) پس از مدتی یک فایل متحرک با پسوند AVI.* ساخته می شود. می توانید این فایل را به کمک یک وسیلهٔ تصویری نظیر Media Player مشاهده کنید.

# تمرین سوم : پاسخ منظم[1]

**مقدمه :**

هر نیروی متناوب سینوسی بر روی یک سازه پاسخ نوسانی منظم ایجاد می کند. نام دیگر این نوع آنالیز ارتعاشات اجباری[2] می باشد. جهت کسب اطلاعات بیشتر دربارهٔ این نوع آنالیز به کتاب تئوری ارتعاشات نوشتهٔ تامسون [۵] ، فصل سوم مراجعه نمائید. این آنالیز در Ansys معمولاً پس از انجام آنالیز مودال انجام می گیرد. زیرا دانستن محدودهٔ فرکانس های طبیعی سازه ( توسط آنالیز مودال ) ، جهت بررسی رفتار سازه در این محدوده توسط آنالیز هارمونیک ضروری می باشد. این آنالیز نیز به شکل تقریبی مقدار فرکانس های طبیعی را ارائه می دهد. روش محاسبه بر اساس پاسخ پایدار[3] ودرحالت خطی میباشد وسپس به تحلیل مسئله بر اساس فرکانس های تحریک متفاوت ( فرکانس سینوسی اعمال نیرو ) می پردازد. ودرانتها میتوان به صورت نمودار این پاسخ ها (که میتواند شامل جابجایی ها ، تنش و ...باشد ) را نسبت به فرکانس تحریک رسم نمود و رفتار مدل رادر نواحی مربوط به فرکانس تشدید بررسی نمود (منظورازتشدیدحالتی است که فرکانس نیروی اعمالی با فرکانس طبیعی سیستم برابر میشود ).

**نکته** : آنالیز هارمونیک یک آنالیز خطی است. و عوامل غیرخطی در صورت تعریف شدن در این آنالیز ، نادیده گرفته می‌شود. برای انجام آنالیزهای غیرخطی دینامیکی می توان از آنالیز گذرا استفاده نمود که البته ، از لحاظ مقدار زمانی و حافظه حجم زیادتری را نیاز دارد.

نکتهٔ مهم دیگر که باید به آن توجه کامل داشت ، این است که ، تمام نیروهای اعمالی بر سیستم باید دارای فرکانسهای یکسان باشد. درصورت موجود بودن چند نیرو با فرکانسهای متفاوت باید مساله را برای هر نیرو جداگانه حل نمود. و سپس در General Postprocessor و به کمک Loadcase ؛ نتایج را با یکدیگر جمع نمود.

در نرم افزار Ansys سه روش جهت انجام آنالیز هارمونیک وجود دارد :

**۱) استفاده از روش Full :**

ساده ترین روش انجام آنالیز است این روش ماتریس کامل سیستم را تشکیل می دهد و پاسخ را محاسبه می کند. ماتریس می تواند متقارن یا غیر متقارن باشد مزیت های استفاده از این روش عبارتند از :

۱) نیاز به تعریف Master Degree of Freedom بر روی مدل نیست.

۲) ماتریس کامل سیستم را تشکیل می دهد و نیازی به Mass Matrix Approximation نیست.

---

*1- Harmonic Response* *2- Forced Vibration* *3- Steady State*

۳) ماتریس سیستم می تواند متقارن یا غیرمتقارن باشد.

۴ ) تمام جابجایی ها ، تنش ها و .... در یک مرحله ( Single Pass ) انجام می شود و نیاز به گسترش دادن پاسخ‌ها ندارد.

۵ ) هر نوع بارگذاری دراین روش قابل اعمال است.

**۲ : استفاده از روش Reduced :**

در این روش می توان یک سری مود مورد نظر را بـه نـرم افـزار دیکتـه کـرد. ایـن روش بـرای مدلهای با حجم المان بالا که سرعت محاسباتی کم است بـه کـار مـی رود در ایـن روش دیـگر ماتریس کامل سیستم ساخته نمی شود.

مزیت این روش در بالا بودن سرعت حل مساله نسبت به روش Full است. اما معایبی نـیز دارد. مثلا پاسخ ها را جهت مشاهدهٔ پاسخ نهایی باید گسترش داد و همچنیـن اثـر Prestress در آن قابل اعمال نیست.

**۳ : استفاده از روش Superposition :**

این روش با استفاده از بردارهای ویژه به کمک یک آنالیز مودال به محاسبهٔ پاسخ هارمونیک می پردازد.

مزایای این روش عبارتند از :

۱) از هر دو روش قبل سریعتر است.

۲) پدیدهٔ Prestress قابل اعمال است.

۳) نسبت میرایی می تواند به صورت تابعی از فرکانس منظور شود.

معایب این روش عبارتند از :

اگر در انجام آنالیز مودال از حل کنندهٔ Power Dynamics استفاده شود شرایط اولیـه ( Initial Conditions ) نمی تواند بارگذاریهای قبلی را شامل شود.

**نکته :** در استفاده از هر سه روش فوق به ۴ عامل زیر دقت کنید :

۱) تمام نیروهای وارده بر سیستم باید به صورت سینوسی منظم با زمان تغییر کنند.

۲) تمام نیروها باید از یک فرکانس باشند.

۳) هیچ عامل غیر خطی ( Nonlinear Factor ) نباید تعریف شود.

۴) در صورت منظور شدن عوامل گذرا ( Transient Effects ) بر روی مدل ، از آنها صـرف نظر خواهد شد.

در آنالیز Harmonic هنگام استفاده از روش Full به موارد زیر توجه کنید :

۱) در مراحل مدلسازی در قسمت تعریف خواص مواد حتما مدول الاستیسیته ( Young's modulus ) و چگالـی ( Density ) را تعریـف کنیـد خـواص مـواد مـی تواننـد خطـی از نـوع

Isotropic یا Orthotropic بوده و یا خواص خطی وابسته به دما باشند. خواص مواد غیرخطی در صورت تعریف شدن در آنالیز نادیده گرفته خواهند شد.

۲) برای طراحی مسالهٔ خود همواره قبل از انجام آنالیز هارمونیک یک آنالیز مودال روی مساله انجام دهید تا اطلاع نسبی به محدودهٔ مورد بحث ( از لحاظ تشدید ) داشته باشید.

۳) حل کنندهٔ از نوع Frontal در اکثر مسائل توصیه می شود.

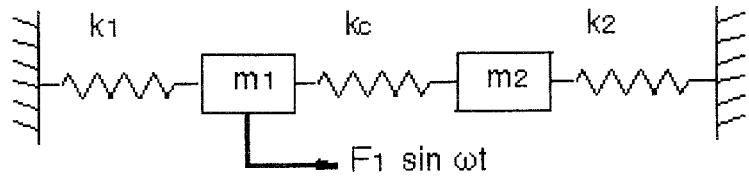
**نکته :** در مسائل هارمونیک باید اثرات میرایی ( Damping Effects ) موجود باشد. این اثرات می توانند یکی از انواع اثرات میرایی زیر باشند :

1) Alpha ( Mass ) Damping
2) Beta ( Stiffness ) Damping
3) Constant Damping Ratio

برای کسب اطلاعات بیشتر درباره این آنالیز می توانید به آدرس زیر مراجعه نمائید :

Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides > ANSYS Structural Analysis Guide > Chapter 4 : Harmonic Response Analysis

**مثال :** سیستم فنر – جرم شکل ( ۱-۳ ) را در نظر بگیرید. نیروی هارمونیک F با مقدار ماکزیمم ۲۰۰ Lb ، بر جرم M1 در جهت محور X اثر می کند مطلوبست محاسبهٔ Xi ( Amplitude Response ) و زاویهٔ فاز ( $\phi_i$ ) برای هر دو جرم M1 , M2 . (فاصلهٔ تکیه گاهها از هم (in) ۱ می باشد)




**شکل ( ۱-۳ ) : سیستم فنر – جرم و نیروی اعمالی**

$$M_1 = M_2 = 0.5 \quad (\text{Lb}\frac{\sec^2}{\text{in}})$$

$$K_1 = K_2 = KC = 200 \ (\frac{\text{lb}}{\text{in}})$$

$$F = 200 \ \text{Sin} \ (\omega t)$$

**اهداف مساله :**

۱) آشنایی با آنالیز پاسخ منظم

۲) مدلسازی به روش مستقیم

۳) آشنایی با دو المان جدید فنر و جرم متمرکز و نحوهٔ استفاده از مقادیر ثابت آنها

**مرحلهٔ اول - تنظیم سیستم واحدها به اینچی :**

برای این منظور در پنجرهٔ ANSYS Input عبارت /Units , BIN را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید.

**مرحلهٔ دوم - تعریف عنوان مساله :**

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Harmonic Response of Two Mass - Spring System را تایپ کنید.

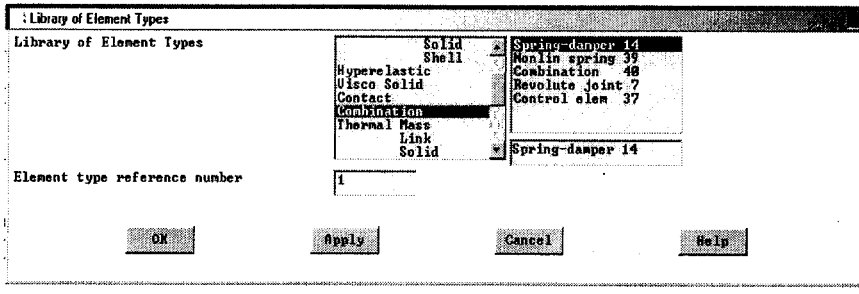
۳) کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ سوم - تعریف المانهای مورد نیاز :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) مطابق شکل ( ۲-۳ ) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از منوی کشیدنی آن عبارت Combination و در پنجرهٔ روبروی آن عبارت Spring - damper14 را انتخاب کنید.




**شکل ( ۲-۳ ) : انتخاب المان فنر - میرا کننده**

۴) کلید Apply را جهت انتخاب المان فوق فشار دهید.

۵) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ آن از منوی کشیدنی آن ، از خانوادهٔ Structural نوع Mass را انتخاب کنید و در پنجرهٔ روبروی آن المان 3D mass 21 را انتخاب کنید.

۶) کلید OK را فشار دهید.

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Close را فشار دهید.

**مرحلهٔ چهارم - تعریف مقادیر ثابت المانها :**

المان Spring – damper14 یک المان فنر با عامل میرایی ایجاد می کنـد و از مقـادیر ثـابت آن ضریب سختی فنر (K) و ضریب میرایی ( CV1 ) است که در این مسـاله ضریـب سـختی فـنر برابر ۲۰۰ و ضریب میرایی برابر ۰/۱ است.

المان 3D Mass 21 یک المان جرم ۳ بعدی است که مقادیر ثابت آن برای این مساله فقـط مقدار جرم و تاثیر جرم در جهت محور X است زیرا حرکت سازه تحت نیروی F یک حرکـت در راستای محور X می باشد.

برای تعریف مقادیر ثابت المان فنر میرا کننده عملیات زیر را انجام دهید :

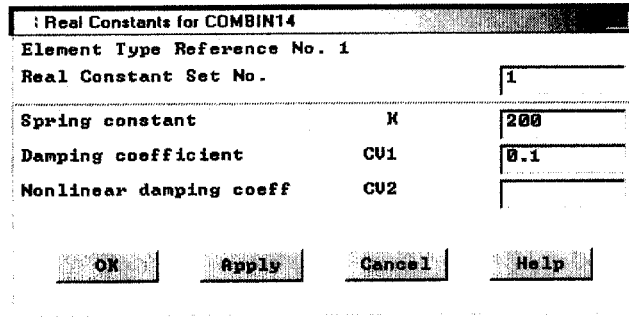
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types for Real Constants المـان نـوع اول یعنـی Type1 را انتخاب کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) مطابق شکل ( ۳-۳ ) درجعبهٔ محاورهٔ Real Constants for COMBIN14 درمقـابل کـادر Spring constant K عدد ۲۰۰ را وارد کنید و در مقابل کادر CV1 Damping coefficient عدد ۰/۱ را وارد کنید.




**شکل ( ۳-۳ ) : وارد کردن مقادیر ثابت المان COMBIN14**

۶) کلید OK را فشار دهید تا جعبهٔ محاورهٔ تعریف مقادیر ثابت المان COMBIN14 بسته شود.

۷) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید.

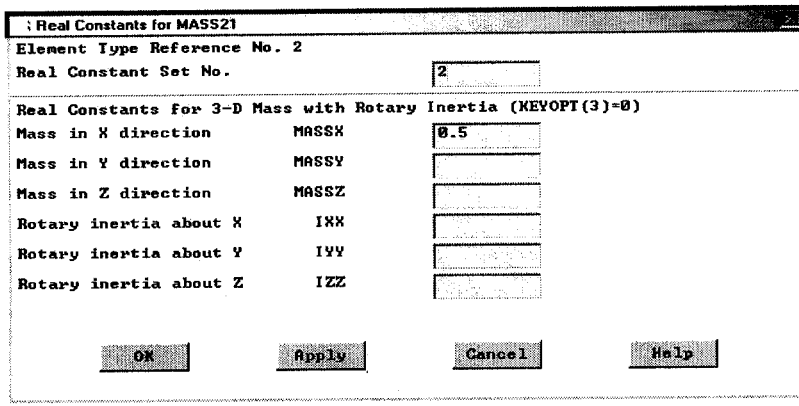
۸) اینباردرجعبـهٔ محـاورهٔ Element Types for Real Constants المـــان دوم MASS 21 Type2را انتخاب کنید.

۹) کلید OK را فشار دهید.

۱۰) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for MASS 21 مطـابق شـکل ( ۴-۳ ) در مقـابل کـادر Mass in X direction MASSX عدد ۰/۵ را وارد کنید.

۱۱) کلید OK را فشار دهید.

۱۲) کلید Close را فشار دهید تا پنجرهٔ تعریف مقادیر ثابت بسته شود.




**شکل ( ۴-۳ ) : تعریف مقدار ثابت المان جرم در جهت محور X**

## مرحلهٔ پنجم - مدلسازی :

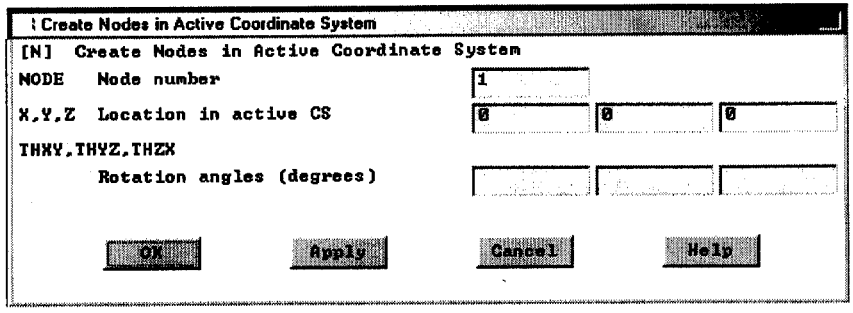
تاکنون تمامی مدلها را به کمک ساختن خطوط ، نقاط ، سطوح و حجم ایجاد کرده اید و سپس شبکه بندی نموده‌اید اما در این مثال قصد داریم از روش تولید مستقیم گره و المان بدون مدلسازی هندسی استفاده کنیم.

در این روش ابتدا گره های مربوط به مدل را می سازید و بین این گره ها المانهای مورد نیاز را قرار می دهید. برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Nodes > In Active CS

...

۲) مطابق شکل ( ۵-۳ )در مقابل کادر NODE Node number عدد ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر X , Y , Z Location in active CS به ترتیب مختصات ۰, ۰, ۰ را وارد کنید.




**شکل ( ۵-۳ ) : پنجرهٔ تولید گرهٔ اول**

۳) کلید Apply را فشار دهید تا گرهٔ اول در مبدا مختصات ساخته شود.

۴) در پنجرهٔ تولید گره اینبار درمقابل کادر NODE Node number عدد ۴ را وارد کـرده و در مقابل کادر X , Y , Z Location in active CS مختصات این گره را Z = 0 و Y= 0 و X = 1 وارد کنید.

۵) کلید OK را فشار دهید.

برای شماره گذاری گره ها مراحل زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Numbering ....

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls گزینهٔ Node numbers را با ماوس فشار دهید تا فعال شود.

۳) کلید OK را فشار دهید.

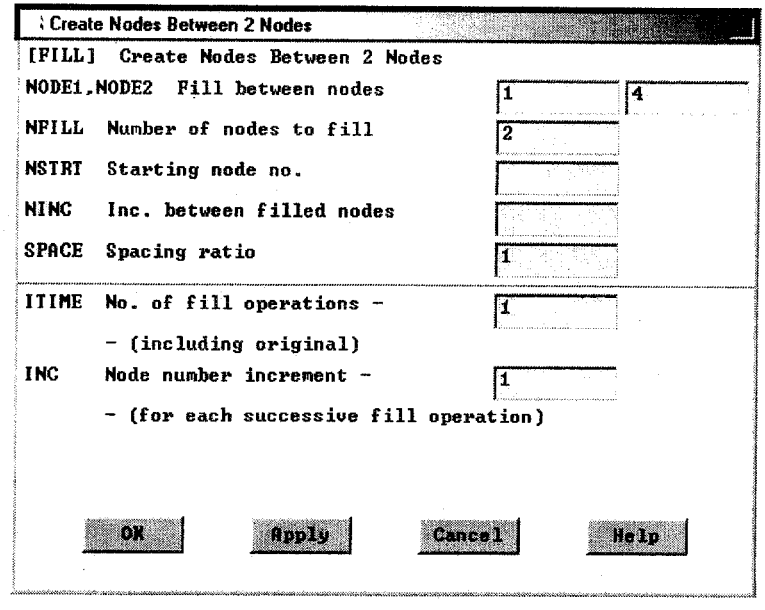
اکنون باید بین دو گرهٔ شمارهٔ ۱ و شمارهٔ ۴ ، گره های شـمارهٔ ۳و ۲ را ایجـاد کنیـد بـرای ایـن منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Nodes > Fill between Nds+

۲) در پنجرهٔ گرافیکی دو گرهٔ شمارهٔ ۱و ۴ را به ترتیب انتخاب کنید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

مطابق شکل ( ۶-۳ ) در جعبهٔ محـاورهٔ Create Nodes Between 2 Nodes در مقـابل کـادر NFILL Number of nodes tofill عدد ۲ را وارد کرده و سپس کلید OK را فشار دهید تـا گره های شمارهٔ ۲و۳ ساخته شوند.




**شکل ( ۶-۳ ) : جعبهٔ محاورهٔ تولید گره بین ۲ گره**

**مرحلهٔ ششم – قرار دادن المان فنر :**

در این مرحله باید بین گره های شمارهٔ ۱و ۲ و سپس بین گره های شمارهٔ ۲و۳ و سپس بین گره های شمارهٔ ۳و۴ المان فنر قرار داد. از آنجائیکه به طور پیش فرض صفات شبکه بندی از لحاظ نوع المان به المان Spring-damper 14 و از لحاظ مقادیر ثابت به مقادیر شمارهٔ ۱ تنظیم است ، پس نیاز به تنظیم صفات شبکه بندی در این مرحله ندارید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered – Thru Nodes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی گره های شمارهٔ ۱و۲ را انتخاب کنید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید. المان اول فنر به صورت یک خط راست ظاهر خواهد شد.

۴) در پنجرهٔ گرافیکی اینبار گره های شمارهٔ ۲و۳ را انتخاب کنید.

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید. تا المان دوم فنر هم به صورت یک خط راست ساخته شود.

۶) این بار در پنجرهٔ گرافیکی گره های شمارهٔ ۳و۴ را انتخاب کنید.

۷) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا المان سوم فنرهم ساخته شود.

**نکته :** خطوط راست فوق هیچ شباهتی به فنر ندارند اما از لحاظ عملکرد شبیه یک فنر که دارای مقادیر ثابت المان Spring-damper 14 می باشد عمل خواهند کرد.

**مرحلهٔ هفتم – تولید المان جرم :**

در این مرحله بر روی گره های شمارهٔ ۲و۳ به ترتیب دو المان جرم قرار می دهیم. قبل از ساخت این المان باید صفات شبکه بندی ( Attributes ) را به المان جرم تغییر دهیم. تا هنگام قرار دادن المان روی گره های شمارهٔ ۲و۳ ، المان از نوع جرم متمرکز قرار داده شود. ومقادیر ثابت آنها هم از نوع مقادیر ثابت المان جرم باشد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > Elem Attributes ....

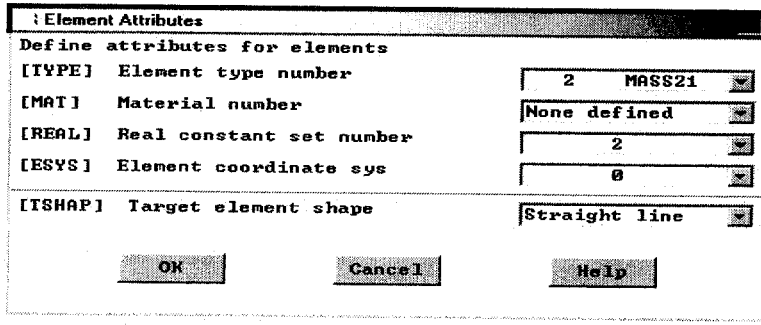
۲) مطابق شکل ( ۷-۳ ) در جعبهٔ محاورهٔ Element Attributes در مقابل کادر [TYPE] Element type number المان نوع دوم را انتخاب کرده و در مقابل کادر [REAL] Real constant number شمارهٔ ۲ را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

4)Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered – Thru Nodes +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۲ را انتخاب کنید

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید. تا المان جرم روی گرهٔ شماره ۲ قرار گیرد.




**شکل ( ۷-۳ ) : تنظیم صفات شبکه بندی به خصوصیات المان جرم متمرکز**

۷) اینبار در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۳ را انتخاب کنید.

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا المان جرم دوم هم ساخته شود.

## مرحلهٔ هشتم - تعریف نوع آنالیز و تنظیمات مربوطه به آن :

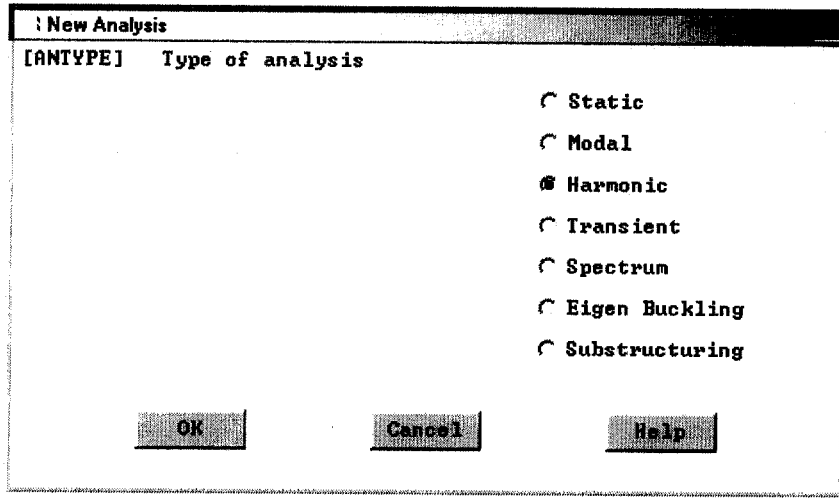
1)Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis ....

۲) مطابق شکل ( ۸-۳ ) در پنجرهٔ باز شده دکمهٔ رادیوئی Harmonic را فعال کنید.

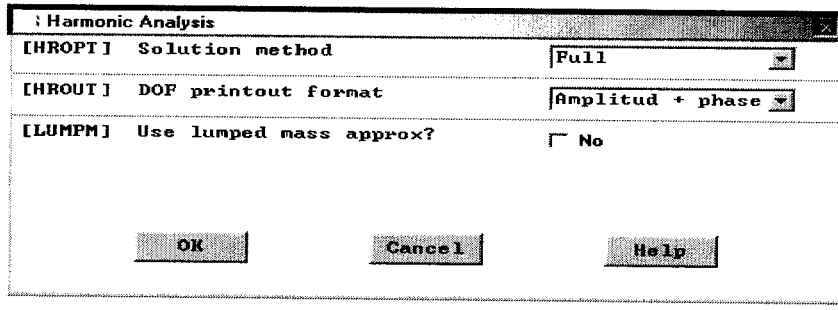
۳) کلید OK را فشار دهید.

4) Ansys Main Menu >Solution > - Analysis Type – Analysis Options...

۵) مطابق شکل( ۹-۳ )درکادر Solution method [HROPT] عبارت Full و درکادر DOF printout format [HROUT] عبارت Amplitud + phase را انتخاب کنید.



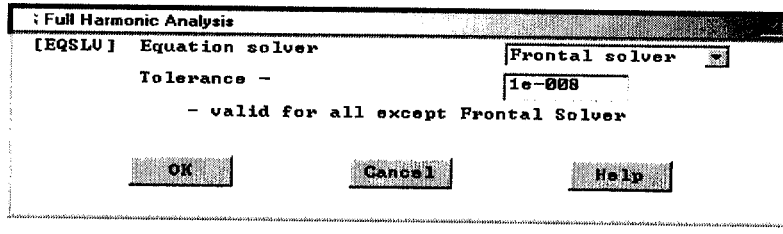

**شکل ( ۸-۳ ) : انتخاب نوع آنالیز Harmonic**




**شکل ( ۹-۳ ) : تعیین روش انجام Full**

۶) کلید OK را فشار دهید.

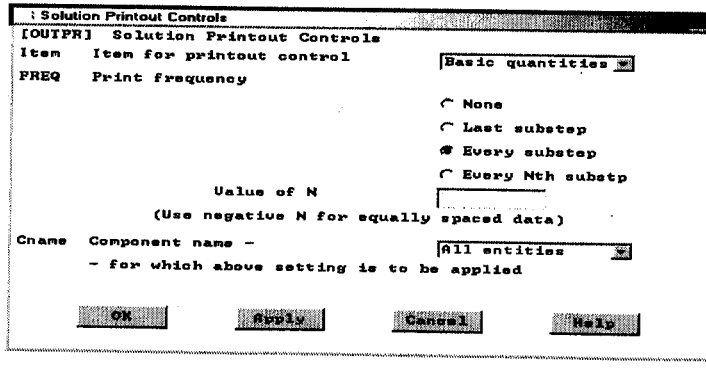
۷) مطابق شکل ( ۱۰-۳ ) جعبهٔ محاورهٔ Full Harmonic Analysis باز خواهد شد در این پنجره پیش فرض حل گر از نوع Frontal solver انتخاب شده است در صورت فعال بودن این حل گر، کلید OK را فشار دهید.




**شکل ( ۱۰-۳ ) : تعیین نوع حل گر مساله**

8) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Output Ctrls > Solu Print Out....

۹) مطابق شکل ( ۱۱-۳ ) در جعبهٔ محاورهٔ Solution Printout Controls در مقابل کادر FREQ Print frequency گزینهٔ Every substep را انتخاب کنید.

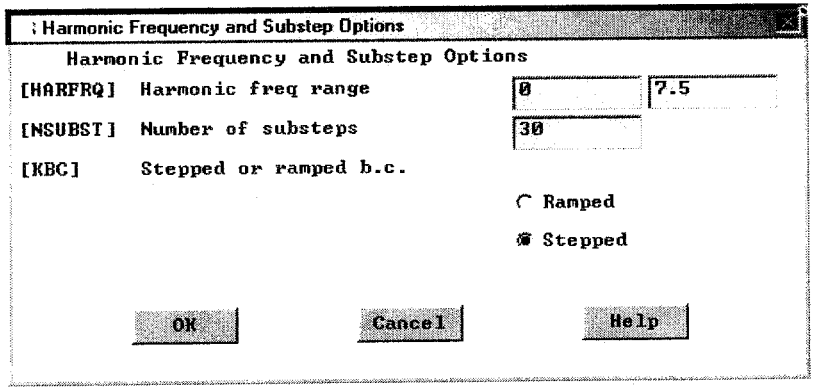



**شکل ( ۱۱-۳ ) : تنظیمات خروجی مساله**

۱۰) کلید OK را فشار دهید.

11)Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time/Frequenc > Freq and Substeps…

۱۲) مطابق شکل ( ۱۲-۳ ) در جعبهٔ محاورهٔ Harmonic Frequency and Substep Options در مقابل کادرHarmonic freq range مقادیر ۰ و ۷/۵ را وارد کنید و در مقابل کادر Number of substeps عدد ۳۰ را وارد کنید ودر مقابل کادر .Stepped or ramped b.c [KBC] گزینهٔ Stepped را فعال کنید مقادیر فوق الذکر بدان معناست که در محدودهٔ فرکانسی ۰ تا ۷/۵ به تعداد ۳۰ نقطهٔ میانی در این محدوده پاسخ فرکانسی محاسبه می شود.




**شکل ( ۱۲-۳ ) : تعیین محدودهٔ پاسخ فرکانسی و تعداد Substep**

۱۳) کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ نهم – بارگذاری بر روی مدل :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > On Nodes

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا همهٔ گره ها انتخاب شوند.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل پنجرهٔ DOFs to be constrained عبارت UY را به کمک ماوس انتخاب کنید تا پررنگ شود.

۴) کلید Apply را فشار دهید تا تکیه گاهها در جهت محور Y روی مدل قرار داده شوند.

۵) این بار در پنجرهٔ گرافیکی گره های شمارهٔ ۱و۴ را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل پنجرهٔ DOFs to be constrained عبارت UY را با ماوس فشار دهید تا کم رنگ و غیر فعال شود سپس عبارت UX را یکبار با ماوس فشار دهید تا پررنگ و فعال شود.

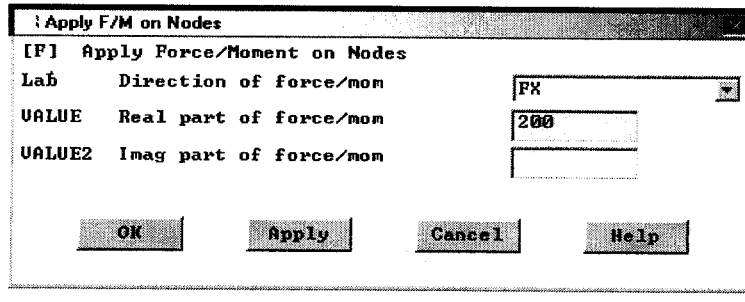
۷) کلید OK را فشار دهید تا تکیه گاهها قرار داده شوند. اکنون دو المان جرم قابلیت حرکت در جهت محور X را دارند ولی در جهت محور Y نمی توانند حرکت کنند و همچنین سیستم در دو انتها قابلیت حرکت در هیچ جهتی را ندارد.

8) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Force/Moment > On Nodes

۹) روی گرهٔ شمارهٔ ۲ در پنجرهٔ گرافیکی یکبار با ماوس فشار دهید تا انتخاب شود. نیرو را روی جرم متصل به این گره وارد کنید.

۱۰) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۱۱) مطابق شکل ( ۱۳-۳ ) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes در مقابل کادر Direction of force/mom از منوی گشودنی آن جهت FX را انتخاب کرده و در کادر VALUE Real part of force / mom مقدار ۲۰۰ را برای قسمت حقیقی نیرو وارد کنید. ($F_{real}$ = 200*COS(0)= 200 )




**شکل ( ۱۳-۳ ) : قرار دادن نیرو بر روی جرم اول**

۱۲) کلید OK را فشار دهید تا نیرو قرار داده شود.

**مرحلهٔ دهم – حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را بخوانید و سپس آنرا ببندید.

۳) درپنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step کلید OK را فشار دهید تا حل مساله شروع شود.

۴) پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done ، حل مساله تمام می شود و می توانید جهت مشاهدهٔ نتایج وارد مرحلهٔ بعد شوید.

**مرحلهٔ یازدهم – مشاهده نتایج در Post 26 ( Time – History ) به صورت نمودار :**

می خواهیم نمودار جابجایی سیستم در جهت X را برای دو جرم M1 , M2 را رسم کنیم. دقت

کنید که در این نمودار باید یک نقطهٔ ماکزیمم (برای هر جرم) وجود داشته باشد. که مربوط به ناحیهٔ فرکانس طبیعی سیستم می شود.

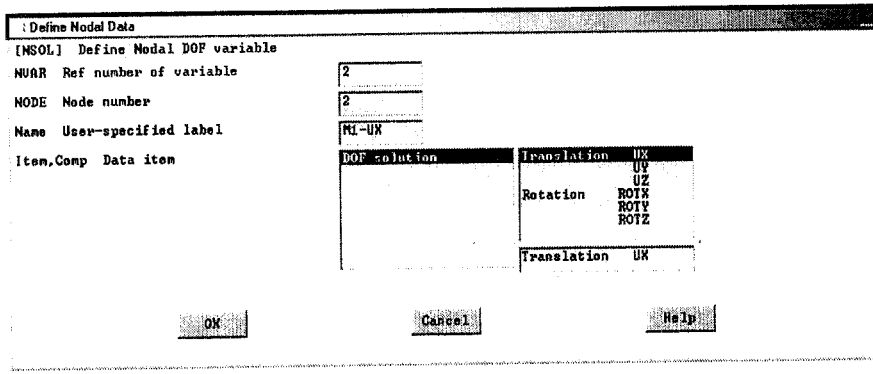
برای جرم M1 مراحل زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Define Variables....

۲) در پنجرهٔ باز شده دکمهٔ Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Add Time – History Variables کلید OK را فشار دهید.

۴) مطابق شکل ( ۱۴-۳ ) در جعبهٔ محاورهٔ Define Nodal Data درمقابل کـادر NVAR Ref number of variable عدد ۲ را وارد کرده و در مقابل کادر NODE Node number عـدد ۲ را وارد کرده و در مقابل کادر specified label – Name User عبارت M1 - UX را وارد کنیـد. سپس در مقابل کادر Item , Comp Data item در پنجرهٔ سمت چپ عبارت DOF solution و در پنجرهٔ سمت راست عبارت Translation UX را انتخاب کنید.




**شکل ( ۱۴-۳ ) : تعریف جابجایی گرهٔ دوم در جهت محور X به صورت متغیر**

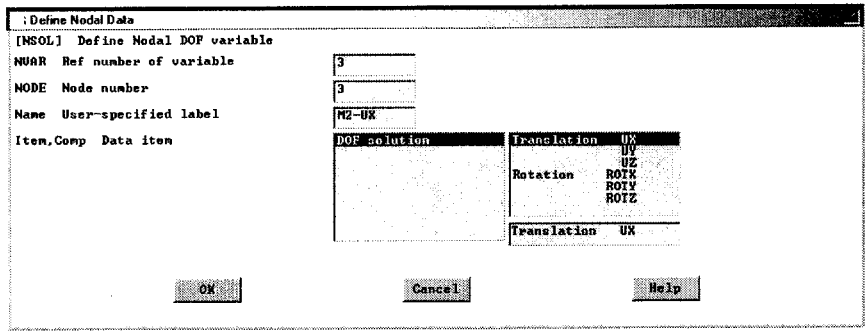
۵) کلید OK را فشار دهید.

برای ساختن متغیر جرم دوم (M2 ) عملیات زیر را انجام دهید :

۱) دوباره کلید Add را در پنجرهٔ فوق فشار دهید.

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Add Time – History Variables کلیـد OK را فشـار دهیـد تـا از همـان پیش فرض Nodal استفاده کند.

۳) مطابق شکل( ۱۵-۳ )درمقابل کادر NVAR Ref number of variable عدد ۳ را واردکنیـد و در مقابل کادر NODE Node number عـدد ۳ راواردکـرده ودرمقـابل کـادر Name User-specified labelعبارت M2 – UX را وارد کنید و درمقـابل کـادر Item,Comp Data item در سمت راست گزینه Translation UX را انتخاب کنید.




**شکل ( ۱۵-۳ ) : تعریف جابجایی گرهٔ سوم درجهت محور X به صورت متغیر**

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) در پنجرهٔ قبلی کلید Close را فشار دهید.

**نکته :** در Time - History می توان فاکتور های متغیر با زمان را به روی نمودار برد بـرای ایـن امر باید متغیرهای وابسته به زمان را که می خواهید به صورت نموداری مشاهده کنید. ابتدا بـه صورت تابعی از زمان تعریف کنید این متغیرها در این مثال جابجایی می باشند. همچنیـن بـاید معین کنید که این متغیر مربوط به کدام گره است.

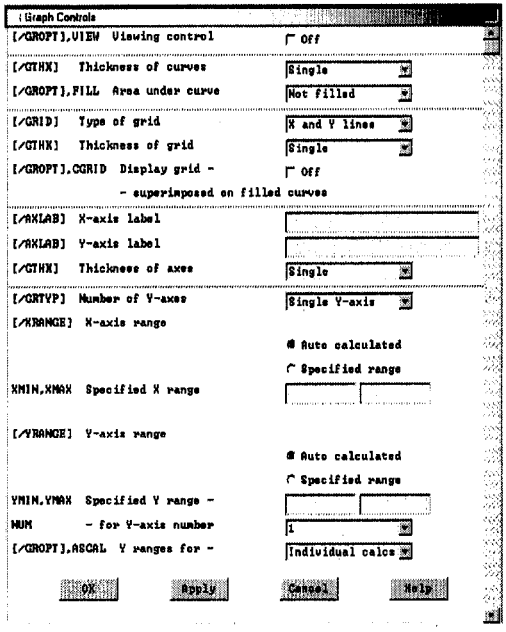
برای مشاهدهٔ نمودار جابجایی دو جرم عملیات زیر را انجام دهید :

1)Ansys Utility Menu> PlotCtrls> Style> Graphs

۲) مطابق شکل ( ۱۶-۳ ) در جعبهٔ محـــاورهٔ Graph Controls در قسمت Type of grid [ /GRID ] عبارت X and Y lines را از منـــوی گشودنی آن انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

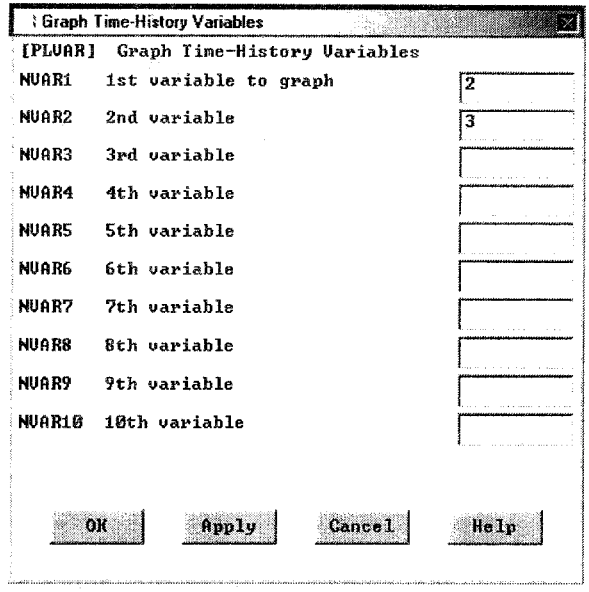
با این عمل پنجرهٔ گرافیکی خـود را به شبکه بنـــدی Y, X مجـهز مـی کنید.




**شکل ( ۱۶-۳ ) : تنظیمات شبکه بندی صفحهٔ گرافیکی**

4) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Graph Variables ....

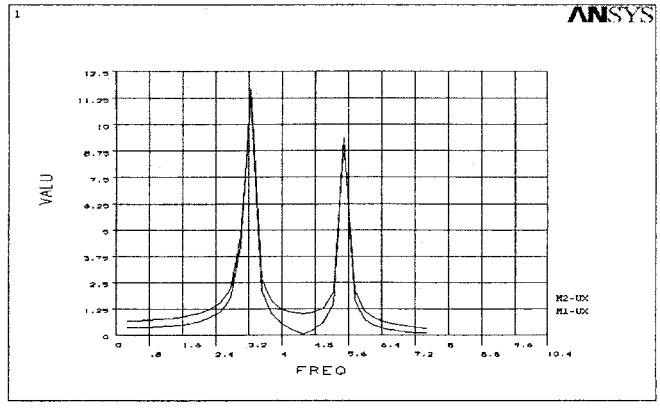
۵) مطابق شکل ( ۱۷-۳ ) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Time-History Variables در مقابل کادر NVAR1 1st variable to graph عدد ۲ را وارد کنید و در مقابل کادر NVAR2 2nd variable عدد ۳ را وارد کنید.




**شکل ( ۱۷-۳ ) : وارد کردن شمارهٔ گره ها جهت رسم متغیر مربوط به هر کدام روی نمودار**

۶) کلید OK را فشار دهید.

اکنون نمودار جابجایی دو جرم برحسب فرکانس تحریک باید مطابق شکل ( ۱۸-۳ ) رسم شود.




**شکل (۱۸-۳ ) : نمودار جابجایی دو جرم برحسب فرکانس تحریک در جهت محور X**

# تمرین چهارم : دینامیکی گذرا[1]

**مقدمه :**

به کمک این آنالیز ( که گاهی اوقات به آن آنالیز Time History هم می گویند ) می توان به محاسبهٔ پاسخ دینامیکی یک سازه تحت تاثیر بارگذاریهای وابسته به زمان پرداخت. در این آنالیز می توان به محاسبهٔ جابجائیها – کرنش ها و تنش ها و نیروهای متغیر با زمان در یک سازه پرداخت. در مسائل خود اگر احساس کردید که تاثیرات اینرسی و میرائی قابل توجه نیست ، می توانید به جای آنالیز دنیامیکی گذرا از آنالیز استاتیکی استفاده کنید. معادلهٔ اصلی یک آنالیز دینامیکی گذرا به صورت زیر است.

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = f(t)$$

که در رابطهٔ فوق M ماتریس جرم سیستم ، C ماتریس میرائی ، K ماتریس سختی ، $\ddot{X}$ بردار شتاب ، $\dot{X}$ بردار سرعت ، X بردار جابجائی و f (t) بردار بار متغیر با زمان است.

برای اطلاعات بیشتر در این مورد به کتاب آنالیز ارتعاشاتی نوشتهٔ ویرک [۷] مراجعه کنید .

**مقدمات شروع آنالیز دینامیکی گذرا :**

این آنالیز معمولاً مشکل تر از یک آنالیز استاتیکی است. و برای محاسبات خود نیاز به امکانات سخت افزاری بیشتری دارد و برای حل هر مسئله زمان بیشتری به کار می رود.

در آنالیز دینامیک گذرا ۳ روش برای نحوهٔ انجام محاسبات ماتریسی موجود است :

**۱) Full Method:**

این روش ماتریس کامل سیستم را تشکیل می دهد و پاسخ آنرا محاسبه می کند این روش قدرتمندترین روش بین ۳ روش موجود است. زیرا قادر خواهید بود در آن خواص غیرخطی نظیر پلاستیسیته ، تغییر شکل بزرگ و .... را منظور کنید.

**نکته :** درصورت منظور نکردن خواص غیرخطی می توانید از دو روش دیگر نیز استفاده کنید.

مزیت های استفاده از این روش عبارتند از :

۱) کاربرد آن آسان است زیرا نیاز به تعریف Master Degree of Freedom بر مدل ندارد.

۲) به کار بردن تمام رفتارهای غیرخطی در آن مجاز است.

۳) ماتریس کامل سیستم را محاسبه می کند.

۴) کل جواب در یک مرحله ( Single Pass ) محاسبه می شود و نیاز به گسترش دادن جوابها ندارد.

---

*1- Transient Dynamic Analysis*

۵) انواع بارگذاریها قابل اعمال هستند.

**۲) Reduced Method :**

این روش با به کار بردن Master Degree of Freedom به کاهش محاسبات ماتریسی می پردازد در نتیجه زمان حل مساله کاهش می یابد. ولی پس از محاسبهٔ جابجائی ها در هر درجهٔ آزادی باید آنها را گسترش داد .

مزیت استفاده از این روش عبارت است از :

۱) سریعتر از روش Full Method است.

معایب استفاده از این روش عبارت است از :

۱) تنها رفتار غیرخطی می تواند از نوع تماس گره با گره باشد.

۲) Automatic Time Stepping کاربرد ندارد. زیرا باید پرش های زمانی با هم برابر باشند.

۳) بعضی بارگذاریها نظیر فشار، دما و .... قابل اعمال نیست.

**۳) Mode Superposition Method :**

با جمع آثار بردارهای ویژه[1] از یک آنالیز مودال ، انجام می شود. مزیت این روش آن است که از هر دو روش قبلی سریعتر است و نسبت میرائی[2] می تواند تابعی از شمارهٔ مود باشد.

معایب : Automatic Time Stepping کاربرد ندارد.

**روش انجام آنالیز Full :**

**۱) ساخت مدل :** در این مرحله می توان هم از المانهای خطی و هم غیرخطی استفاده کرد و در تعریف خواص ماده مدول یانگ (Young's modulus) و چگالی (Density) حتما باید تعریف شود.

**اگر عوامل غیرخطی موجود است از شبکه بندی خوب استفاده کنید و در مناطقی که تمرکز تنش موجود است باید شبکه بندی با دقت انجام شود. و شبکه بندی طوری باشد که بتواند اثرات غیرخطی را احاطه کند.**

**۲) تعریف شرایط اولیه ، بارگذاری و حل :** در این آنالیز باید شرایط اولیه ( Initial Conditions ) همانند هر آنالیز گذرا معلوم باشد درصورت تعیین نکردن شرایط اولیه ، نرم افزار آنها را صفر منظور خواهد کرد در این آنالیز زمان ، عامل مهم در آنالیز است و باید به درستی تعریف شود.

**۳) مشاهدهٔ نتایج در Post1 , Post26.**

---

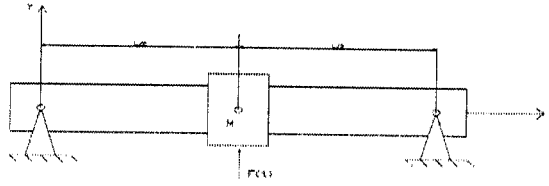
*1- Eigen Vectors*
*2- Damping Ratio*

**روش انجام آنالیز Reduce :**

همانند آنالیز Full است با این تفاوت کـه بـاید Master Degree of Freedom بـر روی مـدل تعریف کرد و پس از رسیدن به جواب ، کلیه جواب ها را Expand کرد تـا جـواب کلـی مسـاله مشخص شود.

## مثال :

یک تیر مطابق شکل ( ۱-۴ ) با سطح مقطع واحد که یک جرم در وسط آن بـه مقـدار M قرار دارد مفروض اسـت تـیر در دو سـر خـود دارای تکیـه گاهـهایی درجـهت محـور Y اسـت مطلوبست محاسبهٔ پاسخ تیر در جهت محور Y ( جابجائی UY ) در صورت اعمال یک بـار کـه زمان برخاست[1] آن $t_r$ است.



**شکل ( ۱-۴ ) : مدل مساله به همراه تکیه گاهها و بار وارده بر آن**

$t_r = 0.075$ (Sec) $\qquad F_{max} = 20$ ( Kips )

$I_{zz} = 800.6 \left(in^4\right)$ $\qquad H = 18$ ( in )

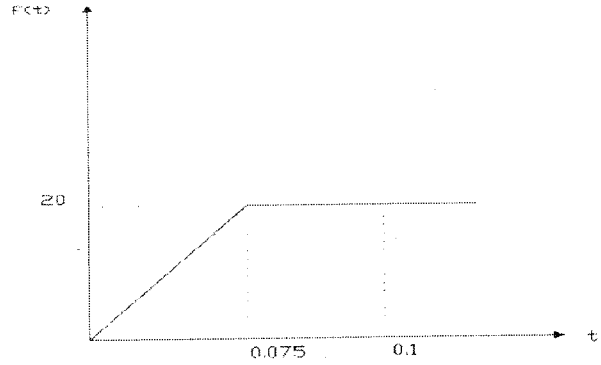
$L = 240$ ( in ) $\qquad E = 30$ E3 ( Kpsi )

$$M = 0.0259067 \left( \frac{Kips - Sec^2}{in} \right)$$

**راهنمایی :**

مساله را در طی دو بارگذاری[2] حل کنید به این صورت که در بارگذاری اول بـار در طـی زمـان برخاست ( برابر ۰/۰۷۵ ثانیه ) به مقدار ماکزیمم خود رسـیده و سـپس در بـارگذاری دوم ، بـار مقدار ثابتی دارد که همان مقدار ماکزیمم بار است زمان را در انتـهای بـارگذاری دوم برابـر ۰/۱ ثانیه در نظر بگیرید. منحنی نیرو برحسب زمان مطابق شکل (۲-۴) می باشد.

*1- Rise Time* *2- Load Step*




**شکل ( ۲-۴ ) : منحنی نیروی اعمالی برحسب زمان[1]**

اهداف این تمرین عبارتند از :

۱) آشنایی با نحوهٔ انجام آنالیزگذرای دینامیکی به روش Full.

۲) آشنایی بیشتر با Time – History

۳) نحوهٔ اعمال بار به شکل مستقیم ( Straight Forward )

**حل :**

**مرحلهٔ اول – تعیین موضوع مساله :**

1) Ansys Utility Menu > File > Chang Title...

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Full Transient Dynamic را تایپ کرده و کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ دوم – تعریف المانهای مورد نیاز :**

در این مساله به دو المان تیر ( Beam ) الاستیک ۲ بعدی و المان جرم متمرکز دو بعدی ( Mass ) نیاز دارید .

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع المان Beam را انتخاب کرده و در پنجرهٔ مقابل آن المان 2-D elastic 3 را انتخاب کنید.

---

*1- Time Amplitude Curve*

۴) کلید Apply را فشار دهید.

۵) در جعبهٔ محاورهٔ فوق اینبار در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع المان Mass را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان 3D mass 21 را انتخاب کنید.

۶) کلید OK را فشار دهید.

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types دکمهٔ Options را فشار دهید. تا جعبهٔ محاورهٔ MASS 21 element type options باز شود.

۸) در پنجرهٔ فوق در مقابل کادر Rotary inertia options (K3) از منوی گشودنی آن عبارت 2–D w/o rot iner را انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید.

۹) جعبهٔ محاورهٔ Element Types را با فشردن کلید Close ببندید.

**نکته :**

انتخاب گزینهٔ فوق برای المان MASS 21 در حقیقت تبدیل کردن رفتار المان به حالت دو بعدی و غیر چرخشی است.

**مرحلهٔ سوم – تعریف مقادیر ثابت المانها :**

در این مساله المان جرم دارای مقدار ثابت جرم برابر ۰/۰۲۵۹۰۶۷ است و المان تیر دارای مقادیر ثابت سطح مقطع (A) برابر ۱ ($in^2$) و ارتفاع ( h ) برابر ۱۸ (in) و ممان اینرسی حول محور z ( $I_{zz}$ ) برابر ۸۰۰/۶ ($in^4$) است.

برای تعریف مقادیر ثابت المان BEAM 3 عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants....

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants دکمهٔ Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants المان نوع اول یعنی Type1 BEAM3 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for BEAM3 مقادیر زیر را به ترتیب در مقابل کادر مربوطه وارد کنید.

Cross – Sectional area ( AREA ) : 1

Area moment of inertia ( IZZ ) : 800.6

Total beam height ( HEIGHT ) : 18

۵) کلید OK را فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants دوباره کلید Add را فشار دهید.

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants این بار المان نوع دوم یعنی Type 2 MASS21 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۸) درجعبهٔ محاورهٔ Real Constants for MASS21 در مقابل کادر MASS 2 – D mass مقدار ۰/۰۲۵۹۰۶۷ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید.

۹) جعبهٔ محاورهٔ Real Constants را با فشار دادن کلید Close ببندید.

**مرحلهٔ چهارم – تعریف خواص ماده :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده ۱ در نظر گرفته شود.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص مادهٔ شمارهٔ یک ، در مقابل کادر Young's modulus ( EX ) مقدار 30E3 را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود.

**مرحلهٔ پنجم – مدلسازی :**

مدل این مساله را به کمک مدلسازی مستقیم بسازید. ابتدا گره های مدل را بسازید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > Nodes > In Active CS...

۲) در پنجرهٔ تولید گره در مقابل کادر Node number عدد ۱ را وارد کرده و برای مختصات X , Y , Z آن به ترتیب اعداد 0 , 0 , 0 را در هر کادر وارد کنید.

۳) کلید Apply را فشار دهید.

۴) این بار در پنجرهٔ تولید گره ، در مقابل کادر Node number عدد ۳ را وارد کنید و برای مختصات آن ( X , Y , Z ) به ترتیب مقادیر 240, 0,0 را در کادر مربوط به هر کدام وارد کنید.

۵) کلید OK را فشار دهید.

6)Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Nodes > Fill beween Nds+

۷) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا گرهٔ شمارهٔ ۱ و سپس گرهٔ شمارهٔ ۳ را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۸) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده ، کلید OK را فشار دهید تا به طور پیش فرض یک گره با شمارهٔ ۲ بین دوگرهٔ شمارهٔ ۱و۳ تولید شود.

9) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > Elements > Elem Attributes...

۱۰) در جعبهٔ محاورهٔ Element Attributes در مقابل کادر Element type number [TYPE ] نوع المان را المان نوع اول یعنی BEAM3 انتخاب کنید و در مقابل کادر Real [REAL] constant set number مقدار ثابت اول یعنی Set1 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

11) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered – Thru Nodes+

۱۲) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا گرهٔ شمارهٔ ۱ و سپس گرهٔ شمارهٔ ۲ را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید Apply را فشار دهید. تا المان تیر اول ساخته شود.

۱۳) دوباره در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۲ و سپس گرهٔ شمارهٔ ۳ را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید. تا المان تیر دوم هم ساخته شود.

اکنون باید المان جرم را در وسط تیر ( روی گرهٔ شمارهٔ ۲ ) قرار دهید برای این منظور ابتدا باید صفات شبکه بندی را به خصوصیات این المان تغییر دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > Elements > Elem Attributes …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Attributes در مقابل کادر Element type number ، [TYPE] المان نوع دوم یعنی MASS21 را انتخاب کرده ودرمقابل کادر Real constant set number ،مقدار ثابت نوع دوم یعنی Set 2 را انتخاب کنید. [REAL]

۳) کلید OK را فشار دهید.

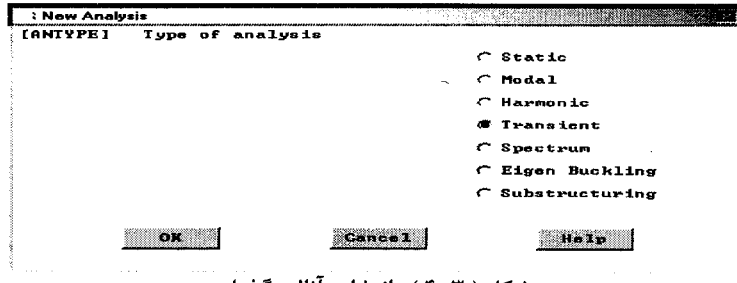
4) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered – Thru Nodes +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۲ را انتخاب کرده و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا المان جرم ساخته شود.

**مرحلهٔ ششم – تعیین نوع آنالیز و تنظیم گزینه های آن :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type - New Analysis …

۲) مطابق شکل ( ۳-۴ ) در پنجرهٔ باز شده ، نوع آنالیز را از نوع Transient انتخاب کنید.

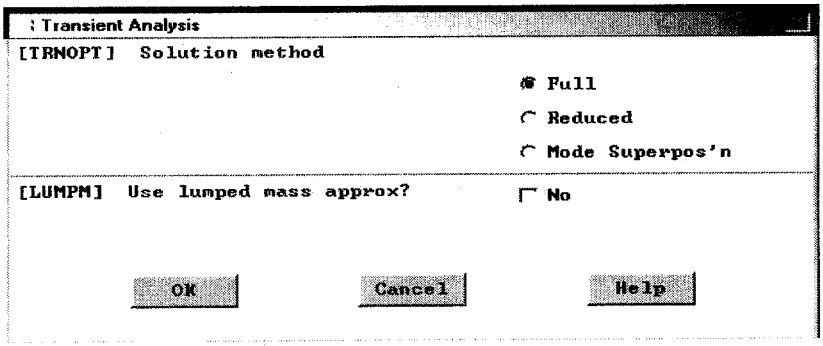



**شکل ( ۳-۴ ) : انتخاب آنالیز گذرا**

۳) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید.

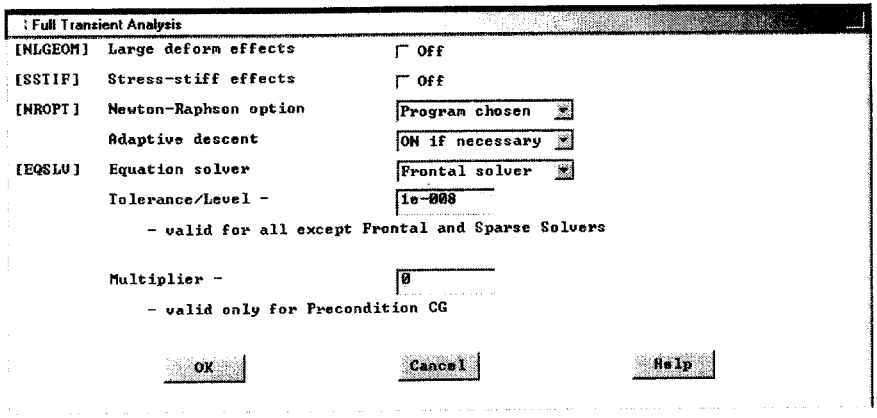
4)Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options…

۵) مطابق شکل(۴-۴) در جعبهٔ محاورهٔ Transient Analysis گزینهٔ Full را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.




**شکل ( ۴-۴ ) : انتخاب روش حل Full**

۶) مطابق شکل ( ۵-۴) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده ، چون مساله تحت بارگذاری اعمال شده ، دارای تغییرات شکل بزرگ نیست ، پس معیار NLGEOM ( هندسهٔ غیر خطی ) را به حالت غیرفعال ( Off ) باقی بگذارید و کلید OK را فشار دهید.




**شکل ( ۵-۴ ) : تنظیم گزینه های حل گر**

### مرحلهٔ هفتم - بارگذاری و حل :

بار اعمال شده در این مساله از نوع Straight Forward است.

### نکته :

شرایط اولیهٔ مساله صفر است و نیاز به تعریف ندارد. در صورت تمایل می توانید مساله را در Load Step اول با شرایط اولیهٔ صفر در زمان خیلی کوچک مثلاً ۰/۰۰۱ ثانیه حل کنید.

برای قرار دادن شرایط مرزی روی مدل عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads - Apply > - Structural Displacement > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۱ و ۳ را انتخاب کرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل پنجرهٔ DOF to be Constrained گزینهٔ UY را به کمک ماوس فعال کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۴) برای جلوگیری از پیغام خطای Rigid Body Motion در هنگام حل مساله باید روی یک یا چند گرهٔ بی تاثیر در حل ، در جهت محور X شرط مرزی قرار دهید. برای این منظور در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۳ را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل کادر DOF to be Constrained عبارت UY را غیرفعال کرده تا کمرنگ شود و سپس عبارت UX را به کمک ماوس فعال کنید تا پر رنگ شود.

۶) کلید OK را در جعبهٔ فوق فشار دهید.

می دانید نیرو در Load Step اول از مقدار صفر به مقدار ماکزیمم ۲۰ می رسد و مدت زمان آن برابر زمان برخاست نیرو ( که برابر ۰/۰۷۵ ثانیه است ) می باشد.

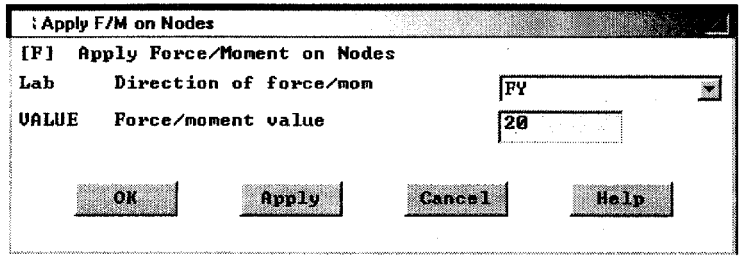
برای قرار دادن نیرو و تنظیمات زمانی آن عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Loads -Apply > -Structural –Force / Moment > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۲ را انتخاب کنید ( گره ای که در وسط مدل قرار دارد ).

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes مطابق شکل (۶-۴) در مقابل کادر Direction of force/mom Lab از منوی گشودنی آن عبارت FY را انتخاب کنید ( که معرف جهت نیرو در جهت محور Y است ) و در مقابل کادر Force / moment value VALUE مقدار ۲۰ را وارد کنید.

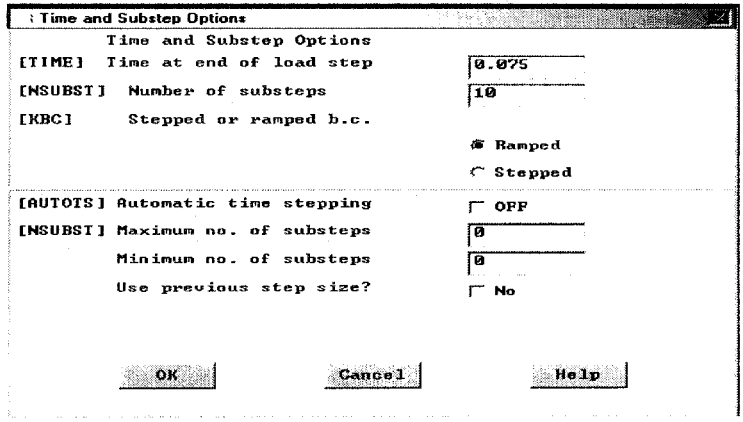



**شکل (۶-۴) : جعبهٔ محاورهٔ قرار دادن نیرو**

۵) کلید OK را فشار دهید.

6) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time and Substeps …

۷) مطابق شکل (۷-۴) درجعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Option درمقـابل کـادر [TIME] Time at end of load step مقـدار ۰/۰۷۵ را وارد کـرده و در مقـابل کـادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۱۰ را وارد کنید.

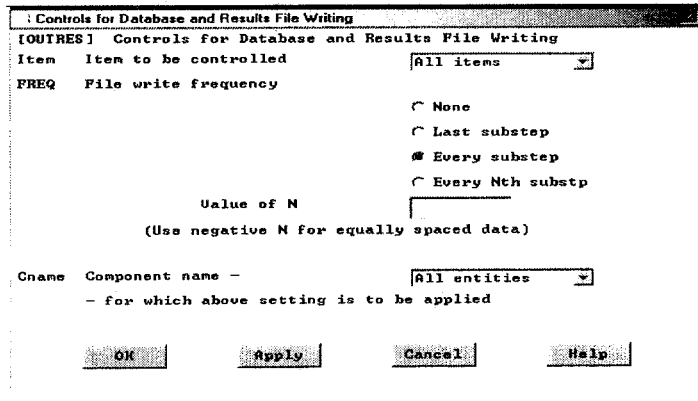



**شکل (۷-۴) : تنظیمات زمانی بارگذاری اول**

۸) کلید OK را فشار دهید.

9) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts - Output Ctrls > DB / Results File ...

۱۰) مطابق شکل (۸-۴) در جعبهٔ محاورهٔ Controls for Database and Results File Writing در مقابل کادر [FREQ] File write frequency گزینهٔ Every substeps را فعال کنید.




**شکل (۸-۴) : تنظیم نوشتن نتایج در یک فایل نتیجه**

۱۱) کلید OK را فشار دهید.

12) Ansys Main Menu > Solution > - Solve- Current LS

۱۳) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ /STAT را خوانده و آنرا ببندید.

۱۴) کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید تا حل مساله شروع شود.

پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done پنجرهٔ مربوطه را ببندید و جهت حل بارگذاری دوم عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time and Substeps...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر Time at end of loadstep عدد ۰/۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

3) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۴) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده وسپس آنرا ببندیدوجهت شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید.

پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ باپیغام Solution is done حل مساله تمام شده است و می توانید جهت مشاهدهٔ نتایج مرحلهٔ بعدی را انجام دهید :

**مرحلهٔ هشتم – مشاهدهٔ نتایج در Post 26 ( Time – History ) :**

1) Ansys Main Manu > TimeHist Postpro > Define Variables ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Defined Time-History Variables دکمهٔ Add را فشار دهید تا جعبهٔ محاورهٔ Add Time-History Variables باز شود. سپس دکمهٔ OK را در این جعبه فشار دهید.

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Define Nodal Data درمقابل کادر NODE Node number عدد ۲ را وارد کنید و سپس در مقابل کادر Item,Comp Data item در پنجرهٔ سمت چپ DOF solution و در پنجرهٔ سمت راست Translation-UY را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۴) با فشردن کلید Close در پنجرهٔ قبلی ، آنرا ببندید.

5) Ansys Main Menu > Time Hist Postpro > Graph Variables ....

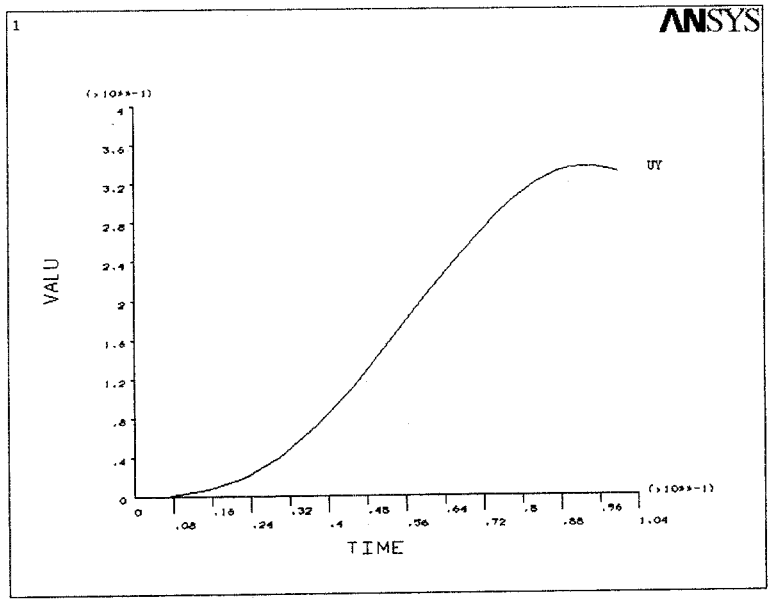
۶) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Time – History Variables در مقابل کادر 1st [NVAR1] variable to graph عدد ۲ را وارد کنید.

۷) کلید OK را فشار دهید.

اکنون مطابق شکل (۹-۴) نمودار جابجایی گرهٔ شمارهٔ ۲ (جرم) در جهت محور Y برحسب زمان رسم می شود.

**نکته :**

کاربر باید سعی کند از روشهای دیگر نیز مساله را تحلیل کند و با انجام مثالهای مختلف آشنایی کامل با این آنالیز پیدا کند .




**شکل (۹-۴) : نمودار تغییرات مکانی گرهٔ ۲ در جهت محور Y برحسب زمان**

# تمرین پنجم : غیرخطی[1]

**مقدمه :**

غیرخطی شدن رفتار یک سازه ، در یک آنالیز سازه ای را می توان تحت دو حالت زیر تقسیم بندی کرد :

۱) **خواص مادهٔ غیرخطی** :

در این حالت خواص غیرخطی در مدل ، ناشی از ویژگیهای غیرخطی ماده است مثلاً قطعه ای که در اثر بارگذاری ، از حد تسلیم می گذرد و وارد ناحیهٔ پلاستیک می شود ، مثال خوبی از این حالت است. در عین حال ماده می تواند رفتاری الاستیک ولیکن غیرخطی داشته باشد که رفتار لاستیک از این نوع است .

۲) **هندسهٔ غیرخطی** :

گاهی اوقات تاثیر رفتار هندسی یک سیستم ، باعث غیرخطی شدن رفتار مدل می شود. به عنوان مثال یک چوب ماهیگیری که در اثر وزن ماهی تغییر شکل بزرگی می دهد ، کرنش با جابجائی رابطهٔ غیرخطی می سازد. در حالیکه ماده هنوز در ناحیه الاستیک قرار دارد. همچنین می توان در یک مدل هر دو عامل غیرخطی شدن فوق وجود داشته باشد ( مثلاً در پدیدهٔ گلویی شدن[2] در کشش ساده )

در نرم افزار ANSYS رفتار پلاستیک ماده به دو نوع پلاستیسیتهٔ وابسته به زمان[3] و پلاستیسیتهٔ مستقل از زمان[4] تقسیم می شود.

**۱) پلاستیسیتهٔ وابسته به زمان :**

در این حالت رابطهٔ زیر برقرار است.

$$\sigma = f(\varepsilon , \varepsilon^{o} , \dots )$$

همانند روابط خزش[5] .

**۲) پلاستیسیتهٔ مستقل از زمان :**

در این حالت رابطهٔ زیر برقرار است.

$$\sigma = f(\varepsilon)$$

همانند مسائل معمول پلاستیسیته .

---

*1- Nonlinear Analysis*
*2- Necking*
*3- Rate Dependent Plasticity*
*4- Rate Independent plasticity*
*5- Creep*

با توجه به اینکه مثال حل شده در این قسمت از نوع دوم است در این قسمت توضیح بیشتری داده خواهد شد . ضمناً خوانندگان را جهت کسب اطلاعات جامع در این زمینه به کتاب مرجع تئوری پلاستیسیته نوشتهٔ چاکرابارتی[1] [۸] توصیه می نماییم .

در تحلیل مسائل پلاستیک ۴ رکن وجود دارد :

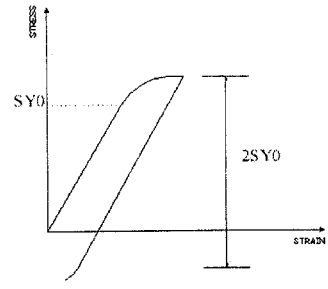
۱- منحنی تنش-کرنش[2] که کاربر می بایست آنرا تعریف کند . این منحنی می تواند به صورت تقریب چند خط باشد که از طریق ورود نقاط متعدد منحنی تعریف می شود .

۲- معیار تسلیم[3] که کاربر باید آنرا انتخاب کند . معیار تسلیم در دسترس برای اکثر فلزات ایزوتروپیک نرم معیار ون مایزز می باشد .

۳- قانون جریان[4] که در نرم افزار Ansys تنها قانون جریان پرانتل روس وجود دارد

۴- معیار سخت شوندگی[5] که دو معیار سخت شوندگی سینماتیک[6] و همسانگرد[7] در Ansys وجود دارد که به طور مختصر توضیح داده می شود .

**الف) سخت شوندگی سینماتیک :** در این نوع مسائل سطح تسلیم ، پس از وارد شدن به محدودهٔ پلاستیک بدون آنکه بزرگتر شود ، جابجا می شود منحنی بارگذاری و باربرداری آن به صورت شکل ( ۱-۵ ) است.

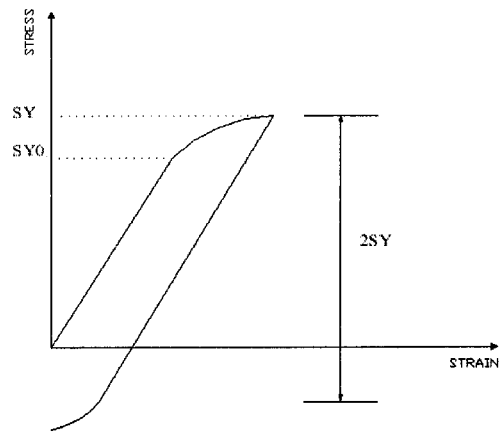



**شکل ( ۱-۵ ) : منحنی بارگذاری و باربرداری در سخت شوندگی**

**ب) سخت شوندگی همسانگرد :** در این نوع مسائل سطح تسلیم ، پس از وارد شدن به محدودهٔ پلاستیک ، بدون آنکه جابجا شود ، بزرگتر می شود. منحنی بارگذاری و باربرداری برای این حالت به صورت شکل (۲-۵) است :

---

*1- Chakrabarty*
*2- Stress – Strain uniaxial Curve*
*3- Yield Criterian*
*4- Flow Rule*
*5- Hardening Rule*
*6- Kinematic Hardening*
*7- Isotropic Hardening*




**شکل ( ۲-۵ ) : منحنی بارگذاری و باربرداری در حالت همسانگرد**

در حل اکثر مسائل غیرخطی با مواردی نظیر Substep , Loadstep , Iteration برخورد می کنید ، که توضیحات مختصری در مورد هر کدام داده خواهد شد :

**Loadstep** : همانطور که از نام آن پیدا است ، به مفهوم مراحل بارگذاری است. به عنوان مثال در یک مخزن که فشار داخلی در آن از مقدار صفر به مقدار ( Mpa ) ۱۰ افزایش می یابد. این بارگذاری یک Loadstep به شمار می آید. سپس می توان در مرحلهٔ بعد این مقدار بار را برداشت که توسط Loadstep جداگانه تعریف می شود .

**Substep** : اجزاء تشکیل دهندهٔ Loadstep است. به عنوان مثال اگر تعداد Substep در مخزن تحت فشار فوق برابر ۵ تعیین شود ، به این معنا است که اعمال بارگذاری فوق در ۵ مرحله انجام می شود و فشار به ترتیب ابتدا ( Mpa) ۲ و سپس۴ و۶ و۸ و۱۰ ( Mpa ) اعمال می شود. همین موضوع را می توان در باربرداری دنبال کرد . توجه کنید چون ماهیت مسائل پلاستیسیته تابع مسیر بارگذاری است ، لذا کاربر ناگذیر از اعمال بار به صورت جزئی[1] است و به همین منظور امکانات فوق در نرم افزار Ansys قرار گرفته است .

**Iteration** : اجزاء تشکیل دهندهٔ Substep است و تعداد حداکثر تکرار ( سعی و خطا ) مساله در هر Substep جهت رسیدن به همگرائی مسائل غیرخطی است.

قابل ذکر است که در هر Iteration ، مساله یکبار حل می شود و از روشهای عددی نظیر Newton Raphson برای رسیدن به همگرایی مساله استفاده می شود.

**Ramped Loading** : در این حالت تابع بارگذاری وارده به صورت خطی خواهد بود.

*1- Incremental*

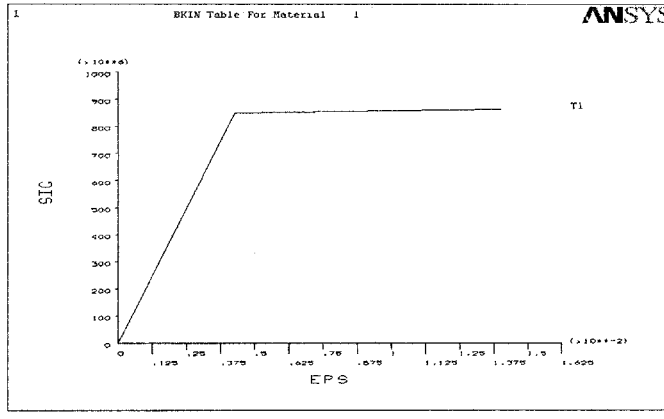
**Stepped Loading** : در این حالت تابع بارگذاری به صورت پله ای است.

**مثال :**

یک سیلندر مخروطی شکل را که در تمرین چهارم فصل مدل سازی ساخته شد در نظر بگیرید. این سیلندر از قسمت پهن انتهایی خود در هر سه جهت ثابت شده است. و یک فشار داخلی از مقدار صفر تا مقدار ماکزیمم ( Mpa ۵۵۶/۸ در بارگذاری اول بر سطوح داخلی آن وارد می شود. ( سیلندر تحت فشار ماکزیمم وارد ناحیهٔ پلاستیک می‌شود ) سپس در بارگذاری دوم فشار داخلی برداشته می شود تا به مقدار صفر برسد (باربرداری). مطلوبست تعیین تنش های پس ماند[1] در این سیلندر تحت بارگذاری و باربرداری اعمال شده بر آن.

Young's Modulus EX = 200 (GPa)
Poisson's ratio (minor) NUXY = 0.3
Tangent Modulus $E_t$ = 1380 (MPa)
Yield Stress $Y_s$ = 850 (MPa)

منحنی تنش – کرنش مطابق شکل ( ۳-۵ ) با توجه به مقادیر $E_t$ , SIG معلوم رسم شده است.




**شکل ( ۳-۵ ) : منحنی تنش – کرنش ماده**

منحنی فشار برحسب زمان به صورت شکل ( ۴-۵ ) نشان داده شده است.

**راهنمایی :**

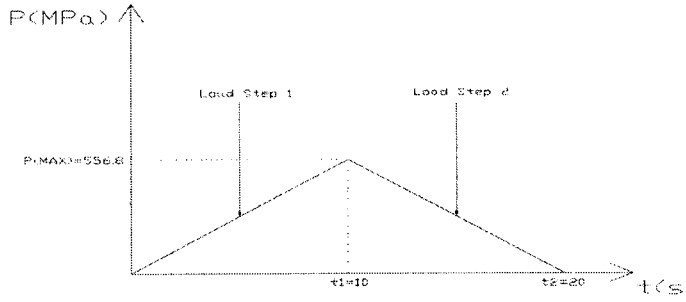
در این مساله با توجه به وجود تقارن محوری ، می توان یک مقطع طولی دو بعدی از مساله و یا یک قطاع از آن را مدل سازی کرده و تحلیل نمود. در این مثال از یک قطاع ۹۰ درجه استفاده شده است.

**اهداف این تمرین عبارتند از :**

---

*1- Residual Stresses*

۱) آشنایی با اعمال خواص غیرخطی ماده
۲) آشنایی با Substep , Loadstep
۳) آشنایی با حل مسائل درحالت تقارن محوری




**شکل (۴-۵) : منحنی فشار بر حسب زمان**

**حل :**

## مرحلهٔ اول - تنظیم موضوع مساله :

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title....

