

مقدمه

در گزارش آموزشی AHR-05 با نحوه مدلسازی یک قاب فولادی دو طبقه آشنا شدیم. در این مثال از همان مدل برای انجام تحلیل مودال و استخراج مشخصات مودی و همچنین انجام تحلیل طیفی با طیف مفروض در استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نوع III استفاده می‌شود. به همین دلیل نحوه ساخت مدل تکرار نشده و تنها اصلاحات لازم برای انجام تحلیل مودال و طیفی در آن اشاره خواهد شد. برای ترکیب آثار بار ثقلی و تحلیل طیفی از Load Case استفاده می‌شود. ابتدا جرمهای متمرکز روی قاب تعریف شده سپس تحلیل ثقلی صورت گرفته و نتایج آن در یک Load Case ذخیره می‌شود. در ادامه تحلیل طیفی انجام شده و نتایج آن در Load Case دیگری ذخیره می‌شود. در نهایت نتایج تحلیلی Load Case های ثقلی و طیفی با یکدیگر جمع شده و نتایج مشاهده می‌شوند.

مشخصات مدل

نوع مدل: دو بعدی

نوع المان: Beam188

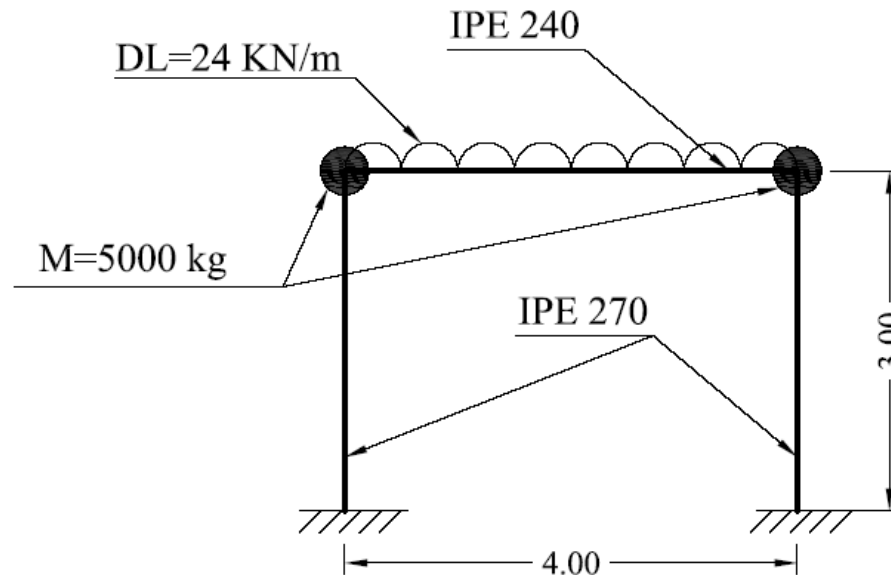
نوع مصالح: الاستیک خطی

مدول الاستیسیته: $2.1e11$

ضریب پواسون: 0.35

جرم متمرکز در سر ستونها: 5000 kg

واحدها: m و kg و N



اهداف

- آشنایی با نحوه انجام تحلیل مودال
- استخراج مشخصات مودی
- انجام تحلیل طیفی

نکات

برای انجام یک تحلیل مودال لازم است از واحدهای سازگار دینامیکی استفاده گردد. در این مثال از واحدهای سازگار زیر استفاده می شود:

- کیلوگرم برای جرم متمرکز و چگالی مصالح،
- نیوتن برای نیروها،
- متر برای واحدهای طولی،
- نیوتن بر متر مربع برای مدول الاستیسیته.

بازخوانی مثال AHR-05

در این مثال یک کپی از file.db گزارش AHR-05 تهیه شده و در فولدر جدیدی قرار داده می شود. نام فولدر جدید در Working Directory معرفی و نام Jobname برابر file قرار داده شده و برنامه را Run می کنیم:

Start → All Programs → ANSYS 17 → ANSYS Product Launcher →

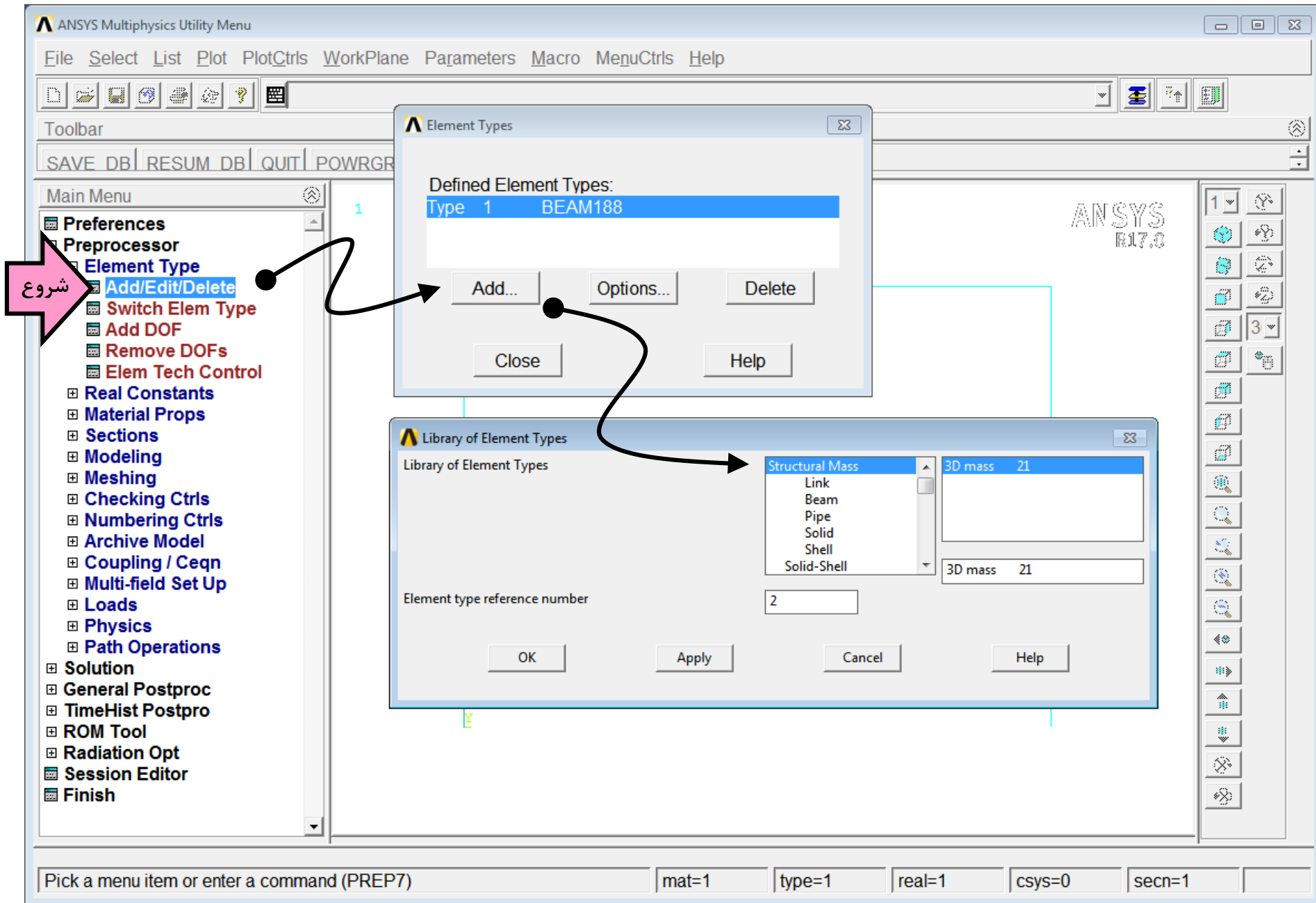


تعریف جرمها

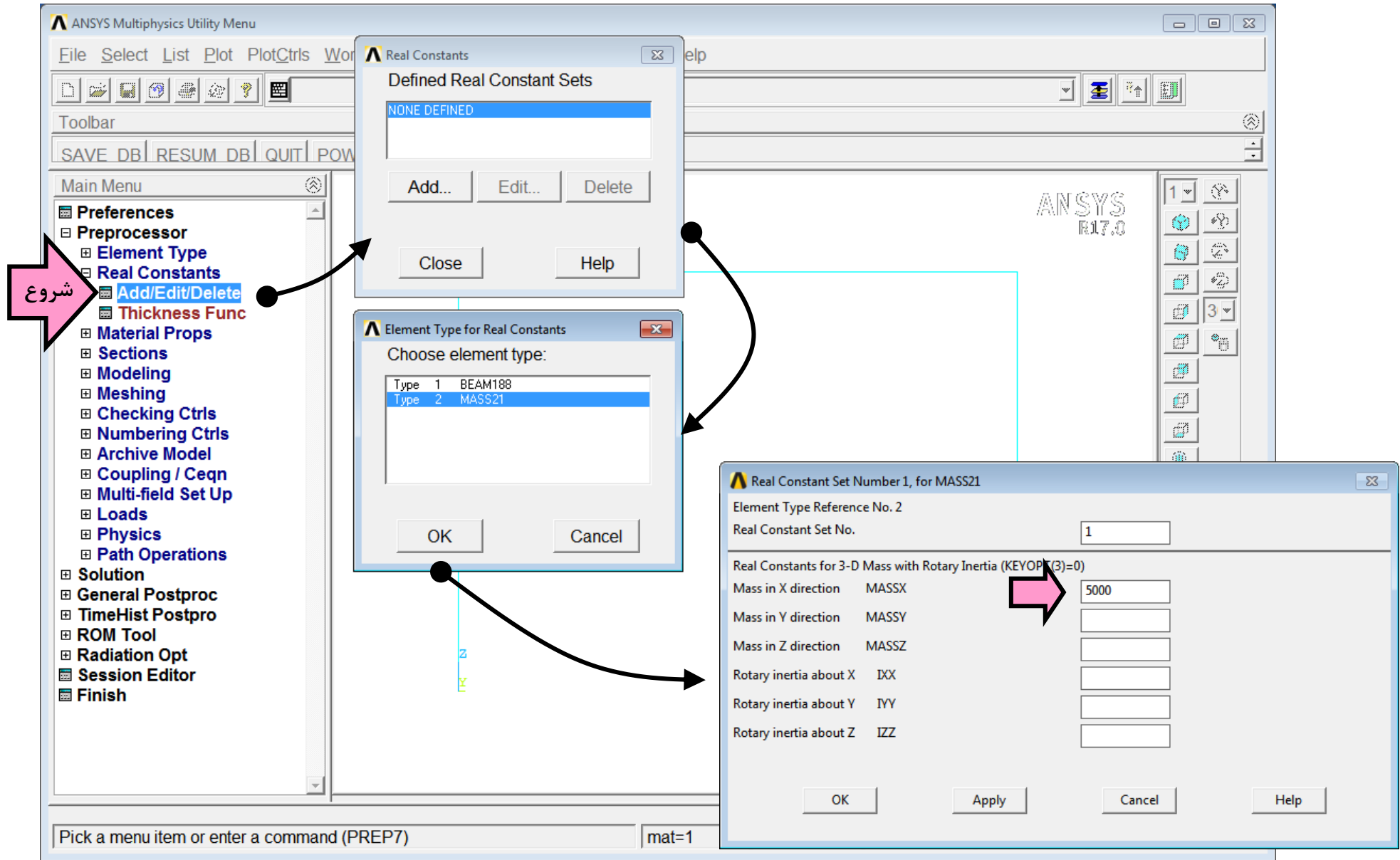
تعریف جرم به دو صورت چگالی مصالح برای المانهای تیر و ستون و جرمهای متمرکز به عنوان نماینده جرم طبقه صورت می‌گیرد. برای تعریف چگالی وارد بخش مصالح شده و گزینه Density برای مصالح قاب را انتخاب نمائید. مقدار چگالی برابر 7850 کیلوگرم بر متر مکعب قرار داده می‌شود.

The screenshot displays the ANSYS Multiphysics Utility Menu interface. The 'Main Menu' on the left includes 'Preferences', 'Preprocessor', 'Sections', 'Modeling', 'Meshing', 'Checking Ctrl', 'Numbering Ctrl', 'Archive Model', 'Coupling / Ceqn', 'Multi-field Set Up', 'Loads', 'Physics', 'Path Operations', 'Solution', 'General Postproc', 'TimeHist Postpro', and 'ROM Tool'. Under 'Preprocessor', 'Material Props' is expanded, and 'Material Models' is selected. A pink arrow labeled 'شروع' (Start) points to this menu item. The 'Define Material Model Behavior' dialog box is open, showing 'Material Model Number 1' with 'Linear Isotropic' selected. In the 'Material Models Available' list, 'Density' is highlighted. A pink arrow points to this selection. Below, the 'Density for Material Number 1' dialog box is shown with '7850' entered in the 'DENS' field. A pink arrow points to this value. The status bar at the bottom shows 'mat=1 type=1 real=1 csys=0 secn=1'.

برای تعیین جرم متمرکز نماینده جرم طبقه، از المان MASS21 استفاده می‌شود. ابتدا نوع المان در بخش Elements Type در آدرس زیر انتخاب می‌شود:

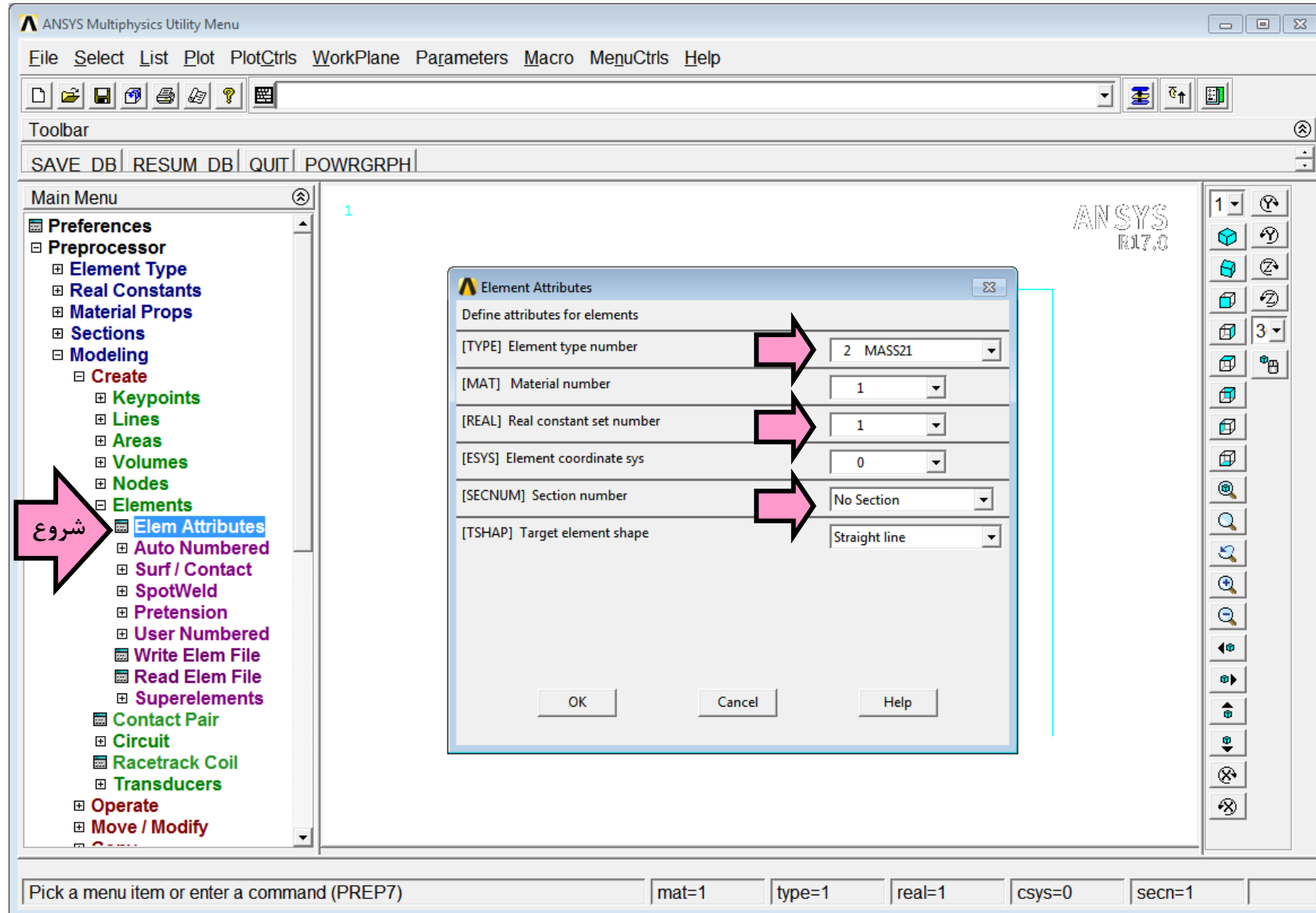


مقدار جرم المان Mass21 با استفاده از Real Constant تعریف می‌شود. این المان قابلیت شبیه سازی شش مؤلفه جرمی بصورت جرمهای متمرکز در سه جهت اصلی و اینرسی دورانی حول سه محور اصلی را داراست. در این مثال تنها از گزینه جرم متمرکز در جهت محور X استفاده می‌شود. با ورود به آدرس زیر یک set جدید از Real Constant برای المان Mass21 تعریف شده و مقدار Mass in X Direction برابر ۵۰۰۰ کیلوگرم قرار داده می‌شود.

