تحلیل دینامیکی گذرا برای رایزرهای مربوط به سکوهای دریایی در برابر امواج دریا

تهیه و تنظیم: مرتضی حسین پور فاضل
mhpfazel@yahoo.com

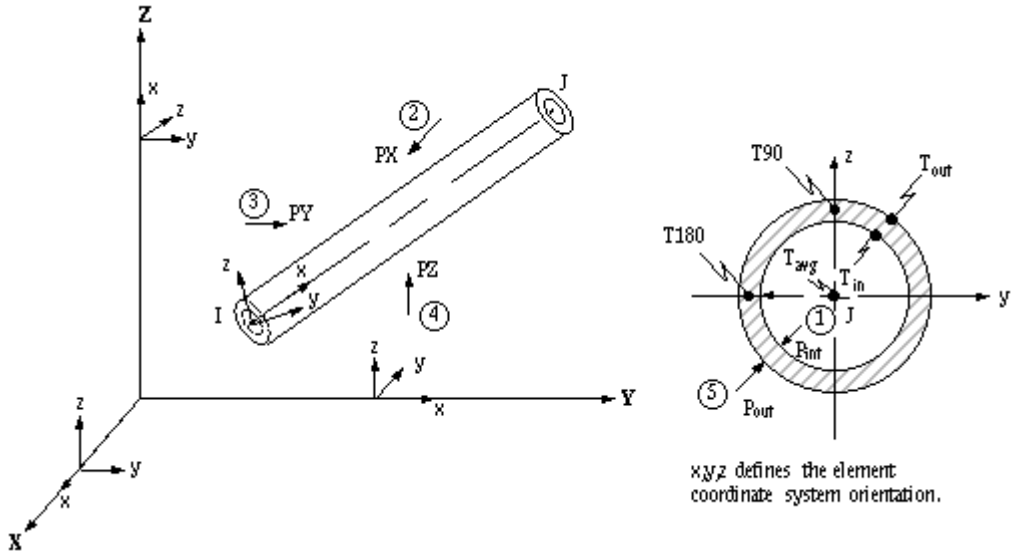
۱. مقدمه

سازه های دریایی که مهمترین آنها سکوهای نفتی و لوله های انتقال نفت هستند، همواره در معرض نیروی های وارد از سوی امواج سطحی قرار دارند. در تصویر ۱ نمونه‌ای از این سکوها نشان داده شده است.

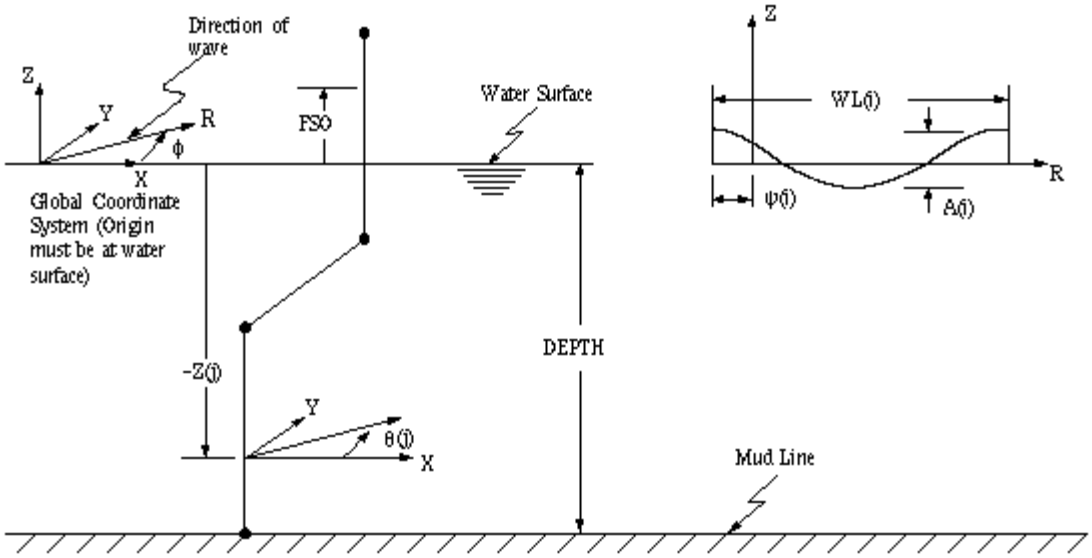
تصویر ۱ نمای یک سکوی دریای

در این مثال در مورد نحوه اعمال بار موج در برنامه ANSYS توضیح داده می شود. بطور کلی این نرم افزار توانایی مدل کردن جریان پایدار امواج آب بر روی سازه های دریایی را دارد. البته باید توجه داشت که تأثیراتی مثل موج و شناوری و بازدارندگی را تنها بر روی المان لوله ای PIPE59 می توان اعمال نمود. بارگذاری موج می تواند به صورت استاتیکی یا دینامیکی گذرا باشد. مشخصات هندسی المان در تصویر ۳ و جزئیات تعریف مصالح آن (Water Table) در تصویر ۳ نشان داده شده است.