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Residual Stress in The Cylinder را تایپ کـرده و کلیـد OK را فشار دهید.

## مرحلهٔ دوم - تنظیم سیستم واحدها :

در پنجرهٔ Ansys Input عبارت /units , SI را تایپ کرده و کلید Enter را فشار دهید.

### مرحلهٔ سوم - تعیین المانهای مورد نیاز :

با توجه به تمرین چهارم از فصل مدلسازی از ۲ المان PLANE82 , SOLID95 استفاده کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چـپ از خـانوادهٔ Structural نوع Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان Quad 8node 82 را انتخاب کنید.

۴) کلید Apply را فشار دهید.

۵) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types اینبار در پنجـرهٔ سـمت راسـت المـان Brick 20node 95 را انتخاب کنید.

۶) کلید OK را فشار دهید.

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Close را فشار دهید.

**مرحلهٔ چهارم - تعریف خواص ماده :**

با توجه به اینکه مدل تحت بار اعمال شده ، وارد ناحیهٔ پلاستیک می شود ، بنابراین علاوه بر تعریف مدول الاستیسیته و ضریب پواسون باید منحنی تنش - کرنش نیز برای نرم افزار تعریف شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor >Material Props > - Constant – Isotropic...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده ۱ در نظر گرفته شود.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص ماده ، در مقابل کادر EX Young's modulus مقدار 200E9 را وارد و در مقابل کادر NUXY ( minor ) Poisson's ratio عدد 0.3 را وارد کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود.

اکنون جهت تعریف منحنی تنش - کرنش مادهٔ شمارهٔ ۱ عملیات زیر را انجام دهید. برای تعریف منحنی تنش- کرنش از منحنی ( BKIN ) استفاده کنید

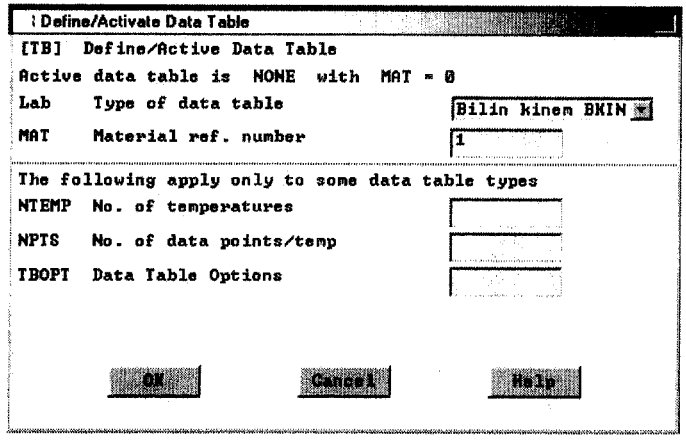
1) Ansys Main Menu > Preprocessor >Material Props > Data Tables > Define/Activate...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Define/Activate Data Table مطابق شکل ( ۵-۵ ) در مقابل کادر Lab Type of data table ازمنوی گشودنی آن نوع Bilin kinem BKIN را انتخاب کرده ودرمقابل کادر MAT Material ref. number عدد ۱ را وارد کنید.

۳ ) کلید OK را فشار دهید.

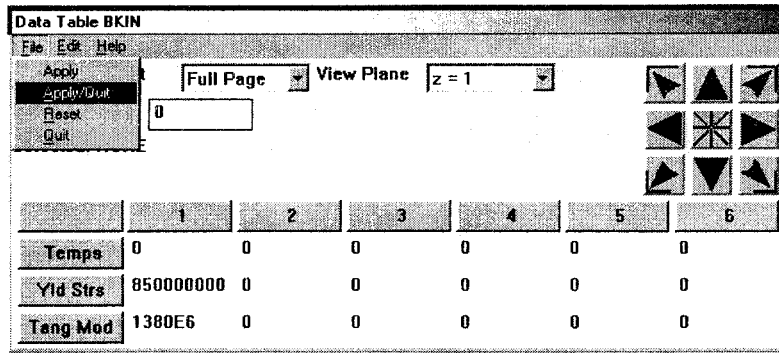
**نکته :** در صورت وابسته بودن منحنی به دما باید کادرهای مربوط به دما نیز در جعبهٔ محاورهٔ فوق تنظیم شوند.

4) Ansys Main Menu > Preprocessor >Material Props > Data Tables >Edit Active...




**شکل (۵-۵ ) : تنظیم نوع منحنی و شمارهٔ مادهٔ مرجع جهت تعریف منحنی تنش - کرنش**

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Data Tables BKIN مطابق شکل ( ۶-۵ ) در مقابل کادر Yld Strs عدد 850E6 و در مقابل کادر Tang Mod عدد 1380E6 را وارد کنید و از منوی File در همان جعبه گزینهٔ Apply/Quit را انتخاب کنید.




**شکل ( ۶-۵ ) : تعریف تنش تسلیم و مدول مماسی جهت تعریف منحنی تنش – کرنش**

اکنون با توجه به مدول الاستیسیته ( EX ) و مقادیر تنش تسلیم و مدول مماسی منحنی تنش – کرنش تعریف شده است . رفتار ماده عملا با سخت شوندگی خطی است . برای مشاهدهٔ این منحنی عملیات زیر را انجام دهید.

6) Ansys Main Menu > Preprocessor >Material Props > Data Tables >Graph...

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Data Tables کلید OK را فشار دهید تا منحنی تنش – کرنش در صفحهٔ گرافیکی ترسیم شود.

**مرحلهٔ پنجم – مدلسازی :**

مدلسازی این مساله دقیقا مطابق تمرین چهارم در فصل مدلسازی انجام می شود با توجه به اینکه دراین مساله فقط ربع مدل ( با توجه به تقارن محوری ) مدل می شود بنابراین پس از ساختن مدل سطح مقطع و شبکه بندی آن در هنگام دوران سطح به جای زاویهٔ دوران ۳۶۰ درجه در هنگام عمل Sweep ، زاویهٔ دوران را ۹۰ درجه تعریف کنید و فراموش نکنید که حتما المانهای دو بعدی PLANE82 را از روی مدل پاک کنید و عمل ممزوج کردن را نیز انجام دهید.

**مرحلهٔ ششم – بارگذاری :**

1)Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis...

۲) در پنجرهٔ باز شده نوع آنالیز را از نوع Static انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید.

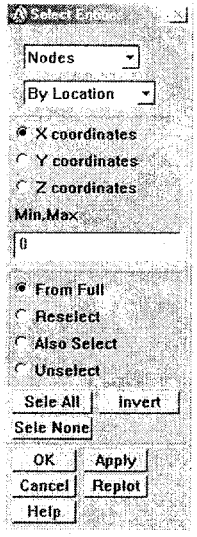
3) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options...

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Static or Steady State Analysis کلید OK را فشار دهید تا پیش فرضهای آن ثبت شود.

**نکته :**

مساله از نوع تغییر شکل بزرگ نمی باشد و معیار NLGEOM در پنجرهٔ فوق باید درهمان حالت غیرفعال ( Off ) باقی بماند.

اکنون باید شرایط مرزی بر روی گره های سطح مقطع پهن سیلندر اعمال شود. برای این منظور باید ابتدا به کمک جعبه ابزار Select Entities گره های این سطح مقطع را انتخاب کرد و سپس شرایط مرزی را اعمال نمود.




1)Ansys Utility Menu > Plot > Areas

2) Ansys Utility Menu > Select > Entities...

۳) مطابق شکل ( ۷-۵ ) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول از منوی گشودنی آن عبارت Nodes ودرقسمت دوم عبارت By Location را انتخاب کرده و سپس در زیر آن گزینهٔ X coordinates را فعال کنید و در کادر Min , Max عدد صفر (۰) را وارد کنید.

۴) دقت کنید که در جعبه ابزار فوق گزینهٔ From Full فعال باشد سپس کلید OK را دراین پنجره فشار دهید.

5) Ansys Utility Menu > Plot >Nodes

اکنون باید در پنجرهٔ گرافیکی گره های مورد نظر انتخاب شده باشند.

**شکل ( ۷-۵ ) : تنظیمات در جعبه ابزار Select Entities**

6) Ansys Main Menu> Solution> -Loads -Apply> -Structural -Displacement > On Nodes +

۷) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes درمقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained از پنجرهٔ مقابل آن گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

9) Ansys Utility Menu > Select > Everything

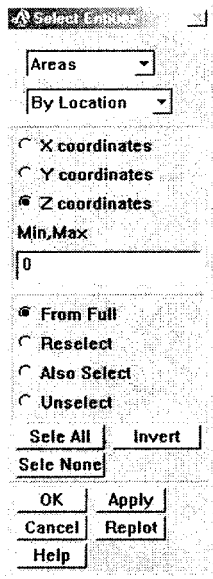
با توجه به آنکه مساله در حالت تقارن محوری حل می شود ، بنابراین باید در مناطق برش خورده شرط ثابت بودن در جهت مماسی ارضا شود برای این منظور باید بر روی ۶ سطح برش خورده ، این شرط را برقرار کرد .

برای این منظور ابتدا باید سطوح برش خورده را انتخاب کنید و برای انتخاب این سطوح با توجه به آن که از ۶ سطح مزبور ، ۳ سطح در سیستم مختصات دکارتی از لحاظ موقعیت مکانی

نسبت به محور Z در موقعیت صفر قرار دارند و ۳ سطح دیگر در سیستم مختصات استوانه ای از لحاظ موقعیت زاویه ای ، در موقعیت زاویه ای صفر قرار دارند ، عمل کنید

جهت انتخاب ۳ سطح اول در سیستم مختصات دکارتی عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities...




۲) مطابق شکل ( ۸-۵ ) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول از منوی گشودنی آن عبارت Areas و درقسمت دوم از منوی گشودنی آن عبارت By Location را انتخاب کرده وسپس در زیر آن گزینهٔ Z coordinates را فعال کنید و در کادر Min , Max عدد صفر ( ۰ ) را وارد کنید. و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد.

۳) کلید Apply را فشار دهید.

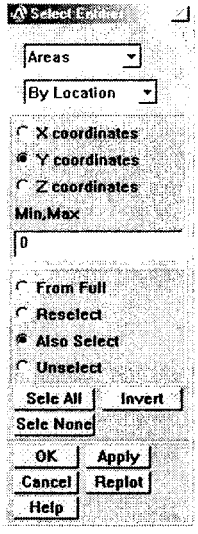
4) Ansys Utility Menu > Plot >Areas

اکنون جهت اضافه نمودن۳ سطح دیگر به سطوح انتخاب شدهٔ فوق عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to >Global Cylindrical

2) Ansys Utility Menu > Select > Entities...

**شکل (۸-۵) : انتخاب سطوح تقارن در موقعیت مکانی صفر**



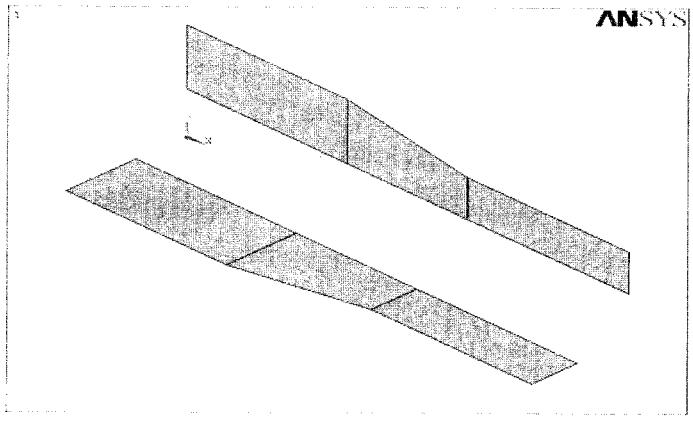

۳) در جعبه ابزار Select Entities مطابق شکل ( ۹-۵ ) در قسمت اول گزینهٔ Areas و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را از منوی گشودنی هرکدام انتخاب کرده و سپس در زیر آن معیار Y coordinates را فعال کنید. ( در اینجا Y در مختصات قطبی همان زاویه است ) سپس در کادر Min , Max مقدار صفر ( بیانگر زاویهٔ صفر ) را وارد کرده و اینبار به جای گزینهٔ From Full ، گزینهٔ Also Select را فعال کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

5) Ansys Utility Menu > Plot >Areas

اکنون باید سطوح مطابق شکل ( ۱۰-۵ ) انتخاب شده باشد.

**شکل (۹-۵ ) : اضافه کردن ۳ سطح دیگر به سطوح انتخاب شدهٔ قبلی**



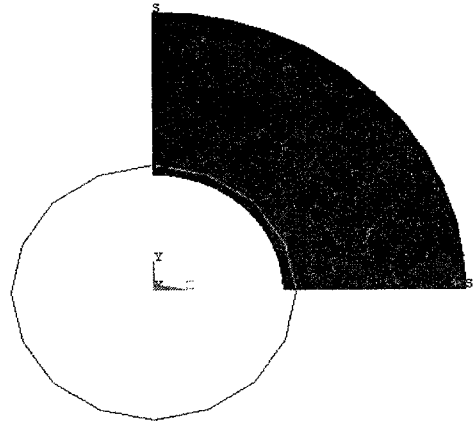

**شکل ( ۱۰-۵ ) : سطوح تقارن انتخاب شده در پنجرهٔ گرافیکی**

6) Ansys Utility Menu > Change Active Cs to > Global Cartesian
7) Ansys Main Menu >Solution >- Loads - Apply >- Structural -Displacement > - Symmetry B.C. - On Areas +
۸) در پنجرهٔ گرافیکی ۶ سطح را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.
9) Ansys Utility Menu > Select > Everything
10) Ansys Utility Menu > Plot >Areas

اکنون باید فشار داخلی ماکزیمم بر روی گره های سطوح داخلی مدل قرار داده شود بنابراین باید ابتدا گره های داخلی مدل را انتخاب کرد.

انتخاب گره های این مدل مطابق تمرین ششم فصل مدلسازی صورت می گیرد برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate...
۲) در جعبه ابزار Pan – Zoom - Rotate دکمهٔ Left را فشار دهید تا نمای دید از قسمت پهن انتهایی مدل شود.
3) Ansys Utility Menu > Select > Entities...
۴) در جعبه ابزار Select Entities در کادر اول گزینهٔ Areas و در کادر دوم گزینهٔ By Num/Pick را انتخاب کرده و دقت کنید گزینهٔ From Full فعال باشد سپس کلید Apply را فشار دهید.
۵) در پنجره انتخاب به جای معیار انتخاب Single معیار انتخاب Circle را فعال کنید.
۶) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل ( ۱۱-۵ ) با ماوس در مبدا مختصات یکبار دکمهٔ ماوس را فشار دهید و بدون رها کردن آن ، ماوس را طوری حرکت دهید تا دایره ای ساخته شود که فقط سطوح داخلی مدل را در برگیرد. و سپس دکمهٔ ماوس را رها کنید.

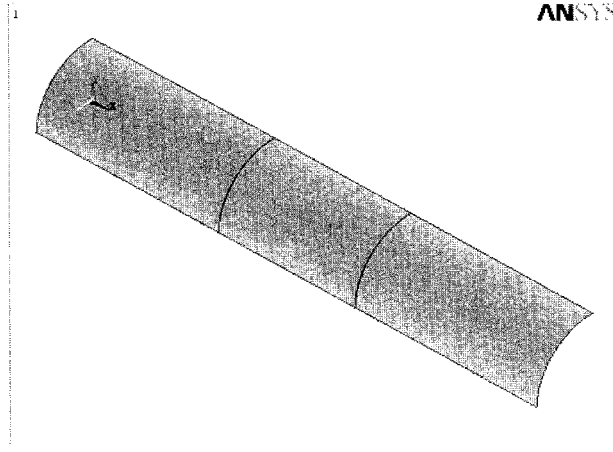


**شکل ( ۱۱-۵ ) : انتخاب سطوح داخلی توسط دایرهٔ انتخاب**

۷) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

8) Ansys Utility Menu > Plot >Areas

۹) در جعبه ابزار Pan – Zoom - Rotate دکمهٔ Iso را فشار دهید تا نمای دید سه بعدی شود. اکنون باید سطوح داخلی مطابق شکل ( ۱۲-۵ ) مشاهده شوند.




**شکل ( ۱۲-۵ ) : سطوح داخلی انتخاب شده**

۱۰ ) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول عبارت Nodes و در قسمت دوم عبارت Attached to را از منوی گشودنی هر کدام انتخاب کرده و در زیر آن دکمهٔ رادیوئی Areas , all را انتخاب کنید و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و کلید OK را فشار دهید.

11) Ansys Utility Menu > Plot >Nodes

اکنون باید کلیهٔ گره های داخلی مدل انتخاب شده باشد.

برای قرار دادن فشار داخلی ماکزیمم روی این گره ها عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu >Solution >- Loads – Apply > - Structural – Pressure > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply PRES on Nodes در مقابل کادر VALUE Pressure value مقدار 556.8E6 را وارد کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

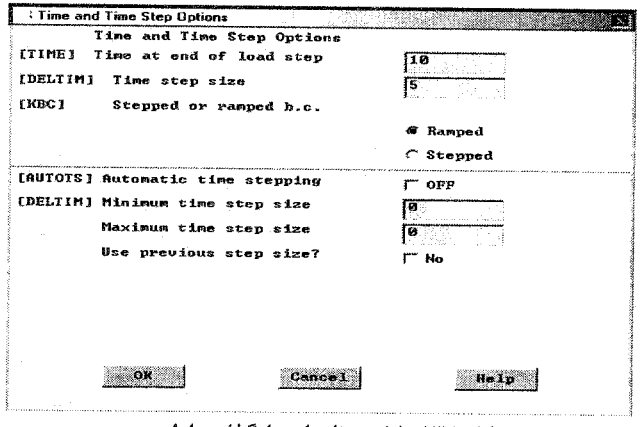
5) Ansys Utility Menu > Select > Everything

## مرحلهٔ هفتم – تنظیمات بارگذاری اول و حل آن :

در بارگذاری اول بار از مقدار صفر به ماکزیمم می رسد بنابراین باید معیار زمان را تنظیم کرد.

1) Ansys Main Menu >Solution >- Load Step Opts – Time/Frequenc > Time – Time Step...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Time Step Options مطابق شکل ( ۱۳-۵ ) درمقابل کادر [Time] Time at end of loadstep عدد ۱۰ را وارد کرده و در مقابل کادر [DELTIM] Time step size عدد ۵ را وارد کنید.



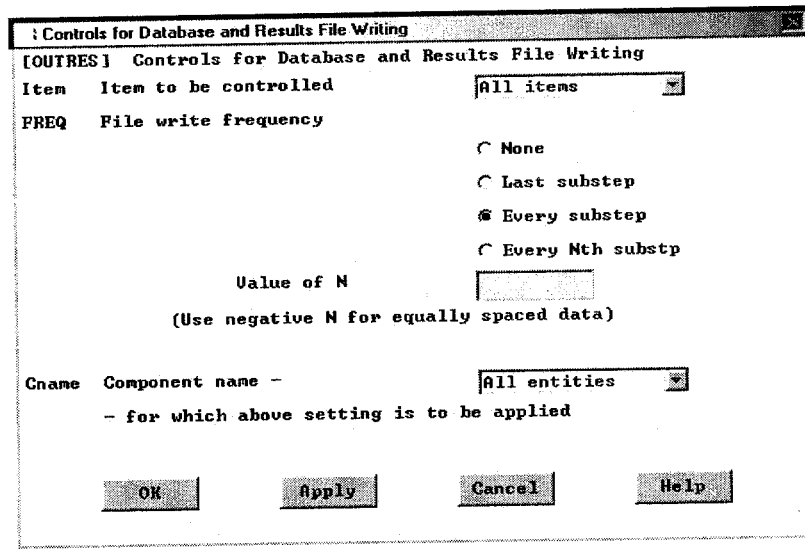

**شکل ( ۱۳-۵ ) : تنظیمات بارگذاری اول**

۳) کلید OK را در جعبهٔ محاورهٔ فوق فشار دهید.

برای اینکه فایل نتیجهٔ خود را ذخیره کنید ( تا در آینده بتوانید نتایج را مرور کنید ) عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu >Solution >- Load Step Opts –Output Ctrls > DB/Results File...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Controls for Database and Results File Writing مطابق شکل(۱۴-۵ ) در مقابل کادر FREQ File wirte frequency گزینهٔ Every substep را انتخاب کنید.




**شکل ( ۱۴-۵ ) : تنظیم گزینهٔ ذخیرهٔ نتایج مساله**

۳) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید.

اکنون مساله آماده حل است جهت حل بارگذاری اول عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu >Solution >-Solve – Current LS.

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ STAT/ را خوانده و سپس این پنجره را ببندید.

۳) جهت شروع حل مساله در پنجرهٔ Solve Current Load Step کلید OK را فشار دهید.

۴) زمان حل مساله احتمالا کمی طولانی خواهد بود ( به علت غیرخطی بودن مساله ) به هر حال بستگی به سرعت کامپیوتر دارد. پس از مشاهدهٔ پیغام پنجرهٔ زرد رنگ Solution is done کلید Close را در این پنجره فشار دهید.

اکنون می توانید مستقیما بارگذاری دوم را تنظیم و حل کنید یا اینکه ابتدا نتایج بارگذاری اول را در General Postprocessor مشاهده کنید اگر در General Postprocessor به مشاهدهٔ کانتور تنش معادل von Mises بپردازید مشاهده خواهید کرد که تنش ماکزیمم در مدل از تنش تسلیم بیشتر خواهد بود.

**مرحلهٔ هشتم – حل بارگذاری دوم (باربرداری) :**

**نکته :**

اگر در مرحلهٔ قبل جهت مشاهدهٔ نتایج از Solution خارج شدید و به General Postprocessor رفتید ، قبل از شروع حل بارگذاری دوم باید طبق مسیر زیر یکبار عمل Restart را انجام دهید در غیر اینصورت نتایج حل بارگذاری دوم جایگزین نتایج قبلی می شود.

1) Ansys Main Menu >Solution > - Analysis Type – Restart…

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید.

با توجه به اینکه در بارگذاری دوم فشار داخلی از مقدار ماکزیمم به مقدار صفر می رسد ( طی ۵ مرحله (Substep) ) ، بنابراین باید ابتدا فشار داخلی را از روی مدل بردارید.

1) Ansys Main Menu >Solution >- Loads – Delete > - Structural – Pressure > On Nodes +

۲) کلید Pick All را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا فشار داخلی از روی تمام گره ها برداشته شود.

اکنون باید تنظیمات زمانی و تعداد ۵ عدد Substep را در این بارگذاری تعیین کرد.

1) Ansys Main Menu >Solution >- Load Step Opts – Time/Frequenc > Time and Substeps…

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substeps Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of loadstep عدد ۲۰ را وارد کرده و در مقابل کادر [NSUBST ] Number of substeps عدد ۵ را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

4) Ansys Main Menu >Solution >-Solve - Current LS.

۵) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید.

۶) جهت حل بارگذاری دوم کلید OK را در پنجرهٔ Solve Current Load Step فشار دهید.

۷) پس از مدتی ( با توجه به سرعت کامپیوتر ) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زرد رنگ Solution is done حل مساله کامل است.

**مرحلهٔ نهم – مشاهدهٔ نتایج :**

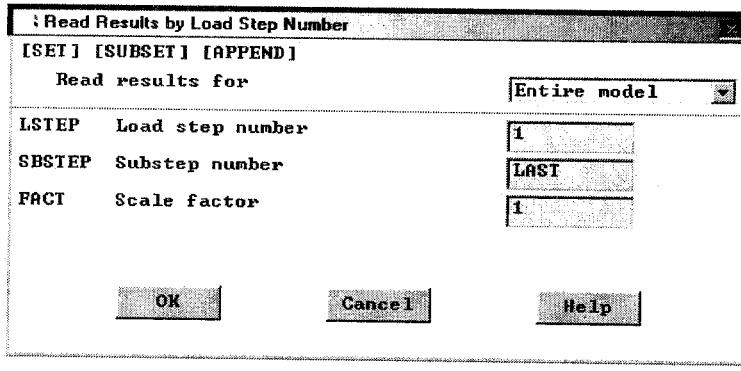
1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results - By Load Step…

۲) مطابق شکل ( ۱۵-۵ ) در جعبهٔ محاورهٔ Read Results by Load Step Number جهت خواندن نتایج بارگذاری اول و Substep آخر( لحظه ای که بار به مقدار ماکزیمم خود می رسد ) در مقابل کادر LSTEP Load step number عدد ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر SBSTEP Substep number عبارت LAST را وارد کنید.

۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu…

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ von Mises SEQV را انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید تا کانتور تنش معادل ون مایز ترسیم شود.




**شکل ( ۱۵-۵ ) : خواندن نتایج بارماکزیمم**

اکنون می خواهید مقدار تنش پس ماند در سیلندر مخروطی را مشاهده کنید.

1)Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – By Load Step...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Read Results by Load Step Number در مقابل کادر LSTEP Load step number عدد ۲ را وارد کرده و در مقابل کادر SBSTEP Substep number عبارت LAST را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا نتیجهٔ آخر خوانده شود.

4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data درمقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ چپ گزینهٔ Stress و در پنجرهٔ سمت راست عبارت S1 1st principal را انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید و کانتور تنش اصلی اول را بر روی مدل مشاهده کنید.

۶) عملیات فوق را برای تنش های اصلی دوم و سوم نیز تکرار کنید.

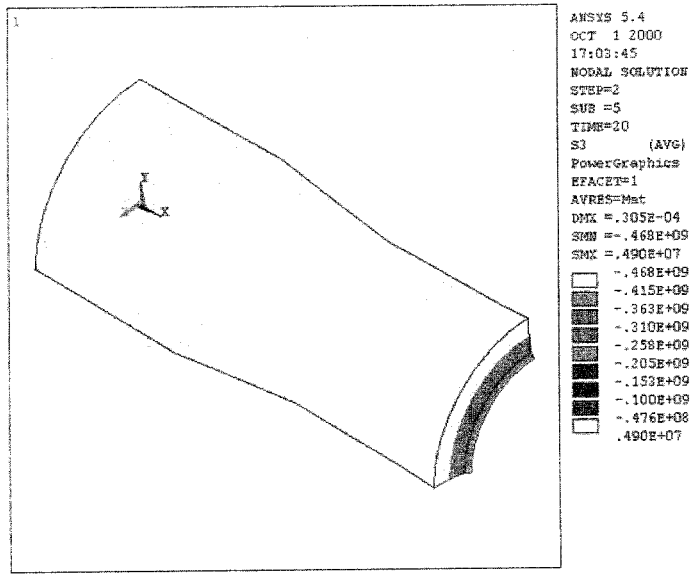
**نتیجه :**

کانتورهای تنش اصلی S3,S2,S1 بیانگر تنش های پس ماند اصلی در جهات اصلی ۱و۲و۳ می باشند. همچنین این کانتورها ، همان کانتورهای تنش پس ماند در جهت محوری[۱] و شعاعی[۲] و محیطی[۳] هستند.

---

*1- Axial* *2- Radial* *3- Hoop*

از بین ۳ تنش فوق ، تنش محیطی بیشترین مقدار را دارد مطابق شکل ( ۱۶-۵ ) کانتور تنـــش اصلی سوم را مشاهده کنید.

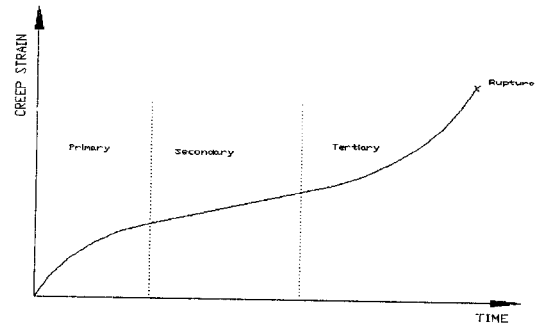



**شکل ( ۱۶-۵ ) : کانتور تنش اصلی سوم**

# تمرین ششم : خزش[1]

**مقدمه :**

خزش نوعی خاصیت غیرخطی ماده است که در آن ماده به تغییر شکل خود تحت بار ثابت ادامه می دهد. برعکس ، اگر یک جابجایی اعمال شود ، نیروهای عکس العمل ( و تنشها ) با زمان کاهش می یابند. به نمودار زیر دقت کنید.




**شکل (۱-۶) : نمودار کرنش خزشی نسبت به زمان تحت تنش ثابت.**

خزش ، در تنشهای حرارتی بالا مهم است ( نظیر یک راکتور هسته ای ). برای مثال در نظر بگیرید که باری به قسمتی از راکتور برای ثابت نگه داشتن اجزای آن در کنار هم به آن وارد شده است. در یک زمان طولانی در درجه حرارت بالا ، این بار کاهش می یابد و در نتیجه اجزای مجاور هم از هم فاصله می گیرند. بنابراین تحلیل خزش در اینگونه موارد بسیار مهم است. نرخ کرنش خزشی ممکن است به صورت تابعی از تنش ، کرنش و دما باشد. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به کتاب مرجع تیموشنکو [۹] مراجعه کنید .

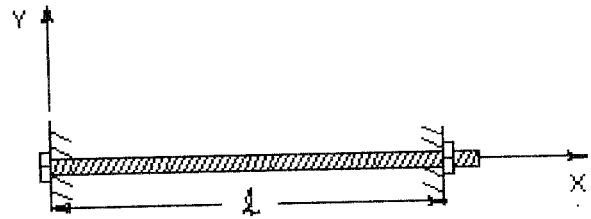
**مثال :**

یک پیچ به طول $L$ و سطح مقطع $A$ توسط یک تنش اولیه ایجاد شده در آن ( توسط دو مهره در انتها به میزان $\sigma_0$ ) محکم شده است. (مطابق شکل (۲-۶)) پیچ برای مدت زمان طولانی محکم نگه داشته شده است ( ۱۰۰۰ ساعت ) و در این زمان در دمای $T_0$ برابر با ۹۰۰ درجهٔ فارنهایت قرار گرفته است. جنس مادهٔ پیچ دارای نرخ خزش – کرنش با رابطه $\frac{d\varepsilon}{dt} = K\sigma^n$ می

---

*1- Creep*

باشد. مطلوبست محاسبهٔ تنش ایجاد شده در پیچ در زمانهای متفـاوت در طـی پدیـدهٔ Creep relaxation ( زمان انتهایی حل مساله برابر $t_1$ است ).




**شکل (۲-۶) : پیچ تحت تنش اولیه**

$E = 30E6 \ (psi)$ $\quad L = 10 \ (in)$

$n = 7$ $\quad A = 1 \ (in^2)$

$K = 4.8E-30 \ \left(1/hr\right)^7$ $\quad \sigma_0 = 1000 \ (psi)$

$T_0 = 900 \ (^oF)$ $\quad t_1 = 1000 \ (hr)$

**هدف از انجام تمرین :**

۱- آشنایی با نحوه اعمال خواص مواد خزشی

۲- آشنایی بیشتر با رسم نمودار نسبت به زمان در POST26 برای المانهای میله ای.

## حل :

### مرحلهٔ اول – تعریف المانهای مورد نیاز :

در این مساله برای مدلسازی و شبکه بندی به المان دوبعدی Link نیاز دارید. برای این منظـور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در پنجرهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجـرهٔ سـمت چـپ از المانـهای خـانوادهٔ سازه ای Structural نوع المان Link را انتخاب کنید و در پنجرهٔ مقابل آن المان 2D Spar 1 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۴) کلید Close را در پنجرهٔ Element Types فشار دهید.

### مرحلهٔ دوم – تعریف مقادیر ثابت :

برای این المان مقادیر ثابت عبارتند از :

۱) سطح مقطع المان : که برابر با $(in^2)$ 1 است.

۲) کرنش اولیه در المان ( initial strain ) : با توجه به اینکه تنش اولیه $\sigma_0$ در المان برابر ۱۰۰۰ (PSi) و مدول یانگ برابر(PSi) $30\times10^6$ می باشد ، پس :

$\varepsilon_0 = \sigma_0 / E = 1 / 30000$

بنابراین برای تعریف دو مقدار فوق عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Contants for LINK1 در مقابل کادر .Real Contant Set No عدد ۱ را وارد کرده و سپس در مقابل کادر AREA Cross – Sectional area عدد ۱ را وارد کنید و در مقابل کادر ISTRN Initial strain عدد 1/30000 را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

۵) پنجرهٔ تعریف مقادیر ثابت را با فشردن کلید Close ببندید.

## مرحلهٔ سوم – تعریف خواص مواد :

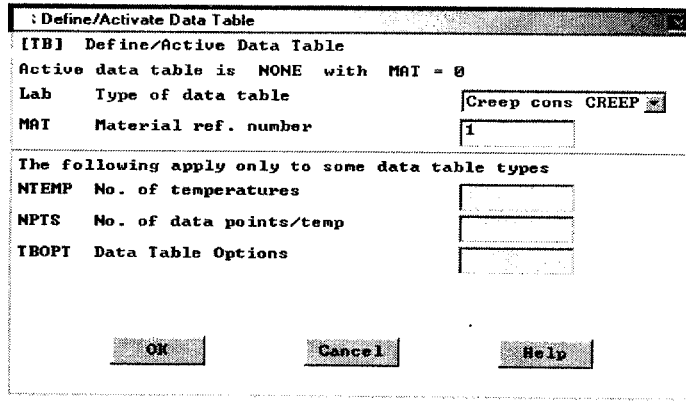
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > -Constant- Isotropic ...

۲) کلید OK را در پنجرهٔ شمارهٔ ماده فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص مواد در مقابل کادر Young's modulus EX مقدار 30E6 را وارد کنید و کلید OK را فشار هید.

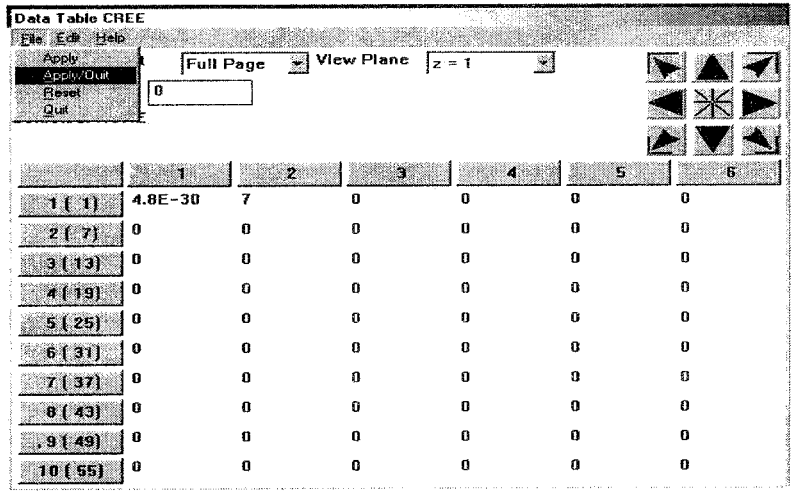
4) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > Data Tables > Define / Activate ...

۵) مطابق شکل (۳-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Define / Activate Data Table درمقابل کادر Lab Type of data table از منوی گشودنی آن عبارت Creep cons CREEP را انتخاب کنید و در مقابل کادر MAT Material ref. number عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.




**شکل (۳-۶) : تعیین نوع رفتار ماده و شمارهٔ آن**

6) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > Data Tables >Edit Active...
۷) مطابق شکل (۴-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Data Table CREE در پنجرهٔ ردیف اول و ستون اول عدد 4.8E-30 و در پنجرهٔ ردیف اول و ستون دوم عدد ۷ را وارد کنید و سپس از منوی File همان پنجره گزینهٔ Apply/Quit را انتخاب کنید.




**شکل (۴-۶) : وارد کردن خصوصیات ماده به صورت نرخ کرنش**

## مرحلهٔ چهارم – مدلسازی :

برای ساختن مدل از روش تولید مستقیم ، ابتدا دو گرهٔ ابتدایی و انتهایی مدل ساخته می شود.
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling- Create > Nodes > In Activate CS
۲) در پنجرهٔ تولید گره در مقابل کادر Node number عدد ۱ را وارد کنید و برای مختصات آن به ترتیب در پنجره های X , Y , Z مختصات 0,0,0 را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.
۳) اینبار در پنجرهٔ تولید گره در مقابل کادر Node number عدد ۲ را وارد کنید و سپس برای X , Y , Z به ترتیب اعداد 10,0,0 را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.
اکنون باید به کمک دو گرهٔ فوق المان مربوطه ساخته شود.
1)Ansys Main Menu>Preprocessor>-Modeling-Create>Elements>-Auto Numbered-Thru Nodes+
۲) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب گره های شمارهٔ ۱ و ۲ را انتخاب کنید.
۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا المان تولید شود.

## مرحلهٔ پنجم – بارگذاری و حل :

**قرار دادن شرایط مرزی :** پیچ در دو انتها در هر دو جهت دارای تکیه گاه است. برای قرار دادن تکیه گاهها عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Loads- Apply > -Structural- Displacement > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained روی ALL DOF یک بار با ماوس فشار دهید تا پررنگ و فعال شود و سپس کلید OK را فشار دهید.

**قرار دادن دمای یکنواخت بر روی کل مدل :**

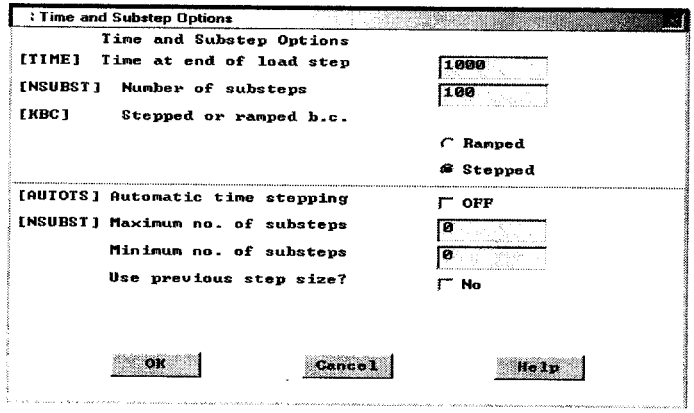
1) Ansys Main Menu > Solution >-Loads- Apply > -Structural- Temperature > Uniform Temp ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Uniform Temperature در مقابل کادر Uniform Temperature مقدار ۹۰۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید تا دمای یکنواخت بر روی کل مدل به میزان ۹۰۰ درجهٔ فارنهایت قرار گیرد.

مساله باید تحت زمان ۱۰۰۰ ساعت بررسی شود ، بنابراین زمان در انتهای حل مساله باید ۱۰۰۰ باشد و همچنین تعداد ۱۰۰ عدد Substep تعریف کنید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Load Step Opts - Time / Frequenc > Time and Substeps ...

۲) مطابق شکل (۵-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر [Time] Time at end of load step مقدار ۱۰۰۰ را وارد کرده و در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۱۰۰ را وارد کنید و سپس در مقابل [KBC] Stepped or ramped b.c. گزینهٔ Stepped را انتخاب کنید وسپس کلید OK را فشار دهید.

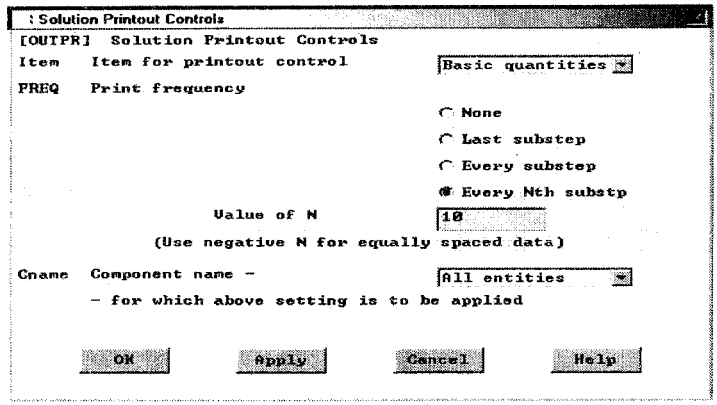



**شکل (۵-۶) : تنظیمات زمانی مساله**

اکنون جهت ذخیرهٔ نتایج در یک فایل و تنظیمات خروجی مساله عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Load Step Opts- Output Ctrls > Solu Printout...

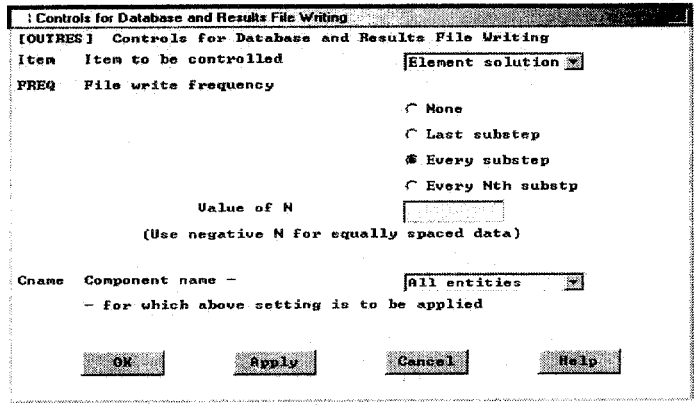
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Solution Printout Controls مطابق شکل (۶-۶) در مقابل کـادر FREQ Print frequency گزینهٔ Every Nth Substep را فعال کنید و در مقابل کادر Value of N عـدد ۱۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۶-۶) : تنظیمات خروجی مساله**

3) Ansys Main Menu > Solution > -Load Step Opts- Output Ctrls > DB / Results File ...

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Control for Database and Results File Writing مطابق شکل (۶-۷) در مقابل کادر Item Item to be controlled از منوی گشـودنی آن عبـارت Element solution را انتخاب کنید و سپس در مقابل FREQ File write frequency گزینهٔ Every substep را فعـال کنید و کلید OK را فشار دهید.




**شکل (۶-۷) : ذخیرهٔ نتایج مساله در هر Substep**

برای حل مساله عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Solve -Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT / را خوانده و سپس آن را ببندید

۳) کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید تا حل مساله شروع شود.

۴) با مشاهدهٔ پیغام پنجرهٔ زردرنگ Solution is done حل مساله کامل شده است.

## مرحلهٔ ششم – مشاهدهٔ نتایج :

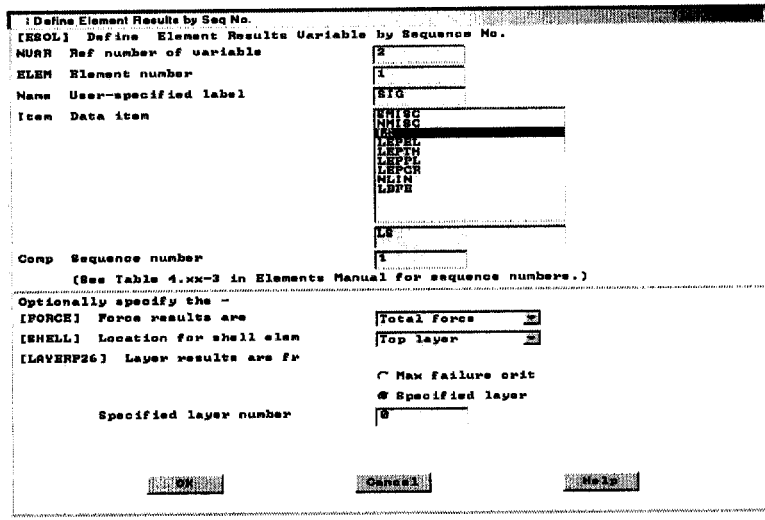
نمودار تنش محوری ( SAXL ) برحسب زمان در این مرحله رسم خواهد شد.

1) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Define Variables ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Defined Time-History Variables کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Add Time-History Variables گزینهٔ .by Seq no ... را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Define Element Results by Seq No. مطابق شکل (۸-۶) در مقابل کادر ELEM Element number عدد ۱ را وارد کنید و سپس در مقابل کادر – user Name specified lable عبارت SIG که یک نام دلخواه است را وارد کنید. سپس در پنجرهٔ Item Data item عبارت LS را انتخاب کرده و در مقابل کادر Comp Sequence number عدد ۱ را وارد کنید.




**شکل (۸-۶) : تعریف تنش محوری اول ( در جهت X ) بر روی المان اول به صورت یک متغیر**

۵) کلید OK را در جعبهٔ محاورهٔ فوق فشار دهید.

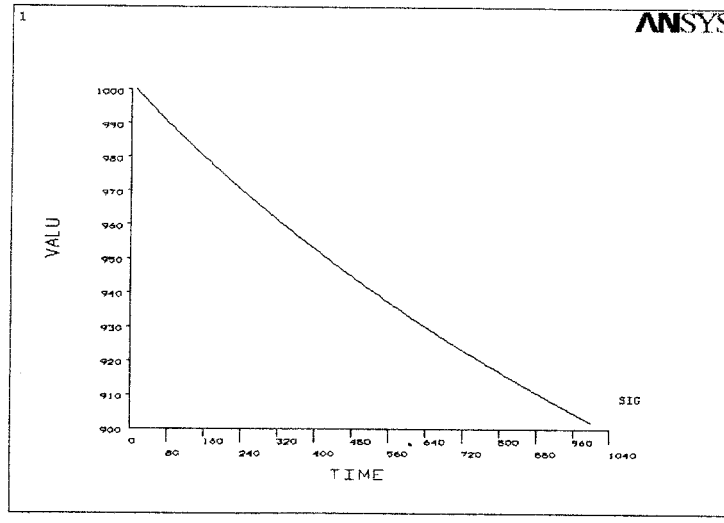
۶) با فشار دادن کلید Close پنجرهٔ قبلی را ببندید.

7) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Graph Variables ...

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Time-History Variables در مقابل کادر NVAR1 1st Variable to Graph عدد ۲ را وارد کنید.

۹) کلید OK را فشار دهید.

نمودار تنش محوری برحسب زمان به صورت شکل (۹-۶) است.




**شکل (۹-۶) : نمودار تنش برحسب زمان**

**نکته :**

به طور کلی در المانهای میله ای همانند Link ، Beam و Pipe تقریبا تنها نتایج جابجاییها (UX,UY,UZ) در Nodal Solution قابل مشاهده هستند و برای مشاهدهٔ سایر مقادیر خروجی نظیر تنشها ، نیروهای داخلی ، کرنشها و ... که از نوع Additional Output هستند ، می بایست از Element Table یا Sequence Number استفاده کرد. به عنوان مثال تنش محوری (SAXL) در المان مثال فوق به صورت LS,1 مشخص می شوند.

جهت اطلاع بیشتر درمورد پارامترهای خروجی برای هر المان خطی می توانید به راهنمای نرم افزار ( یا پیوست ۱ ) مراجعه کنید.

برای اطلاعات بیشتر در مورد پدیدهٔ خزش می توانید به آدرس زیر در نرم افزار مراجعه کنید :

Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Theory Manual > 4 : Structures with Material Nonlinearities > 4.3 Creep

# تمرین هفتم : کمانش[1]

**مقدمه :**

در مبحث آنالیز استاتیکی ، به بررسی مقاومت تنشی مسائل پرداخته شد اما در این فصل به بررسی کمانش یک سازه پرداخته می شود. کمانش به مفهوم تغییر ناگهانی سازه و یا ناپایداری سازه در برابر بار وارده بر آن است که این بار غالباً به صورت فشار بر سازه اعمال می شود. از جمله کاربردهای این آنالیز می توان به بررسی پایداری ستونهای نگهدارندهٔ سازه ها و قطعات ، ماشینهای ابزار و ... اشاره کرد . برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد کمانش به کتاب " تئوری پایداری الاستیک " نوشتهٔ تیموشنکو [۱۰] مراجعه کنید .

**روشهای انجام آنالیز :**

**۱) روش غیرخطی :**

نتایج این روش معمولاً دقیق تر هستند این روش در حقیقت یک آنالیز استاتیکی غیرخطی است که در آن بار به تدریج افزایش می یابد. تا به مقداری می رسد که سازه در آن ناپایدار می شود. در این روش اعمال خواص غیرخطی ماده مجاز است. در این آنالیز همانند یک آنالیز غیرخطی استاتیکی باید معیار تغییر شکل بزرگ (NLGEOM ) فعال باشد.

**۲) روش خطی :**

این روش یک آنالیز خطی است که اعمال رفتارهای غیرخطی در آن مجاز نیست. نام این آنالیز در نرم افزار مقدار ویژهٔ کمانش[2] است.

**مراحل انجام آنالیز خطی :**

۱) مدلسازی : در این مرحله علاوه بر مدلسازی و شبکه بندی حتما در تعریف خواص ماده مدول یانگ منظور شود.

۲) حل مساله به صورت استاتیکی تحت بار واحد : دراین مرحله حتماً گزینهٔ Prestress effect فعال باشد زیرا این روش نیاز به تشکیل ماتریس Stress Stiffness دارد.

۳) حل مسالهٔ کمانش : در این مرحله با فعال کردن نوع آنالیز به Eigenvalue Buckling می توان یکی از دو روش زیر را جهت حل کمانش انتخاب کرد.

**روش اول – Subspace :**

---

*1- Buckling Analysis*

*2- Eigen Value Buckling*

برای اکثر آنالیزها این روش توصیه می شود زیرا ماتریس کامل سیستم را در هنگام حل تشکیل می دهد.

**روش دوم – Reduce :**

در این روش با تعریف Master degree of freedom بر روی مدل به کاهش عملیات ماتریسی پرداخته می شود. در این روش جهت مشاهدهٔ شکل کمانش باید نتایج را Expand کرد.

همانطور که ذکر شده در این روش باید Master DOF را بر روی سازه تعریف کنید برای قرار دادن آن می توانید به نکات زیر توجه کنید :

۱) قرار دادن Master DOF بر روی پاسخ مساله تاثیر مهمی دارد شما می توانید از خود نرم افزار برای قرار دادن Master DOF استفاده کنید یا اینکه خود آنها را قرار دهید.

۲) تعداد Master DOF باید حداقل ۲ برابر تعداد مودهای در نظر گرفته شده باشد.

۳) Master DOF را در جهتی انتخاب کنید که انتظار دارید سازه در آن جهت ارتعاش کند.

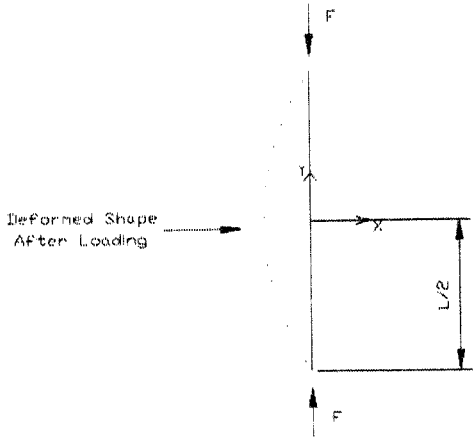
۴) Master DOF را در موقعیت هایی قرار دهید که جرم نسبتاً زیاد و اینرسی چرخشی زیاد و سختی نسبتاً کم وجود دارد.

۵) Master DOF را در مکانهایی قرار دهید که نیروها و یا جابجائی ها قرار داده می شوند.

**مثال :**

مطلوبست محاسبهٔ بار بحرانی یک تیر باریک طویل به طول L که در دو انتها لولا شده است. سطح مقطع تیر A است و ارتفاع آن h می باشد ( مطابق شکل ۱-۷ ).

مساله را با فرض تقارن محوری نسبت به محور X حل کنید و تعداد ۱۰ عدد Master degree of freedom در جهت X بر روی گره های مدل قرار دهید.




$I = A*h^2 / 12 = 0.0052083$ $(in^4)$

$E = 30E6(psi)$

$L = 200(in)$

$A = 0.25(in^2)$

$h = 0.5(in)$

$F = 1(Lb)$

**شکل ( ۱-۷) : تیر باریک تحت فشار**

اهداف این مساله عبارتند از :

۱) آشنایی با آنالیز Eigen Buckling

۲) آشنایی با قرار دادن Master degree of freedom

/B

**حل :**

**مرحلهٔ اول – تنظیم موضوع آنالیز :**

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title...

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Buckling of a Bar With Hinged Ends را تایپ کرده و کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ دوم – تعریف المان مورد نیاز :**

در این مساله از المان BEAM استفاده می شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural ، المان نوع Beam را انتخاب کرده و سپس در پنجرهٔ سمت راست المان 2D elastic 3 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۴) جعبهٔ محاورهٔ Element Types را با فشار دادن کلید Close ببندید.

**مرحلهٔ سوم – تعریف مقادیر ثابت المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constant ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types for Real Constants کلید OK را فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for BEAM3 در مقابل کادر Cross – sectional area AREA مقدار ۰/۲۵ را وارد کرده و در مقابل کادر Total beam height HEIGHT مقدار ۰/۵ را وارد کرده و سپس در مقابل کادر Area moment of inertia $I_{zz}$ مقدار 52083E-7 را وارد کنید .

۵) کلید OK را فشار دهید .

۶) با فشار دادن کلید Close پنجرهٔ قبلی را ببندید .

**مرحلهٔ چهارم – تعریف خواص ماده :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor >Material Props > - Constant – Isotropic...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده ۱ در نظر گرفته شود.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص مادهٔ شمارهٔ ۱ در مقابل کادر Young's modulus EX عدد 30E6 را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ پنجم – ساخت مدل به روش مستقیم :**

در این مرحله با توجه به تقارن محوری ، فقط نیمهٔ بالایی مدل ساخته می شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Nodes > In Active CS...

۲) در پنجرهٔ تولید گره برای شمارهٔ آن در مقابل کادر Node number شمارهٔ ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر X,Y,Z Location in active CS به ترتیب مقادیر 0 , 0 , 0 را وارد کرده و کلید Apply را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ تولید گره اینبار برای شمارهٔ آن در مقابل کادر Node number شمارهٔ ۱۱ را وارد کرده و در مقابل کادر X,Y,Z Location in active CS به ترتیب مختصات ۰و۰و۱۰۰ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید تا گرهٔ انتهایی مدل ساخته شود.

اکنون باید بین دو گرهٔ ابتدایی و انتهایی مدل ، گره های شمارهٔ ۲ تا ۱۰ را اضافه نمود.

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Nodes >Fill between Nodes +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب گره های ۱و ۱۱ را انتخاب کرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Create Nodes Between 2 Nodes به طور پیش فرض در مقابل کادر NFILL Number of nodes to fill عدد ۹ قرار گرفته است ، بنابراین کلید OK را فشار دهید تا گره های جدید ساخته شوند.

اکنون باید المانهای تیر دو بعدی را بین این گره ها قرار داد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling - Create > Elements > - Auto Numbered - Thru Nodes +

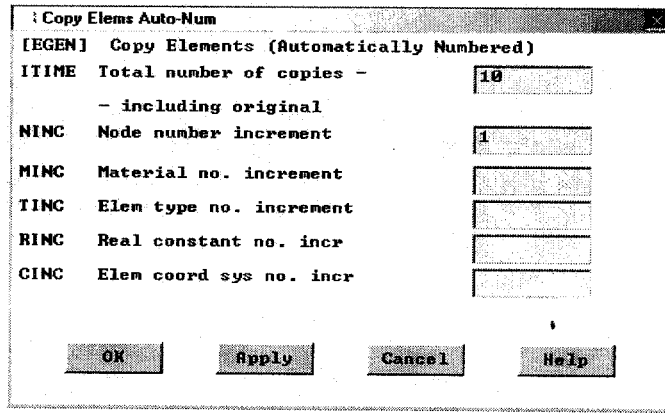
۲) در پنجرهٔ گرافیکی گره های شمارهٔ ۱و۲ را انتخاب کرده و سپس دکمهٔ OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

جهت تولید بقیه المانها بر روی گره های دیگر عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Copy > - Elements - Auto Numbered +

۲) در پنجرهٔ انتخاب دکمهٔ Pick All را فشار دهید تا المان ساخته شده انتخاب شود.

۳) مطابق شکل ( ۲-۷ ) در جعبهٔ محاورهٔ Copy Elems Auto – Num در مقابل کادر ITIME Total number of copies عدد ۱۰ را وارد کرده و در مقابل کادر NINC Node number increment عدد ۱ را وارد کنید.




**شکل ( ۲-۷ ) : جعبهٔ محاورهٔ کپی کردن المانها**

۴) کلید OK را فشار دهید تا المانها کپی شوند.

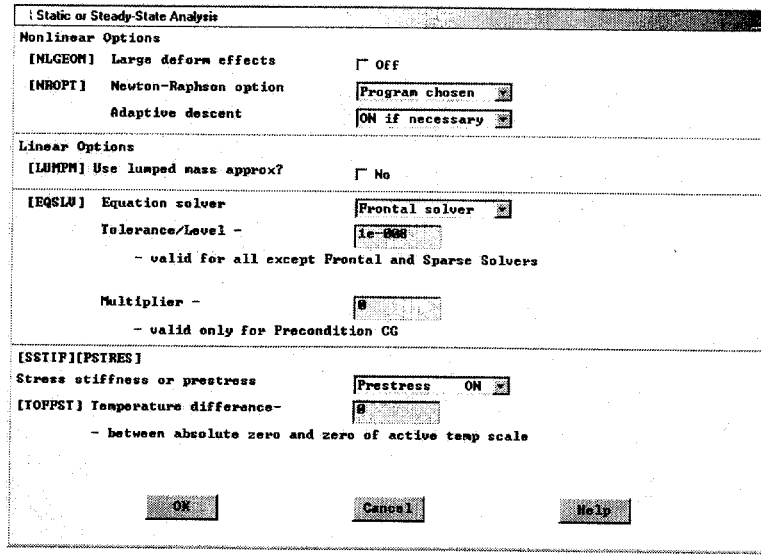
**مرحلهٔ ششم – بارگذاری و قراردادن شرایط مرزی :**

1)Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis…

۲) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا پیش فرض Static ثبت شود.

3) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options….

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Static or Steady State Analysis مطابق شکل(۳-۷) در مقابل کادر Stress stiffness or prestress از منوی گشودنی آن معیار Prestress ON را انتخاب کنید.




**شکل ( ۳-۷ ) : فعال کردن تاثیر Prestress**

۵) کلید OK را در جعبهٔ فوق فشار دهید.

اکنون باید شرط مرزی متقارن محوری را بر روی گرهٔ شمارهٔ ۱ قرار دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Loads -Apply > -Structural -Displacement > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۱ را که بر مبدا مختصات منطبق است انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل Lab2 DOF to be constrained در پنجرهٔ آن گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید بار واحد در خلاف جهت محور Y بر تیر اعمال شود.

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads - Apply > - Structural - Force/Moment > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ بالایی تیر ( شمارهٔ ۱۱ ) را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes درمقابل کادر Lab Direction of force/mom از منوی گشودنی آن عبارت FY را فعال کنید و در مقابل کادر VALUE Force/moment value مقدار ۱- ( منفی یک ) را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ هفتم _ حل مسالهٔ استاتیکی :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید و جهت حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ Solve Current Load Step فشار دهید.

۳) پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زرد رنگ Solution is done حل مساله کامل شده است و سپس کلید Close را در این پنجره فشار دهید.

**مرحلهٔ هشتم – حل مسالهٔ Eigenvalue Buckling :**

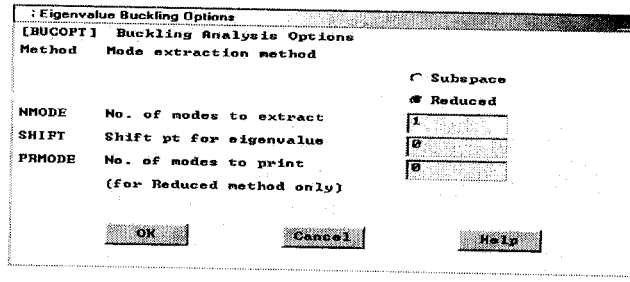
1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis...

۲)پنجرهٔ اخطار ( warning ) زرد رنگ را ببندید علت این اخطار این است که عوض کردن نوع آنالیز پس از حل یک یا چند Loadstep باعث پاک شدن نتایج آنها می شود و بنابراین تعیین نوع آنالیز باید در ابتدای حل Loadstep اول صورت گیرد.

۳) در پنجرهٔ باز شده نوع آنالیز را از نوع Eigen Buckling انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

4) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Eigenvalue Buckling Options مطابق شکل ( ۴-۷ ) در قسمت Method Mode extraction method روش Reduced را انتخاب کنید و در مقابل کادر NMODE No . of modes to extract عدد ۱ را وارد کنید.

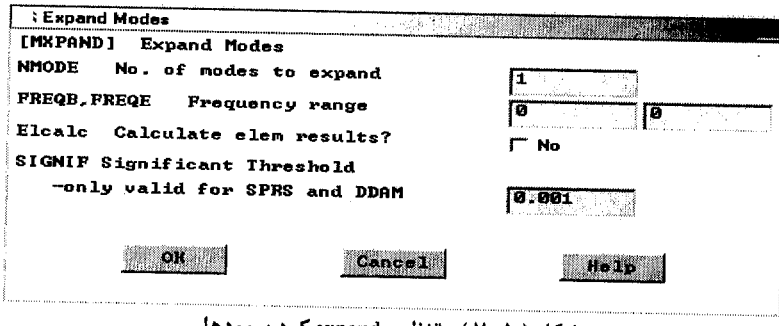



**شکل ( ۴-۷ ) : تعیین روش حل Eigenvalue Buckling**

۶) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید.

7) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Expansion Pass > Expand Modes...

۸) درجعبهٔ محاورهٔ Expand Modes مطابق شکل( ۵-۷ ) درمقابل NMODE Number of modes to expand عدد ۱ را وارد کنید.




**شکل ( ۵-۷ ) : تنظیم expand کردن مودها**

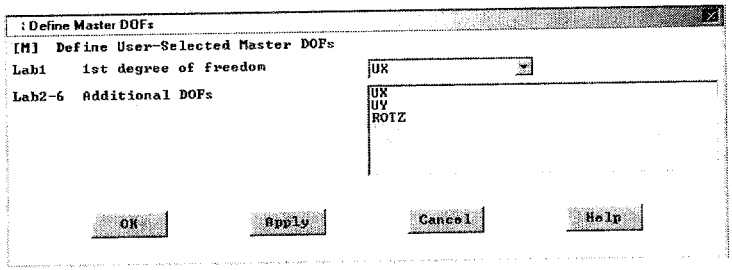
۹) کلید OK را در جعبهٔ محاورهٔ فوق فشار دهید.

اکنون باید Master degree of freedom را در جهت X بر روی گره های ۲ تا ۱۱ ( طبق نکات گفته شده ) بر روی مدل قرار داد.

1) Ansys Main Menu > Solution > Master DOF s > - User Selected – Define +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب گره های شمارهٔ ۲ تا ۱۱ را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Define Master DOFs مطابق شکل ( ۶-۷ ) در مقابل کادر Lab1 1st degree of freedom از منوی گشودنی مقابل آن گزینهٔ UX را انتخاب کنید.




**شکل ( ۶-۷ ) : قرار دادن MDOF بر روی مدل**

۴) کلید OK را در جعبهٔ محاورهٔ فوق فشار دهید.

اکنون مساله آمادهٔ حل است برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1)Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ /STAT را خوانده و آنرا ببندید سپس جهت شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید.

۳) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زرد رنگ Solution is done حل مساله کامل است.

## مرحلهٔ دهم – مشاهدهٔ نتایج :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – First Set
2) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape...

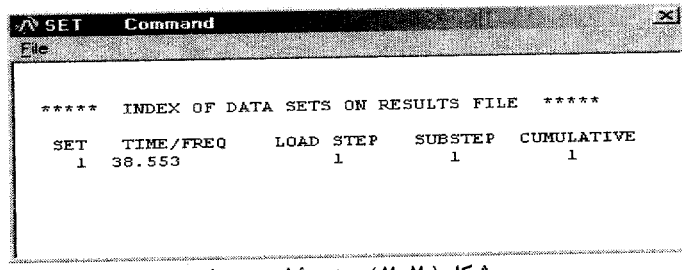
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Deformed Shape گزینهٔ DEF + undeformed را انتخاب کرده و کلید OK را فشاردهید.

۴) اکنون در پنجرهٔ گرافیکی فرم تغییر شکل یافتهٔ مدل بر روی مدل اصلی نمایان می شود.

## مرحلهٔ یازدهم – محاسبهٔ بار بحرانی :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > List Results > Results Summary...

۲) مطابق شکل ( ۷-۷ ) در پنجرهٔ SET Command مقدار Time/Frequency برابر 38.553 خوانده می شود.




**شکل ( ۷-۷ ) : پنجرهٔ لیست نتایج**

۳) پنجرهٔ فوق را ببندید.
۴) بار بحرانی برابر است با حاصلضرب فرکانس در بار واحد پس در این مساله بار بحرانی برابر است با : 38.553-

**نکتهٔ ۱ :** در حل مسالهٔ فوق به روش غیرخطی باید معیار NLGEOM را فعال کرد.

**نکتهٔ ۲ :** کاربر باید سعی کند یکبار دیگر مساله را حل کند به طوریکه اینبار در هنگام قرار MDOF بر روی گره های مدل ، از نرم افزار بخواهد تا به صورت اتوماتیک این عمل را انجام دهد و سپس جوابهای هر دو حالت را با هم مقایسه کند.

**نکتهٔ ۳ :** کاربر باید سعی کند یکبار دیگر مساله را از روش Subspace حل کند و جوابها را با هم مقایسه کند.

# تمرین هشتم : مواد مرکب[1]

**مقدمه :**

یکی از انواع مواد که در صنعت کاربرد فروان دارد مواد مرکب است. این مواد از مدتها پیش به کار می رفتند و بتدریج در سالهای اخیر کاربرد آنها در صنایع مختلف به خصوص صنایع هوایی و خودروسازی افزایش یافته است. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به کتاب معرفی مواد مرکب نوشتهٔ استفان تسای [۱۱] مراجعه کنید . در نرم‌افزار Ansys قابلیت مدلسازی مواد مرکب موجود است ۳ نوع المان لایه ای[2] وجود دارد که هر آنالیز از نوع سازه ای را می توانید بر روی این المانها انجام دهید.

**مدلسازی مواد مرکب :**

مدلسازی مواد مرکب از مدلسازی مواد معمولی نظیر آهن قدری مشکل تر است ( مشکل از لحاظ دقت در تعیین و تعریف لایه ها ) بنابراین باید در تعریف مواد مرکب ( بخصوص موادی که لایه های مواد زیادی دارند ) کمی دقت بیشتری به خرج داد. در Ansys ، ۳ نوع المان برای تعریف خاصیت لایه ای موجود است :

**۱) المان SHELL99** : یک المان رویه ای ۳ بعدی است که دارای ۸ گره بوده و دارای ۶ درجهٔ آزادی برای هر گره می‌باشد ( ۳ درجهٔ جابجایی انتقالی و ۳ درجهٔ جابجایی چرخشی ) ( UX , UY , UZ , Rotx , Roty , Rotz ) و برای طراحی مدلهای با ضخامت زیاد پیش بینی شده است این المان قابلیت تعریف ۱۰۰ لایهٔ مختلف را دارد. این المان قابلیت محاسبهٔ معیار شکست را دارد.

**۲) المان SHELL91** : مشابه shell99 است بااین تفاوت که قابلیت تعریف بیش از ۱۶ لایه را ندارد اما می تواند بر روی این المان رفتارهای پلاستیک و .... را اعمال نمود ( خاصیت غیر خطی دارد ) اما shell 99 این قابلیت را ندارد.

**۳) المان SOLID46** : مشابه المان SOLID45 است که خاصیت لایه ای را اضافه بر آن دارد. دارای ۳ درجهٔ آزادی است و تا ۱۰۰ لایه می توان در آن تعریف کرد. تعداد گره ها در این المان ۸ گره است بنابراین در استفاده از این المان سعی کنید شبکه بندی ریزتری بر روی مدل قرار دهید. کاربرد اصلی این نوع المان در مدلهای با ضخامت پوسته ای قابل ملاحظه است.

**روشهای تعریف ساختارهای لایه ای :**

به دو روش می توان خصوصیات لایه ای یک مادهٔ مرکب را تعریف کرد.

۱) روش تعریف خصوصیات هر لایه به طور جداگانه.

---

*1- Composite Materials*

*2- Layared Elements*

۲) تعریف ماتریسی ( فقط برای دو المان SHELL99 , SOLID46 ) در این فصل فقط از روش اول استفاده می شود و مطالعهٔ روش دوم به خواننده واگذار می شود.

**روش تعریف خصوصیات هر لایه به طور جدا از لایه های دیگر ( روش اول ) :**

در این روش تعریف ساختار لایه ای ، لایه به لایه از پایین به بالا انجام می شود لایهٔ پائینی که شمارهٔ آن ۱ است و به همین ترتیب لایه ها در جهت مثبت محور Z شماره گذاری می شوند.

**نکته :**

دو المان SOLID46 و SHELL99 قابلیت تعریف متقارن دارند یعنی اگر نوع لایه ها نسبت به هم متقارن باشند می‌توان نصف آنها را تعریف کرد.

مشخصات هر لایه تنها توسط مقادیر ثابت المان تعریف می شود بدین صورت که جنس ماده های بکار رفته در مادهٔ مرکب به صورت جداگانه در Material Property تعریف می شود سپس برای هر لایه در مقادیر ثابت آن جنس لایه به شمارهٔ مادهٔ تعریف شده در Material Property ارجاع داده می شود مثلاً اگر یک مادهٔ مرکب دارای ۲ لایه باشد که لایهٔ اول از نوع مادهٔ اول و لایهٔ دوم از نوع مادهٔ دوم باشد ابتدا خاصیت مواد اول و دوم در Material Property تعریف می شود ( Isotropic یا Ortotropic یا وابسته به دما ) سپس در مقادیر ثابت هر لایه (مثلاً لایه ۱ ) ، آنرا به شمارهٔ مادهٔ مربوطه ( مثلاً ۱ ) ارجاع می دهید.

**اختصاص دادن معیار شکست :**

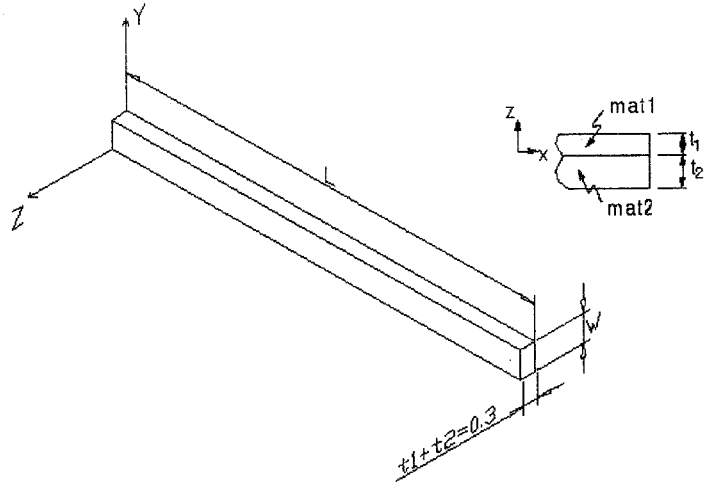
برای محاسبهٔ شکست یک لایه تحت بار وارده بر آن چنین گزینه ای موجود است. معیارهای شکست زیر قابل تعریف است :

۱) Maximum Strain Failure Criterian ← با تعریف ۹ کرنش.

۲) Maximum Stress Failure Criterian ← با تعریف ۹ تنش.

**مثال :**

یک مادهٔ مرکب به شکل مکعب مستطیل از دو لایه با ضخامت ۰/۲ و ۰/۱ ( in ) مطابق شکل ( ۱-۸ ) تحت یک ممان حول محور Y قرار گرفته است مشخصات مواد هر لایه و ضخامت هر کدام و شرایط مرزی مدل در شکل مشخص است مطلوبست محاسبهٔ تنش و جابجایی ایجاد شده در اثر ممان حول محور Y به اندازهٔ ( Lb – in ) ۱۰ و درجه حرارت ۱۰۰ درجهٔ فارنهایت.
( گشتاور بر قسمت بالایی جلوئی مدل اعمال می شود ).
دو نوع ماده با خواص متفاوت در این تحلیل استفاده می شود .




**شکل ( ۱-۸ ) : مدل تحت بارگذاری به همراه لایه های مواد تشکیل دهنده**

$L = 8$ (in)
$W = 0.5$ (in)
$t_1 = 0.1$ (in)
$t_2 = 0.2$ (in)
$M_y = 10$ ( Lb – in )

$EX_1 = EY_1 = EZ_1 = 1.2E6$ ( $Lb / in^2$ )
$ALPX_1 = 1.8E\text{-}4$ (1/oF ) = (Thermal Expansion )
$EX_2 = EY_2 = EZ_2 = 0.4E6$ ( $Lb / in^2$ )
$ALPX_2 = 0.6E\text{-}4$ ( 1/oF ) = (Thermal Expansion )

**اهداف این تمرین عبارتند از :**

۱) آشنایی با مواد مرکب
۲) آشنایی با اعمال گشتاور بر روی المان SOLID46
۳) آشنایی با قرار دادن دما بر روی مدل

**حل :**

قبل از شروع ، سیستم واحدها را به سیستم اینچی ( BIN ) تبدیل کنید.

**مرحلهٔ اول – انتخاب المان لایه ای SOLID46 :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete…
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural المان نوع Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست با پایین کشیدن لغزندهٔ آن Brick Layered 46 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.
۴) کلید Close را در جعبهٔ محاورهٔ Element Types فشار دهید.

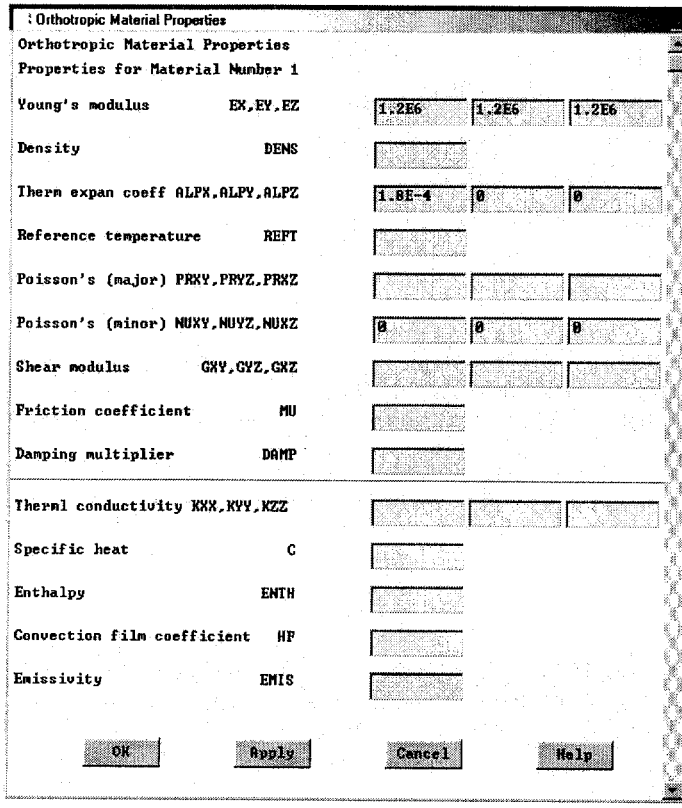
**مرحلهٔ دوم – تعریف خواص مواد تشکیل دهندهٔ مادهٔ مرکب :**

در این مادهٔ مرکب رفتار هر دو مادهٔ تشکیل دهنده از نوع Orthotropic می باشد.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Orthotropic ...

۲) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Specify material number عـدد ۱ را وارد کـرده و کلیـد OK را فشار دهید.

۳) مطابق شکل (۲-۸) در جعبهٔ محـاورهٔ Orthotropic Material Properties در مقـابل کـادر Young's modulus EX , EY , EZ در هر سه پنجـرهٔ مربوطـه عـدد 1.2E6 را وارد کـرده و در مقابل کادر Therm expan coeff ALPX , ALPY , ALPZ به ترتیب اعـداد 0 ,0 , 1.8E-4 را وارد کرده و در مقابل کادر Poisson's ( minor ) NUXY , NUYZ , NUXZ به ترتیـب اعـداد 0 , 0 , 0 را وارد کنید.




**شکل (۲-۸) : تعریف خاصیت مادهٔ شمارهٔ ۱**

۴) کلید Apply را در جعبهٔ فوق فشار دهید تا خواص مادهٔ اول ثبت شود.

۵) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Specify material number عـدد ۲ را وارد کنیـد و کلیـد OK را فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده اینبار در مقابل کادر Young's modulus EX , EY , EZ در هر سه پنجره عدد 4E5 را وارد کرده و در مقابل کادر Therm expan coeff ALPX , ALPY , ALPZ به ترتیب اعداد 0 , 0 , 6E-5 را وارد کرده و در مقابل کادر ( Poisson's ( minor NUXY , NUYZ , NUXZ به ترتیب اعداد 0, 0 , 0 را وارد کنید.

۷) کلید OK را فشار دهید تا خواص مادهٔ ۲ نیز ثبت شود.

**مرحلهٔ سوم – تعریف مقادیر ثابت :**

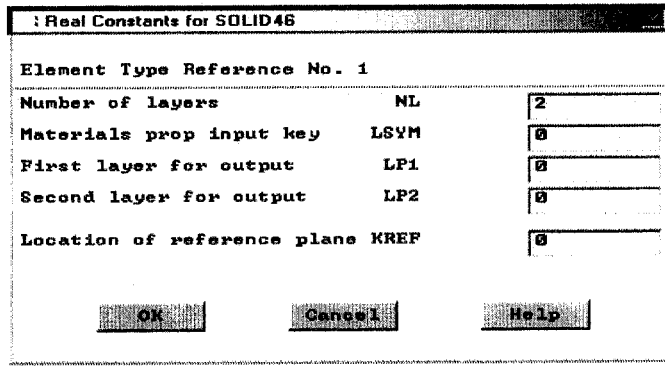
1) Ansys Main Menu > Preprocessor >Real Constants ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants کلید OK را فشار دهید.