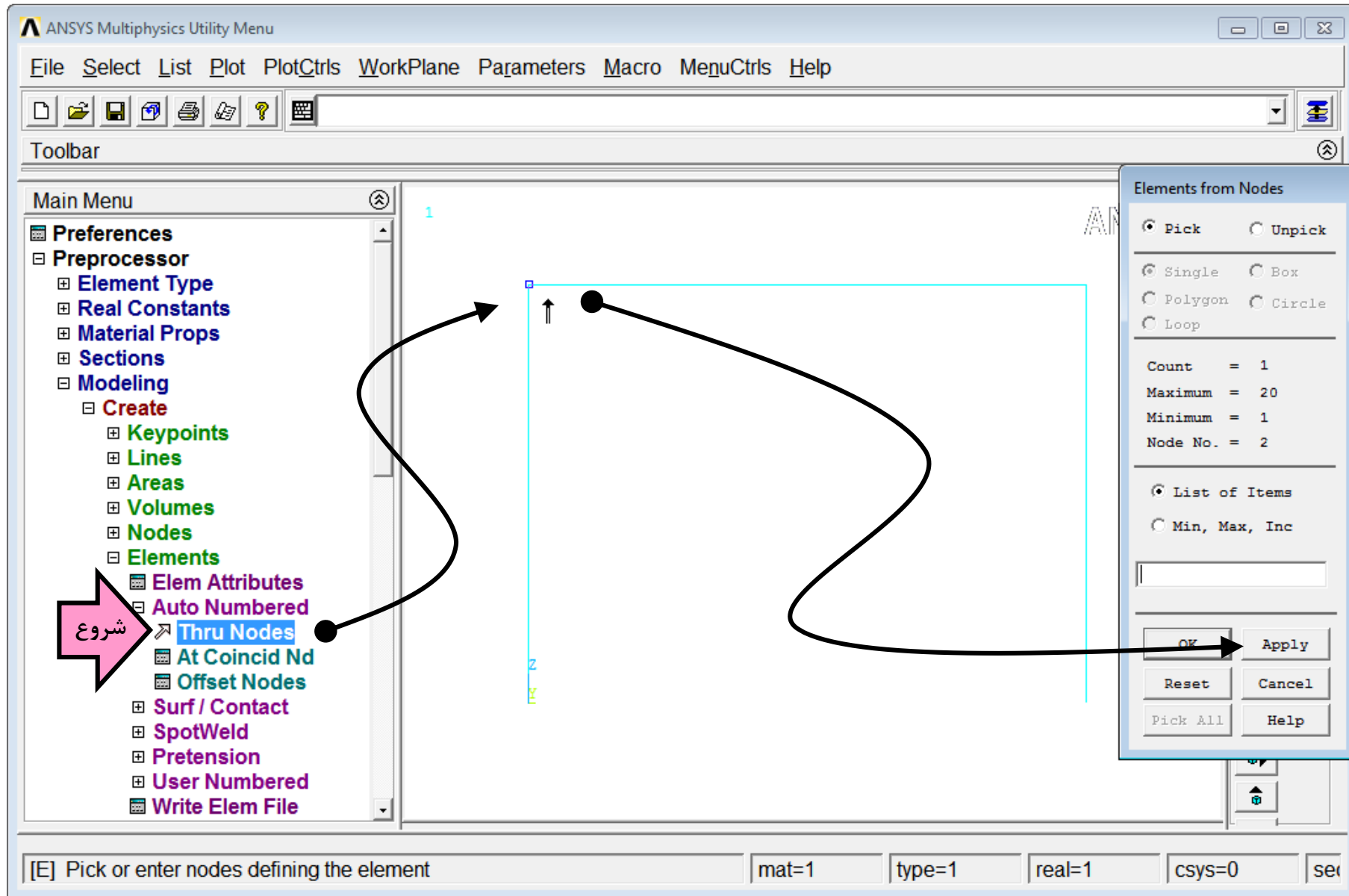


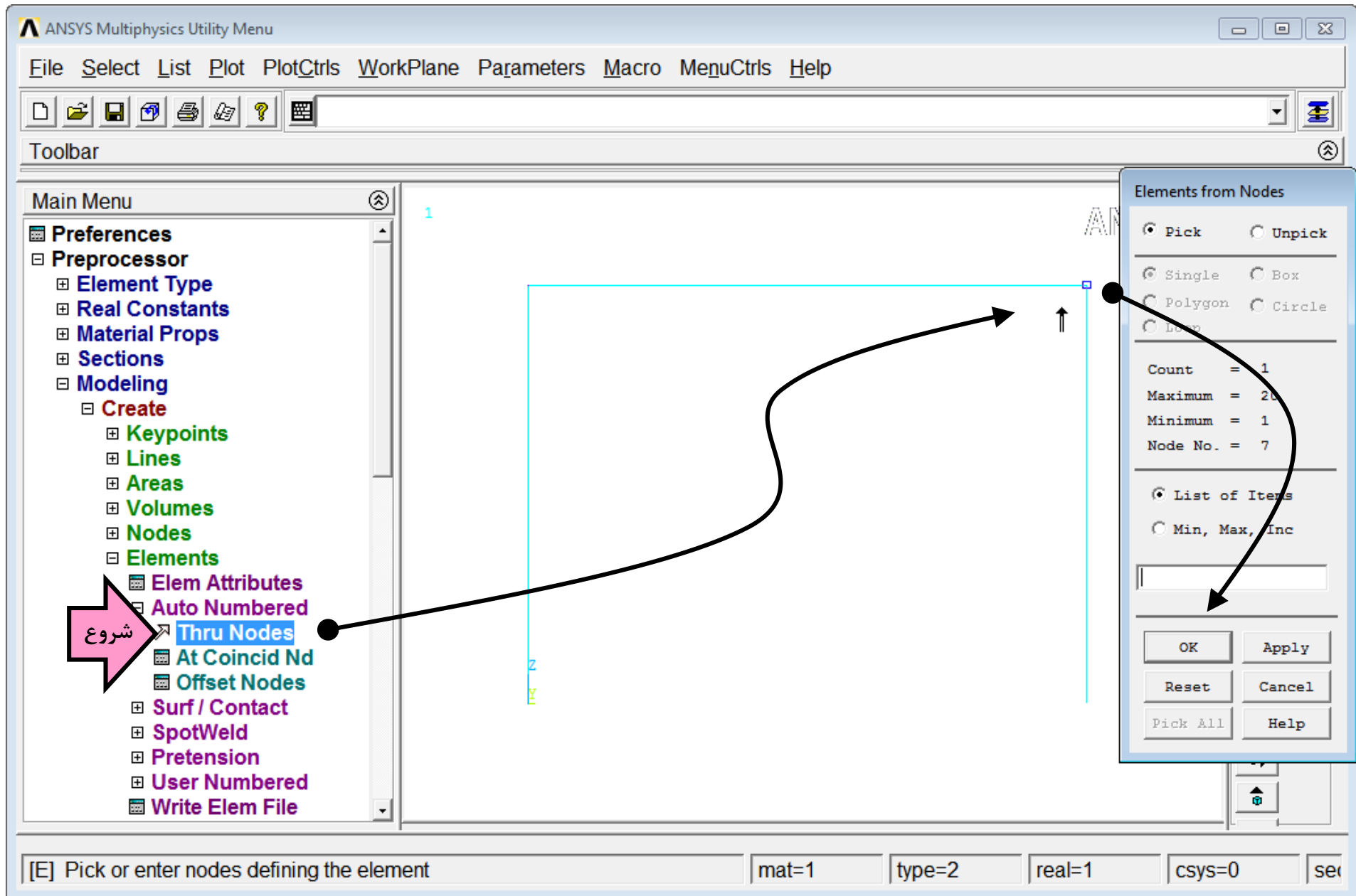
قرار دادن المان Mass روی گره های سر ستونها

برای تعریف المانهای Mass در گره های سر ستونها ابتدا مشخصات المان شامل نوع المان و شماره تعریف شده برای Real Constant در آدرس زیر مشخص می‌شوند. المان Mass نیازی به تعریف مصالح ندارد.



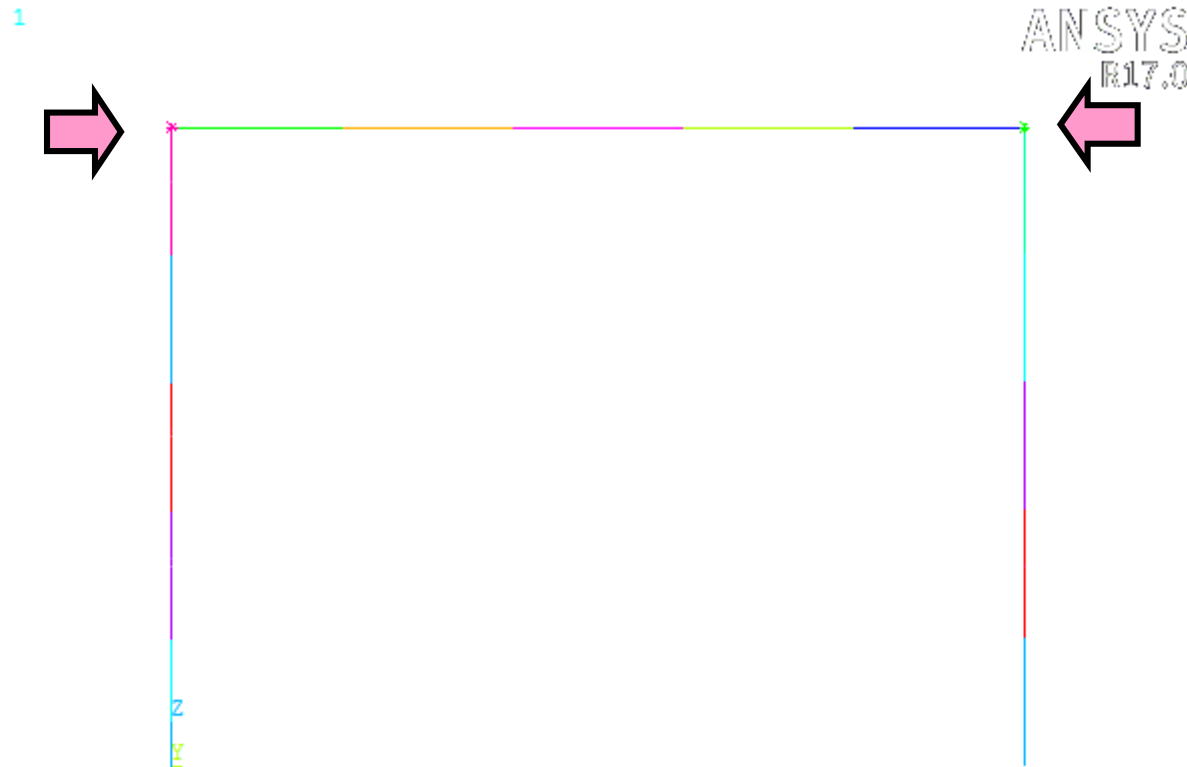
حال المان Mass بر روی گره‌ها قرار داده می‌شود. وارد بخش زیر شده و با فعال شدن موس ابتدا روی گره بالای ستون سمت چپ کلیک کرده و دگمه Apply را در پنجره Elements from Nodes فشار دهید. مجدداً روی گره بالای ستون سمت راست کلیک کرده و دگمه Ok پنجره Elements from Nodes را فشار دهید. به این ترتیب المانهای Mass با جرم ۵۰۰۰ کیلوگرم در بالای ستونها قرار داده می‌شوند.





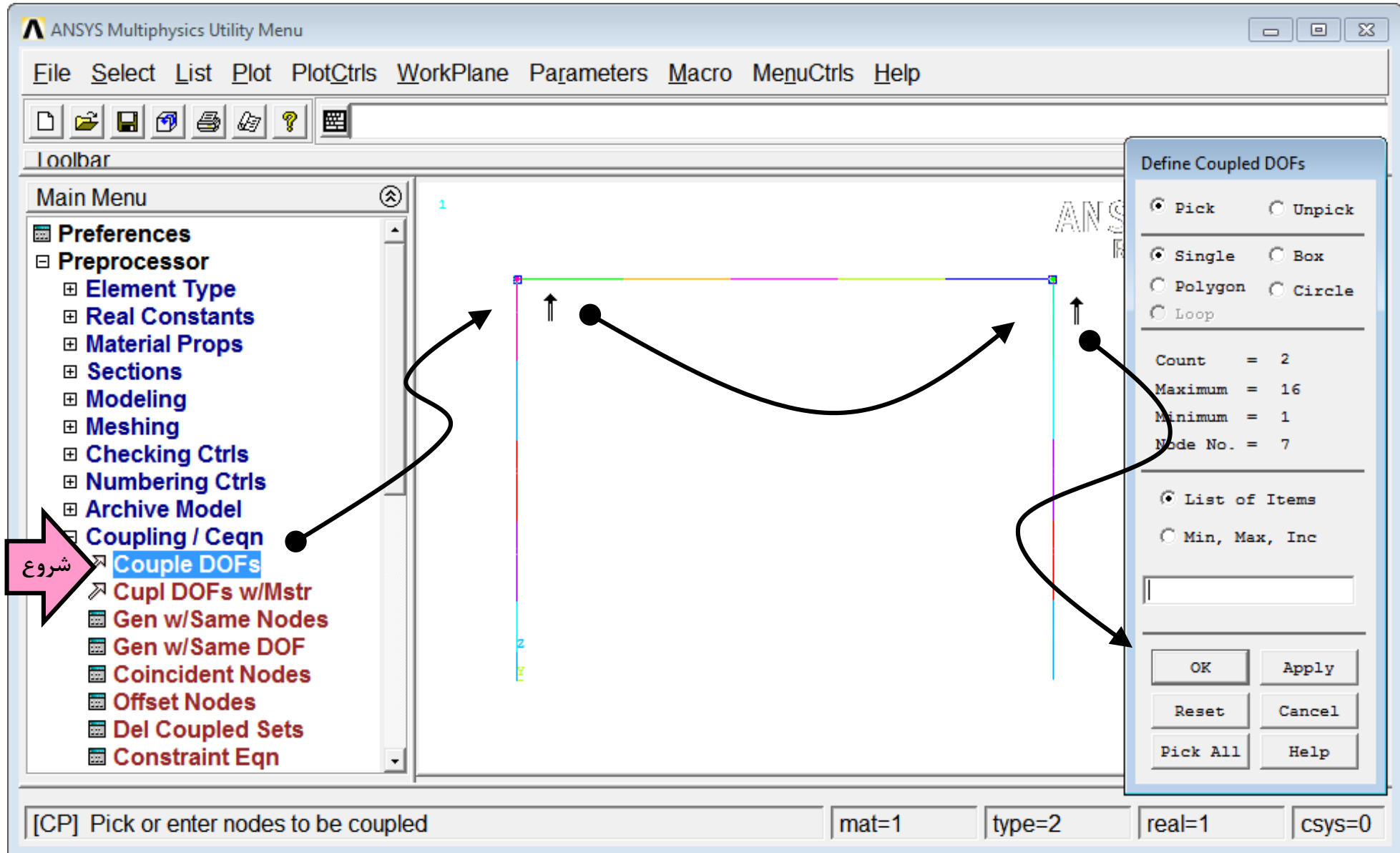
پس از تعریف المانهای Mass، موقعیت آنها بصورت ستاره‌های کوچکی روی مدل دیده می‌شود. برای بازنمایش گرافیکی المانها از آدرس زیر استفاده نمائید:

Plot → Replot

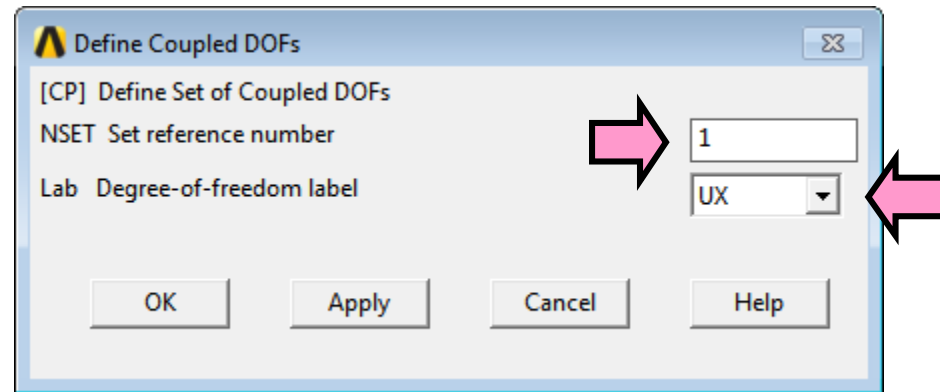


تعریف طبقه صلب

در سازه‌های قابی که دارای سقف صلب هستند، گره‌های فوقانی ستونها بوسیله یک دیافراگم صلب به یکدیگر متصل می‌شوند. برای این منظور درجه آزادی جهت X گره‌های سر ستونها از طریق Coupling در آدرس زیر به یکدیگر مقید می‌شوند. با باز شدن پنجره Define Coupling DOFs، موس فعال می‌شود. حال روی گره‌های سر ستون اول و دوم کلیک کرده و دگمه Ok را فشار دهید.

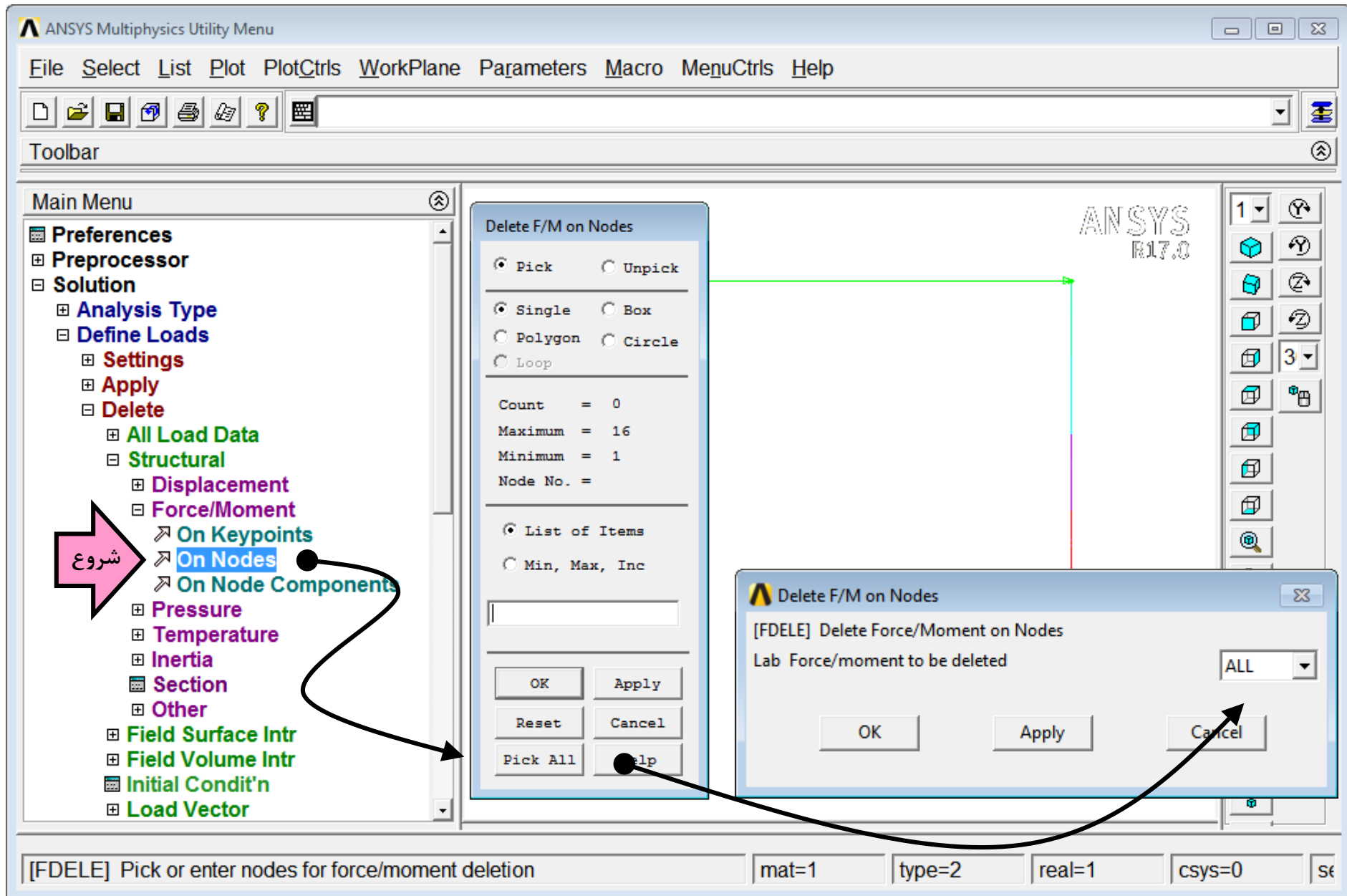


در پنجره دوم در مقابل NSET عدد ۱ را وارد و در Lab گزینه UX را انتخاب کرده و Ok را فشار دهید.

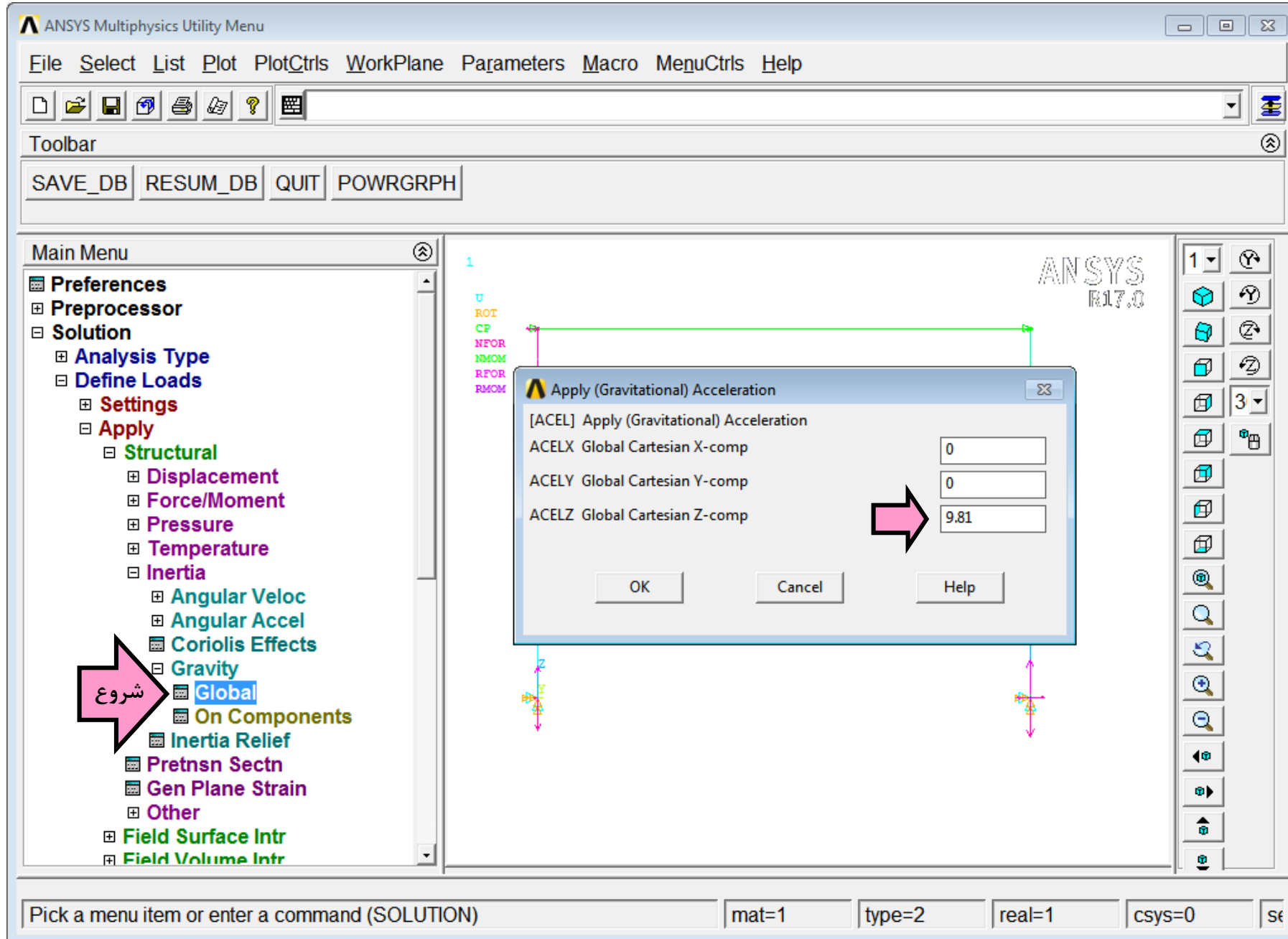


تحلیل ثقلی

در مدل قاب یک بار متمرکز جانبی بر روی طبقه تعریف شده است. این بار متمرکز با استفاده از دستور زیر حذف می‌شود:



اینک شتاب ثقل نیز مطابق با آدرس زیر تعریف می‌شود. شتاب ثقل بر حسب متر بر ثانیه به توان ۲ برابر ۹,۸۱ در جهت Z وارد می‌شود.



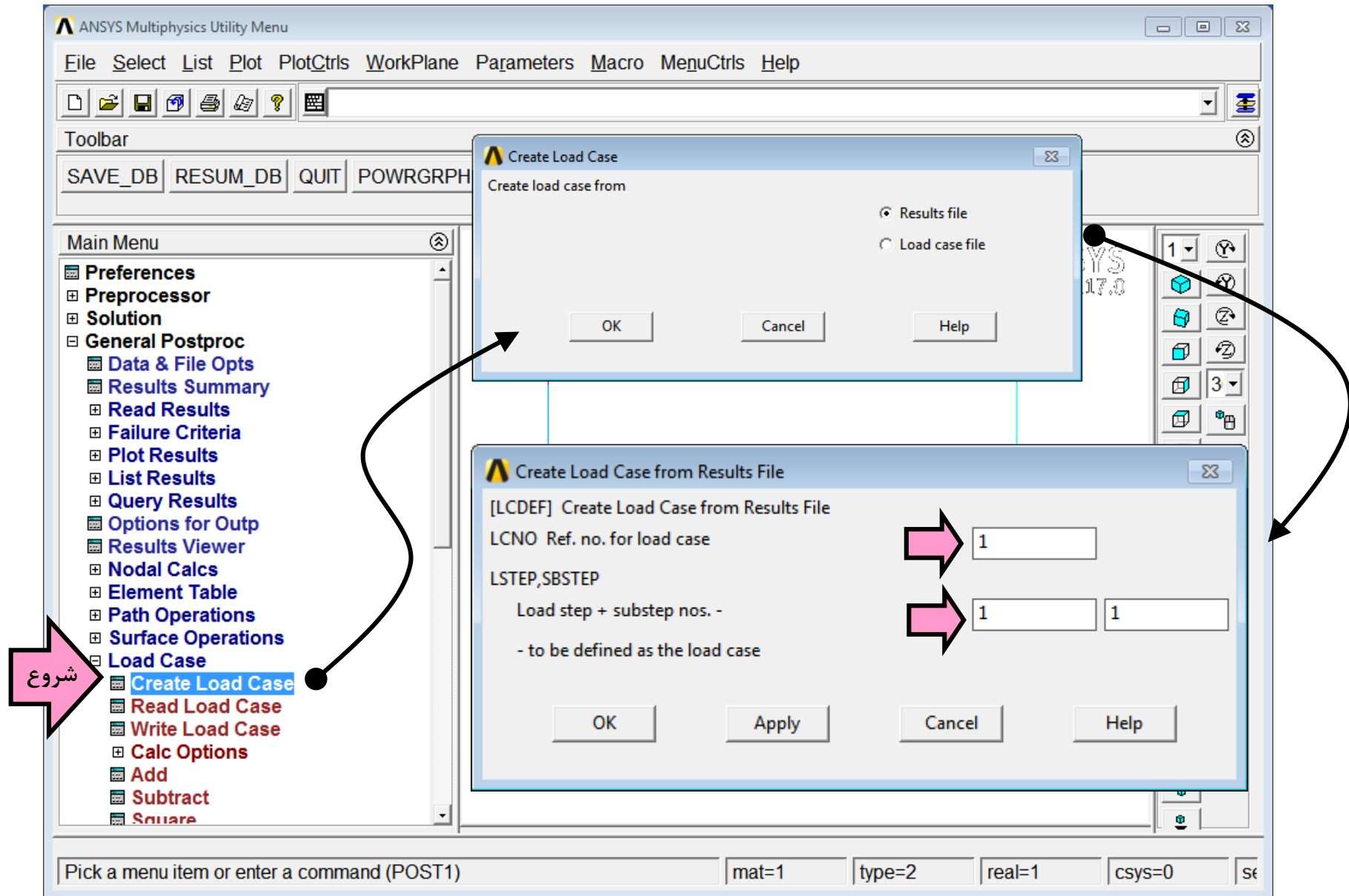
در این مرحله مدل را ذخیره کنید.