ANSYS HELP.IR



تصویر ۲مشخصات هندسی المان PIPE 59



تصویر ۳ مشخصات مصالح Water Table در المان PIPE 59

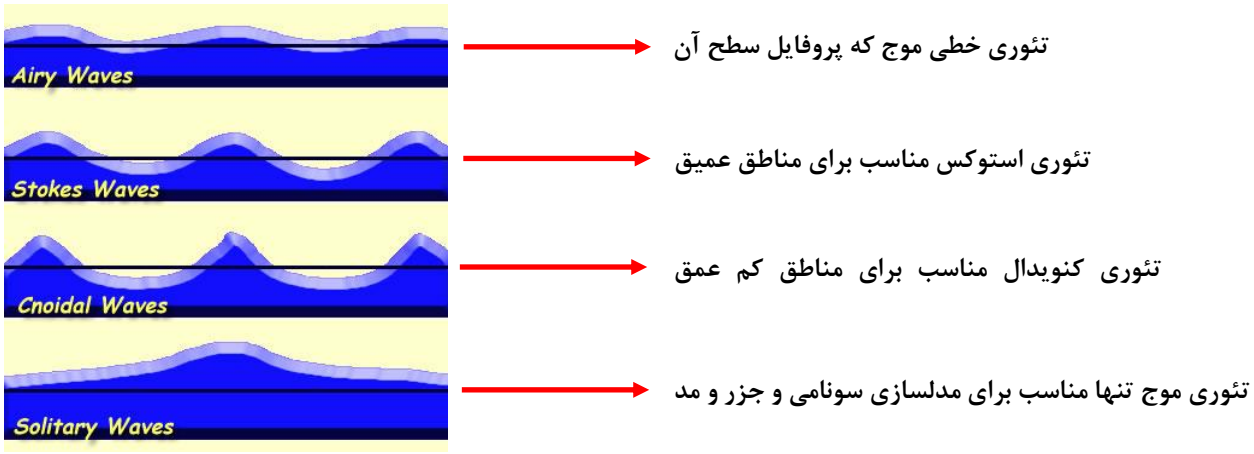
۲. سازه مورد بررسی

در این مثال قصد داریم بار موج را روی لوله ای که نفت را از کف دریا به سکویی در 10m سطح دریا جابجا می کند (این لوله Riser نامیده می شود- تصویر ۴) ایجاد کنیم. طولی از این لوله به مقدار 70m درون آب دریا با چگالی 1025 kg/m³ قرار دارد. در سطح دریا امواجی به ارتفاع (از فراز تا فرود) H=12.2m وجود دارند. پریود موج T=11 s و زاویه فاز آن 0 می باشد.

ANSYS HELP.IR

تصویر ۴ نمای لوله Riser

قطر خارجی لوله 520mm و ضخامت آن 22mm است. لوله از جنس فولاد با مدول الاستیسیته 210Gpa و چگالی $7850\ kg/m^3$ ساخته شده است و درون آن، نفت با چگالی $880\ kg/m^3$ جریان دارد. ضریب دراگ و ضریب اینرسی لوله در مقابل امواج دریا بترتیب $C_D=0.7$ و $C_M=2$ در نظر گرفته شده است. لوله در کف دریا کاملاً گیردار و در تراز عرشه سکو به گونه ای ثابت شده است که اجازه جابجایی ندارد ولی دوران آن آزاد است. با توجه به مقادیر داده شده تئوری مناسب برای مدل کردن امواج، تئوری استوکس مرتبه پنجم میباشد. در تصویر ۵ تئوریهای مدلسازی انواع امواج مختلف نشان داده شده است.



تصویر ۵ تئوریهای مختلف مدلسازی امواج

مشخصات بکار رفته در این مدل عبارتند از:

- نوع المان: PIPE59
- نوع مصالح: الاستیک خطی
- مدول الاستیسیته: 2.1E11
- ضریب پواسون: 0.35
- واحدها: m , kg , N

ANSYS HELP.IR

۳. اهداف

- آشنایی با نحوه مدلسازی سازه های دریایی تحت تأثیر امواج
- رسم نمودار تاریخچه زمانی جابجایی مربوط به گرهی که بیشترین جابجایی جانبی را در اثر موج دارد
- رسم نمودار تاریخچه زمانی عکس العمل تکیه گاهی افقی در تراز عرشه سکو.

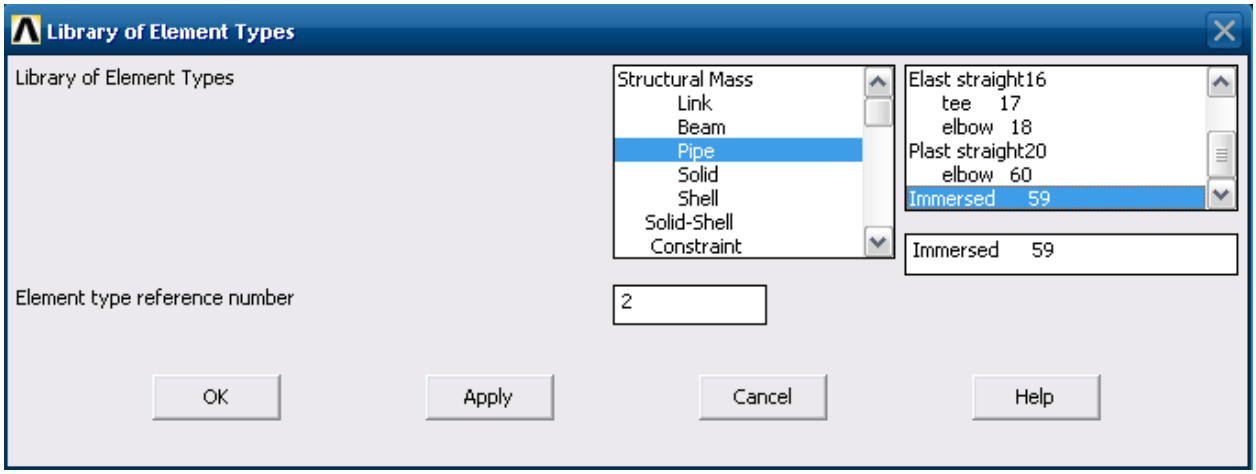
۴. ساخت مدل

۴. ۱. گام اول : تعیین نوع المان

مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Preprocessor→Element Type→Add/Edit/Delete

دکمه Add… را کلیک کنید. در پنجره باز شده، در مقابل Library of Element Types از ستون سمت چپ، گزینه Pipe و از ستون سمت راست، گزینه Immersed 59 را انتخاب و دکمه OK را کلیک نمایید.