**نکته :** به دلیل عدم استفاده از دستور VGET پنجرهٔ زرد رنگ اخطار ( Warning ) باز خواهد شد این پنجره را ببندید. اخطار داده شده مهم نیست.

۴) در مقابل شکل (۳-۸) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for SOLID46 در مقابل کادر Number of layers NL عدد ۲ را وارد کنید.




**شکل (۳-۸) : تعریف تعداد لایه های المان**

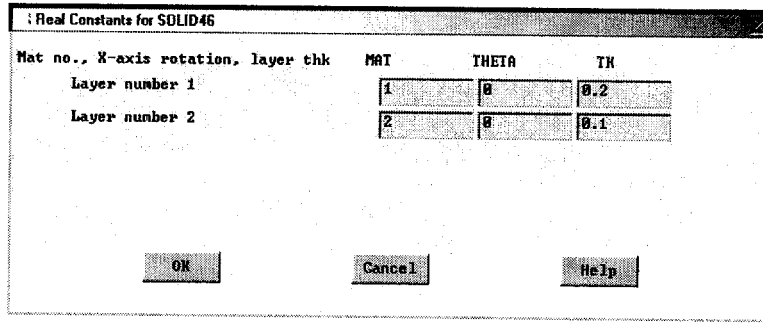
۵) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for SOLID46 ، مطابق شکل (۴-۸) جهت تعریف مقادیر مربوط به لایهٔ اول ، در مقابل کادر Layer number 1 به ترتیب اعداد 2. 0 , 0 , 1 را وارد کنید و در مقابل کادر Layer number 2 به ترتیب اعداد 0.1 , 0 , 2 را وارد کنید.

۷) کلید OK را فشار دهید.

**نکته :** Theta بیانگر موقعیت لایه نسبت به محور X است به این صورت که اگر برابر صفر منظور شود ، لایه به موازات محور X است و چون در این مساله هر دو لایه به موازات محور X

قرار دارند پس Theta برای هر دو صفر است. همچنین Th بیانگر ضخامت لایه و MAT شمارهٔ مادهٔ لایه می باشد.




**شکل (۴-۸) : تعریف مقادیر مربوط به هر لایه**

۸) با فشار دادن کلید Close ، کلیهٔ پنجره های قبلی را ببندید.

**مرحلهٔ چهارم – مدلسازی :**

1) Ansys Main Menu> Preprocessor>-Modeling -Create> -Volumes -Block> By Dimensions …

۲) در پنجرهٔ تولید مکعب مستطیل درمقابل کادر X1 , X2 به ترتیب اعداد 8 , 0 و در مقابل کادر Y1 , Y2 به ترتیب اعداد 0.5 , 0 و در مقابل کادر Z1 , Z2 به ترتیب اعداد 0.3 , 0 را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا مکعب مستطیل تولید شود.

4) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate…

۵) در جعبه ابزار Pan – Zoom – Rotate کلید Iso را فشار دهید تا دید ایزومتریک نسبت به مدل ایجاد شود.

۶) کلید Close را در جعبه ابزار Pan – Zoom – Rotate فشار دهید.

**مرحلهٔ پنجم – شبکه بندی :**

در این مدل تعداد المانها در جهت محور X برابر ۸ عدد و در جهت محور Y , Z هر کدام برابر ۱ عدد است.

1) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

2) Ansys Main Menu > Preprocessor >MeshTool…

۳) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت Size Controls در قسمت مربوط به Lines دکمهٔ Set را یکبار فشار دهید.

۴) در پنجرهٔ گرافیکی یکی از خطوط طولی ( در جهت محور X ) را انتخاب کنید.

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No . of element divisions- عدد ۸ را وارد کنید.

۷) کلید Apply را فشار دهید.

۸) در پنجرهٔ گرافیکی اینبار یک خط عرضی (در جهت محور Y ) و سپس خط عمقی (در جهت Z) را انتخاب کنید.

۹) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۱۰) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No . of element divisions- عدد ۱ را وارد کنید.

۱۱) کلید OK را فشار دهید.

۱۲) در جعبه ابزار MeshTool ( در قسمت Mesh ) شکل المان ( Shape ) را به HEX تبدیل کنید. ( نوع Mesher بطور خودکار به Mapped تبدیل می شود ).

۱۳) کلید Mesh را فشار دهید.

۱۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید. تا حجم انتخاب شود و شبکه بندی شود.

۱۵) در جعبه ابزار MeshTool کلید Close را فشار دهید.

اکنون جهت مشاهدهٔ نحوهٔ قرار گرفتن لایه ها بر روی مدل می توانید عمل زیر را انجام دهید.

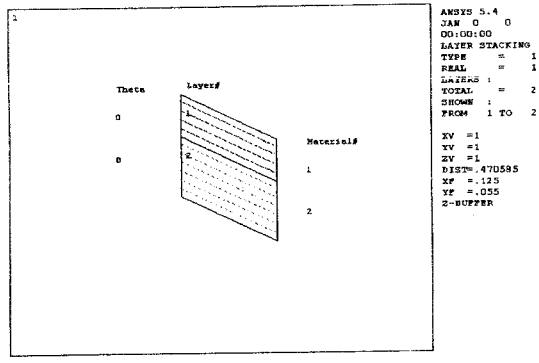
1) Ansys Utility Menu > Plot > Layered Element...

۲) در پنجرهٔ گرافیکی یکی از ۸ المان موجود را به دلخواه انتخاب کنید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Plot layered Element Stacking درمقابل کادر LAYR1 , LAYR2 Range of Layers به ترتیب اعداد 2 , 1 را وارد کنید.

۵) کلید OK را فشار دهید تا لایه ها مطابق شکل (۵-۸) مشاهده شوند.




**شکل (۵-۸) : لایه های قرار گرفته بر روی هرالمان**

**مرحلهٔ ششم – بارگذاری ، تعریف شرایط مرزی وحل مساله :**

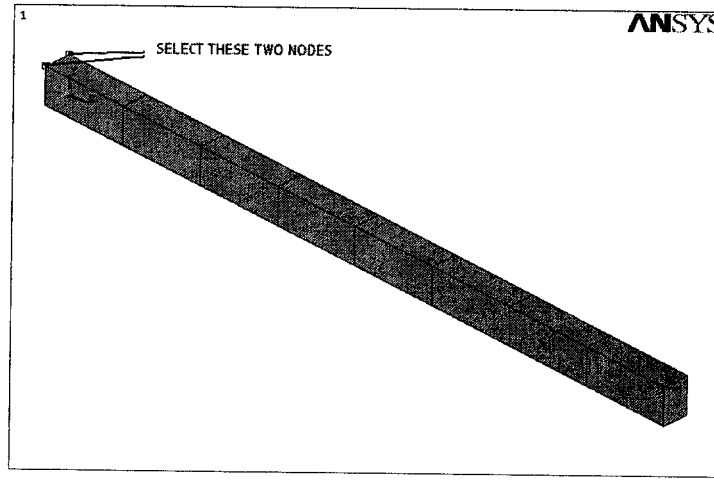
چون آنالیز از نوع استاتیکی است پس نیاز به تنظیم نوع آنالیز نیست زیرا به طـور پیـش فـرض آنالیز استاتیکی فعال است.

اکنون باید شرایط مرزی را روی دو گرهٔ بالایی ابتدایی مدل قرار داد.

1) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

2) Ansys Main Menu > Solution > - Apply – Loads > - Structural – Displacement > On Nodes +

۳) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۶-۸) دو گرهٔ بالایی ابتدائی مدل را انتخاب کنید.




**شکل (۶-۸) : انتخاب دو گرهٔ ابتدایی بالایی مدل**

۴) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۵) در جعبـهٔ محـاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقـابل کـادر Lab2 DOF to be Constrained گزینهٔ All DOF را فعال کنید.

۶) کلید OK را فشار دهید تا شرایط مرزی اعمال شود.

جهت قرار دادن دما بر روی مدل عملیات زیر را انجام دهید. مقدار دمـا برابـر ۱۰۰ درجـهٔ فارنهایت است.

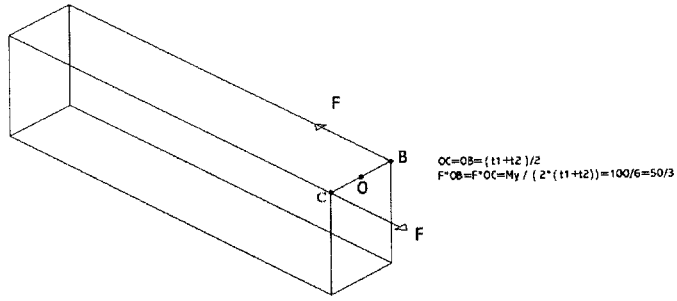
1) Ansys Main Menu > Solution > - Apply – Loads > - Structural – Temperature > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا همهٔ گره ها انتخاب شوند.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply TEMP on Nodes در مقابل کـادرVAL1 Temperature Value عدد ۱۰۰ را وارد کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید تا دما بر روی کل مدل قرار گیرد.

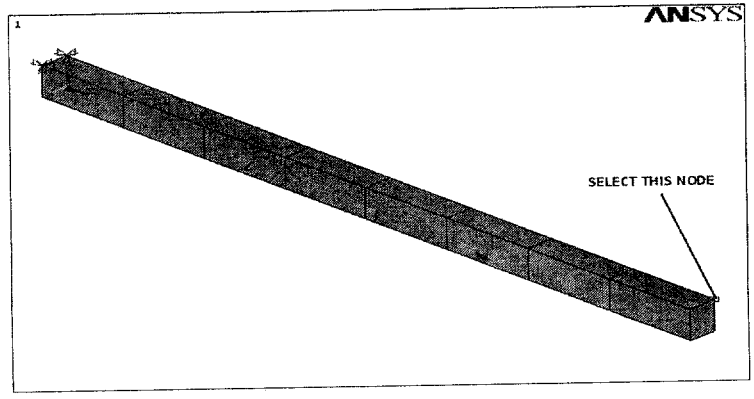
قرار دادن گشتاور حول محور Y بر روی مدل با توجه به اینکه بر روی المانـــهای SOLID نمـی توان مستقیماً گشتاور قرار داد باید با قرار دادن دو نیرو برخلاف جهت هم گشتاور اعمـــال کـرد در این مساله باتوجه به اینکه گشتاور در قسمت جلوی بالائی مدل اعمال می شود می تـوان دو نیروی مساوی و خلاف جهت هم را در جهت محور X بر روی گره های انتـهایی مـدل ( دو گره سمت چپ و راست بالایی مدل ) اعمال کرد تا این نیروها تشکیل گشـــتاور حـول محـور Y بـه اندازه ( Lb – in ) ۱۰را دهند مقدار این نیرو با توجه به شکل (۷-۸) برابر ۵۰/۳ است.




**شکل (۷-۸) : محاسبهٔ مقدار نیروی اعمالی جهت تولید گشتاور**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads - Apply > - Structural - Force/Moment > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۸-۸) گرهٔ شمارهٔ ۳ را انتخاب کنید.



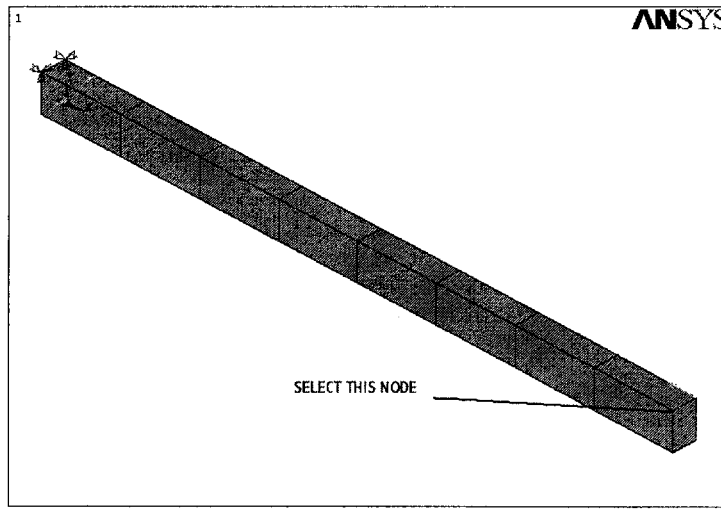

**شکل (۸-۸) : انتخاب گرهٔ شمارهٔ ۳ در پنجرهٔ گرافیکی**

۳) کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes در مقابل کادر Direction of force/mom از منوی گشودنی آن عبارت FX را انتخاب کنیـد و در مقـابل کـادر VALUE Force/moment value مقدار 50/3– را وارد کنید.

۵) کلید Apply را فشار دهید.

۶) دوباره در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۹-۸) گرهٔ شمارهٔ ۲۸ را انتخاب کنید.




**شکل (۹-۸) : انتخاب گرهٔ شمارهٔ ۲۸ در پنجرهٔ گرافیکی**

۶) کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes در مقابل کادر VALUE Force/moment value اینبار 50/3 را وارد کنید وکلید OK را فشار دهید.

اکنون بارگذاری و شرایط مرزی کامل است.

جهت شروع حل مساله عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution >- Solve - Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ /STAT را بخوانید وکلید Close را از منوی فایل همـان پنجـره انتخاب کنید تا پنجره بسته شود.

۳) در پنجرهٔ سبز رنگ Solve Current Load Step کلید OK را فشار دهید.

۴) پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زرد رنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است این پنجره را ببندید و جهت مشاهدهٔ نتایج به مرحلهٔ بعدی بروید.

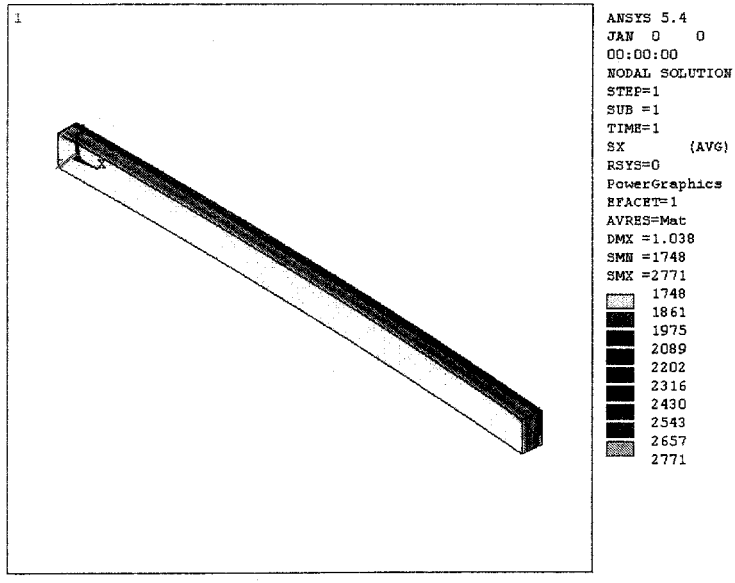
**مرحلهٔ هفتم – مشاهدهٔ نتایج :**

در این مرحله به مشاهدهٔ کانتور های تنش در جهت X , Y , Z و کانتور جابجایی درجهت X , Y , Z بپردازید با توجه به اینکه بارگذاری از نوع خمش خالص است و بارگذاری حرارتی فقط در جهت محور X عمل می کند ( زیرا ALPY , ALPZ هر دو صفر هستند ) و همچنین نسبت پواسون درهر جهت صفر است بنابراین انتظار می رود فقط تنش در X ( SX ) موجود باشد وکانتورهای تنش در جهت محور Y , Z صفر باشند.

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot - Nodal Solu...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress و در پنجرهٔ مقابل آن گزینهٔ X-direction SX را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا مطابق شکل (۱۰-۸) کانتورهای تنش در جهت محور X مشاهده شوند.



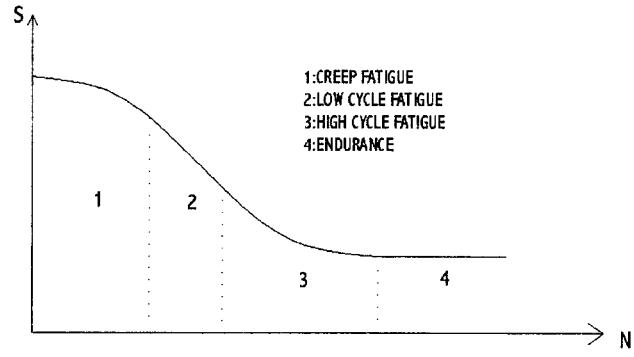

**شکل (۱۰-۸) : کانتورهای تنش در جهت محور x بر روی مدل**

# تمرین نهم : خستگی[1]

**مقدمه:**

گاهی اوقات در اثر اعمال بار تناوبی (مثلاً یک بار کشش-فشار) بر روی سازه ، با اینکه تنش ماکزیمم ایجاد شده برروی سازه کمتر از تنش نهایی آن است ، اما پس از اعمال تعدادی سیکل ، برروی سازه ترک هایی ایجاد شده که در نهایت منجر به شکست می شود . این پدیده را خستگی در اثر اعمال بار تناوبی می نامند.

در مبحث خستگی با دیاگرام دامنهٔ تنش بر حسب تعداد سیکل ( دیاگرام S-N ) آشنا شده اید برای یادآوری به شکل (۱-۹) و نواحی مشخص شده در آن توجه کنید:




**شکل (۱-۹) : نواحی مختلف دردیاگرام S --N**

مثلاً می دانید که در حالت High Cycle Fatigue ماده در ناحیهٔ الاستیک قرار دارد اما در حالت Low Cycle Fatigue ماده وارد محدودهٔ پلاستیک شده است . برای اطلاعات بیشتر در این مورد به کتاب رفتار مکانیکی مواد نوشتهٔ نورمن دالینگ [۱۲] مراجعه کنید .

در نرم افزار ANSYS برای انجام یک تحلیل خستگی تحت بار متناوب ابتدا باید تنش های ایجاد شده در سازه را تحت بارهای تناوبی تعیین کرد . بنابراین قبل از انجام هر آنالیز خستگی بایدیک آنالیز استاتیکی که شامل حداقل دو بارگذاری ( Load Step ) میباشد را انجام دهید سپس با توجه به کانتورهای تنش ( در هر بار اعمال شده ) ، گره های بحرانی را که تنش در آنها بیشینه است ، تشخیص داده و سپس به محاسبهٔ خستگی بر روی این گره های بحرانی بپردازید .برای انجام تحلیل خستگی پس از انجام تحلیل استاتیکی با مفاهیم زیر باید آشنا بود :

---

*1- Fatigue Analysis*

**: EVENT**

تعداد انواع سیکلهایی است که برروی سازه اتفاق می افتد .

**: LOADING**

بارهای اعمالی در آنالیز است که جزئی از EVENT میباشد .

**: LOCATION**

گره های بحرانی سازه ( از لحاظ بیشینه بودن مقدار تنش ) است که محاسبات خستگی برروی آنها انجام میشود و این گره ها توسط کاربر پس از محاسبهٔ تنش در هر بارگذاری بر روی مدل باید شناسایی شود .

**دیاگرام S – N :**

نمودار دامنهٔ تنش بر حسب تعداد سیکل خستگی است که در صفحهٔ قبل توضیح داده شد و همچنین برای فلزات مختلف از کدهای ASME قابل دستیابی است .

**دیاگرام $S_m$ – T :**

در مواردی که سازه وارد ناحیهٔ پلاستیک میشود تعریف این دیاگرام و پارامترهای الاستو ـ پلاستیک ضروری است .

**مثال :**

صفحهٔ سوراخداری رادر فصل آنالیز استاتیکی تحت بار کششی تحلیل کردید .اکنون میخواهیم به تحلیل پدیدهٔ خستگی در این صفحه تحت بار خطی کشش ـ فشار به میزان ( Mpa ) ۸۰ بپردازیم . تعداد سیکل های اعمالی در این رخداد برابر ۱۵۰۰۰۰۰ سیکل است . ابعاد هندسی ، نوع المان و گزینه های آن ، مقادیر ثابت ، روش شبکه بندی و اعمال شرایط مرزی عینا مانند آنالیز استاتیکی است وفقط در این مثال تعداد دو بارگذاری به میزان ( Mpa ) ۸۰ برروی گره های دو خط طولی بالایی مدل اعمال میشود .

خواص مواد به صورت زیر است :

Poisson's ratio (v) = 0.3
Young's modulus =207(Gpa)

**اهداف تمرین عبارتند از :**

۱: آشنایی با تحلیل خستگی

۲: آشنایی بیشتر با Load Step ها ومشاهدهٔ نتایج

۳: آشنایی با استفاده از قابلیت منوی Operate در Solution

نقاط مورد نیاز جهت تعریف دیاگرام S – N به صورت جدول زیر است :

| S | N |
|---|---|
| 1 | 700E6 |
| 10 | 650E6 |
| 1000 | 600E6 |
| 10000 | 550E6 |
| 30000 | 500E6 |
| 50000 | 450E6 |
| 70000 | 400E6 |
| 100000 | 380E6 |
| 250000 | 360E6 |
| 500000 | 340E6 |
| 750000 | 320E6 |
| 1000000 | 300E6 |
| 2500000 | 280E6 |
| 5000000 | 260E6 |
| 7500000 | 240E6 |
| 10000000 | 220E6 |
| 25000000 | 210E6 |
| 50000000 | 205E6 |
| 75000000 | 202E6 |
| 100000000 | 200E6 |

## حل:

### مرحلهٔ اول – تعریف موضوع مساله :

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title...

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت دلخواهی با توجه به موضوع مساله نظیر Calculating Fatigue را وارد کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

### مرحلهٔ دوم- انتخاب المان مورد نیاز :

در این مساله از المان ۴ گره ای PLANE42 در حالت تنش صفحه ای با ضخامت استفاده میشود :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural المان نوع Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان Quad 4node 42 را انتخاب کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

۵) درجعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Options را فشار دهید .

۶) درجعبهٔ محاورهٔ PLANE42 element type options در مقابل کادر Element behavior K3 از منوی گشودنی آن گزینهٔ Plane strs w / thk را انتخاب کنید .

۷) کلید OK را فشار دهید .

۸) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

اکنون باید مقادیر ثابت المان را که همان ضخامت المان است ، تعریف کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید .

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants کلید OK را فشار دهید .

۴) درجعبهٔ محاورهٔ Real Constants for PLANE42 در مقابل کادر THK Thickness مقدار 8E-3 را وارد کنید .

۵) کلید OK را فشار دهید .

۶) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ سوم – تعریف خواص مواد :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده ۱ در نظر گرفته شود .

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر (EX) Young's modulus عدد 207E9 را وارد کرده و در مقابل کادر (NUXY) Poisson's ratio (Minor) عدد 0.3 را وارد کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود .

**مرحلهٔ چهارم – مدلسازی و شبکه بندی :**

در این مرحله یک چهارم مدل را ( ربع ) مطابق با تمرین اول فصل مدلسازی بسازید و مطابق شبکه بندی دستی به روش Concatenate آنرا شبکه بندی کنید .

اکنون جهت تولید مدل کامل عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > Areas +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Reflect Areas در مقابل کادر NCOMP Plane of symmetry صفحهٔ تقارن را صفحهٔ X – Z انتخاب کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۴) در پنجرهٔ انتخاب دوباره کلید Pick All را فشار دهید .

۵) درجعبهٔ محاورهٔ Reflect Areas در مقـابل کـادر NCOMP Plane of symmetry صفحـهٔ تقارن را صفحهٔ Y –Z انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید تا مدل کامل تولید شود .

**مرحلهٔ پنجم – ممزوج کردن اجزاء :**

چون مدل از لحاظ مرزی یکپارچه نیست بنابراین باید عملیات ممزوج کردن را انجام داد :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر Type of item to be merge از منـوی گشـودنی آن گزینهٔ All را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ ششم – قرار دادن شرایط مرزی وبار فشاری ماکزیمم :**

از آنجا که به طور پیش فرض آنالیز استاتیکی فعال است بنـابراین نیـاز بـه تنظیـم نـوع آنـالیز نیست .

همانند آنالیز استاتیکی جسم برروی گره های دو خط طولی پایینی خود دارای شرط مـرزی در جهت محور Y است :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های دو خط طولی پایینی مدل را انتخاب کنید و کلیـد OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

**نکته :** می توانید برای انتخاب سریعتر گره های فوق ، در پنجرهٔ انتخـاب معیـار انتخـاب را از Single به Box تغییر داده و سپس در پنجرهٔ گرافیکی به کمک ساختن یک مستطیل انتخـاب کلیهٔ گره های دو خط طولی پایینی را انتخاب کنید.

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل کادر DOF to be constrained در پنجرهٔ مربوطه ، گزینهٔ UY را انتخاب کرده و کلید Apply را فشار دهید .

شرایط مرزی تعریف شد اما به علت وجود حرکت صلـب وار در جـهت محـور X ، هنـگام حـل مساله با پیغام Rigid Body Motion مواجه خواهید شد . برای اجتناب از این خطا بـرروی گرهٔ میانی مدل که محل تقاطع دو خط طولی پایینی مدل است و از لحاظ تاثیر گذاشتن در جـواب بی تاثیر است ، باید شرط مرزی در جهت محورX قرار داد :

۴) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ میانی پایینی مدل را انتخاب کنید ودر پنجـرهٔ انتخـاب کلیـد OK را فشار دهید .

۵) درجعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل کـادر DOF to be constrained بـه کمک ماوس یکبار روی UY فشار دهید با کمرنگ و غیر فعال شود و سپس بـرروی UX یکبـار فشار دهید تا فعال شود .

۶) کلید OK را فشار دهید تا شرط مرزی در جهت محور X روی گرهٔ میانی پایینی اعمال شود
اکنون باید بار فشاری را برروی گره های دو خط طولی بالایی مدل قرار داد :
1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Pressure > On Nodes +
۲) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های دو خط طولی بالایی مدل را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .
**نکته :** میتوانید برای انتخاب سریعتر گره های فوق ، در پنجرهٔ انتخاب معیار انتخاب را از Single به Box تغییر داده و سپس در پنجرهٔ گرافیکی به کمک ساختن یک مستطیل انتخاب کلیهٔ گره های دو خط طولی بالایی را انتخاب کنید.
۳) درجعبهٔ محاورهٔ Apply PRES on Nodes در مقابل کادر VALUE Pressure value مقدار 80E6 را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

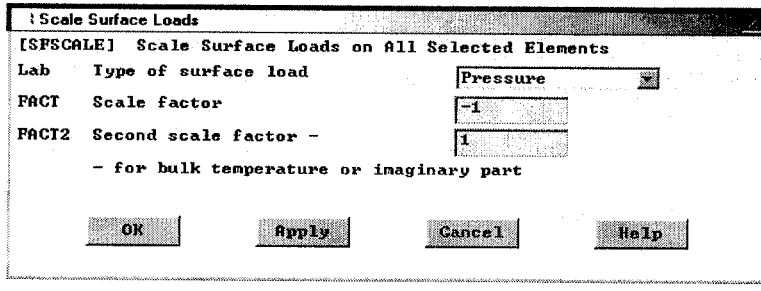
**مرحلهٔ هفتم – حل بار فشاری :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS
۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT / را خوانده و سپس آنرا ببندید .
۳) جهت شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید .
۴) پس از مدتی حل مساله کامل میشود . پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done را ببندید

**مرحلهٔ هشتم – قرار دادن بار کششی وحل بارگذاری دوم :**

در این قسمت باید بار فشاری در مرحلهٔ قبل از روی مدل حذف شود و سپس بار کششی جایگزین آن شود . میتوان جهت قرار دادن بار کششی این کار را انجام داد اما می توانید از طریق مسیر زیر با ضرب کردن بار فشاری در مقیاس منفی یک ، آنرا به بار کششی تبدیل کنید برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید :
1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Operate > - Scale FE Loads – Surface Loads ..
۲) مطابق شکل (۲-۹) در جعبهٔ محاورهٔ Scale Surface Loads در مقابل کادر Lab Type of surface Loads از منوی گشودنی آن گزینهٔ Pressure را انتخاب کنید ودر مقابل کادر FACT Scale factor عدد ۱- را وارد کنید .
۳) کلید OK را فشار فشار دهید تا بار به صورت بار کششی برروی مدل قرار گیرد .
4) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS
۵) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT / را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۶) جهت شروع حل Load Step دوم ، کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید .




**شکل (۲-۹) : تعیین مقیاس برای معکوس کردن نیروی اعمالی**

۷) پس از مدتی حل مساله کامل میشود پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done را ببندید

**مرحلهٔ نهم – مشاهدهٔ نتایج و تشخیص گره های بحرانی مدل :**

کلیهٔ گره های نزدیک به سوراخ دایره ای در هر دو بارگذاری کشش و فشار از گره های بحرانی مدل محسوب میشوند در این مساله محاسبات خستگی برای یکی از دو گرهٔ سوراخ که از لحاظ زاویه ای دردو موقعیت ۰و۱۸۰ درجه قرار دارند ، انجام می شود . جهت تشخیص دادن شمارهٔ این گره ها عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > Plot Ctrls > Numbering...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls گزینهٔ NODE Node numbers را فعال کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

اکنون با توجه به اینکه گره های واقع بر سوراخ دایره ای ، در سیستم مختصات قطبی در موقعیت شعاعی ۰/۰۴ قرار دارند ، برای انتخاب این گره ها عملیات زیر را انجام دهید :

4) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cylindrical

5) Ansys Utility Menu > Select > Entities...

۶) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول عبارت Nodes و در قسمت دوم عبارت By Location را از منوی گشودنی هر کدام انتخاب کرده وسپس گزینهٔ X coordinates را فعال کنید و در کادر Min , Max عدد ۰/۰۴را وارد کرده ودقت کنید گزینهٔ From Full فعال باشد .

۷) کلید Apply را فشار دهید

8) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

اکنون باید کلیهٔ گره های واقع بر سطح دایره أی به همراه شماره های آن در پنجرهٔ گرافیکی نمایان باشند .

**نکته :** اگر به علت تجمع بیش از حد گره ها در اطراف سوراخ دایره أی ، شمارهٔ هیچ کدام به درستی معلوم نیست ، جهت مشاهدهٔ شمارهٔ دقیق دو گرهٔ واقع در زاویهٔ ۰و۱۸۰ درجه باید کلیهٔ گره هایی را که از زاویهٔ ۱ تا ۱۷۹ درجه و از زاویهٔ ۱۸۱ تا ۳۵۹ قرار دارند حذف کنید . برای این کار عملیات زیر را انجام دهید :

۱) در جعبه ابزارSelect Entities مطابق شکل ( ۳-۹ ) در قسمت اول عبارت Nodes و در قسمت دوم عبارت By Location را انتخاب کنید و اینبار گزینهٔ Y coordinates را فعال کنید و در کادر Min , Max عبارت ۱۷۹و۱ را تایپ کنید و به جای گزینهٔ From Full گزینهٔ Unselect را فعال کنید .

۲) کلید Apply را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

۴) اکنون جهت حذف گره های پایینی سوراخ عملیات زیر را انجام دهید :

۵) در جعبه ابزار Select Entities در کادر Min , Max عبارت ۳۵۹و۱۸۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

6) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

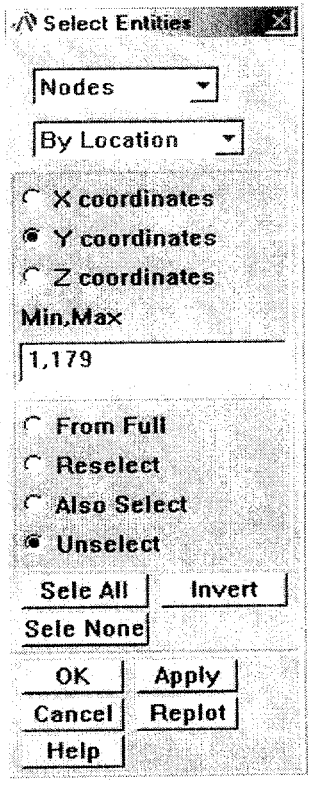
اکنون در پنجرهٔ گرافیکی دو گرهٔ موردنظر با شمارهٔ خود مشخص خواهند شد .

**نکته :**

احتمالا گره های فوق با شمارهٔ ۲ برای گرهٔ سمت راست وشمارهٔ ۵۵۲ برای گرهٔ سمت سمت چپ مشاهده خواهند شد . در غیر اینصورت شمارهٔ گرهٔ سمت راست را به خاطر بسپارید زیرا هدف محاسبهٔ خستگی در این گره است .

7) Ansys Utility Menu > Select > Everything

8) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes




**شکل ( ۳-۹ ) : حذف موقت گره های بالایی دایره**

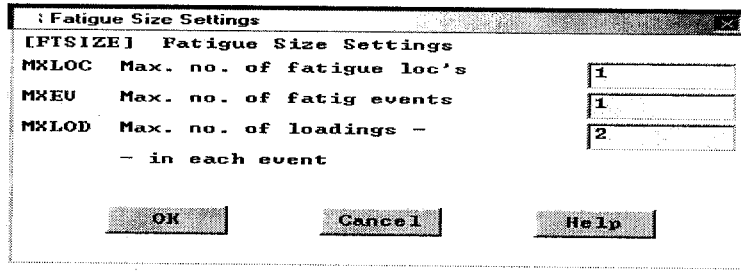
**مرحلهٔ دهم –تنظیم گزینه های خستگی و محاسبهٔ خستگی در گرهٔ مورد نظر :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – First Set

۲) با این کار نتایج بار فشاری ( بارگذاری اول ) از فایل نتیجه خوانده می شود .

3) Ansys Main Menu > General Postproc > Fatigue > Size Settings ...

۴) مطابق شکل ( ۴-۹ ) در جعبهٔ محاورهٔ Fatigue Size Settings در مقابل کـادر MXLOC Max .no. of fatigue loc's عدد ۱ را وارد کنید ( زیرا فقط می خواهید محاسبات خستگی را برای یک گره انجام دهید . ) و سپس در مقابل کادر MXEV Max . no . of fatigue events عدد ۱ را وارد کنید و در مقابل کادر -MXLOD Max . no . of loadings عدد ۲ را وارد کنید ( زیرا دو بارگذاری دارید . )




**شکل (۴-۹) : تعیین تعداد گره ها ، رخدادها و بارگذاری ها**

۴) کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > General Postproc > Fatigue > - Property Table – S – N Table ...

۶) مطابق شکل ( ۵-۹ ) درجعبهٔ محاورهٔ Fatigue S – N Table در مقابل کادر Table entries N1 , S1 ( 1 , 21 ) در کادر مربوط به N1 عدد 1 و در کادر مربوط بـه S1 عـدد700E6 را وارد کنید و به همین ترتیب بقیهٔ نقاط فوق را مطابق با نقاط داده شده در صفحات قبـل وارد کنیـد فقط برای وارد کردن نقطهٔ آخر ( نقطهٔ بیستم ) به کمک لغزنـدهٔ پنجـره کمـی آنـرا بـه پـایین کشیده تا کادر مربوط به نقطهٔ بیستم نمایان شود .

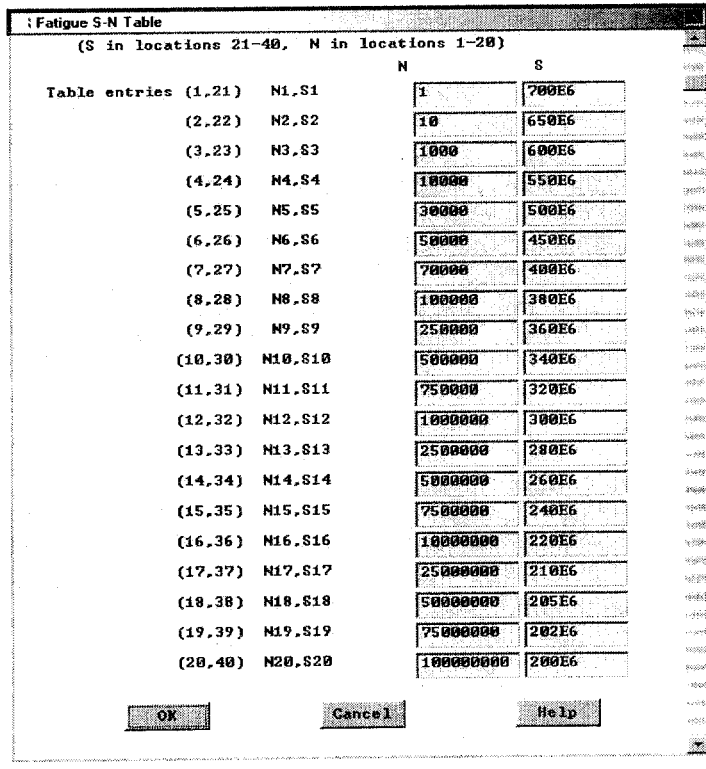
**نکته :** داده های جدول را بررسی کنید تا در صورت وجود خطا ، بتوانید آنها را تصحیح کنید .

۷) کلید OK را فشار دهید تا نمودار ثبت شود .

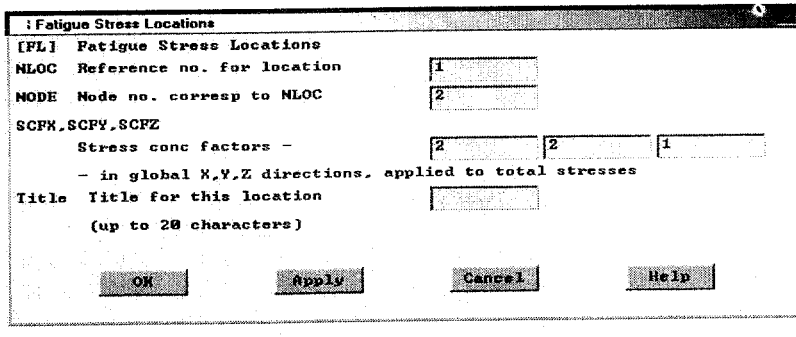
8) Ansys Main Menu > General Postproc > Fatigue > Stress Locations ...

۹) مطـابق شـکل (۶-۹) درجعبـهٔ محـاورهٔ Fatigue Stress Locations درمقـابل NLOC Reference no. for location عدد۱را وارد کرده وسپس درمقابل کـادر Node no. NODE corresp to NLOC شمارهٔ گرهٔ موردنظر را ( که احتمالاً عدد ۲ اسـت ) وارد کنیـد و در مقـابل کادر - Stress conc factors SCFX , SCFY , SCFZ به ترتیب ضرایب تمرکز تنش ۱و۲و۲ را وارد کنید.

۱۰) کلید OK را فشار دهید .




شکل (۵-۹) : تعریف نقاط واقع بر دیاگرام S – N

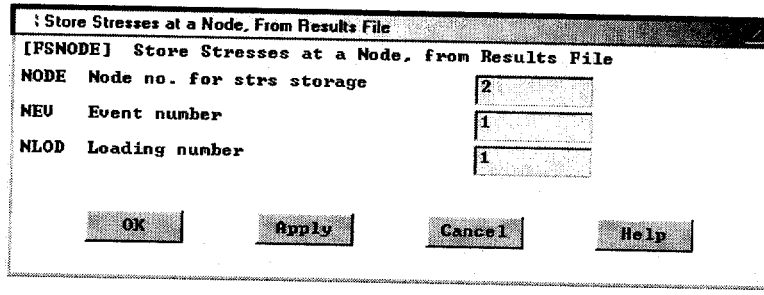



شکل (۶-۹) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین شمارهٔ گره وضرایب تمرکز تنش در آن

11) Ansys Main Menu > General Postproc > Fatigue > - Store Stresses – From rst File...

۱۲) مطابق شکل (۷-۹) درجعبهٔ محاورهٔ Store Stresses at a Node , From Results File در مقابل کادر NODE Node no . for strs storage شمارهٔ گرهٔ مورد نظر را ( که احتمالا گرهٔ

شمارهٔ ۲ است ) وارد کرده و سپس در مقابل کادر NLOD Loading number عـدد ۱ را ( کـه معرف بارگذاری اول است ) وارد کنید .




**شکل (۷-۹) : جعبهٔ محاورهٔ خواندن تنش گرهٔ شمارهٔ ۲ تحت بارگذاری اول**

۱۳) کلید OK را فشار دهید تا تنشـهای موجـود بـرروی گرهٔ مـورد نظـر تحـت بـارگذاری اول (فشار) خوانده شود .

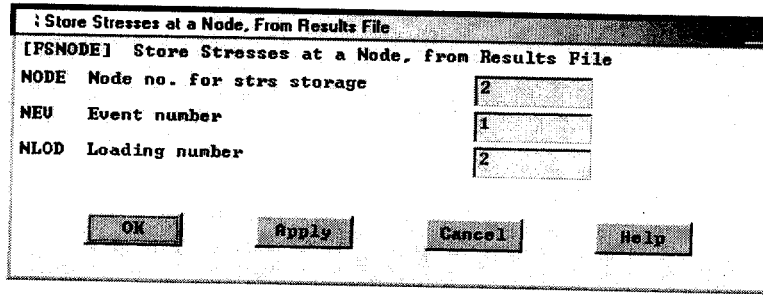
اکنون موقع آن است که تنشهای موجود روی گرهٔ مـورد نظـر تحـت بـارگذاری دوم ( کشـش) خوانده شود . برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – Next Set

با این کار نتایج بارگذاری دوم (کشش) از فایل نتیجه خوانده می شود .

2) Ansys Main Menu >General Postproc > Fatigue > - Store Stresses – From rst File ...

۳) مطابق شکل (۸-۹) درجعبهٔ محاورهٔ Store Stresses at a Node , From Results File در مقابل کادر NLOD Loading number عدد ۲ را ( که معرف بارگذاری دوم است ) وارد کنید .



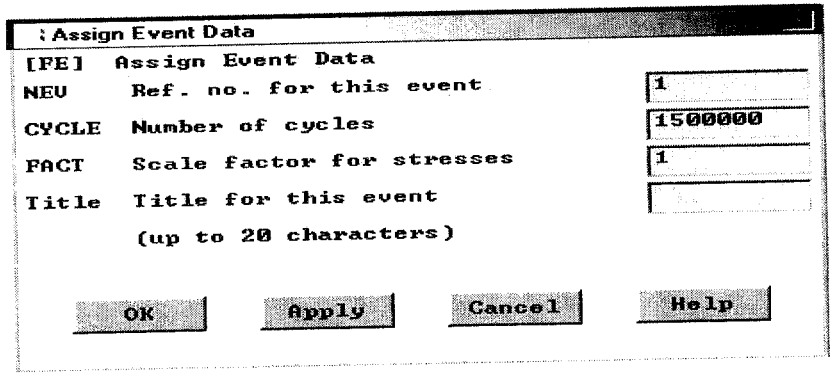

**شکل (۸-۹) : جعبهٔ محاورهٔ خواندن تنش گرهٔ شمارهٔ ۲ تحت بارگذاری دوم**

۴) کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید تعداد سیکلهای اعمالی را در این رخداد تعریف کنید :

5) Ansys Main Menu > General Postproc > Fatigue > Assign Events ...

۶) مطابق شکل (۹-۹) درجعبهٔ محاورهٔ Assign Events Data در مقابل کادر NEV Ref . no . for this event عدد ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر CYCLE Number of cycles عدد ۱۵۰۰۰۰۰ را وارد کنید .



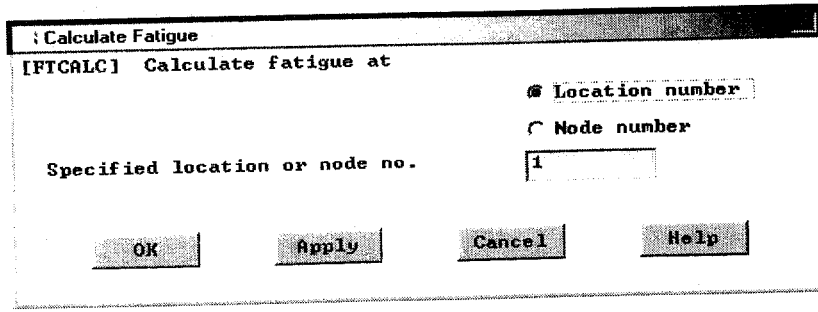

**شکل (۹-۹) : تعیین تعداد سیکلهای اعمالی**

۷) کلید OK را فشار دهید .

اکنون مساله جهت تحلیل خستگی آماده است . برای تحلیل خستگی عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Fatigue > Calculate Fatig ...

مطابق شکل (۱۰-۹) درجعبهٔ محاورهٔ Calculate Fatigue در مقابل کادر [FTCALC] Calculate fatigue at گزینهٔ Location number را فعال کرده و در مقابل کادر Specified location or node no . عدد ۱ را وارد کنید تا محاسبات بر اساس شمارهٔ موقعیت ۱ انجام شود




**شکل (۱۰-۹) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین تحلیل خستگی در موقعیت شمارهٔ ۱**

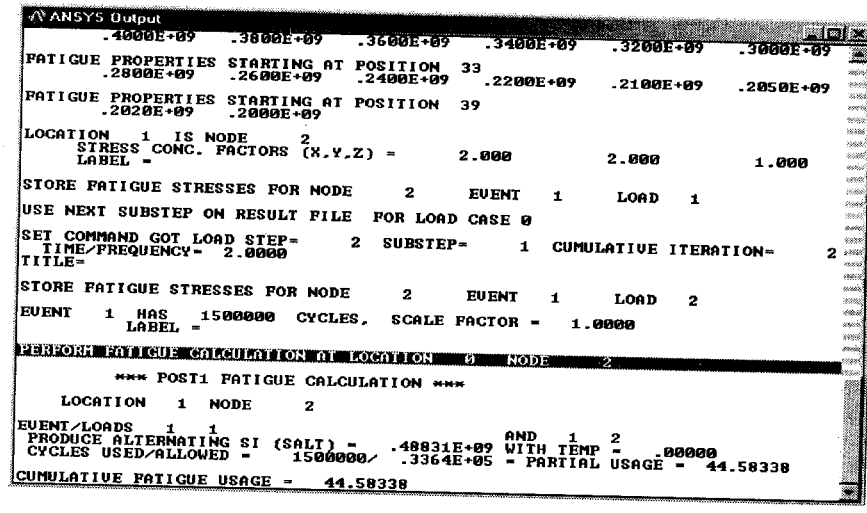
۳) کلید OK را فشار دهید .

پس از مدتی مطابق شکل(۱۱-۹) در پنجرهٔ سفید رنگ Ansys Output نتایج تحلیل نمایان خواهد شد .

**نکته :**

کاربر می تواند در صورت تمایل نتایج تحلیل را به کمک مسیر زیر به صورت یک فایل خروجی ذخیره کند :

Ansys Main Menu > General Postproc > Fatigue > Write Fatigue Data ...




شکل (۱۱-۹) : نتایج محاسبات خستگی در پنجرهٔ Ansys Output

# فصل چهارم

## آنالیزهای حرارتی

## Thermal Analysis

ANSYS

# تمرین اول : حالت پایدار[1]

به کمک این آنالیز می توان به نحوهٔ توزیع حرارت ، گرادیان حرارتی و ... بـر روی یـک مـدل تحت بارگذاری حرارتی مستقل از زمان پرداخت به طور کلی بارگذاریها دراین آنالیز عبارتند از :

الف ) بارگذاری هدایت همرفتی[2]

ب ) تشعشع[3]

ج ) جریان حرارتی[4]

د) دمای ثابت

این آنالیز می تواند خطی و یاغیر خطی باشد در صورتیکه خواص مادهٔ موجـود مسـتقل از دمـا باشد آنالیز خطی و درصورت وابسته بودن خواص مـاده بـه دمـا آنـالیز غـیرخطی اسـت. بـرای اطلاعات بیشتر میتوانید به کتاب انتقال حرارت نوشتهٔ کریت [۱۳] مراجعه کنید .

المانهای به کار رفته در هر نوع آنالیز حرارتی ( حالت پایدار یا گذرا ) عبارتند از :

Link1,Link31,Link32,Link33, Link34, Link68

Plane35,Plane55, Plane75, Plane78, Plane67, Plane13

Solid70, Solid 90, Solid 87, Solid 69, Solid 5

Shell57

Surf 19, Surf 22, Matrix 50

Infin 90, Infin 47,Fluid66

Combin 37,Combin 14, Combin 39, Combin 40

Mass 71, Contac 48 , Contac 49

در هر آنالیز حرارتی سه مرحلهٔ کلی همانند آنالیزهای دیگر باید انجام داد :

الف ) مدلسازی و تعریف خواص مواد و شبکه بندی مدل

ب ) بارگذاری و تحلیل

ج ) مشاهدهٔ نتایج

**مثال :**

مطلوبست نحوهٔ توزیع حرارت درمدل شکل (۱-۱) که دمای دو خط مورب و کمـان داخلـی آن ۱۴۰۰ درجهٔ فارنهایت و دمای خطوط خارجی آن ۱۰۰ درجهٔ فارنـهایت اسـت از اثـرات پدیـدهٔ همرفت و تشعشع صرف نظر کنید. ( دو خط مورب در مرکز دایره با هم تلاقی می کنند ).

خواص مواد به صورت زیر است :

C = Specific Heat = 46.3

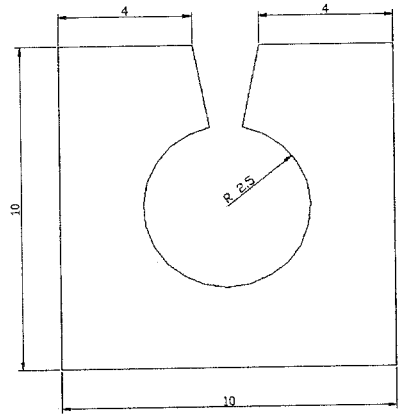
---

*1- Steady State Thermal Analysis*
*2- Convection*
*3- Radiation*
*4- Heat Flux*

$T_{in}$ = 1400 (°F)
$T_{out}$ = 100 (°F)

ضریب هدایت حرارتی ( $K_{xx}$ ) وابسته به دما است.

| Temperature | $K_{xx}$ |
|---|---|
| 100 | 22E-5 |
| 400 | 24E-5 |
| 700 | 26E-5 |
| 900 | 23E-5 |
| 1200 | 20E-5 |
| 1400 | 17E-5 |




**شکل (۱-۱) : مدل مساله به همراه ابعاد برحسب اینچ**

**اهداف مساله عبارتند از :**

۱) آشنایی با نحوهٔ اعمال خواص مواد وابسته به دما
۲) آشنایی با انجام آنالیز حرارتی حالت پایدار
۳) آشنایی بیشتر با ذخیرهٔ نتایج به صورت یک فایل خروجی با پسوند RTH . *

## حل :

### مرحلهٔ اول – تعریف موضوع مساله :

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title…
۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت A Steady State Thermal Problem را تایپ کرده و کلیـد OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ دوم – تعریف المان مورد نیاز :**

با توجه به دو بعدی بودن مساله از المان PLANE77 استفاده کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ با پایین کشیدن لغزندهٔ آن خانوادهٔ Thermal و نوع المان Solid را انتخاب کنید و در پنجرهٔ سمت راست المـان Quad 8node 77 را انتخاب کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) کلید Close را در جعبهٔ محاوره Element Types فشار دهید.

**مرحلهٔ سوم – تعریف خواص مواد :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده ۱ در نظر گرفته شود.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Specific heat C عدد 46.3 را وارد کنید.

۴) کلید OK فشار دهید.

اکنون باید ضریب هدایت حرارتی مادهٔ فوق را به صورت تابعی از دما تعریف کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Temp Table...

۲) مطابق شکل (۲-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Temperature Table بـه ترتیب مقادیر زیر را وارد کنید :

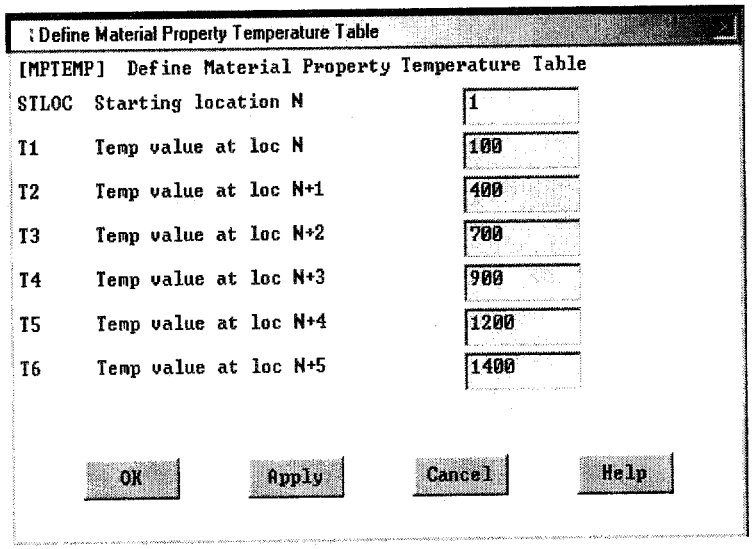
STLOC Starting Location N : 1
T1 Temp value at loc N : 100
T2 Temp value at loc N+1 : 400
T3 Temp value at loc N+2 : 700
T4 Temp value at loc N+3 : 900
T5 Temp value at loc N+4 : 1200
T6 Temp value at loc N+5 : 1400

۳) کلید OK را فشار دهید.

**نکته :**

اگر تعداد دماهای مورد نیاز از ۶ عدد بیشتر بود ، باید پس از پایان یافتن دمای ششم در مقـابل کادر STLOC Starting location N عدد ۷ را وارد کرده و سپس به ترتیـب دماهـای هفتـم بـه بعد را در کادرهای زیر آن وارد کنید ( در کادرهای T1 تا T6 ).

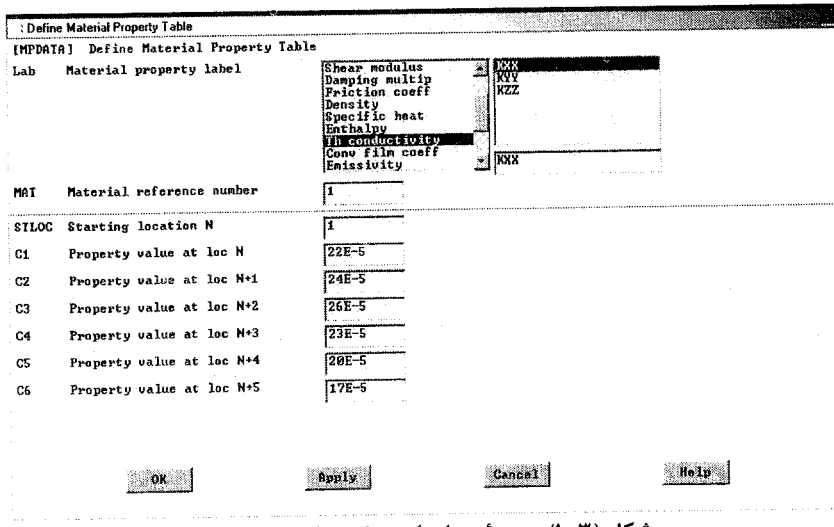
اکنون باید مقادیر Kxx در هر دما را وارد کنید برای این کار عملیات زیر را انجام دهید :




**شکل (۲-۱) : تعریف کردن دماهای لازم جهت تعریف خواص مادهٔ وابسته به دما**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Temp Table...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Temperature Table مطابق شکل (۳-۱) در مقابل کادر Material property label در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن گزینهٔ Th conductivity را انتخاب کنید و در پنجرهٔ سمت راست دقت کنید گزینهٔ Kxx فعال باشد




**شکل (۳-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص وابسته به دما**

سپس در مقابل کادر MAT Material referernce number عدد ۱ را وارد کنید تا مرجع ماده ، شمارهٔ ۱ باشد ( یعنی خاصیت Kxx وابسته به دما مربوط بـه مـادهٔ ۱ اسـت) سـپس در مقـابل کادر STLOC Starting location N دقت کنید عدد ۱ نوشته شـده باشـد حـال مطـابق شـکل مقادیرهدایت حرارتی زیر را در جدول وارد کنید :

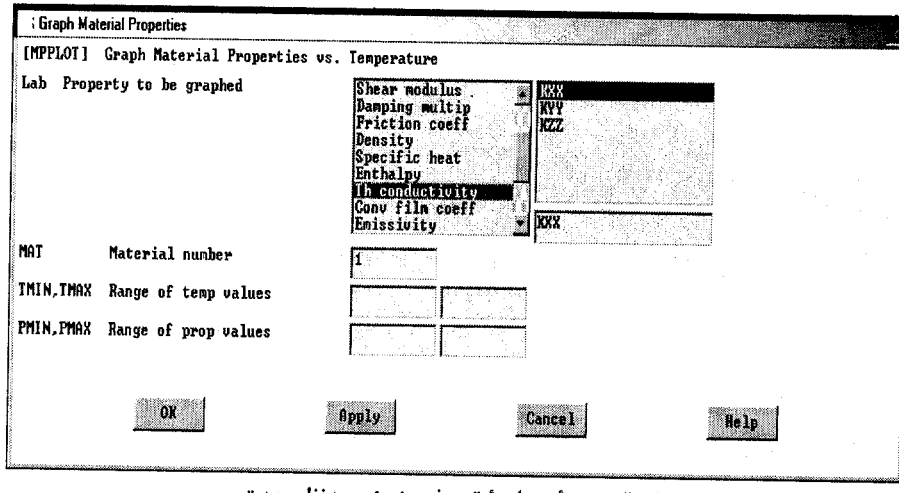
C1 Property value at loc N: 22E-5
C2 Property value at loc N+1 : 24E-5
C3 Property value at loc N+2 : 26E-5
C4 Property value at loc N+3: 23E-5
C5 Property value at loc N+4: 20E-5
C6 Property value at loc N+5: 17E-5

۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون جهت مشاهدهٔ منحنی Kxx برحسب دما عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Graph...

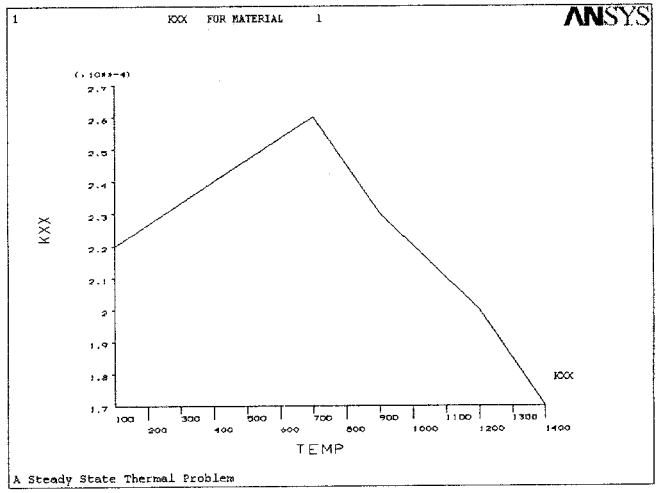
۲) مطـابق شـکل (۴-۱) در جعبـهٔ محـاورهٔ Graph Material Properties در مقـابل کـادر Lab Property to be graphed به کمک لغزندهٔ آن گزینهٔ Th conductivity و در پنجرهٔ مقـابل آن گزینهٔ Kxx را انتخاب کنید و در قسمت MAT Material number عدد ۱ را وارد کنید.




**شکل (۴-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعریف منحنی مدنظر جهت رسم**

۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون منحنی هدایت حرارتی برحسب دما در پنجرهٔ گرافیکی به صـورت شـکل (۵-۱) نمایـان خواهد شد.




**شکل (۵-۱) : منحنی ضریب هدایت حرارتی برحسب دما**

## مرحلهٔ چهارم – مدلسازی هندسی :

کاربر می تواند به روشهای متفاوت مدل مساله را بسازد یا اینکه مطابق روش زیر عمل کند :

1) Ansys Main Menu> Preprocessor>-Modeling -Create> -Areas -Rectangle > By Dimensions…

۲) در پنجرهٔ تولید مستطیل درمقابل کادرX1,X2 به ترتیب اعداد 10 , 0 و در مقابل کادر Y1 , Y2 به ترتیب اعداد 10 , 0 را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا مستطیل ساخته شود.

4) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > - Areas –Circle > Solid Circle +

۵) در پنجرهٔ تولید دایره برای مختصات مرکز آن به ترتیب در مقابل کادر WP X عدد ۵ و در مقابل کادر WP Y عدد ۵ را وارد کرده و برای شعاع آن در مقابل کادر Radius عدد ۲/۵ را وارد کنید.

۶) کلید OK را فشار دهید.

7) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Delete > Areas Only +

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا فقط سطوح پاک شوند و خطوط آنها باقی بماند.

9) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

10) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create >Keypoints > In Active CS…

۱۱) در پنجرهٔ تولید نقطه در مقابل کادر NPT Keypoint number عدد ۱۰ را وارد کرده و برای مختصات X,Y,Z آن به ترتیب اعداد 5,5,0 را وارد کنید. وکلید Apply را فشار دهید.

۱۲) دوباره در پنجرهٔ تولید نقطه در مقابل کادر NPT Keypoint number عدد ۱۱ را وارد کرده و برای مختصات X,Y,Z آن عدد 4,10,0 را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۱۳) در انتها دوباره در پنجرهٔ تولید نقطه در مقابل کادر NPT Keypoint number عدد ۱۲ را وارد کرده و برای مختصات آن X,Y,Z به ترتیب اعداد 6,10,0 را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید.

14) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create >- Lines – Lines > Straigth Lines +

۱۵) در پنجرهٔ گرافیکی یکبار روی نقطهٔ ۱۰و۱۱ به ترتیب فشار دهید تا خط مورب اول ساخته شود و دوباره با ماوس روی نقطهٔ ۱۰و۱۲ به ترتیب فشار دهید تا خط مورب دوم ساخته شود.

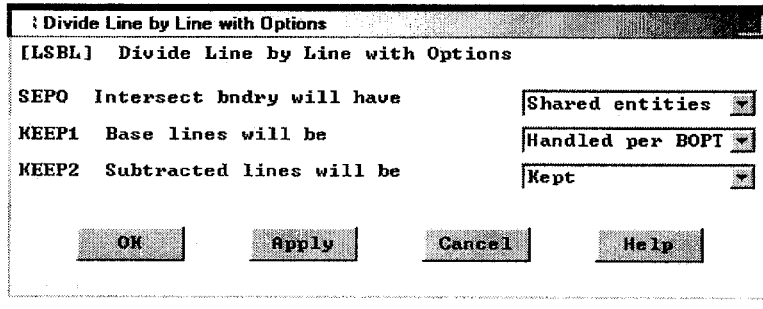
۱۶) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

اکنون باید دایره را توسط خطوط مورب تقسیم کرده و سپس انتهای دو خط مورب را نیز تقسیم کنید و خطوط اضافی را پاک کنید تا مدل کامل شود.

1) Ansys Main Menu> Preprocessor>-Modeling -Operate > -Booleans -Divide> With Options > Line by Line +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی خط طولی بالایی مستطیل را انتخاب کنید و کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید. سپس در پنجرهٔ گرافیکی دو خط مورب را که در مرحلهٔ قبل ساختید انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Divide Line by Line with Options مطابق شکل (۶-۱) در مقابل کادر KEEP2 Subtracted Lines will be از منوی گشودنی آن گزینهٔ KEPT را انتخاب کنید. با این عمل خطوط تقسیم پاک نخواهند شد.




**شکل (۶-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین وضعیت خطوط تقسیم شده**

۴) کلید Apply را فشار دهید.

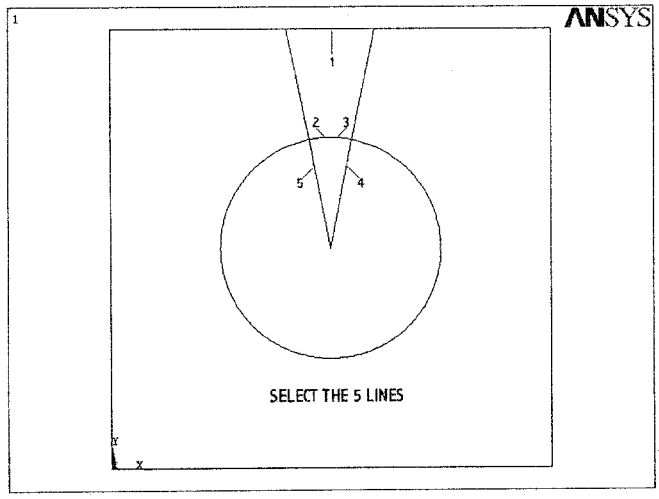
۵) در پنجرهٔ گرافیکی اینبار دو کمان بالائی دایره را انتخاب کنید و کلید Apply را فشار دهید. سپس در پنجرهٔ گرافیکی دو خط مورب را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Divide Line by Line with Options کلید Apply را فشار دهید.
۷) دوباره در پنجرهٔ گرافیکی دو خط مورب را انتخاب کنید و کلید Apply را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید سپس در پنجرهٔ گرافیکی دو کمان بالائی محصور بین دو خط مورب را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید و در جعبهٔ محاورهٔ Divide Line by Line with Options کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید خطوط اضافی مدل را پاک کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling –Delete > Line and Belows +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۷-۱) تعداد ۵ خط اضافی را انتخاب کنید.




**شکل (۷-۱) : انتخاب خطوط اضافی مدل جهت پاک کردن**

۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

4) Ansys Main Menu > Preprocessor >- Modeling – Create > - Areas- Arbitrary > By Lines +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب همهٔ خطوط را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا سطح ساخته شود.

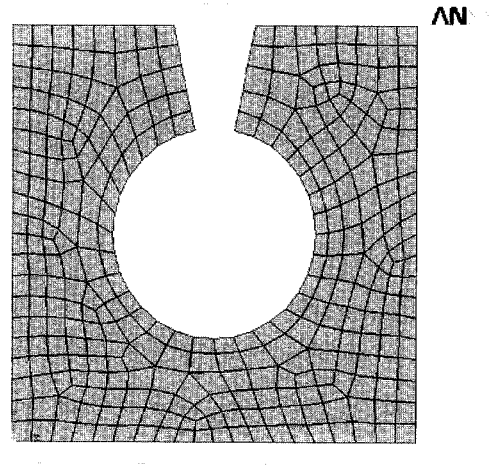
## مرحلهٔ پنجم – شبکه بندی مدل :

در این مساله از شبکه بندی اتوماتیک استفاده می شود.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor >MeshTool...

۲) در جعبه ابزار MeshTool ابتدا گزینهٔ Smart Size را فعال کرده و درجهٔ آنرا به کمک لغزندهٔ آن بر روی درجهٔ ۴ قرار دهید سپس در قسمت Mesh شکل المان ( Shape ) را از نوع Quad و نوع Mesher را از نوع Free انتخاب کنید و کلید Mesh را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطح مطابق شکل (۸-۱) شبکه بندی شود.




**شکل (۸-۱) : مدل شبکه بندی شدهٔ نهایی**

۴) با فشار دادن کلید Close در جعبه ابزار MeshTool آنرا ببندید.

**مرحلهٔ ششم – بارگذاری و حل :**

1) Ansys Main Menu > Solution >- Analysis Type - New Analysis ...

۲) در پنجرهٔ باز شده نوع آنالیز را از نوع Steady State انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید دمای داخلی ۱۴۰۰ درجهٔ فارنهایت را روی گره های دو خط مورب و کمان دایره-ای اعمال کنید.

1) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

2) Ansys Main Menu > Solution > - Apply – Loads > - Thermal - Temperature > On Nodes+

۳) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های ۲ خط مورب و کمان های دایره ای را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجره انتخاب فشار دهید.

**نکته :** می توانید به کمک جعبه ابزار Select Entities ابتدا خطوط مورب وکمان های دایره ای را انتخاب کرده و سپس گره های متصل به این خطوط را انتخاب کنید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Apply Temperature on Nodes درمقابل کادر VALUE Temperature value مقدار ۱۴۰۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید تا دما بر روی خطوط داخل مدل قرار گیرد.

اکنون باید بر روی گره های مرزی مدل ( گره هایی که به دو خط عرضی و خط طولی پائینی و دو خط طولی بالائی متصل هستند ) دمای ۱۰۰ درجهٔ فارنهایت را قرار دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads - Apply > - Thermal - Temperature > On Nodes+

۲) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های خارجی مدل را ( به جز دو گره ای که محل تقاطع دو خط مورب و دو خط طولی بالائی است ) انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

**نکته :**

در انتخاب گره های فوق بهتر است با تغییردادن معیار انتخاب از Single به Box در پنجرهٔ انتخاب ، به کمک چند مستطیل انتخاب این گره ها را انتخاب کنید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply Temperature on Nodes در مقابل کادر VALUE مقدار ۱۰۰ درجه را وارد کنید وکلید OK را فشار دهید.

**نکته :**

به علت اینکه از نتایج حل مساله در فصل آنالیز Coupled field استفاده خواهد شد توصیه می شود نتایج این مساله را در یک فایل نتیجه با نام و پسوند Couple .rth ذخیره کنید. برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu >File > Ansys File Options...

۲) مطابق شکل (۹-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Ansys File Options در مقابل کادر Ident Type of file با پایین کشیدن لغزندهٔ آن از منوی گشودنی آن عبارت Thermal res RTH را انتخاب کنید و در مقابل کادر Fname File name to be assigned نام فایل مورد نظرراکه Couple. rth است وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

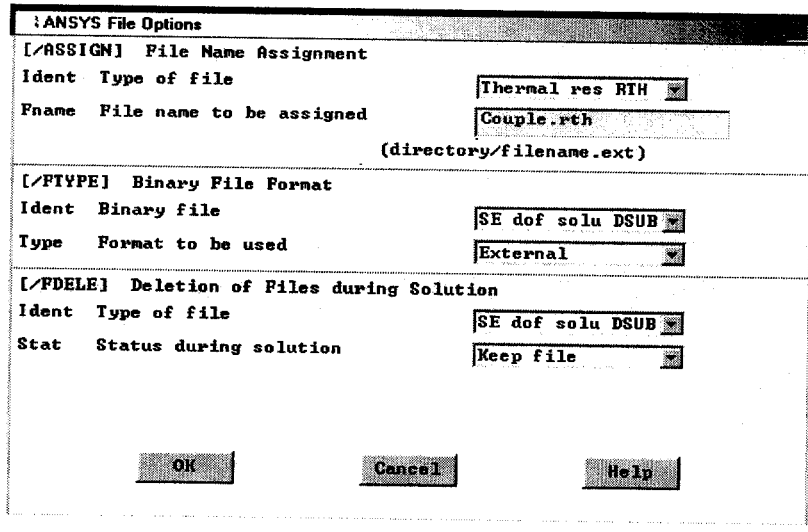
**نکته :** پیغام اخطاری مبنی براینکه فایل فعلی باید بسته شود تا بتوان فایل جدیدی را باز کرد ظاهر خواهد که مهم نیست اکنون جهت حل مساله عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ STAT / را خوانده و سپس آنرا ببندید.

۳) جهت شروع حل مساله در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step کلید OK را فشار دهید.

۴) پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زرد رنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است این پنجره را ببندید و جهت مشاهدهٔ نتایج به مرحلهٔ بعدی بروید.




**شکل (۹-۱) : جعبهٔ محاورهٔ ذخیرهٔ نتایج**

## مرحلهٔ هفتم – مشاهدهٔ نتایج در Post1 :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot - Nodal Solu...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Temperature TEMP را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید اکنون کانتور توزیع حرارت روی مدل به صورت شکل (۱۰-۱) نمایان خواهد شد :

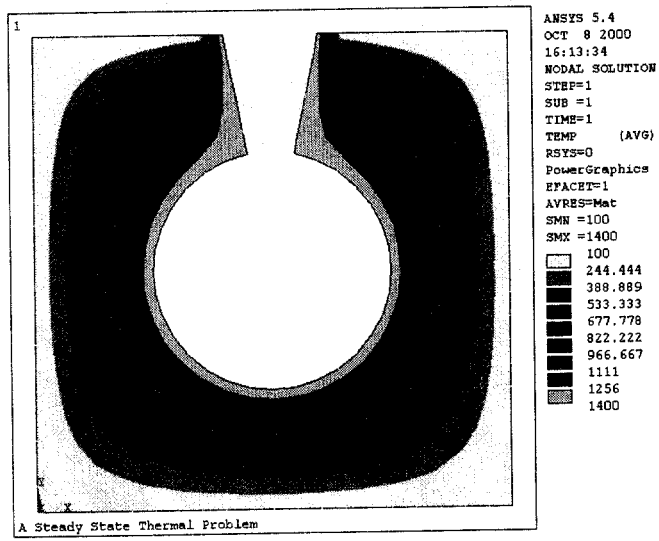
اکنون مدل مساله را نیز ذخیره کنید.

1) Ansys Utility Menu > File > Save as...

۲) در پنجرهٔ باز شده در کادر Save Database to نام فایل Couple.db را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید.

**نکته :**

از آنجا که در فصل آنالیز Coupled field بر روی مدل همین مساله یک آنالیز ThermoElastic انجام خواهد شد می توانید ابتدا به فصل آنالیزهای Coupled field رفته و بقیهٔ مساله را ادامه دهید. و سپس دوباره به فصل بعدی مراجعه کنید. اگر فایل نتیجهٔ خود را از دست نمی دهید می توانید فعلا فصل بعدی را مطالعه کنید.




**شکل (۱۰-۱) : کانتورهای توزیع حرارت بر روی مدل**

# تمرین دوم : حالت گذرا[1]

**مقدمه :**

این آنالیز از لحاظ اصول مشابه یک آنالیز پایدار حرارتی است ، با این تفاوت کـه در ایـن آنـالیز بارگذاریها همگی تابعی از زمان هستند. و توزیع حرارت بر روی مدل به صـورت تـابعی از زمـان خواهد بود. برای انجام این آنالیز – همانند آنالیزهای دیگر – سه مرحلهٔ کلی وجود دارد :

۱- مدلسازی ، تعریف خواص مواد و شبکه بندی

۲- بارگذاری و حل : که در این مرحله بارهای اعمالی بر مـدل بـه صـورت تـابعی از زمـان خواهند بود و همچنین شرایط اولیه بر روی مدل باید معلـوم شـود ( همـانند هـر آنـالیز گذرا ) اعمال شرایط اولیه بر روی مدل به دو صورت انجام می‌شود.

الف ) قرار دادن یک دمای منفرد و یکنواخت اولیه بر روی مدل

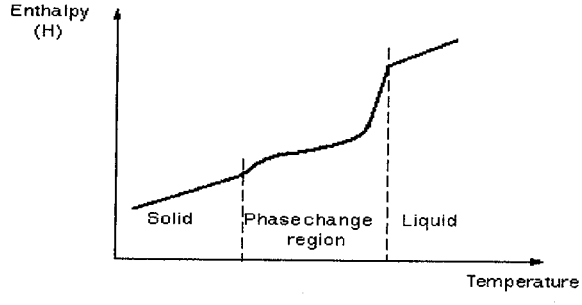
ب ) قرار دادن شرایط اولیه به صورت یک توزیع حرارت که نتیجهٔ یک آنالیز حـالت پـایدار حرارتی می‌باشد.

۳- مشاهدهٔ نتایج

برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به کتاب انتقال حرارت نوشتهٔ چاپمن [۱۴] مراجعه کنید .

موضوع مهمی را که در این فصل به آن برخورد خواهید کرد،تغییرفاز[2] ماده دراثر اعمال حـرارت بر آن است ( منظور از تغییر فاز همان تغییر حالت از ناحیهٔ جامد به مایع و ... می‌باشد ).

همانطور که می‌دانید در فرآیند تغییر فاز ماده ، دمای ماده همواره ثابت است و حـرارت اعمـالی بر آن به صورت یک گرمای نهان[3] درآن ذخیره می‌شود. این گرما باعث افزایـش آنتـالپی[4] مـاده می‌شود. بنابراین با تعریف منحنی آنتالپی – دما مطابق شکل (۱-۲) قادر خواهید بود که دمـای تغییر فاز - ناحیه جامد و ناحیه مایع - را به نرم افزار القاء کنید ( در حقیقت فرآیند تغییر فـاز را در نرم‌افزار شبیه‌سازی کنید ).




**شکل (۱-۲) : منحنی آنتالپی بر حسب دما به همراه نواحی مختلف**

---

*1- Transient Thermal Analysis*
*2- Phase Change*
*3- Latent Heat*
*4- Enthalpy*

با توجه به منحنی فوق ۳ ناحیهٔ متفاوت برای ماده در دماهای مختلف قابل تعریف است.

الف ) ناحیهٔ جامد

ب ) ناحیهٔ تغییر فاز

ج ) ناحیهٔ مایع

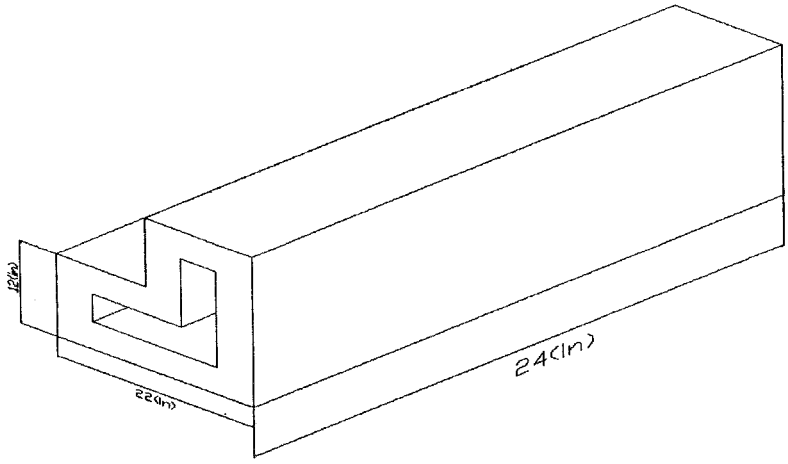
از قابلیت فوق بیشتر در شبیه‌سازی فرآیندهایی نظیر قالب گیری فلزات در اثر پدیدهٔ انجماد ، عملیات حرارتی جوشکاری و تولید آلیاژها می‌توان استفاده کرد.