File → Save as Jobname

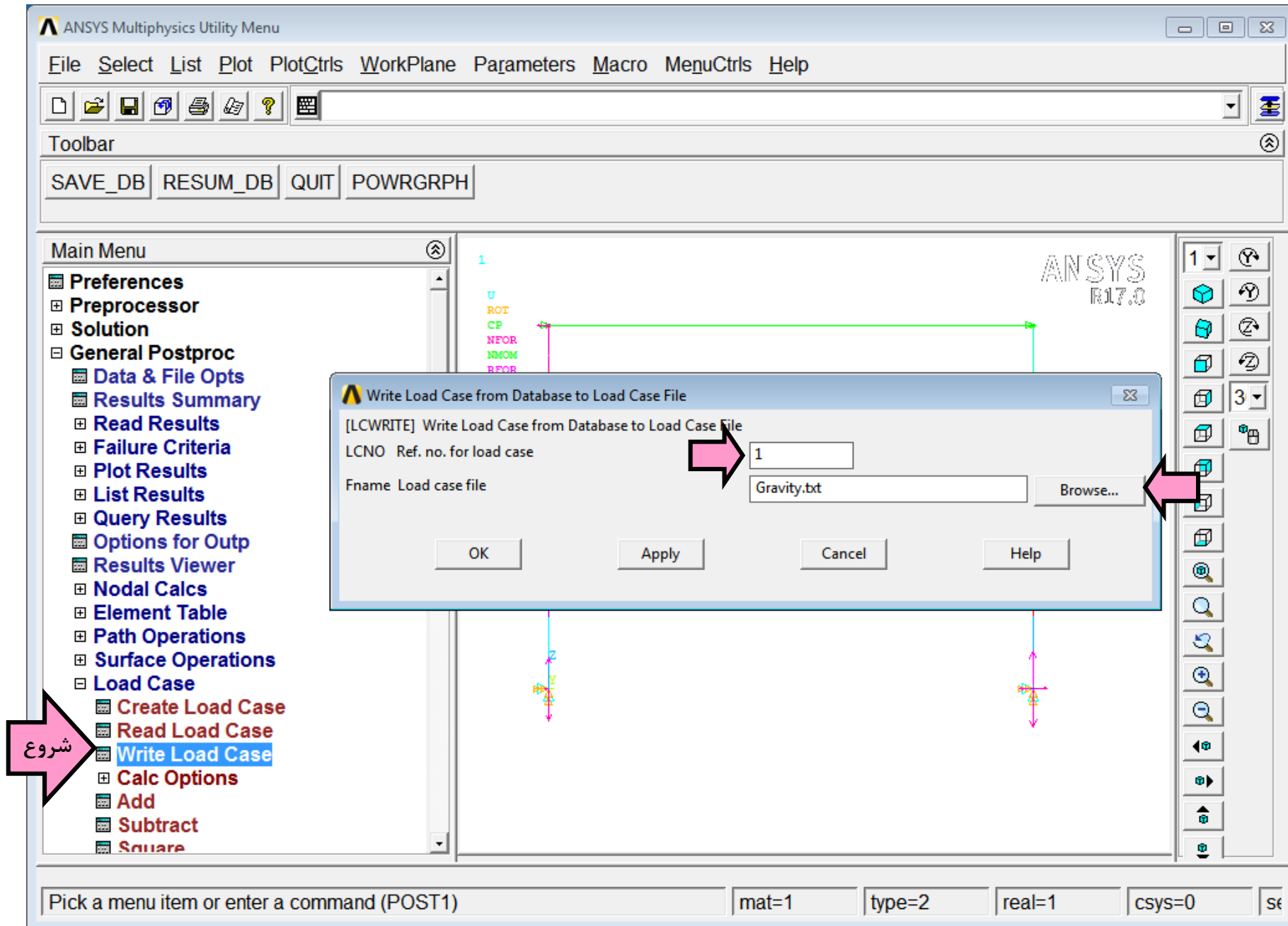
تحلیل ثقلی در آدرس زیر صورت می گیرد.

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

برای ترکیب نتایج تحلیل ثقلی و طیفی، پس از انجام تحلیل ثقلی نتایج آن در یک Load Case ذخیره می‌شود. این عمل در آدرس زیر صورت می‌گیرد. در مقابل LCNO شماره ۱ برای Load Case وارد می‌شود. برای LSTEP و SBSTEP نیز اعداد ۱ وارد می‌شود که نشان‌دهنده گامی است که می‌خواهیم نتایج آن در Load Case ذخیره شود. چون تحلیل ثقلی تنها یک فایل بارگذاری و دارای فقط یک Sub step بوده است، این اعداد برابر ۱ قرار داده می‌شوند.



حال نتایج LC1 (Load Case 1) برای بازیابی بعدی در یک فایل با نام Gravity.txt ذخیره می‌شود.



ترسیم نمودار لنگر حاصل از بار ثقلی

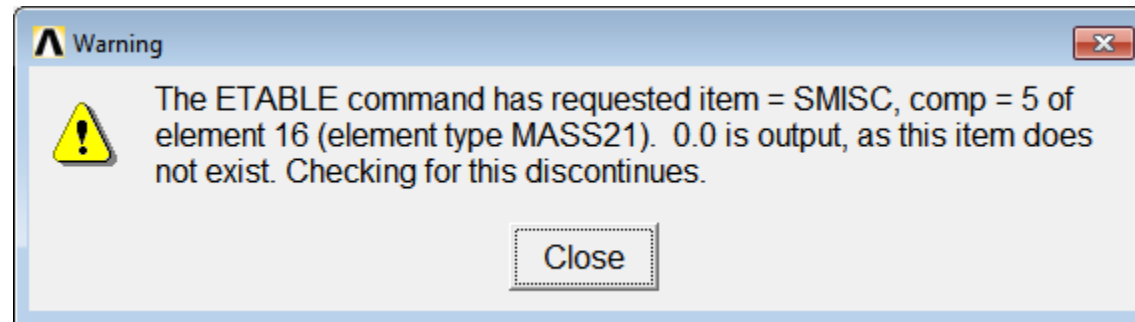
برای مقایسه بعدی نمودار لنگر المانها در اثر بار ثقلی ترسیم می‌شود. قبلاً با روش Sequence Number در مثال قاب دو بعدی در گزارش AHR-05 آشنا شده‌ایم برای بازنمایش نمودار لنگر لازم است ابتدا مقادیر Element Table تعریف شده بروزرسانی شوند:

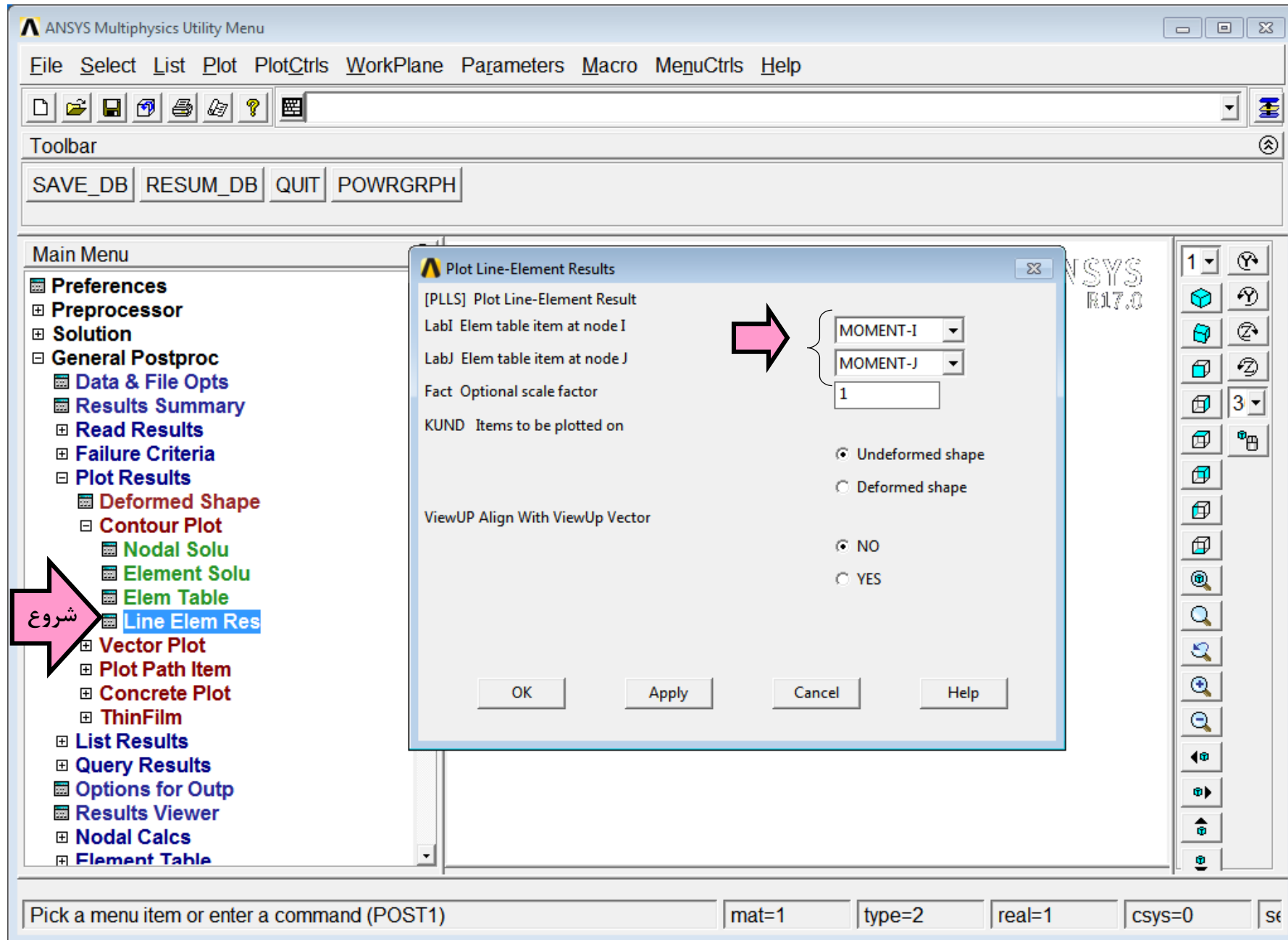
The screenshot shows the ANSYS Multiphysics Utility Menu interface. The 'Main Menu' is expanded to 'General Postproc' > 'Element Table' > 'Define Table'. A dialog box titled 'Element Table Data' is open, displaying the following table:

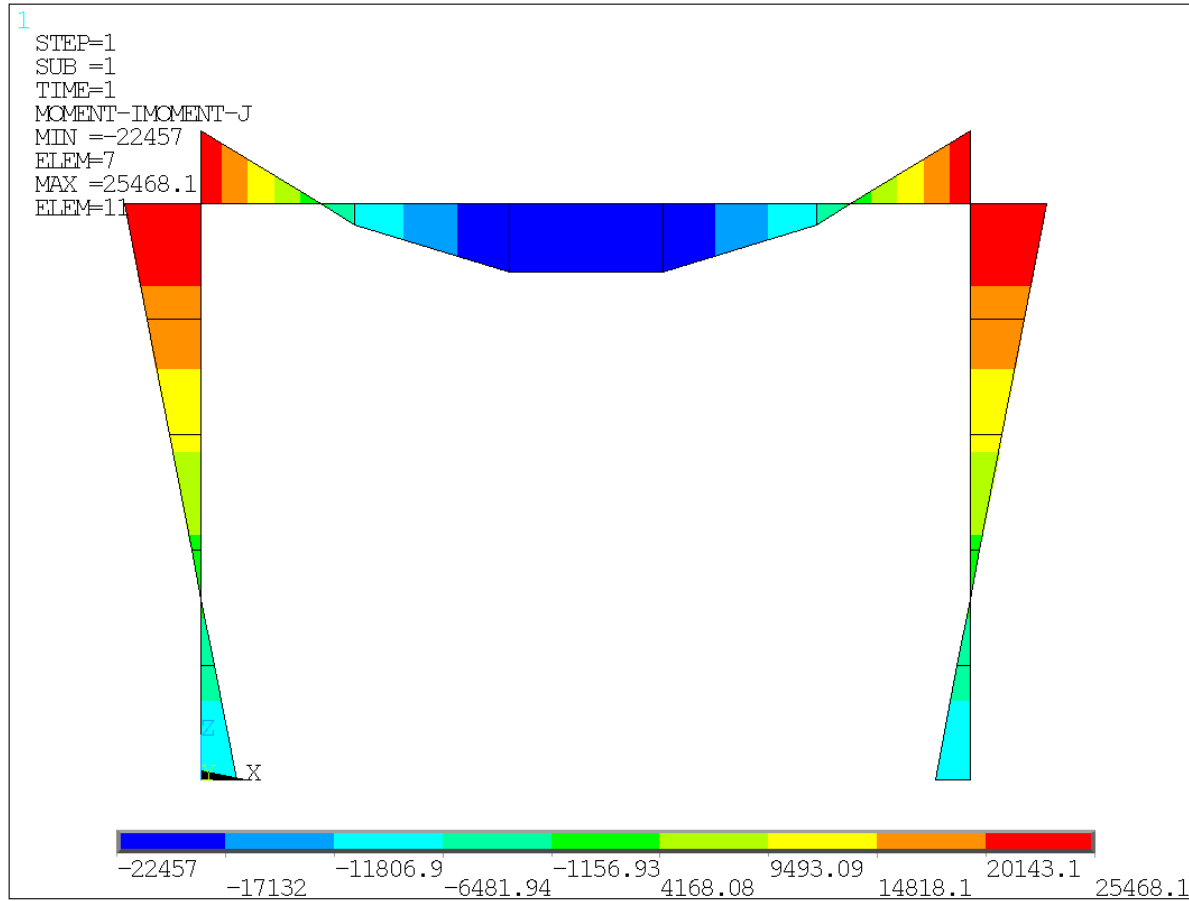
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status
SHEAR-I	SMIS	5	Time= 1.0000	(Previous)
SHEAR-J	SMIS	18	Time= 1.0000	(Previous)
AXIAL-I	SMIS	1	Time= 1.0000	(Previous)
AXIAL-J	SMIS	14	Time= 1.0000	(Previous)
MOMENT-I	SMIS	2	Time= 1.0000	(Previous)
MOMENT-J	SMIS	15	Time= 1.0000	(Previous)

Buttons in the dialog box include 'Add...', 'Update', 'Delete', 'Close', and 'Help'. A pink arrow points from the 'Update' button to the 'Define Table' option in the main menu. Another pink arrow points from the 'Define Table' option to the 'Update' button. The command line at the bottom shows 'mat=1 type=2 real=1 csys=0'.

در حین انجام اینکار خطای زیر دیده می شود. دلیل این خطای آن است که المان MASS21 فاقد کدهای SMISC است.