بدین ترتیب المان PIPE59 در پنجره Element Types ظاهر میشود. حال دکمه Close را کلیک کنید.

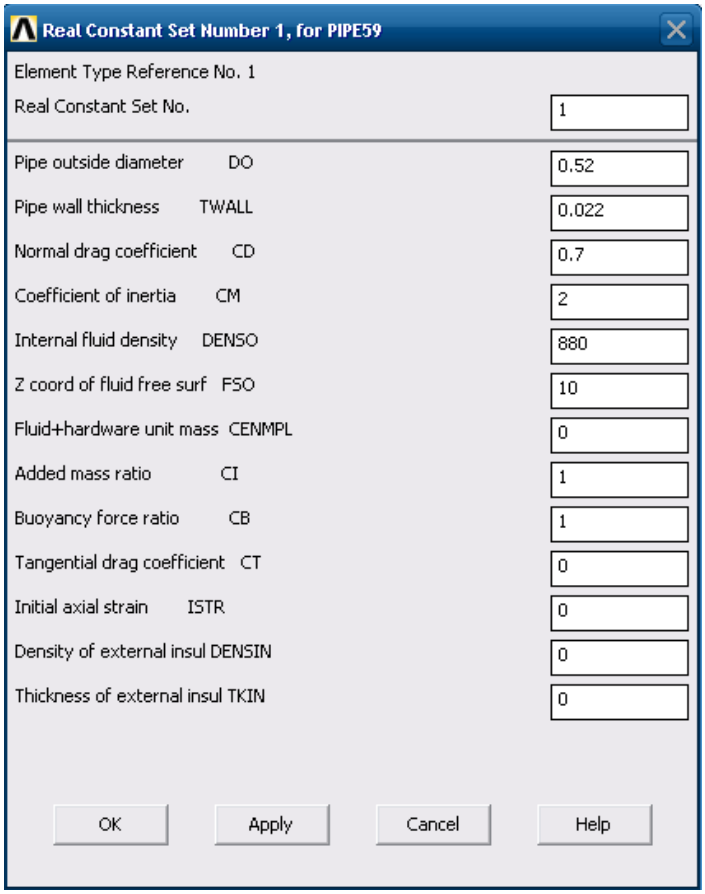
۴. ۲. گام دوم : تعیین ثوابت هندسی

مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Preprocessor→Real Constants→Add/Edit/Delete

در پنجره Real Constants دکمه Add… را کلیک کنید. در پنجره Element Type for Real Constants دکمه OK را کلیک کنید. در پنجره Real Constant Set Number 1, for PIPE59 مقادیر زیر را وارد کنید :

ANSYS HELP.IR



۴. ۳. گام سوم : تعیین خصوصیات مواد

۴. ۳. ۱. مشخصات مصالح فولادی

برای تعریف مشخصات مصالح (مدول الاستیسیته و ضریب پواسون) مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Preprocessor→Material Props→Material Models

در پنجره Define Material Model Behavior در قسمت Material Models Available مسیر زیر را دنبال کنید :

Structural→Linear→Elastic→Isotropic

در پنجره باز شده، در مقابل EX عدد 2.1E11 و در مقابل PRXY عدد 0.35 را وارد کرده و دکمه OK را کلیک کنید.

برای تعریف چگالی مجدداً در همان قسمت بالا، مسیر زیر را دنبال و مقدار چگالی را در قسمت DENS برابر 7850 وارد نمایید :

Structural→Density

مقدار میرایی در مسیر زیر تعریف می‌شود. مقدار نسبت میرایی مصالح فولاد را با لحاظ کردن 3% میرایی سازه ای و 2% میرایی هیدرودینامیکی، و مجموعاً $\xi = 5\%$ ، در قسمت DAMP برابر 0.05 وارد نمایید :

Structural→Damping→Constant

۴. ۳. ۲. مشخصات مصالح آب

برای تعریف مشخصات مصالح آب (تئوری مورد استفاده برای مدلسازی موج، عمق آب در محل سازه، چگالی آب دریا، جهت حرکت موج، ارتفاع و پریود موج مورد نظر) در پنجره Define Material Model Behavior در قسمت Material Models Available مسیر زیر را دنبال کنید :