در نمودار فوق آنتالپی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$h = \int \rho.C(T).dT$$

**مثال :**

در یک قالب ماسه‌ای ( مطابق شکل (۲-۲) ) ، مقداری فلز مذاب - جهت شکل دهی آن - ریخته شده است. مطلوب است نحوهٔ انتقال حرارت در طی مدت زمان ۳ ساعت که در آن علاوه بر انجماد فلز دو پدیدهٔ دیگر هدایت همرفت با محیط اطراف و انتقال حرارت بین فلز و قالب ماسه‌ای تاثیرگذارند. خواص مادهٔ ماسه مستقل از دما است ، اما خواص مادهٔ فلز وابسته به دما می‌باشد. شرایط دمایی اولیهٔ فلز برابر ۲۸۷۵ درجهٔ فارنهایت و برای قالب ماسه‌ای برابر ۸۰ درجهٔ فارنهایت است. دمای تعادلی محیط برابر ۸۰ درجهٔ فارنهایت است و ضخامت قالب ماسه‌ای ۴ اینچ است.




**شکل (۲-۲) : قالب ماسه‌ای در حالت ۳ بعدی به همراه ابعاد در سیستم اینچی**

خواص فلز فولادی به صورت جدول زیر است :

| Temperature | $K_{xx}$ | Enthalpy |
|---|---|---|
| 0 | 1.44 | 0 |
| 2643 | 1.54 | 128.1 |
| 2750 | 1.22 | 163.8 |
| 2875 | 1.22 | 174.2 |

خواص مادهٔ ماسه :

$$\begin{cases} K_{xx} = (\text{Thermal Conductivity}) = 0.025 \left(\dfrac{\text{Btu}}{(\text{hr}-\text{in}-\text{f})}\right) \\ \text{DENSITY} = 0.054 \left(\dfrac{\text{lb}}{\text{in}^3}\right) \\ C = (\text{Specific Heat})0.28 \left(\dfrac{\text{Btu}}{\text{lb}-\text{f}}\right) \end{cases}$$

شرایط اولیه ( Initial Conditions ):

Temperature of Steel = 2875 (°F)

Temperature of Sand = 80 (°F)

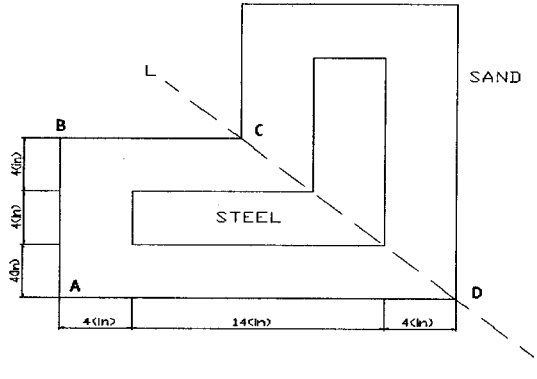
خواص سیال همرفتی ( Convection Properties )

Film Coefficient = 0.014 ( ضریب هدایت همرفتی )

Ambient Temperature = 80 ( دمای تعادلی محیط )

**راهنمایی :** از آنجا که خواص مادهٔ فولاد وابسته به دما می‌باشد ، در نتیجه آنالیز غیرخطی خواهد بود. با توجه به آنکه مدل ۳ بعدی است و با توجه به غیرخطی بودن مساله ، زمان حل مساله برای مدل سه بعدی طولانی خواهد بود. با توجه به اینکه طول مدل در جهت محور Z زیاد است ، مساله را در حالت دوبعدی ( مدل‌سازی سطح مقطع ) ، تحلیل کنید.

همچنین با توجه به شکل (۳-۲) مدل سطح مقطع نیز نسبت به محور $L-L'$ متقارن است. بنابراین برای مدلسازی این مساله نیمهٔ پایینی سطح مقطع مدل خواهد شد.




**شکل (۳-۲) : مدل سطح مقطع با محور تقارن L-L**

مختصات نقاط موجود در نیمهٔ پایینی سطح مقطع ( در سیستم اینچی ) به صورت زیر است :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | B | 0 | C | 10 | D | 22 |
| | 0 | | 12 | | 12 | | 0 |
| | 0 | | 0 | | 0 | | 0 |

**اهداف این مساله عبارتند از :**

۱) آشنایی با نحوهٔ انجام آنالیز گذرای حرارتی

۲) آشنایی با نحوهٔ اعمال تغییر فاز ماده در نرم افزار

۳) آشنایی بیشتر با تعریف خواص مادهٔ وابسته به دما

## حل :

### مرحلهٔ اول – تنظیم موضوع مساله :

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title …

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت " Casting Solidification "را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

### مرحلهٔ دوم – تعریف المان مورد نیاز :

در این مساله با توجه به دوبعدی بودن مدل از المان حرارتی دوبعدی PLANE55 استفاده کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن خانوادهٔ Thermal و نوع المان Solid را انتخاب کنید و در پنجرهٔ سمت راست المان Quad 4node 55 را انتخاب کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) کلید Close را در جعبهٔ محاورهٔ Element Types فشار دهید.

### مرحلهٔ سوم – تعریف خواص ماده :

در این مساله دو نوع ماده وجود دارد که مادهٔ اول مربوط به خواص ماسه و مادهٔ دوم مربوط به خواص فولاد است ، دقت کنید که خواص مادهٔ فولاد ( مادهٔ دوم ) وابسته به دما است.

جهت تعریف خواص مادهٔ ماسه عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > -Constant- Isotropic …

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده ، ۱ در نظر گرفته شود.
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Density DENS مقدار ۰/۰۵۴ را وارد کرده و در مقابل کادر Thermal conductvity KXX عدد ۰/۰۲۵ را وارد کرده و در مقابل کادر Specific heat C عدد ۰/۲۸را وارد کنید.
۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص مادهٔ شمارهٔ ۱ ثبت شود.

جهت تعریف خواص مادهٔ فولاد ، با توجه به وابسته بودن کلیهٔ خواص به دما عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > -Temp Dependent - Temp Table ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Temperature Table مقادیر دما را به صورت زیر وارد کنید.

T1 Temp Value at Loc N : 0
T2 Temp Value at Loc N+1 : 2643
T3 : Temp Value at Loc N+2 : 2750
T4 : Temp Value at Loc N+3 : 2875

۳) کلید OK را فشار دهید.

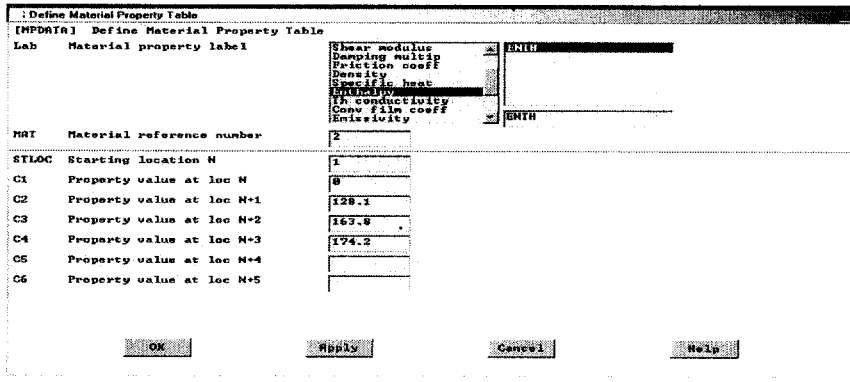
4) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > -Temp Dependent- Prop Table ...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Table در مقابل کادر Material Property Label به کمک لغزندهٔ پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Th Conduvtivity و در پنجرهٔ مقابل آن گزینهٔ KXX را انتخاب کنید ، سپس در مقابل کادر Material reference number MAT عدد ۲ را وارد کنید و در پنجرهٔ زیرین مقادیر زیر را در مقابل کادر مربوط به خود وارد کنید :

C1 Property value at N : 1.44
C2 Property value at N+1 : 1.54
C3 Property value at N+2 : 1.22
C4 Property value at N+3 : 1.22

۶) کلید Apply را فشار دهید تا KXX مربوط به مادهٔ شمارهٔ ۲ ذخیره شود.
۷) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ فوق مطابق شکل (۴-۲) در مقابل کادر Lab Material Property Label در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن گزینه Enthalpy را انتخاب کرده و سپس در مقابل کادر Material reference number MAT عدد ۲ را وارد کنید و سپس در پنجرهٔ زیرین ، مقادیر زیر را برای آنتالپی وارد کنید.

C1 Property value at N : 0
C2 Property value at N+1 : 128.1
C3 Property value at N+2 : 163.8
C4 Property value at N+3 : 174.2




**شکل (۴-۲) : وارد کردن مقادیر آنتالپی برحسب دما**

۸) کلید OK را فشار دهید تا خواص مادهٔ ۲ ثبت شود.

## مرحلهٔ چهارم- مشاهدهٔ نمودارهای‌منحنی آنتالپی برحسب دماو ضریب هدایت حرارتی برحسب دما:

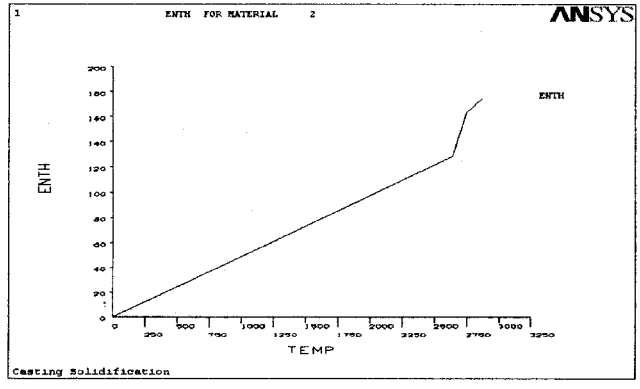
جهت مشاهدهٔ منحنی آنتالپی- دما عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > -Temp Dependent - Graph

...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Material Properties در مقابل کادر Lab Property to be graphed در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Enthalpy را با پایین کشیدن لغزندهٔ پنجره انتخاب کنید و در مقابل کادر MAT Material number عدد ۲ را وارد کنید.

۳) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید. اکنون منحنی آنتالپی- دما مطابق شکل (۵-۲) خواهد شد.




**شکل (۵-۲) : منحنی آنتالپی – دما برای مادهٔ فولاد**

جهت مشاهدهٔ منحنی ضریب هدایت – دما عملیات فوق را برای Th Conductivity تکرار کنید.

## مرحلهٔ پنجم – مدلسازی :

برای مدلسازي مساله ابتدا نقاط واقع در گوشه‌های ذوزنقه را بسازید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > -Modeling- Create > Keypoints > In Active CS ...

۲) در پنجرهٔ تولید نقطه در مقابل کادر NPT Keypoints number عـدد ۱ را وارد کـرده و در مقابل کادر X,Y,Z Location in active CS به ترتیب مختصات 0,0,0 را وارد کنید.

۳) کلید Apply را فشار دهید.

۴) به همین ترتیب با عوض کردن شمارهٔ نقطه و مختصات آن ، نقاط B,C,D را بسازید.

5) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Numbering ...

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls به ترتیب گزینه‌های KP Keypoint numbers و LINE Line numbers و AREA Area numbers را فعال کنید.

۷) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید مدل قالب ماسه‌ای را به کمک نقاط فوق بسازید.

1) Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling -Create> -Areas-Arbitrary > Through KPs+

۲) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب همهٔ نقاط را انتخـاب کنیـد و کلیـد OK را در پنجـرهٔ انتخـاب فشار دهید .

اکنون باید قسمت مربوط به فولاد مذاب را مدلسازی کنید :

1) Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling -Create> -Areas- Rectangle> By Dimensions ...

۲) در پنجرهٔ تولید مستطیل در مقابل کادر X1,X2 به ترتیب اعـداد ۲۲ و ۴ را وارد کـرده و در مقابل Y1,Y2 به ترتیب اعداد ۸ و ۴ را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا سطح مستطیلی ساخته شود.

اکنون باید قسمت اضافی مستطیل فوق پاک شود تا مدل فولاد کامل شود :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor.> -Modeling- Operate > -Booleans- Overlap > Areas +

۲) دو سطح ذوزنقه‌ای و مسـتطیلی را در پنجـرهٔ گرافیکـی انتخـاب کنیـد و کلیـد OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا سطح مستطیلی به دو تکه تقسیم شود.

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling- Delete > Area and Belows +

۴) در پنجرهٔ گرافیکی قسمت اضافی مستطیل – که خارج از سطح ذوزنقه‌ای است – را انتخـاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

5) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

## مرحلهٔ ششم - شبکه‌بندی مدل :

در این مساله دو نوع ماده موجود است که هر قسمت از مدل باید با توجه به خواص مادهٔ مربوط به خود شبکه‌بندی شود. در این مساله بهتر است از شبکه‌بندی دستی استفاده شود. ولی برای سرعت کار شبکه‌بندی اتوماتیک نیز مناسب است. در اینجا از شبکه‌بندی اتوماتیک استفاده خواهد شد.

جهت شبکه‌بندی قسمت ماسه‌ای مدل ابتدا باید صفات شبکه‌بندی را به خاصیت مادهٔ ماسه تبدیل کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Attributes- Define > Default Attribs ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Material number [MAT] از منوی گشودنی آن مادهٔ شمارهٔ ۱ ( ماسه ) را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۴) در جعبهٔ ابزار MeshTool در قسمت Mesh شکل المان ( Shape ) را به Quad و نوع Mesher را به Free تبدیل کنید و سپس کلید Mesh را فشار دهید.

۵) در پنجرهٔ گرافیکی سطح مقطع ذوزنقه‌ای شکل خارجی ( مربوط به قالب ماسه‌ای ) را انتخاب کنید.

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید تا سطح ذوزنقه‌ای شبکه‌بندی شود.

جهت شبکه‌بندی قسمت فولادی مدل باید صفات شبکه بندی را به خاصیت مادهٔ فولاد تبدیل کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Attributes- Define > Default Attribs ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Material number [MAT] نوع مادهٔ شمارهٔ ۲ را از منوی گشودنی آن انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۳) در جعبه ابزار MeshTool دوباره کلید Mesh را فشار دهید.

۵) در پنجرهٔ گرافیکی سطح مقطع ذوزنقه‌ای کوچک داخلی (مربوط به فولاد) را انتخاب کنید.

۶) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید تا سطح شبکه‌بندی شود.

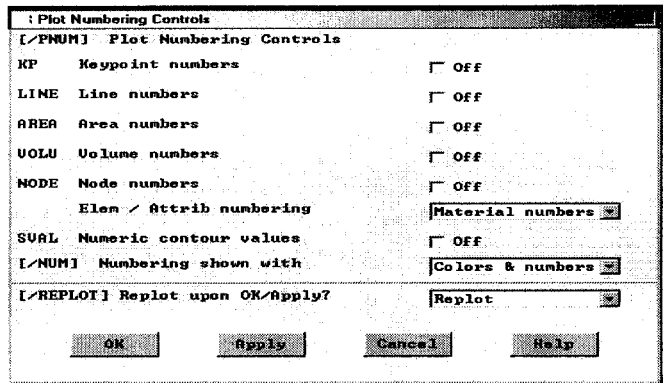
جهت مشاهدهٔ جنس المان های قرار گرفته بر روی مدل عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Numbering ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls مطابق شکل (۶-۲) کلیهٔ گزینه‌های Keypoint numbers و Line numbers و Area numbers را غیرفعال کنید ، سپس در مقابل کادر Elem/Attrib numbering از منوی گشودنی آن معیار Material numbers را انتخاب کنید. در مقابل کادر Numbering shown with [/NUM] از منوی گشودنی آن گزینهٔ Colors & numbers را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید المانهای ذوزنقهٔ بزرگ با شمارهٔ ۱ و المانهای ذوزنقـهٔ کـوچـک بـا شـمارهٔ ۲ و رنـگ متفاوت در پنجرهٔگرافیکی نمایان باشند .




**شکل ( ۶-۲) : شماره‌گذاری المانها براساس نوع ماده**

## مرحلهٔ هفتم – بارگذاری و حل :

ابتدا باید نوع آنالیز را به آنالیز گذرا تبدیل کنید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Analysis Type - New Analysis ...

۲) در پنجرهٔ باز شده گزینهٔ Transient را فعال کنید.

۳) کلید OK را فشاردهید.

اکنون باید شرایط اولیهٔ مساله را با توجه به اینکه شرایط اولیـه بـرای فـولاد دمـای ۲۸۷۵ درجه و برای ماسه ۸۰ درجهٔ فارنهایت است ، بر روی مدل اعمال کرد.

جهت اعمال شرایط اولیهٔ قسمت فولادی بر روی گره‌های آن ابتـدا بـاید گره‌هـای قسـمت فولادی را انتخاب کنید.

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities ...

۲) در جعبهٔ ابـزار Select Entities در قسـمت اول از منـوی گشـودنی آن گزینـهٔ Areas و در قسمت دوم گزینهٔ By Num / Pick را انتخاب کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ گرافیکی سطح ذوزتقه‌ای داخلی ( مربوط به فولاد ) را انتخـاب کنیـد و در پنجـرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبـه ابـزار Select Entities در قسـمت اول گزینـهٔ Nodes و در قسـمت دوم گزینـــهٔ Attached to را از منوی گشودنی هر کدام انتخاب کنید و در زیر آن دکمهٔ رادیویی Areas , all را فعال کنید.

۵) کلید Apply را فشار دهید.

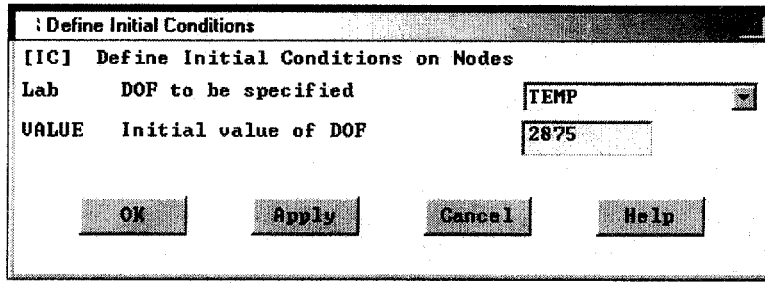
6) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

اکنون باید در پنجرهٔ گرافیکی فقط گره‌های ذوزنقهٔ داخلی انتخاب شده باشند.

7) Ansys Main Menu > Solution > -Loads- Apply > Initial Condit'n > Define +

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۹) در جعبهٔ محاورهٔ Define Initial Conditions مطابق شکل (۷-۲) در مقابل کادر Lab DOF to be specified از منوی گشودنی آن گزینهٔ TEMP را انتخاب کنید و در مقابل کادر VALUE Initial value of DOF مقدار دمایی ۲۸۷۵ درجه را وارد کنید.




**شکل (۷-۲) : جعبهٔ محاورهٔ تعریف شرایط اولیهٔ دمایی**

۱۰) کلید OK را فشار دهید.

اکنون جهت قرار دادن شرایط اولیهٔ دمایی بر روی قالب ماسه‌ای باید گره‌های این قالب را انتخاب کنید.

۱) در جعبه ابزار Select Entities دکمهٔ Invert را یکبار فشار دهید تا گره‌های انتخاب نشده فعال شوند و گره‌های انتخاب شده غیرفعال شوند.

2) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

اکنون باید کلیهٔ گره‌های ذوزنقهٔ خارجی (قالب ماسه‌ای ) انتخاب شده باشند.

3) Ansys Main Menu > Solution > -Loads- Apply > Initial Condit'n > Define +

۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۵) درجعبهٔ محاورهٔ Define Initial Conditions در مقابل کادر VALUE Initial value of DOF عدد ۸۰ را وارد کنید.

۶) کلید OK را فشار دهید تا شرایط اولیه اعمال شود.

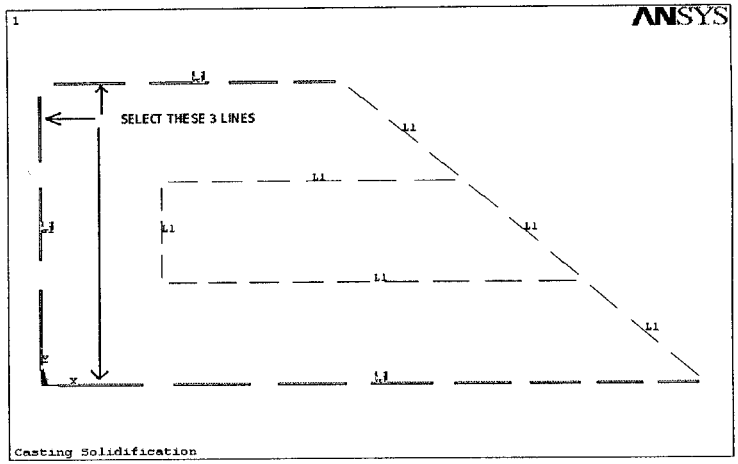
7) Ansys Utility Menu > Select > Everything

8) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

اکنون باید روی ۳ ضلع عمود برهم ذوزنقهٔ خارجی ( ۳ خط مرزی با هوا ) پدیدهٔ همرفت را اعمال کرد.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Loads- Apply > -Thermal- Convection > On Lines +

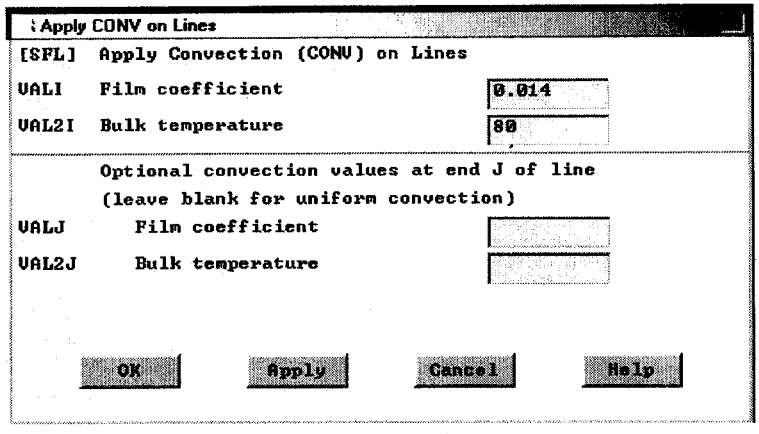
۲) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۸-۲) ، ۳ خط عمود بر هم ذوزنقهٔ خارجی ( خطوط مرزی با هوا ) را انتخاب کنید.




**شکل (۸-۲) : انتخاب ۳ خط مرزی با هوا جهت بارگذاری همرفتی**

۳) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Apply CONV on Lines مطابق شکل (۹-۲) ، در مقابل کادر VALI Film coefficient مقدار ۰/۰۱۴ را برای ضریب هدایت همرفتی وارد کرده و در مقابل کادر VAL2I .Bulk temperature مقدار ۸۰ درجهٔ فارنهایت را جهت دمای تعادلی سیال وارد کنید.



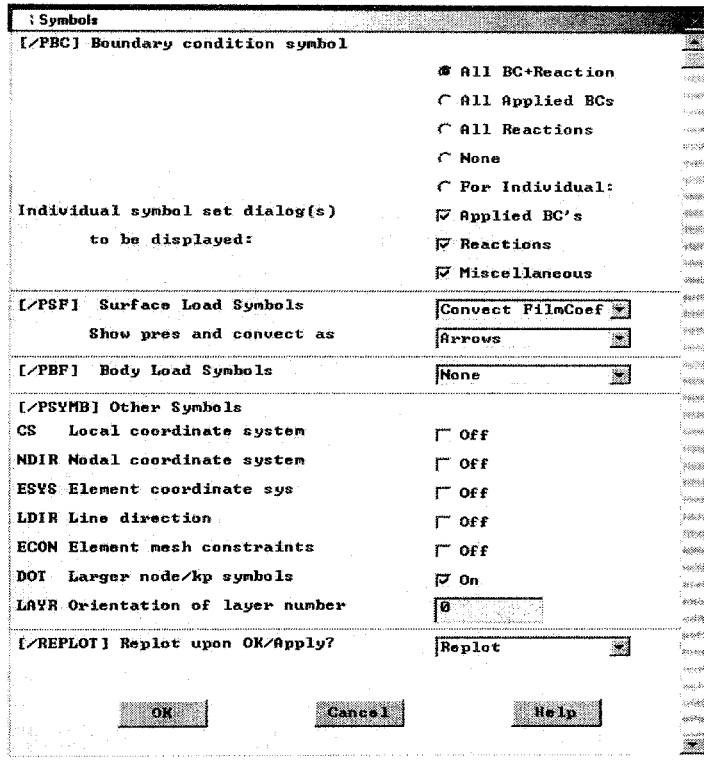

**شکل (۹-۲) : جعبهٔ محاورهٔ اعمال بارگذاری همرفتی**

۵) کلید OK را فشار دهید.

جهت مشاهدهٔ بارگذاریهای اعمال شده بر روی مدل عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Symbols ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Symbols مطابق شکل (۱۰-۲) در مقابل کـادر Surface Load [/PSF] Symbols از منوی گشودنی آن گزینـهٔ Convect FilmCoeff را انتخاب کنید و در مقابل کـادر Show pres and convect as از منوی گشودنی آن گزینهٔ Arrows را انتخاب کنید.




**شکل (۱۰-۲) : تنظیمات نمایش بارگذاریهای اعمالی بر روی مدل**

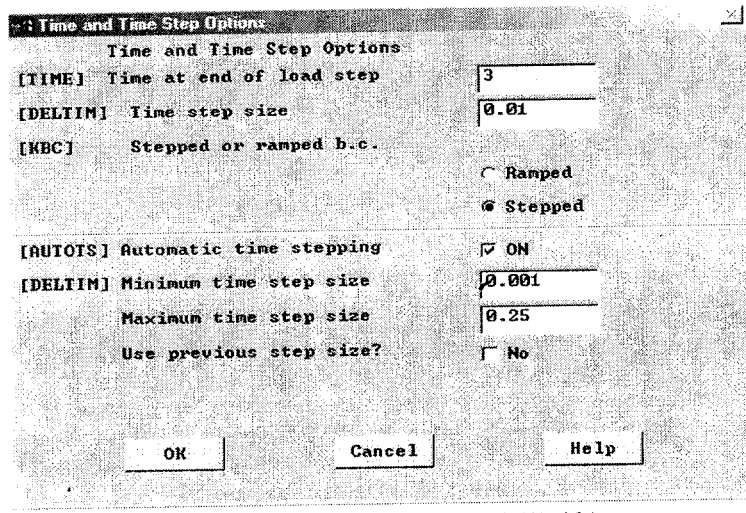
۳) کلید OK را فشار دهید تا بارگذاری همرفتی به صـورت پیکانـهای قرمزرنـگ بـر روی مـدل مشاهده شود.

اکنون با توجه به اینکه در هر آنالیز گذرا زمان عامل مهمی اسـت ، بـاید زمـان را بـرای مسـاله تعریف کنید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Load Step Opts- Time / Frequenc > Time - Timestep ...

۲) مطابق شکل (۱۱-۲) در جعبهٔ محـاورهٔ Time and Time Step Options در مقـابل کـادر [TIME] Time at end of loadstep عدد ۳ و در مقابل کـادر [DELTIM] Time Step Size عدد ۰/۰۱ را وارد کنید و در مقابل کادر [KBC] Stepped or ramped b.c. گزینهٔ Stepped را

انتخاب کنید و گزینهٔ Automatic time stepping [AUTOTS] را فعال (ON) کنید. سپس در مقابل کادر Minimum time step size عدد ۰/۰۰۱ و در مقابل کادر Maximum time step size مقدار ۰/۲۵ را وارد کنید.




**شکل (۱۱-۲) : پنجرهٔ محاورهٔ تنظیمات زمانی**

۳) کلید OK را فشار دهید.

4) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts - Time / Frequenc > Time Integration ...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Time Integration Controls دقت کنید گزینهٔ Transient Effects On or Off فعال (ON) باشد. سپس کلید OK را فشار دهید.

برای ذخیرهٔ نتایج در یک فایل با نام و پسوند Jobname.rth می‌توانید عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Load Step Opts- Output Ctrls > DB / Results File ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Controls for Database and Results File Writing در مقابل کادر FREQ File write frequency گزینهٔ Every substep را فعال کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

مساله آمادهٔ حل می‌باشد ، جهت شروع حل مساله عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > -Solve- Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT / را خوانده و سپس آن را ببندید.

۳) در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step کلید OK را فشار دهید.

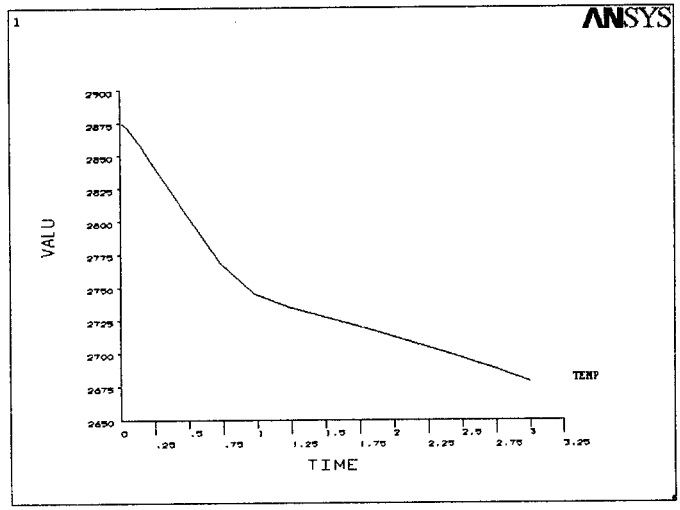
۴) حل مساله شروع می‌شود و به علت غیرخطی بودن اختمالا کمی زمان می‌برد.
۵) پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done این پنجره را بسته و جهت مشاهدهٔ نتایج به مرحلهٔ بعدی بروید.

## مرحلهٔ هشتم – مشاهدهٔ نتایج در POST26 :

اکنون می‌خواهیم به مشاهدهٔ تاریخچهٔ دمایی یک گره از قسمت فولادی بپردازیم.
1) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes
2) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Numbering ...
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls گزینهٔ Node numbers را فعال کنید.
۴) کلید OK را فشار دهید.
۵) در پنجرهٔ گرافیکی سعی کنید شمارهٔ گره‌های وسطی قسمت فولادی را بخوانید. اگر گره‌ای با شمارهٔ ۷۵ مشاهده می‌کنید ، تاریخچهٔ دمایی این گره را طبق عملیات زیر رسم کنید ( در غیر این صورت شمارهٔ یک گرهٔ وسطی قسمت فولادی را به خاطر بسپارید و عملیات زیر را برای شمارهٔ آن انجام دهید ).
6) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Define Variables ...
۷) در جعبهٔ محاورهٔ Defined Time-History Variables کلید Add را فشار دهید.
۸) در جعبهٔ محاورهٔ Add Time-History Variables کلید OK را فشار دهید.
۹) در جعبهٔ محاورهٔ Define Nodal Data در مقابل کادر NVAR Ref number of variables عدد ۲ را وارد کنید و در مقابل کادر NODE Node number شمارهٔ گره مورد نظر را ( که احتمالا گرهٔ شمارهٔ ۷۵ است ) وارد کنید.
۱۰) کلید OK را فشار دهید.
۱۱) در پنجرهٔ قبلی کلید Close را فشار دهید.
12) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Graph Variables ...
۱۳) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Time-History Variables در مقابل کادر NVAR1 1st variable to graph عدد ۲ را وارد کنید.
۱۴) کلید OK را فشار دهید تا تاریخچهٔ حرارتی گرهٔ شمارهٔ ۷۵ مطابق شکل (۱۲-۲) رسم شود.

## نکته :

کاربر باید سعی کند در صورت داشتن منابع سخت‌افزاری بهتر مسالهٔ فوق را در حالت سه‌بعدی و به کمک المان SOLID70 و یا SOLID90 تحلیل کند و جوابها را با هم مقایسه کند.




**شکل (۱۲-۲) : تاریخچهٔ حرارتی گرهٔ شمارهٔ ۷۵**

# تمرین سوم : تشعشع[1]

**مقدمه :**

تشعشع عبارت است از انتقال انرژی به صورت امواج الکترومغناطیس که این امواج با سرعت نور حرکت می کنند و این انتقال انرژی نیاز به هیچ مادهٔ واسطه ای ندارد. تشعشع حرارتی تنها یک گروه کوچک از طیفهای الکترومغناطیسی است. از آنجا که جریان حرارتی در پدیدهٔ تشعشع با توان چهارم دمای مطلق جسم رابطه دارد در نتیجه پدیدهٔ تشعشع غیرخطی است. برای اطلاعات بیشتر می توانید به کتاب انتقال حرارت نوشتهٔ سایگل – هاول [۱۵] و یا کتاب انتقال حرارت نوشتهٔ چاپمن [۱۴] مراجعه کنید .

**حل مسائل تشعشع :**

نرم افزار ANSYS سه روش برای انجام آنالیز تشعشع دارد. که هر کدام برای حل مسائل مختلف به کار می رود این ۳ روش عبارتند از :

۱- استفاده از المان Link31 در مسائلی که تشعشع بین ۲ یا چند نقطه اتفاق می افتد.

۲- استفاده از المانهای SURF19 , SURF22 درمسائلی که تشعشع بین یک نقطه و یک سطح اتفاق می افتد.

۳- تولید ماتریس تشعشع ( در AUX12 ) در حل عمومی مسائل تشعشع که در آن بین دو یا چند سطح پدیدهٔ تشعشع اتفاق می افتد این روش تنها در ۲ محصول نرم افزار ANSYS/Multiphysics , ANSYS/Mechanical موجود است. هر ۳ روش فوق را می توان در مسائل حالت پایدار و یا گذرای حرارتی بکار برد.

واحد دمائی نیز در این پدیده تاثیر گذار است و در عملیات محاسباتی معمولاً دمای مطلق ( کلوین یا رانکین ) باید به کار رود در صورت استفاده از دمای سلسیوس ( و یا فارنهایت ) باید یک انتقال درجه به اندازه ۲۷۰ درجه برای سلسیوس ( و یا ۴۶۰ درجه برای فارنهایت ) در نرم افزار در قسمت Analysis Options تعریف کرد.

**۱- استفاده از Link31 :**

این المان یک المان خط ۲ گره ای است و میزان شار حرارتی را که در اثر پدیدهٔ تشعشع بین دو نقطه ایجاد میشود ، محاسبه می کند.مقادیر ثابت ( Real Constants ) این المان عبارتند از:

الف ) ضریب هندسی برای تشعشع ( Form Factor )

ب) ضریب صدور ( Emmisivities )

ج ) ثابت استفان بولتزمن ( Estephan – Boltzman )

---

*1- Radiation*

**۲- استفاده از المان های سطح Surf19 , Surf22 :**

برای مدلسازی پدیدهٔ تشعشع بین یک نقطه و سطح به کار می روند که Surf19 برای مدلهای دو بعدی و Surf22 برای مدلهای سه بعدی است. گزینه های این المان ها خاصیت تشعشع آنها را فعال می کند.

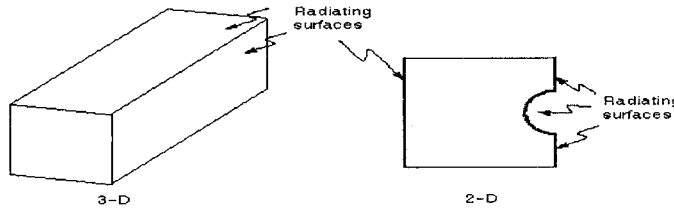
**۳- تولید ماتریس تشعشع در AUX12 :**

این روش در مسائل عمومی تشعشع که در آن بین چندین سطح پدیدهٔ تشعشع اتفاق می افتد به کار می رود در این روش ماتریسی از ضرایب هندسی بین سطوح تشعشع ساخته می شود سپس این ماتریس به عنوان یک سوپر المان در آنالیز حرارتی استفاده می شود. روش استفاده از AUX12 به شرح زیر است :

۱- معرفی سطوح تشعشع : برای معرفی سطوح تشعشع باید در شبکه بندی مدل از المانهای Link32 درمدلهای دو بعدی و Shell57 در مدلهای سه بعدی استفاده کرد.

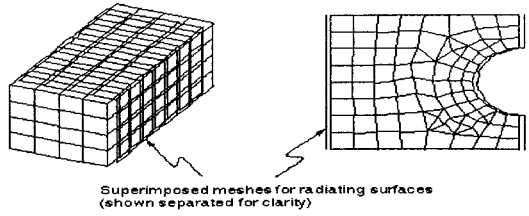
برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید.

۱-۱- مدل کامل حرارتی را در Preprocessor بسازید این مدل باید شامل تمامی سطوح جذب و یا انتشار حرارت باشد. سطوح تشعشع غالباً سطوح یک مدل سه بعدی و یا مرزهای یک مدل دو بعدی می باشند. ( به شکل (۱-۳) توجه کنید. )



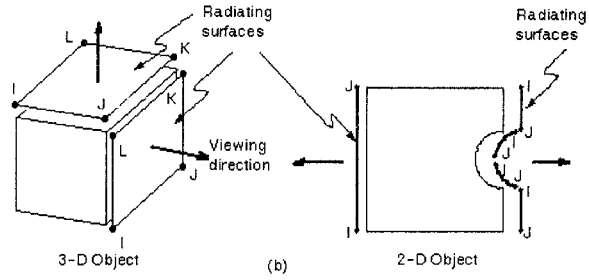

**شکل (۱-۳) : سطوح تشعشع در مدل سه بعدی و خطوط تشعشع در مدل دو بعدی**

۱-۲- به کمک المان Shell57 در مدلهای سه بعدی و یا المان Link32 در مدلهای دو بعدی سطوح را شبکه بندی کنید ( به شکل (۲-۳) توجه کنید. )




**شکل (۲-۳) : شبکه بندی مدل**

**نکته :** جهت قرارگیری المانهای تشعشع مهم است و AUX12 به طور پیش فرض در مدلهای سه بعدی جهت المان های تشعشع را در جهت $Z^+$ و در مدلهای دو بعدی در جهت $Y^+$ در نظر می گیرد. به شکل (۳-۳) توجه کنید :




**شکل (۳-۳) : جهت قرارگیری المانهای تشعشع**

۳-۱- معمولاً در مسائل تشعشع به تعریف Space Node نیاز ندارید. Space Node گره ای است که انرژی تشعشعی را که سطوح دیگر مدل جذب نمی کنند ، جذب می کند معمولاً سیستم های باز نیاز به تعریف این گره دارند اما سیستم های بسته نیاز به تعریف این گره ندارند.

۲- تولید ماتریس تشعشع در AUX12 :

برای ساخت ماتریس تشعشع به داده های ورودی زیر نیاز است :

۲-۱- گره ها و المانهایی که سطوح تشعشع را تشکیل می دهند.

۲-۲- تعیین دو بعدی بودن یا سه بعدی بودن مدل هندسی.

۲-۳- تعیین ضریب صدور و ثابت استفان بولتزمن.

۲-۴- روش محاسبهٔ ضرائب هندسی تشعشع که به دو روش Hidden و روش Visible تقسیم می شود. که مبحث مهمی است و برای اطلاعات بیشتر کاربر می تواند به راهنمای نرم افزار از طریق مسیر زیر مراجعه کند :

Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides > Ansys Thermal Analysis > Chapter 3 : Radiation

۲-۵- تعریف Space Node در صورت نیاز :

جهت تعیین مقادیر فوق برای تولید ماتریس تشعشع عملیات زیر باید انجام شوند :

۲-۱- ورود به AUX12 از طریق مسیر زیر

Ansys Main Menu > Radiation Matrix

۲-۲- انتخاب گره ها و المان هایی که سطوح تشعشع در مدلهای سه بعدی و خطوط تشعشع درمدلهای دو بعدی را تشکیل می دهند. بهترین روش انتخاب استفاده از جعبه ابزار Select Entities است همچنین در صورت تعریف Space Node آن هم باید انتخاب شود.

۳-۲- تعیین اینکه آیا مدل دو بعدی است یا سه بعدی به کمک مسیر زیر :

Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Other Settings...

پیش فرض AUX12 ، مدل سه بعدی است همچنین مدلهای دو بعدی می توانند مسطح یا متقارن محوری باشند.

۴-۲- ضریب صدور به طور پیش فرض ۱ است در صورت تمایل به تغییر ضریب صدور می توان از مسیر زیر استفاده کرد :

Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Emissivities...

۵-۲- برای تنظیم ثابت استفان – بولتزمن که به طور پیش فرض در سیستم اینچی برابر $1.19*10^{-11}$ و در سیستم SI برابر $5.67*10^{-8}$ است ، می توان از مسیر زیر استفاده کرد.

Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Other Settings...

۶-۲- تعیین روش محاسبهٔ اجزای ماتریس از طریق مسیر زیر میسر است.

Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Write Matrix

الف ) روش non – hidden : در این روش اجزای ماتریس از یک المان به المان دیگر محاسبه می شوند.

ب ) روش Hidden ( پیش فرض ) : در این روش ابتدا المانهای نمایان[1] نسبت به هر المان دیگر شناسایی می شوند سپس اجزای ماتریس تشکیل می شوند.

۷-۲- درصورت نیاز می توان از طریق مسیر زیر به تعریف یک Space Node پرداخت :

Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Other Settings...

۸-۲- نتایج تولید ماتریس باید در یک فایل با نام و پسوند SUB.* ذخیره شود . از طریق مسیر زیر :

Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Write Matrix

۹-۲- پس از عملیات فوق باید کلیهٔ المانها و گره ها انتخاب شوند.

Ansys Utility Menu > Select > Everything

۳- به کار بردن ماتریس تشعشع به عنوان یک Superelement در یک آنالیز حرارتی :

۱-۳- وارد Preprocessor شوید.

۲-۳- اضافه کردن المان MATRIX50 به المانهای انتخاب شده

Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete...

---

*1- Visible*

۳-۳- المان فعال را به MATRIX50 تغییر دهید. از طریق یکی از دو مسیر زیر :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes – Define > Default Attribs …

2) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > Elem Attributes

۴-۳- نتایج ماتریس تشعشع را از فایل مربوط به آن که با پسوند SUB.* ذخیره شده است ، بخوانید ( از طریق مسیر زیر)

Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling -Create> Elements>-Superelements – From .SUB File

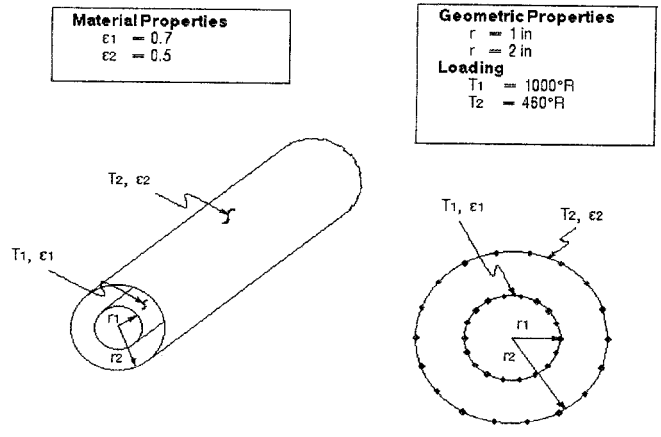
۵-۳- وارد Solution شوید و شرایط مرزی و بارگذاریهای دلخواه را تعریف کنید و مساله را حل کنید.

**مثال :**

دو سیلندر طولانی در یک دمای ثابت T1 , T2 نگاه داشته شده اند. نرخ حرارت منتقل شده بین دو سیلندر را در اثر پدیدهٔ تشعشع پیدا کنید. ضریب هدایت حرارتی هر دو سیلندر برابر ۱ می باشد .

**راهنمایی ۱ :** به علت طویل بودن سیلندرها می توانید مساله را در حالت دو بعدی حل کنید (مدلسازی سطح مقطع کافی است).

**راهنمایی ۲ :** برای حل این مساله از روش تشکیل ماتریس تشعشع ( AUX12 ) استفاده شده است بنابراین المان به کار رفته در مدلسازی سطوح مقطع ، المان خط Link32 و با مقدار ثابت سطح مقطع ۱ می باشد.




**شکل (۴-۳) : مدل سه بعدی و مدل در حالت دو بعدی به همراه خواص مواد**

**حل :**

**مرحلهٔ اول – تنظیم موضوع مساله :**

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title...

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Radiation Heat Transfer Between 2 Cylinders را تایپ کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ دوم – انتخاب المان LINK32 :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن کمی به پائین رفته و از خانوادهٔ ANSYS Thermal نوع المان Link را انتخاب کنید و در پنجرهٔ سمت راست المان 2D Conduction 32 را انتخاب کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید.

**مرحلهٔ سوم – تعریف مقادیر ثابت المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants کلید OK را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for link32 در مقابل کادر Cross – Sectional area AREA عدد ۱ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید.

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید تا بسته شود.

**مرحلهٔ چهارم _ تعریف خواص مواد :**

در این مساله دو مادهٔ مختلف دارید که از لحاظ ضریب هدایت حرارتی ( KXX ) با هم یکی هستند ولی در ضریب صدور ( که بعداً در AUX12 تعریف می شود ) با هم فرق دارند.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic....

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده همان ۱ در نظر گرفته شود.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص مادهٔ شمارهٔ ۱ در مقابل کادر Thermal Conductivity KXX عدد ۱ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۴) در پنجرهٔ تعریف شمارهٔ ماده اینبار عدد ۲ را در مقابل کادر Specify material number وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

۵) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ تعریف خواص مادهٔ شمارهٔ ۲ در مقابل کادر Thermal Conductivity KXX عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ پنجم – مدلسازی و شبکه بندی :**

با توجه به آنکه جهت المانهای قرار گرفته در تحلیل تشعشع بسیار مهم است ، بنابراین در این مساله باید دایرهٔ داخلی مدل در جهت ساعتگرد ساخته شود و دایره خارجی مدل در خلاف جهت ساعت ( پادساعتگرد ) تولید شود تا از لحاظ سیستم مختصات المانی به سمت همدیگر قرار گرفته باشند :

الف ) ساخت دایرهٔ داخلی و شبکه بندی آن :

در این مرحله دایرهٔ داخلی مدل را در جهت عقربه های ساعت ساخته و با مادهٔ شمارهٔ ۱ شبکه بندی کنید. برای ساختن دایره در جهت ساعتگرد باید ابتدا محورهای WorkPlane را حول محور Y در جهت مثبت به اندازهٔ ۱۸۰ درجه دوران دهید و سپس کمانی به شعاع ۱ اینچ و زاویهٔ ۳۶۰ درجه که متشکل از ۱۸ خط است نسبت به محورهای Work Plane ایجاد کنید.

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Display WorkingPlane

۲) به کمک جعبه ابزار Rotate , Zoom , Pan نمای دید را با فشردن کلید Iso به دید ایزومتریک تبدیل کنید.

3) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Offset WP by Increments....

۴) در قسمت دوم جعبه ابزار Offset WP ابتدا میزان زاویهٔ دوران را به ۹۰ درجه - به کمک لغزندهٔ آن – تبدیل کنید و سپس دوبار دکمهٔ چرخش را فشار دهید.

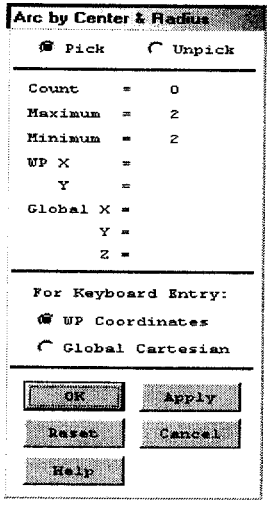
5) Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling -Create> -Lines -Arcs> By Cent & Radius+

۶) مطابق شکل (۵-۳) در پنجرهٔ انتخاب Arc by Center & Radius ابتدا در قسمت سوم زیر کادر For Keyboard Entery گزینهٔ WP Coordinates را فعال کنید.

۷) برای اختصاص دادن مرکز المان در پنجرهٔ Ansys Input مختصات 0 , 0 , 0 را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید.

۸) برای اختصاص دادن شعاع کمان در پنجرهٔ Ansys Input عدد ۱ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید.

۹) در جعبهٔ محاورهٔ Arc by Center & Radius در مقابل کادر ARC Arc Length indegrees عدد ۳۶۰ را وارد کرده و در مقابل کادر NSEG Number of Lines in arc عدد ۱۸ را وارد کنید.




**شکل(۵-۳) : انتخاب مختصات WorkPlane**

۱۰) کلید OK را فشار دهید تا کمان داخلی ساخته شود. در هنگام ساخت کمان در پنجرهٔ گرافیکی به نقطهٔ شروع و انتهای

کمان و جهت آن که در جهت ساعتگرد است توجه کنید.

11) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۱۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت دوم ( Size Controls ) در مقابل قسمت Global یکبار دکمهٔ Set را فشار دهید.

۱۳) در جعبهٔ محاورهٔ Global Element Sizes در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید با این کار تعداد المانهای قرار گرفته در هنگام شبکه بندی بر روی هر خط برابر ۱ عدد خواهد بود.

۱۴) در جعبه ابزار MeshTool کلید Mesh را فشار دهید.

۱۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید. تا همهٔ خطوط کمان انتخاب شده و شبکه بندی شوند.

ب ) ساخت دایرهٔ خارجی و شبکه بندی آن :

با توجه به آنکه دایرهٔ خارجی باید در خلاف جهت عقربه های ساعت ( پادساعتگرد ) ساخته شود بنابراین ابتدا باید WorkPlane را تنظیم کنید.

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Offset WP by Increments....

۲) در جعبه ابزار Offset WP دوبار کلید رافشار دهید تا محورهای WorkPlane دقیقاً بر محورهای مختصات اصلی منطبق شوند.

۳) در جعبه ابزار Offset WP اینبار به ترتیب ۲ بار کلید  را فشار دهید و سپس دوبار دیگر کلید  را فشار دهید .

۴) اکنون محورهای WorkPlane طوری قرار گرفته اند که می توان کمان دایره ای خارجی را نسبت به آن طوری ساخت که در خلاف جهت عقربه های ساعت ساخته شود.

5) Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling -Create > - Lines - Arcs > By Cent & Radius+

۶) ابتدا در پنجرهٔ انتخاب Arc by Center & Radius در قسمت سوم در زیر کادر For Keyboard Entery : گزینهٔ اول یعنی WP Coordinates را فعال کنید.

۷) در پنجرهٔ Ansys Input برای مختصات مرکز کمان ،مختصات 0 , 0 , 0 را تایپ کنید و کلید Enter را فشار دهید.

۸) در پنجرهٔ Ansys Input برای شعاع کمان ، عدد ۲ را وارد کرده ، کلید Enter را فشار دهید.

۹) در جعبهٔ محاورهٔ Arc by Center & Radius بدون هیچ تغییری کلید OK را فشار دهید تا کمان دایره ای خارجی ساخته شود. در هنگام ساخته شدن کمان خارجی به نقطهٔ شروع و انتهای کمان و جهت ساخته شدن آن که در خلاف جهت عقربه های ساعت است توجه کنید.

10) Ansys Utility Menu > Plot Ctrls > Pan , Zoom , Rotate ...

۳) در جعبه ابزار Pan – Zoom - Rotate کلیدFront را فشار دهید تا دید ، دو بعدی شود.

اکنون برای شبکه بندی مدل باید صفات شبکه بندی را به خواص مادهٔ شمارهٔ ۲ تغییر دهید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes – Define > Default Attribs …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Material number [ MAT ] از منوی گشودنی آن مادهٔ شمارهٔ ۲ را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool….

۵) در جعبه ابزار MeshTool کلید Mesh را فشار دهید.

۶) در پنجرهٔ انتخاب روش انتخاب را در قسمت دوم از Single به Loop تغییر دهید.

۷) در پنجرهٔ گرافیکی بر روی یکی از خطوط کمان دایره ای خارجی با ماوس فشار دهید تا همه ۱۸ خط انتخاب شوند.

۸) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا خطوط کمان دایره ای خارجی شبکه بندی شوند.

۹) کلید Close را در جعبه ابزار MeshTool فشار دهید.

**مرحلهٔ ششم – ورود به AUX12 و ساخت ماتریس تشعشع :**

1) Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Emissivities…

۲) در جعبهٔ محاوهٔ Define Emissivities درمقابل کادر EVALU Emissivities Value مقدار ۰/۷ را وارد کرده و کلید Apply را فشار دهید.

۳) اینبار در جعبهٔ محاورهٔ Define Emissivities در مقابل کادر MAT Material number عدد ۲ را وارد کرده و سپس در مقابل کادر EVALU Emissivities Value عدد ۰/۵ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید نوع مدل را برای نرم افزار تعریف کرد برای این کار عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Other Settings…

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Radiation Matrix Settings مطابق شکل (۶-۳) در مقابل کادر K2D Type of geometry از منوی گشودنی آن گزینهٔ 2-D geometry را انتخاب کنید.

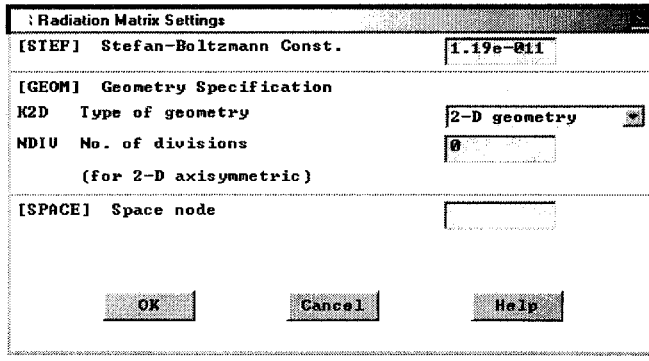
۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید با تنظیمات فوق فایل ماتریس تشعشع را ساخت.

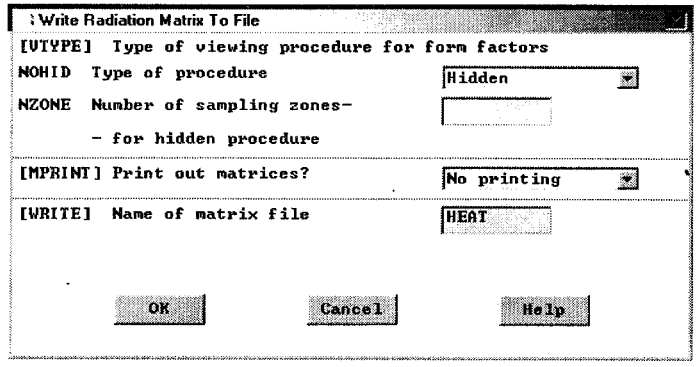
1) Ansys Main Menu > Radiation Matrix > Write Matrix …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Wirte Radiation Matrix To File مطابق شکل (۷-۳) دقت کنید که در مقابل کادر Type of procedure گزینهٔ Hidden فعال باشد. درمقابل کادر Name of matrix file [WRITE] عبارت HEAT را تایپ کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا فایل ساخته شود.




شکل (۶-۳) : تبدیل پیش فرض مدل به ۲ بعدی



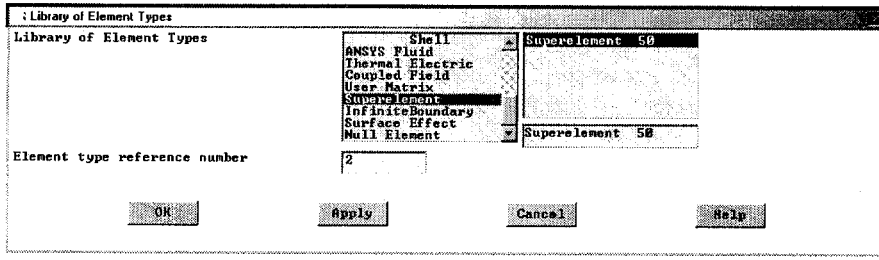

شکل (۷-۳) : ساختن فایل ماتریس تشعشع

**مرحلهٔ هفتم – ورود به Preprocessor و انتخاب سوپر المان MATRIX50 :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete…

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types مطابق شکل (۸-۳) در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزنده های آن عبارت Superelement را انتخاب کنید و در پنجرهٔ سمت راست عبارت Superelement 50 را انتخاب کنید.




شکل (۸-۳) : انتخاب سوپر المان MATRIX50

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types در زیر کادر Defined Element Types دقت کنید که Type 2 MATRIX50 پر رنگ و فعال باشد. سپس دکمهٔ Options را فشار دهید .

۶) درجعبهٔ محاورهٔ MATRIX50 Element type options در مقابل کادر Element behavior K1 از منوی گشودنی آن عبارت Radiation Substr را انتخاب کنید و در مقابل کادر Nodal force output K6 از منوی گشودنی آن عبارت Include output را انتخاب کنید.

۷) کلید OK را فشار دهید.

۸) کلید Close را در پنجرهٔ Element Types فشار دهید.

**مرحلهٔ هشتم – تنظیم صفات شبکه بندی به MATRIX50 :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes – Define > Default Attribs …

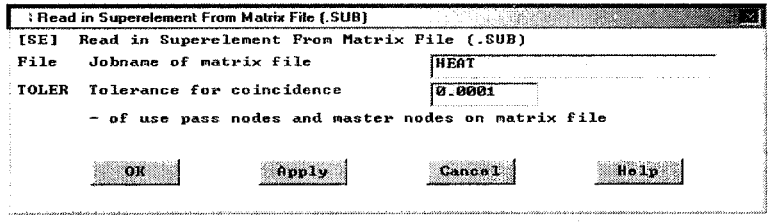
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Element type number [ TYPE] از منوی گشودنی آن شمارهٔ ۲ یعنی MATRIX50 را انتخاب کنید.

۳)کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ نهم – خواندن فایل ماتریس تشعشع جهت شبکه بندی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements >- Superelements – From .SUB File….

۲) در جعبهٔ محاورهٔ ( .SUB) Read in Superelement From Matrix File مطابق شکل (۹-۳) درکادر File Jobname of matrix file اسم فایل ذخیره شده یعنی HEAT را وارد کنید.




**شکل (۹-۳) : خواندن فایل ماتریس تشعشع**

۳) کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ دهم – بارگذاری و حل :**

**نکته :** چون مساله در سیستم اینچی مدلسازی شده است و دمای مدل برحسب درجه رانکین داده شده است بنابراین باید اولاً دمای مدل را برحسب درجهٔ فارنهایت وارد کنید و ثانیاً یک میزان اضافه شدن دمایی به مقدار ۴۶۰ درجه رانکین برای نرم افزار تعریف کرد.

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options…

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Static or Steady State Analysis در آخرین کادر یعنی [ TOFFST] Temperature difference مقدار ۴۶۰ را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید.

اکنون باید درجهٔ حرارت هر سیلندر را تعیین کرد برای سیلندر داخلی چون درجهٔ حرارت ۱۰۰۰ درجه رانکین داده شده است لذا باید مقدار ۵۴۰ درجهٔ فارنهایت دما قرار داد تا معادل ۱۰۰۰ درجهٔ رانکین شود.

ابتدا گره های سیلندر داخلی را با توجه به آنکه این گره ها در سیستم مختصات قطبی در موقعیت شعاعی ۱ قرار دارند ، انتخاب کنید :

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane >Chang Active CS to > Global Cylindrical

2) Ansys Utility Menu > Select > Entities….

۳) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را از منوی گشودنی هر کدام انتخاب کرده و سپس در زیر آن گزینهٔ X coordinates را فعال کنید و در کادر Min , Max عدد ۱ را تایپ کرده و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد سپس کلید Apply را فشار دهید.

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Thermal – Temperature > On Nodes +

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply TEMP on Nodes در مقابل کادر VALUE Temperature value عدد ۵۴۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

برای قرار دادن دمای ۴۶۰ درجهٔ رانکین ( معادل ۰ درجهٔ فارنهایت ) بر روی گره های کمان دایره ای خارجی عملیات زیر را انجام دهید :

۱) در جعبه ابزار Select Entities کلید Invert را فشار دهید.

2) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Thermal – Temperature > On Nodes +

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید.

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Apply TEMP on Nodes در مقابل کادر VALUE Temperature value عدد ۰ (صفر) را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

5) Ansys Utility Menu > Select > Everything

مساله جهت تحلیل آماده است برای شروع حل عملیات زیر را انجام دهید.

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS.

۲) پنجرهٔ سفید رنگ STAT/ را ببندید.

۳) کلید OK را در پنجرهٔ Solve Current Load Step فشار دهید تا حل مساله آغاز شود.

۴) پس از مشاهدهٔ پیغام Solution is done مساله جهت مشاهدهٔ نتایج آماده است.

**مرحلهٔ یازدهم – مشاهدهٔ نتایج :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > List Results > Reaction Solu....

۲) در جعبهٔ محاورهٔ List Reaction Solution کلید OK را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ سفید رنگ PRRSOL نتایج مساله برای کلیه گره های مدل نوشته خواهد شد که این نتایج متقارن است یعنی برای گره های کمان داخلی برابر ۲/۰۲۲ + و برای گره های کمان خارجی برابر ۲/۰۲۲- است.

۴) این پنجرهٔ لیست را ببندید.

اکنون می خواهیم میزان حرارت داده شده توسط کمان دایره ای خارجی را محاسبه کنیم برای این منظور ابتدا باید کلیهٔ گره های کمان دایره ای خارجی را انتخاب کنید :

1) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

2) Ansys Utility Menu > WorkPlane >Chang Active CS to > Global Cylindrical

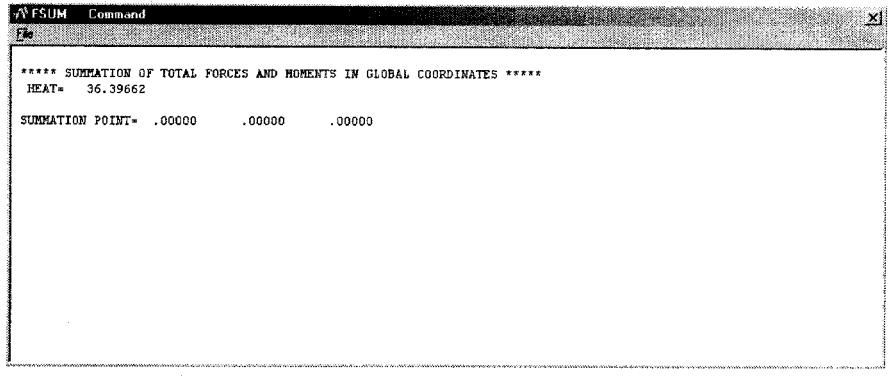
3) Ansys Utility Menu > Select > Entities....

۴) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ X coodinates را فعال کنید و سپس در کادر Min , Max عدد ۲ را وارد کنید و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و سپس کلید OK را فشار دهید.

5) Ansys Main Menu > General Postproc > Nodal Calcs > Total Force Sum....

۶) در پنجرهٔ سبز رنگ Total Force Sum for All Selected Nodes کلید CalCulate را فشار دهید تا میزان حرارت منتقل شده ، محاسبه شوند.

۷) مطابق شکل (۱۰-۳) نتایج را در پنجرهٔ سفید رنگ FSUM مشاهده کنید.




**شکل (۱۰-۳) : میزان حرارت منتقل شده از گره های خارجی مدل**

# فصل پنجم

## آنالیز میدانهای کوپله

## Coupled Field Analysis

ANSYS

**مقدمه :**

آنالیز میدانهای کوپله[1] در مسائلی به کار میرود که درآن پدیدهٔ تداخل ( کوپل شدن ) دو یا چند میدان وجود دارد . به عنوان مثال یک آنالیز پیزوالکتریک[2] پدیده ای است که در آن به بررسی مساله تحت دو میدان الکتریکی و سازه ای و تداخل این دو میدان در تحلیل پرداخته می شود به طوریکه در این مساله جابجایی مدل بر اثر نحوهٔ پخش ولتاژ بر روی آن محاسبه می شود ( یا بر عکس ) مثال های دیگر این نوع آنالیز عبارتند از : آنالیز تنش حرارتی ، آنالیز ترموالکتریک و آنالیز سیال – سازه ای .

**انواع آنالیز میدانهای کوپله :**

در انجام این آنالیز دو روش را می توان به کار برد :

۱- روش پی درپی ( غیر مستقیم )[3] : در این روش که شامل دو یا چند آنالیز پی درپی است ، در هر آنالیز یک میدان جداگانه در تحلیل به کار می رود . مثلاً در آنالیز تنش حرارتی ابتدا در آنالیز اول به محاسبهٔ نتایج توزیع حرارت بر روی مدل پرداخته می شود و سپس در آنالیز دوم که یک آنالیز سازه ای است ، نتایج توزیع حرارت به صورت بارگذاری حجمی ( دما ) بر روی مدل اعمال شده و مساله تحت این بارگذاری حل می شود . به طور کلی مطابق جدول زیر می توان نتایج یک آنالیز را در آنالیز دیگر به کار برد :

| These analysis results... | Become loads on this type of analysis... |
|---|---|
| Temperatures from a thermal or FLOTRAN analysis [TEMP] | Body force loads (temperatures) on any non-thermal analysis |
| Forces from a static, harmonic, or transient magnetic analysis [FORC] | Force loads on a structural analysis or FLOTRAN analysis |
| Forces from an electrostatic analysis [FORC] | Force loads on a structural analysis |
| Joule heating from a magnetic analysis [HGEN] | Body force element (heat generation) loads onto a thermal or FLOTRAN analysis |
| Source current density from a current conduction analysis [JS] | Body force element (current density) loads on a magnetic field analysis |
| Pressures from a FLOTRAN analysis [PRES] | Surface (pressure) loads onto a structural analysis (solids and shell elements) |
| Reaction loads from any analysis [REAC] | Force loads on any analysis |
| Heat fluxes from a FLOTRAN analysis [HFLU] | Surface (heat flux) loads on elements in a thermal analysis |
| FLOTRAN calculated film coefficient and associated ambient temperature [HFLM] | Surface (film coefficients and bulk temperature) loads on elements in a thermal analysis |

*1- Coupled Field Analysis*
*2- Piezoelectric*
*3- Sequential Method ( Indirect Coupled Field )*

از این روش در مسائلی استفاده مـی شـود کـه کـوپـل شـدن میدانـها شـامل تداخلـهای غـیر خطی با درجات بالا نباشد . دراین صورت می توان هر دو ( یا چند ) آنالیز را جداگانه انجـام داد مثلاً در همان مثال تنش حرارتی می توان ابتدا یک آنالیز حرارتی گذرا انجام داد و سپس دمای هر گره را از هر مرحلهٔ بارگذاری یا در هر زمان دلخواه به عنوان بارگذاری در آنالیز دوم بـر روی همان گره اعمال کرد و نتایج تنش حرارتی را به دست آورد .

۲- روش مستقیم[1] : این روش معمولاً شامل یک آنالیز است که در آن به حل ترکیبـی مسـاله تحت تداخل میدانهای مختلف پرداخته می شود و المانـهای بـه کـار رفتـه در ایـن روش دارای کلیهٔ درجات آزادی مورد نیاز جهت تحلیل می باشند که به نام المانهای میدان کوپله[2] معروفنـد از این روش در مسائلی که تداخل میدانهای مساله از درجهٔ غیر خطی بالایی برخـوردار اسـت ، استفاده می شود ( مثل آنالیز پیزو الکتریک )

*1- Direct Coupled Field*
*2- Coupled Field Elements*

# تمرین اول : تحلیل ترموالاستیک[1] (غیر مستقیم)

## مقدمه :

همانطور که قبلاً اشاره شد آنالیز میدان های کوپله به روش غیر مستقیم روشی است جهت محاسبهٔ پاسخ یک سیستم ، در صورت اعمال بار از یک آنالیز دیگر برروی آن . به عنوان مثال اگر بخواهید بعد از اطلاع از نحوهٔ پخش و توزیع حرارت در یک مدل ، به محاسبهٔ تنش حرارتی ایجاد شده برروی مدل بپردازید ، باید نتایج توزیع دمارا از آنالیز حرارتی دریافت کرده و به صورت بارگذاری حرارتی در آنالیز سازه ای به کار برید .

این تمرین جهت آشنایی با تحلیل تنش حرارتی به روش غیر مستقیم ارائه شده است .

## مثال :

در فصل چهارم ( آنالیزهای حرارتی ) در تمرین اول ( آنالیز حالت پایدار حرارتی ) به نحوهٔ توزیع حرارت مستقل از زمان مدلی مطابق شکل (۱-۱۳) پرداختید و فایل نتیجهٔ آنرا با نام وپسوند Couple.rth ذخیره کردید ، اکنون می خواهیم به محاسبهٔ تنش حرارتی ایجاد شده برروی مدل تحت توزیع حرارت ایجاد شده بپردازیم .

مدول الاستیسیته به صورت تابعی از دما در این مساله تعریف می شود و شرایط مرزی مطابق شکل (۱-۱) بر گره های خط طولی پایینی مدل در هر دو جهت X , Y اعمال می شود .

خواص مواد عبارتند از :

| T (F) | EX (Psi) |
|---|---|
| 100 | 30E6 |
| 400 | 29E6 |
| 700 | 28E6 |
| 900 | 27E6 |
| 1200 | 27E6 |
| 1400 | 27E6 |

Thermal Expansion (ALPX) = 9.88E -7
Poisson's ratio (NUXY) =0.3

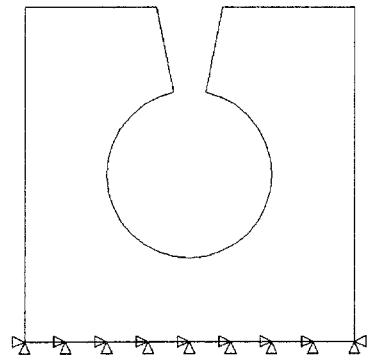
## اهداف تمرین عبارتند از :

۱- آشنایی با انجام آنالیز ترموالاستیک

۲- آشنایی با تعریف مدول الاستیسیته به صورت تابعی از دما

---

*1- Thermoelastic Analysis ( Indirect Coupled Field )*



**شکل (۱-۱) : مدل مساله به همراه شرایط مرزی اعمال شده**

**حل :**

**مرحلهٔ اول – فراخوانی مدل :**

اگر هر دو فایل نتیجه (Couple.rth) و فایل Couple.db در آنالیز حرارتی را ذخیره کردید ، عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > File > Resume from ...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ Resume Database فایل Couple.db را انتخاب کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

در غیر اینصورت کلیهٔ عملیات مدلسازی و تحلیل حرارتی را مطابق تمرین ۱ از فصل چهارم (آنالیز حرارتی) انجام دهید و سپس به مرحلهٔ دوم بروید .

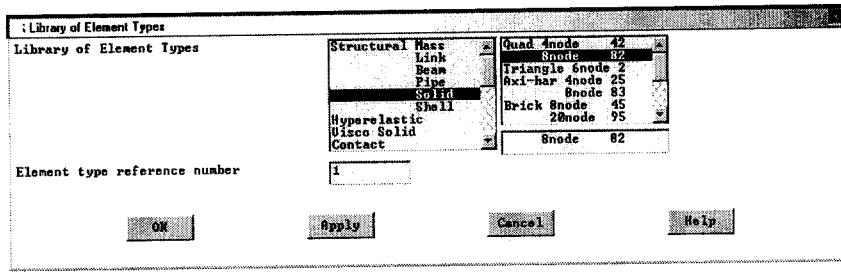
**مرحلهٔ دوم – تبدیل المان حرارتی PLANE77 به المان سازه ای PLANE82 :**

در این مرحله بدون آنکه نیاز به شبکه بندی جدید مدل با المان سازه ای PLANE82 داشته باشید ، میتوانید مستقیماً المان حرارتی را به المان سازه ای تبدیل کنید . ( علت تبدیل المان حرارتی به المان سازه ای ، نیاز به انجام یک آنالیز سازه ای است که در آن نیاز به المانی با درجات آزادی X , Y است . )

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

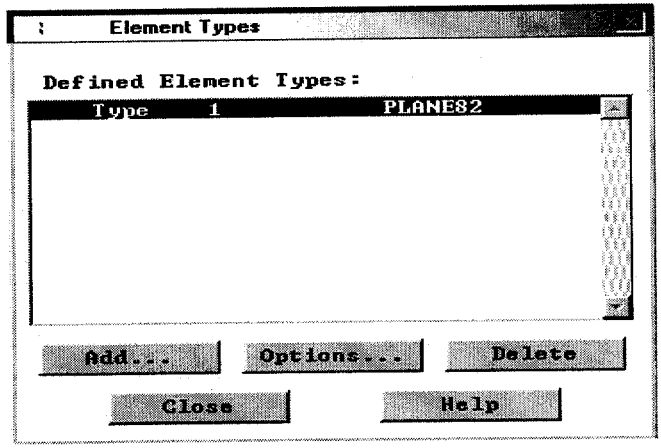
۳) مطابق شکل (۲-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع المان Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست آن،المان Quad 8node 82 را انتخاب کنید و در مقابل کادر Element type reference number به جای عدد ۲ عدد ۱ را وارد کنید .




**شکل (۲-۱) : انتخاب المان PLANE82 جهت تحلیل سازه أی**

۴) کلید OK را فشار دهید تا المانهای سازه أی PLANE82 جایگزین المانهای حرارتی PLANE77 برروی مدل شود .

مطابق شکل (۳-۱) مشاهده می کنید که در جعبهٔ محاورهٔ Element Types المان PLANE82 به عنوان المان نوع اول انتخاب شده است .




**شکل (۳-۱) : قرار گرفتن PLANE82 به جای PLANE77**

۵) با فشار دادن کلید Close پنجرهٔ فوق را ببندید .

**مرحلهٔ سوم – اضافه کردن خواص ماده :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...

۲) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Specify material number عـدد ۱ را وارد کـرده و کلیـد OK را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Poisson's ratio (minor) NUXY عدد 0.3 را وارد کرده و در مقابل کـادر ALPX Thermal expansion coeff عـدد 9.88E –7 را وارد کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود .

اکنون باید مدول الاستیسیته را به صورت تابعی از دما تعریف کنید .

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Temp Table ...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Temperature Table به ترتیب مقـادیر زیـر را وارد کنید :

T1 Temp value at loc N : 100
T2 Temp value at loc N+1 : 400
T3 Temp value at loc N+2 : 700
T4 Temp value at loc N+3 : 900
T5 Temp value at loc N+4 : 1200
T6 Temp value at loc N+5 : 1400

۳) سپس کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Prop Table ...

۴) مطابق شکل (۴-۱) درجعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Table درمقابل کادر Material property label در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Elastic modulus را انتخاب کـرده ودر پنجرهٔ سمت راست EX را انتخاب کنید و سپس در مقابل کادر MAT Material reference number عدد ۱ را وارد کنید و سپس مقادیر زیر را وارد کنید :

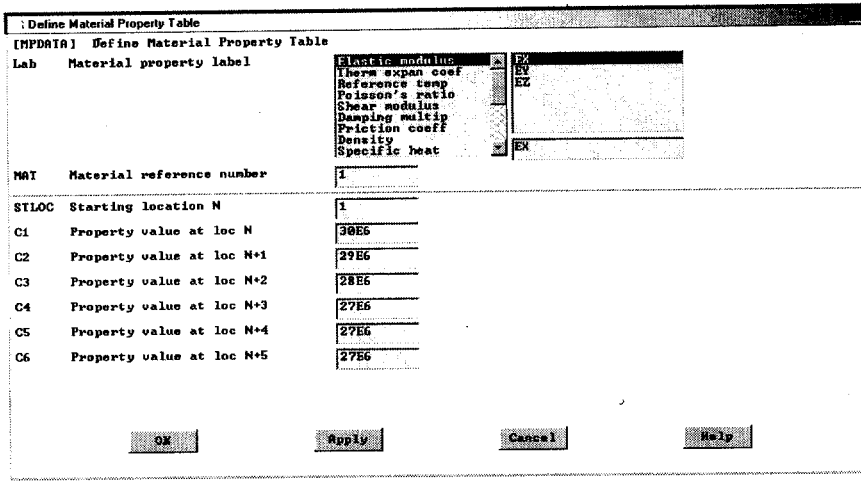
STLOC Starting location N : 1
C1 Property value at loc N : 30E6
C2 Property value at loc N+1 : 29E6
C3 Property value at loc N+2 : 28E6
C4 Property value at loc N+3 : 27E6
C5 Property value at loc N+4 : 27E6
C6 Property value at loc N+5 : 27E6

۵) کلید OK را فشار دهید .

اگر مایل به دیدن نمودار EX بر حسب دما هستید ، از مسیر زیر اقدام کنید :

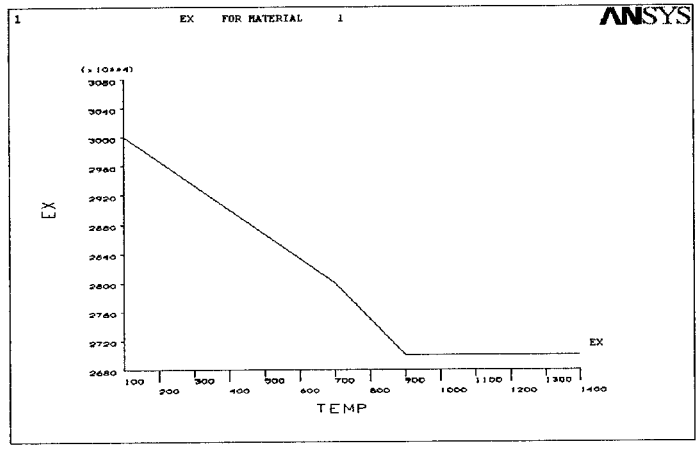
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Graph ...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ Graph Material Properties درمقابل کادر Lab Property to be graphed ازپنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Elastic modulus وازپنجرهٔ سمت راست گزینهٔ EX را انتخاب کنیـد ودرمقابل کادر MAT Material number عدد ۱ را وارد کنید .