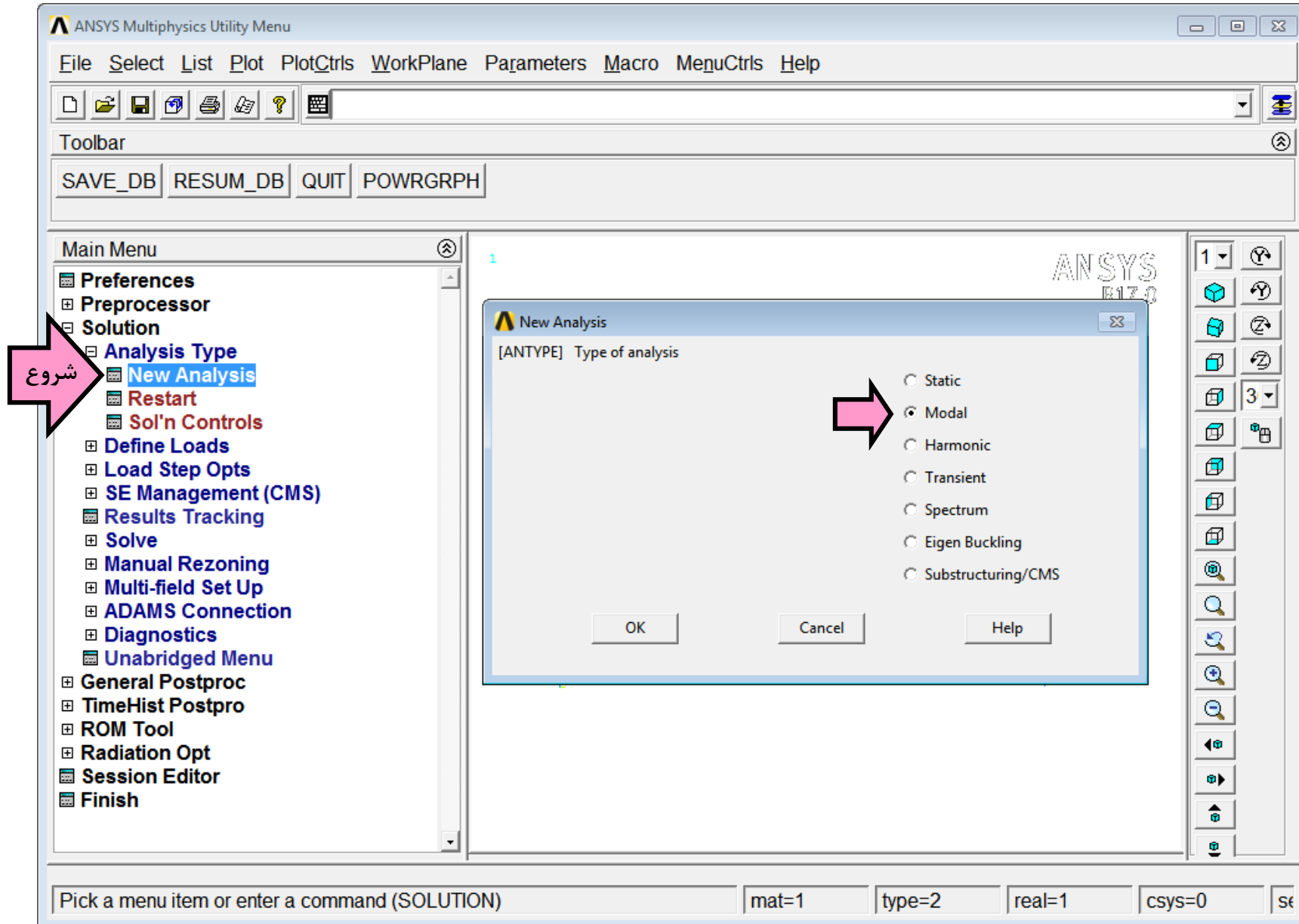




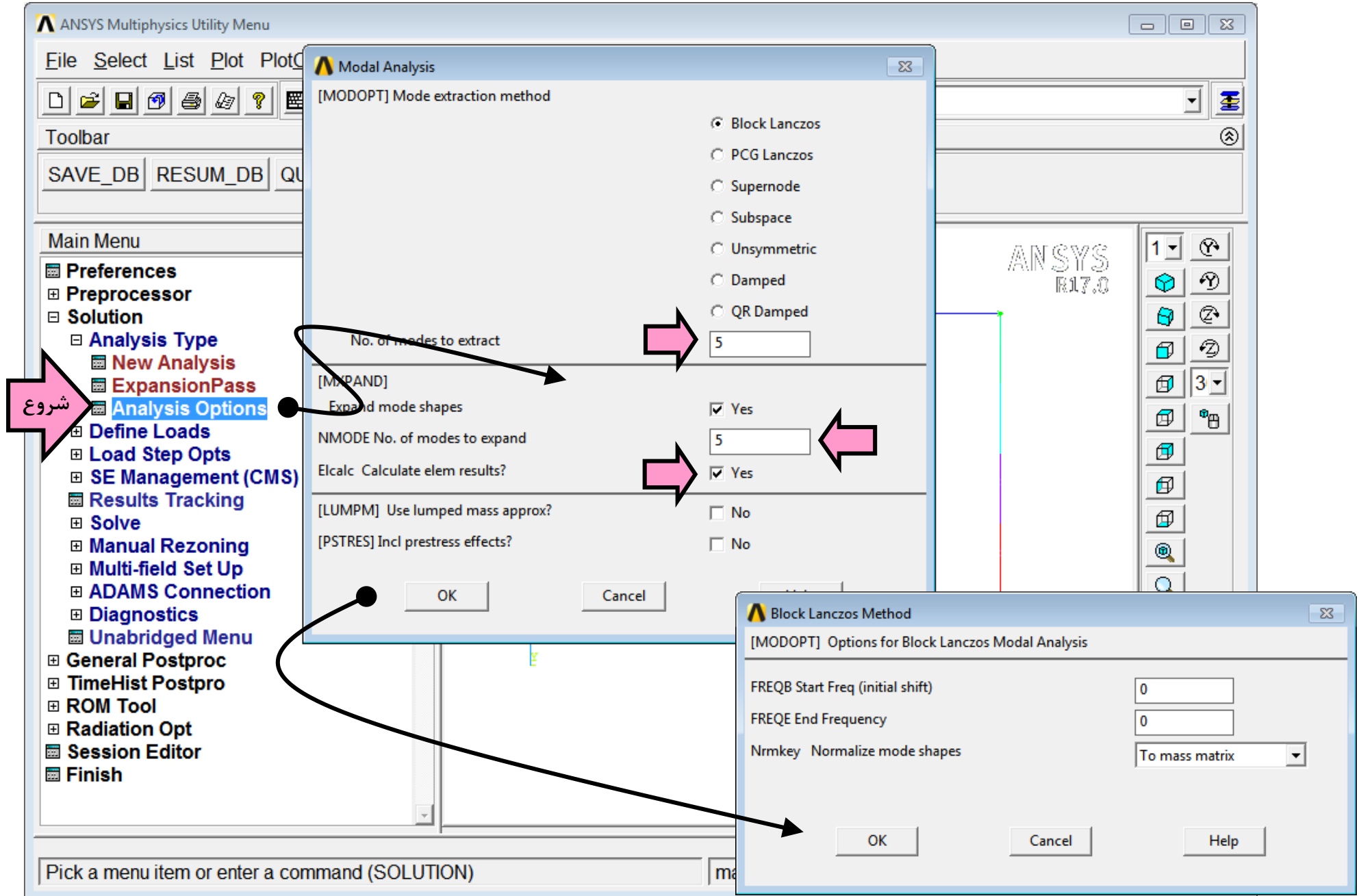
نمودار لنگر المانها در اثر بار ثقلی تنها

تحلیل مودال

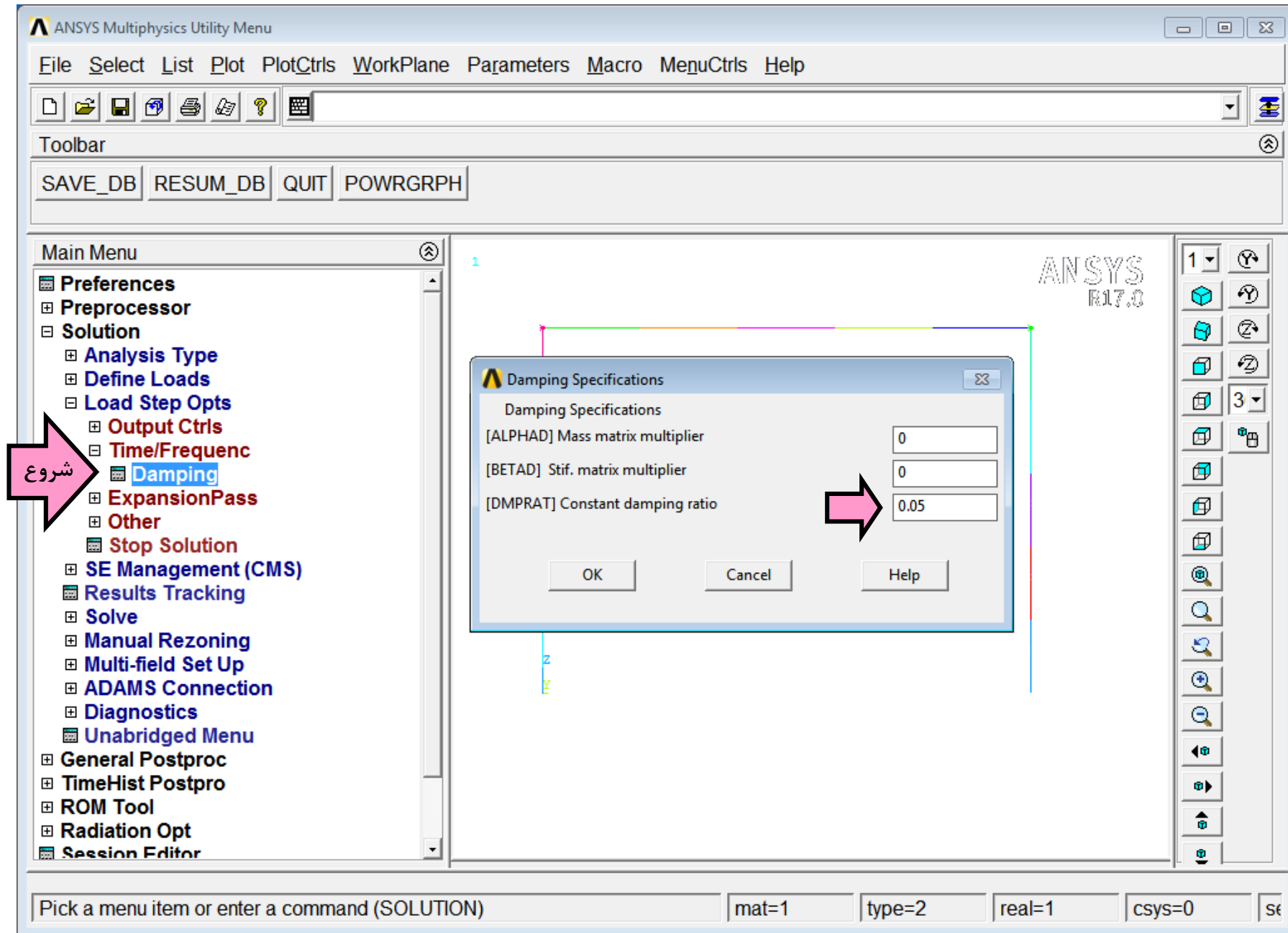
برای انجام تحلیل مودال، نوع تحلیل در آدرس زیر Modal انتخاب می‌شود.



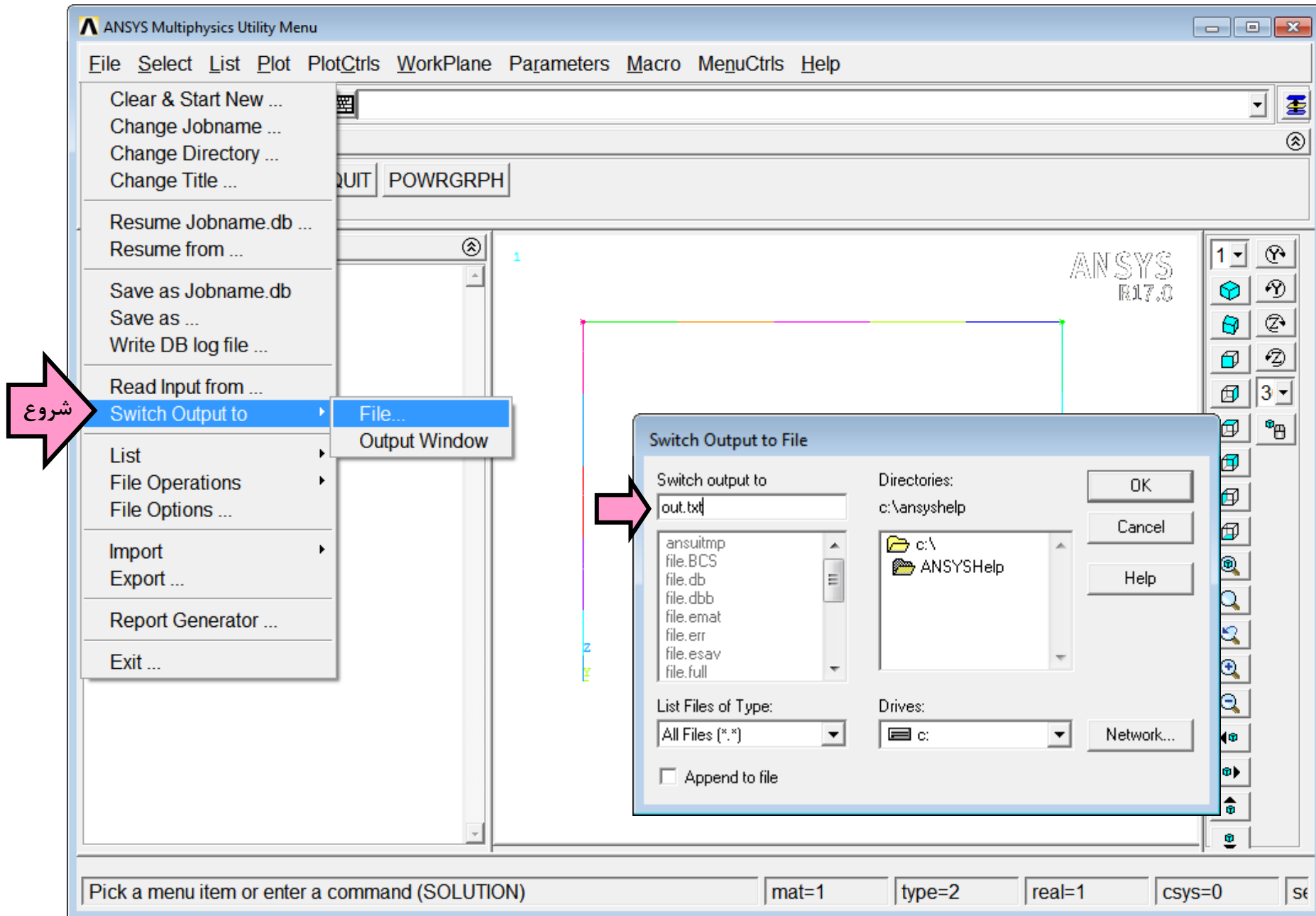
حال در Analysis Options مورد نیاز برای تحلیل مشخص می‌شود. تعداد مودها برابر ۵ انتخاب شده است. سایر گزینه‌ها مطابق تصویر زیر انتخاب می‌شوند. پنجره دوم فقط Ok می‌شود.



میرایی مودی در آدرس زیر تعریف می‌شود. مقدار نسبت میرایی برابر ۰.۵٪ قرار داده می‌شود.



برای دریافت مشخصات مودی مدل از برنامه، لازم است قبل از تحلیل، خروجی برنامه در یک فایل دلخواه ذخیره شود. اینکار در آدرس زیر صورت می‌گیرد. نام فایل خروجی out.txt انتخاب می‌شود.



انجام تحلیل

با ورود به آدرس زیر تحلیل را انجام دهید:

Solution > Solve > Current LS

استخراج مشخصات مودی

از آنجائیکه خروجی برنامه در فایل out.txt ذخیره شده، مشخصات مودی مدل داخل آن نوشته شده است. با باز کردن این فایل که داخل Working Directory مدل است، اطلاعات مودال شامل فرکانس (بر حسب هرتز)، پریود، ضریب مشارکت مودی و نسبت آن، جرم مؤثر مودی و نسبت آن و جرم مودی تجمعی برای سه جهت اصلی مدل و حول سه محور اصلی مشاهده می‌شوند. از آنجائیکه مدل مورد نظر یک سازه یک طبقه و دو بعدی است، مود اول آن شامل حرکت جانبی طبقه بوده و بیشترین پریود و جرم مؤثر مودی را داراست.