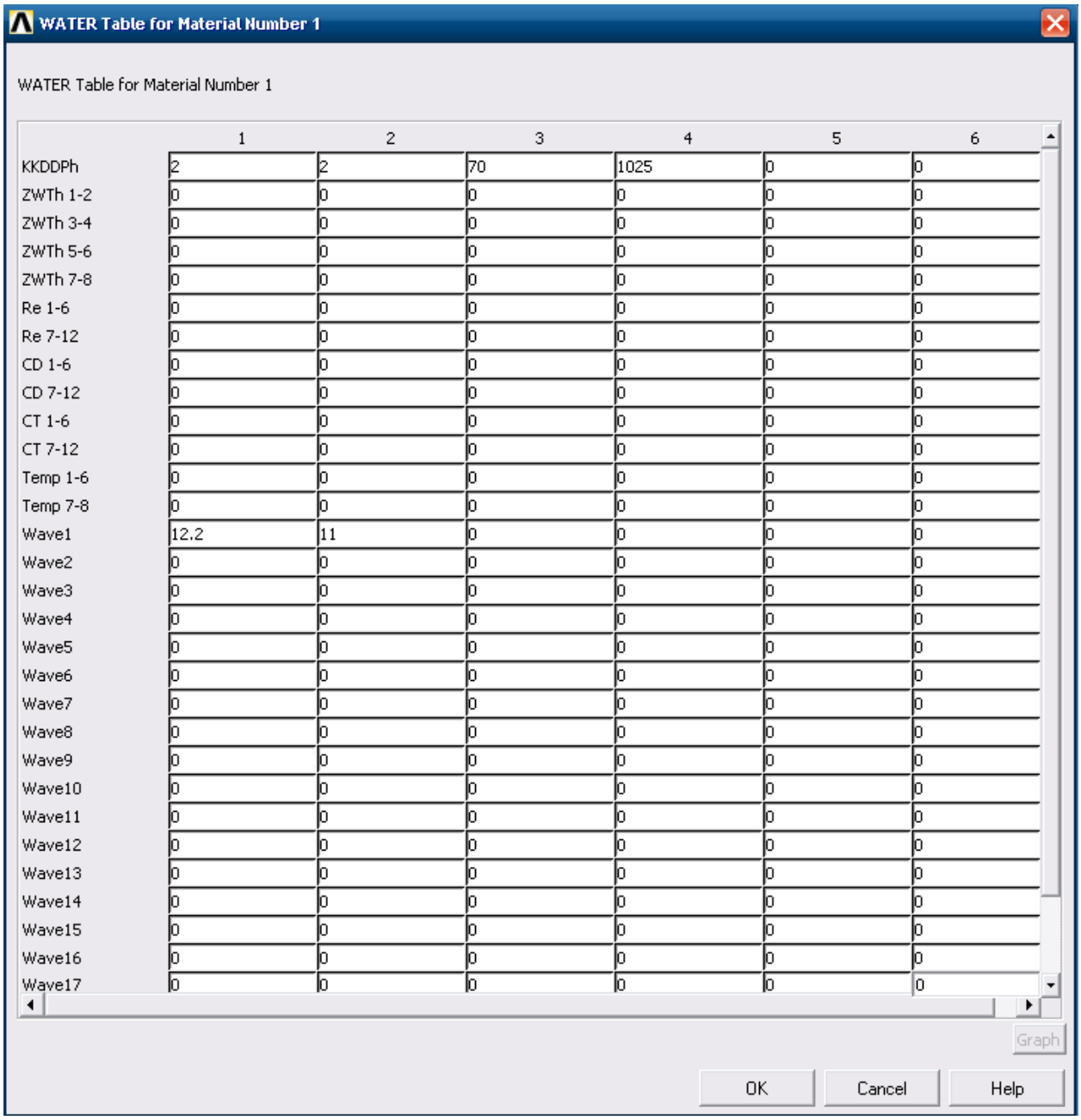
Fluids→Water Table

در پنجره باز شده ستون های 1,2,3,4,5 در سطر KKDDPh ، بترتیب شماره عبارتند از، تئوری مورد نظر جهت مدلسازی موج (در این مثال، برای استوکس مرتبه پنجم کد مربوطه عدد 2 میباشد. جهت مطالعه کد مربوط به تئوری های دیگر به help همین پنجره مراجعه شود)، نحوه اندر کنش موج و جریان ها (که در این مثال، کد مربوط به اندرکنش موج و جریان را 2 در نظر می

ANSYS HELP.IR

گیریم، هر چند در این مثال جریانی وجود ندارد)، عمق آب در محل سازه می باشد (که در این مثال عمق آب در محل سازه 70m می باشد)، چگالی آب دریا در محل سازه می باشد (که در این مثال 1025 kg/m^3 می باشد)، زاویه انتشار موج نسبت به محور x می باشد (که در این مثال زاویه انتشار موج در راستای x بوده و زاویه مربوطه صفر می باشد)

در همین پنجره ستون های 1,2 در سطر Wave 1 ارتفاع و پریود موج می باشند که در این مثال بترتیب 12.2m و 11s وارد می شوند، بنابراین نمای کلی از پنجره Water Table برای این مثال بصورت زیر خواهد بود :



	1	2	3	4	5	6
KKDDPh	2	2	70	1025	0	0
ZWTh 1-2	0	0	0	0	0	0
ZWTh 3-4	0	0	0	0	0	0
ZWTh 5-6	0	0	0	0	0	0
ZWTh 7-8	0	0	0	0	0	0
Re 1-6	0	0	0	0	0	0
Re 7-12	0	0	0	0	0	0
CD 1-6	0	0	0	0	0	0
CD 7-12	0	0	0	0	0	0
CT 1-6	0	0	0	0	0	0
CT 7-12	0	0	0	0	0	0
Temp 1-6	0	0	0	0	0	0
Temp 7-8	0	0	0	0	0	0
Wave1	12.2	11	0	0	0	0
Wave2	0	0	0	0	0	0
Wave3	0	0	0	0	0	0
Wave4	0	0	0	0	0	0
Wave5	0	0	0	0	0	0
Wave6	0	0	0	0	0	0
Wave7	0	0	0	0	0	0
Wave8	0	0	0	0	0	0
Wave9	0	0	0	0	0	0
Wave10	0	0	0	0	0	0
Wave11	0	0	0	0	0	0
Wave12	0	0	0	0	0	0
Wave13	0	0	0	0	0	0
Wave14	0	0	0	0	0	0
Wave15	0	0	0	0	0	0
Wave16	0	0	0	0	0	0
Wave17	0	0	0	0	0	0

در نهایت پنجره Define Material Model Behavior را ببندید.