**شکل (۴-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعریف مدول الاستیسیته به صورت تابعی از دما**

۳) کلید OK را فشار دهید تا منحنی فوق در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۵-۱) نمایان شود




شکل(۵-۱) : نمودار مدول الاستیسیته بر حسب دما

**نکته :** منحنی فوق جنبهٔ واقعی ندارد و فقط جهت آشنایی کاربر ارائه شده است.

## مرحلهٔ چهارم – بارگذاری و حل :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis …

۲) در پنجرهٔ باز شده گزینهٔ Static را فعال کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > On Nodes +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های خط طولی پایینی مدل را انتخاب کنید .

**نکته :**

سریعترین روش انتخاب گره های فوق آنستکه در پنجرهٔ انتخاب به جای گزینهٔ Single گزینهٔ Box را انتخاب کرده ودر پنجرهٔ گرافیکی با ساختن یک مستطیل انتخاب ، گره های مورد نظر را انتخاب کنید .

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

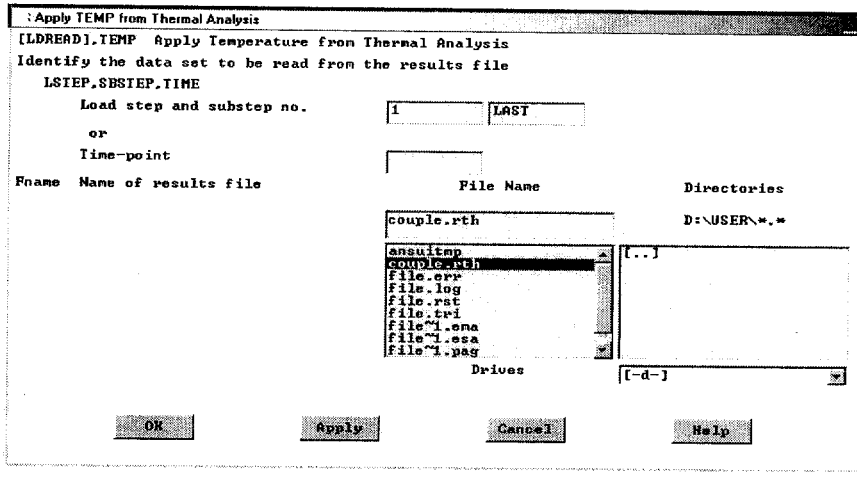
۷) درجعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل کادر DOF to be constrained گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید .

۸) کلید OK را فشار دهید تا شرایط مرزی اعمال شود .

اکنون باید بارگذاری حرارتی را از فایل Couple.rth برروی مدل قرار دهید :

9) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Temperature > From Therm Analy ...

۱۰) مطابق شکل (۶ - ۱) ، در جعبهٔ محاورهٔ Apply Temp from Thermal Analysis در مقابل کادر Load step and substep no . به ترتیب عبارت LAST , 1 را وارد کرده و در پنجرهٔ Name of Results File Fname فایل Couple.rth را از پنجرهٔ زیرین آن انتخاب کنید .




**شکل(۶-۱) : انتخاب فایل نتیجه جهت اعمال حرارت برروی مدل**

۱۱) کلید OK را فشار دهید .

اکنون مساله جهت تحلیل آماده می باشد :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT / را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۳) جهت شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ Solve Current Load Step فشار دهید .

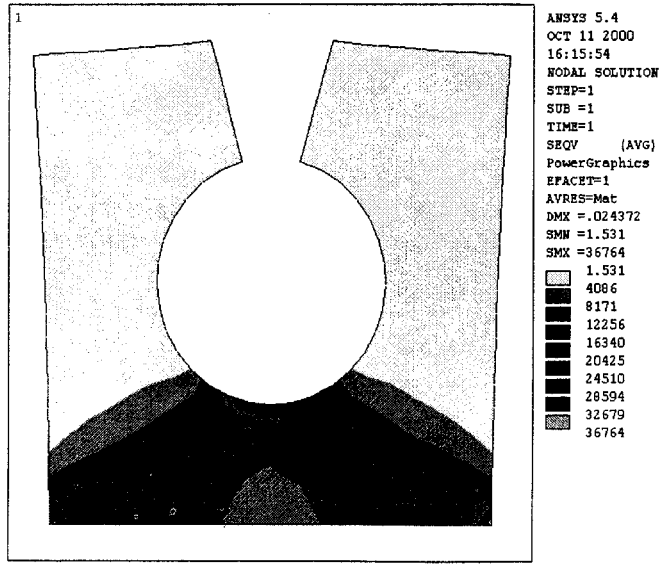
۴) پس از مدتی با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کـامل اسـت ، این پنجره را بسته و جهت مشاهدهٔ نتایج به مرحلهٔ بعدی بروید .

## مرحلهٔ پنجم – مشاهدهٔ نتایج :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ عبارت Stress و در پنجرهٔ سمت راست به کمـک لغزنـدهٔ آن عبارت (SEQV) von Mises را انتخاب کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا مطابق شکل (۷-۱) کانتور تنش معادل von Mises نمایان شود .




**شکل (۷-۱) : کانتور تنش معادل von Mises**

# تمرین دوم : میدانهای کوپلهٔ مستقیم[1]

**مقدمه :**

در این روش همانطور که قبلاً نیز ذکر شد ، برای حل یک مساله با میدانهای کوپلـه شـده تنـها یک تحلیل انجام می شود یعنی حل گر نرم افزار به حل ترکیبی مساله می پـردازد و در نتیجـه المانهای به کار رفته در این روش از درجات آزادی بیشتری برخوردار هسـتند . بـرای اطلاعـات بیشتر در این مورد می توانید به کتابهای مرجعی نظیر تئوری تنش حرارتی نوشتهٔ بولی – ویـنر [۱۶] مراجعه کنید . المانهای کوپلهٔ[2] موجود در نرم افزار به شرح زیر می باشند :

| Element Name | Description |
|---|---|
| SOLID5 | Coupled-field brick |
| PLANE13 | Coupled-field quadrilateral |
| FLUID29 | Acoustic quadrilateral |
| FLUID30 | Acoustic brick |
| CONTAC48 | 2-D point to surface contact |
| CONTAC49 | 3-D point to surface contact |
| SOLID62 | 3-D magneto-structural |
| FLUID66 | Thermal-flow pipe |
| PLANE67 | Thermal-electric quadrilateral |
| LINK68 | Thermal-electric line |
| SOLID69 | Thermal-electric brick |
| SOLID98 | Coupled-field tetrahedron |
| CIRCU124 | General circuit |
| SHELL157 | Thermal-electric shell |

این المانها دارای تمامی درجات آزادی مورد نیاز می باشند . در این مسائل کوپلینـگ ماتریسـی المان[3] و یا کوپلینگ بردار بارگذاری[4] محاسبه می شود .

در مسائل خطی با کوپلینگ ماتریسی المان ، تداخل میدانـهای کـوپلـه در هـر تکـرار محاسـبه می شود در حالیکه در کوپلینگ بردار بارگذاری نیاز به حداقل دو تکرار جـهت محاسـبهٔ پاسـخ میدانهای کوپله می باشد .

در مسائل غیر خطی از روش تکراری ( سعی و خطا ) برای هر دو کوپلینـگ ماتریسـی المـان و کوپلینگ بردار استفاده می شود .

انجام انواع متفاوت آنالیزهای میدانهای کوپله در محصول ANSYS / Multiphysics بـه شـرح زیر مقدور است :

---

*1- Direct Coupled Field Analysis*
*2- Coupled Field Elements*
*3- Matrix Coupling*
*4- Load Vector Coupling*

| Type of Analysis | Coupling Method |
|---|---|
| Thermal-structural | Load vector (and matrix, if contact elements are used) |
| Magneto-structural | Load vector |
| Electro-magnetic | Matrix |
| Electro-magnetic-thermal-structural | Load vector |
| Electro-magnetic-thermal | Load vector |
| Piezoelectric | Matrix |
| Thermal-pressure | Matrix and load vector |
| Velocity-thermal-pressure | Matrix |
| Pressure-structural (acoustic) | Matrix |
| Thermal-electric | Load vector |
| Magnetic-thermal | Load vector |
| Electromagnetic-circuit | Matrix |

در حالیکه در محصول ANSYS / Thermal تنها انجام مسائل ترموالکتریک به روش مستقیم مقدور بوده و در محصول ANSYS / Emag تنها مسائل الکترومغناطیس و الکترومغناطیس – مداری مقدور است و در محصول ANSYS / Linear Plus انجام هیچ آنالیز میدان کوپل به روش مستقیم مقدور نیست .

برای اطلاعات بیشتر در مورد دو روش کوپلینگ ماتریسی و کوپلینگ برداری می توانید به راهنمای نرم افزار مراجعه کنید .

**نکته :**

از المانهای Coupled Field که از روش کوپلینگ برداری استفاده می کنند نمی توان در آنالیز Substructure استفاده کرد .

در صورت وجود رفتارهای غیر خطی در المانهای Coupled Field ، ممکن است نیاز به تغییر تلرانس همگرایی ، معیار همگرایی و یا فعال کردن Line Search یا Predictor باشد .

**مثال :**

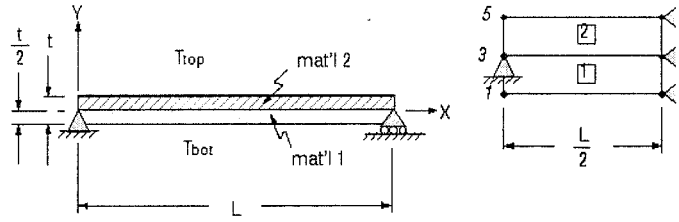
تیری مطابق شکل (۱-۲ ) متشکل از دو فلز مختلف با خواص مادهٔ مختلف است و در شرایط اولیهٔ دمایی صفر درجهٔ فارنهایت قرار دارد . این تیر در دو انتها ثابت شده است و دمای یکنواخت و منفرد ۴۰۰ درجهٔ فارنهایت به دو سطح بالا و پایین آن اعمال می شود . انتظار آن می رود که تیر تحت این بارگذاری حرارتی دچار تغییر شکل بزرگ شود . مطلوبست محاسبهٔ میزان جابجایی قسمت میانی تیر و حرارت آن .

خواص مواد به صورت زیر است :

$KXX_1 = KXX_2 = 5$ ( BTU/hr-in-.F )
$EX_1 = EX_2 = 10E6$ (psi)
$\alpha_1 = 14.5E\text{-}6$ ( in / in.F )
$\alpha_2 = 2.5E\text{-}6$ ( in / in.F )

ابعاد هندسی به شرح زیر است :

$L = 10$ ( in )
$t = 0.1$ ( in )
$T_{top} = T_{bot} = 400$ ( .F )




**شکل ( ۱-۲ ) : مدل مساله**

**راهنمایی :**

این مساله را در حالت تقارن محوری حل کنید . و برای همگرایی مساله تلرانس همگرایی را تغییر دهید .

اهداف این مساله عبارت است از :

۱- آشنایی با المانهای میدان کوپله

۲- آشنایی با تحلیل میدانهای کوپله به روش مستقیم

**حل :**

**مرحلهٔ اول – تنظیم موضوع مساله :**

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title …

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Bimetallic beam under thermal load را تایپ کرده و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ دوم – انتخاب المان PLANE13 :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete …

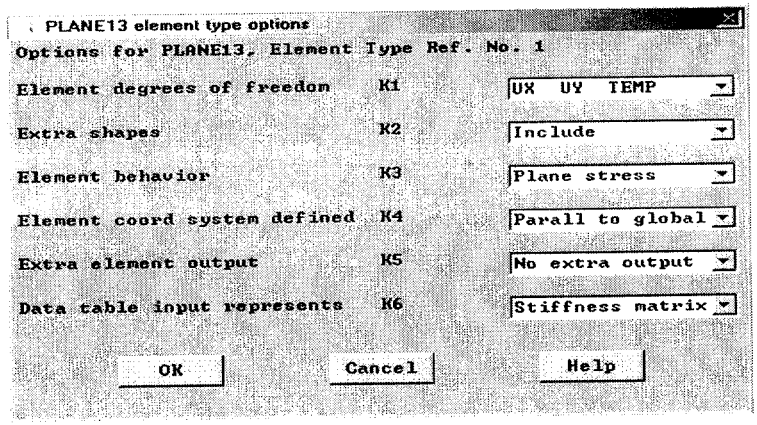
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ با پایین کشیدن لغزندهٔ آن خانوادهٔ المانهای Coupled Field را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان Vector Quad 13 را انتخاب کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Options را فشار دهید .

۶) مطابق شکل (۲-۲) در جعبهٔ محاورهٔ PLANE13 element type options در مقابل کادر Element degrees of freedom k1 از منوی گشودنی آن گزینهٔ UX UY TEMP را انتخاب کرده و در مقابل کادر Element behavior k3 از منوی گشودنی آن گزینهٔ Plane stress را انتخاب کنید .




**شکل ( ۲-۲ ) : تعیین گزینه های المان PLANE13**

۷) کلید OK را فشار دهید .

۸) کلید Close را در جعبهٔ محاورهٔ Element Types فشار دهید .

**مرحلهٔ سوم – تعیین خواص مواد :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic …

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Young's modulus EX عدد 10E6 و در مقابل کادر Thermal expansion coeff ALPX عدد 14.5E-6 و در مقابل کادر Thermal conductivity KXX عدد 5 را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۴) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Specify material number عدد ۲ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Young's modulus EX عدد 10E6 و در مقابل کادر Thermal expansion coeff ALPX عدد 2.5E-6 و در مقابل کادر Thermal conductivity KXX عدد 5 را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ چهارم – مدلسازی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Rectangle > By Dimensions ...

۲) در پنجرهٔ تولید مستطیل در مقابل کادر X1 , X2 X-coordinates به ترتیب اعداد 5 , 0 را وارد کرده و در مقابل کادر Y1 , Y2 Y-coordinates به ترتیب اعداد 0.05 , 0 را وارد کرده و کلید Apply را فشار دهید .

۳) برای تولید مستطیل دوم در پنجرهٔ تولید مستطیل در مقابل کادر X1 , X2 X-coordinates به ترتیب اعداد 5 , 0 را وارد کرده و در مقابل کادر Y1 , Y2 Y-coordinates به ترتیب اعداد 0.1 , 0.05 را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Glue > Areas +

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشاردهید .

**مرحلهٔ پنجم – شبکه بندی مدل :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing – Size Cntrls > - Manual Size – Global – Size ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Global Element Sizes درمقابل کادر NDIV No . of element – divisions عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing – Mesh > -Areas – Free +

۴) در پنجرهٔ گرافیکی سطح پایینی مدل را انتخاب کنید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes – Define > Default Attribs ...

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Material number [MAT] از منوی گشودنی آن مادهٔ شمارهٔ ۲ را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

7) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing – Mesh > -Areas – Free +

۸) در پنجرهٔ گرافیکی سطح بالایی مدل را انتخاب کنید و سپس در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ ششم – بارگذاری روی مدل :**

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities ...

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و دقت کنید که در زیر آن گزینهٔ X-coordinates فعال باشد و سپس در کادر Min , Max عدد صفر را وارد کرده و کلید Apply را فشار دهید .

۳) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و در زیر آن گزینهٔ Y-coordinates را انتخاب کنید و سپس در کادر

Min , Max عدد ۰/۰۵ را وارد کرده و اینبار به جای معیار From Full معیار Reselect را فعال کنید و کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > On Nodes +

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

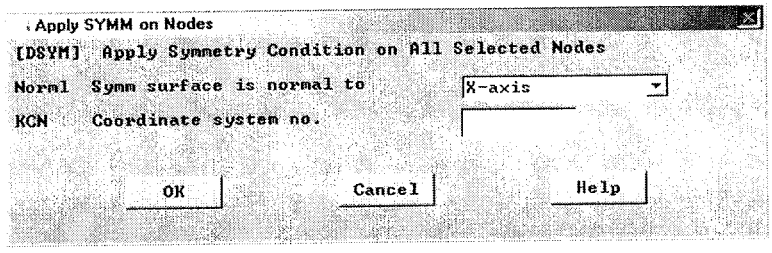
۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes درمقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained از پنجرهٔ آن گزینهٔ UY را انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید .

7) Ansys Utility Menu > Select > Entities …

۸) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و در زیر آن گزینهٔ X-coordinates را انتخاب کنید و سپس در کادر Min , Max عدد ۵ را وارد کرده و در زیر آن گزینهٔ From Full را انتخاب کنید و سپس کلید OK را فشار دهید .

9) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > - Symmetry B.C. – On Nodes +

۱۰) مطابق شکل ( ۳-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Apply SYMM on Nodes در مقابل کادر Norm1 Symm surface is normal to از منوی گشودنی آن گزینهٔ X - axis را انتخاب کنید ( که به مفهوم صفحهٔ عمود بر محور X یعنی Y-Z است )




**شکل ( ۳-۲ ) : تعیین صفحهٔ تقارن**

۱۱) کلید OK را فشار دهید .

13) Ansys Utility Menu > Select > Everything

14) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > On Nodes +

۱۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۱۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل کادر Lab2 DOD's to be constrained ابتدا گزینهٔ UY را غیر فعال کنید تا کمرنگ شود و سپس گزینهٔ TEMP را انتخاب کنید و در مقابل کادر VALUE Displacement value عدد ۴۰۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ هفتم – تعیین نوع آنالیز و گزینه های آن :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - New Analysis – Analysis Type …

۲) در پنجرهٔ باز شده نوع Static را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

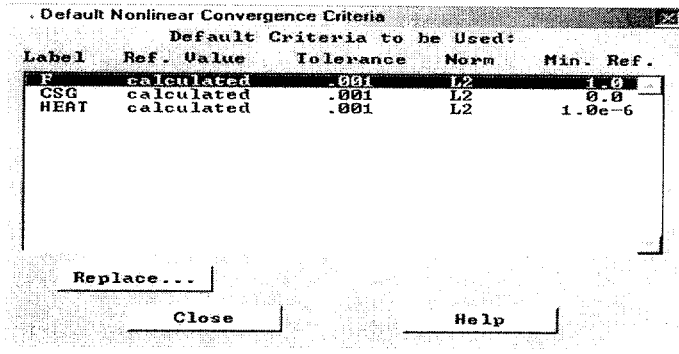
3) Ansys Main Menu > Solution > - New Analysis – Analysis Options …

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Static or Steady – State Analysis گزینهٔ [NLGEOM] Large deform effects را فعال کنید ( On ) و کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید طبق راهنمایی ارائه شده مبنای همگرایی مساله را بر پایهٔ نیرو قرار دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Nonlinear > Convergence Crit …

۲) مطابق شکل ( ۴-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ Default Nonlinear Convergence Criteria درپنجرهٔ سفیدرنگ عبارت F calculated .001 L2 1.0 را انتخاب کرده و سپس کلید Replace… را فشار دهید .




**شکل ( ۴-۲ ) : انتخاب معیار همگرایی بر مبنای نیرو**

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Nonlinear Convergence Criteria مطابق شکل ( ۵-۲ ) در مقابل کادر MINREF Minimum reference value عدد ۰/۱ را وارد کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

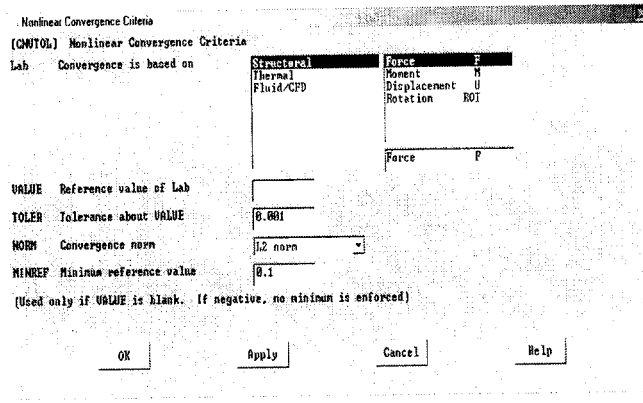
**مرحلهٔ هشتم – حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۳) برای شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید .

۴) پنجرهٔ اخطار زردرنگی ظاهر می شود . علت این اخطار آنستکه با توجه به اینکه المان PLANE13 دارای درجهٔ آزادی AZ نیز می باشد ، بنابراین نیاز به خواص مادهٔ الکترومغناطیس نیز دارد که با توجه به آنکه در این مساله خواص مادهٔ الکترومغناطیس تعیین نشده است بنابراین وجود این درجهٔ آزادی در تحلیل تاثیری ندارد .




**شکل ( ۵-۲ ) : تعیین مقدار کمینه برای تلرانس همگرایی**

**مرحلهٔ نهم – مشاهدهٔ نتایج :**

برای مشاهدهٔ فرم تغییر شکل یافتهٔ تیر عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Displacement Display Scaling در مقابل کادر DMULT Displacement scale factor گزینهٔ ( true scale ) 1.0 را انتخاب کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape ...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Deformed Shape در مقابل کادر KUND Items to be plotted گزینهٔ Def + undeformed را انتخاب کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید تا فرم تغییر شکل یافتهٔ مدل بر روی مدل نمایان شود .

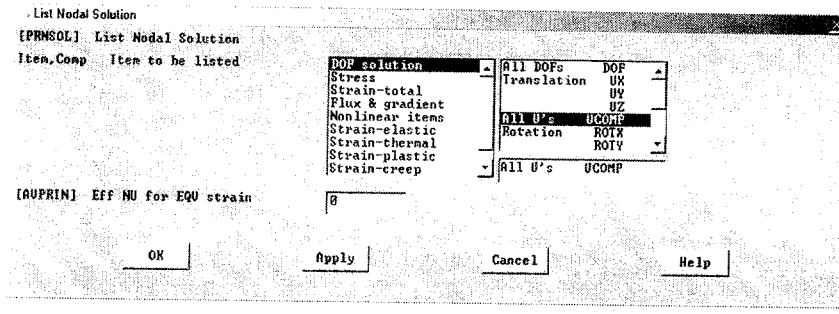
برای مشاهدهٔ نتایج حل گره أی عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > List Results > Nodal Solution ...

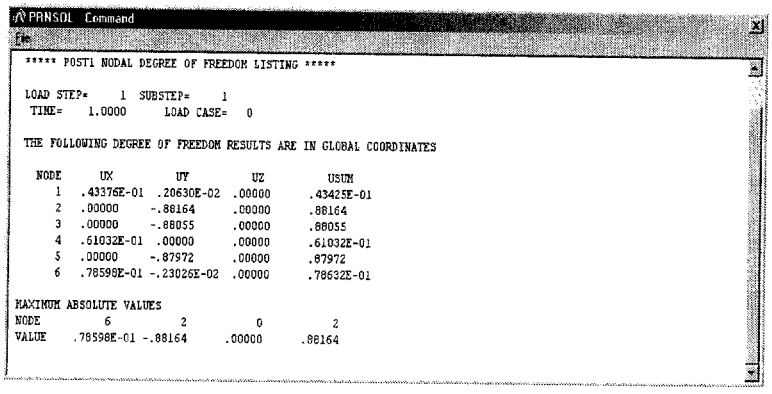
۲) مطابق شکل ( ۶-۲ ) در جعبهٔ محاورهٔ List Nodal Solution در مقابل کادر Item,Comp Item to be listed در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخاب کرده و در سمت راست گزینهٔ All U's UCOMP را انتخاب کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

۴) مطابق شکل ( ۷-۲ ) نتایج را در پنجرهٔ سفیدرنگ PRNSOL مشاهده کنید .




شکل ( ۶-۲ ) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین نوع داده ها جهت نمایش




شکل ( ۷-۲ ) : نمایش نتایج داده ها

# تمرین سوم : آکوستیک[1]

## مقدمه :

آکوستیک عبارت است از مطالعهٔ تولید ، جذب ، انعکاس و انتقال فشار موج صوت در یک محیط سیال . موارد استفادهٔ آن در دستگاههای تولید کنندهٔ امواج صوتی نظیر کمینه کردن صوت در خودروها و کارگاههای ماشین ابزار ، صوت در زیر آب و ... می باشد .

انجام این آنالیز در دو محصول Ansys / Multiphysics و Ansys / Mechanical میسر است .

در این آنالیز قسمت مهم در مراحل مدلسازی سیال در برگیرندهٔ سازه است . نرم افزار Ansys به طور پیش فرض سیال را تراکم پذیر[2] در نظر می گیرد اما فقط تغییرات نسبتاً کوچک فشار قابل اعمال است . برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد انواع آنالیز آکوستیک می توانید به کتاب آکوستیک نوشتهٔ کروکر [۱۷] و یا به مسیر زیر در راهنمای نرم افزار مراجعه کنید :

Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides > Ansys Coupled Field Analysis > Chapter 4 : Acoustics ...

## حل مسائل آکوستیک :

این مسائل را می توان توسط آنالیز پاسخ منظم انجام داد در این آنالیز به محاسبهٔ نحوهٔ توزیع فشار[3] در یک سیال که در اثر یک بار منظم در محل برخورد ( مرز ) سیال و سازه ایجاد می شود ، پرداخته می شود .می توان با اختصاص دادن محدودهٔ فرکانسی برای بار ، توزیع فشار را در فرکانسهای مختلف مشاهده کرد . همچنین می توانید آنالیزهای مودال و گذرای آکوستیکی نیز انجام دهید .

مراحل کلی انجام یک آنالیز آکوستیکی عبارت است از :

۱- مدلسازی

۲- بارگذاری و حل

۳- مشاهدهٔ نتایج

## مدلسازی :

۱-۱ ) نوع المان :

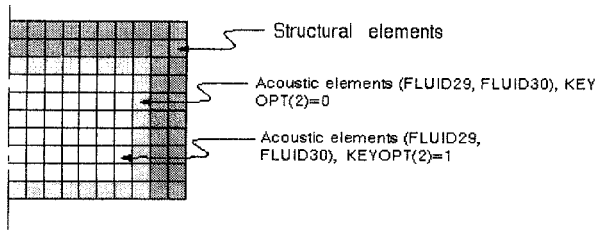
۴ نوع المان برای مدلسازی محیط سیال در نظر گرفته شده است که عبارتند از :

FLUID29 و FLUID30 و FLUID129 و FLUID130

---

*1- Acoustic Analysis*
*2- Compressible*
*3- Pressure Distribution*

دو المان FLUID29 و FLUID30 به ترتیب برای مدلسازی سیال دو بعدی و سه بعدی به کار می روند و دو المان FLUID129 و FLUID130 به ترتیب برای مدلسازی سیال نامتناهی ( سیال جاذب ) در اطراف المانهای FLUID29 و FLUID30 به کار می روند .
همچنین در صورت وجود یک سازه در محیط سیال از المانهای سازه أی نظیر PLANE42 و PLANE82 در حالت دو بعدی و SOLID45 و SOLID95 در حالت سه بعدی استفاده می شود .
از ۴ المان آکوستیکی فوق فقط دو المان FLUID29 و FLUID30 می توانند در تماس با المانهای سازه أی باشند و دو المان FLUID129 و FLUID130 تنها می توانند در تماس با المانهای FLUID29 وFLUID30 باشند .
در مورد دو المان FLUID29 و FLUID30 ، المانهایی که در تماس با سازه هستند باید گزینه های آنها را در قسمت Structure at elem interface به Structure presen تبدیل کرد تا در تشکیل ماتریس این المانها درجات آزادی آنها PRES , UX , UY , UZ منظور شود و برای بقیهٔ المانهای آکوستیک که در تماس با سازه قرار ندارند گزینهٔ Structure at elem interface این المانها باید به Structure absent تغییر کند تا در هنگام تشکیل ماتریس این المانها تنها درجهٔ آزادی ، PRES منظور شود .
به شکل (۱-۳) توجه کنید :




**شکل (۱-۳) : قرار گرفتن المانها و گزینه های هر المان**

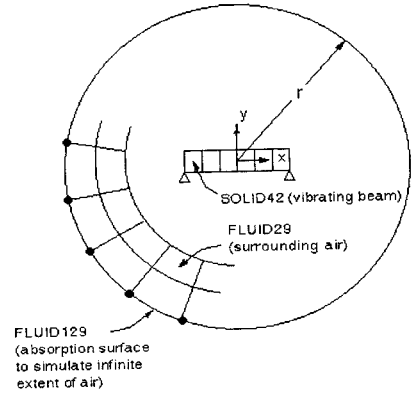
دو المان FLUID129 و FLUID130 که در حقیقت جاذب فشار امواج هستند ، محیط سیال نامحدود در بر گیرندهٔ المانهای FLUID29 و FLUID30 را شبیه سازی می کنند المان FLUID129 در برگیرندهٔ مرزهای دو بعدی المان FLUID29 است ، پس المان خط می باشد در حالیکه FLUID130 در برگیرندهٔ سطوح المانهای FLUID30 می باشد پس المان سطح می باشد .

۱-۲) خواص مواد :

المانهای آکوستیک در تعریف خواص ماده نیاز به چگالی و سرعت صوت دارند اما در مورد دو المان FLUID129 و FLUID130 تعریف کردن تنها سرعت صوت کافی است .
همچنین اگر پدیدهٔ جذب صوت در مرز مشترک سیال و سازه[1] نیز اتفاق می افتد ، در تعیین خواص مواد MU را تعریف کنید تا ضریب ورود مرز β ( ضریب جذب ) معین شود .
مقادیر β معمولاً از اندازه گیریهای تجربی به دست می آید .
همچنین برای المانهای سازه ای مدول یانگ و چگالی و نسبت پواسون را می توای تعریف کرد.

۱-۳) مقادیر ثابت المان :

در هنگام استفاده از FLUID129 و FLUID130 مرز قرار گرفتن المانهای فوق باید دایره ای ( در حالت دو بعدی ) و کروی ( درحالت سه بعدی ) باشد و شعاع مرز دایره ای یا کروی محیط نا متناهی باید در مقادیر ثابت دو المان FLUID129 و FLUID130 تعیین شود . مرکز دایره یا کره نیز در مقادیر ثابت المان قابل تعیین است و در صورت منظور نشدن نرم افزار مرکز مختصات Global را به عنوان مرکز در نظر می گیرد .
به شکل (۲-۳) توجه کنید .




**شکل (۲-۳) : قرار گرفتن سازه در محیط سیال**

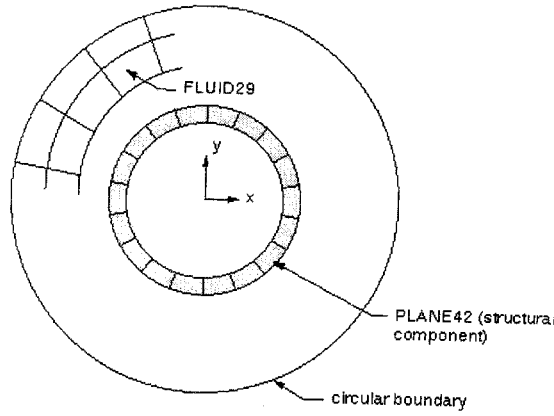
۱-۴) شبکه بندی :

۱-۱-۴) شبکه بندی محدودهٔ سیال داخلی :

در این مرحله محیط سیال داخلی را که به صورت یک دایره یا کره ، سازه را احاطه کرده است باید شبکه بندی کرد. به شکل (۳-۳) توجه کنید :

---

*1- Fluid – Structure Interface*




**شکل (۳-۳) : مدلسازی محیط سیال داخلی**

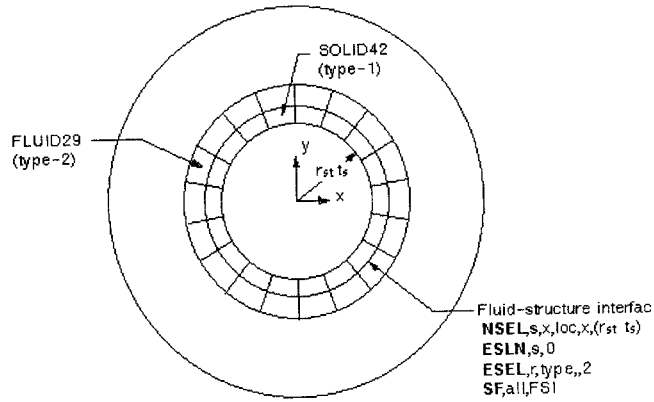
۲-۱-۴) تولید المانهای آکوستیک محیط جاذب صوت ( FLUID129 و FLUID130 ):
ابتدا گره های مرزی خارجی محیط دایره أی یـا کـروی المانـهای FLUID29 ( FLUID30 )را انتخاب کنید و سپس صفات شبکه بندی را به خصوصیات FLUID129 ( FLUID130 ) تغییـر دهید .

**نکته :**

داده های تجربی نشان داده اند که در صـورت قـرار گرفتـن محیـط سـیال جـاذب ( المانـهای FLUID129 وFLUID130 ) در فاصلهٔ حدود $0.2\lambda$ از مرکز سازه ، جوابـهای دقیقـی بـه دسـت می آید . در اینجا $\lambda = C / F$ است که $\lambda$ طول موج ، C سرعت موج در سیال و F فرکانس مـوج است . به عنوان مثال برای یک رویهٔ دایره أی ( یا کروی ) فرو رفته در آب بـه قطـر D ، شـعاع محیط سیال مرزی باید حداقل $D/2 + 0.2\lambda$ انتخاب شود .
سپس المان های FLUID129 ( FLUID130 ) را روی سطح آزاد خارجی المـان هـای سـیال FLUID29 ( FLUID30 ) قرار دهید .
در نهایت باید مرز سیال و سازه را معین کنید . به این صـورت کـه ابتـدا کلیـهٔ گره هـای مـرز مشترک سازه و سیال را انتخاب کرده و سپس المانهای FLUID را که به این گره هـا چسـبیده اند ، انتخاب کنید و آن گره ها را به عنوان مرز مشترک سازه و سـیال معرفـی کنیـد ( مطـابق شکل ( ۴-۳) )

**بارگذاری و حل :**

۲-۱) تنظیم نوع آنالیز به Harmonic و تعیین گزینه های آن .
۲-۲) بارگذاری به صورتیکه هر بار اعمالی به طور منظم با زمان تغییر کند .




**شکل (۴-۳) : انتخاب گره های مرز سیال و سازه و معرفی آنها**

۲-۳) تعیین دامنهٔ بار ( Amplitude ) .

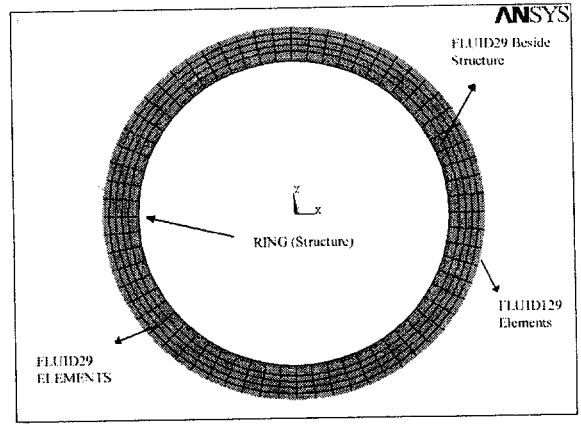
۲-۴) تعیین فرکانس بار ( Forcing Frequency ) .

**مشاهدهٔ نتایج :**

نتایج اولیه به صورت جابجایی و فشار در گره .

نتایج مشتق شده به صورت فشار ، تنش ، نیرو و نیروی عکس العمل در المان .

**مثال :** مطلوبست محاسبهٔ اولین مود فرکانسی خمشی یک حلقهٔ توخالی فرو رفته در آب مطابق شکل (۵-۳) که این مود تحت دو نیروی مساوی و مختلف الجهت در دو گرهٔ حلقه - که




**شکل (۵-۳) : مدل مساله با کلیهٔ المانهای قرار گرفته در آن**

در موقعیت زاویه أی ۰ و ۱۸۰ درجه قرار دارند – تحریک مـی شـود . المانـهای FLUID129 را در فاصلهٔ حدود ۲ برابر شعاع خارجی حلقه قرار دهید .
شعاع داخلی حلقه برابر ۰/۲۵۴ و شعاع خارجی آن برابر ۰/۲۶۰۳۵ است و شعاع داخلـی المـان FLUID29 برابر ۰/۲۶۰۳۵و شعاع خارجی آن برابـر ۰/۳۱۲۴۲اسـت . خـواص مـادهٔ حلقـه بـه صورت زیر است :

Young' modulus = 206E9 , Density = 7929 , Poisson's ratio = 0

چگالی سیال برابر ۱۰۳۰ و سرعت صوت در آن برابر ۱۴۶۰ می باشد .

**حل :**

**مرحله اول – تعریف موضوع مساله :**

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title ...

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Harmonic Analysis of a Submerged Annular Ring را تـایپ کنید و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ دوم – انتخاب المانهای مورد نیاز :**

در ایـن مسـاله بـه یـک المـان سـازهای PLANE42 و یـک المـان FLUID129 و دو المـان FLUID29 ( با گزینه های متفاوت ) نیاز دارید :

1) Ansys Main Menu > Preprocesor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاوره element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خـانواده Structural نوع Solid و در پنجرهٔ سمت راست المان Quad 4node 42 را انتخاب کنید و کلیـد Apply را فشار دهید .

۴) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ فوق در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن المـان نـوع ANSYS Fluid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان 2 D acoustic 29 را انتخاب کنید و کلیـد Apply را فشار دهید .

۵) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ فوق در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن المـان نـوع ANSYS Fluid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المـان 2 D acoustic 129 را انتخـاب کنیـد و کلید Apply را فشار دهید .

۶) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ فوق در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن المـان نـوع ANSYS Fluid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان 2 D acoustic 29 را انتخاب کنید و کلیـد OK را فشار دهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types در زیر عبارت Defined Element Types در پنجره آن المان آخر یعنی Type4 FLUID29 را انتخاب کنید و کلید Options را فشار دهید .
۸) در جعبهٔ محاورهٔ FLUID29 element type options در مقابل کادر Structural at elem interface K2 از منوی گشودنی آن گزینهٔ Structure absent را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .
۹) در پنجرهٔ قبلی کلید Close را فشار دهید .

**مرحلهٔ سوم – تعیین مقادیر ثابت المان FLUID129 :**

1) Ansys Main menu > Preprocessor > Real Constants ...
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید .
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants در زیر کادر Choose element type المان سوم یعنی Type3 FLUID129 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .
۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for FLUID129 در مقابل کادر Real Constant Set No. عدد ۳ را وارد کنید و در مقابل کادر Radius RAD عدد ۰/۳۱۲۴۲ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .
۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

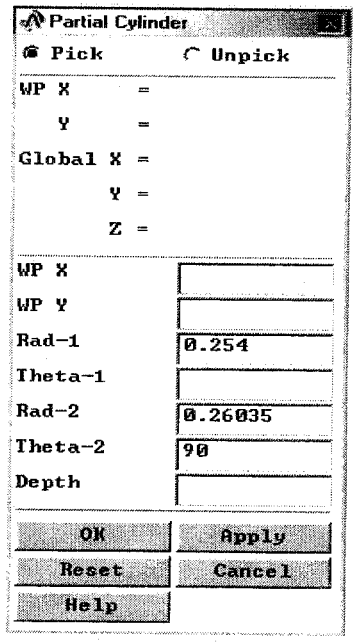
**مرحلهٔ چهارم – تعیین خواص مواد :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...
۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید .
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Young's modulus EX عدد 206E9 را وارد کرده و در مقابل کادر Density DENS عدد 7929 را وارد کرده و در مقابل کادر Poisson's ratio (minor) NUXY عدد صفر را وارد کنید .
۴) کلید Apply را فشار دهید .
۵) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Specify material number عدد ۲ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .
۶) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Density DENS عدد 1030 را وارد کنید و سپس لغزندهٔ پنجره را به پایین بکشید تا کادر Sonic Velocity SONC نمایان شود و سپس مقدار آنرا برابر 1460 قرار دهید و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ پنجم – مدلسازی :**

ابتدا یک چهارم حلقه را مدلسازی کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling – Create > -Volumes – Cylinder > Partial Cylinder +




۲) در پنجرهٔ باز شده مطابق شکل (۶-۳) در مقابل کادر Rad – 1 عدد ۰/۲۵۴ و در مقابل کادر Rad – 2 عدد ۰/۲۶۰۳۵ و در مقابل کادر Theta – 2 عدد ۹۰ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

**نکته** : خالی گذاشتن کادرهای دیگر به مفهوم صفر بودن آنهاست .

۳) برای مدلسازی ربع محیط سیال در بر گیرندهٔ سازه اینبار در پنجرهٔ فوق در مقابل کادر Rad – 1 عدد ۰/۲۶۰۳۵ و در مقابل کادر Rad – 2 عدد ۰/۳۱۲۴۲ و در مقابل کادر Theta – 2 عدد ۹۰ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

**شکل (۶-۳) : مدلسازی ربع حلقه**

**مرحلهٔ ششم – انتخاب سطح شمارهٔ ۱ ( ربع حلقه ) و شبکه بندی آن :**

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities …

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Areas و در قسمت دوم گزینهٔ By Num / Pick را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ Ansys Input عدد ۱ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید تا سطح ۱ انتخاب شود .

۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Utility Menu > Plot > Replot

۶) برای تنظیم صفات شبکه بندی حلقه می توانید از روشهای قبلی استفاده کنید اما برای سرعت کار در پنجرهٔ Ansys Input عبارت AATT,1,1,1,0 را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید تا به ترتیب خواص ماده به نوع اول ومقادیر ثابت آن به مقادیر اول و نوع المان آن به المان اول ، برای شبکه بندی تعیین شود .

7) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing – Size Cntrls > - Lines – Picked Lines +

۸) برای انتخاب خط شمارهٔ ۱و۳ در پنجرهٔ Ansys Input ابتدا عدد ۱ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید و سپس عدد ۳ را وارد کرده و دوباره کلید Enter را فشار دهید .

۹) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۱۰) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۱۶ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۱۱) برای انتخاب خط شمارهٔ ۲و۴ در پنجرهٔ Ansys Input ابتدا عدد ۲ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید و سپس عدد ۴ را وارد کرده و دوباره کلید Enter را فشار دهید .

۱۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۱۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

14) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۱۵) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت سوم شکل المان ( Shape ) را از نوع Quad و نوع Mesher را از نوع Mapped انتخاب کرده و کلید Mesh را فشار دهید .

۱۶) در پنجرهٔ گرافیکی سطح شمارهٔ ۱ را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

**مرحلهٔ هفتم – انتخاب سطح دوم و شبکه بندی آن :**

این سطح که در حقیقت محیط در بر گیرندهٔ حلقه است باید با المان FLUID29 شبکه بندی شود :

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities ...

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Areas و در قسمت دوم گزینهٔ By Num / Pick را انتخاب کنید و کلیدInvert را فشار دهید .

۳) در جعبه ابزار Select Entities کلید Cancel را فشار دهید .

4) Ansys Utility Menu > Plot > Replot

۵) برای تنظیم صفات شبکه بندی حلقه می توانید از روشهای قبلی استفاده کنید اما برای سرعت کار در پنجرهٔ Ansys Input عبارت AATT,2,1,2,0 را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید تا به ترتیب خواص ماده به نوع دوم ومقادیر ثابت آن به مقادیر اول و نوع المان آن به المان دوم ، برای شبکه بندی تعیین شود .

7) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing – Size Cntrls > - Lines – Picked Lines +

۸) برای انتخاب خط شمارهٔ ۵ و ۷ در پنجرهٔ Ansys Input ابتدا عدد ۵ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید و سپس عدد ۷ را وارد کرده و دوباره کلید Enter را فشار دهید .

۹) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۱۰) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۱۶ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۱۱) برای انتخاب خط شمارهٔ ۶ و ۸ در پنجرهٔ Ansys Input ابتدا عدد ۶ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید و سپس عدد ۸ را وارد کرده و دوباره کلید Enter را فشار دهید .

۱۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۱۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۵ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

14) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۱۵) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت سوم شکل المان ( Shape ) را از نوع Quad و نوع Mesher را از نوع Mapped انتخاب کرده و کلید Mesh را فشار دهید .

۱۶) در پنجرهٔ گرافیکی سطح شمارهٔ ۱ را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

**مرحلهٔ هشتم – انعکاس ربع مدل نسبت به صفحهٔ Y – Z :**

1) Ansys Utility Menu > Select > Everything

2) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > Nodes +

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Nodes در مقابل کادر NCOMP Plane of symmetry صفحهٔ Y – Z را انتخاب کرده و در مقابل کادر INC Node number increment عدد ۱۰۰۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > - Elements – Auto Numbered+

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشاردهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Elem Auto – Num در مقابل کادر Node number increments عدد ۱۰۰۰ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ نهم – انعکاس نیمهٔ مدل نسبت به صفحهٔ X – Z :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > Nodes +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Nodes در مقابل کادر NCOMP Plane of symmetry صفحهٔ X – Z را انتخاب کرده و در مقابل کادر INC Node number increment عدد ۲۰۰۰ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > - Elements – Auto Numbered+

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشاردهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Elem Auto – Num در مقابل کادر Node number increments عدد ۲۰۰۰ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ دهم – ممزوج کردن اجزاء :**

1) Ansys Main menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر Type of item to be merge Lab1 به جای Nodes از منوی گشودنی آن گزینهٔ All را انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

**مرحلهٔ یازدهم – انتخاب المانهای FLUID29 که در تماس با سازه قرار ندارند جهت تبدیل به نوع المان FLUID29 با گزینهٔ Structure absent :**

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities …

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Elements و در قسمت دوم گزینهٔ By Attributes را انتخاب کرده و در زیر آن دکمهٔ رادیویی Elem type num را فعال کنید و در کادر Min , Max , Inc عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Select > Entities …

۴) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ Attached to را انتخاب کرده و در زیر آن دکمهٔ رادیویی Elements را فعال کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۵) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Elements و در قسمت دوم گزینهٔ Attached to را انتخاب کرده و در زیر آن دکمهٔ رادیویی Nodes را فعال کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۶) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ Attached to را انتخاب کرده و در زیر آن دکمهٔ رادیویی Elements را فعال کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۷) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Elements را انتخاب کرده و کلید Invert را فشار دهید .

۸) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ Attached to را انتخاب کرده و در زیر آن دکمهٔ رادیویی Elements را فعال کنید و کلید OK را فشار دهید .

9) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

10) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Move / Modify > -Elements – Modify Attrib +

۱۱) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۱۲) در جعبهٔ محاورهٔ Modify Elem Attributes در مقابل کادر STLOC Attribute to chang گزینهٔ Elem type TYPE را از منوی گشودنی آن انتخاب کنید و در مقابل کادر New II attribute number عدد ۴ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

13) Ansys Utility Menu > Select > Everything

**مرحلهٔ دوازدهم – قرار دادن المانهای FLUID129 :**

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cylindrical

۲) اکنون باید گره های خارجی مرزی المانهای FLUID29 را انتخاب کنید :

3) Ansys Utility Menu > Select > Entities …

۳) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و در زیر آن دکمهٔ رادیویی X coordinates را فعال کنید و در کادر Min , Max عدد ۰/۳۱۲۴۲ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

۵) اکنون باید صفات شبکه بندی را به المان FLUID129 و مادهٔ ۲ و مقدار ثابت ۳ تغییر دهید

6) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Attributes – Define > Default Attribs …

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Meshing Attributes در مقابل کادر Element type number [TYPE] از منوی گشودنی آن المان شمارهٔ ۳ یعنی FLUID129 را انتخاب کنید و درمقابل کادر [MAT] Material number از منوی گشودنی آن مادهٔ شمارهٔ ۲ را انتخاب کنید و در مقابل کادر [REAL] Real constant set number از منوی گشودنی آن شمارهٔ ۳ را انتخاب کنید و سپس کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered – On Free Surf …

۹) در جعبهٔ محاورهٔ Mesh Free Surfaces کلید OK را فشار دهید تا المانهای FLUID129 تولید شوند .

10) Ansys Utility Menu > Select > Everything

برای مشاهدهٔ ترتیب قرار گرفتن المانها برروی مدل عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Numbering …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Numbering Controls در مقابل کادر Elem / Attrib Numbering از منوی گشودنی آن گزینهٔ Element type num را انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

**مرحلهٔ سیزدهم – معرفی سطح مشترک سیال و سازه :**

در این مرحله باید المان های FLUID29 را که در تماس با المانهای سازه أی قرار دارند را انتخاب کنید :

1) Ansys Utility Menu > Slect > Entities …

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و سپس در زیر آن دکمهٔ رادیویی X coordinates را فعال کنید و در کادر Min , Max عدد ۲۶۰۳۵/ ۰ را تایپ کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۳) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Elements و در قسمت دوم گزینهٔ By Attributes را انتخاب کرده و در کادر Min , Max , Inc عدد ۲ را تایپ کنید و کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > Loads > - Loads – Apply > - Fliud / CFD - Fluid – Struct > On Nodes +

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

6) Ansys Utility Menu > Select > Everything

**مرحلهٔ چهاردهم – بارگذاری و حل :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis ...

۲) در پنجرهٔ باز شده گزینهٔ Harmonic را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options ...

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Harmonic Analysis دقت کنید که در مقابل کادر Solution [HROPT] method گزینهٔ Full انتخاب شده باشد و سپس کلید OK را فشار دهید .

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Full Harmonic Analysis کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید دو نیروی مساوی و مختلف الجهت را با دامنه ۱۰۰۰ برروی دو گرهٔ ۱۹و۱۰۱۹ قرار دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Loads – Apply > -Structural – Force / Moment > On Nodes +

۲) در پنجرهٔ Ansys Input عدد ۱۹ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes در مقابل کادر VALUE Real part of force/mom عدد ۱۰۰۰ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > -Loads – Apply > -Structural – Force / Moment > On Nodes +

۵) در پنجرهٔ Ansys Input عدد ۱۰۱۹ را وارد کرده و کلید Enter را فشار دهید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes در مقابل کادر VALUE Real part of force/mom عدد ۱۰۰۰- را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

برای تنظیم محدودهٔ فرکانسی و تعداد Substep عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Load Step Opts – Time / Frequenc > Freq and Substeps ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Harmonic Frequency and Substep Options در مقابل کادر [HARFRQ] Harmonic freq range به ترتیب اعداد ۳۴و۳۸ را وارد کرده و سپس در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۱۰۰ را وارد کنید و سپس در مقابل کادر [KBC] Stepped or ramped b.c. دکمهٔ رادیویی Stepped را فعال کنید و کلید OK را فشار دهید .

برای شروع حل مساله عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده و آنرا ببندید .

۳) در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step کلید OK را فشار دهید .

۴) در پنجرهٔ خاکستری رنگ Verify کلید Yes را فشار دهید . علت ظاهر شدن این پنجره تعریف نشدن مقدار ثابت شمارهٔ ۱و۲ است که کاربر را متوجه آن می کند و مهم نیست .

۵) با توجه به طولانی بودن حل مساله ، پس از مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل خواهد شد و آنرا ببندید .

**مرحلهٔ پانزدهم – مشاهدهٔ نتایج :**

برای مشاهدهٔ نتایج عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Settings > Graph …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Settings در مقابل کادر Complex variable [PLCPX] گزینهٔ Amplitude را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Define Variables …

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Define Time – History Variables کلید Add را فشار دهید .

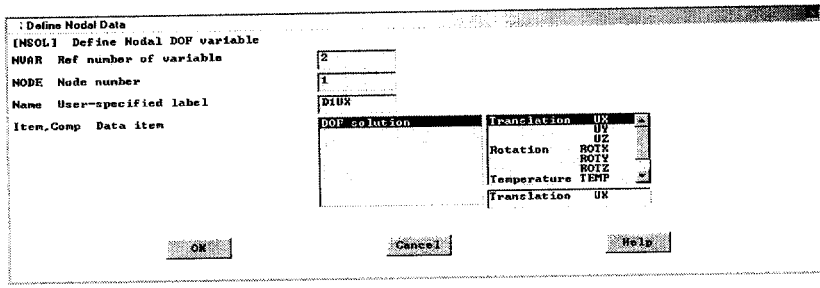
۵) در جعبهٔ محاورهٔ Add Time – History Variables کلید OK را فشار دهید .

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Define Nodal Data مطابق شکل (۷-۳) در مقابل کادر NVAR Ref number of variable عدد ۲ را وارد کنید و در مقابل کادر NODE Node number عدد ۱ را وارد کنید و سپس در مقابل کادر Name user – specified label نام D1UX را وارد کنید و در مقابل کادر Item , Comp Data item در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ UX – Translation را انتخاب کنید .

۷) کلید OK را فشار دهید .

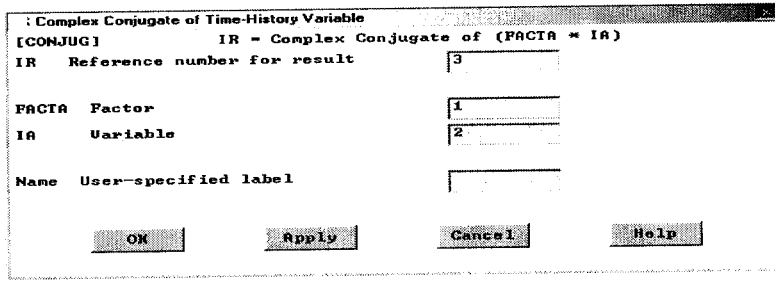
۸) در پنجرهٔ قبلی کلید Close را فشار دهید .

9) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Math Operations > Complex Conjugate …




**شکل (۷-۳) : تعریف جابجایی گرهٔ شمارهٔ ۱ به عنوان متغیر**

۱۰) مطابق شکل (۸-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Complex Conjugate of Time – History Variable در مقابل کادر IR Reference number for results عدد ۳ و در مقابل کادر IA Variable عدد ۲ را وارد کنید .

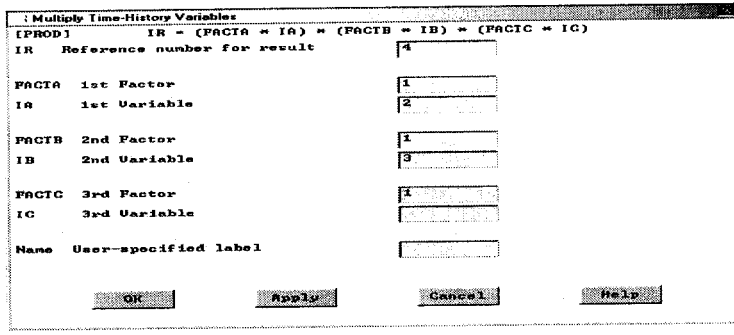



**شکل (۸-۳) : محاسبهٔ مزدوج مختلط متغیر تعریف شده ( متغیر ۲) و ذخیرهٔ آن در متغیر شمارهٔ ۳**

۱۱) کلید OK را فشار دهید .

12) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Math Operation > Multiply …

۱۳) مطابق شکل(۹-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Multiply of Time – History Variables در مقابل



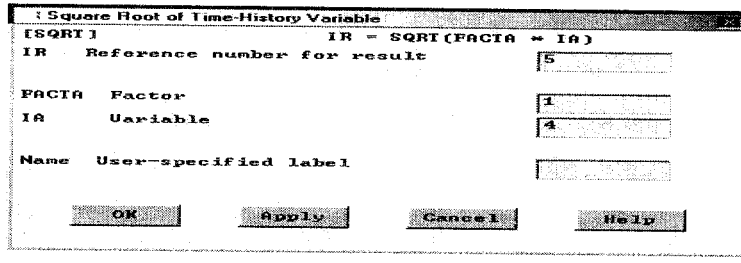

**شکل (۹-۳) : محاسبهٔ حاصل ضرب دو متغیر مختلط مزدوج شمارهٔ ۲و۳ و ذخیرهٔ نتایج آن به عنوان متغیر شمارهٔ ۴**

کادر IR Reference number for result عدد ۴ را وارد کرده و در مقابل کادر IA 1st variable عدد ۲ و در مقابل کادر IB 2nd variable عدد ۳ را وارد کنید .

۱۴) کلید OK را فشار دهید .

15) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Math Operations > Square Root ...

۱۶) مطابق شکل(۱۰-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Square Root of Time – History Variables در مقابل کادر IR Reference number for result عدد ۵ را وارد کرده و در مقابل کادر IA variable عدد ۴ را وارد کنید .

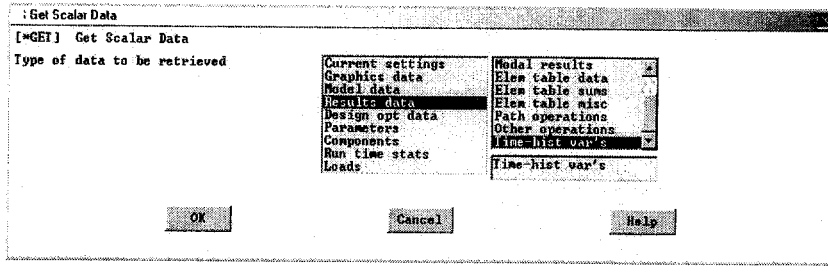



**شکل (۱۰-۳) : محاسبهٔ مجذور متغیر شمارهٔ ۴ و ذخیرهٔ آن به عنوان متغیر شمارهٔ ۵**

۱۷) کلید OK را فشار دهید .

18) Ansys Main Menu > Parameters > Get Scalar Data ...

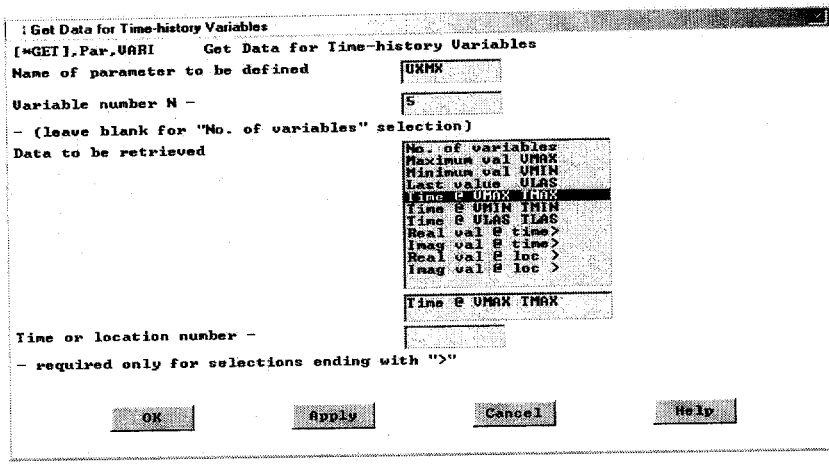
۱۹) مطابق شکل (۱۱-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Get Scalar Data در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Results data و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Time – hist var's را انتخاب کنید .




**شکل (۱۱-۳) : تعیین دریافت متغیر از نتایج Time – History**

۲۰) کلید OK را فشار دهید .

۲۱) مطابق شکل (۱۲-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Get Data for Time – History Variables در مقابل کادر Name of parameter to be defined نام UXMX را وارد کنید و در مقابل کادر Variable number N - عدد ۵ را تایپ کنید سپس در مقابل کادر Data to be retrieved از پنجرهٔ آن گزینهٔ Time @ VMAX TMAX را انتخاب کنید .




**شکل (۱۲-۳) : تعیین نام پارامتر و گرفتن مقدار آن از متغیر شمارهٔ ۵ در Time - History**

۲۲) کلید OK را فشار دهید .

23) Ansys Utility Menu > List > Other > Named Parameter …

۲۴) در جعبهٔ محاورهٔ Named Parameter Status در مقابل کـادر Par Name of parameter پارامتر UXMX را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

در پنجرهٔ سفیدرنگ STAT* مقدار این فرکانس برابر (Hz) ۳۵/۲۴ نمایان خواهد شد .

# فصل ششم

# آنالیزهای ویژه

ANSYS

# تمرین اول : تحلیل دینامیکی سیال[1]

**مقدمه :**

این محصول از نرم افزار ANSYS جهت انجام آنالیز میدان جریان سیال در حالت دو بعدی و سه بعدی به کار می - رود . المانهای موجود در این آنالیز FLUID141 در حالت دو بعدی و FLUID142 در حالت سه بعدی است .

**انواع آنالیز FLOTRAN در Ansys :**

**۱- جریان آرام[2] و مغتشش[3] :**

این حالت بستگی به عدد رینولدز دارد که در اعداد رینولدز بالا جریان حالت آشفته و در اعداد رینولدز پایین جریان حالت منظم دارد .

**۲- تحلیل سیال در حالت حرارتی و یا در حالت مستقل از دما ( آدیاباتیک ) :**

در این حالت کاربر باید معین کند که آیا معادلات حرارتی در تحلیل دخالت می کنند یا خیر .

**۳- سیال تراکم پذیر[4] و یا تراکم ناپذیر[5] :**

در این حالت کاربر باید معین کند که آیا گرادیان فشار در تغییرات چگالی سیال تاثیر گذار است یا خیر .

**۴- سیال نیوتنی ویا غیر نیوتنی :**

در این حالت کاربر باید معین کند که آیا تنش با نرخ کرنش در سیال رابطهٔ خطی دارد یا خیر که در صورت خطی بودن رابطهٔ تنش با نرخ کرنش سیال نیوتنی میباشد .

**۵- تحلیل چند سیال به طور همزمان[6] :**

برای تحلیل چند سیال به طور همزمان به کار می رود که با ارائهٔ نسبت جرمی آنها می توان آنها را در نقاط مختلف مدل تعریف کرد .

قابل ذکر است که حل مسائل سیالاتی می تواند به صورت ترکیبی از تمامی حالات ذکر شده باشد . برای انتخاب هر یک از خصوصیات فوق می توانید از مسیر کلی زیر در نرم افزار استفاده کنید :

Ansys Main Menu > Solution > Flotran Set Up > Solution Options ...

همچنین کاربر جهت تحلیل مسالهٔ خود باید یکی از حل گرهای نرم افزار را انتخاب کندکه مهمترین این حل گرها به شرح زیر است :

---

*1- Computational Fluid Dynamics (CFD)*
*2- Laminar*
*3- Turbulent*
*4- Compressible*
*5- Incompressible*
6- Multiple Species Transport

۱- **حل گر TDMA** : در این حل گر احتمال واگرایی کمتر بوده و دقت محاسباتی نیز کمتر است .

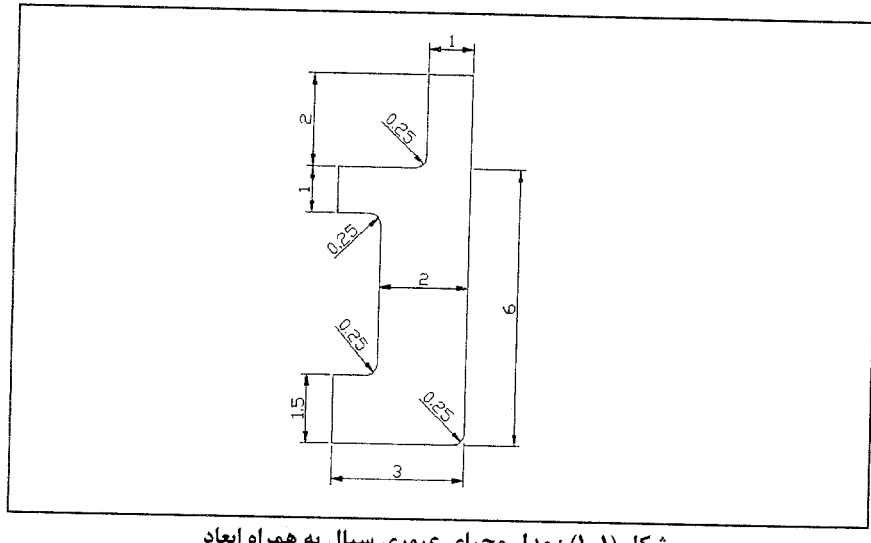
۲- **حل گر Exact** : در این حل گر احتمال واگرایی بیشتر بوده و دقت محاسباتی نیز بیشتر است .

انتخاب حل گرهای فوق از طریق مسیر کلی زیر میسر است :

Ansys Main Menu > Solution > CFD Solver Contr > ...

برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می توانید به کتاب مکانیک سیالات نوشتهٔ بایندر [۱۸] و مکانیک سیالات نوشتهٔ وایت [۱۹] مراجعه کنید .

**مثال** : در این مثال تحلیل جریان سیالی در یک مجرا مطابق با شکل (۱-۱) انجام می شود در تحلیل اول با پایین بودن چگالی سیال ، عدد رینولدز نیز کم می باشد و در نتیجه مساله در حالت جریان منظم تحلیل می شود و سپس در تحلیل دوم با بالا بردن چگالی سیال عدد رینولدز نیز افزایش یافته ومساله در حالت جریان مغتشش تحلیل می ـ شود . سرعت سیال ورودی به مخزن در هر دو تحلیل ثابت بوده و برابر ( m / s ) ۲ است همچنین لزجت سیال در هر دو حالت برابر ( Pa . s ) ۰/۰۰۱ میباشد .




**شکل (۱-۱) : مدل مجرای عبوری سیال به همراه ابعاد**

اهداف تمرین عبارتند از :

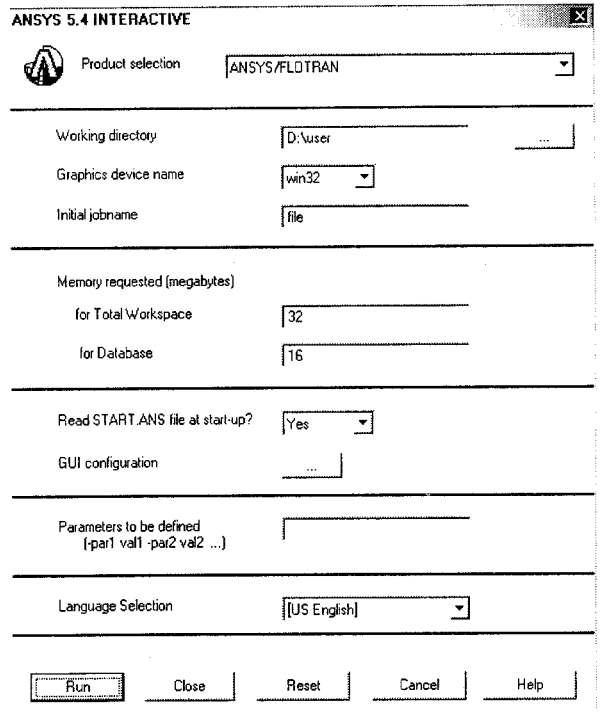
۱- آشنایی با روش انجام آنالیز جریان سیال

۲- آشنایی با بارگذاری در سیالات

**حل :**

**مرحلهٔ اول – تعیین محصول Flotran از منوی INTERACTIVE :**

۱) قبل از اجرای نرم افزار نوع محصول آن را به FLOTRAN تغییر دهید به این صورت که به جای اجرای مستقیم نرم افزارآنرا با فشار دادن منوی INTERACTIVE فعال کنید تا مطابق شکل (۲-۱)جعبهٔ محاورهٔ ANSYS 5.4 INTERACTIVE ظاهر شود و سپس در مقابل کادر Product selection از منوی گشودنی آن با پایین کشیدن لغزندهٔ آن محصول ANSYS FLOTRAN را انتخاب کنید .




**شکل (۲-۱) : انتخاب محصول FLOTRAN از منوی INTERACTIVE**

۲) کلید Run را فشار دهید تا نرم افزار اجرا شود .

**مرحلهٔ دوم – انتخاب المان دو بعدی FLUID141 :**

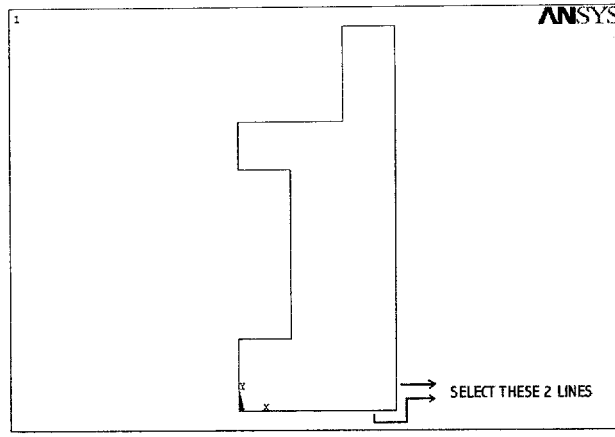
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) درجعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ نوع FLOTRAN CFD را انتخاب کرده ودر پنجرهٔ مقابل آن المان 2D FLOTRAN 141 را انتخاب کنید .
۴) کلید OK را فشار دهید .
۵) کلید Close را درجعبهٔ محاورهٔ Element Types فشار دهید .

**مرحلهٔ سوم – مدلسازی هندسی و شبکه بندی :**

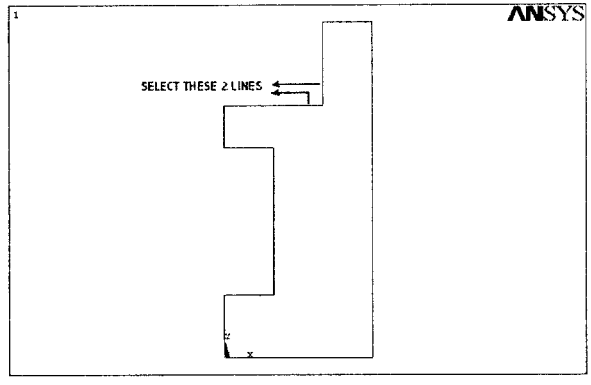
برای مدلسازی مساله ابتدا تعداد چهار عدد مستطیل بسازید :
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Rectangle > By Dimensions …
۲) در پنجرهٔ تولید مستطیل بـه ترتیـب درمقـابل کـادر X2 , X1 اعـداد ۳ , ۰ را وارد کنیـد ودرمقابل کادر Y2 , Y1 به ترتیب اعداد ۱/۵ , ۰ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهیـد تـا مستطیل اول ساخته شود .
۳) برای تولید مستطیل دوم در پنجرهٔ تولید مستطیل اینبار در مقابل کادر X2 , X1 به ترتیـب اعداد ۳ , ۱ را وارد کنید ودرمقابل کادر Y2 , Y1 به ترتیب اعداد ۶ , ۱/۵ را وارد کنیـد وکلیـد Apply را فشار دهید .
۴) برای تولید مستطیل سوم در پنجرهٔ تولید مستطیل اینبار در مقابل کادر X2 , X1 به ترتیب اعداد ۱ , ۰ را وارد کنید ودرمقابل کادر Y2 , Y1 به ترتیب اعـداد ۶ , ۵ را وارد کنیـد وکلیـد Apply را فشار دهید .
۴) برای تولید مستطیل چهارم در پنجرهٔ تولید مستطیل اینبـار در مقـابل کـادر X2 , X1 بـه ترتیب اعداد ۳ , ۲ را وارد کنید ودرمقابل کادر Y2 , Y1 به ترتیـب اعـداد ۸ , ۶ را وارد کنیـد وکلید OK را فشار دهید .
اکنون باید کلیهٔ سطوح را یکپارچه کنید :
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Add > Areas +
۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطوح یکپارچه شوند .
اکنون باید فقط سطح را پاک کنید تا به کمک خطوط مرزی ، خطوط Fillet را تولید کنید :
3) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Delete > Areas Only +
۴) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .
5) Ansys Utility Menu > Plot > Lines
6) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > -Lines – Line Fillet +
۷) مطابق شکل (۳-۱) در پنجرهٔ گرافیکی دو خط عمود بر هـم پـایینی سـمت راسـت مـدل را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۳-۱) : انتخاب دو خط پایینی عمود بر هم سمت راست مدل جهت تولید Fillet**

۸) درجعبهٔ محاورهٔ Line Fillet در مقابل کادر RAD Fillet radius عدد ۰/۲۵ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

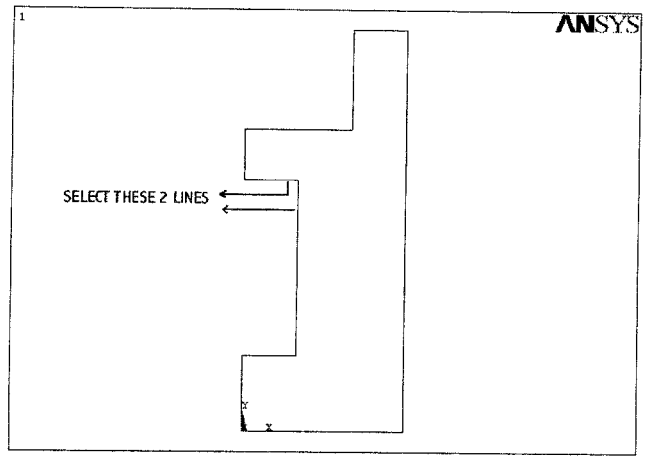
۹) مطابق شکل (۴-۱) در پنجرهٔ گرافیکی دو خط عمود برهم میانی و بالایی مدل را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۴-۱) : انتخاب دو خط عمود بر هم میانی مدل جهت تولید Fillet**

۱۰) درجعبهٔ محاورهٔ Line Fillet بدون اعمال تغییرات کلید Apply را فشار دهید تا خط Fillet دوم تولید شود .

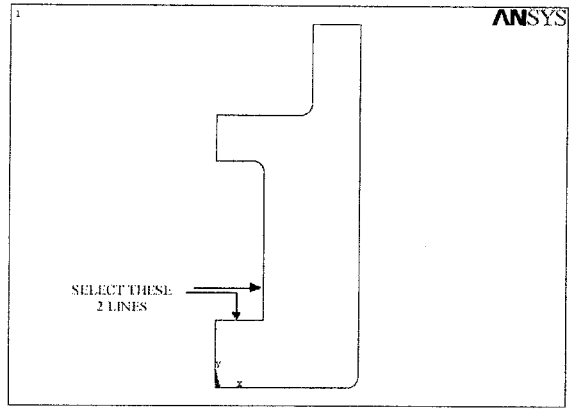
۱۱) مطابق شکل (۵-۱) در پنجرهٔ گرافیکی دو خط عمود برهم میانی و پایینی مدل را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۵-۱) : انتخاب دو خط عمود بر هم میانی پایینی مدل جهت تولید Fillet**

۱۲) درجعبهٔ محاورهٔ Line Fillet بدون اعمال تغییرات کلید Apply را فشار دهید تا خط Fillet سوم تولید شود .

۱۳) در نهایت مطابق شکل (۶-۱) در پنجرهٔ گرافیکی دو خط عمود بر هم پایینی سمت چپ مدل را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۶-۱) : انتخاب دو خط پایینی سمت چپ مدل در پنجرهٔ گرافیکی**

۱۴) درجعبهٔ محاورهٔ Line Fillet بدون اعمال تغییرات کلید OK را فشار دهید تا خط Fillet آخر تولید شود .

اکنون باید به کمک خطوط مرزی موجود سطح نهایی را بسازید :

1) Ansys Main Manu > Preprocessor >- Modeling – Create >- Areas – Arbitrary > By Lines +

۲) در پنجرهٔ انتخاب معیار انتخاب را از Single به Loop تغییر داده و سپس در پنجرهٔ گرافیکی نزدیک یکی از خطوط با ماوس یکبار فشار دهید تا همهٔ خطوط انتخاب شوند و سپس کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید تا سطح نهایی تولید شود . اکنون جهت شبکه بندی مدل عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۲) درجعبه ابزار MeshTool در قسمت اول گزینهٔ Smart Size را فعال کنید و مقدار آنرا برروی درجهٔ ۴ تنظیم کنید و سپس در قسمت Mesh نوع Mesher را از نوع Free و شکل المان (Shape ) را از نوع Quad انتخاب کرده و کلید Mesh را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطح شبکه بندی شود .

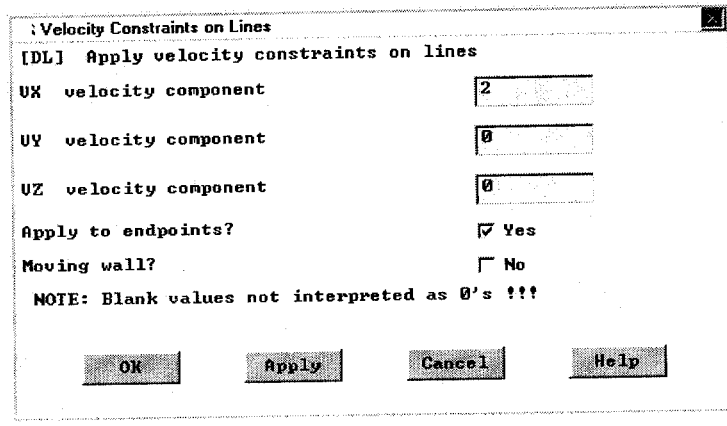
## مرحلهٔ چهارم – اعمال شرایط مرزی و بارگذاری :

با توجه به اینکه سرعت ورودی سیال برابر (m/s) ۲ است و فشار در دو مجرای خروجی برابر صفر و سرعت سیال در تمام خطوط جداره صفر است ، باید عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Fluid / CFD – Velocity > On Lines +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی خط مربوط به مجرای ورودی را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۳) مطابق شکل (۷-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Velocity Constraints on Lines در مقابل کادر VX velocity component عدد ۲ و در مقابل کادر VY velocity component عدد صفر و در مقابل کادر VZ velocity component عدد صفر را وارد کنید .