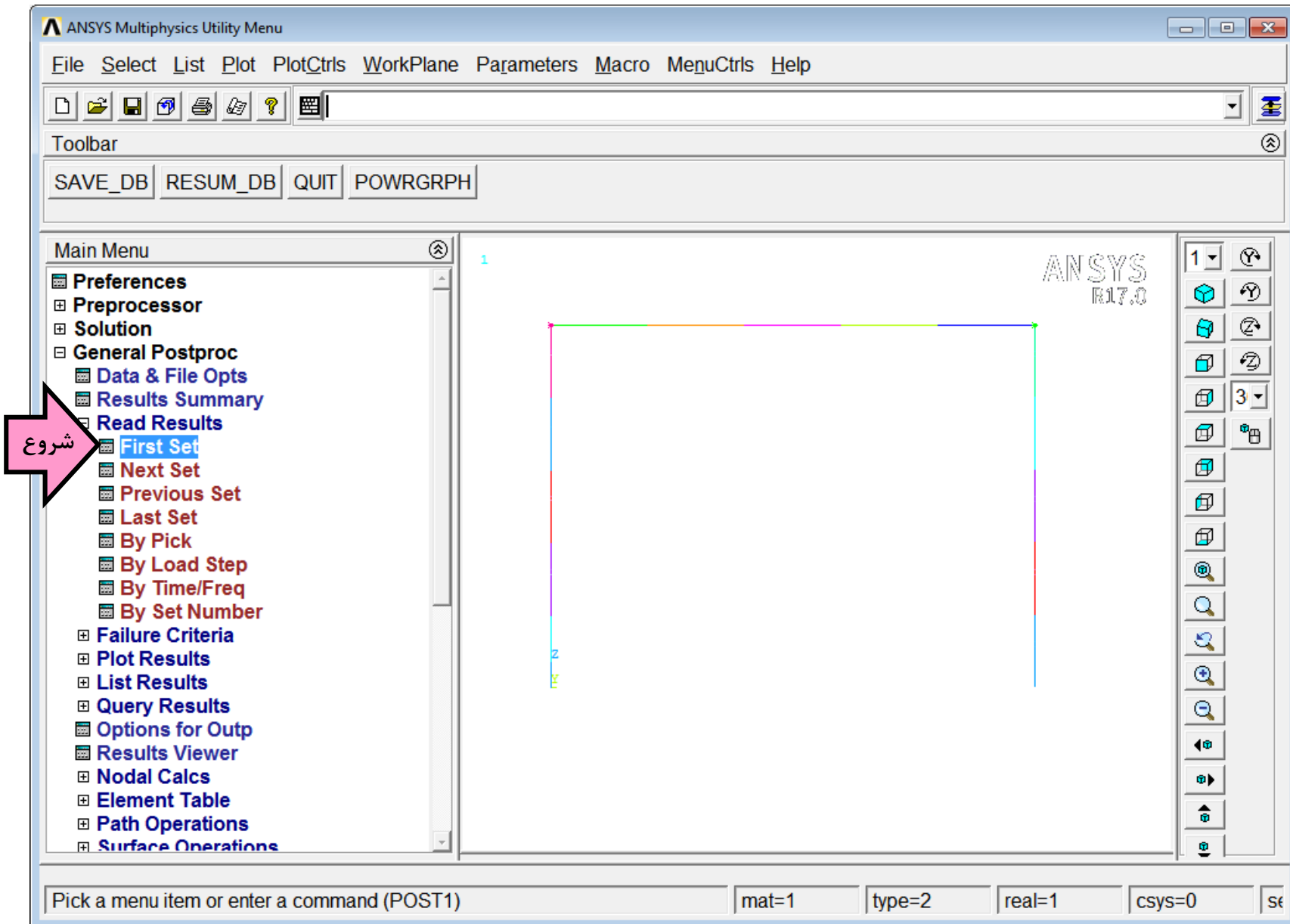
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION
TOTAL MASS = 10324.

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC. FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF. MASS TO TOTAL MASS
1	3.70111	0.27019	101.17	1.000000	10236.3	1.00000	0.991503
2	5.25115	0.19043	0.0000	0.000000	0.00000	1.00000	0.00000
3	7.51809	0.13301	0.0000	0.000000	0.00000	1.00000	0.00000
4	19.5483	0.51155E-01	0.0000	0.000000	0.00000	1.00000	0.00000
5	21.7268	0.46026E-01	0.0000	0.000000	0.00000	1.00000	0.00000

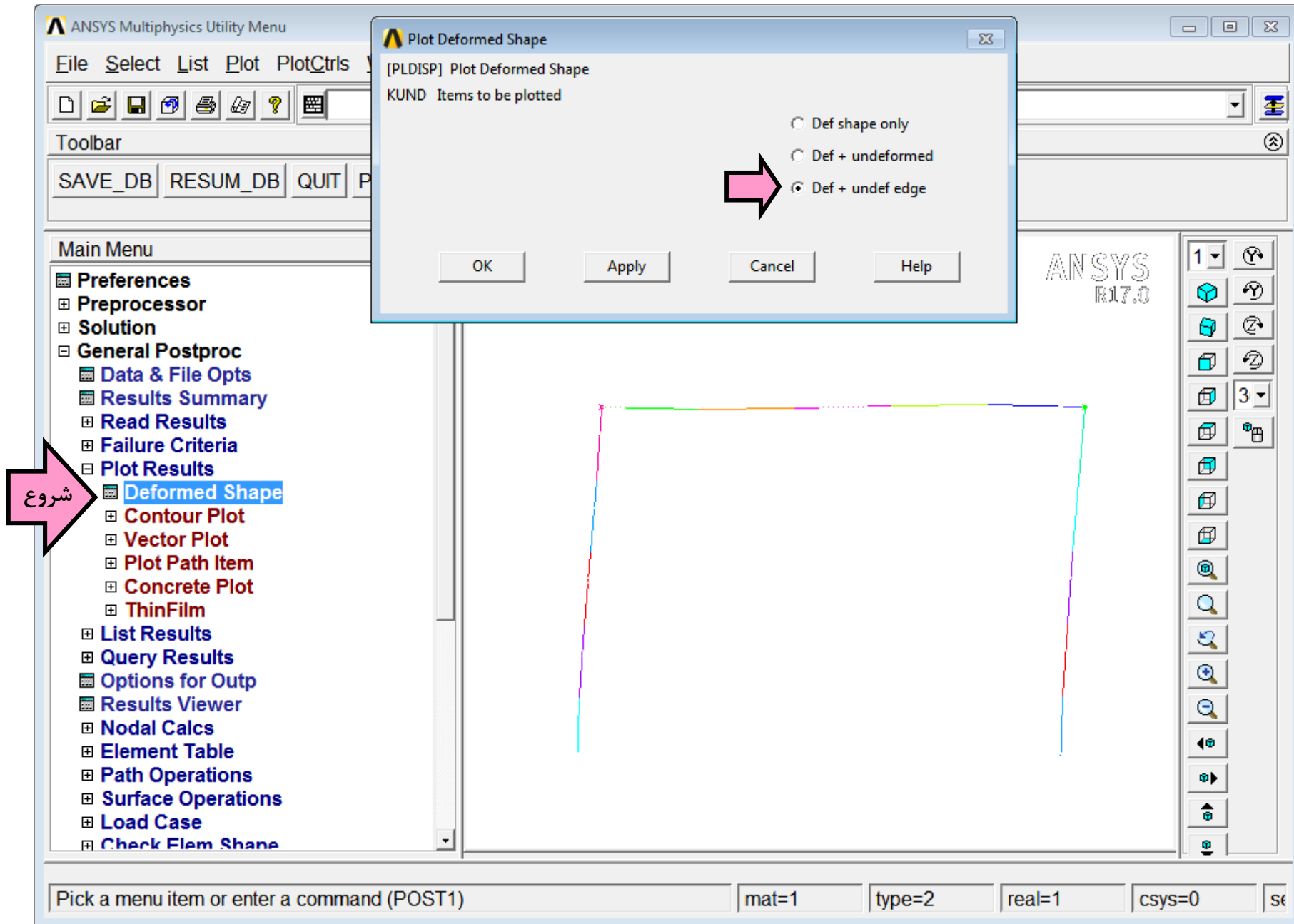
sum					10236.3		0.991503

مشاهده تغییر شکل مود اول

برای مشاهده تغییر شکل مود اول از بخش General Post Processing استفاده می‌شود. ابتدا لازم است اطلاعات مود اول یا First Set به حافظه فراخوانده شود.

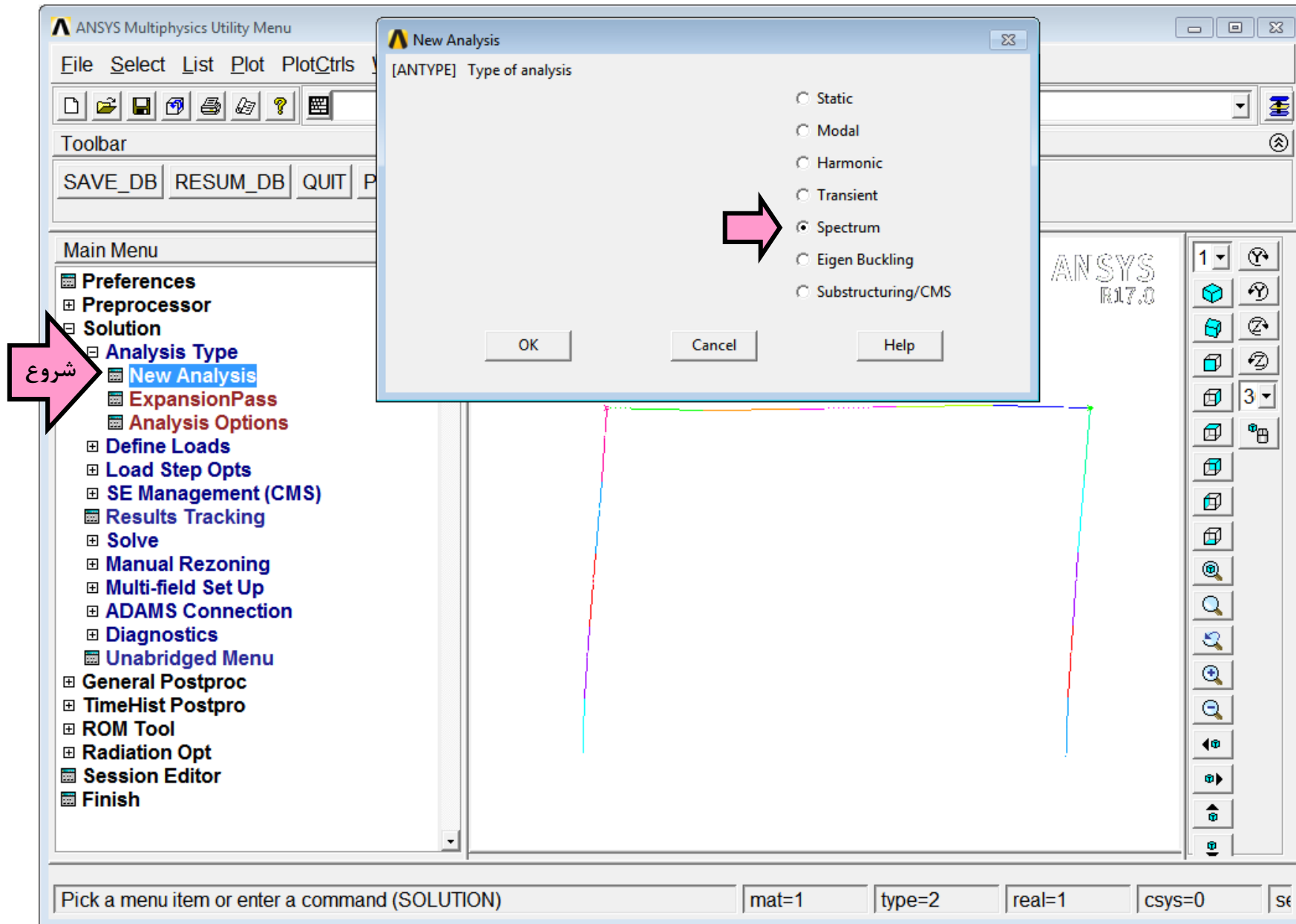


مراحل زیر برای ترسیم تغییر شکل مود اول دنبال می‌شود. برای ترسیم تغییر شکل گزینه Def+Undef edge را انتخاب نمایید