۴. ۴. گام چهارم : ایجاد مدل اجزای محدود

۴. ۴. ۱. قسمت اول : تعریف نقاط اصلي (keypoints)

با استفاده از مسیر زیر، نقاط راایجاد کنید :

Main Menu→Preprocessor→Modeling→Create→Keypoints→In Active CS

ANSYS HELP.IR

نقاط 1,2 را با توجه به جدول زیر ایجاد کنید :

شماره نقطه	X	Y	Z
1	0	0	-70
2	0	0	10

۴. ۴. ۲. قسمت دوم : تعریف خط بین دو نقطه اصلي (line)

مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Preprocessor→Modeling→Create→Lines→Lines→Straight Line

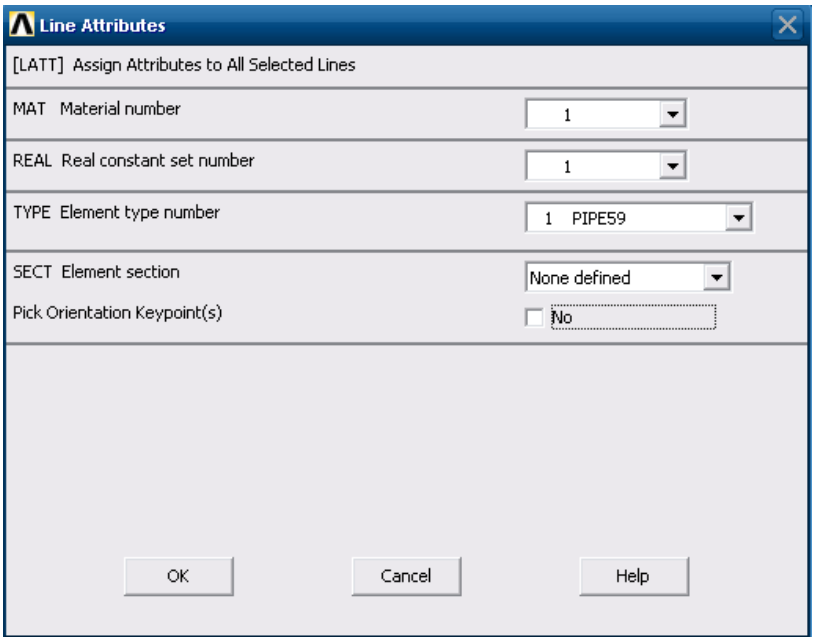
نقاط 1,2 را انتخاب و دکمه OK را در پنجره انتخاب کلیک کنید.

۴. ۴. ۳. قسمت سوم : نسبت دادن مشخصات به خط (نوع المان، مشخصات المان و نوع مصالح)

مسیر زیر را طی کرده و همه مشخصات از قبل تعریف شده را به خط ایجاد شده نسبت دهید :

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Mesh Attributes→All Lines

با چک کردن مشخصات موجود روی دکمه OK کلیک کنید :



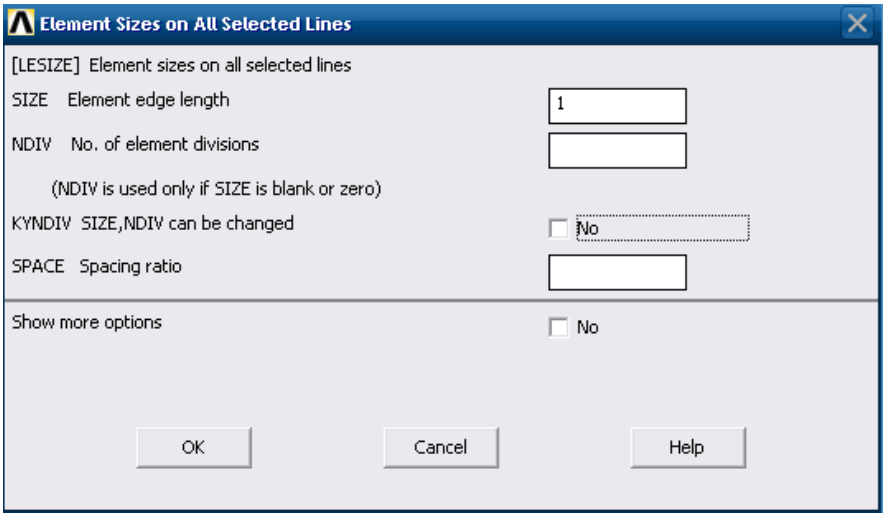
۴. ۴. ۴. قسمت چهارم : تعیین سایز المان ها

مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Size Cntrls→ManualSize→Lines→All Lines

در پنجره باز شده، در مقابل SIZE Element edge length عدد 1 را وراد نمایید تا خط را از هر یک متر به یک متر تقسیم بندی کند :

ANSYS HELP.IR



۴. ۴. ۵. قسمت پنجم : مش بندي خط

مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Preprocessor→Meshing→Mesh→Lines

دکمه Pick All را در پنجره انتخاب کلیک کنید.

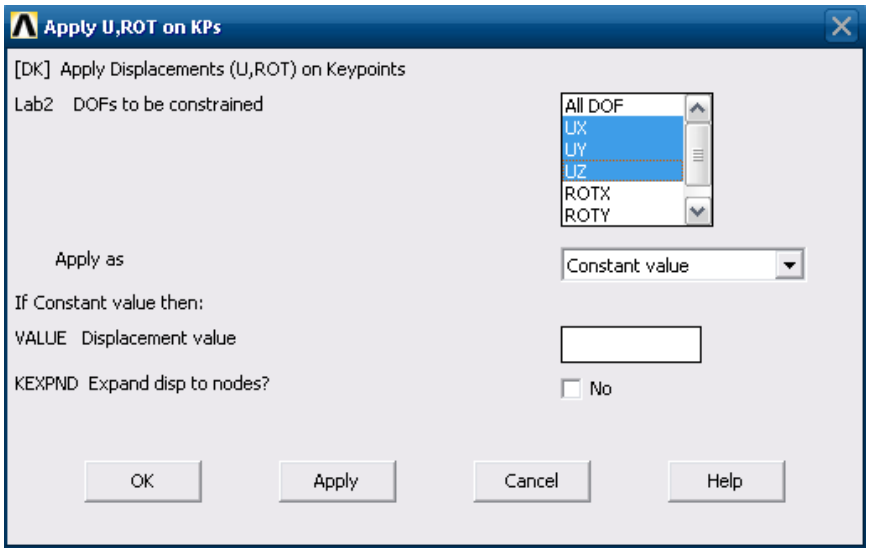
۵. مرحله حل

۵. ۱. گام اول : اعمال قیود

جهت تعریف تکیه گاه گیردار در تراز بستر دریا و تکیه گاه ساده در تراز عرشه سکو، مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Solution→Define Loads→Apply→Structural→Displacement→On Keypoints