شکل ( ۷-۱) : تعیین سرعت سیال ورودی به مجرای ورودی

۴) کلید Apply را فشار دهید .

۵) دوباره در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ خطوط مدل را به غیر از دو خط مجرای خروجی و یک خط مجرای ورودی انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Velocity Constraints on Lines در مقابل کادر VX velocity component عدد صفر و در مقابل کادر VY velocity component عدد صفر و در مقابل کادر VZ velocity component عدد صفر را وارد کنید .

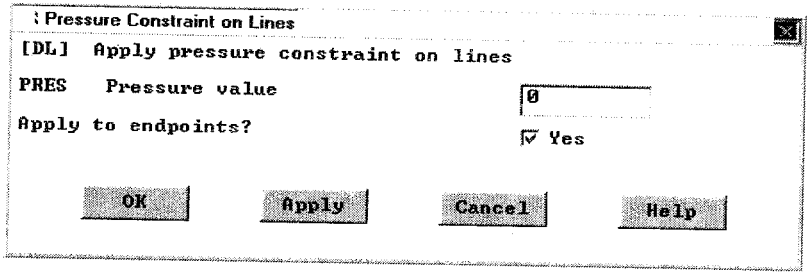
۷) کلید OK را فشار دهید تا سرعت صفر برروی خطوط دیوارهٔ مدل اعمال شود .

اکنون باید فشار در دو مجرای خروجی را برابر صفر قرار دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Fluid CFD – Pressure DOF > On Lines +

۲) در پنجرهٔگرافیکی دو خط مجرای خروجی مدل انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۳) مطابق شکل (۸-۱) درجعبهٔ محاورهٔ Pressure Constraint on Lines در مقابل کادر PRES Pressure value عدد صفر را وارد کرده وسپس دقت کنید که گزینهٔ ? Apply to endpoints فعال (Yes ) باشد .




**شکل (۸-۱) : اعمال فشار صفر برروی خطوط مجرای خروجی**

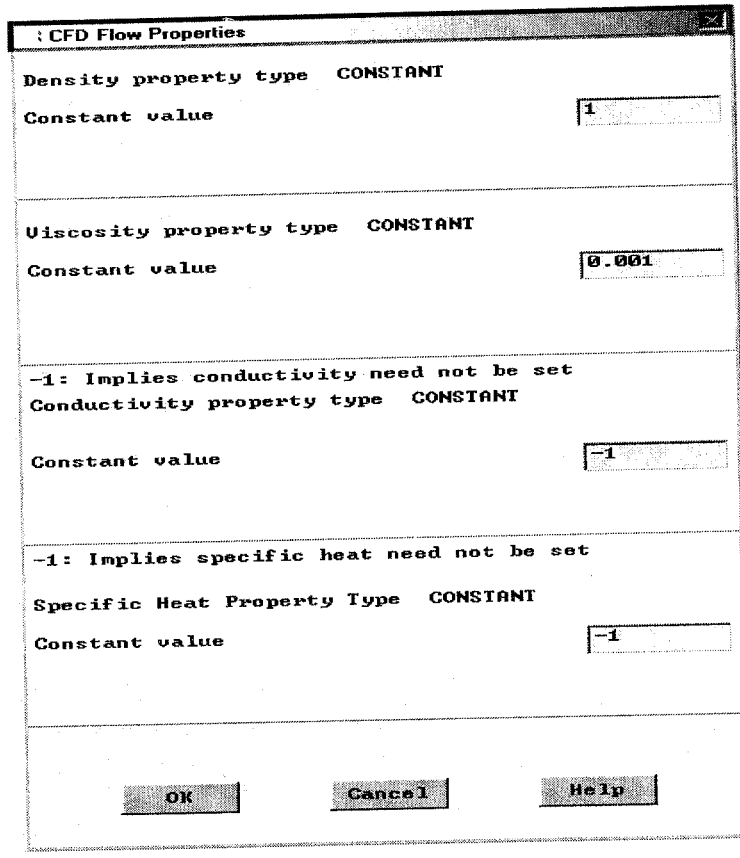
۴) کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ پنجم – تعیین خواص سیال و حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > FLOTRAN Set Up > Fluid Properties ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Fluid Properties کلید OK را فشار دهید .

۳) مطابق شکل (۹-۱) در جعبهٔ محاورهٔ CFD Flow Properties در مقابل کادر Density property type CONSTANT عدد ۱ را واردکرده و درمقابل کادر Viscosity property type CONSTANT عدد۰۰۱ /۰ را وارد کنید .




**شکل (۹-۱) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین خواص سیال**

۴) کلید OK را فشار دهید .

اکنون تعداد تکرارهای مساله را جهت حل به تعداد ۳۰ تکرار افزایش دهید .

1) Ansys Main Menu > Solution > FLOTRAN Set Up > Execution Ctrl ...

۲) مطابق شکل (۱۰-۱) در جعبهٔ محاورهٔ Steady State Control Settings در مقابل کادر EXEC Global iteration عدد ۳۰ را وارد کنید .

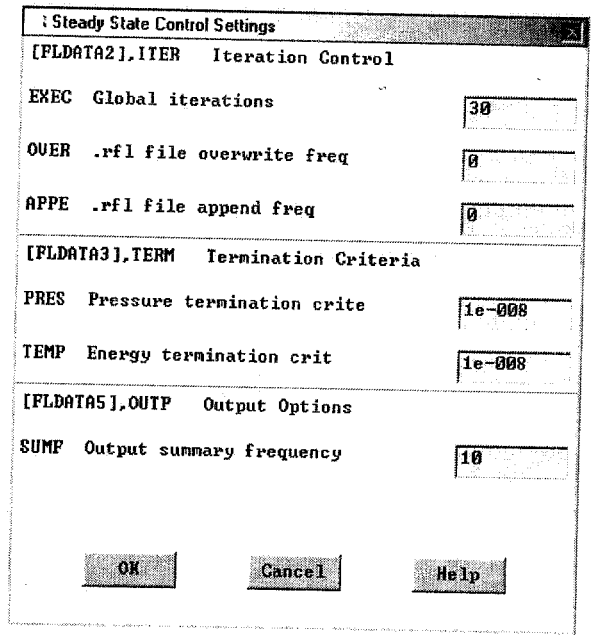
۳) کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید Jobname مساله را به نام Laminar تغییر دهید تا کلیهٔ فایلهای تولیدی با این نام ایجاد شوند .

1) Ansys Utility Menu > File > Change Jobname ...

۲) در پنجرهٔباز شده عبارت Laminar را تایپ کنید و کلید OK را فشار دهید .

۳) پنجرهٔ اخطار زردرنگ را ببندید علت این اخطار تعویض Jobname مساله است که می گوید قبل از انجام اینکار باید فایل قبلی بسته شود .




**شکل (۱۰-۱) : تعیین تعداد تکرار مساله جهت حل**

اکنون مساله جهت تحلیل آماده است :

1) Ansys Main Menu > Solution > Run FLOTRAN...

۲) پس از مدتی با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل شده است ، این پنجره را بسته و جهت مشاهدهٔ نتایج به مرحلهٔ بعدی روید .

**مرحلهٔ ششم – مشاهدهٔ نتایج :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Raed Results – Last Set

2) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu...

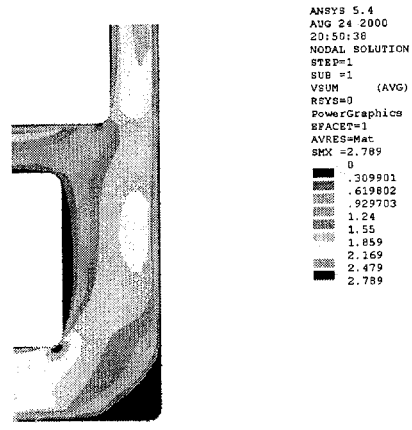
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution و در پنجرهٔ مقابل آن گزینهٔ Item , Comp Velocity – VSUM را انتخاب کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید تا مطابق شکل (۱۱-۱) سرعت سیال در پنجرهٔ گرافیکی نمایان شود .

اکنون جهت نمایش برداری سرعت سیال از طریق مسیر زیر عمل کنید :

5) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Vector Plot – Predefined ...

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Vector Plot of Predefined Vectors کلید OK را فشار دهید تـا سـرعت سیال به صورت برداری در پنجرهٔ گرافیکی نمایان شود .




**شکل (۱۱-۱) : کانتور سرعت سیال در پنجرهٔ گرافیکی**

جهت مشاهدهٔ نحوهٔ حرکت سیال در گره های دلخواه خود به صورت Trace مسیر زیر را دنبـال کنید :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > Define Trace Pt +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی گره های مورد نظر خود را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلیـد OK را فشار دهید .

3) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > Plot Flow Trac

اکنون در پنجرهٔ گرافیکی حرکت سیال در گره های انتخاب شده مشاهده می شود .

**نکته :** برای مشاهدهٔ گرداب در گوشهٔ پایین ،سمت راست مدل می توانید نقـاط انتخابیتـان از آن ناحیه باشد .

## مرحلهٔ هفتم : تحلیل جریان مغتشش :

در این مرحله بدون خروج از نرم افزار ، چگالی سیال ورودی را به ۱۰۰ افزایـش دهیـد وسـپس مساله را با عدد رینولدز بالا ( جریان مغتشش ) حل کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > FLOTRAN Set Up > Fluid Properties ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Fluid Properties کلید OK را فشار دهید .

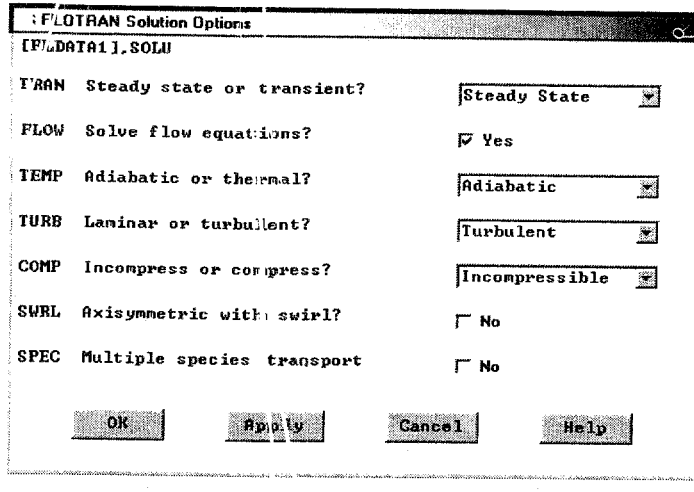
۳) در جعبـهٔ محـاورهٔ CFD Flow Properties در مقـابل کـادر Density property type CONSTANT عدد ۱۰۰۰ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید نوع تحلیل را به حالت مغتشش تبدیل کنید :

4) Ansys Main Menu > Solution > FLOTRAN Set Up > Solution Options ...

۵) مطابق شکل (۱۲-۱) در جعبهٔ محاورهٔ FLOTRAN Solution Options در مقابل کادر TURB Laminar or turbulent ? از منوی گشودنی آن گزینهٔ Turbulent را انتخاب کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۱۲-۱) : انتخاب حالت مغتشش جهت تحلیل**

**نکته :** در صورت تحلیل مساله بدون آنکه گزینهٔ فوق را تنظیم کنید ، با پیغام خطایی مبنی بر واگرا بودن مساله مواجه خواهید شد . در اینصورت کاربر متوجه مغتشش بودن فیزیک مساله خواهد شد و نتیجه می گیرد که تحلیل مساله باید در حالت Turbulent انجام شود .

اکنون باید Jobname مساله را به نام دیگری نظیرTurbulent تغییر دهید :

1) Ansys Utility Menu > File > Change Jobname ...

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Turbulent را تایپ کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید و پنجرهٔ زردرنگ اخطار را ببندید .

اکنون مساله جهت تحلیل آماده است :

1) Ansys Main Menu > Solution > Run FLOTRAN...

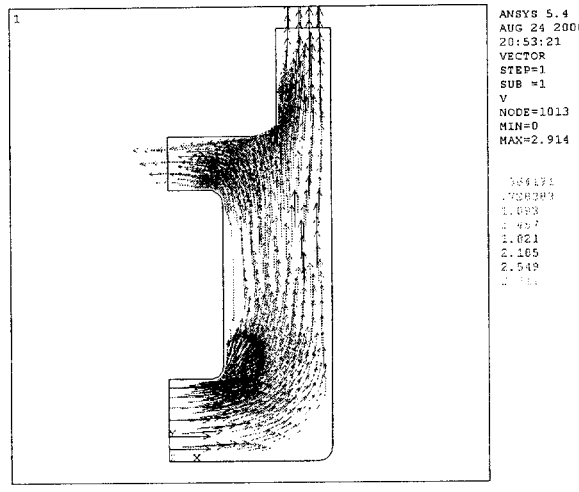
۲) پس از مدتی با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل شده است ، این پنجره را بسته و جهت مشاهدهٔ نتایج به مرحلهٔ بعدی روید .

**مرحلهٔ هشتم – مشاهدهٔ نتایج :**

در این مرحله نیز همانند حالت Laminar به مشاهدهٔ نتایج بپردازید .

کانتور برداری سرعت سیال مطابق شکل (۱۳-۱) خواهد بود .

**نکته :** کاربر باید سعی کند مساله را در حالت مغتشش ، با تغییر لزجت سیال و سرعت ورودی سیال نیز تحلیل کند تا متوجه تاثیر هریک از عوامل فوق در عدد رینولدز و در نتیجه حالت مغتشش جریان شود .




**شکل (۱۳-۱) : نمایش برداری سرعت جریان در حالت مغتشش**

# تمرین دوم : مکانیک شکست[1]

**مقدمه :**

در طراحی بسیاری از قطعات مکانیکی مبحث مکانیک شکست ، یکی از مهمترین مراحل طراحی است. در این بخش از طراحی ، مهندس طراح به بررسی رشد ترک[2] در قطعه و تخمین عمر قطعه می پردازد.

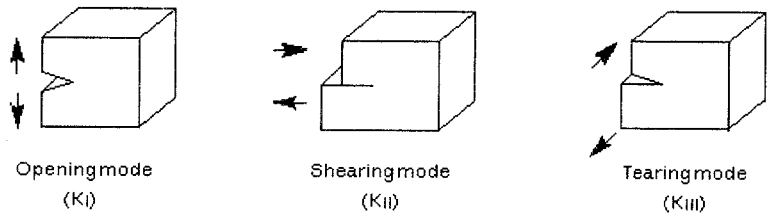
معمولاً ایجاد ترک در قطعات به دو دلیل رخ می دهد :

۱- ترک اولیه که در هنگام تولید قطعه ایجاد می شود.

۲- ترک خستگی که در اثر پدیدهٔ خستگی اتفاق می افتد.

قبل از بررسی رشد ترک در قطعه به واسطهٔ روابط مربوط به آن ، همچون معادلات پاریس و غیره ، دانستن شکل بارهای وارده نسبت به موقعیت ترک در قطعه امری ضروری است.

به طور کلی سه مود در ترک ها موجود است که دو مود اول ، داخل صفحه ای است و مود سوم آن ، خارج صفحه‌ای است. به شکل (۱-۲ ) توجه کنید در این شکل مودها نشان داده شده اند.




**شکل (۱-۲) : سه مود موجود در ترک**

مهمترین پارامتر در آنالیز ترک ضریب تمرکز تنش[3] است که بسته به آنکه در مود اول یا دوم و یا سوم باشد با KI , KIII , KII نشان داده می شوند.

معمولاً در اکثر قطعات مهندسی مود اول از اهمیت بیشتری برخوردار است. برای اطلاعات بیشتر در این مورد می توانید به کتاب مکانیک شکست نوشتهٔ بروک [۲۰] و یا تغییر شکل و مکانیک شکست در مواد مهندسی نوشتهٔ هرتزبرگ [۲۱] مراجعه کنید .

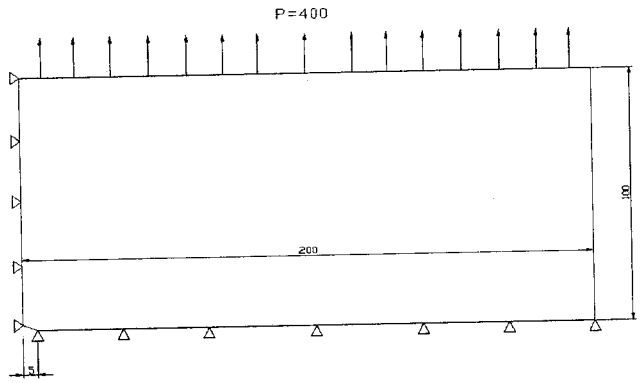
**مثال :**

در این تمرین مطابق شکل (۲-۲) تحلیل یک صفحه تحت کشش همراه با ترک دو بعدی در وسط آن انجام می شود و مقدار ضریب حساسیت مود اول ( KI ) در آن محاسبه می شود با

---

*1- Fracture Mechanics*
*2- Crack*
*3- Intensity Factor*

توجه به آنکه صفحه و ترک آن نسبت به محور X , Y متقارن است بنـابراین در تحلیـل مسـاله تنها ربع صفحه و ترک مدل می شود.




**شکل (۲-۲) : مدل هندسی متقارن ( ربع مدل کامل) به همراه ابعاد**

خواص ماده عبارت است از :

Young's modulus = 200 E 3
Poisson's ratio = 0.3

**هدف این تمرین عبارت است از :**

آشنایی با نحوه مدلسازی و تحلیل ترک

**حل :**

**مرحلهٔ اول – انتخاب المان PLANE82 :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete....

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خـانوادهٔ Structural نوع Solid را انتخاب کرده و در پنجرهٔ مقابل آن المان Quad 8node 82 را انتخاب کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید.

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید.

**مرحلهٔ دوم – تعریف خواص ماده :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic....

۲) کلید OK را در پنجرهٔ باز شده فشار دهید.

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در کـادر Young's modulus EX عـدد 200 E 3 را وارد کرده و در کادر Poisson's ratio ( minor ) NUXY عدد 0.3 را وارد کنید.

۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود.

**مرحلهٔ سوم – مدلسازی:**

1) Ansys Main Menu> Preprocessor> -Modeling -Create > - Areas - Rectangle > By Corners ...

۲) در پنجرهٔ تولید مستطیل در مقابل کادر WPX , WPY به ترتیب اعداد ۰ و ۰ را وارد کرده و سپس در مقابل کادر Width عدد ۲۰۰ را و در مقابل کادر Height عدد ۱۰۰ را وارد کنید.

۳) کلید OK را فشار دهید تا مستطیل ساخته شود.

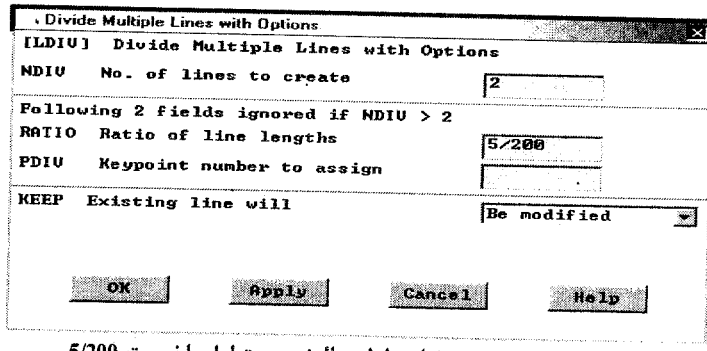
**مرحلهٔ چهارم – تقسیم بندی ضلع پائینی مستطیل:**

در این مرحله ضلع پائینی مستطیل تقسیم بندی می شود این کار جهت جدا کردن قسمت مربوط به ترک از قسمتهای دیگر است.

1) Ansys Main Menu>Preprocessor> -Modeling-Operate> -Booleans-Divide> Lines w / Options +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی ضلع طولی پائینی مستطیل را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۳) مطابق شکل (۳-۲) در جعبهٔ محاورهٔ Divide Multiple Lines with Options در مقابل کادر RATIO Ratio of line lengths نسبت عددی 5/200 را وارد کنید.




**شکل (۳-۲) : تقسیم ضلع طولی پائینی مستطیل با نسبت 5/200**

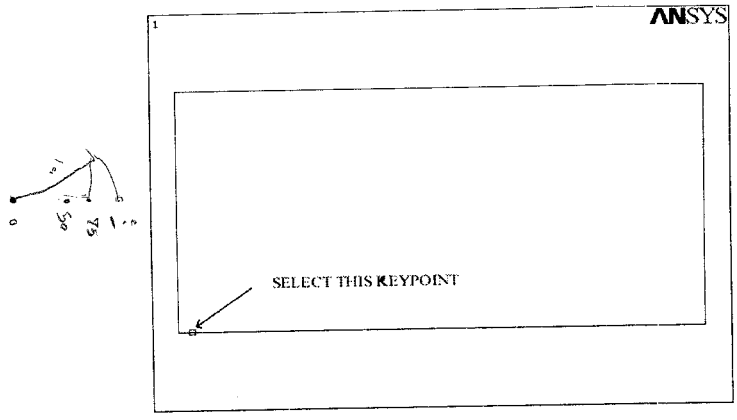
۴) کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ پنجم – تعریف اندازهٔ المان های Singular نوک ترک :**

1) Ansys Utility Menu > Plot > Keypoints > Keypoints

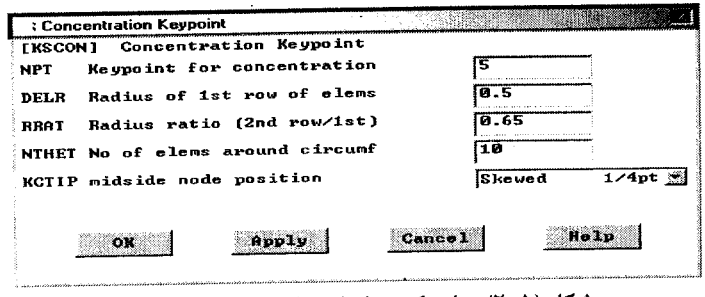
2) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Meshing – Size Cntrls > - Concentrat KPs – Create +

۳) مطابق شکل (۴-۲) در پنجره گرافیکی نقطهٔ سمت راست نوک ترک را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.




**شکل (۴-۲) : انتخاب نقطهٔ سمت راست ترک**

۴) مطابق شکل (۵-۲) در جعبهٔ محاورهٔ Concentration Keypoints در مقابل کادر DELR Radius of 1st row of elems عدد ۰/۵ و در مقابل کادر / PRAT Radius ratio ( 2nd row 1st ) عدد ۰/۶۵ و در مقابل کادر NTHET No of elems around circumf عدد ۱۰ را وارد کرده و درمقابل کادر KCTIP midside node position از منوی گشودنی آن گزینهٔ Skewed 1/4pt را انتخاب کنید.




**شکل (۵-۲) : وارد کردن اندازه های المان نوع ترک**

۵) کلید OK را فشار دهید.

۶) پنجرهٔ اخطار زرد رنگ را ببندید ( این پنجره به علت عدم استفاده از دستور VGET ظاهر می شود )

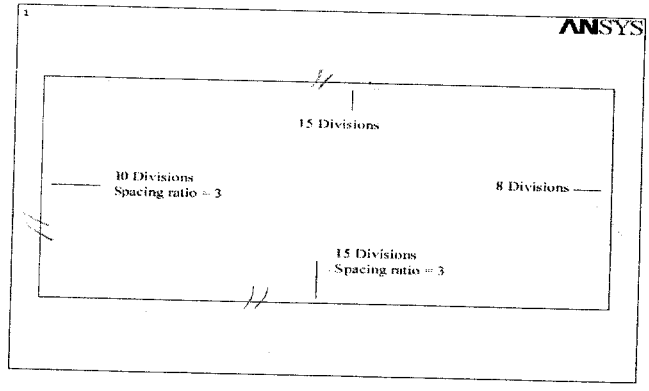
**مرحلهٔ ششم – تعیین تقسیمات هر یک از اضلاع مستطیل :**

برای تعیین تعداد تقسیمات هر یک از اضلاع مطابق شکل (۶-۲) عمل کنید.

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت دوم ( Size Controls ) در مقابل قسمت Lines کلید Set را فشار دهید.

۳) در پنجرهٔ گرافیکی خط عرضی سمت راست مدل را انتخاب کنید و کلیـد OK را در پنجـرهٔ انتخاب فشار دهید.




**شکل (۶-۲) : تعیین تقسیمات خطوط**

۴) در جعبهٔ محـاورهٔ Element Sizes on picked Lines در مقـابل کـادر – NDIV No of element divisions عدد ۸ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۵) در پنجرهٔ گرافیکی خط طولی بالائی مدل را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجره انتخـاب فشار دهید.

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines اینبار در مقابل کـادر NDIV No. of -element divisions عدد ۱۵ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید.

۷) در پنجرهٔ گرافیکی خط طولی پائینی مدل را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخـاب فشار دهید.

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقـابل کـادر – NDIV No. of element divisions عدد ۱۵ و در مقابل کادر SPACE Spacing ratio عـدد ۳ را وارد کنیـد و کلید Apply را فشار دهید.

۹) در آخر ، در پنجرهٔ گرافیکی خط عرضـی سـمت چـپ مـدل را انتخـاب کنیـد و در پنجـرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۱۰) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقـابل کـادر – NDIV No. of element divisions عدد ۱۰ را وارد کرده در مقابل کادر SPACE Spacing ratio عدد ۳ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید.

۱۱) چون خط عرضی سمت چپ مدل برعکس تقسیم بندی شده است بنابراین در جعبه ابـزار MeshTool در قسـمت دوم ( Size Controls ) در مقـابل قسـمت Lines کلیـد Flip را فشـار دهید.

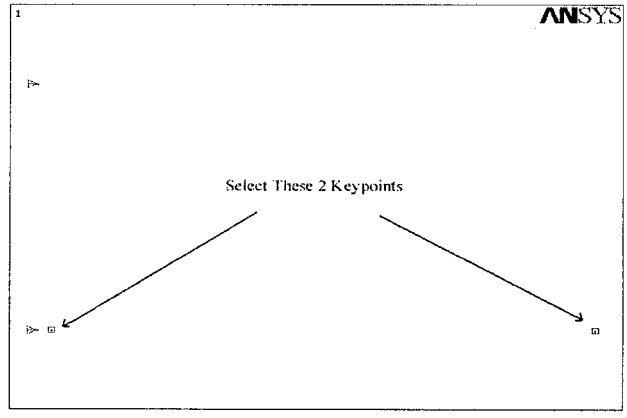
۱۲) در پنجرهٔ گرافیکی خط عرضی سمت چپ مدل را انتخاب کنید.
۱۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید. تا تقسیمات معکوس شوند.
۱۴) در جعبه ابزار MeshTool کلید Mesh را فشار دهید.
۱۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید. تا پس از مدتی سطح شبکه بندی شود.
۱۶) پنجره اخطار زرد رنگ را ببندید. علت این اخطار وجود المانهای مثلثی در مدل است .

**مرحلهٔ هفتم – بارگذاری و اعمال شرایط مرزی :**

در این مرحله با توجه به آنکه ربع مدل تحلیل می شود ، باید خط عرضی سمت چپ مدل را در جهت محور X و خط طولی پائینی مدل را ( به جز خط سمت چپ آن که مربوط به ترک است ) در جهت محور Y ثابت کنید :

1) Ansys Utility Menu > Plot > Keypoints > Keypoints
2) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Displacement > On Keypoints +

۳) در پنجرهٔ گرافیکی دو نقطهٔ ابتدایی و انتهایی خط عرضی سمت چپ مدل را انتخاب کنید و سپس کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید.
۴) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on KPs در مقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained گزینهٔ UX را انتخاب کنید و سپس در قسمت پـائین ، گزینـهٔ KEXPND Expand disp to nodes را فعال ( Yes ) کنید.
۵) کلید Apply را فشار دهید.
۶) مطابق شکل (۷-۲) دو نقطهٔ ابتدایی و انتهایی از خط طولی پائینی را ( که در سمت راسـت خط ترک قرار گرفته است) انتخاب کنید. و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب کنید.




**شکل (۷-۲) : انتخاب دو گرهٔ ابتدایی و انتهایی خط طولی پائینی مدل**

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on KPs در مقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained گزینهٔ UX را غیر فعال کرده و گزینهٔ UYرا فعال کرده و دقت کنید در پائین پنجره گزینهٔ KEXPND Expand disp to nodes فعال باشد ( Yes ).

۸) کلید OK را فشار دهید.

9) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

10) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Pressure > On Lines +

۱۱) در پنجرهٔ گرافیکی خط طولی بالایی مستطیل را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید.

۱۲) در جعبهٔ محاورهٔ Apply PRES on Lines در مقابل کادر VALI Pressur value عدد -400 را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید.

**مرحلهٔ هشتم – حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS.

۲) محتویات پنجرهٔ سفید رنگ STAT / را خوانده و سپس آنرا ببندید.

۳) جهت شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبز رنگ Solve Current Lood Step فشار دهید. و سپس در پنجرهٔ اخطار خاکستری رنگ Verify کلید Yes را فشار دهید. پس از مدتی با مشاهده پیغام پنجرهٔ زرد رنگ Solution is done حل مساله تمام شده است.

**مرحلهٔ نهم – مشاهدهٔ تنش SY :**

۱) در پنجرهٔ Ansys Toolbar کلید POWRGRPH را یکبار فشار دهید.

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Power Graphics Display Settings در مقابل کادر [ /GRAPHICS Power Graphics گزینهٔ OFF را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

3)Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot - Nodal Solu...

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Plot Nodal Solution Data در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ SY – direction Y را انتخاب کنید.

۵) کلید OK را فشار دهید. تا تنش SY نمایان شود.

**مرحلهٔ دهم – تعیین مسیر جهت محاسبهٔ ضریب حساسیت :**

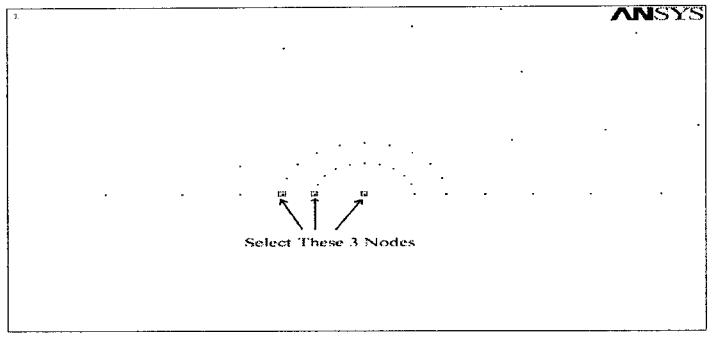
در این مرحله باید مسیری را از نوک ترک به سمت داخل ترک تعریف کرد. بنابراین مطابق شکل (۸-۲) بایست توسط ۳ نقطهٔ اول نوک ترک مسیری ایجاد کرد.

1) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

2) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate ...

۳) در جعبه ابزار Pan - Zoom - Rotate کلید BoxZoom را فشار دهید.

۴) در پنجرهٔ گرافیکی ، به کمک ساختن یک پنجرهٔ مستطیل بـزرگ نمـایی در اطـراف تـرک ، دید را در این نقاط متمرکز کنید تا به وضوح گره های نوک ترک دیده شوند.




**شکل (۸-۲) : انتخاب ۳ گره نوک ترک جهت تولید مسیر**

5) Ansys Main Menu > General Postprx > Path Operation > - Define Path - By Nodes +

۶) مطابق شکل (۸-۲) ، ۳ گرهٔ اول که از نوک ترک در سمت راست به سمت داخل ترک قـرار دارند را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید.

۷) در جعبهٔ محاورهٔ By Nodes در مقابل کادر : Define path name Name نـام KI راتـایپ کنید.

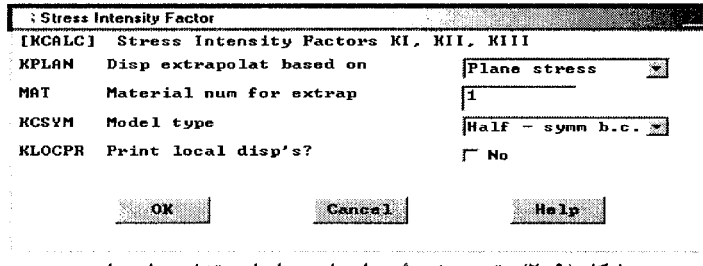
۸) کلید OK را فشار دهید.

۹) پنجرهٔ سفید رنگ PDEF که معرف خصوصیات گره های انتخابی و مسیر تولید شده است را ببندید.

**مرحلهٔ یازدهم – محاسبهٔ مقدار ضریب حساسیت مود اول :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Nodal Calcs > Stress Int Factr ...

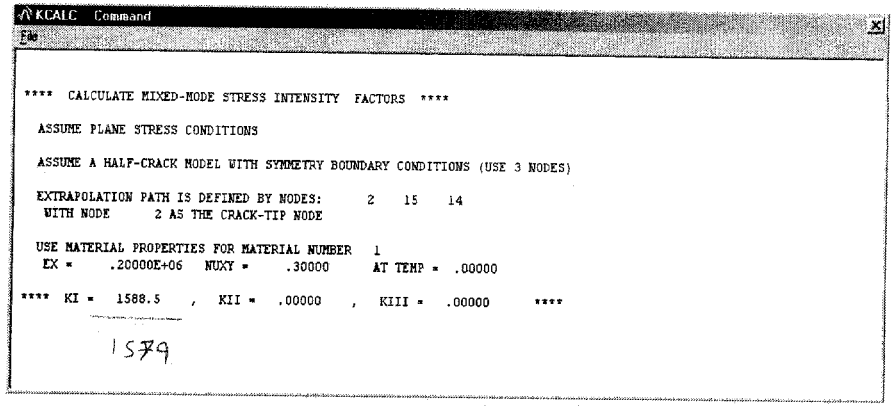
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Stress Intersity Factor مطـابق شـکل (۹-۲) در مقـابل کـادر KPLAN Disp extrapolat based on از منوی گشودنی آن گزینهٔ Plane stress را انتخاب کنید.




**شکل (۹-۲) : تعیین نحوهٔ محاسبات بر اساس تنش صفحه ای**

۳) کلید OK را فشار دهید.

۴) اکنون مطابق شکل (۱۰-۲) در پنجرهٔ سفید رنگ KCALC نتـایج نمایـان خواهنـد شـد. و مقدار KI نیز نوشته خواهد شد. که می توانید آنرا با مقدار تئـوری $KI = Y\sigma_0\sqrt{\pi a}$ مقایسـه کنید.




**شکل (۱۰-۲) : نمایش نتایج محاسبات ضریب حساسیت مود اول**

$K_I = Y_{co}\sqrt{\pi(5)}$ $\qquad$ $C_8\left(\frac{\pi \times 5}{Y_{co}}\right)^{-\frac{1}{2}}$

# تمرین سوم : بهینه سازی طراحی[1]

## مقدمه :

طراحی بهینه روشی است که در آن به محاسبهٔ بهترین طراحی ( از لحاظ ساخت ، ابعاد ، وزن ، طراحی جهت جلوگیری از تسلیم شدن سازه و ... ) پرداخته می شود . در طراحی بهینه فاکتورهای دلخواهی نظیر ابعاد ، شکل ، قرار گرفتن تکیه گاهها ، فرکانس طبیعی ، خواص مواد و ... را می توان بهینه کرد . برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می توانید به کتاب بهینه سازی طراحی نوشتهٔ رائو [۲۲] و یا هر کتاب دیگر در این مورد مراجعه کنید .

در نرم افزار Ansys دو روش مختلف برای طراحی توصیه می شود :

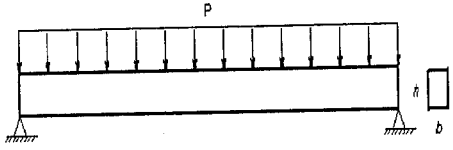
۱- روش Subproblem Approximation : روشی پیشرفته است که دراکثر طراحی های مهندسی به کار میرود.

۲- روش First Order : از این روش در طراحیهای حساس استفاده می شود که در آنها دقت بسیار مهم است .

برای انجام یک طراحی بهینه باید با مفاهیم کلی زیر آشنا باشید که این مفاهیم ، به صورت یک مثال توضیح داده می شوند :

تیری با سطح مقطع مستطیلی را که تحت بار گستردهٔ P قرار دارد مطابق شکل (۱-۳) در نظر بگیرید ، هدف کمینه کردن عامل وزن با شرایط زیر است :

$$\text{TotalStress } (\sigma) < \sigma_{max}$$
$$\text{Beam Deflection } (\delta) < \delta_{max}$$
$$\text{Beam Height } (h) < h_{max}$$




**شکل (۱-۳) : تیر تحت بار گسترده**

## متغیرهای طراحی[2] :

مقادیر وابسته أی هستند که بر حسب بهترین طراحی می توانند تغییر کنند . محدوده های ماکزیمم و مینیمم این متغیرها به عنوان قیود هر مساله معلوم است . در تیر فوق پهنای تیر (b) و ارتفاع تیر (h) متغیرهای طراحی هستند این دو متغیر منفی نمی توانند باشند ( زیرا ابعاد هندسی هستند )پس حد پایین آنها عبارت است از صفر . در هر طراحی ، کاربر مجاز به تعریف حداکثر ۶۰ متغیر طراحی است .

## متغیرهای حالت[3] :

---

*1- Design Optimization* *2- Design Variables* *3- State Variables*

متغیرهایی هستند که طراحی را مقید می کنند . به این متغیرها ، متغیرهای وابسته[1] نیز می گویند زیرا می توانند به صورت تابعی از متغیرهای طراحی باشند . متغیرهای حالت می توانند دارای هر دو محدودهٔ بالا یا پایین باشند یا اینکه فقط دارای یک محدوده باشند .

در تیر فوق دو متغیر حالت موجود است :

۱- تنش نهایی در تیر ( $\sigma$ )

۲- تغییر شکل در تیر ( $\delta$ )

کاربر می تواند تا حداکثر ۱۰۰ متغیر حالت در طراحی تعریف کند .

**تابع هدف[2] :**

متغیر وابسته ای است که در طراحی مقدار آن حداقل می شود و تابعی از متغیرهای طراحی است به صورتی که هر تغییر در متغیرهای طراحی باعث تغییر آن می شود .

در تیر فوق وزن نهایی تیر متغیر طراحی است که بایستی کمینه شود .

کاربر مجاز است که در طراحی تنها یک تابع هدف تعریف کند .

**طراحی ممکن و غیر ممکن[3] :**

در طراحی یک سازه اگر تمام قیود اعمال شده ارضا شوند ، طراحی ممکن و در غیر آنصورت طراحی غیر ممکن است . بهترین طراحی آنستکه مقدار کمینهٔ تابع هدف را بازگرداند .

**نکته :**

اگر تمام پاسخهای طراحی غیر ممکن بود ، از میان آنها جوابی بهترین است که نزدیک به طراحی ممکن باشد .

**مثال :**

یک خرپای سه عضوی مطابق شکل(۲-۳) تحت تاثیر دو نیروی عمودی و افقی به مقدار(Lb) ۲۰۰۰۰۰ قرار گرفته است . مطلوبست تعیین مقدار کمینهٔ وزن خرپا تحت شرایط زیر :

۱- سطح مقطع اعضای خرپا نباید کمتر از (in) ۱ و بیشتر از ($in^2$) ۱۰۰۰ باشد .

۲- تنش ماکزیمم محوری ایجاد شده در هر عضو نباید بیشتر از (Psi) ۴۰۰ باشد .

۳- فاصلهٔ بین محل اتصال هر دو عضو خرپا به تکیه گاه نباید کمتر از (in) ۴۰۰ و بیشتر از (in) ۱۰۰۰ باشد .

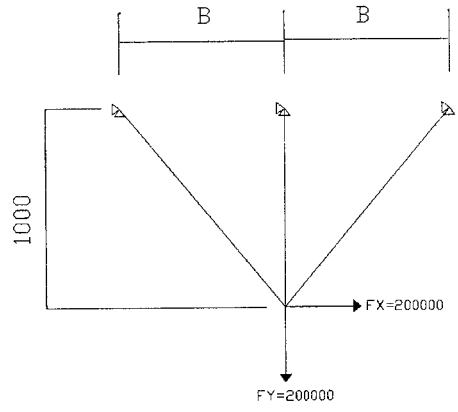
---

*1- Dependent Variables*
*2- Objective Function*
*3- Feasible or Infeasible Design*

۴- همچنین وزن سازه در طراحی اولیه (Lb) ۱۰۹/۱ محاسبه شده است .
خواص مواد عبارتند از :

Young's modulus = 2.1E6 (Psi)

همچنین در طراحی اولیه سطح مقطع هر عضو را (A1 , A2 , A3) همگی برابـر ($in^2$) ۱۰۰۰ و فاصلهٔ تکیه گاهها را از هم برابر (in) ۱۰۰۰ در طراحی اولیه در نظر بگیرید .




**شکل (۲-۳) : خرپای سه عضوی به همراه ابعاد**

اهداف این تمرین عبارتند از :

۱- آشنایی با انجام طراحی بهینه

۲- آشنایی بیشتر با تعیین پارامترها

**راهنمایی :**

تلرانس پیش فرض نرم افزار برای تابع هدف برابر ٪۱ وزن اولیه است (یعنی ۱۱ پوند ) اما برای همگرایی مساله آنرا به ٪۲ تغییر دهید .

**حل:**

**مرحلهٔ اول – تعیین موضوع مساله :**

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title …

۲) در پنجرهٔ باز شده عبارت Optimization of a Three Bar Truss را وارد کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

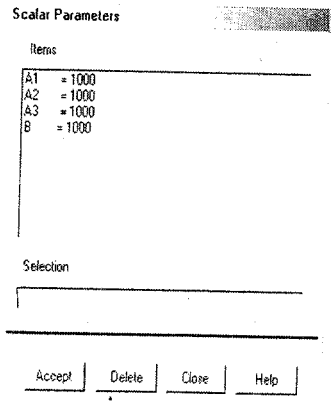
**مرحلهٔ دوم ـ تعیین مقادیر پارامتری اولیه :**

چون سطح مقطع هر عضو و همچنین فاصلهٔ میان محل تکیه گاهها متغیر است ، بنابراین بـاید مقادیر اولیهٔ آنها نیز به صورت پارامتری تعریف شوند تا در مراحل بعدی بتوان آنها را به عنـوان متغیر تعریف کرد :

1) Ansys Utility Menu > Parameters > Scalar Parameters ...

۲) در پنجرهٔ باز شده در مقابل کادر Selection ابتدا عبارت B=1000 را تایپ کرده و سپس کلید Enter را فشار دهید ودوباره در همان کادرعبارت A1=1000 را تایپ کنیدوکلید Enter را فشار دهید ودوباره درهمان کادر عبارت A2=1000 را تایپ کنید و کلید Enter را فشار دهید و در نهایت عبارت A3=1000 را در همان کادر تایپ کنید وکلید Enter را فشار دهید ، اکنون باید۴پارامتر فوق مطابق شکل(۳-۳) تعریف شده باشند

۳) کلید Close را فشار دهید .




**شکل (۳-۳): تعیین پارامترهای اولیه**

**مرحلهٔ سوم – تعیین نوع المان :**

در این مساله از المان نوع Link استفاده می شود :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجـرهٔ سـمت چـپ از المانـهای خـانوادهٔ Structural نوع Link را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان 1 spar 2-D را انتخـاب کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ چهارم – تعریف مقادیر ثابت المان :**

المان انتخاب شدهٔ فوق دارای یک نوع مقدار ثابت است ولی چون هر عضو خرپـا مـی توانـد در هنگام طراحی سطح مقطع متفاوتی نسبت به عضو دیگر داشته باشـد ، بنـابراین بـاید ۳ مقـدار ثابت برای هر عضو تعریف شود :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants کلید OK را فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for LINK1 در مقابل کادر . Real constant set No عدد ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر Cross – sectional area AREA عبارت A1 را تایپ کنید .
۵) کلید Apply را فشار دهید .
۶) اینبار در مقابل کادر . Real constant set No عدد ۲ را وارد کرده و در مقابل کادر Cross – sectional area AREA عبارت A2 را تایپ کنید و کلید Apply را فشار دهید .
۷) اینبار در مقابل کادر . Real constants set No عدد ۳ را وارد کرده و در مقابل کادر Cross AREA – sectional area عبارت A3 را تایپ کنید و کلید OK را فشار دهید .
۸) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ پنجم – تعیین خواص ماده :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...
۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید .
۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Young's modulus EX مقدار 2.1E6 را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ ششم – مدلسازی :**

در این مساله از روش مدلسازی مستقیم استفاده می شود :
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling – Create>Nodes>In Active CS ...
۲) در پنجرهٔ تولید گره در مقابل کادر Node number عدد ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر X , Y , Z به ترتیب مختصات 0 , 0 , B – را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .
۳) دوباره در پنجرهٔ تولید گره در مقابل کادر Node number عدد ۲ را وارد کرده و در مقابل کادر X , Y , Z به ترتیب مختصات 0 , 0 , 0 را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .
۴) اینبار در پنجرهٔ تولید گره در مقابل کادر Node number عدد ۳ را وارد کرده و در مقابل کادر X , Y , Z به ترتیب مختصات 0 , 0 , B را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .
۵) اینبار در پنجرهٔ تولید گره در مقابل کادر Node number عدد ۴ را وارد کرده و در مقابل کادر X , Y , Z به ترتیب مختصات 0 , 1000 - , 0 را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .
اکنون باید المانهای مدل را با توجه به آنکه هرکدام مقادیر ثابت متفاوت دارند بین گره ها قرار دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered - Thru Nodes +
۲) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب گره های شمارهٔ ۱و۴ را انتخاب کرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > Elem Attributes …

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Element Attributes در مقابل کادر . Real constant set No [REAL] از منوی گشودنی آن شمارهٔ ۲ را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered - Thru Nodes +

۶) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب گره های شمارهٔ ۲و۴ را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

7) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > Elem Attributes …

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Element Attributes در مقابل کادر . Real constant set No [REAL] از منوی گشودنی آن شمارهٔ ۳ را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

9) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered - Thru Nodes +

۱۰) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب گره های ۳و۴ را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ هفتم – اعمال شرایط مرزی و بارگذاری :**

1) Ansys Main Menu > Solution > -Loads – Apply > -Structural –Displacement > On Nodes+

۲) در پنجرهٔ گرافیکی گره های شمارهٔ ۱و۲و۳ را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل کادر Lab2 DOF to be constrained از پنجرهٔ آن گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Structural – Force/Moment > On Nodes +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی گرهٔ شمارهٔ ۴ را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes در مقابل کادر Lab Direction of force/mom از منوی گشودنی آن گزینهٔ FX را انتخاب کنید و سپس در مقابل کادر VALUE Force/ moment value مقدار ۲۰۰۰۰۰ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۷) در پنجرهٔ گرافیکی دوباره گرهٔ شمارهٔ ۴ را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Apply F/M on Nodes در مقابل کادر Lab Direction of force/mom از منوی گشودنی آن گزینهٔ FY را انتخاب کنید و در مقابل کادر VALUE Force/moment value اینبار مقدار ۲۰۰۰۰۰- را وارد کنید ( علامت منفی بیانگر خلاف جهت محور Y است ) و سپس کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ هشتم – حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS .

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT/ را خوانده و آنرا ببندید .

۳) برای شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید .

۴) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است و آنرا ببندید .

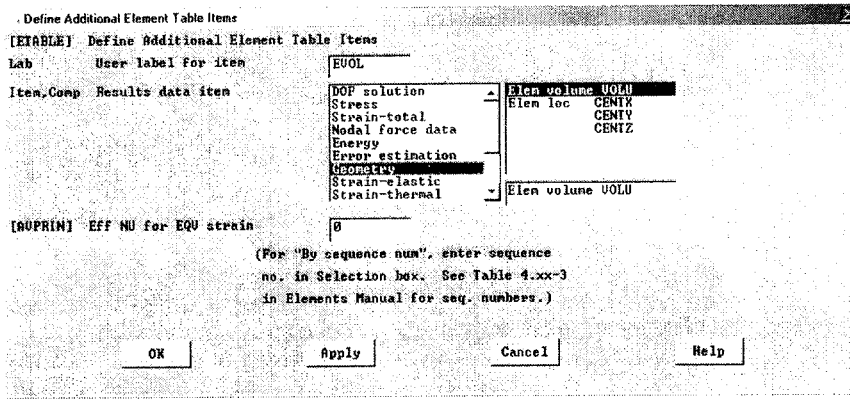
**مرحلهٔ نهم – ورود به POST1 و به دست آوردن حجم کل المانها :**

در این مرحله برای محاسبهٔ وزن سازه نیاز به حجم آن دارید :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Element Table > Define Table ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Table Data کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Define Additional Element Table Items مطابق شکل (۴-۳) در مقابل کادر Lab User label for item نام دلخواهی نظیر EVOL را وارد کرده و سپس در مقابل کادر Item , Comp Results data item در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Geometry و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ VOLU Elem Volume را انتخاب کنید .




**شکل(۴-۳) : انتخاب گزینهٔ حجم جهت محاسبهٔ حجم هر المان**

۴) کلید OK را فشار دهید تا حجم هر المان حساب شود .

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

اکنون برای محاسبهٔ حجم کل المانها (حجم کل مدل ) عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > Element Table > Sum of Each Item ...

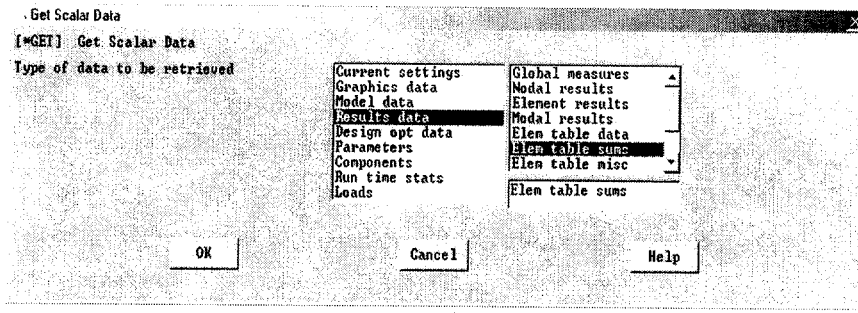
۲) در پنجرهٔ سبزرنگ Sum of Each Element Table Item کلید OK را فشار دهید تا حاصل جمع حجم المانها که برابر حجم کل مدل است ، محاسبه شود .

۳) در پنجرهٔ سفیدرنگ SSUM حجم کل مدل (حاصل جمع حجم هر المان ) برابر 0.382843E7 نمایش داده خواهد شد . پس از مشاهدهٔ این پنجره آنرا ببندید .

اکنون باید حجم مدل را به صورت یک پارامتر در مدل تعریف کنید :

1) Ansys Utility Menu > Parameters > Get Scalar Data ...

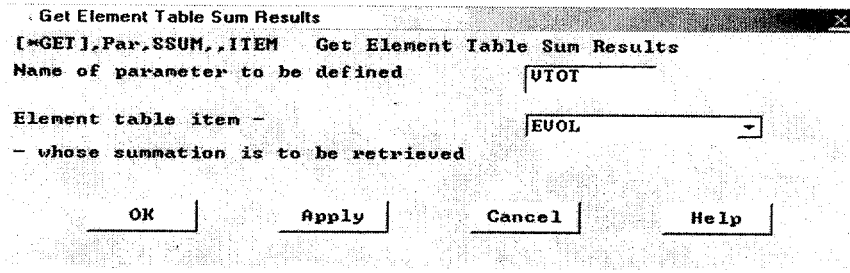
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Get Scalar Data مطابق شکل (۵ –۳) در مقابل کادر Type of Data to be Retrieved در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Results data و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Elem table sums را انتخاب کنید .




**شکل (۵-۳) : جعبهٔ محاورهٔ گرفتن نتایج از Element Table به صورت پارامتری**

۳) کلید OK را در پنجرهٔ فوق فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Get Element Table Sum Results مطابق شکل (۶-۳) در مقابل کادر Name of parameterto be defined نام دلخواهی نظیر VTOT را وارد کنید .




**شکل (۶-۳) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین نام و نوع دادهٔ خوانده شده از Element Table**

۵) کلید OK را فشار دهید با توجه به آنکه وزن کل سازه برابر حاصل ضرب حجم آن در چگالی است ، بنابراین با داشتن پارامترحجم و پارامتر چگالی می توان پارامتر وزن را تعیین نمود . برای اینکار ، عملیات زیر را انجام دهید :

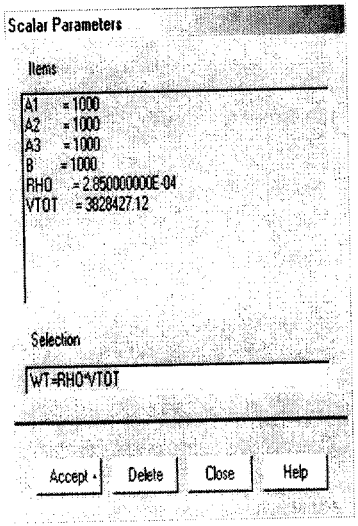
1) Ansys Utility Menu > Parameters > Scalar Parameters ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Scalar Parameters در مقابل کادر Selection برای تعریف پارامتر چگالی عبارت RHO=2.85E-4 را تایپ کنید و کلید Enter را فشار دهید .

۳) اکنون برای تعریف پارامتر وزن در کادر Selection مطابق شکل (۷-۳) عبارت WT=RHO*VTOT را تایپ کنید .

۴) کلید Enter را فشار دهید تا مقدار وزن در پنجرهٔ فوق برابر ۱۰۹۱/۱۰۱۷۳ محاسبه شود .

۵) کلید Close را فشار دهید .




**شکل (۷-۳) : محاسبهٔ پارامتر وزن**

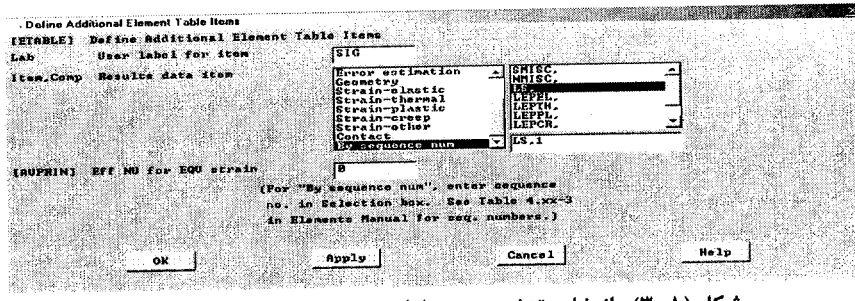
## مرحلهٔ دهم – محاسبهٔ تنشهای محوری در هر عضو خرپا :

اکنون باید تنشهای محوری تولید شده در هر عضو خرپا را محاسبه کنید . برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > General Postproc >Element Table > Define Table ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Table Data کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Define Additional Element Table Items مطابق شکل (۸-۳) در مقابل کادر Lab User label for item عبارت SIG را تایپ کنید و در مقابل کادر Item , Comp Results data item در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن عبارت By Sequenc Num و در پنجرهٔ سمت راست عبارت ,LS را انتخاب کنید و در مقابل کادر سفید رنگ زیرین آن عدد ۱ را بعد از ,LS اضافه کنید که به مفهوم تنش محوری (شمارهٔ تبعیت ۱) است .



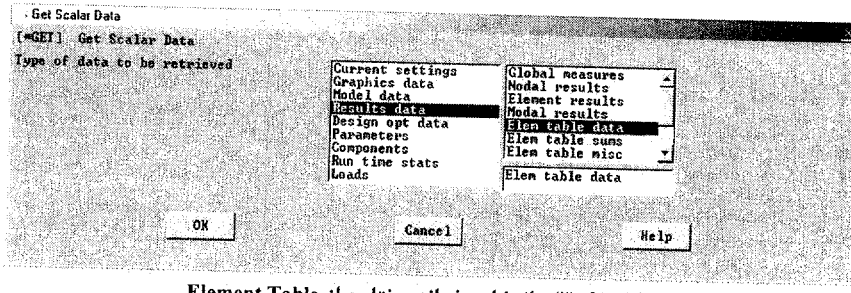

**شکل (۸-۳) : انتخاب تنش محوری اول جهت ساخت Element Table**

۴) کلید OK را فشار دهید و در پنجرهٔ قبلی کلید Close را فشار دهید .

اکنون باید تنشهای محاسبه شده به صورت پارامتر برای هر المان تعریف شود :

1) Ansys Utility Menu > Parameter > Get Scalar Data ...

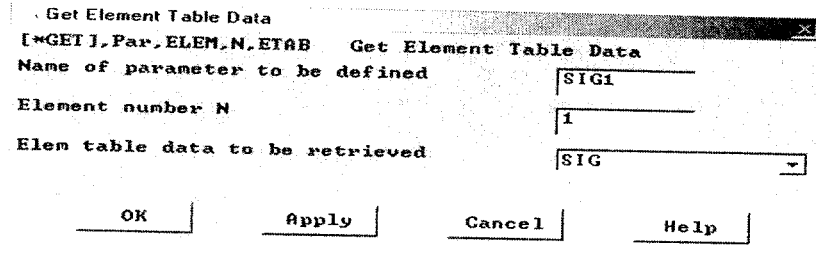
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Get Scalar Data مطابق شکل (۹-۳) در مقابل کادر Type of data to be retrieved در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Results data و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Elem table data را انتخاب کنید .




**شکل (۹-۳) : انتخاب خواندن نتایج از Element Table**

۳) کلید OK را فشار دهید .

۴) مطابق شکل (۱۰-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Get Element Table Data در مقابل کادر Name of parameter to be defined عبارت SIG1 را وارد کرده و در مقابل کادر Element number N عدد ۱ را وارد کرده وسپس در مقابل کادر Elem table data to be retrieved از منوی گشودنی آن گزینهٔ SIG را انتخاب کنید .




**شکل(۱۰-۳) : خواندن تنش محوری المان اول از Element Table**

۵) کلید Apply را فشار دهید تا تنش محوری المان اول از Element Table خوانده شود و با نام SIG1 به صورت پارامتری تعریف شود .

برای خواندن تنش محوری المان دوم مشابه عملیات فوق را انجام دهید ( به صورت زیر )

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Get Scalar Data در مقابل کادر Type of data to be retrieved دقت کنید که در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Results data و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Elem table data انتخاب شده باشند و سپس کلید OK را فشار دهید .

۷) درجعبهٔ محاورهٔ Get Element Table Data در مقابل کـادر Name of parameter to be defined نام SIG2 را تایپ کرده و در مقابل کادر Element number N عـدد ۲ را وارد کنیـد و دقت کنید که در مقابل کادر Elem table data to be retrieved گزینهٔ SIG انتخاب شده باشـد و سپس کلید Apply را فشار دهید .

اکنون برای خواندن تنش محوری المان سوم عملیات فوق را برای المان سوم انجـام دهیـد (بـه صورت زیر )

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Get Scalar Data در مقابل کادر Type of data to be retrieved دقـت کنید که در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Results data و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Elem table data انتخاب شده باشند و سپس کلید OK را فشار دهید .

۹) درجعبهٔ محاورهٔ Get Element Table Data در مقابل کـادر Name of parameter to be defined نام SIG3 را تایپ کرده و در مقابل کادر Element number N عـدد ۳ را وارد کنیـد و دقت کنید که در مقابل کادر Elem table data to be retrieved گزینهٔ SIG انتخاب شده باشـد و سپس کلید OK را فشار دهید .

**نکته :**

چون در محاسبات طراحی به قدر مطلق تنش محوری نیاز دارید ، بنابراین برای جلـوگیـری از منظور شدن مقادیر منفی در ۳ پارامتر تنش محوری که در بالا تعیین شد باید قـدر مطلـق هـر تنش را باز گرداند . برای اینکار عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > Parameter > Scalar Parameters ...

۲) در جعبهٔ محـاورهٔ Scalar Parameters در کـادر Selection عبـارت SIG1=ABS(SIG1) را وارد کـرده و کلیـد Enter را فشـار دهیـد و سـپس در همـان کـادر دوبـاره عبـارت SIG2=ABS(SIG2) را تایپ کرده و کلید Enter را فشار دهید و بالاخره دوباره در همـان کـادر عبارت SIG3=ABS(SIG3) را تایپ کنید و کلید Enter را فشار دهید .

۳) کلید Close را در پنجرهٔ فوق فشار دهید .

**مرحلهٔ یازدهم – نمایش طراحی فعلی خرپا قبل از انجام محاسبات طراحی :**

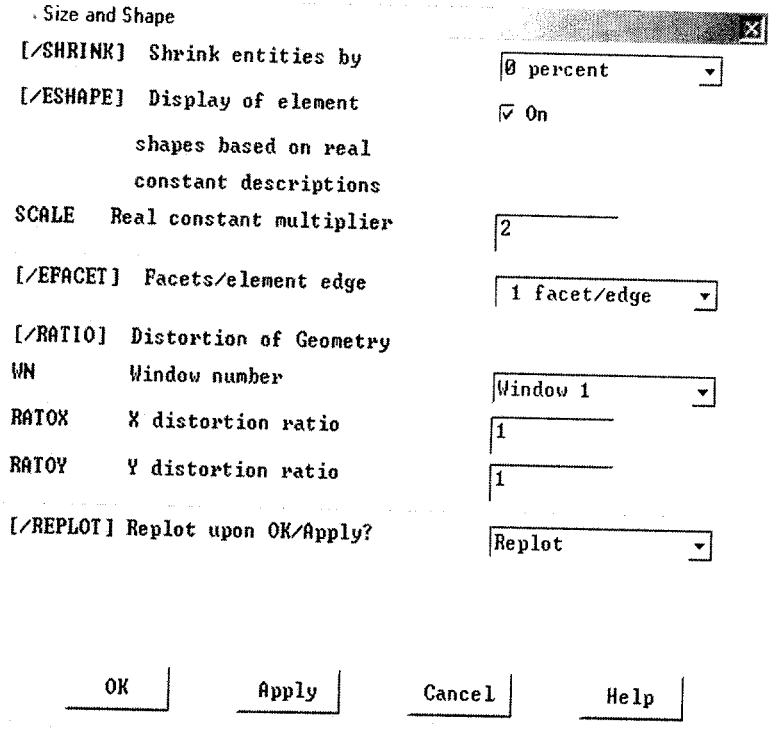
1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Style > Size and Shapes ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Size and Shape مطابق شکل (۱۱-۳) برروی کادر Display [/ESHAPE] of element shapes base on real constant description یکبار به کمک ماوس برر.ی آن فشـار دهید تا فعال (ON) شود و سپس در مقابل کادر SCALE Real constant multiplier عدد ۲ را وارد کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate ...

۵) در جعبه ابـزار Pan – Zoom – Rotate کلیـد Iso را فشـار دهیـد تـا دیـد شـما از مـدل ایزومتریک شود .




**شکل (۱۱-۳) : جعبهٔ محاورهٔ تنظیم اندازه و شکل المان برای نمایش**

۶) کلید Close را در جعبه ابزار فوق فشار دهید .

7) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

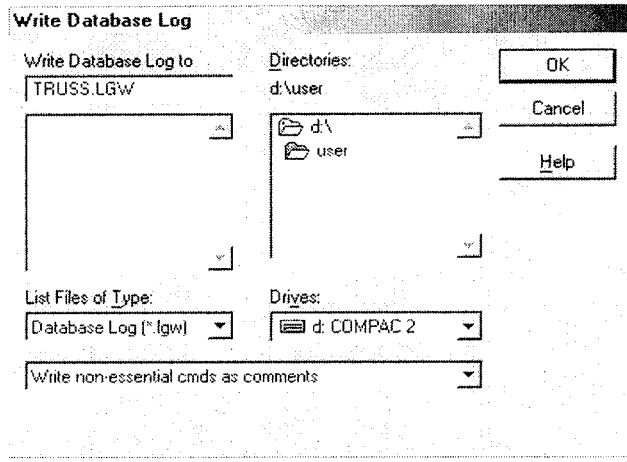
## مرحلهٔ دوازدهم – تولید فایل محاسباتی بهینه سازی :

در این مرحله باید فایل محاسباتی طراحی ( Log File ) را تولید کرد .

1) Ansys Utility Menu > File > Write DB Log File …

۲) در جعبـهٔ محـاورهٔ Write Database Log مطـابق شـکل (۱۲-۳) در مقـابل کـادر Write Database Log to نام فایل و پسوند TRUSS.LGW تایپ کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

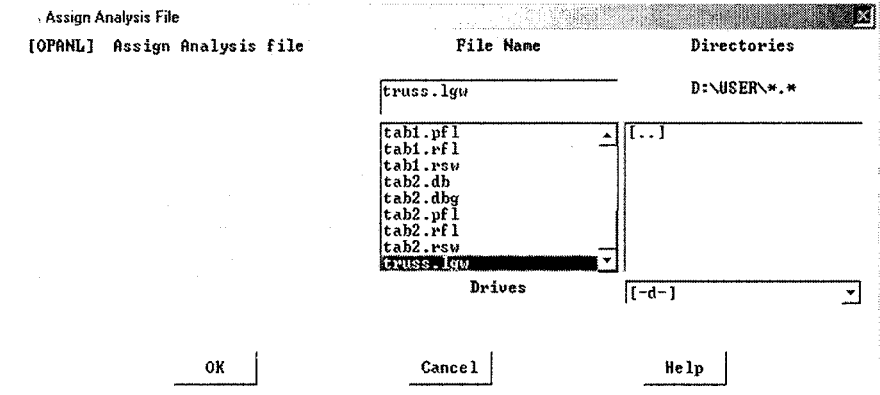



**شکل (۱۲-۳) : جعبهٔ محاورهٔ تولید فایل محاسباتی**

**مرحلهٔ سیزدهم – ورود به پردازشگر Design Opt و باز کردن فایل محاسباتی :**

1) Ansys Main Menu > Design Opt > - Analysis File – Assign …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Assign Analysis File مطابق شکل (۱۳-۳) عبارت truss.lgw را در کادر مربوطه تایپ کنید (یا اینکه از پنجرهٔ زیرین آن این فایل را انتخاب کنید )




**شکل (۱۳-۳) : باز کردن فایل محاسباتی در AUX12**

۳) کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ چهاردهم – تعریف متغیرهای طراحی :**

متغیرهای طراحی در این مثال عبارتند از :

۱- سطح مقطع هر المان

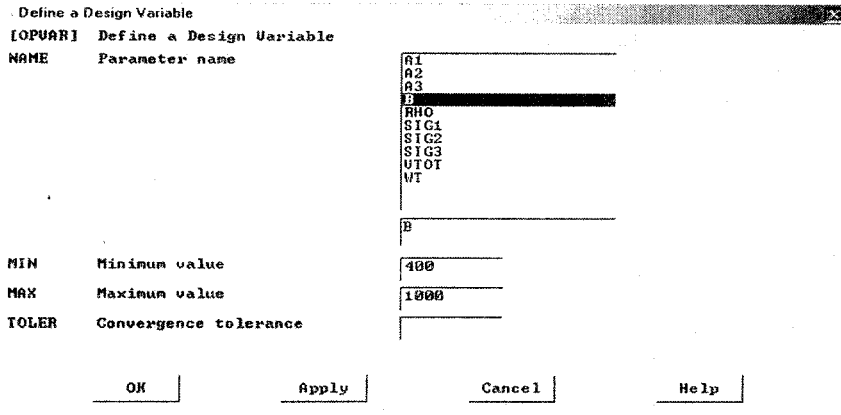
۲- فاصلهٔ بین تکیه گاههای هر دو المان مجاور

در این مرحله باید محدودهٔ تغییرات این متغیرها را تعیین کنید :

1) Ansys Main Menu > Design Opt > Design Variables ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Design Variables کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Define a Design Variable مطابق شکل(۱۴-۳) در مقابل کادر NAME Parameter name به کمک ماوس پارامتر B را در پنجرهٔ آن انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در کادر MIN Minimum value مقدار 400 و در کادر MAX Maximum value مقدار 1000 را وارد کنید .




**شکل (۱۴-۳) : انتخاب متغیر طراحی B و تعیین محدودهٔ آن**

۴) کلید Apply را فشار دهید .

۵) اینباردر جعبهٔ محاورهٔ Define a Design Variable در مقابل کادر NAME Parameter name به کمک ماوس پارامتر A1 را در پنجرهٔ آن انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در کادر MIN Minimum value مقدار 1 و در کادر MAX Maximum value مقدار 1000 را وارد کنید

۶) کلید Apply را فشار دهید .

۷) اینباردر جعبهٔ محاورهٔ Define a Design Variable در مقابل کادر NAME Parameter name به کمک ماوس پارامتر A2 را در پنجرهٔ آن انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در کادر MIN Minimum value مقدار 1 و در کادر MAX Maximum value مقدار عددی 1000 را وارد کنید .

۸) کلید Apply را فشار دهید .

۹) اینباردر جعبهٔ محاورهٔ Define a Design Variable در مقابل کادر NAME Parameter name به کمک ماوس پارامتر A3 را در پنجرهٔ آن انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در کادر MIN Minimum value مقدار 1 و در کادر MAX Maximum value مقدار عددی 1000 را وارد کنید .

۱۰) کلید OK را فشار دهید .

۱۱) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ پانزدهم – تعریف متغیرهای حالت :**

متغیرهای حالت در این مثال عبارتند از :

۱- تنش محوری المان اول (SIG1 )

۲- تنش محوری المان دوم (SIG2 )

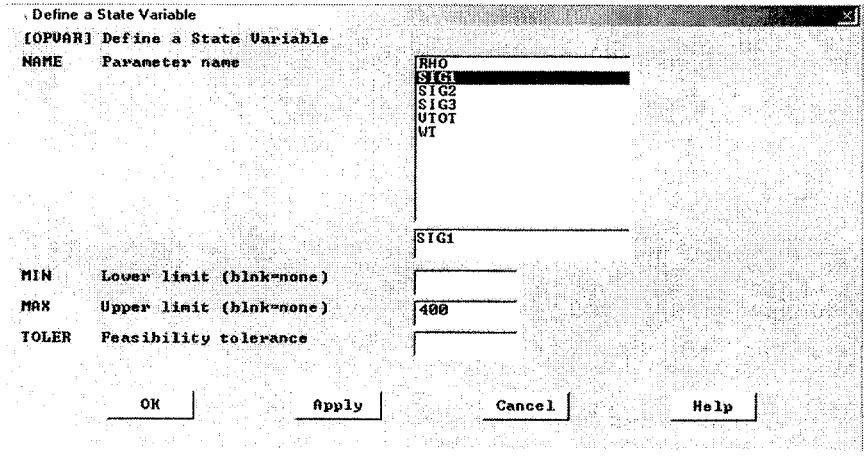
۳- تنش محوری المان سوم (SIG3 )

برای تعیین محدودهٔ این متغیرها عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Design Opt > State Variables ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ State Variables کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Define a State Variable مطابق شکل (۱۵-۳) در مقابل کادر NAME Parameter name متغیر SIG1 را انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در مقابل کادر MAX Upper limit (blnk=none) مقدار 400 را تایپ کنید .




**شکل (۱۵-۳) : انتخاب تنش محوری المان اول و تعیین محدودهٔ آن به عنوان متغیر حالت**

۴) کلید Apply را فشار دهید .

برای معرفی تنش محوری عضو دوم و تعیین محدودهٔ آن عملیات زیر را انجام دهید :

۵) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ Define a State Variable در مقابل کادر NAME Parameter name متغیر SIG2 را انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در مقابل کادر MAX Upper limit (blnk=none) مقدار 400 را تایپ کنید .

۶) کلید Apply را فشار دهید .

برای معرفی تنش محوری عضو سوم و تعیین محدودهٔ آن عملیات زیر را انجام دهید :

۷) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ Define a State Variable مطابق شکل (۱۵-۱) در مقابل کادر NAME Parameter name متغیر SIG3 را انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در مقابل کادر MAX Upper limit (blnk=none) مقدار 400 را تایپ کنید .

۸) کلید OK را فشار دهید .

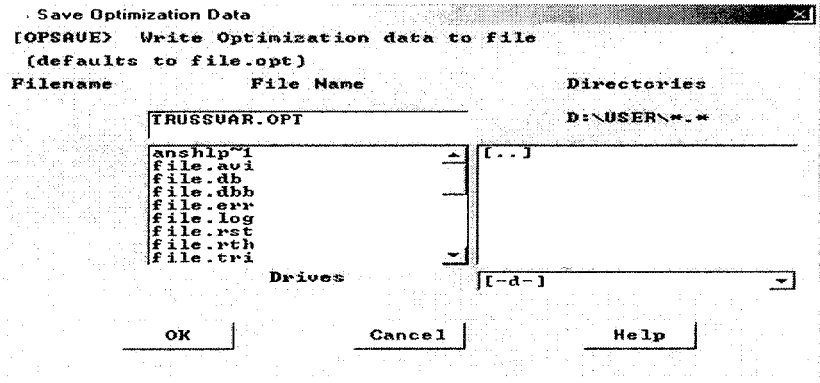
۹) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ شانزدهم – ذخیرهٔ داده های وارد شده :**

1) Ansys Main Menu > Design Opt > - Opt Database – Save …

۲) مطابق شکل (۱۶-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Save Optimization Data نام TRUSSVAR.OPT را در کادر سفیدرنگ مربوطه تایپ کنید .

۳) کلید OK را جهت ذخیره سازی فایل فشار دهید .




**شکل (۱۶-۳) : ذخیرهٔ داده های طراحی**

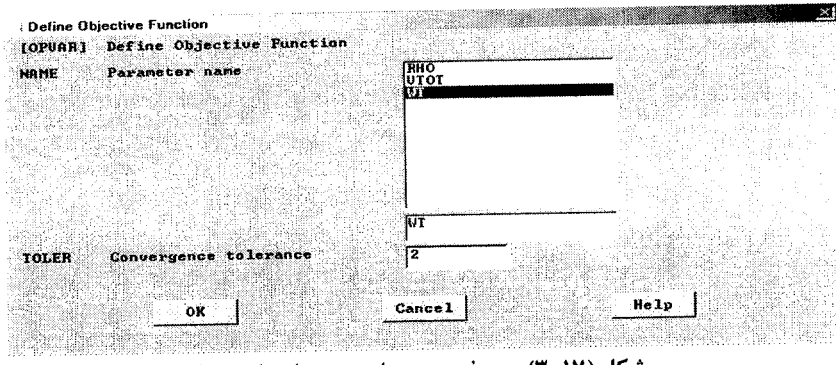
**مرحلهٔ هفدهم – معرفی وزن سازه به عنوان تابع هدف :**

در این مساله وزن سازه باید کمینه شود بنابراین این پارامتر تابع هدف می باشد .

برای تعیین وزن به عنوان تابع هدف عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Design Opt > Objective …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Define Objective Function مطابق شکل (۱۷-۳) در مقابل کادر NAME Parameter name به کمک ماوس متغیر WT را انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس برای همگرایی مساله در مقابل کادر TOLER Convergence tolerance عدد ۲ را وارد کنید .




**شکل (۱۷-۳) : معرفی وزن سازه به عنوان تابع هدف**

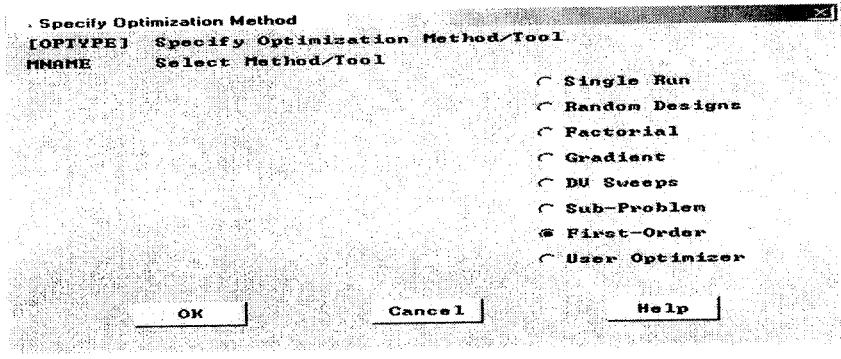
۳) کلید OK را فشار دهید .

## مرحلهٔ هجدهم – تعیین روش طراحی از نوع First Order :

1) ansys Main Menu > Design Opt > Method / Tool ...

۲) مطابق شکل (۱۸-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Specify Optimization Method در لیست MNAME Select Method / Tool برروی دکمهٔ رادیویی First – Order با ماوس فشار دهید تا انتخاب شود .

۳) کلید OK را فشار دهید .

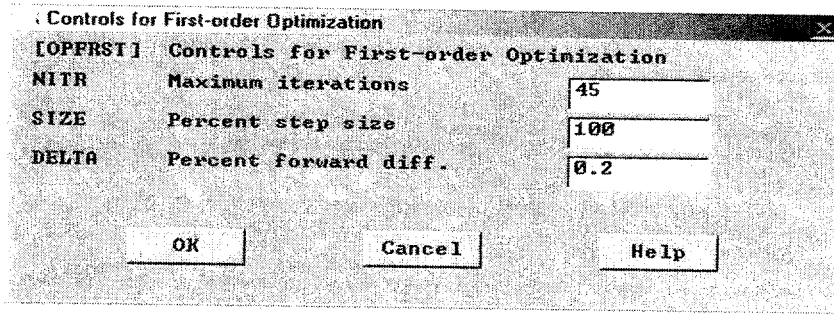



**شکل (۱۸-۳) : جعبهٔ محاورهٔ تعیین روش**

۴) مطابق شکل (۱۹-۳) در جعبهٔ محاورهٔ Controls for First – order Optimization در مقابل کادر NITR Maximum Iteration عدد ۴۵ را تایپ کنید .