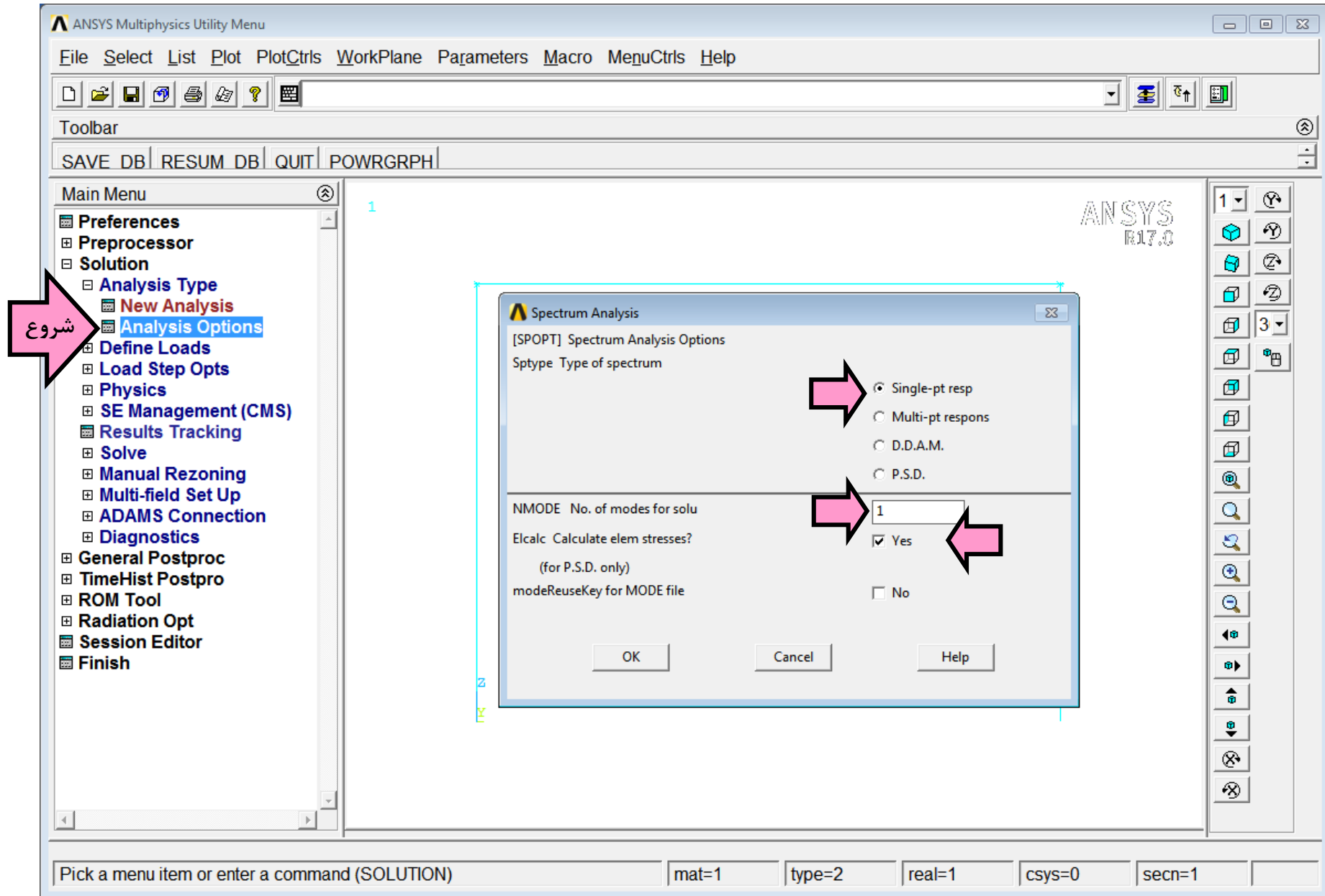


تحلیل طیفی

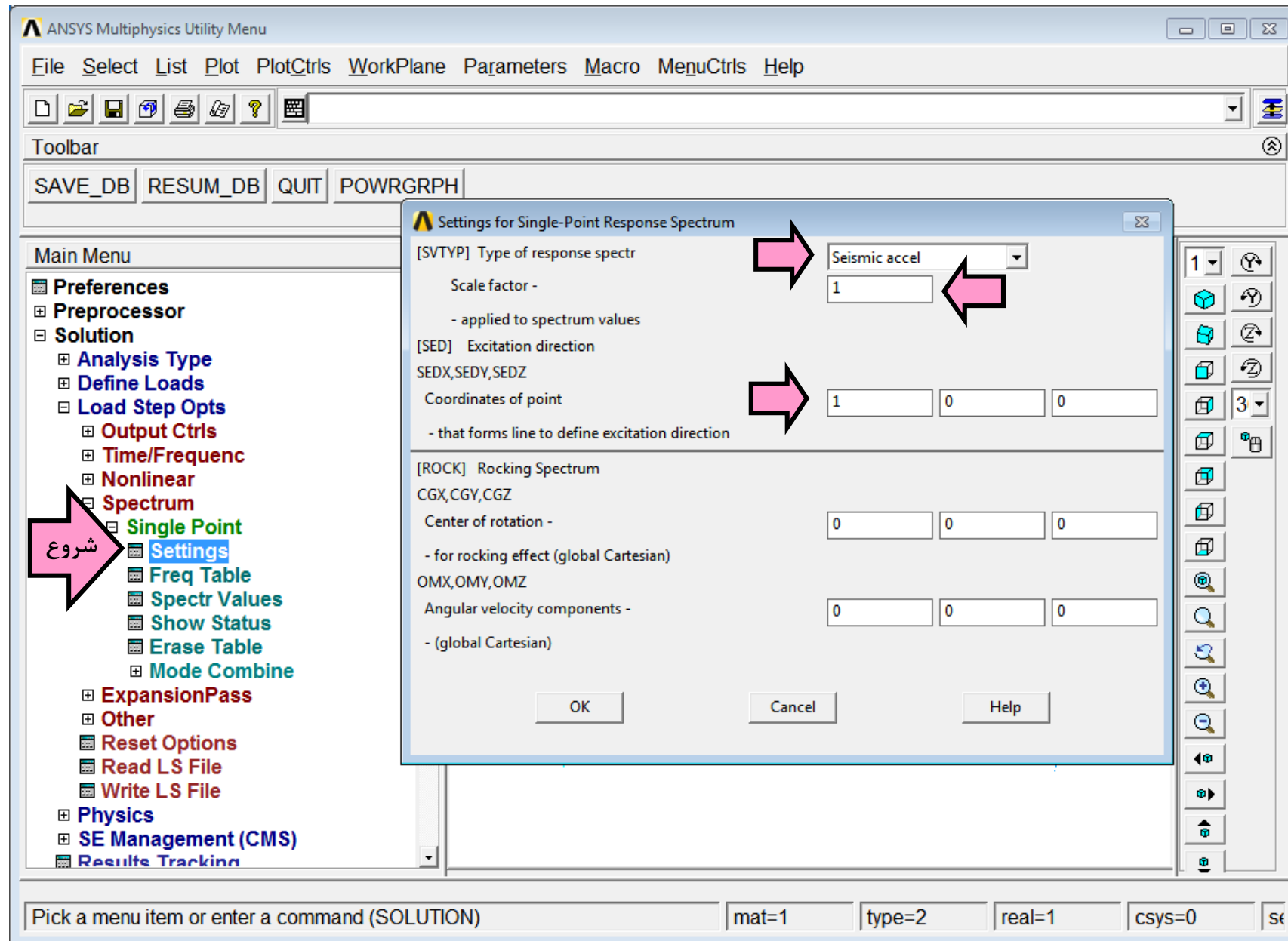
در بخش New Analysis گزینه Spectrum را انتخاب نمائید.



نوع تحلیل طیفی در پنجره زیر انتخاب می‌شود. تحلیل طیفی می‌تواند بصورت تک نقطه ای یا چند نقطه ای صورت گیرد که در اینجا Single-pt resp انتخاب می‌شود. تعداد موده‌های تحلیل طیفی ۱ عدد و گزینه Calculate Elem Stresses فعال می‌شود تا نتایج تحلیلی المانها حین تحلیل طیفی ذخیره شود.

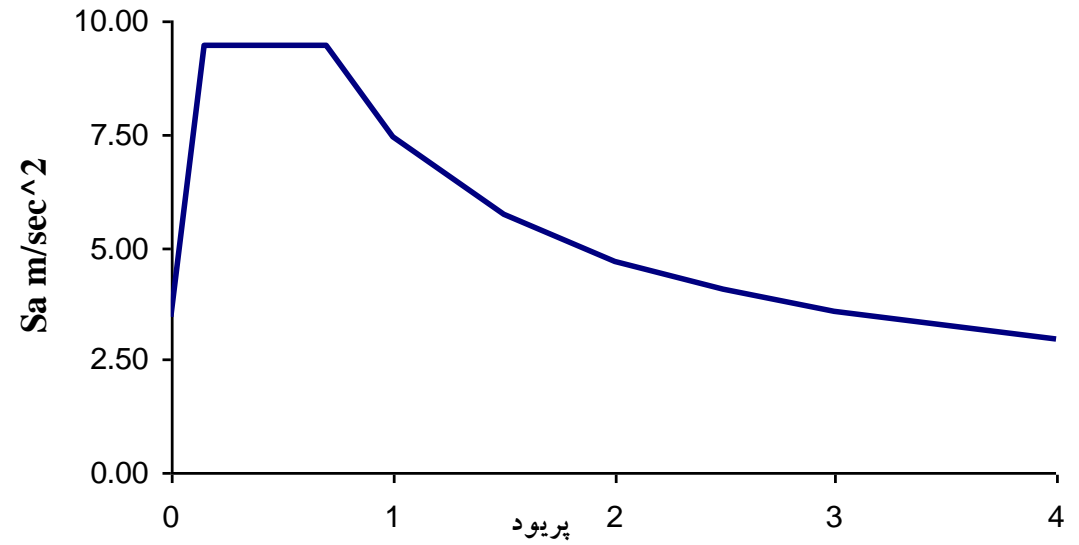


نوع طیف، ضریب آن و جهت وارد شدن طیف بر مدل در آدرس زیر مشخص می‌شود. نوع طیف شتاب، مقیاس آن ۱ و جهت وارد شدن در جهت X است که عدد متناظر آن در بخش SED برابر ۱ و سایر اعداد صفر قرار داده می‌شود.



مقادیر طیف از استاندارد ۲۸۰۰ ایران و برای خاک نوع III و خطر نسبی خیلی زیاد استخراج شده‌اند. جدول و نمودار مقادیر طیفی به شکل زیر است:

f Hz	T	Sa m/sec ²
0.25	4	2.95
0.3	3	3.58
0.4	2.5	4.04
0.5	2	4.69
0.7	1.5	5.68
1.0	1	7.44
1.4	0.7	9.44
6.7	0.15	9.44
50.0	0	3.43



برای وارد کردن طیف ابتدا مقادیر فرکانسها بر حسب هرتز در آدرس زیر وارد می شود.

ANSYS Multiphysics Utility Menu

File Select List Plot PlotCtrls WorkPlane

Toolbar

SAVE_DB RESUM_DB QUIT POWRGRPH

Main Menu

- Preferences
- Preprocessor
- Solution
 - Analysis Type
 - Define Loads
 - Load Step Opts
 - Output Ctrls
 - Time/Frequenc
 - Nonlinear
 - Spectrum
 - Single Point
 - Settings
 - Freq Table**
 - Spectr Values
 - Show Status
 - Erase Table
 - Mode Combine
 - ExpansionPass
 - Other
 - Reset Options
 - Read LS File
 - Write LS File
 - Physics
 - SE Management (CMS)
 - Results Tracking

Pick a menu item or enter a command (SOLUTION)

[FREQ] Frequency Table

Enter up to 20 values of Frequency

FREQ1	0.25
FREQ2	0.3
FREQ3	0.4
FREQ4	0.5
FREQ5	0.7
FREQ6	1
FREQ7	1.4
FREQ8	6.7
FREQ9	50
FREQ10	0
FREQ11	0
FREQ12	0
FREQ13	0
FREQ14	0
FREQ15	0
FREQ16	0
FREQ17	0
FREQ18	0
FREQ19	0
FREQ20	0

OK Cancel Help

ANSYS R17.0

al=1 csys=0

سپس مقادیر طیفی متناظر در آدرس زیر وارد می‌شوند. در این بخش ابتدا لازم است درصد میرایی طیف در پنجره Spectrum Values-Damping Ratio تعیین شود. این مقدار برابر 0.05 در نظر گرفته می‌شود. با زدن Ok پنجره Spectrum Values باز شده و مقادیر طیفی بر حسب فرکانس مشخص شده با واحد متر بر ثانیه به توان دو وارد می‌شوند.

The image shows the ANSYS Multiphysics Utility Menu with the 'Spectrum Values' dialog box open. The dialog box is titled 'Spectrum Values - Damping Ratio' and contains the following information:

- [SV] Spectrum Values
- Damping ratio for this curve - 0.05
- in ascending order from previous ratios
- Damping ratios for previously defined curves (up to 4 total)
- DAMP1 = 0.000
- DAMP2 = 0.000
- DAMP3 = 0.000
- DAMP4 = 0.000 Maximum curve limit reached

The 'Spectrum Values' dialog box is also open, showing the following information:

- [SV] Spectrum Values for Damping Ratio = 0.5000E-01
- FREQ1 = 0.2500 SV1 = 2.95
- FREQ2 = 0.3000 SV2 = 3.58
- FREQ3 = 0.4000 SV3 = 4.04
- FREQ4 = 0.5000 SV4 = 4.69
- FREQ5 = 0.7000 SV5 = 5.68
- FREQ6 = 1.000 SV6 = 7.44
- FREQ7 = 1.400 SV7 = 9.44
- FREQ8 = 6.700 SV8 = 9.44
- FREQ9 = 50.00 SV9 = 3.43

A pink arrow points to the 'Spectrum Values' menu item in the main menu, and another pink arrow points to the 'Spectrum Values' dialog box.

در این مرحله مدل را ذخیره کنید.