در پنجره باز شده، نقطه 1 را انتخاب و دکمه OK را کلیک کنید. در پنجره جدیدی که باز می شود، در مقابل Lab2 DOFs to be constrained گزینه ALL DOF را انتخاب کنید و دکمه OK را کلیک کنید. به همین ترتیب مطابق شکل زیر برای نقطه 2 نیز فقط گزینه های UX,UY,UZ را انتخاب کرده و دکمه OK را کلیک کنید تا قیود بر روی مدل اعمال شوند :



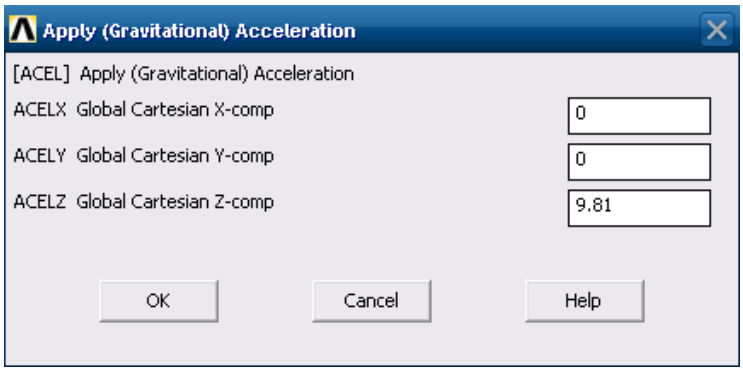
۵. ۲. گام دوم : اعمال شتاب ثقل

جهت تعریف شتاب ثقل g ، مسیر زیر را دنبال کنید :

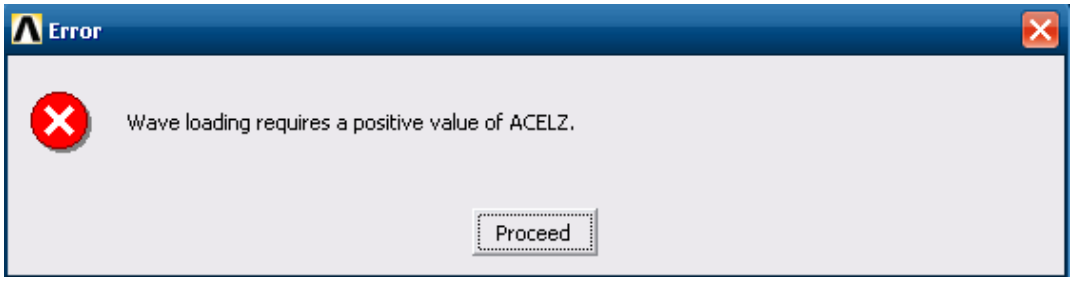
Main Menu→Solution→Define Loads→Apply→Structural→Inertia→Gravity→Global

ANSYS HELP.IR

در پنجره باز شده مطابق شکل زیر، در مقابل ACELZ عدد 9.81 را وارد کنید :



توجه شود که در مدلسازی سازه های دریایی در ANSYS، بمنظور اعمال بار موج، باید همواره شتاب ثقل منظور شود و راستای آن همواره به سمت Z باشد. چنانچه شتاب ثقل را در راستا های دیگری به غیر از Z تعریف کنید ، تحلیل سازه صورت نگرفته و خطایی با پیغام زیر می دهد :



بنابراین در مدلسازی سازه های دریایی باید دقت شود که قسمت فوقانی سازه همواره به سمت Z لحاظ شود.

لازم بذکر است که اعمال بار موج در نرم افزار ANSYS بر اساس معادله موریسن بصورت زیر می باشد :

$$F = \frac{1}{2}C_D\rho D(v_W + v_C + v_S)|v_W + v_C + v_S| + \frac{\rho\pi D^2}{4}(C_M a_W + C_a a_S)$$

که در آن F نیروی موج وارد بر واحد طول لوله، C_D ضریب پسایی ، C_M ضریب اینرسی، C_a ضریب جرم افزوده، v_W سرعت حرکت ذرات آب ناشی امواج، v_C سرعت حرکت ذرات آب ناشی از جریان در صورت وجود، v_S سرعت حرکت سازه ناشی از ارتعاش، a_W و a_S به ترتیب شتاب حرکت ذرات آب ناشی از امواج و شتاب حرکت سازه ناشی از ارتعاش و ρ جرم مخصوص آب دریا می باشد.

۵. ۳. گام سوم : تعیین نوع آنالیز

مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Solution→Analysis Type→New Analysis

در پنجره باز شده، گزینه Transient را انتخاب و دکمه OK را کلیک کنید.

در پنجره جدیدی که باز می شود، در مقابل Solution method گزینه Full را انتخاب و دکمه OK را کلیک کنید.