۵) کلید OK را فشار دهید .

اکنون مساله آمادهٔ تحلیل است برای این منظور به مرحلهٔ بعدی بروید .




**شکل (۱۹-۳) : تعیین تعداد تکرار مساله برای حل**

## مرحلهٔ نوزدهم – اجرای محاسبات طراحی :

1) Ansys Main Menu > Design Opt > Run …

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید .

حل مساله شروع می شود و احتمالا کمی طولانی خواهد بود و پس از ۱۱ تکرار متوقف خواهد شد . پس از اتمام حل مساله به مرحلهٔ بعدی بروید .

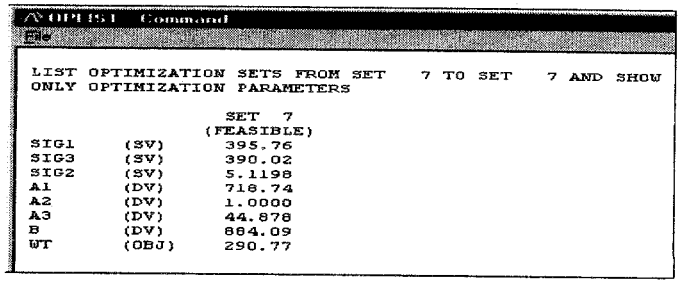
## مرحلهٔ بیستم – مشاهدهٔ نتایج :

برای مشاهدهٔ بهترین طراحی عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Design Opt > - Design Sets – List …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ List Design Sets در مقابل کادر List Option گزینهٔ BEST SET را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ سفیدرنگ OPLIST مطابق شکل (۲۰-۳) بهترین طراحی را مشاهده کنید. بهترین طراحی شمارهٔ ۷ می باشد .




**شکل (۲۰-۳) : نتایج بهترین طراحی**

برای مشاهدهٔ تمام ۱۱ طراحی عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Design Opt > - Design Sets – List …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ List Design Sets از کادر List option گزینهٔ ALL Sets را انتخاب کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید تا پنجرهٔ سفیدرنگ که حاوی کلیهٔ نتایج است ، ظاهر شود .

**مرحلهٔ بیست و یکم – نمایش نموداری وزن وفاصلهٔ تکیه گاهها نسبت به تعداد تکرار :**

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate …

۲) در جعبه ابزار Pan – Zoom – Rotate یکبار کلید Front را فشار دهید تا نمای دید دو بعدی شود .

۳) کلید Close را در جعبه ابزار فوق فشار دهید .

4) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Style > Graphs …

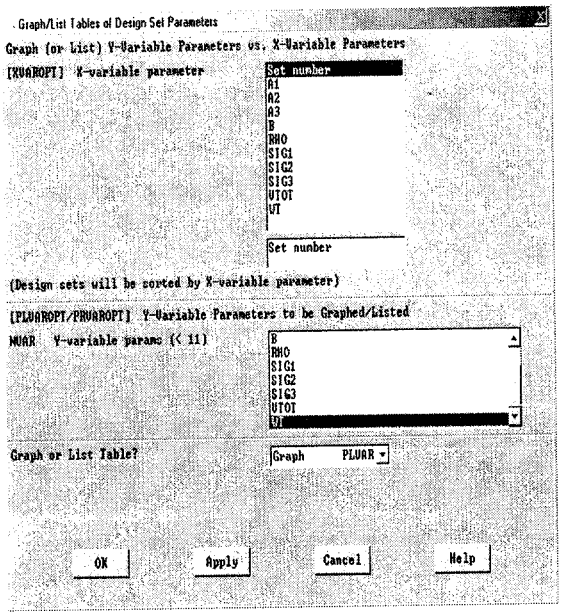
۵) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Controls در مقابل کادر X- axis label [/AXLAB] عبارت ITERATION NUMBER را وارد کرده و در مقابل کادر Y- axis label عبارت STRUCTURE WEIGHT را تایپ کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید . با اینکار در هنگام رسم نمودار محور افقی و عمودی با نامهای فوق نامگذاری میشود .

7) Ansys Main Menu > Design Opt > Graphs / Tables …

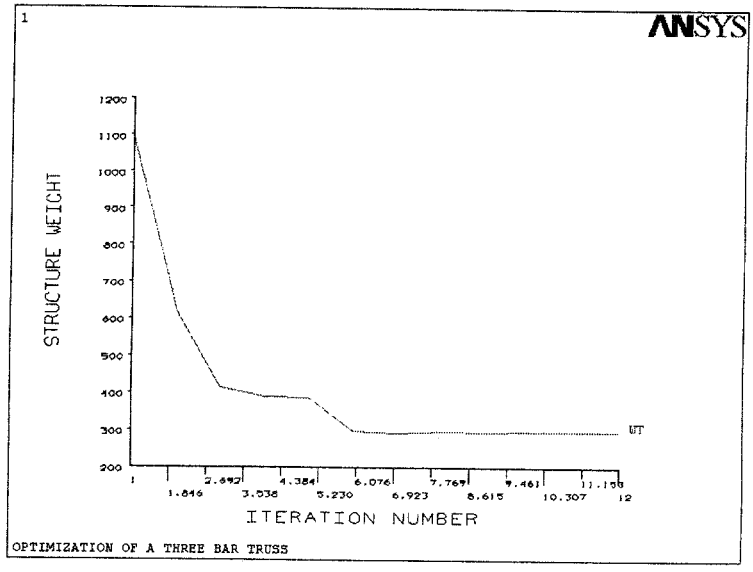
۸) مطابق شکل (۲۱-۳) در جعبهٔ محاورهٔ List / Graph Table Design Set Parameter در مقابل کادر Y-[NVAR] variable params (<11) در پنجرهٔ مربوطه عبارت WT را انتخاب کنید .

۹) کلید OK را فشار دهید تا مطابق شکل (۲۲-۳) نمودار وزن بر حسب تعداد تکرار ترسیم شود




**شکل(۲۱-۳) : انتخاب متغیر وزن جهت نمایش برروی نمودار**

**نکته** : کاربر باید سعی کند نمودارهای تنش محوری هر سه عضو را بر حسب تعداد تکرار رسم کند .




**شکل (۲۲-۳) : نمودار وزن بر حسب تعداد تکرار**

# تمرین چهارم : آنالیز مودال برای سازه های متقارن تکراری[1]

**مقدمه :**

در هنگام انجام آنالیز استاتیکی برای مدلهای متقارن محوری سیکلی همچون پروانهٔ خودرو ، کمپرسور ، توربین و ... کافیست که یک قطاع از آنرا تحلیل کرد اما این کار در انجام تحلیل مودال صحیح نیست و می بایست کل مدل تحلیل گردد . این امر مستلزم تولید یک مدل حجیم ، اشغال حافظهٔ زیاد در هنگام شبکه بندی و تحلیل و صرف زمان زیاد است و حتی گاهی اوقات انجام اینگونه تحلیل غیر ممکن است .

نرم افزار Ansys برای ساده نمودن انجام اینگونه تحلیلها ، از حل گری تحت عنوان Cyclic Symmetric Modal Analysis استفاده می کند به طوریکه با مدل کردن تنها یک قطاع از مدل متقارن سیکلی ، می توان انجام این آنالیز را ممکن نمود .

از مفاهیم مهمی که در این تحلیل استفاده می شود ، Nodal Diameter است که مربوط به مرتبه های شکل مودها می باشد . برای کسب اطلاعات بیشتر در این مورد می توانید به یکی از دو مسیر زیر در نرم افزار مراجعه کنید :

1) Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides > Ansys Structural Analysis Guide > Chap 3 : Modal Analysis

2) Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Theory Manual > Modal Analysis of Cyclic Symmetric Structures ...

**مثال :**

در این مثال که فقط برای آشنایی با این آنالیز ارائه شده است ، یک دیسک توخالی دایره أی متشکل از ۱۲ پره به صورت یک قطاع ۳۰ درجه مدلسازی شده و آنالیز مودال برروی آن انجام می شود . مطابق شکل (۱-۴) یک قطاع ۳۰ درجه أی متشکل از ۱۲ پره نمایش داده شده است .

خواص مادهٔ دیسک به صورت زیر است:

Young's modulus = 200E9
Density = 8000 , Poisson's ratio = 0.3

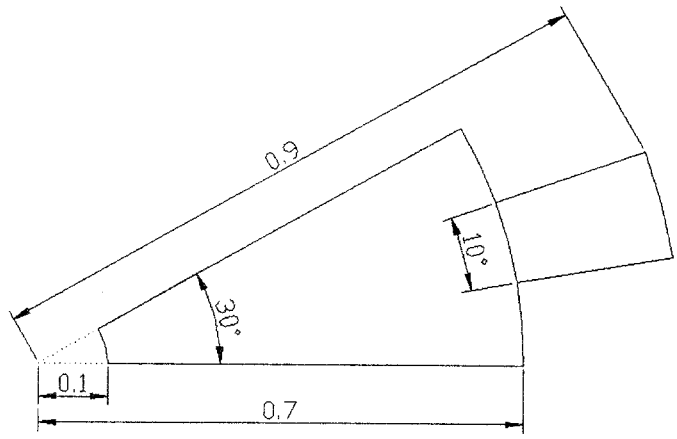
اهداف تمرین عبارتند از :

۱- آشنایی با آنالیز Modal Cyclic Symmetric

۲- آشنایی با المان Shell

---

*1- Cyclic Symmetric Modal Analysis*




**شکل (۱-۴) : قطاع ۳۰ درجه أی مدل**

**حل :**

**مرحلهٔ اول – انتخاب المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع Shell و در پنجرهٔ سمت راست المان Elastic 4node 63 را انتخاب کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ دوم – تنظیم مقادیر ثابت المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constant کلید OK را فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for SHELL63 در مقابل کادر Shell thickness at node TK(1) I عدد ۰/۰۵ را وارد کنید به این ترتیب ضخامت المان در تمامی گره ها ثابت و برابر ۰/۰۵ خواهد شد .

۵) کلید OK را فشار دهید .

۶) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**نکته :**

المان Shell دارای مقادیر ثابت دیگری نظیر تعیین موقعیت محور خنثی ، ممان اینرسی چرخشی و ... میباشد برای آشنایی بیشتر با این المان و گزینه های آن می توانید به پیوست ۱ یا راهنمای نرم افزار مراجعه کنید .

**مرحلهٔ سوم – تعریف خواص ماده :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر EX Young's modulus عدد 200E9 و در مقابل کادر DENS Density عدد8000 و در مقابل کادر PRXY Poisson's ratio (minor) NUXY عدد 0.3 را وارد کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود .

**مرحلهٔ چهارم – مدلسازی دیسک و پره :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Area – Circle > Partial Annulus +

۲) در پنجرهٔ Part Annular Circ Area برای ساخت دیسک در کادر WP X عدد صفر و در کادر WP Y عدد صفر و در مقابل کادر Rad – 1 عدد ۰/۱ و در مقابل کادر Theta – 1 عدد صفر و در مقابل کادر Rad – 2 عدد ۰/۷ و در مقابل کادر Theta – 2 عدد ۳۰ را وارد کنید .

۳) کلید Apply را فشار دهید تا دیسک ساخته شود .

۴) دوباره در پنجره Part Annular Circ Area برای ساخت پره در مقابل کادر WP X عدد صفر و در مقابل کادر WP Y عدد صفرودرمقابل کادر Rad – 1 عدد ۰/۷ و در مقابل کادر Theta – 1 عدد ۱۰ و درمقابل کادر Rad – 2 عدد ۰/۹ و در مقابل کادر Theta – 2 عدد ۲۰ را وارد کنید .

۵) کلید OK را فشار دهید تا پره نیز ساخته شود .

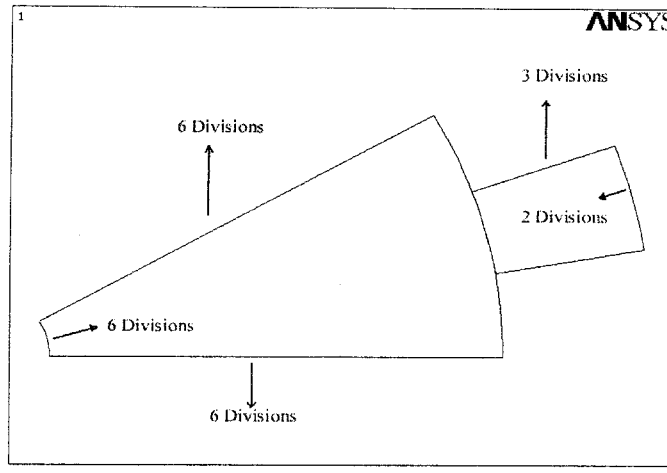
**مرحلهٔ پنجم – شبکه بندی مدل :**

مدل را مطابق شکل (۲-۴) با تعداد تقسیمات نشان داده شده شبکه بندی کنید .

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت دوم ( Size Controls ) در مقابل Lines کلید Set را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ گرافیکی ۳ خط دیسک را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۲-۴) : تعداد تقسیمات هر ضلع**

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions – عدد ۸ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۵) در پنجرهٔ گرافیکی خط شعاعی پره را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions – عدد ۳ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۷) در پنجرهٔ گرافیکی کمان سمت راست پره را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions – عدد ۲ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

۹) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت سوم ، نوع Mesher را به Mapped تبدیل کنید و کلید Mesh را فشار دهید .

۱۰) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا دو سطح شبکه بندی شوند .

۱۱) کلید Close را در جعبه ابزار MeshTool فشار دهید .

**مرحلهٔ ششم – ممزوج کردن گره ها :**

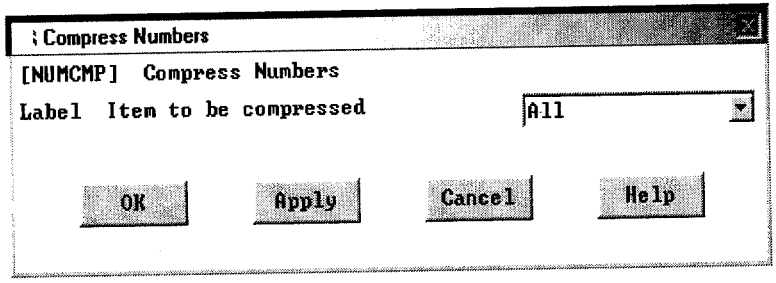
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر Label Type of item to be merge دقت کنید گزینهٔ Nodes انتخاب شده باشد و سپس کلید OK را فشار دهید .

۳) پنجرهٔ اخطاری مبنی بر یکی نشدن یک یا چند گره ظاهر خواهد شد که در آن توضیحی جهت رفع این مشکل داده شده است . این پنجره را ببندید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Compress Numbers ...

۵) مطابق شکل (۳-۴) در جعبهٔ محاورهٔ Compress Numbers در مقابل کادر Label Item to be compressed از منوی کرکره أی آن گزینهٔ All را انتخاب کنید .




**شکل (۳-۴) : جعبهٔ محاورهٔ فشرده سازی شماره ها جهت عدم نمایش**

۶) کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ هفتم – تعیین گره های مرزی :**

1) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cylindrical

اکنون باید گره های مرزی مدل که از لحاظ زاویه ای در سیستم قطبی در دو موقعیت ۰ و ۳۰ درجه قرار دارند را جداگانه انتخاب کرده و از هرکدام یک مولفهٔ انتخابی ( Component ) بسازید :

2) Ansys Utility Menu > Select > Entities ...

۳) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و سپس در زیر آن گزینهٔ Y coordinates را انتخاب کنید و در کادر Min , Max عدد صفر را تایپ کنید و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و سپس کلید OK را فشار دهید .

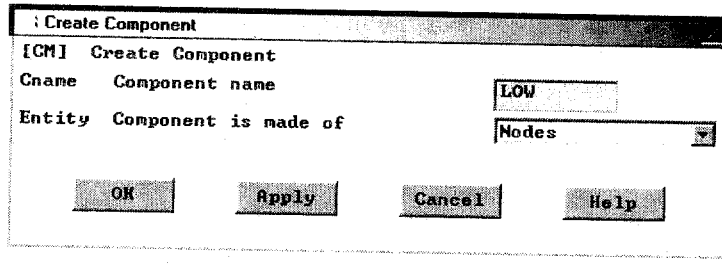
4) Ansys Utility Menu > Select > Comp / Assembly > Create Component ...

۵) مطابق شکل (۴-۴) در جعبهٔ محاورهٔ Component Create در مقابل کادر Cname Component name نام LOW را تایپ کرده و دقت کنید که در مقابل کادر Entity Component is made of گزینهٔ Nodes انتخاب شده باشد .

۶) کلید OK را فشار دهید .

7) Ansys Utility Menu > Select > Everything

8) Ansys Utility Menu > Select > Entities ...




**شکل(۴-۴) : ساخت یک جزء انتخاب از گره های پایینی مدل**

۹) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و سپس در زیر آن گزینهٔ Y coordinates را انتخاب کنید و در کادر Min , Max عدد ۳۰ را تایپ کنید و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و سپس کلید OK را فشار دهید .

10) Ansys Utility Menu > Select > Comp / Assembly > Create Component ...

۱۱) در جعبهٔ محاورهٔ Create Component در مقابل کادر Cname Component name نام High را تایپ کرده و دقت کنید که در مقابل کادر Entity Component is made of گزینهٔ Nodes انتخاب شده باشد .

۱۲) کلید OK را فشار دهید .

13) Ansys Utility Menu > Select > Everything

**مرحلهٔ هشتم – اجرای ماکروی Cyclic :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Cyclic Sector ...

۲) محتویات پنجرهٔ سبزرنگ Create Second Sector را خوانده و سپس کلید OK را در آن فشار دهید .

**مرحلهٔ نهم – تعیین نوع آنالیز :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis ...

۲) در پنجرهٔ باز شده نوع آنالیز را از نوع Modal انتخاب کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

گره های داخلی دیسک در تمام جهات ثابت می باشند :

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities ...

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را انتخاب کرده و سپس در زیر آن گزینهٔ X coordinates را انتخاب کنید و در کادر

Min , Max عدد ۰/۱را تایپ کنید و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و سپس کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes
4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads –Apply > -Structural –Displacement >On Nodes +

۵) در پنجرهٔ گرافیکی کلید Pick All را فشار دهید .

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained از پنجرهٔ آن گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید .

۷) کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

**مرحلهٔ دهم – تعیین گزینه های آنالیز :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options …

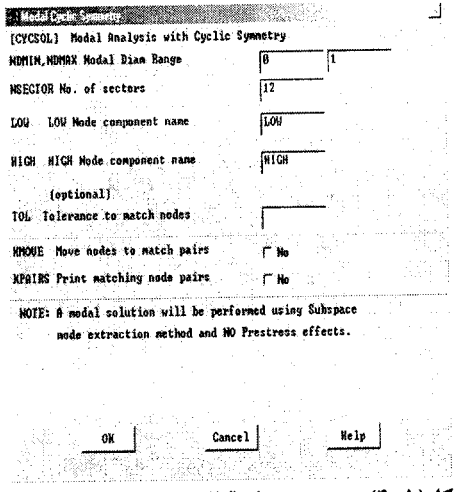
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Modal Analysis در مقابل کادر No . of modes to extract عدد ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر NMODE No . of modes to expand عدد ۱ را وارد کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Subspace Modal Analysis کلید OK را فشار دهید تا پیش فرضهای آن رعایت شود .

**مرحلهٔ یازدهم – حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > Modal Cyclic Sym …




**شکل(۵-۴) : تعیین تعداد قطاعها و Nodal Diameter**

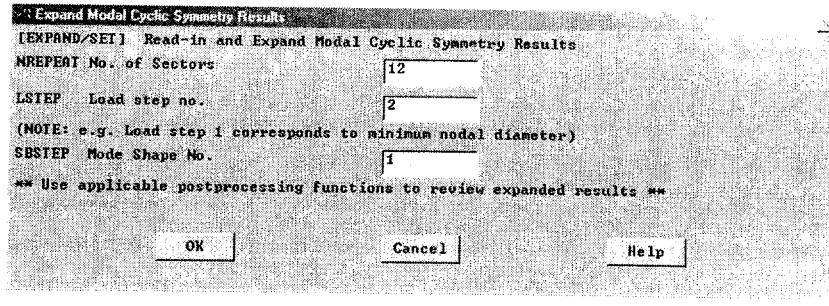
۲) مطابق شکل (۵-۴) در جعبهٔ محاورهٔ Modal Cyclic Symmetry در مقابل کادر NDMIN , NDMAX Nodal Diam Range به ترتیب اعداد 0,1 را وارد کرده و در مقابل کادر NSECTOR No. of sectors عدد ۱۲ را وارد کنید و در مقابل کادر LOW LOW Node component name نام مولفهٔ انتخابی از گره های پایینی مدل یعنی LOW را تایپ کنید و در کادر HIGH HIGH Node component name نام مولفهٔ انتخابی از گره های بالایی مدل یعنی HIGH را تایپ کنید

۳) کلید OK را فشار دهید تا حل مساله شروع شود .

در هنگام حل مساله پیغامهای اخطاری مربوط به شرایط مرزی برروی صفحه نمایان خواهد شد که علت آن تداخل شرایط مرزی با معادلات مرزی است و اهمیتی ندارد .
پس از اتمام حل مساله برای مشاهدهٔ نتایج به مرحلهٔ بعد بروید .

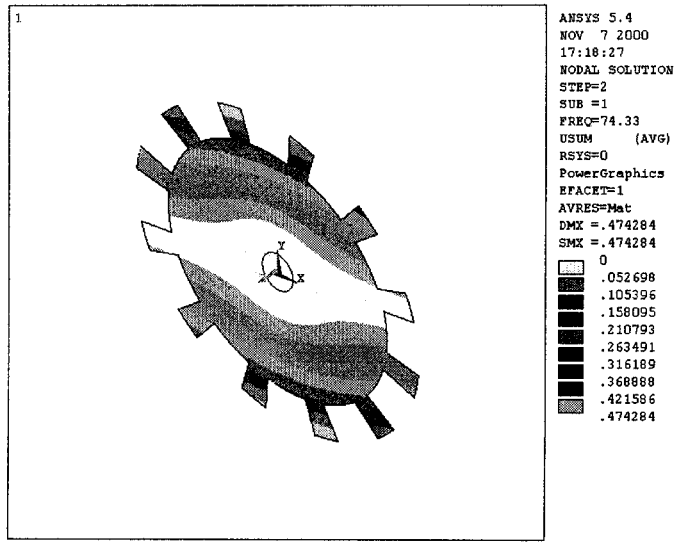
**مرحلهٔ دوازدهم – مشاهدهٔ نتایج :**

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate ...
۲) در جعبه ابزار Pan – Zoom – Rotate کلید Iso را فشار دهید تا دید شما از مدل ۳ بعدی شود .
۳) در جعبه ابزار Pan – Zoom – Rotate کلید Close را فشار دهید تا بسته شود .
4) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – Modal Cyclic Sym ...
۵) مطابق شکل (۶-۴) در جعبهٔ محاورهٔ Expand Modal Cyclic Symmetry Results در مقابل کادر NREPEAT No. of sectors عدد ۱۲ را وارد کرده و در مقابل کادر LSTEP Load step no . عدد ۲ و در مقابل کادر SBSTEP Mode shape No. عدد ۱ را وارد کنید .
۶) کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۶-۴) : جعبهٔ محاورهٔ Expand کردن پاسخها**

7) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot - Nodal Solu ...
۸) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item to be contoured از پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Item , Comp Translation - USUM را انتخاب کنید .
۹) کلید OK را فشار دهید تا مطابق شکل (۷-۴) کانتور جابجایی کلی مدل تحت مود اول نمایش داده شود .
برای مشاهدهٔ بقیهٔ نتایج عملیات زیر را انجام دهید :
1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – Next Set
2) Ansys Utility Menu > Plot > Replot




**شکل (۷-۴) : کانتور جابجایی کل مدل تحت مود اول و ND=1**

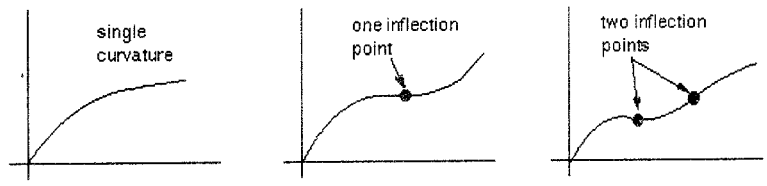
# تمرین پنجم : تحلیل ویسکو الاستیک[1]

**مقدمه :**

مواد ابرالاستیک[2] به گروهی از مواد گفته میشود که دارای خاصیت برگشت پذیری غیر خطی[3] می باشند . به عنوان مثال لاستیک ها از این نوع مواد هستند .

در نرم افزار Ansys می توان خواص غیر خطی الاستیک را توسط Mooney Rivilin و Melas در منوی TB تعریف نمود . منحنی Mooney Rivilin در اصل معرف رابطهٔ تنش – کرنش این نوع مواد می باشد ، که با توجه به نوع ماده و نیاز کاربر می بایست مقدار و تعداد ثوابت مربوط به آنرا تعیین کرد .

شکل (۱-۵) نمایانگر منحنی Mooney Rivilin در حالات مختلف است :




**شکل (۱-۵) : تعیین منحنی Mooney Rivilin در حالات مختلف**

همچنین منوی دیگری در نرم افزار برای تعیین ضرایب سختی Mooney Rivilin بر اساس نتایج آزمایشگاهی به دست آمده ( تنش – کرنش ) از مادهٔ مورد نظر ، موجود است و این در مواردی کاربرد دارد که ضرایب منحنی در دسترس نباشد . این منو از طریق مسیر زیر در دسترس است :

Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > Mooney Rivilin > ...

برای اطلاعات بیشتر در این مورد به کتاب اجزاء محدود غیر خطی نوشتهٔ ادن [۲۳] مراجعه کنید

**مثال :**

یک حلقهٔ لاستیکی مطابق شکل(۲-۵) – در حالت تقارن محوری - تحت یک جابجایی عمودی قرار گرفته است و تحت شرایط Large Deformation تحلیل می شود . مطلوب است

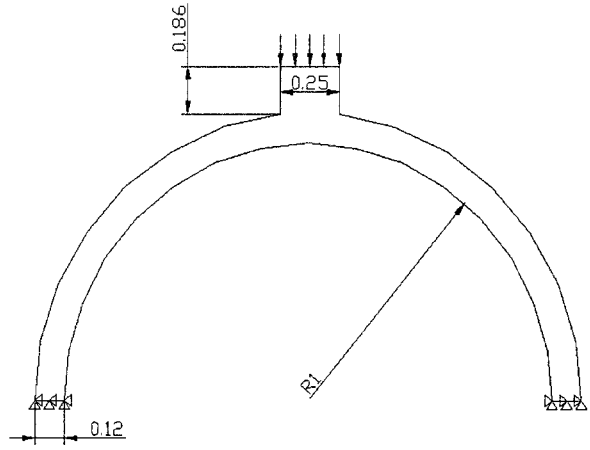
---

*1- Visco Elastic Analysis* *2 - Hyperelastic* *3- Nonlinear Reversible*

محاسبهٔ تنش معادل von Mises تحت این بـارگذاری ومشـاهدهٔ نتـایج بـه صـورت یـک فـایل متحرک .

خواص مواد عبارتند از :

Young's modulus = 27.7E5
Poisson's ratio = 0.497
Mooney Rivilin :
C1 = 293000
C2 = 17700




**شکل(۲-۵) : مدل حلقهٔ لاستیکی در حالت متقارن محوری**

**اهداف این تمرین عبارت است از :**

۱- آشنایی با تحلیل ویسکو الاستیک

**حل :**

**مرحلهٔ اول – تعیین المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چـپ نـوع HyperElastic را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست المان 2D 4node U-P 56 را انتخاب کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ دوم – تعریف خواص مواد :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...

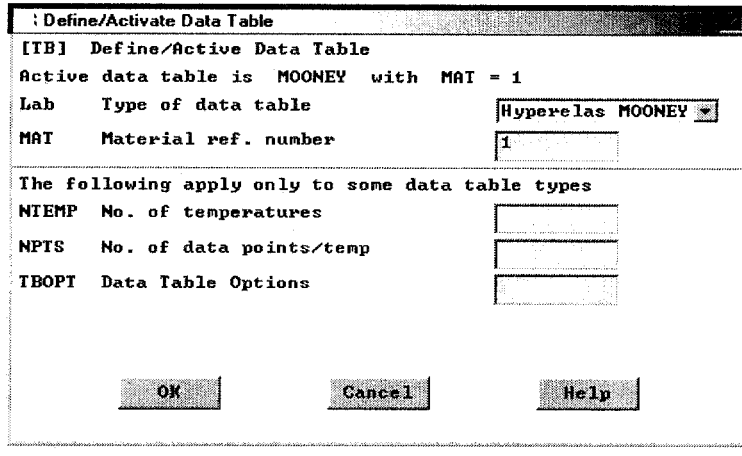
۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید تا شمارهٔ ماده ۱ در نظر گرفته شود .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر EX Young's modulus عدد 27.7E5 را وارد کرده و در مقابل کادر NUXY Poisson's ratio (minor) عدد 0.497 را وارد کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید تا خواص ماده ثبت شود .

5) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > Data Tables > Define / Activete ...

۲) مطابق شکل (۳-۵) در جعبهٔ محاورهٔ Define / Activate Data Table در مقابل کادر Lab Type of data table از منوی گشودنی آن گزینهٔ Hyperelas Mooney را انتخاب کنید و در مقابل کادر MAT Material ref . number عدد ۱ را وارد کنید .

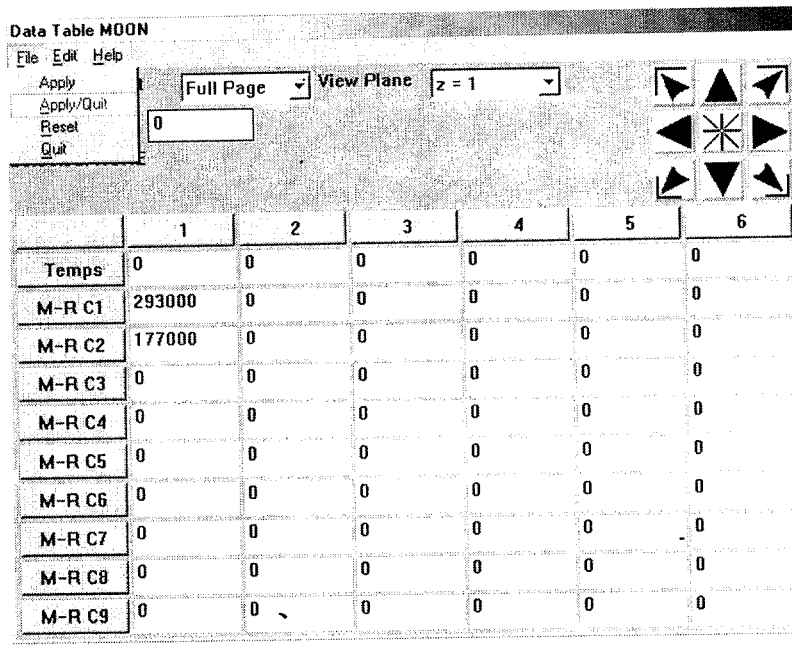



**شکل (۳-۵) : انتخاب منحنی Mooney Rivilin**

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > Data Tables > Edit Activ...

۵) مطابق شکل (۴-۵) در جعبهٔ محاورهٔ Data Table Moon – که مخصوص وارد کردن ثوابت منحنی Mooney Rivilin است – در مقابل کادر M – R C1 عدد ۲۹۳۰۰۰ و در مقابل کادر M – R C2 عدد ۱۷۷۰۰۰ را تایپ کنید و سپس به کمک منوی File از همان پنجره ، گزینهٔ Apply / Quit را انتخاب کنید .




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temps | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C1 | 293000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C2 | 177000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M-R C9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**شکل (۴-۵) : وارد کردن ثوابت منحنی Mooney Rivilin**

**مرحلهٔ سوم - مدلسازی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Preprocessor > - Modeling –Create > -Areas –Circle > Partial Annulus …

۲) در پنجرهٔ Part Annular Circ Area در مقابل کادر WP X عدد صفر و در مقابل کادر WP Y عدد صفر را وارد کرده و در مقابل کادر Rad – 1 عدد ۱ و در مقابل کادر Theta – 1 عدد صفر و در مقابل کادر Rad – 2 عدد ۱/۱۲ و در مقابل کادر Theta – 2 عدد ۱۸۰ را وارد کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Rectangle > By 2 Corners …

۵) در پنجرهٔ Rectangle by 2 Corners در مقابل کادر WP X عدد ۰/۱۲۵- ودر مقابل کادر WP Y عدد ۱/۰۵ و در مقابل کادر Width عدد ۰/۲۵ و در مقابل کادر Height عدد ۰/۲۵ را وارد کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .

7) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Add > Areas +

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطوح یکپارچه شوند .

**مرحلهٔ چهارم – شبکه بندی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool ...

۲) در جعبه ابزار MeshTool گزینهٔ Smart Size را فعال کرده و درجهٔ آنرا روی ۴ به کمک لغزندهٔ آن قرار دهید و سپس کلید Mesh را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطح شبکه بندی شود .

**مرحلهٔ پنجم – بارگذاری :**

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities ...

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ By Location را از منوی گشودنی هرکدام انتخاب کرده و سپس گزینهٔ Y coordinates را انتخاب کرده و در کادر Min , Max عدد صفر را وارد کنید و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

۵) اکنون باید در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های دو خط پایینی مدل مشاهده شوند .

6) Ansys Main Menu > Solution > -Loads – Apply > -Structural –Displacement > On Nodes+

۷) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes در مقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained از پنجرهٔ آن گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید .

۹) کلید OK را فشار دهید .

10) Ansys Utility Menu > Select > Everything

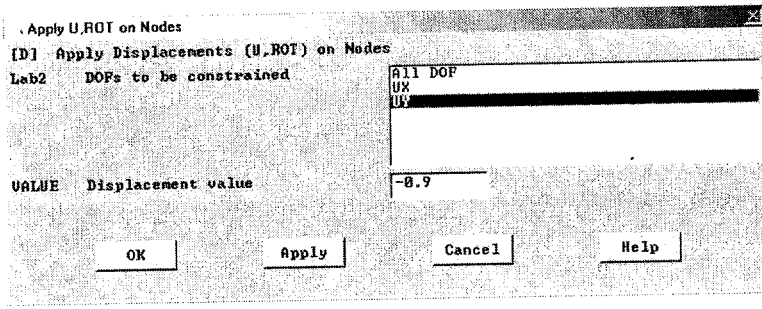
11) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes

اکنون باید بر روی گره های خط طولی بالایی مدل مقدار جابجایی به اندازهٔ ۰/۹ در خلاف جهت محور Y اعمال کنید برای این منظور عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Loads – Apply > -Structural –Displacement > On Nodes+

۲) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های خط طولی بالایی مدل را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U , ROT on Nodes مطابق شکل (۵-۵) در مقابل کادر Lab2 DOFs to be constrained در پنجرهٔ آن گزینهٔ All DOF را غیر فعال کرده و سپس گزینهٔ UY را انتخاب کنید تا پررنگ شود و سپس در مقابل کادر Displacement value VALUE مقدار ۰/۹- را وارد کنید .




**شکل (۵-۵) : اعمال جابجایی در خلاف جهت محور Y بر قسمت بالایی مدل**

۴) کلید OK را فشار دهید تا جابجایی اعمال شود .

**مرحلهٔ ششم – تنظیم گزینه های حل و زمان :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Static or Steady – State Analysis در قسمت بالای پنجره در مقابل کادر [NLGEOM] Large deformation effect یکبار با ماوس برروی آن فشار دهید تا فعال ( ON ) شود .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Output Ctrls > Solu Printout …

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Solution Printout Controls در مقابل کادر FREQ Print frequency گزینهٔ Every substep را انتخاب کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .

7) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Output Ctrls > DB / Results File …

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Controls for Database and Results File Writing در مقابل کادر FREQ File write frequency گزینهٔ Every substep را فعال کنید .

۹) کلید OK را فشار دهید .

10) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts –Time/Frequenc >Time and Substep …

۱۱) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of load step عدد ۱ و در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۲۰ را وارد کنید .

۱۲) کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ هفتم – حل مساله :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS .

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT/ را خوانده و سپس آنرا ببندید .
۳) برای شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید .
۴) پس از مدتی ، با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل شده است و این پنجره را نیز ببندید .

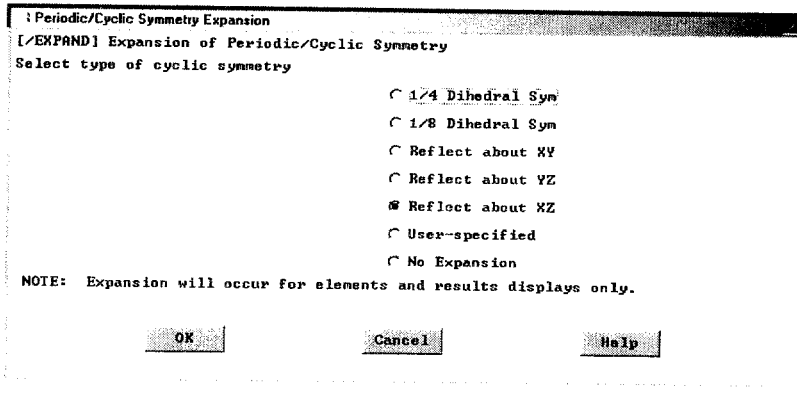
**مرحلهٔ هشتم – مشاهدهٔ نتایج :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – Last Set

با توجه به آنکه مدل در حالت متقارن محوری مدلسازی شده است ، بنابراین در هنگام مشاهدهٔ نتایج تنها نیمی از مدل نمایش داده خواهد شد اما می توان از طریق مسیر زیر تمام مدل را در هنگام مشاهدهٔ نتایج نمایان کرد :

2) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Style > Summetry Expansion > Periodic / Cyclic Symmetry ...

۳) مطابق شکل (۶-۵) در جعبهٔ محاورهٔ Periodic / Cyclic Symmetry Expansion در مقابل کادر Select type of cyclic symmetry گزینهٔ Reflect about XZ را انتخاب کنید .



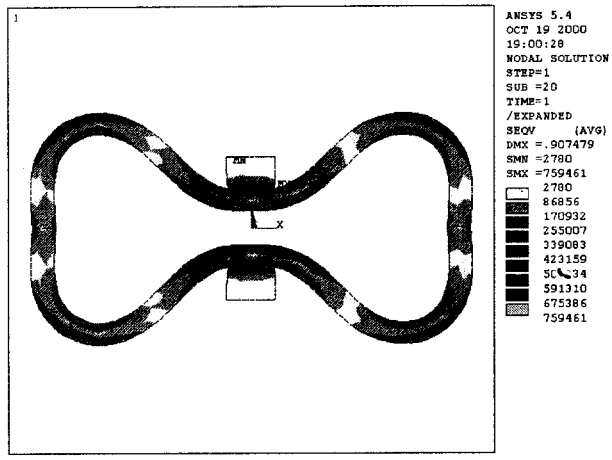

**شکل (۶-۵) : انتخاب صفحهٔ XZ به عنوان صفحهٔ تقارن**

۴) کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu ...

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item to be contoured Item , Comp در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست به کمک لغزندهٔ آن کمی به پایین آمده و گزینهٔ SEQV von Mises را انتخاب کنید .

۷) کلید OK را فشار دهید تا مطـابق شـکل (۷-۵) کانتورهـای تنـش معـادل von Mises در پنجرهٔ گرافیکی نمایان شود

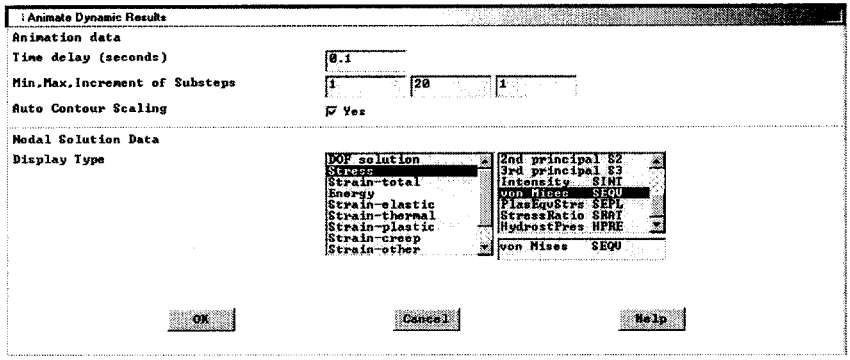



**شکل (۷-۵) : کانتور تنش معادل**

**مرحلهٔ نهم – مشاهدهٔ نتایج به صورت تصویر متحرک :**

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Animate > Dynamic Results …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Animate Dynamic Results مطابق شکل (۸-۵) در مقابل کادر Display Type در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress ودر پنجرهٔ سمت راست به کمـک لغزنـدهٔ آن گزینـهٔ von Mises SEQV را انتخاب کنید .




**شکل (۸-۵) : تعیین تنش معادل برای نمایش تصویر متحرک**

۳) کلید OK را فشار دهید . پس از مدتی فایل تصویری با پسوند AVI.* ساخته می شـود کـه می توانید آنرا به کمک یک وسیلهٔ پخش تصویری نظیر Media Player مشاهده کنید .

# تمرین ششم : آنالیز تماس[1]

**مقدمه :**

به طور کلی مسائل تماس را می توان به دو حالت زیر تقسیم بندی کرد :

۱- تماس جسم انعطاف پذیر به جسم صلب[2] :

در این نوع تماس مدول الاستیسیتهٔ یکی از اجسام ( جسم صلب ) بسیار بیشتر از جسم دیگر است .

۲- تماس دو جسم غیر صلب :

در این حالت هر دو قطعهٔ تماسی دارای انعطاف پذیری هستند که مثال حل شده در این تمرین از این نوع است .

در نرم افزار Ansys حالت های تماسی به ۳ حالت زیر تقسیم می شود :

۱- تماس گره با گره ( Node to Node )

۲- تماس گره با سطح ( Node to Surface )

۳- تماس سطح با سطح ( Surface to surface )

که در هر یک از موارد فوق باید از المانهای مربوط به هرکدام استفاده کرد و همچنین قابلیت هر کدام در حل مسائل مختلف ، متفاوت است . در این تمرین از تماس گره با گره استفاده شده است .

برای اطلاعات بیشتر در مورد این تحلیل می توانید به کتاب " مکانیک تماس " نوشتهٔ جانسون [۲۴] و یا " مسائل تماس در تئوری الاستیسیته " نوشتهٔ گلادول [۲۵] و یا راهنمای نرم افزار از طریق مسیر زیر مراجعه کنید :

Ansys Utility Menu > Help > Table of Contents > Analysis Guides > Ansys Structural Analysis > Contact

**مثال :**

در این مثال تماس گلوله ای با صفحهٔ مسطحی مطابق شکل (۱-۶) ، مدلسازی می شود .

خواص مواد عبارتند از :

Young's Modulus = 207 (Gpa)
Poisson's Ratio = 0.3
Density = 8000

همچنین سرعت اولیهٔ گلوله برابر (m/s) ۱۰ در خلاف جهت محور Y است .

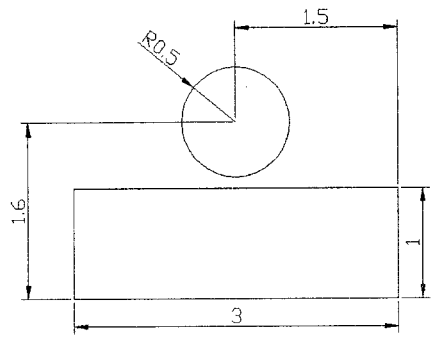
اهداف این تمرین عبارتند از :

۱- آشنایی با انجام تحلیل تماسی دو جسم

---

*1- Contact Analysis* *2- Rigid to Flexible Contact*

۲- آشنایی با ساخت مولفه های انتخاب از اجزای انتخاب شده




**شکل (۱-۶) : مدل مساله به همراه ابعاد**

**حل :**

**مرحلهٔ اول – انتخاب المان :**

در این مساله از دو المان PLANE42 و CONTAC48 استفاده کنید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete ...

۲) درجعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ از خانوادهٔ Structural نوع Solid و در پنجرهٔ سمت راست المان Quad 4node 42 را انتخاب کنید .

۴) کلید Apply را فشار دهید .

۵) دوباره در جعبهٔ محاورهٔ فوق در پنجرهٔ سمت چپ نوع Contact و در پنجرهٔ مقابل آن المان pt – to – surf 48 را انتخاب کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .

۷) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ دوم – تعیین خواص مواد :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Constant – Isotropic ...

۲) در پنجرهٔ باز شده کلید OK را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Isotropic Material Properties در مقابل کادر Young's modulus (EX) عدد 200E9 و در مقابل کادر Density DENS عدد 8000 و در مقابل کادر Poisson's ratio NUXY (minor) عدد 0.3 را وارد کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

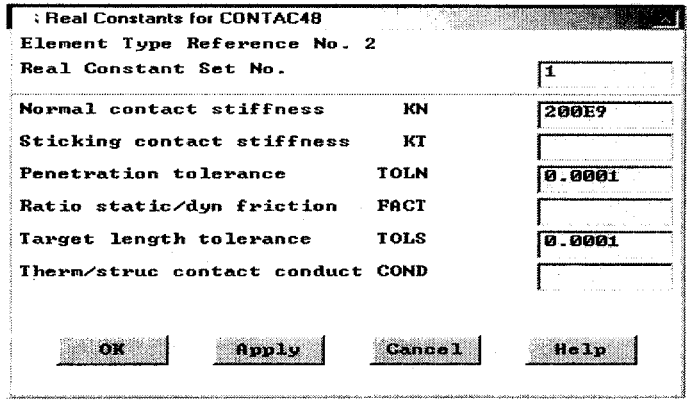
**مرحلهٔ سوم – تعیین مقادیر ثابت المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Real Constants …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Element Type for Real Constants المان نوع دوم یعنی Type 2 CONTAC48 را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Real Constants for CONTAC48 مطابق شکل (۲-۶) ، در مقابل کادر Normal contact stiffness KN عدد 200E9 را وارد کرده و در مقابل کادر Penetration tolerance TOLN عدد 0.0001 را وارد کرده و در مقابل کادر Target length tolerance TOLS عدد 0.0001 را وارد کنید .




**شکل (۲-۶) : تعیین مقادیر ثابت المان CONTAC48**

۵) کلید OK را فشار دهید .

۶) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ چهارم – مدلسازی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling – Create > - Areas – Rectangle > By Dimensions …

۲) در پنجرهٔ ساخت مستطیل برای X1 , X2 به ترتیب اعداد 3 , 0 و برای Y1 , Y2 به ترتیب اعداد 1 , 0 را وارد کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling – Create > - Areas – Circle > Solid Circle..

۵) در پنجرهٔ ساخت دایره به ترتیب در مقابل کادر WP X عدد ۱/۵ و در مقابل کادر WP Y عدد ۱/۶ را وارد کرده و در مقابل کادر Radius عدد ۰/۰۵ را وارد کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ پنجم – شبکه بندی مدل با المان PLANE42 :**

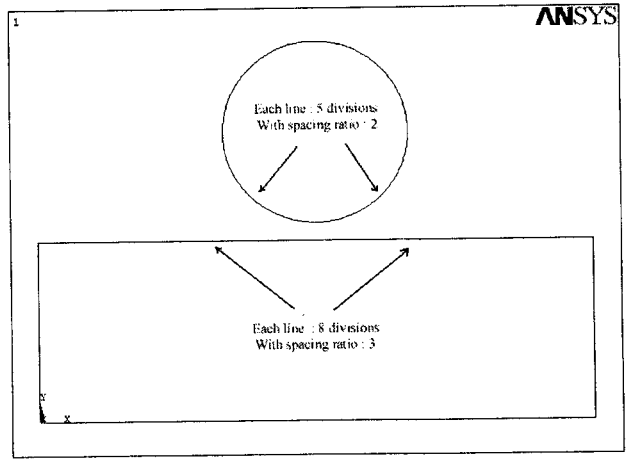
برای شبکه بندی مدل ابتدا خط طولی بالایی مستطیل را به دو نیم تقسیم کنید .

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > -Modeling – Operate > -Booleans – Divide > Line into N Ln's +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی خط طولی بالایی مستطیل را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Divide Line into N Lines در مقابل کادر NDIV No . of lines to create عدد ۲ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

اکنون مطابق شکل (۳-۶) خطوط را باید تقسیم بندی کنید :




**شکل (۳-۶) : تعیین تقسیم بندی خطوط جهت شبکه بندی**

1) Ansys Utility Menu > Plot > Lines

2) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool …

۳) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت دوم ( Size Controls ) در قسمت مربوط به Lines دکمهٔ Set را فشار دهید .

۴) در پنجرهٔ گرافیکی دو خط طولی بالایی مستطیل را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۸ و در مقابل کادر SPACE Spacing ratio عدد ۳ را وارد کنید .

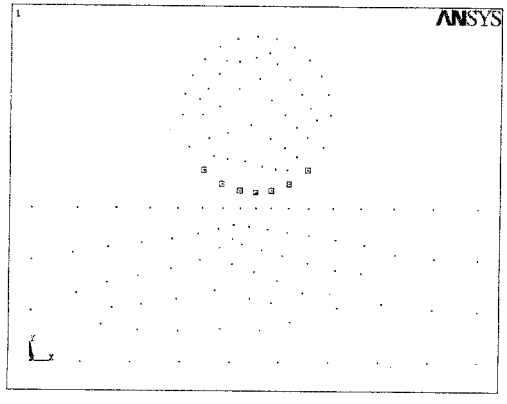
۶) کلید Apply را فشار دهید .

۷) در پنجرهٔ گرافیکی دو کمان پایینی دایره را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element divisions- عدد ۵ و در مقابل کادر SPACE Spacing ratio عدد ۲ را وارد کنید .
۹) کلید OK را فشار دهید .
۱۰) با توجه به آنکه خط سمت راست بالایی مستطیل و کمان سمت چپ پایینی دایره برعکس تقسیم بندی شده اند ، بنابراین در جعبه ابزار MeshTool در قسمت دوم و در قسمت Lines کلید Flip را فشار دهید .
۱۱) در پنجرهٔ گرافیکی کمان پایینی سمت چپ دایره و خط طولی بالایی سمت راست مستطیل را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .
۱۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت سوم شکل المان را ( Shape ) به Quad و نوع Mesher را به Free تغییر دهید و کلید Mesh را فشار دهید .
۱۳) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا سطوح شبکه بندی شوند .
۱۴) پنجرهٔ اخطار زردرنگ را ببندید علت این اخطار وجود المان مثلثی است که توصیه میکند در صورت امکان از المان دیگری با دقت بالاتر استفاده کنید .

**مرحلهٔ ششم – ساخت مولفه های انتخابی :**

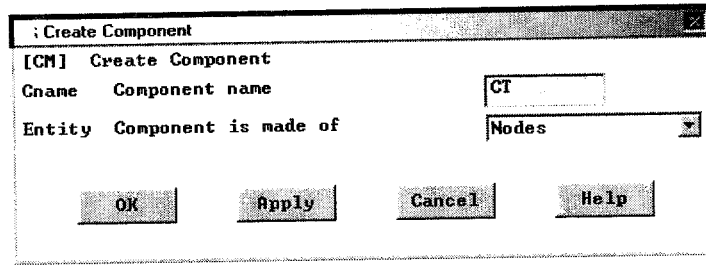
در این مرحله باید از گره هایی که احتمال تماس با هم دارند ، مولفهٔ انتخابی بسازید :
1) Ansys Utility Menu > Plot > Nodes
2) Ansys Utility Menu > Select > Entities …
۳) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول از منوی گشودنی آن عبارت Nodes و در قسمت دوم عبارت By Num / Pick را انتخاب کنید و کلید Apply را فشار دهید .
۴) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۴-۶) تعداد ۷ گرهٔ پایینی دایره را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل(۴-۶) : انتخاب ۷ گرهٔ پایینی دایره در پنجرهٔ گرافیکی**

5) Ansys Utility Menu > Select > Comp/ Assembly > Create Component …

۶) مطابق شکل (۵-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Create Component در مقابل کادر Cname Component name عبارت CT را وارد کنید و درمقابل کادر Entity Componenet is made of از منوی گشودنی آن گزینهٔ Nodes را انتخاب کنید .



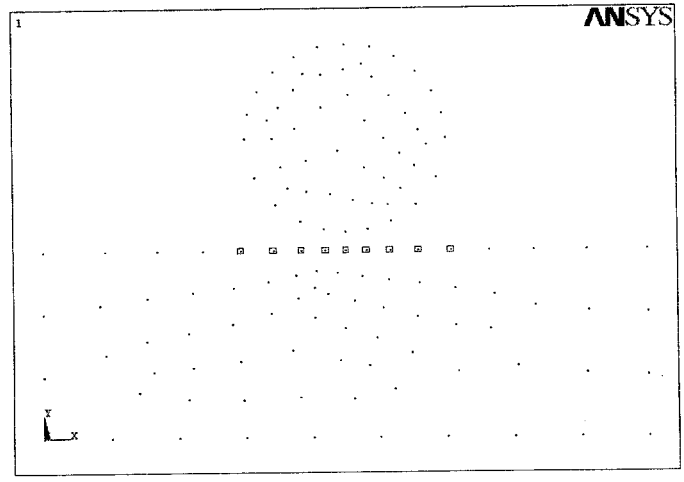

**شکل(۵-۶) : ساخت مولفهٔ انتخاب از گره های پایینی دایره**

۷) کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

۹) دوباره در جعبه ابزار Select Entities کلید OK را فشار دهید .

۱۰) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل(۶-۶) اینبار از گره های خط طولی بالایی مستطیل تعداد ۹ گرهٔ میانی را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۶-۶) : انتخاب ۹ گره از گره های خط طولی بالایی مستطیل**

11) Ansys Utility Menu > Select > Comp/ Assembly > Create Component …

۱۲) در جعبهٔ محاورهٔ Create Component در مقابل کادر Cname Component name عبارت TG را وارد کنید و در مقابل کادر Entity Componenet is made of از منوی گشودنی آن گزینهٔ Nodes را انتخاب کنید .

۱۳) کلید OK را فشار دهید .

14) Ansys Utility Menu > Select > Everything

**مرحلهٔ هفتم – ایجاد المان CONTAC48 توسط مولفه های ساخته شده :**

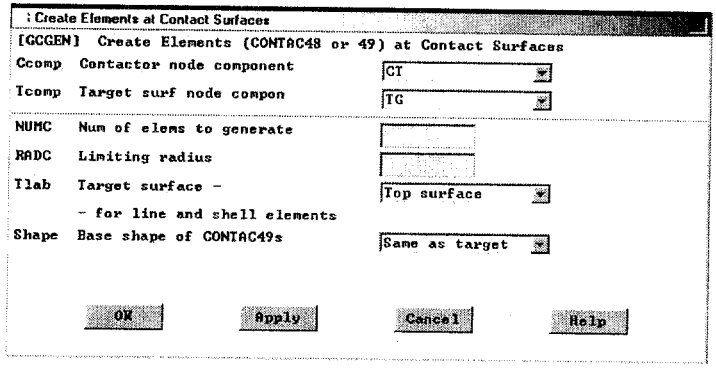
ابتدا باید المان فعال را به المان CONTAC48 تغییر دهید :

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > Elem Attributes…

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Attributes در مقابل کادر Element type number [TYPE] از منوی گشودنی آن المان نوع دوم یعنی Type2 CONTAC48 را انتخاب کرده وکلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > Elements > - Auto Numbered – At ContactSrf ..

۴) مطابق شکل (۷-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Create Elements at Contact Surfaces در مقابل کادر Ccomp Cotactor node component از منوی گشودنی آن گزینهٔ CT و در مقابل کادر Tcomp Target surf node compon از منوی گشودنی آن گزینهٔ TG را انتخاب کنید .




**شکل (۷-۶) : انتخاب مولفه های انتخابی از گره ها جهت ایجاد سطوح تماسی**

۵) کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ هشتم – تعیین نوع آنالیز ، اعمال شرایط مرزی و شرایط اولیه :**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis …

۲) در پنجرهٔ باز شده نوع آنالیز را از نوع Transient انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options …

۴) کلید OK را در پنجرهٔ باز شده فشار دهید .

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Full Transient Analysis در مقابل کـادر Large deform [NLGEOM] effects دکمهٔ مقابل آنرا فشار دهید تا فعال (ON) شود و سپس کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید برروی کلیهٔ گره های خط طولی پایینی مستطیل شرط مرزی در هر دو جـهت قـرار دهید :

6) Ansys Main Menu > Solution > -Loads– Apply > -Structural– Displacement > On Nodes +

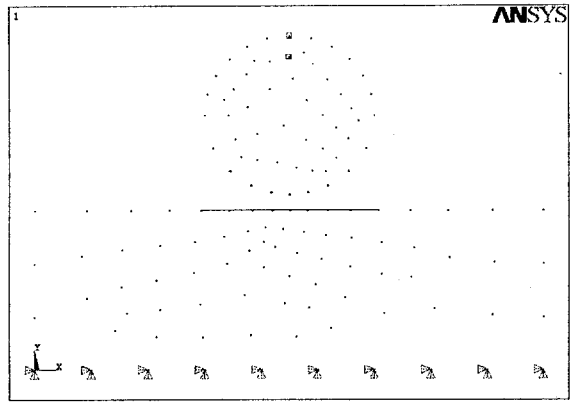
۷) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های خط طولی پایینی مستطیل را انتخـاب کـرده ودر پنجـرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

**نکته :** سریعترین روش انتخاب ، تبدیـل گزینـهٔ Single بـه Box در پنجـرهٔ انتخـاب و سـپس انتخاب گره های مورد نظر به کمک ساختن یک مستطیل انتخاب است .

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل کـادر DOF to be constrained از پنجرهٔ آن گزینهٔ All DOF را انتخاب کنید و کلید Apply را فشار دهید .

جهت جلوگیری از پیغام خطای Rigid Body Motion برروی ۲ گرهٔ بالایی دایره کـه در جـهت محور X تغییر مکان ندارند ، شرط مرزی قرار دهید :

۹) مطابق شکل (۸-۶) در پنجرهٔ گرافیکـی دو گرهٔ بـالایی دایـره را انتخـاب کنیـد و در پنجـرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .




**شکل (۸-۶) : انتخاب دو گرهٔ بالایی دایره در پنجرهٔ گرافیکی**

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Apply U,ROT on Nodes در مقابل کـادر DOF to be constrained از پنجرهٔ آن گزینهٔ All DOF را غیر فعال کنید و گزینهٔ UX را فعال کنید و سـپس کلیـد OK را فشار دهید .

اکنون باید شرایط اولیهٔ مساله را برروی کلیهٔ گره های دایره اعمال کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > Initial Condit'n > Define +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی کلیهٔ گره های دایرهٔ مدل را انتخاب کنید و سپس کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

**نکته** : ساده ترین روش انتخاب ، تبدیل معیار انتخاب از Single بـه Box در پنجـرهٔ انتخـاب و سپس انتخاب گره های مورد نظر به کمک ساختن دایرهٔ انتخاب به مرکز دایرهٔ مدل می باشد .

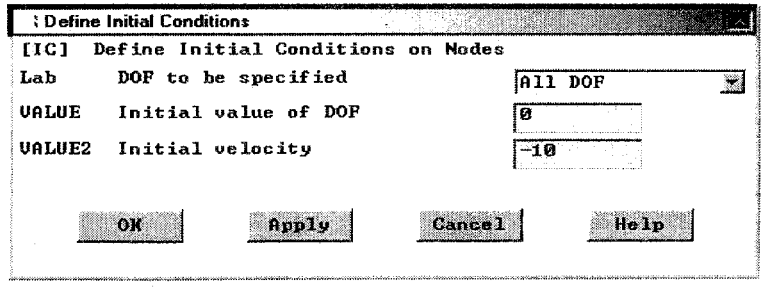
۳) مطابق شکل (۹-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Define Initial Conditions در مقابل کـادر VALUE Initial value of DOF عدد صفر و در مقـابل کـادر VALUE2 Initial velocity عـدد ۱۰- را وارد کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید تنظیمات زمانی مساله را تعیین کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time – Time Step ..

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Time Step Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of loadstep عدد ۰/۰۲ را وارد کرده و در مقابل کادر [DELTIM] Time step size عـدد ۰/۰۰۱ را وارد کنید .




**شکل (۹-۶) : جعبهٔ محاورهٔ اعمال شرایط اولیه**

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Output Ctrls > DB / Results File ...

۵) در جعبهٔ محـاورهٔ Controls for Database and Results File Writing در مقـابل کـادر FREQ File write frequency گزینهٔ Every substep را انتخاب کنید

۶) کلید OK را فشار دهید .

برای حل مساله عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Solve – Current LS

۲) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۳) برای شروع حل مساله کلید OK را در پنجرهٔ سبزرنگ Solve Current Load Step فشار دهید .

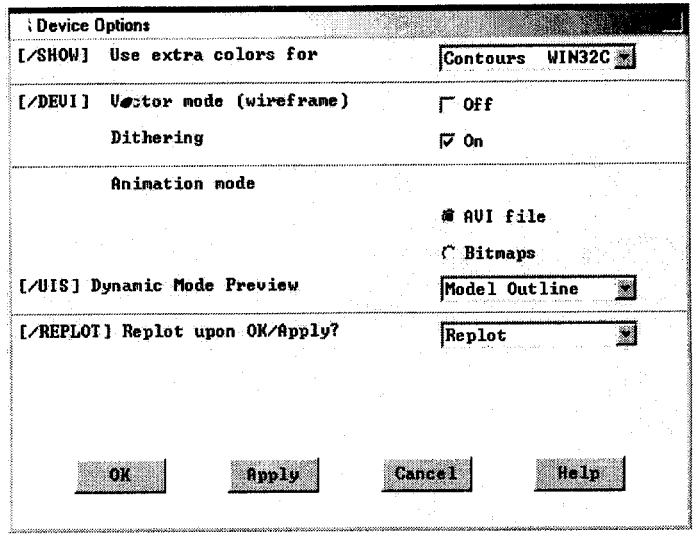
۴) پس از مدتی حل مساله تمام می شود و سپس پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done را ببندید .

**مرحلهٔ نهم – مشاهدهٔ نتایج :**

در این مرحله ابتدا تعداد رنگهای مساله را از ۹ رنگ به ۱۲۸ رنگ افزایش دهید :

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Device Options ...

۲) مطابق شکل (۱۰-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Device Options در مقابل کادر Use [SHOW] extra colors for از منوی گشودنی آن گزینهٔ WIN32C Contours را انتخاب کنید .




**شکل (۱۰-۶) : انتخاب WIN32C**

۳) کلید OK را فشار دهید .

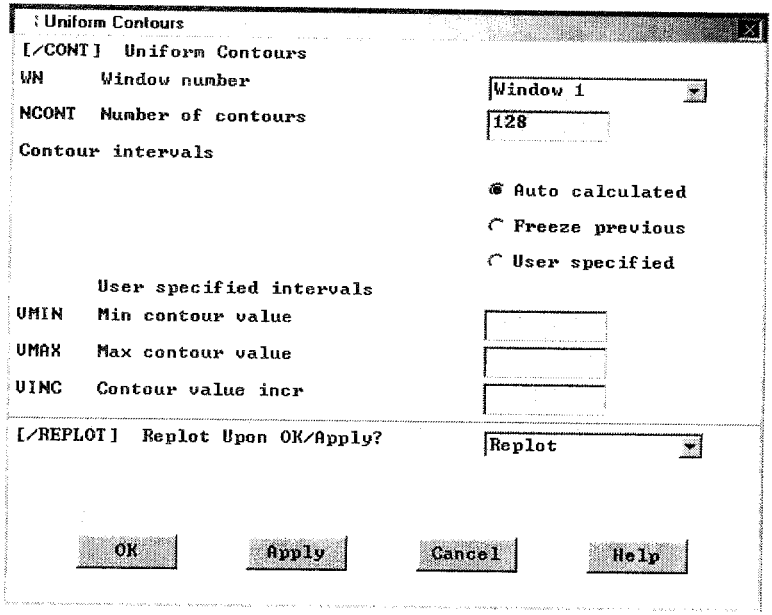
4) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours ...

۵) مطابق شکل (۱۱-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Uniform Contours در مقابل کادر NCONT Number of contours عدد ۱۲۸ را وارد کنید

۶) کلید OK را فشار دهید .

جهت مشاهدهٔ تنش ایجاد شده در مدل به صورت فایل متحرک عملیات زیر را انجام دهید :

1) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Animate > Dynamic Results ...




**شکل (۱۱-۶) : انتخاب نمایش ۱۲۸ رنگ**

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Animate Dynamic Results در مقابل کادر Nodal Solution Data در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress و در پنجرهٔ مقابل آن به کمک لغزنده گزینهٔ von Mises SEQV را انتخاب کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید ، پس از مدتی فایل متحرک AVI.* ساخته می شود ، آنرا با یک وسیلهٔ تصویری نظیر Media Player مشاهده کنید .

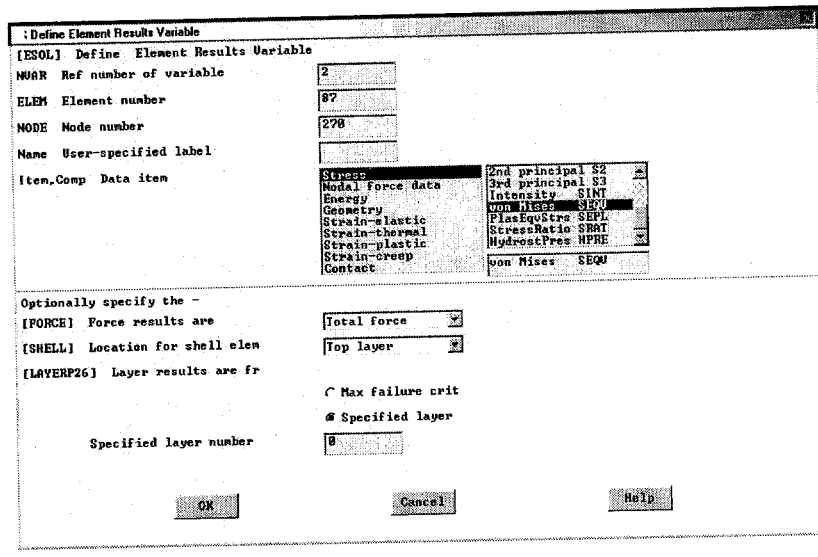
اکنون می خواهیم نمودار تغییرات تنش معادل یک گره از المانی دلخواه از قسمت پایینی دایره را بر حسب زمان رسم کنیم :

1) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Define Variables ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Defined Time – History Variables کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Add Time – History Variables در مقابل کادر Type of variable گزینهٔ Element results را فعال کنید و کلید OK را فشار دهید .

۴) مطابق شکل (۱۲-۶) در جعبهٔ محاورهٔ Define Element Results Variable در مقابل کادر ELEM Element number شمارهٔ المان مورد نظر را وارد کنید و در مقابل کادر NODE Node number شمارهٔ یکی از گره های مورد نظر آن را وارد کرده و سپس در مقابل کادر , Item Comp Data item در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ Stress و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ von Mises SEQV را انتخاب کنید .




**شکل (۱۲-۶) : جعبهٔ محاورهٔ ساختن متغیر**

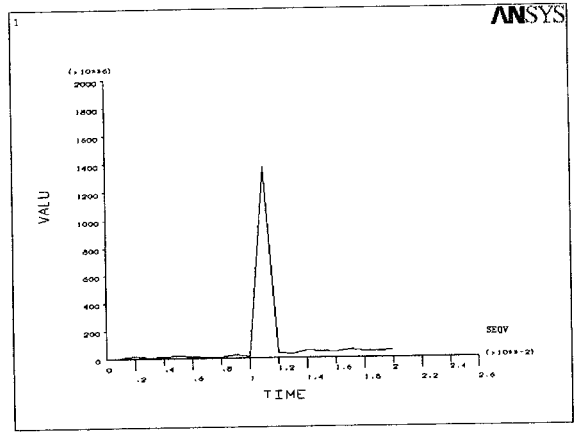
۵) کلید OK را فشار دهید .

۶) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

7) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Graph Variables …

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Time – History Variables در مقابل کادر NVAR1 1st variable to graph عدد ۲ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

۹) مطابق شکل (۱۳-۶) نمودار تغییرات تنش بر حسب زمان رسم میشود .




**شکل (۱۳-۶) نمودار تغییرات تنش بر حسب زمان**

# فصل هفتم

## آشنایی با برخی از امکانات ویژه

ANSYS

# تمرین اول : تولد و مرگ المانها[1]

**مقدمه :**

گاهی اوقات در طی انجام یک آنالیز که معمولاً شامل چند بارگذاری است ، نیاز به اضافه کردن یا حذف کردن جرم از سیستم دارید . در نتیجه برخی از المانها باید در آنالیز غیر فعال - یا به اصطلاح مرده - شوند و برخی فعال و زنده شوند . در اینگونه مسائل کاربر نمی تواند پس از شروع حل مساله ، در بارگذاریهای بعدی المانی را به مدل اضافه و یا از آن کم کند زیرا با انجام این کار کلیهٔ بارگذاریهای قبلی و نتایج آن از بین می رود و حل مسالهٔ جدیدی آغاز می شود .

در نرم افزار Ansys گزینه ای با نام Element Birth & Death موجود است که به کمک آن می توان چنین مسائلی را تحلیل نمود. المانهایی که قابلیت مرگ و تولد را دارند به شرح زیر است :

| | | | |
|---|---|---|---|
| LINK1 | BEAM23 | PLANE55 | PLANE77 |
| PLANE2 | BEAM24 | SHELL57 | PLANE78 |
| BEAM3 | PLANE25 | PIPE59 | PLANE82 |
| BEAM4 | MATRIX27 | PIPE60 | PLANE83 |
| SOLID5 | LINK31 | SOLID62 | SOLID87 |
| LINK8 | LINK32 | SHELL63 | SOLID90 |
| LINK10 | LINK33 | SOLID64 | SOLID92 |
| LINK11 | LINK34 | SOLID65 | SHELL93 |
| PLANE13 | PLANE35 | PLANE67 | SOLID95 |
| COMBIN14 | SHELL41 | LINK68 | SOLID96 |
| PIPE16 | PLANE42 | SOLID69 | SOLID97 |
| PIPE17 | SHELL43 | SOLID70 | SOLID98 |
| PIPE18 | BEAM44 | MASS71 | PLANE121 |
| SURF19 | SOLID45 | SOLID72 | SOLID122 |
| PIPE20 | PLANE53 | SOLID73 | SOLID123 |
| MASS21 | BEAM54 | PLANE75 | |
| SURF22 | | | |

این روش فقط در سه محصول Ansys / Mechanical,Multiphysics,Structural موجود است .
معمولاً این قابلیت در دو مورد زیر کاربرد دارد :

۱- در مسائلی که جرم سازه با زمان تغییر می کند .
۲- در مسائلی که به علت نتایج به دست آمده مجبور به حذف بعضی از المانها هستید .

به عنوان مثال در تحلیل فرآیند جوشکاری ، چون مادهٔ پرکنندهٔ جوش[2] به صورت متغیر با زمان برروی دو قطعهٔ متصل شونده قرار می گیرد ، پس جرم سیستم با زمان تغییر می کند .

---

*1- Element Birth and Death*

*2- Filler*

از طرفی درهنگام تحلیل تنشهای تولید شده در قطعه به علت عملیات حرارتی مجبور به حذف و غیر فعال کردن المانهای مذاب می باشید تا از حرکت و سیلان مادهٔ مذاب جلوگیری کنید .

**مثال :**

مطلوبست محاسبهٔ نحوهٔ توزیع حرارت در انجام عملیات جوشکاری برروی دو ورق به ابعاد ۱۰×۱×۱۰ که در آن نشست جرم مادهٔ پرکنندهٔ جوش با زمان تغییر می کند . دمای مادهٔ پرکنندهٔ جوش در هنگام قرار گرفتن برروی دو ورق برابر ۲۹۰۰ درجهٔ فارنهایت بوده و در حالت مذاب می باشد . در این مساله مادهٔ پر کنندهٔ جوش مطابق شکل (۱-۱) متشکل از ۴ ردیف المان است که در هر ردیف ۲ المان موجود است و در هر مرحلهٔ بارگذاری یک ردیف از این المانها برروی مدل قرار می گیرد . زمان نشست هر ردیف از المانها برابر ۲ ثانیه است در نتیجه کل عملیات جوشکاری در ۸ ثانیه انجام می شود و سپس مساله تا زمان ۱۶ ثانیه برای رسیدن به تعادل حرارتی با محیط حل خواهد شد . از پدیدهٔ تشعشع ، جابجایی اجباری و تغییرات متالوژیکی در هنگام عملیات جوشکاری صرف نظر کنید . خواص مادهٔ دو ورق و مادهٔ پرکننده یکسان است و به صورت زیر است :

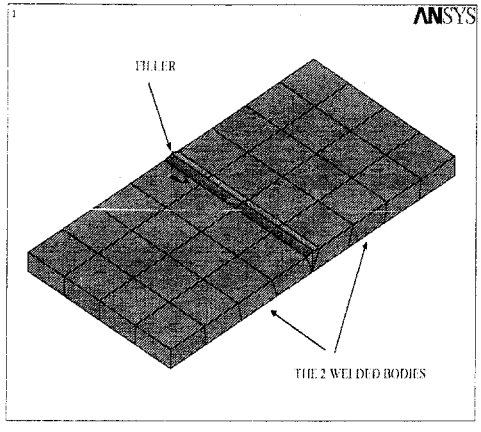
| Temp ( F ) | 0 | 2600 | 2750 | 2900 |
|---|---|---|---|---|
| Enthalpy | 0 | 128.1 | 165 | 175 |
| Thermal Conductivity | 1.44 | 1.54 | 1.22 | 1.22 |

دمای سیال محیط برابر صفر درجه و ضریب هدایت همرفت برابر ۰/۰۱۴ است .

اهداف این تمرین عبارتند از :

۱- آشنایی با مرگ و تولد المان

۲- آشنایی بیشتربا آنالیز گذرای حرارتی




**شکل (۱-۱) : مدل کامل مساله**

**حل :**

**مرحلهٔ اول – تنظیم موضوع مساله :**

1) Ansys Utility Menu > File > Change Title …

۲) در پنجرهٔ باز شـــده عبـارت دلخواهـی نظـیر An Element Birth and Death Thermal Analysis را تایپ کنید و کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ دوم – انتخاب المان :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Element Types کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Library of Element Types در پنجرهٔ سمت چپ با پایین کشیدن لغزندهٔ آن از خانوادهٔ Thermal نوع Solid را انتخـاب کـرده و در پنجـرهٔ سـمت راسـت المـان Brick 20node 90 را انتخاب کنید .

۴) کلید OK را فشار دهید .

۵) کلید Close را در پنجرهٔ قبلی فشار دهید .

**مرحلهٔ سوم – تعیین خواص مادهٔ وابسته به دما :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Temp Table …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Temperature Table به ترتیب مقادیر زیـر را در مقابل کادر مربوط به آن وارد کنید :

T1 Temp value at loc N : 0
T2 Temp value at loc N+1 : 2600
T3 Temp value at loc N+2 : 2750
T4 Temp value at loc N+3 : 2900

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Preprocessor > Material Props > - Temp Dependent – Prop Table …

۵) در جعبـهٔ محـاورهٔ Define Material Property Table در مقـابل کـادر Lab Material property label در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن کمی به پایین آمـده و سـپس گزینـهٔ Enthalpy را انتخاب کنید .

۶) در قسمت پایین پنجرهٔ مقادیر زیر را برای آنتالپی وارد کنید :

C1 Property value at loc N : 0
C2 Property value at loc N+1 : 128.1
C3 Property value at loc N+2 : 165
C2 Property value at loc N+1 : 175

۷) کلید Apply را فشار دهید .

۸) در جعبهٔ محاورهٔ Define Material Property Table در مقابل کادر Material Lab property label در پنجرهٔ سمت چپ به کمک لغزندهٔ آن کمی به پایین آمده و سپس گزینهٔ Th conductivity را انتخاب کنید و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ KXX را انتخاب کنید .

۹) در قسمت پایین پنجرهٔ مقادیر زیر را برای هدایت حرارتی وارد کنید :

C1 Property value at loc N : 1.44
C2 Property value at loc N+1 : 1.54
C3 Property value at loc N+2 : 1.22
C2 Property value at loc N+1 : 1.22

۱۰) کلید OK را فشار دهید .

**مرحلهٔ چهارم – مدلسازی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Volume – Block > By Dimensions …

۲) در پنجرهٔ تولید مکعب مستطیل در مقابل کادر X1 , X2 به ترتیب مقادیر 10 , 0 را وارد کرده و در مقابل کادر Y1 , Y2 به ترتیب مقادیر 1 , 0 را وارد کرده و در مقابل کادر Z1 , Z2 به ترتیب مقادیر 0 , 10– را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > PlotCtrls > Pan , Zoom , Rotate …

۴) در جعبه ابزار Pan – Zoom – Rotate کلید Iso را فشار دهید تا دید سه بعدی شود و سپس کلید Close را در جعبه ابزار فوق فشار دهید .

5) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Display WorkingPlane

6) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Offset WP by Increments …

۷) در جعبه ابزار Offset WP در قسمت چرخش ابتدا میزان زاویهٔ چرخش را به کمک لغزندهٔ آن به ۲۵ درجه تبدیل کنید و سپس یکبار دکمهٔ چرخش X-C را فشار دهید .

8) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Create > - Areas – Rectangle > By Dimensions …

۹) در پنجرهٔ تولید مستطیل در مقابل کادر X1 , X2 به ترتیب اعداد 15 , 5– را وارد کرده و در مقابل کادر Y1 , Y2 به ترتیب اعداد 4 , 2– را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید تا سطح برش ساخته شود .

10 ) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > - Booleans – Divide > Volume by Area +

۱۱) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۱۲) دوباره در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۱۳) علت پنجرهٔ اخطار را حدس زده و آنرا ببندید .

14) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Delete > Volumes and Below +

۱۵) در پنجرهٔ گرافیکی حجم برش خوردهٔ کوچک را انتخاب کـرده و در پنجـرهٔ انتخـاب کلیـد OK را فشار دهید .

۱۶) در جعبه ابزار Offset WP یکبار دکمهٔ چرخش را فشار دهید .

۱۷) کلید Close را در جعبه ابزار فوق فشار دهید .

18) Ansys Utility Menu > WorkPlane > Display WorkingPlane

**مرحلهٔ پنجم – شبکه بندی :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > MeshTool …

۲) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت دوم ( Size Controls ) در مقابل قسمت Lines کلیـد Set را فشار دهید

۳) در پنجرهٔ گرافیکی یکی از خطوط طولی ( در جهت محور X ) و یکی از خطوط عمقـی ( در جهت محور Y ) را انتخاب کنید و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element – divisions عدد ۴ را وارد کنید و کلید Apply را فشار دهید .

۵) در پنجرهٔ گرافیکی یکی از دو خط مورب در قسمت برش خورده را انتخاب کنید و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Element Sizes on Picked Lines در مقابل کادر NDIV No. of element – divisions عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

۷) در جعبه ابزار MeshTool در قسمت سوم ، شکل المان ( Shape ) را به Hex تبدیل کـرده و کلید Mesh را فشار دهید .

۸) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید تا حجم شبکه بندی شود .

9) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

**مرحلهٔ ششم – دوران سطح برش خورده به اندازهٔ ۲۵درجه برای تولیدالمانهای Filler :**

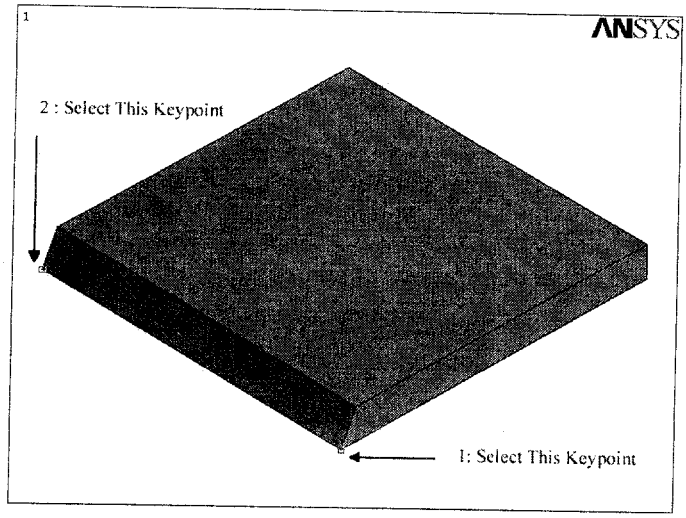
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > Extrude / Sweep > Size …

۲) در جعبـهٔ محـاورهٔ Global Element Sizes در مقـابل کـادر NDIV No. of element - divisions عدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید تا در هنگام دوران سطح تنها یـک المان در جهت دوران بر روی مدل قرار گیرد .

3) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Operate > Extrude / Sweep > - Areas – About Axis +

۴) در پنجرهٔ گرافیکی سطح برش خوردهٔ مرزی را انتخاب کرده و در پنجرهٔ انتخاب کلید OK را فشار دهید .

۵) مطابق شکل (۲-۱) در پنجرهٔ گرافیکی به ترتیب شماره خورده در شکل ، دو نقطـهٔ پـایینی ابتدایی و انتهایی سطح برش خورده را انتخاب کنید .




**شکل (۲-۱) : انتخاب دو نقطهٔ ابتدایی و انتهایی**

۶) کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Sweep Areas about Axis در مقابل کادر ARC Arc length in degrees عدد ۲۵- را وارد کرده و در مقابل کادر NSEG No. of volume segments عـدد ۱ را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

**مرحلهٔ هفتم – انعکاس آیینه أی مدل نسبت به صفحهٔ X – Y برای تولید مدل کامل :**

1) Ansys Main Menu > Preprocessor > - Modeling – Reflect > Volumes +

۲) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Reflect Volumes در مقابل کادر Ncomp plane of symmetry صفحـهٔ X – Y plane را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید تا مدل تکمیل شود .

**مرحلهٔ هشتم – ممزوج کردن اجزاء :**

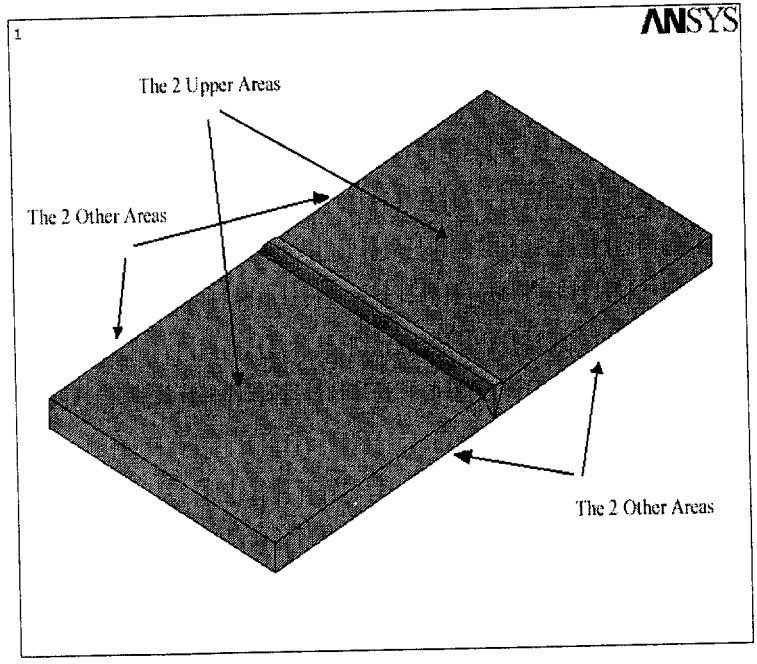
1) Ansys Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ باز شده در مقابل کادر Lab Type of item to be merge گزینـهٔ Nodes را انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

**مرحلهٔ نهم – بارگذاری اول و حل آن :**

در این مرحله برروی دو المان مادهٔ پر کنندهٔ جوش که در قسمت جلویی مدل قرار دارند ، دمای ۲۹۰۰ درجه را اعمال کنید و ۶ المان ۳ ردیف دیگر را درحالت مرگ قراردهید و درجهٔ آزادی حرارتی گره های آنرا برابرصفر قرار دهید .همچنین پدیدهٔ همرفت را مطابق شکل (۳-۱) بر روی ۶ سطح نشان داده شده که دوتای آنها سطوح فوقانی دو ورق و ۴ سطح دیگر سطوح جانبی دو ورق می باشند ، اعمال کنید .




**شکل (۳-۱) : سطوح در حال انتقال حرارت با سیال محیط**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – New Analysis …

۲) در پنجرهٔ باز شده گزینهٔ Transient را انتخاب کنید .

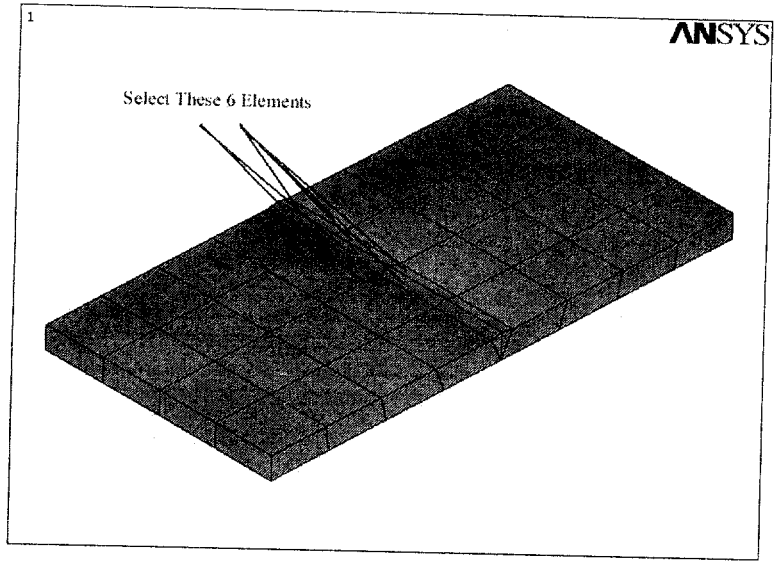
۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Analysis Type – Analysis Options …

۶) در جعبهٔ محاورهٔ Transient Analysis دقت کنید که در مقابل کادر [TRNOPT] Solution method گزینهٔ Full انتخاب شده باشد و سپس کلید OK را فشار دهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Full Transient Analysis در مقابل کادر – [NROPT] Newton Raphson option گزینهٔ Full N – R را از منوی گشودنی آن انتخاب کرده و کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید ۶ المان در ۳ ردیف دوم و سوم و چهارم از مادهٔ پرکنندهٔ جوش را مطابق شکل (۴-۱) در حالت مرگ قرار دهید :




**شکل ( ۴-۱) : انتخاب ۶ المان در حال مرگ**

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Other > - Birth & Death – Kill Elements +

۲) در پنجرهٔ گرافیکی مطابق شکل (۴-۱) ، ۶ المان موردنظر را انتخاب کرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

**نکته** : در صورت انتخاب اشتباه یک یا چند المان ، دکمهٔ سمت راست ماوس را فشار داده و سپس یکبار بر روی المان اشتباه انتخاب شده با دکمهٔ سمت چپ ماوس فشار دهید تا رفع اشتباه شود .

اکنون باید درجهٔ آزادی گره های المانهای مرده را برابر صفر قرار دهید . یک روش انتخاب این گره ها آنستکه ابتدا المانهای زندهٔ مدل را ( Live Elem's ) به کمک جعبه ابزار Select Entities انتخاب کرده و سپس گره های متصل به آنها را انتخاب کنید و سپس با فشار دادن دکمهٔ Invert گره های المانهای مرده را انتخاب کنید . اما در این مساله به علت سرعت در کار از دستورهای معادل عملیات فوق استفاده می شود .

۱) در پنجرهٔ Ansys Input دستور ESEL,S,LIVE را تایپ کرده و کلید Enter را فشار دهید .

2) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

۳) اکنون باید در پنجرهٔ گرافیکی از المانهای مادهٔ پر کنندهٔ جوش تنها دو المان ردیف اول و المانهای دو ورق مشاهده شوند .

۴) در پنجره Ansys Input دستور NSLE,S را تایپ کرده و کلید Eneter را فشار دهید تـا گره های متصل به المانهای زنده انتخاب شوند .

۵) در پنجره Ansys Input دستور NSEL,INVE را تایپ کرده و کلید Eneter را فشار دهید تا گره های المانهای مرده انتخاب شوند .

۶) در پنجرهٔ Ansys Input دستور D,ALL,ALL,0 را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید تـا درجهٔ آزادی حرارتی این گره ها برابر صفر شود .

7) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید دمای ۲۹۰۰ درجه را برروی گره های دو المان زندهٔ مادهٔ پرکنندهٔ جوش قرار دهید

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسـمت اول گزینـهٔ Elements و در قسـمت دوم گزینـهٔ By Num / Pick را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و کلید Apply را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ گرافیکی دو المان زندهٔ مادهٔ پر کنندهٔ جـوش را انتخـاب کـرده و کلیـد OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۴) در جعبـه ابـزار Select Entities در قسـمت اول گزینـهٔ Nodes و در قسـمت دوم گزینـهٔ Attached to را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ Elements فعال باشد و کلیـد OK را فشـار دهید .

5) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Thermal – Temperature > On Nodes +

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Apply TEMP on Nodes در مقابل کادر VALUE Temperature value عدد ۲۹۰۰ درجه را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید پدیدهٔ همرفت را مطابق شکل (۳-۱) – در صفحات قبل – برروی ۶ سطح مورد نظـر قرار دهید :

1) Ansys Utility Menu > Plot > Areas

2) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Thermal – Convection > On Areas +

۳) در پنجرهٔ گرافیکی ابتدا دو سطح فوقانی و سپس ۴ سطح جـانبی ورقـها را انتخـاب کـرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Apply CONV on Areas در مقـابل کـادر VALUE Film coefficient عدد ۰/۰۱۴ را وارد کرده و در مقابل کادر VALUE2 Bulk temperature عـدد صفـر را وارد کنید .

۵) کلید OK را فشار دهید .

اکنون باید تنظیمات زمانی مساله را تعیین کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time and Substps ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of load step عدد ۲ را وارد کرده و در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۴ را وارد کنید و در مقابل کادر [KBC] Stepped or ramped b.c. گزینهٔ Stepped را انتخاب کنید و گزینهٔ [AUTOTS] Automatic time stepping را فعال کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Output Ctrls > DB/Results File ...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Controls for Database and Results File Writing در مقابل کادر FREQ File write frequency گزینهٔ Every substep را انتخاب کنید و کلید OK را فشار دهید .

6) Ansys Utility Menu > Select > Everything

7) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS .

۸) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ STAT/ را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۹) کلید OK را در پنجرهٔ سبز رنگ Solve Current Load Step فشار دهید .

۱۰) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است و آنرا با فشار دادن کلید Close ببندید .

**مرحلهٔ دهم – مشاهدهٔ نتایج بارگذاری اول :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – By Load Step ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Read Results by Load Step Number در مقابل کادر LSTEP Load step number عدد ۱ را وارد کرده و در مقابل کادر SBSTEP Substep number عبارت LAST را وارد کنید .

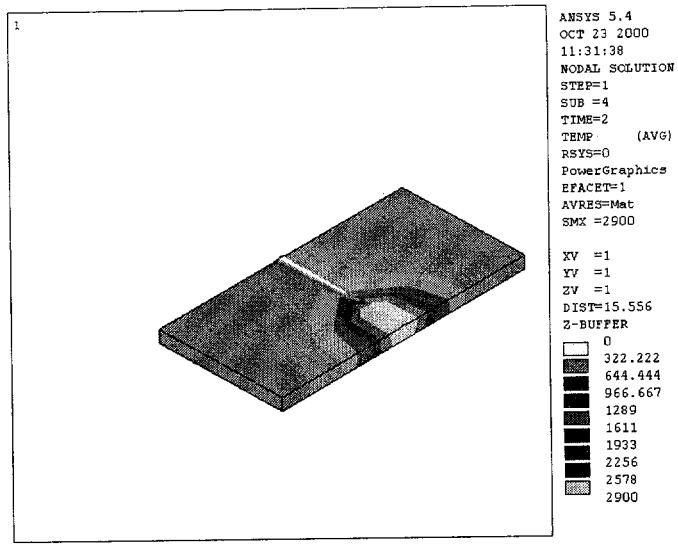
۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu ...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Temperature TEMP را انتخاب کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .

اکنون مطابق شکل (۵-۱) نتیجهٔ توزیع حرارتی بارگذاری اول در Substep آخر را مشاهده کنید .




**شکل (۵-۱) : توزیع حرارت بر روی مدل در بارگذاری اول**

همانطور که مشاهده می کنید توزیع حرارت روی المانهای مرده صفر است .

## مرحلهٔ یازدهم – حل بارگذاری دوم :

در این مرحله ردیف دوم المانهای مادهٔ پر کنندهٔ جوش زنده ( متولد ) می شـوند و دمـای آنـها برابر ۲۹۰۰ درجه خواهد بود :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Analysis Type – Restart ...

۲) در پنجرهٔ سبزرنگ باز شده کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Delete > - Thermal – Temperature > On Nodes+

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

6)Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Other > - Birth & Death – Activate Elem +

۷) در پنجرهٔ گرافیکی ۲ المان ردیف دوم مادهٔ پر کنندهٔ جوش را انتخاب کنیـد و کلیـد OK را درپنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۸) در پنجرهٔ Ansys Input دستور ESEL,S,LIVE را تایپ کرده و کلید Enter را فشار دهید .

9) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

۱۰) اکنون باید در پنجرهٔ گرافیکی از المانهای مادهٔ پر کنندهٔ جوش تنها ۴ المـان ردیـف اول و دوم و المانهای دو ورق مشاهده شوند .

۱۱) در پنجره Ansys Input دستور NSLE,S را تایپ کرده و کلید Eneter را فشار دهید تا گره های متصل به المانهای زنده انتخاب شوند .

۱۲) در پنجره Ansys Input دستور NSEL,INVE را تایپ کرده و کلید Eneter را فشار دهید تا گره های المانهای مرده انتخاب شوند .

۱۳) در پنجرهٔ Ansys Input دستور D,ALL,ALL,0 را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید تا درجهٔ آزادی حرارتی این گره ها برابر صفر شود .

14) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید دمای ۲۹۰۰ درجه را برروی گره های دو المان زندهٔ ردیف دوم مادهٔ پر کنندهٔ جوش قرار دهید :

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Elements و در قسمت دوم گزینهٔ By Num / Pick را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و کلید Apply را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ گرافیکی دو المان زندهٔ ردیف دوم از مادهٔ پر کنندهٔ جوش را انتخاب کرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۴) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ Attached to را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ Elements فعال باشد و کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Thermal – Temperature > On Nodes +

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Apply TEMP on Nodes در مقابل کادر VALUE Temperature value عدد ۲۹۰۰ درجه را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید تنظیمات زمانی مساله را تعیین کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time and Substps ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of load step عدد ۴ را وارد کرده و در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۴ را وارد کنید و در مقابل کادر [KBC] Stepped or ramped b.c. گزینهٔ Stepped را انتخاب کنید و گزینهٔ [AUTOTS] Automatic time stepping را فعال کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

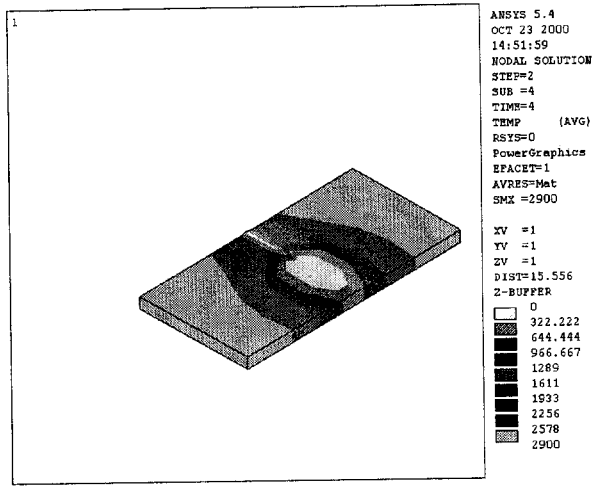
4) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS .

۵) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۶) کلید OK را در پنجرهٔ سبز رنگ Solve Current Load Step فشار دهید .
۷) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است و آنرا ببندید .

**مرحلهٔ دوازدهم – مشاهدهٔ نتایج بارگذاری دوم :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – By Load Step …
۲) در جعبهٔ محاورهٔ Read Results by Load Step Number در مقابل کادر LSTEP Load step number عدد ۲ را وارد کرده و در مقابل کادر SBSTEP Substep number عبارت LAST را وارد کنید .
۳) کلید OK را فشار دهید .
4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu …
۵) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Temperature TEMP را انتخاب کنید .
۶) کلید OK را فشار دهید .
اکنون مطابق شکل(۶-۱) نتیجهٔ توزیع حرارتی بارگذاری دوم را مشاهده کنید .




**شکل(۶-۱) : نتایج بارگذاری دوم بر روی مدل**

**مرحلهٔ سیزدهم – حل بارگذاری سوم :**

در این مرحله ردیف سوم المانهای مادهٔ پر کنندهٔ جوش ، زنده ( متولد ) می شوند و دمای آنها برابر ۲۹۰۰ درجه خواهد بود :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Analysis Type – Restart ...

۲) در پنجرهٔ سبزرنگ باز شده کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Delete > - Thermal – Temperature > On Nodes+

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

6)Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Other > - Birth & Death – Activate Elem +

۷) در پنجرهٔ گرافیکی ۲ المان ردیف سوم مادهٔ پر کنندهٔ جوش را انتخاب کنید و کلید OK را درپنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۸) در پنجرهٔ Ansys Input دستور ESEL,S,LIVE را تایپ کرده و کلید Enter را فشار دهید .

9) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

۱۰) اکنون باید در پنجرهٔ گرافیکی از المانهای مادهٔ پر کنندهٔ جوش تنها ۶ المان ردیف اول و دوم و سوم و المانهای دو ورق مشاهده شوند .

۱۱) در پنجره Ansys Input دستور NSLE,S را تایپ کرده و کلید Eneter را فشار دهید تا گره های متصل به المانهای زنده انتخاب شوند .

۱۲) در پنجره Ansys Input دستور NSEL,INVE را تایپ کرده و کلید Eneter را فشار دهید تا گره های المانهای مرده انتخاب شوند .

۱۳) در پنجرهٔ Ansys Input دستور D,ALL,ALL,0 را وارد کنید و کلید Enter را فشار دهید تا درجهٔ آزادی حرارتی این گره ها برابر صفر شود .

14) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید دمای ۲۹۰۰ درجه را برروی گره های دو المان زندهٔ ردیف سوم مادهٔ پر کنندهٔ جوش قرار دهید :

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Elements و در قسمت دوم گزینهٔ By Num / Pick را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و کلید Apply را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ گرافیکی دو المان زندهٔ ردیف سوم از مادهٔ پر کنندهٔ جوش را انتخاب کرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۴) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ Attached to را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ Elements فعال باشد و کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Thermal – Temperature > On Nodes +

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Apply TEMP on Nodes در مقابل کادر VALUE Temperature value عدد ۲۹۰۰ درجه را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید تنظیمات زمانی مساله را تعیین کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time and Substps ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of load step عدد ۶ را وارد کرده و در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۴ را وارد کنید و در مقابل کادر [KBC] Stepped or ramped b.c. گزینهٔ Stepped را انتخاب کنید و گزینهٔ [AUTOTS] Automatic time stepping را فعال کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS .

۵) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۶) کلید OK را در پنجرهٔ سبز رنگ Solve Current Load Step فشار دهید .

۷) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است و آنرا ببندید .

## مرحلهٔ چهاردهم – مشاهدهٔ نتایج بارگذاری سوم :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – By Load Step ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Read Results by Load Step Number در مقابل کادر LSTEP Load step number عدد ۳ را وارد کرده و در مقابل کادر SBSTEP Substep number عبارت LAST را وارد کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu ...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Temperature TEMP را انتخاب کنید .

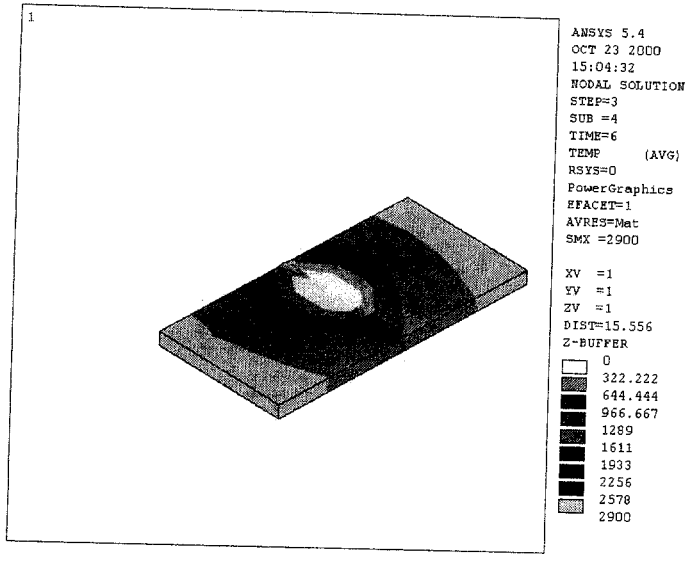
۶) کلید OK را فشار دهید .

اکنون مطابق شکل(۷-۱) نتیجهٔ توزیع حرارتی بارگذاری سوم را مشاهده کنید .

## مرحلهٔ پانزدهم – بارگذاری چهارم و حل آن :

در این مرحله ردیف آخر ( چهارم ) المانهای مادهٔ پر کنندهٔ جوش نیز زنده ( متولد ) می شوند و دمای آنها برابر ۲۹۰۰ درجه خواهد بود :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Analysis Type – Restart ...




**شکل(۷-۱) : توزیع حرارت روی مدل تحت بارگذاری سوم**

۲) در پنجرهٔ سبزرنگ باز شده کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Delete > - Thermal – Temperature > On Nodes+

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

6)Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Other > - Birth & Death – Activate Elem +

۷) در پنجرهٔ گرافیکی ۲ المان ردیف آخر مادهٔ پر کنندهٔ جوش را انتخاب کنید و کلید OK را درپنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید دمای ۲۹۰۰ درجه را برروی گره های دو المان زندهٔ ردیف آخر مادهٔ پر کنندهٔ جوش قرار دهید :

1) Ansys Utility Menu > Select > Entities

۲) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Elements و در قسمت دوم گزینهٔ By Num / Pick را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ From Full فعال باشد و کلید Apply را فشار دهید .

۳) در پنجرهٔ گرافیکی دو المان زندهٔ ردیف آخر از مادهٔ پر کنندهٔ جوش را انتخاب کرده و کلید OK را در پنجرهٔ انتخاب فشار دهید .

۴) در جعبه ابزار Select Entities در قسمت اول گزینهٔ Nodes و در قسمت دوم گزینهٔ Attached to را فعال کرده و دقت کنید که گزینهٔ Elements فعال باشد و کلید OK را فشار دهید .

5) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Apply > - Thermal – Temperature > On Nodes +

۶) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Apply TEMP on Nodes در مقابل کادر VALUE Temperature value عدد ۲۹۰۰ درجه را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید تنظیمات زمانی مساله را تعیین کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time and Substps ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of load step عدد ۸ را وارد کرده و در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۴ را وارد کنید و در مقابل کادر [KBC] Stepped or ramped b.c. گزینهٔ Stepped را انتخاب کنید و گزینهٔ [AUTOTS] Automatic time stepping را فعال کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS .

۵) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۶) کلید OK را در پنجرهٔ سبز رنگ Solve Current Load Step فشار دهید .

۷) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است و آنرا ببندید .

## مرحلهٔ شانزدهم – مشاهدهٔ نتایج بارگذاری چهارم :

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – By Load Step ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Read Results by Load Step Number در مقابل کادر LSTEP Load step number عدد ۴ را وارد کرده و در مقابل کادر SBSTEP Substep number عبارت LAST را وارد کنید .

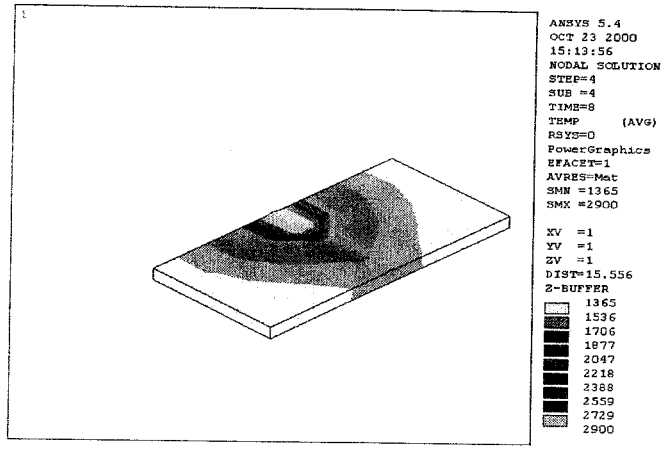
۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu ...

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخاب کرده و در پنجرهٔ سمت راست گزینهٔ Temperature TEMP را انتخاب کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .

اکنون مطابق شکل(۸-۱) نتیجهٔ توزیع حرارتی بارگذاری چهارم را مشاهده کنید .




**شکل (۸-۱) : توزیع حرارت روی مدل تحت بارگذاری چهارم**

## مرحلهٔ هفدهم – باربرداری و رسیدن تعادل مدل با محیط :

1) Ansys Main Menu > Solution > -Analysis Type – Restart ...

۲) در پنجرهٔ سبزرنگ باز شده کلید OK را فشار دهید .

3) Ansys Utility Menu > Plot > Elements

4) Ansys Main Menu > Solution > - Loads – Delete > - Thermal – Temperature > On Nodes+

۵) در پنجرهٔ انتخاب کلید Pick All را فشار دهید .

8) Ansys Utility Menu > Select > Everything

اکنون باید تنظیمات زمانی مساله را تعیین کنید :

1) Ansys Main Menu > Solution > - Load Step Opts – Time / Frequenc > Time and Substps ...

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Time and Substep Options در مقابل کادر [TIME] Time at end of load step عدد ۱۶ را وارد کرده و در مقابل کادر [NSUBST] Number of substeps عدد ۴ را وارد کنید و در مقابل کادر [KBC] Stepped or ramped b.c. گزینهٔ Stepped را انتخاب کنید و گزینهٔ [AUTOTS] Automatic time stepping را فعال کنید .

۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > Solution > - Solve – Current LS .

۵) محتویات پنجرهٔ سفیدرنگ /STAT را خوانده و سپس آنرا ببندید .

۶) کلید OK را در پنجرهٔ سبز رنگ Solve Current Load Step فشار دهید .

۷) با مشاهدهٔ پنجرهٔ زردرنگ با پیغام Solution is done حل مساله کامل است و آنرا ببندید .

**مرحلهٔ هجدهم – مشاهدهٔ نتایج باربرداری پس از گذشت ۱۶ ثانیه از شـــروع عملیـات جوشکاری :**

1) Ansys Main Menu > General Postproc > - Read Results – By Load Step …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Read Results by Load Step Number در مقـابل کـادر LSTEP Load step number عـدد ۵ را وارد کـرده و در مقـابل کـادر SBSTEP Substep number عبـارت LAST را وارد کنید .

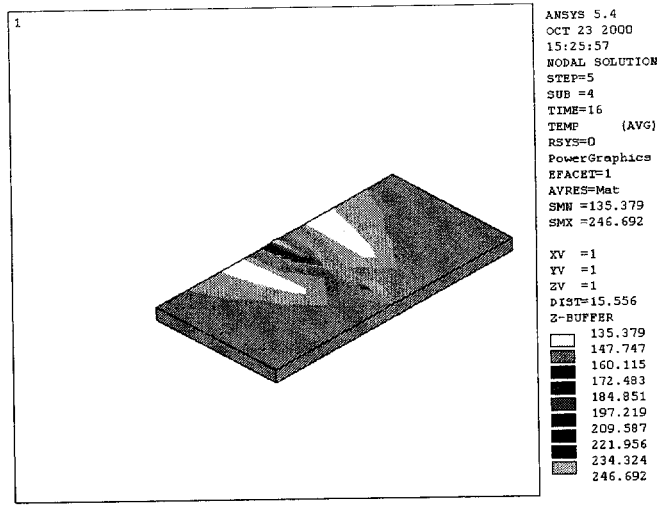
۳) کلید OK را فشار دهید .

4) Ansys Main Menu > General Postproc > Plot Results > - Contour Plot – Nodal Solu …

۵) در جعبهٔ محاورهٔ Contour Nodal Solution Data در مقابل کادر Item , Comp Item to be contoured در پنجرهٔ سمت چپ گزینهٔ DOF solution را انتخـاب کـرده و در پنجـرهٔ سـمت راست گزینهٔ Temperature TEMP را انتخاب کنید .

۶) کلید OK را فشار دهید .

اکنون مطابق شکل(۹-۱) نتیجهٔ توزیع حرارتی باربرداری را در زمان ۱۶ مشاهده کنید .




**شکل ( ۹-۱) : دمای نهایی مدل در زمان ۱۶**

**مرحلهٔ نوزدهم – مشاهدهٔ تاریخچهٔ دمایی گره ای از Filler به صورت نمودار :**

در این مرحله تاریخچهٔ دمایی گره أی از مدل که بر روی Filler قرار دارد رسم خواهد شد .

1) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Define Variables …

۲) در جعبهٔ محاورهٔ Defined Time – History Variables کلید Add را فشار دهید .

۳) در جعبهٔ محاورهٔ Add Time – History Variable کلید OK را فشار دهید .

۴) در جعبهٔ محاورهٔ Define Nodal Data در مقابل کادر NODE Node number عـدد ۴۴۴ را وارد کرده و در مقابل کادر Name User – specified label نـام دلخواهـی نظـیر CHECK را وارد کنید و کلید OK را فشار دهید .

۵) در پنجرهٔ قبلی کلید Close را فشار دهید .

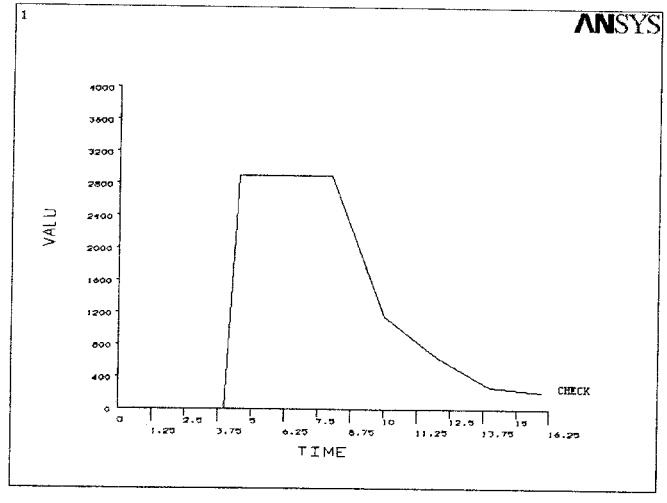
6) Ansys Main Menu > TimeHist Postpro > Graph Variables …

۷) در جعبهٔ محاورهٔ Graph Time – History Variables در مقابل کادر NVAR1 1st variable to graph عدد ۲ را وارد کرده و کلید OK را فشار دهید .

مطابق شکل (۱۰-۱) تاریخچهٔ حرارتی گرهٔ موردنظر را مشاهده کنید .

**نکته :**

در تحلیل تنشهای حرارتی پسـماند در ایـن مـدل ابتـدا بایسـتی در هـر بـارگذاری حرارتـی ، المانهایی را که در حالت مذاب قرار دارند ، به کمک Element Table شناسایی کرد و سپس در آنالیز ترمو پلاستیک به کمک یک آنالیز میدان کوپل مستقیم علاوه بر آنکه المانـهایی را کـه از لحاظ زمانی وجود ندارند ، المانهای مذاب را نیز در حالت مـرگ قـرار داد و درجـات آزادی گره های همهٔ این المانها را در هر جهت برابر صفر قرار داد .




**شکل(۱۰-۱) : تاریخچهٔ حرارتی گره أی از مدل**

# تمرین دوم : ساخت ماکرو

**مقدمه :**

ماکرو به مجموعه ای از دستورات نرم افزار Ansys اطلاق می شود که بـه کمـک آن حـل یـک مساله بدون نیاز به استفاده از منوهای گرافیکـی نـرم افـزار انجـام مـی شـود . یکـی از مزایـای استفاده از ماکرو در حل مسائل مختلف بالا بردن قابلیتهای نرم افزار در یک تحلیـل مـی باشـد زیرا در بعضی از مراحل تحلیل یک مساله ، استفاده از منوهـای گرافیکـی نـرم افـزار مشـکل و گاهی غیر ممکن است .

در این تمرین که فقط برای آشنایی با مراحل نوشتن و اجرای مـاکرو در نـرم افـزار ارائـه شـده است ، می خواهیم مساله ای را به کمک دستورات نرم افزار در قالب یک ماکرو و بدون اسـتفاده از منوهای گرافیکی نرم افزار حل کنیم .

تمرین اول از فصل آنالیزهای سازه أی را در نظر بگیرید . اکنون مـی خواهیـم آنـرا بـه صـورت نوشتن یک ماکرو در نرم افزار حل کنیم .

**حل :**

یک ماکرو را می توان در یک ویرایشگر متن نظیر NotePad یا WordPad ویـا Word نوشـته و سپس آنرا در Working Directory نرم افزار ذخیره کرد (یا به کمک منوی Macro در نرم افزار آنرا ایجاد کرد) و در نرم افزار Ansys آنرا به یکی از دو روش زیر اجرا کرد :

۱- در پنجرهٔ Ansys Input دستور *USE,Filename.* را تایپ کنیـد و کلیـد Enter را فشـار دهید که در این دستور منظور از Filename نام فایلی است که متنی مربوط به مـاکرو در آن قرار دارد . مثلاً اگر نام فایلCheck.TXT باشد ، باید عبارت Check.TXT را در مقـابل *USE, تایپ کرده و برای اجرای آن کلید Enter را فشار دهید .

۲- از طریق آدرس زیر مستقیم فایل مربوطه را بخوانید :

Ansys Utility Menu > File > Read Input from …

و در جعبهٔ محاورهٔ Read File با توجه به مسیری که فـایل در آن ذخـیره شـده ، آنـرا انتخـاب کرده و کلید OK را فشار دهید .

اکنون برای حل تمرین اول از فصل آنالیزهای سازه أی ( آنالیز استاتیکی ) متن زیـر را در یـک ویرایشگر متن نظیر NotePad تایپ کنید .

```
/TITLE,A THIN PLATE UNDER TENSION
/PREP7
/UNITS,SI
ET,1,PLANE42,,,3
R,1,8E-3
MP,EX,1,207E9
MP,NUXY,1,.3
K,1
```

```
K,2,0.2,0
K,3,0.2,0.2
K,4,0,0.2
A,1,2,3,4
CYL4,0,0,0.04
ASBA,1,2
LESIZE,2,,,12
LESIZE,3,,,12
LESIZE,10,,,10
LCCAT,2,3
MSHKEY,1
AMESH,ALL
ARSYM,X,ALL
ARSYM,Y,ALL
NUMMRG,ALL
EPLOT
/SOLU
NSEL,S,LOC,Y,-0.2
D,ALL,UY
NSEL,ALL
NSEL,S,LOC,X,0
NSEL,R,LOC,Y,-0.2
D,ALL,UX
NSEL,ALL
NSEL,S,LOC,Y,0.2
SF,ALL,Pres,-30E6
NSEL,ALL
SOLVE
/POST1
PLNSOL,S,Y
```

پس از اتمام تایپ متن فوق ، آنرا با نام و پسوند Static.TXT در Working Directory نرم افزار ذخیره کنید .

نرم افزار Ansys را اجرا کنید .

در پنجرهٔ Ansys Input عبارت زیر را تایپ کنید :

```
*USE,Static.TXT
```

کلید Enter را فشار دهید تا ماکروی نوشته شده اجرا شود و پس از اجـرای آن نتـایج کـانتوری تنش SY در پنجرهٔ گرافیکی بر روی مدل ترسیم شود .

توضیح ماکروی نوشته شده به شرح زیر است :

خط اول : تعیین موضوع آنالیز با نام A THIN PLATE UNDER TENSION

خط دوم : ورود به پردازشگر Preprocessor

خط سوم : تعیین سیستم واحد SI

خط چهارم : انتخاب المان PLANE42 با گزینهٔ تنش صفحه أی با ضخامت
خط پنجم : تعیین مقدار ثابت ضخامت المان با مقدار ۸ میلیمتر
خط ششم : تعیین مدول الاستیسیتهٔ مادهٔ شمارهٔ ۱ با مقدار (Gpa) 207
خط هفتم : تعیین نسبت پواسون مادهٔ شمارهٔ ۱ با مقدار 0.3
خط هشتم : ساختن نقطه أی با شمارهٔ ۱ و به مختصات ۰و۰و۰ ( مبدا مختصات )
خط نهم : ساختن نقطه أی با شمارهٔ ۲ و به مختصات 0 , 0 , 0.2
خط دهم : ساختن نقطه أی با شمارهٔ ۳ و به مختصات 0 , 0.2 , 0.2
خط یازدهم : ساختن نقطه أی با شمارهٔ ۴ و به مختصات 0 , 0.2 , 0
خط دوازدهم : ساختن یک سطح مربعی به کمک نقاط ساخته شده
خط سیزدهم : ساختن دایره أی به مرکز مبدا مختصات و شعاع 0.04
خط چهاردهم : کم کردن سطح دایره أی از سطح مربعی
خط پانزدهم : تعیین تقسیمات خط شمارهٔ ۲ به تعداد ۱۲ تقسیم
خط شانزدهم : تعیین تقسیمات خط شمارهٔ ۳ به تعداد ۱۲ تقسیم
خط هفدهم : تعیین تقسیمات خط شمارهٔ ۱۰ به تعداد ۱۰ تقسیم
خط هجدهم : ساختن خط Concatenate به کمک دو خط شمارهٔ ۲ و ۳
خط نوزدهم : تعیین نوع شبکه بندی دستی
خط بیستم : شبکه بندی کردن کلیهٔ سطوح
خط بیست و یکم : انعکاس آیینه أی سطح شبکه بندی شده نسبت به صفحهٔ Y-Z
خط بیستم و دوم : انعکاس آیینه أی دو سطح شبکه بندی شده نسبت به صفحهٔ X-Z
خط بیست و سوم : ممزوج کردن کلیهٔ اجزاء
خط بیست و چهارم : ترسیم المانهای مدل
خط بیست و پنجم : ورود به پردازشگر Solution
خط بیست و ششم : انتخاب کلیهٔ گره های خط طولی پایینی مدل
خط بیست و هفتم : اعمال شرط مرزی در جهت محور Y بر روی گره های انتخاب شده
خط بیست و هشتم : انتخاب کلیهٔ گره ها
خط بیست و نهم : انتخاب کلیهٔ گره هایی که در موقعیت صفر نسبت به محور X قرار دارند
خط سی ام : انتخاب مجدد گره أی از گره های انتخابی فوق که از لحاظ موقعیت نسبت به محور Y در موقعیت 0.2- قرار دارد
خط سی و یکم : اعمال شرط مرزی در جهت محور X بر روی گرهٔ انتخاب شده ( گرهٔ پایینی وسطی مدل ) برای جلوگیری از پیغام Rigid Body Motion در هنگام حل
خط سی و دوم : انتخاب کلیهٔ گره ها

خط سی و سوم : انتخاب کلیهٔ گره های خط طولی بالایی مدل ( این گره ها از لحاظ موقعیت مکانی نسبت به محور Y در مکان 0.2 قرار دارند )

خط سی و چهارم : اعمال فشار به میزان (Mpa) 30- بر روی گره های انتخاب شدهٔ فوق

خط سی و پنجم : انتخاب کلیهٔ گره ها

خط سی و ششم : حل مساله

خط سی و هفتم : ورود به Post1 یا General Postprocessor

خط سی و هشتم : ترسیم کانتور تنش SY ( تنش در جهت محور Y ) بر روی مدل

**نکتهٔ ۱** : برای مدلسازی مربع می توان به جای ساختن ۴ نقطهٔ فوق ، مستقیماً از دستور ساخت مربع یعنی RECTNG استفاده کرد .

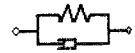
**نکتهٔ ۲** : برای آشنایی با دستورات نرم افزار می توانید به مسیر زیر در راهنمای نرم افزار مراجعه کنید :

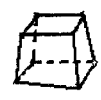
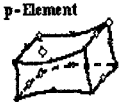
Ansys Utility Menu > Help > Index > Command Manual

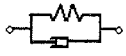
# ضمائم

# پیوست ۱ -

در این پیوست می توانید به صورت مستقیم و سریع با المانهای مختلف نرم افزار آشنا شوید :

| Structural Point | Structural 2-D Line | Structural 2-D Beam | | |
|---|---|---|---|---|
| **Structural Mass**<br> <br>MASS21<br>1 node 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Spar**<br> <br>LINK1<br>2 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY | **Elastic Beam**<br> <br>BEAM3<br>2 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, ROTZ | **Plastic Beam**<br> <br>BEAM23<br>2 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, ROTZ | **Offset Tapered Unsymmetric Beam**<br> <br>BEAM54<br>2 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, ROTZ |
| **Structural 3-D Line** | | | **Structural 3-D Beam** | |
| **Spar**<br> <br>LINK8<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Tension-Only Spar**<br> <br>LINK10<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Linear Actuator**<br>  <br>LINK11<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Elastic Beam**<br> <br>BEAM4<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Thin-Walled Beam**<br> <br>BEAM24<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ |
| | **Structural Pipe** | | | |
| **Offset Tapered Unsymmetric Beam**<br> <br>BEAM44<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Elastic Straight Pipe**<br> <br>PIPE16<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Elastic Pipe Tee**<br> <br>PIPE17<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Curved Pipe (Elbow)**<br> <br>PIPE18<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Plastic Straight Pipe**<br> <br>PIPE20<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Immersed Pipe**<br> <br>PIPE59<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Plastic Curved Pipe**<br> <br>PIPE60<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Structural 2-D Solid**<br>**Triangular Solid**<br> <br>PLANE2<br>6 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY | **Axisymmetric Harmonic Struct. Solid**<br> <br>PLANE25<br>4 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Structural Solid**<br> <br>PLANE42<br>4 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY |
| **Structural Solid**<br> <br>PLANE82<br>8 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY | **Axisymmetric Harmonic Struct. Solid**<br> <br>PLANE83<br>8 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Structural Solid p-Element**<br> <br>PLANE145<br>8 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY | **Triangular Solid p-Element**<br> <br>PLANE146<br>6 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY | **Structural 3-D Solid**<br>**Structural Solid**<br> <br>SOLID45<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ |
| **Layered Solid**<br> <br>SOLID46<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Anisotropic Solid**<br> <br>SOLID64<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Reinforced Solid**<br>  <br>SOLID65<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Solid with Rotations**<br> <br>SOLID72<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Solid with Rotations**<br> <br>SOLID73<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ |
| **Tetrahedral Solid**<br> <br>SOLID92<br>10 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Structural Solid**<br> <br>SOLID95<br>20 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Structural Solid p-Element**<br>  <br>SOLID147<br>20 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Tetrahedral Solid p-Element**<br> <br>SOLID148<br>10 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Structural 2-D Shell**<br>**Plastic Axisymmetric Shell with Torsion**<br> <br>SHELL51<br>2 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTZ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Axisymmetric Harmonic Struct. Shell**<br> <br>SHELL61<br>2 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTZ | **Structural 3-D Shell**<br>**Shear/Twist Panel**<br> <br>SHELL28<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ or ROTX, ROTY, ROTZ | **Membrane Shell**<br> <br>SHELL41<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Plastic Large Strain Shell**<br> <br>SHELL43<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Elastic Shell**<br> <br>SHELL63<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ |
| **16-Layer Structural Shell**<br> <br>SHELL91<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Structural Shell**<br> <br>SHELL93<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **100-Layer Structural Shell**<br> <br>SHELL99<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Plastic Shell**<br> <br>SHELL143<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Structural Shell p-Element**<br> <br>SHELL150<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ |
| **Finite Strain Shell**<br> <br>SHELL181<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ | **Explicit Dynamics**<br>**Explicit Spar**<br> <br>LINK160<br>3 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ VX, VY, VZ, AX, AY, AZ | **Explicit Beam**<br> <br>BEAM161<br>3 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ, VX, VY, VZ, AX, AY, AZ | **Thin Structural Shell**<br> <br>SHELL163<br>4 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ VX, VY, VZ, AX, AY, AZ | **Structural Solid**<br> <br>SOLID164<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, VX, VY, VZ AX, AY, AZ |
| **Explicit Spring-Damper**<br>  <br>COMBI165<br>2 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ, VX, VY, VZ, AX, AY, AZ | **Explicit Structural Mass**<br> <br>MASS166<br>1 node 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ, VX, VY, VZ, AX, AY, AZ | **Explicit Link**<br> <br>LINK167<br>3 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ VX, VY, VZ, AX, AY, AZ | **Hyperelastic Solid**<br>**Hyperelastic Mixed U-P Solid**<br> <br>HYPER56<br>4 nodes 2-D space<br>DOF: UX, UY, UZ | **Hyperelastic Mixed U-P Solid**<br> <br>HYPER58<br>8 nodes 3-D space<br>DOF: UX, UY, UZ |

**Hyperelastic Mixed U-P Solid**

HYPER74
8 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Hyperelastic Solid**

HYPER84
8 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Hyperelastic Solid**

HYPER86
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Hyperelastic Mixed U-P Solid**

HYPER158
10 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Visco Solid**

**Viscoelastic Solid**

VISCO88
8 nodes 2-D space
DOF: UX, UY

**Viscoelastic Solid**

VISCO89
20 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Large Strain Solid**

VISCO106
4 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Large Strain Solid**

VISCO107
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Large Strain Solid**

VISCO108
8 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Thermal Point**

**Thermal Mass**

MASS71
1 node 3-D space
DOF: TEMP

**Thermal Line**

**Radiation Link**

LINK31
2 nodes 3-D space
DOF: TEMP

**Conduction Bar**

LINK32
2 nodes 2-D space
DOF: TEMP

**Conduction Bar**

LINK33
2 nodes 3-D space
DOF: TEMP

**Convection Link**

LINK34
2 nodes 3-D space
DOF: TEMP

**Thermal 2-D Solid**

**Triangular Thermal Solid**

PLANE35
6 nodes 2-D space
DOF: TEMP

**Thermal Solid**

PLANE55
4 nodes 2-D space
DOF: TEMP

**Axisymmetric Harmonic Thermal Solid**

PLANE75
4 nodes 2-D space
DOF: TEMP

**Thermal Solid**

PLANE77
8 nodes 2-D space
DOF: TEMP

**Axisymmetric Harmonic Thermal Solid**

PLANE78
8 nodes 2-D space
DOF: TEMP

**Thermal 3-D Solid**

**Thermal Solid**

SOLID70
8 nodes 3-D space
DOF: TEMP

**Tetrahedral Thermal Solid**

SOLID87
10 nodes 3-D space
DOF: TEMP

**Thermal Solid**

SOLID90
20 nodes 3-D space
DOF: TEMP

**Thermal Shell**

**Thermal Shell**

SHELL57
4 nodes 3-D space
DOF: TEMP

**Fluid**

**Acoustic Fluid**

FLUID29
4 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, PRES

**Acoustic Fluid**

FLUID30
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, PRES

**Dynamic Fluid Coupling**

FLUID38
2 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Thermal-Fluid Pipe**

FLUID66
2 nodes 3-D space
DOF: PRES, TEMP

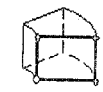
**Contained Fluid**

FLUID79
4 nodes 2-D space
DOF: UX, UY

**Contained Fluid**

FLUID80
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Axisymmetric Harmonic Contained Fluid**



FLUID81
4 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Acoustic Fluid**

FLUID129
2 nodes 2-D space
DOF: PRES

**Acoustic Fluid**

FLUID130
4 nodes 3-D space
DOF: PRES

**FLOTRAN CFD Fluid-Thermal**

FLUID141
4 nodes 2-D space
DOF: VX, VY, VZ, PRES, TEMP, ENKE, ENDS

**FLOTRAN CFD Fluid-Thermal**

FLUID142
8 nodes 3-D space
DOF: VX, VY, VZ, PRES, TEMP, ENKE, ENDS

**Thermal Electric**

**Thermal-Electric Solid**

PLANE67
4 nodes 2-D space
DOF: TEMP, VOLT

**Thermal-Electric Line**

LINK68
2 nodes 3-D space
DOF: TEMP, VOLT

**Thermal-Electric Solid**

SOLID69
8 nodes 3-D space
DOF: TEMP, VOLT

**Thermal-Electric Shell**

SHELL157
4 nodes 3-D space
DOF: TEMP, VOLT

**Magnetic Electric**

**Current Source**

SOURC36
3 nodes 3-D space
DOF: MAG

**Magnetic Solid**

PLANE53
8 nodes 2-D space
DOF: VOLT, AZ

**Magnetic-Scalar Solid**

**SOLID96**
8 nodes 3-D space
DOF: MAG

**Magnetic Solid**

**SOLID97**
8 nodes 3-D space
DOF: VOLT, AX, AY, AZ

**Magnetic Interface**

**INTER115**
4 nodes 3-D space
DOF: AX, AY, AZ, MAG

**Magnetic Edge Solid**

**SOLID117**
20 nodes 3-D space
DOF: AZ

**Magnetic-High Frequency**

**HF119**
4 nodes 3-D space
DOF: AX

**Magnetic-High Frequency**

**HF120**
20 nodes 3-D space
DOF: AX

**Electrostatic Solid**

**PLANE121**
8 nodes 2-D space
DOF: VOLT

**Electrostatic Solid**

**SOLID122**
20 nodes 3-D space
DOF: VOLT

**Tetrahedral Electrostatic Solid**

**SOLID123**
10 nodes 3-D space
DOF: VOLT

**General Circuit**

**CIRCU124**
2-6 nodes 3-D space
DOF: VOLT, CURR, EMF

**Coupled-field**

**Coupled-field Solid**

**SOLID5**
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, TEMP, VOLT, MAG

**Coupled-field Solid**

**PLANE13**
4 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, TEMP, VOLT, AZ

**Coupled-field Solid**

**SOLID62**
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, AX, AY, AZ, VOLT

**Tetrahedral Coupled-field Solid**

**SOLID98**
10 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, TEMP, VOLT, MAG

**Contact**

**Point-to-Point**

**CONTAC12**
2 nodes 2-D space
DOF: UX, UY

**Point-to-Ground**

**CONTAC26**
3 nodes 2-D space
DOF: UX, UY

**Point-to-Surface**

**CONTAC48**
3 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, TEMP

**Point-to-Surface**

**CONTAC49**
5 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, TEMP

**Point-to-Point**

**CONTAC52**
2 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

**Contact**

**TARGE169**
3 nodes 2-D space
DOF: UX, UY

Contact

TARGE170
3 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

Contact

CONTA171
2 nodes 2-D space
DOF: UX, UY

Contact

CONTA172
3 nodes 2-D space
DOF: UX, UY

Contact

CONTA173
4 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

Contact

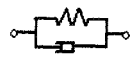
CONTA174
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ

Combination

Revolute Joint

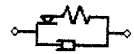
COMBIN7
5 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

Spring-Damper



COMBIN14
2 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ, PRES, TEMP

Control

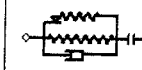


COMBIN37
4 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ, PRES, TEMP

Nonlinear Spring

COMBIN39
2 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ, PRES, TEMP

Combination



COMBIN40
2 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ, PRES, TEMP

Matrix

Stiffness, Mass or Damping Matrix

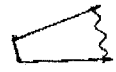
MATRIX27
2 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

Superelement

MATRIX50
2-D or 3-D space
DOF: Any

Infinite

Infinite Boundary



INFIN9
2 nodes 2-D space
DOF: AZ, TEMP

Infinite Boundary

INFIN47
4 nodes 3-D space
DOF: MAG, TEMP

Infinite Boundary

INFIN110
4 nodes 2-D space
DOF: AZ, VOLT, TEMP

Infinite Boundary

INFIN111
8 nodes 3-D space
DOF: MAG, AX, AY, AZ, VOLT, TEMP

Surface

Surface Effect

SURF19
3 nodes 2-D space
DOF: UX, UY, TEMP

Surface Effect

SURF22
8 nodes 3-D space
DOF: UX, UY, UZ, TEMP

# مراجع :


1) Larry J. Segerlind , "Applied Finite Element Analysis ," John Wiley & Sons , 1984 .
2) Kenneth H . Huebner , Earl A . Thornton , "The Finite Element Method for Engineers ," John Wiley & Sons , 1982 .
3) Timoshenko , S . , " Strength of Materials , Part I , Elementary Theory and Problems , " 3rd Edition , D . Van Nostrand Co . , Inc , New York , 1955.
4) Crandall , S . H . , and Dahl , N.C. , " An Introduction to the Mechanics of Solids , " McGraw – Hill Book Co. , Inc. , New York , 1959 .
5) Thomson , W.T. , " Vibration Theory and Applications ," Prentice – Hall , Inc ., Englewood Cliffs , N.J., 2nd Printing , 1965 .
6) Blevins , R.D. , " Formulas for Natural Frequency and Mode Shape ," Van Nostrand Reinhold . Co. , New York , 1979 .
7) Vierck , R.K. , " Vibration Analysis ," 2nd Edition , Harper & Row Publishers , New York , 1979 .
8) J . Chakrabarty , " Theory of Plasticity , " McGraw – Hill Book Co. , Inc ., New York , 1987 .
9) Timoshenko , S . , " Strength of Materials Part II , Advanced Theory and Problems , " 3rd Edition , D . Van Nostrand Co. , Inc . , New York , 1956 .
10) Stephen P.Timoshenko , James M.Gere , " Theory of Elastic Stability , " McGraw – Hill International Editions , 1963 .
11) Stephen W . TSAI , H . Thomas . HN , " Introduction to Composite Materials ," Technomic , 1980 .
12) Norman E . Dowling ,"Mechanical Behavior of Materials," Prentice Hall,1993 .
13) Kreith , F . , " Principles of Heat Transfer , " International Textbook Co. , Scranton , Pennsylvania , 2nd Printing , 1959.
14) Chapman , A.J. , " Heat Transfer ," The Macmillan Co. New York , 1960
15) Siegel ,R. , Howel .J.R , " Thermal Radiation Heat Transfer ," 2nd Edition , Hemispher Publishing Corporation , 1981 .
16) Boley B.A . , and Weiner , J.H. , "Theory of Thermal Stress , " R.E. Krieger Publishers Co. , Malabar , Florida , 1985 .
17) Malcom Crocker , " Handbook of Acoustics , " New York John Willey , 1998
18) Binder , R.C. , " Fluid Mechanics , " 3rd Edition , Prentice – Hall , Inc. , Englewood Cliffs , N.J ., 3rd Printing
19) White , Frank M. , " Fluid Mechanics ," McGraw – Hill Book Company , 1979 .
20) D . Broek , " Elementary Engineering Fracture Mechanics ," Kluwer Academic Pubs , 1986 .
21) Richard W. Hertzberg , " Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials , " New York , John Wiley , 1989 .
22) S.S Rao , " Optimization Theory and Applications , " New Delhi , Wiley Eastern , 1984 .
23) Oden , J.T . " Finite Elements of Nonlinear Continua, " McGraw – Hill book . Co. , Inc , 1972 .
24) K.L . Jahnson , " Contact Mechanics ," Cambridge University Press , 1985 .
25) G.M.L. Gladwell , " Contact Problem in Classical Theory of Elesticity , " Sijthoff and Noordhoff , Alphen aan den Rijn , 1980 .
26) ANSYS Help > Analysis Guide & Theory Manual .

## پیوست ۲ -

در این پیوست روشهای حل در آنالیز مودال به صورت جدول زیر ارائه شده است :

| نام روش | موارد استفاده |
|---|---|
| Subspace Method | در مدلهای متقارن و بزرگ به کار می رود و همچنین کنترل کننده هایی برای حل در اختیار کاربر قرار میدهد |
| Block Lanczos Method | همانند روش Subspace برای مدلهای متقارن و حجیم به کار می رود اما دارای نرخ همگرایی سریعتری نسبت به روش Subspace است و حل گر Sparse Matrix را در هنگام حل به کار می برد . |
| Power Dynamics Method | برای مدلهای بسیار حجیم به کار می رود و معمولاً برای محاسبهٔ چند مود اول برای فهمیدن رفتار سازه مناسب است و سپس با انتخاب یکی از دو روش حل Subspace یا Block Lanczos جواب نهایی مدل محاسبه می شود . این روش به طور خودکار از Lumped Mass Approximation استفاده می کند . |
| Reduced ( Householder ) Method | این روش از روش Subspace سریعتر است زیرا ماتریس فشردهٔ سیستم را در هنگام حل تشکیل می دهد و به همین دلیل دقت آن پایین است . |
| Unsymmetric Method | این روش برای مسائل با ماتریس نا متقارن به کار میرود ( نظیر مسائل سیالاتی - سازه أی موثر بر هم ) |
| Damped Method | این روش در مسائلی که در آنها نمی توان از اثرات میرایی. صرف نظر کرد به کار می رود |

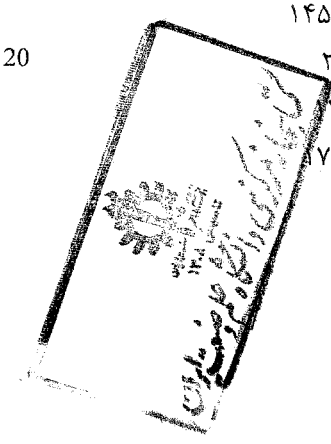
# فهرست موضوعی


آنتالپی ، ۲۱۷
اثر پیش تنش ، ۱۶۹ ، ۱۰۵
اثر تغییر شکل بزرگ ، ۱۶
اثرات میرایی ، ۱۱۹ ، ۱۲۰
ارتعاشات اجباری ، ۱۱۸
المان نمایان ، ۲۳۵
المانهای لایه أی ، ۱۷۸
المانهای میدان کوپله ، ۲۵۶
بار بحرانی ، ۱۷۰ ، ۱۷۶
بارگذاری :
اینرسی ، ۱۶ ، ۹۱
تناوبی ، ۱۱۸
حجمی ، ۱۶ ، ۹۱
خارجی ، ۹۱
سطحی ، ۱۶
متمرکز ، ۱۶
میدان کوپله ، ۱۶
پدیدهٔ گلویی شدن ، ۱۴۵
پردازشگر ، ۱۲
پلاستیسیته :
مستقل از زمان ، ۱۴۵
وابسته به زمان ، ۱۴۵
تابع شکل ، ۳
تابع هدف ، ۳۰۸
تداخل میدانها ، ۲۴۷ ، ۲۵۶
تغییر فاز ، ۲۱۹

Enthalpy , 217
Pre Stress Effect , 105 , 169
Large Deformation Effect , 16
Damping Effects , 119 , 120
Forced Vibration , 118
Visible Element , 235
Layered Element , 178
Coupled Field Elements , 256
Critical Load , 170 , 176
Loading
Inertia Load , 16 , 91
Harmonic Loading , 118
Body Load , 16 , 91
External Load , 91
Surface Load , 16
Concentrated Load , 16
Coupled Field Load , 16
Necking , 145
Processor , 12
Plasticity :
Rate Independent , 145
Rate Dependent , 145
Shape Function , 3
Objective Function , 308
Fields Interaction , 247 , 256
Phase Change , 219

Co ntact :
Surface to Surface , 344
Node to Surface , 344
No de to Node , 344
Stress :
Free Stress , 105
Residual Stress , 148
Thermal Stress , 249
Plane Stress , 20
Pressure Distribution , 265
Stephan – Boltzman Constant , 232
Heat Flow , 205
Ma terial Properties :
Orthotropic , 20 ,181
Isotropic , 20
Nonlinear , 20 , 145
Temperature Dependent , 20
Nodal Solution Data , 17
Element Solution Data , 17
Working Directory , 8
De gree of Freedom , 15
S – N Diagram , 190
$S_m$ – T Diagram , 190
Graphical User Interface , 5
Ev ent , 190
Ri se Time , 135
Hardening :
Kinematic Hardening , 146
Isotropic Hardening , 146
Su perelement , 235
Co mpressible Fluid , 285

تماس :
سطح با سطح ، ۳۴۴
گره با سطح ، ۳۴۴
گره با گره ، ۳۴۴
تنش :
آزاد ، ۱۰۵
پس ماند ، ۱۴۸
حرارتی ، ۲۴۹
صفحه ای ، ۲۰
توزیع فشار صوت ، ۲۶۵
ثابت استفان بولتزمن ، ۲۳۲
جریان حرارتی ، ۲۰۵
خواص ماده :
اورتوتروپیک ، ۲۰ ، ۱۸۱
ایزوتروپیک ، ۲۰
غیر خطی ، ۲۰ ، ۱۴۵
وابسته به دما ، ۲۰
داده های حل المانی ، ۱۷
داده های حل گره ای ، ۱۷
دایرکتوری کاری ، ۸
درجهٔ آزادی ، ۱۵
دیاگرام S – N ، ۱۹۰
دیاگرام $S_m$ – T ، ۱۹۰
رابط گرافیکی کاربر ، ۵
رخداد ، ۱۹۰
زمان برخاست ، ۱۳۵
سخت شوندگی :
سینماتیک ، ۱۴۶
همسانگرد ، ۱۴۶
سوپر المان ، ۲۳۵
سیال تراکم پذیر ، ۲۸۵

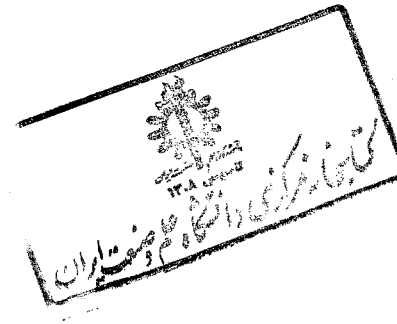


سیال نامتناهی ( جاذب ) ، ۲۶۶
سیال نیوتنی و غیر نیوتنی ، ۲۸۵
سیستم :
باز ، ۲۳۴
بسته ، ۲۳۴
شبکه بندی :
اتوماتیک ، ۲۵
دستی ، ۲۵
شکل مود ، ۱۰۵
ضریب تمرکز تنش ، ۲۹۸
ضریب صدور ، ۲۳۲
ضریب هندسی ، ۲۳۳
عکس گرافیکی ، ۱۰۱
فایل متحرک سازی ، ۱۱۷
فرکانس تشدید ، ۱۰۵
فرکانس طبیعی ، ۱۰۵
کرنش :
خزشی ، ۱۶۱
صفحه أی ، ۲۰
کوپلینگ :
بردار بارگذاری ، ۲۵۶
ماتریسی المان ، ۲۵۶
گرمای نهان ، ۲۱۷
گسترش نتایج ، ۱۳۳
ماتریس تشعشع ، ۲۳۴
ماکرو ، ۵
مترجم ، ۵
متغیر حالت ، ۳۰۷
متغیر طراحی ، ۳۰۷
محصول ، ۷

Infinite Fluid , 266
Newtonian & NonNewtonian Fluid , 285
System :
Open System., 234
Close System , 234
Meshing :
Free ( Automatic ) Meshing , 25
Mapp Meshing , 25
Mode Shape , 105
Stress Intensity Factor , 298
Emmisivities , 232
Form Factor , 233
Image , 101
Animation File , 117
Resonant Frequency , 105
Natural Frequency , 105
Strain:
Creep Strain , 161
Plane Strain , 20
Coupling:
Load Vector Coupling , 256
Matrix Coupling , 256
Latent Heat , 217
Expanding , 133
Radiation Matrix , 234
Macro , 5
Translator , 5
State Variable , 307
Design Variable , 307
Production , 7

مختصات :
استوانی ، ۱۳
دکارتی ، ۱۳
کاری ، ۱۳، ۶۶
کروی ، ۱۳
مدول الاستیسیته ، ۹۱
مسائل متقارن محوری ، ۲۰
معیار تسلیم ، ۱۴۶
معیار شکست ، ۱۷۹
معیار وان مایز ، ۱۴۶
منحنی Mooney – Rivilin ، ۳۳۶
مولفهٔ انتخاب ، ۳۳۲ ، ۳۴۸
نسبت پواسون ، ۹۱
هدایت همرفت ، ۲۰۵ ، ۲۱۸
هندسهٔ غیر خطی ، ۱۴۵

Co ordinate System :
Cy lendrical , 13
Ca rtesian , 13
W orkingPlane , 13 , 66
Sp herical , 13
Yo ung's Modulus , 91
Axisymmetric Problems , 20
Yi eld Criteria , 146
Fa ilure Criteria , 179
Von Mises Criteria , 146
Mooney – Rivilin Curve , 336
Co mponent , 332 , 348
Po isson's Ratio , 91
Co nvection , 205 , 218
Geometery Nonlinearity , 145



# INDEX


Acoustic , 265

Animation File , 117

Axisymmetric Problems , 20

Buckling , 169

Component , 332 , 348

Composites , 178

Compressible Fluid , 285

Contact :

- Node to Node , 344
- Node to Surface , 344
- Surface to Surface , 344

Convection , 205 , 218

- Coordinate System
- Cartesian , 13
- Cylendrical , 13
- Spherical , 13
- WorkingPlane , 13 , 66

Coupled Field Elements , 256

Coupling :

- Load Vector Coupling , 256
- Matrix Coupling , 256

Creep , 161

Critical Load , 170 , 176

Damping Effects , 119 ,120

Degree of Freedom , 15

Design Variable , 307

Element Solution Data , 17

Emmisivities , 232

Enthalpy , 217

آکوستیک ، ۲۶۵

فایل متحرک سازی ، ۱۱۷

مسائل متقارن محوری ، ۲۰

کمانش ، ۱۶۹

مولفهٔ انتخاب ، ۳۳۲ ، ۳۴۸

مواد مرکب ، ۱۷۸

سیال تراکم پذیر ، ۲۸۵

تماس :

- گره با گره ، ۳۴۴
- گره با سطح ، ۳۴۴
- سطح با سطح ، ۳۴۴

همرفت ، ۲۰۵ ، ۲۱۸

سیستم مختصات :

- دکارتی ، ۱۳
- استوانی ، ۱۳
- کروی ، ۱۳
- کاری ، ۱۳ ، ۶۶

المانهای میدان کوپله ، ۲۵۶

کوپلینگ :

- بردار بارگذاری ، ۲۵۶
- ماتریسی المان ، ۲۵۶

خزش ، ۱۶۱

بار بحرانی ، ۱۷۰ ، ۱۷۶

اثرات میرایی ، ۱۱۹ ، ۱۲۰

درجهٔ آزادی ، ۱۵

متغیر طراحی ، ۳۰۷

داده های حل المانی ، ۱۷

ضریب صدور ، ۲۳۲

آنتالپی ، ۲۱۷

Event , 190

Expanding , 133

Failure Criteria , 179

Fatigue , 189

Fields Interaction , 247 , 256

Forced Vibration , 118

Form Factor , 233

Geometery Nonlinearity , 145

Graphical User Interface , 5

Hardening :

Kinematic Hardening , 146

Isotropic Hardening , 146

Heat Flow , 205

Image , 101

Infinite Fluid , 266

Large Deformation Effect ,16

Latent Heat , 217

Layered Element , 178

Loading :

Body Load , 16 , 91

Concentrated Load , 16

Coupled Field Load , 16

External Load , 91

Harmonic Loading ,118

Inertia Load , 16 , 91

Surface Load , 16

Macro , 5

Material Properties :

Isotropic , 20

Nonlinear , 20 , 145

Orthotropic , 20 , 181

رخداد ، ۱۹۰

گسترش نتایج ، ۱۳۳

معیار شکست ، ۱۷۹

خستگی ، ۱۸۹

تداخل میدانها ، ۲۴۷ ، ۲۵۶

ارتعاشات اجباری ، ۱۱۸

ضریب هندسی ، ۲۳۳

هندسهٔ غیر خطی ، ۱۴۵

رابط گرافیکی کاربر ، ۵

سخت شوندگی :

سینماتیک ، ۱۴۶

همسانگرد ، ۱۴۶

جریان حرارتی ، ۲۰۵

عکس گرافیکی ، ۱۰۱

سیال نامتناهی ( جاذب ) ، ۲۶۶

اثر تغییر شکل بزرگ ، ۱۶

گرمای نهان ، ۲۱۷

المان لایه أی ، ۱۷۸

بارگذاری :

حجمی ، ۱۶ ، ۹۱

متمرکز ، ۱۶

میدان کوپله ، ۱۶

خارجی ، ۹۱

تناوبی ، ۱۱۸

اینرسی ، ۱۶ ، ۹۱

سطحی ، ۱۶

ماکرو ، ۵

خواص ماده :

ایزوتروپیک ، ۲۰

غیر خطی ، ۲۰ ، ۱۴۵

اورتوتروپیک ، ۲۰ ، ۱۸۱

شماره ثبت
39828

کتابخانه مرکزی دانشگاه علم و صنعت ایران

وابسته به دما ، ۲۰
شبکه بندی :
دستی ، ۲۵
اتوماتیک ، ۲۵
شکل مود ، ۱۰۵
منحنی Mooney – Rivilin ، ۳۳۶
فرکانس طبیعی ، ۱۰۵
پدیدهٔ گلویی شدن ، ۱۴۵
سیال نیوتنی و غیر نیوتنی ، ۲۸۵
داده های حل گره أی ، ۱۷
تابع هدف ، ۳۰۸
تغییر فاز ، ۲۱۹
پلاستیسیته :
وابسته به زمان ، ۱۴۵
مستقل از زمان ، ۱۴۵
نسبت پواسون ، ۹۱
اثر پیش تنش ، ۱۰۵ ، ۱۶۹
توزیع فشار صوت ، ۲۶۵
پردازشگر ، ۱۲
محصول ، ۷
تشعشع ، ۲۳۲
ماتریس تشعشع ، ۲۳۴
فرکانس تشدید ، ۱۰۵
زمان برخاست ، ۱۳۵
دیاگرام S – N ، ۱۹۰
تابع شکل ، ۳
دیاگرام $S_m$ – T ، ۱۹۰
متغیر حالت ، ۳۰۷
ثابت استفان – بولتزمن ، ۲۳۲
کرنش :
خزشی ، ۱۶۱

Temperature Dependent , 20
Meshing :
Mapped , 25
Free , 25
Mode Shape , 105
Mooney – Rivilin Curve , 336
Natural Frequency , 105
Necking , 145
Newtonian & NonNewtonian Fluid , 285
Nodal Solution Data , 17
Objective Function , 308
Phase Change , 219
Plasticity :
Rate Dependent , 145
Rate Independent , 145
Poisson's Ratio , 91
Pre Stress Effect , 105,169
Pressure Distribution , 265
Processor , 12
Production , 7
Radiation , 232
Radiation Matrix , 234
Resonant Frequency , 105
Rise Time , 135
S – N Diagram , 190
Shape Function , 3
$S_m$ – T Diagram , 190
State Variable , 307
Stephan–Boltzman Constant , 232
Strain :
Creep Strain , 161

Plane Strain , 20
Stress :
Free Stress , 105
Plane Stress , 20
Residual Stress , 148
Thermal Stress , 249
Stress Intensity Factor , 298
Superelement , 235
System :
Close System , 234
Open System , 234
Translator , 5
Visible Element , 235
Von Mises Criteria , 146
Working Directory , 8
Yield Criteria ,146
Young's Modulus , 91

صفحه أی ، ۲۰
تنش :
آزاد ، ۱۰۵
صفحه أی ، ۲۰
پسماند ، ۱۴۸
حرارتی ، ۲۴۹
ضریب تمرکز تنش ، ۲۹۸
سوپر المان ، ۲۳۵
سیستم :
بسته ، ۲۳۴
باز ، ۲۳۴
مترجم ، ۵
المان نمایان ، ۲۳۵
معیار وان مایز ، ۱۴۶
دایرکتوری کاری ، ۸
معیار تسلیم ، ۱۴۶
مدول یانگ ، ۹۱

شماره ثبت
39828

کتابخانه مرکزی دانشگاه علم و صنعت ایران

روش اجزاء محدود FEM بدون شک تحولی عظیم در علوم مهندسی است که در دو دهۀ آخر هزارۀ دوم میلادی باعث دگرگونی اساسی در صنعت جهان شد . بسیاری از پروسه های طراحی و تحلیل اکنون بر FEM استوار است . این امر باعث گردید تا نرم افزارهای FEM به عنوان یک ابزار طراحی و تحلیل تهیه و پس از احراز صلاحیت های لازم در اختیار صنایع و مراکز علمی قرار گیرد . بهمین منظور کدهای مختلف تجاری FEM تهیه و به بازار علمی و تجاری دنیا ارائه شد . در صنایع داخلی نیز چند سالی است که روش اجزاء محدود به عنوان یک روش کارآمد مورد نظر مهندسان ارشد قرار گرفته است . روند رو به رشد این توجه انکار ناپذیر است . این امر باعث گردیده است تا نرم افزارهای تجاری FEM نیز راه خود را به مراکز علمی و صنعتی باز نموده و مورد استفادۀ کاربران قرار گیرد . متاسفانه به علت اینکه در بسیاری از حالات این نرم افزارها بدون آموزش قابلیتها و نحوۀ بکارگیری صحیح در اختیار و مورد استفادۀ کاربران قرار می گیرد ، امکان بهره برداری غیر علمی از آن وجود دارد . نرم افزار ANSYS از جمله نرم افزارهای FEM است که امروزه در دسترس اکثر مراکز دانشگاهی و صنعتی می باشد . گرچه نرم افزارهای تجاری FEM در رده های مختلف می باشند اما نرم افزارهای عمومی نظیر ABAQUS ، ANSYS و NASTRAN از جمله نرم افزارهای معتبر همه منظورۀ FEM است . ویژگی خاص نرم افزار ANSYS طراحی آن برای صنایع و با هدف کاربرد صنعتی است . گرچه استفاده از آن برای امور تحقیقاتی نیز مناسب است .

هدف از تهیۀ خودآموز حاضر ارائۀ یک مرجع برای مهندسان صنایع و دانشجویان رشته های فنی و مهندسی جهت بکارگیری صحیح این نرم افزار می باشد تا پس از موشکافی و ارزشیابی علمی نتایج و درایت مهندسی کاربر ، قابل استفاده باشد. امید است خودآموز حاضر در این امر کاربران را یاری نماید.

ISBN 964-454-382-3

9789644543821

مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران - شماره : ۳۲۳

دانشگاه علم و صنعت ایران

ANSYS

تالیف : حمید رضا جاهد مطلق ، رضا نوبان ، مح

۸۸

TA
345.5
.A57J3
1379
ن.۲