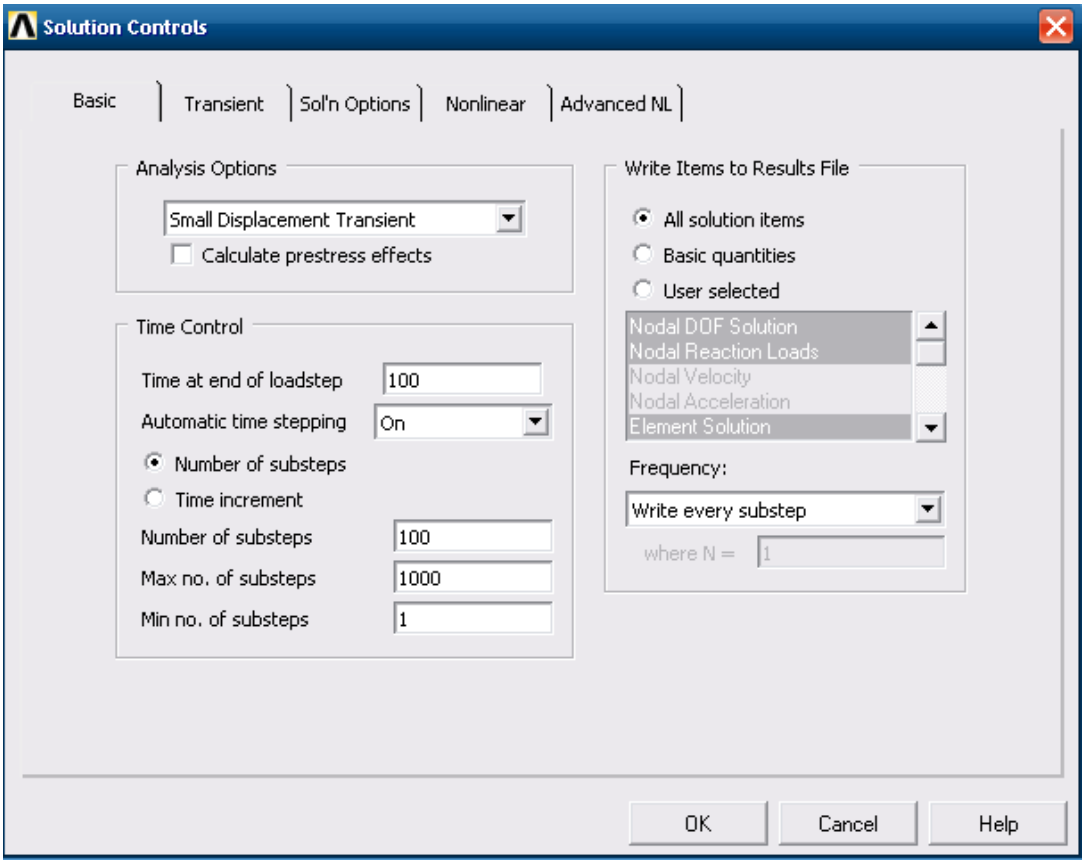
۵. ۴. گام چهارم : تنظیمات مربوط به کنترل حل

مسیر زیر را دنبال کنید :

ANSYS HELP.IR

Main Menu→Solution→Analysis Type→Sol'n Controls

در پنجره باز شده، زبانه Basic را کلیک کرده و تنظیمات مربوطه را مطابق شکل زیر انجام دهید :



همان طور که از شکل بالا مشاهده می شود، زمان کل اعمال بار موج روی سازه را 100s در نظر گرفتیم و substep های اولیه مربوطه را 100 لحاظ کردیم، ولی چون مقابل Automatic time stepping گزینه On را انتخاب کردیم خود برنامه تا همگرا شدن پاسخ ها این Substep ها را اتوماتیک تنظیم می کند.

۵. ۵. گام پنجم : حل

مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→Solution→Solve→Current LS

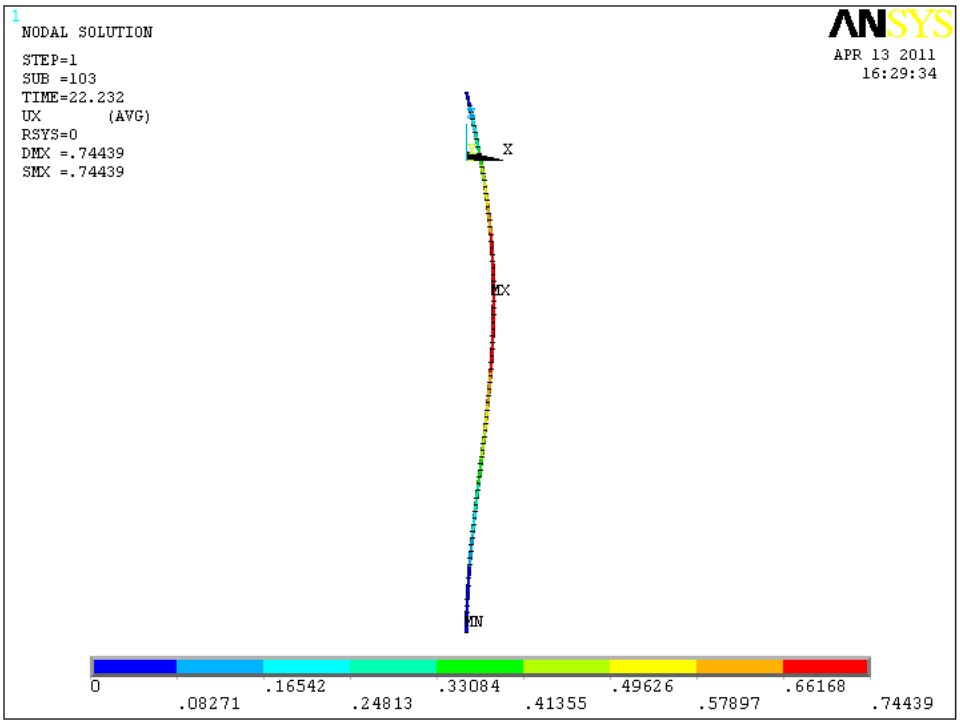
ابتدا پنجره سفید رنگ حاوی اطلاعات مسئله را کنترل کرده و سپس ببندید، سپس دکمه OK را در پنجره Solve Current Load Step کلیک کنید. پنجره حاوی پیغام !Solution is done را ببندید. حال مرحله حل به پایان رسیده است.

۶. مرحله پس پردازش

۶. ۱. گام اول مشاهده نمودار تاریخچه زمانی جابجایی حداکثر

هدف ترسیم نمودار تاریخچه زمانی مربوط به گرهی است که بیشترین جابجایی جانبی را در اثر موج دارد. با توجه به نتایج بررسی شده، بیشترین دامنه جابجایی، مربوط به گره شماره 51 می باشد که در عمق 21m سطح دریا واقع شده است و میزان جابجایی آن 74.44 cm بدست آمده است :

ANSYS HELP.IR



مسیر زیر را دنبال کنید :

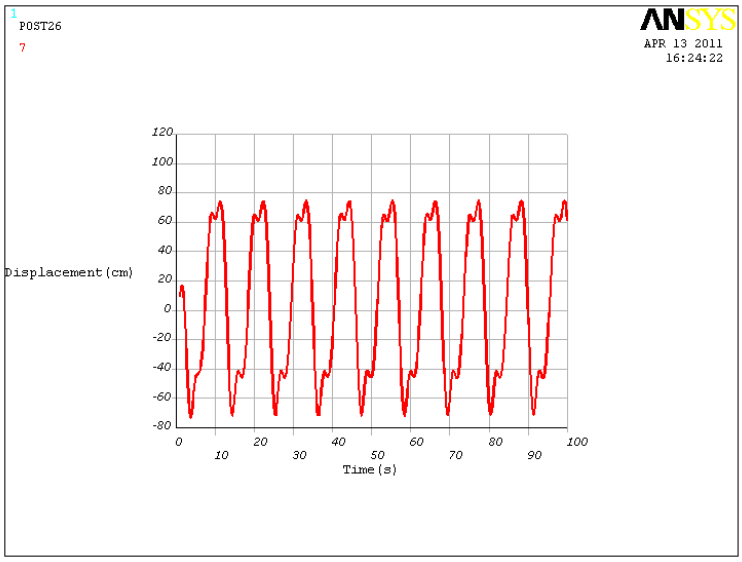
Main Menu→TimeHist Postpro

در پنجره باز شده دکمه را کلیک کنید و در پنجره جدیدی که باز می شود، مسیر زیر را طی کنید :

Nodal Solution→DOF Solution→X-Component of displacement

گره شماره 51 را انتخاب کنید تا اطلاعات مربوط به جابجایی این گره نسبت زمان وارد پنجره Time History Variable شود.

سپس با کلیک روی دکمه نمودار تاریخچه زمانی جابجایی این نقطه از رایزر تحت اثر موجی به ارتفاع 12.2 m و پریود 11 s را در راستای x بصورت زیر مشاهده فرمایید :



همچنانکه مشاهده می شود جابجایی گره 51 از هر 11 ثانیه که همانا پریود موج می باشد، به مقادیر پیک مثبت خود می رسد

ANSYS HELP.IR

۶. ۲. گام دوم : ترسیم نمودار تاریخچه زمانی مؤلفه افقی عکس العمل تکیه گاهی در تراز عرشه سکو

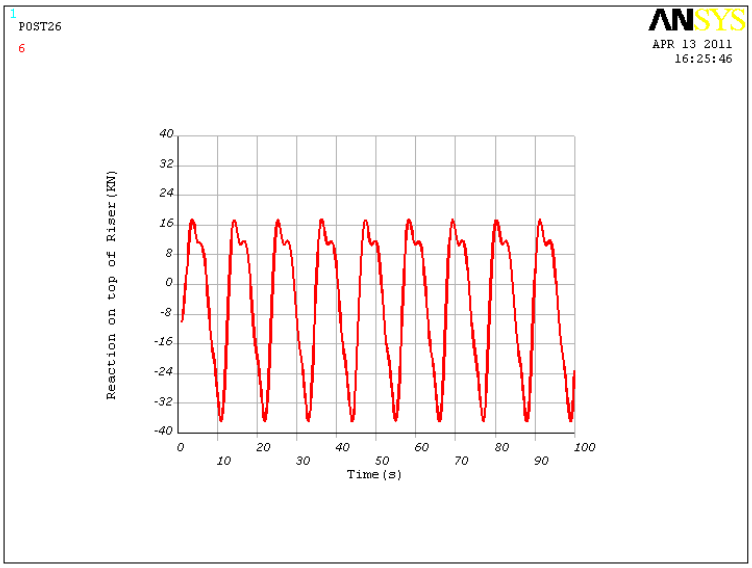
مسیر زیر را دنبال کنید :

Main Menu→TimeHist Postpro

در پنجره باز شده، دکمه را کلیک کنید و در پنجره جدیدی که باز می شود، مسیر زیر را طی کنید :

Nodal Solution→Reaction Forces→Structural Forces→X-Component of force

گره مربوط به تراز Z=10 را که در این مثال گره شماره 2 می باشد، انتخاب کنید تا اطلاعات مربوط به عکس العمل های تکیه گاهی این گره نسبت زمان وارد پنجره Time History Variable شود. سپس با کلیک روی دکمه نمودار تاریخچه زمانی عکس العمل تکیه گاهی در این نقطه از رایزر را تحت اثر موجی به ارتفاع 12.2 m و پریود 11 s را در راستای x بصورت زیر مشاهده فرمایید :



با توجه به نمودار بالا بیشترین نیروی افقی که در اثر موج به سازه عرشه از طرف سر رایزر وارد می شود 36.9 KN می باشد.

ANSYS HELP.IR