File → Save as Jobname

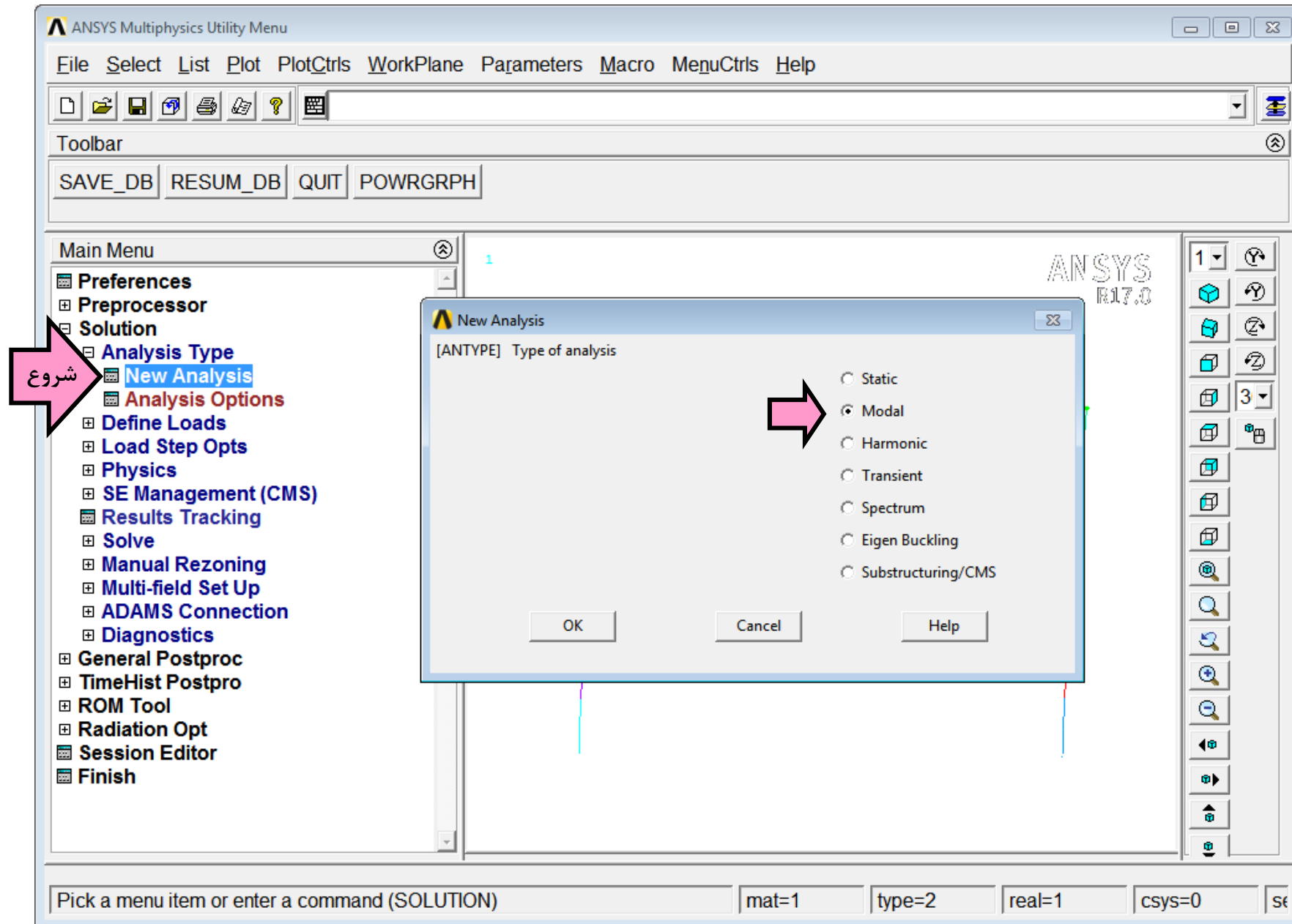
تحلیل طیفی

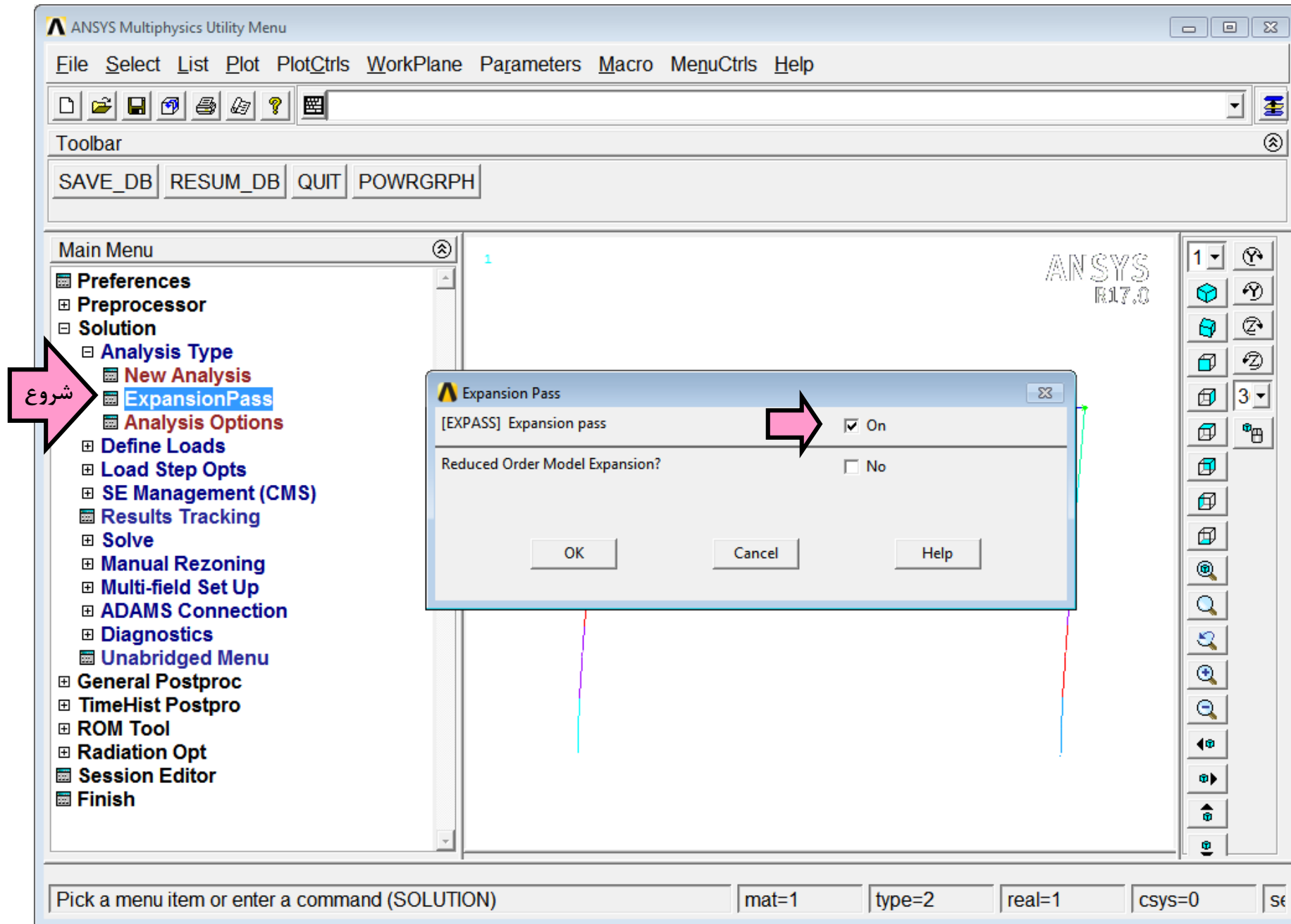
با انتخاب گزینه Solve مدل را تحلیل کنید.

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

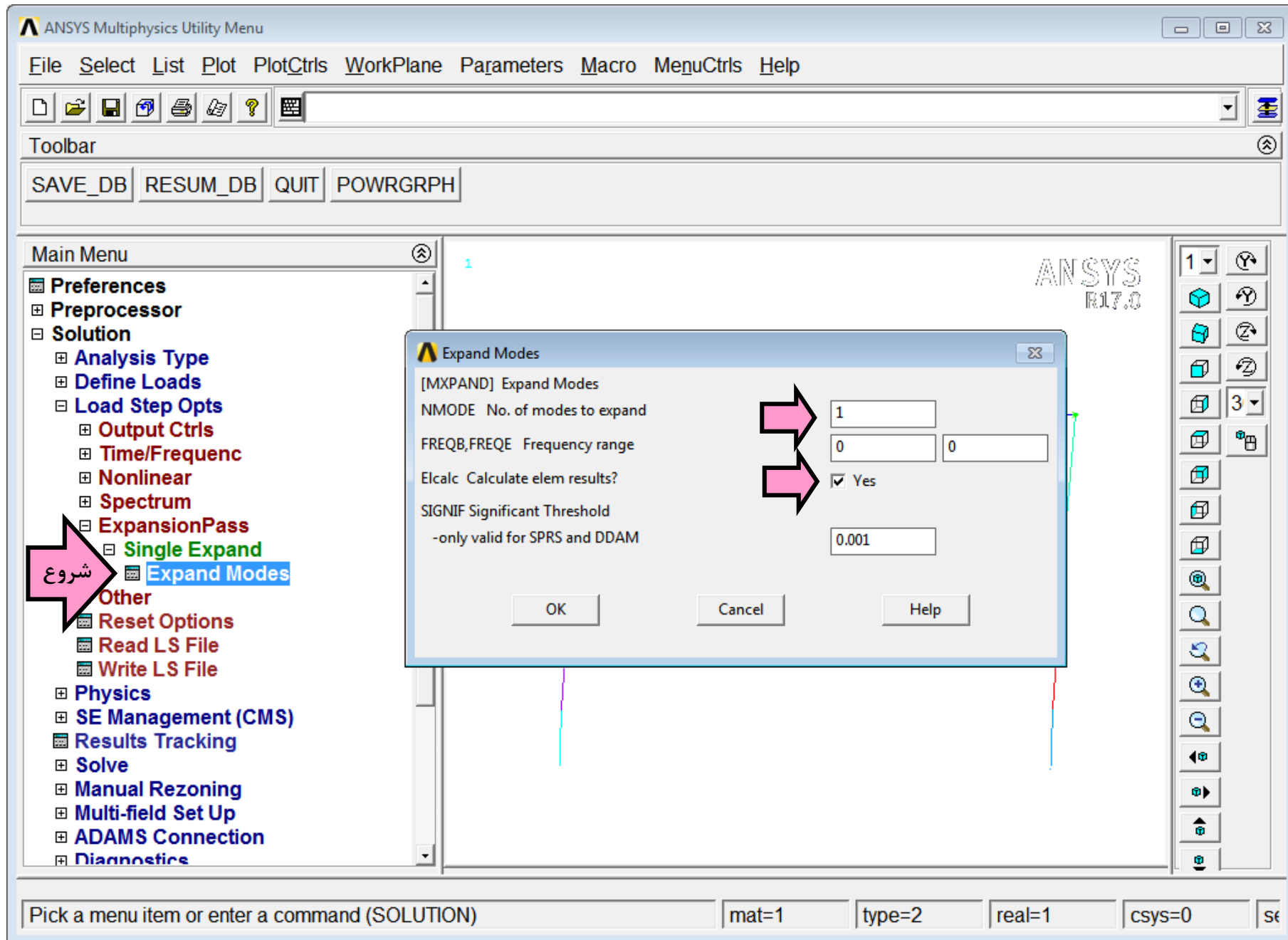
بسط مودها

برای تکمیل تحلیل طیفی مطابق راهنمای برنامه لازم است مودهای مورد نیاز در محاسبه پاسخ سازه بسط داده شوند. برای اینکار ابتدا لازم است نوع تحلیل مودال شود:





تعیین تعداد مودهای لازم جهت ترکیب مودی پاسخها در آدرس زیر صورت می گیرد. تعداد مودها برابر ۱ قرار داده شده و گزینه Calculate Element Results برابر Yes انتخاب می شود.



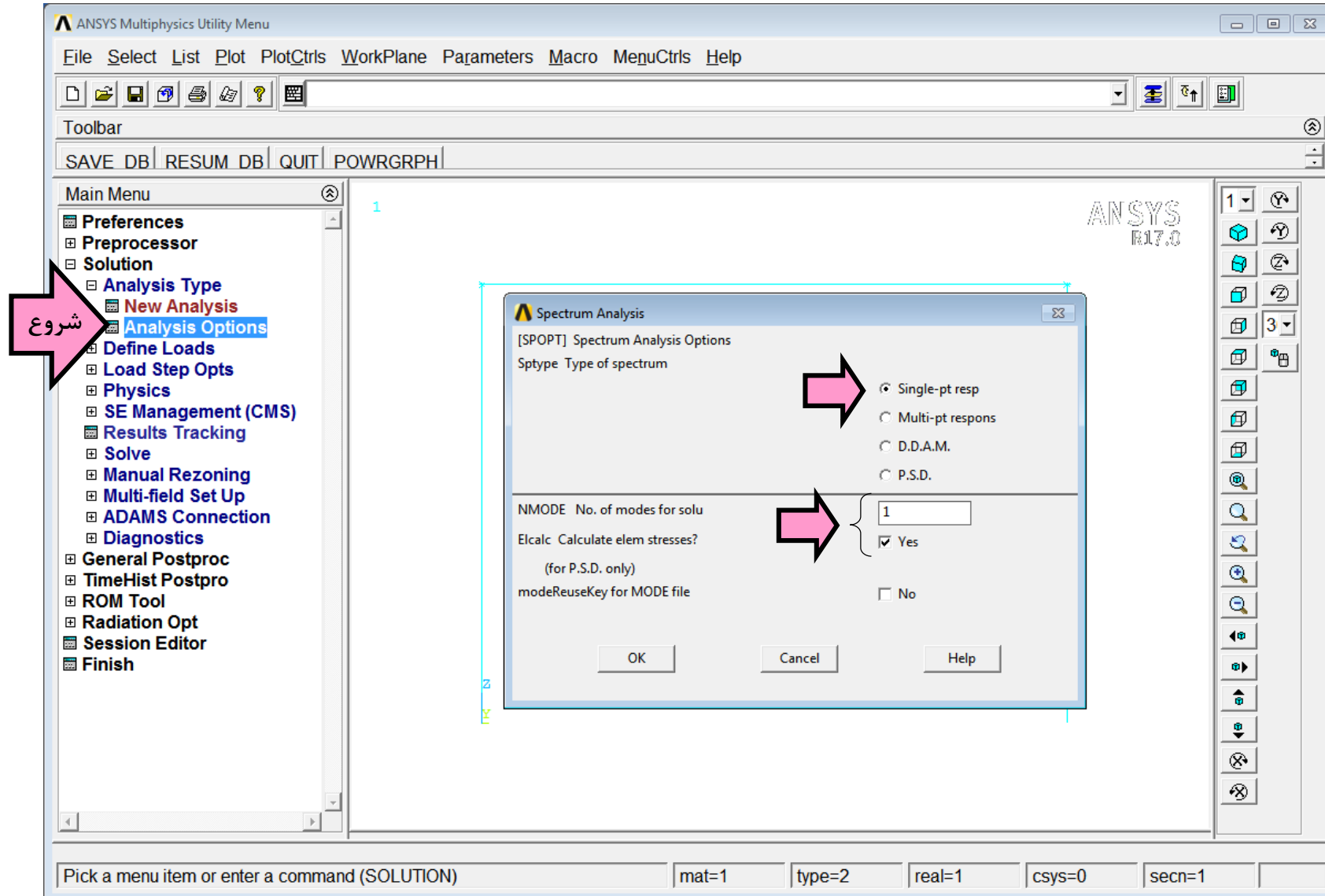
Main Menu → Solution → Solve → Current LS

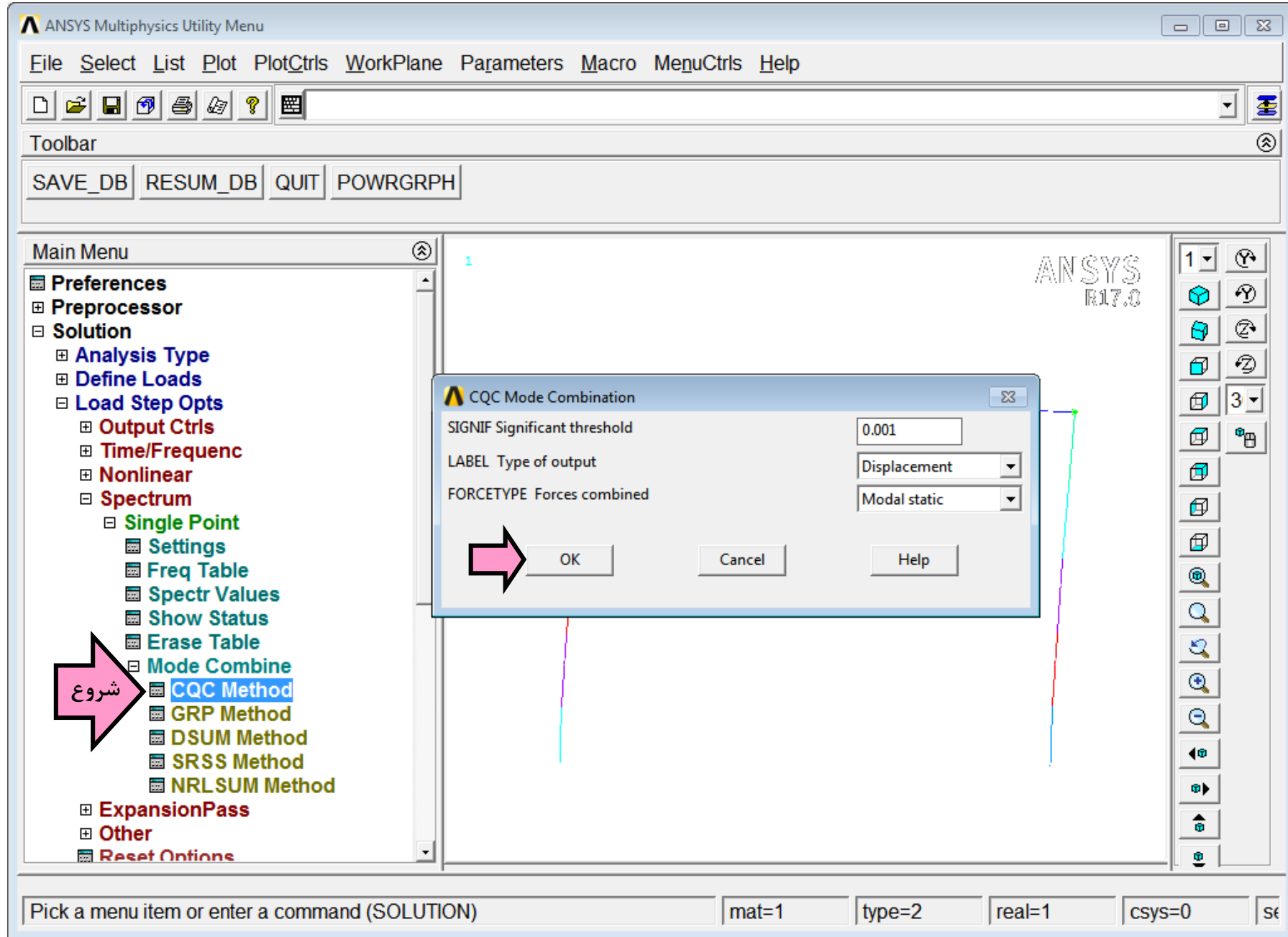
انجام مجدد تحلیل طیفی

مطابق با راهنمای برنامه لازم است مجدداً تحلیل طیفی صورت گیرد. در این مرحله روش ترکیب نتایج مودی نیز انتخاب می‌شود. ابتدا تحلیل طیفی در آدرس زیر انتخاب می‌شود:

Main Menu → Solution → Analysis Type → New Analysis → Spectrum

داده‌های تحلیل طیفی مطابق پنجره زیر در آدرس مربوطه مشخص می‌شوند:





با انجام تحلیل مجدد، نتایج مودی با یکدیگر ترکیب می‌شود.

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

در این مرحله یک فایل به نام File.MCOM در Working Directory ساخته می‌شود که در محل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بازخوانی نتایج ترکیب طیفی مودها

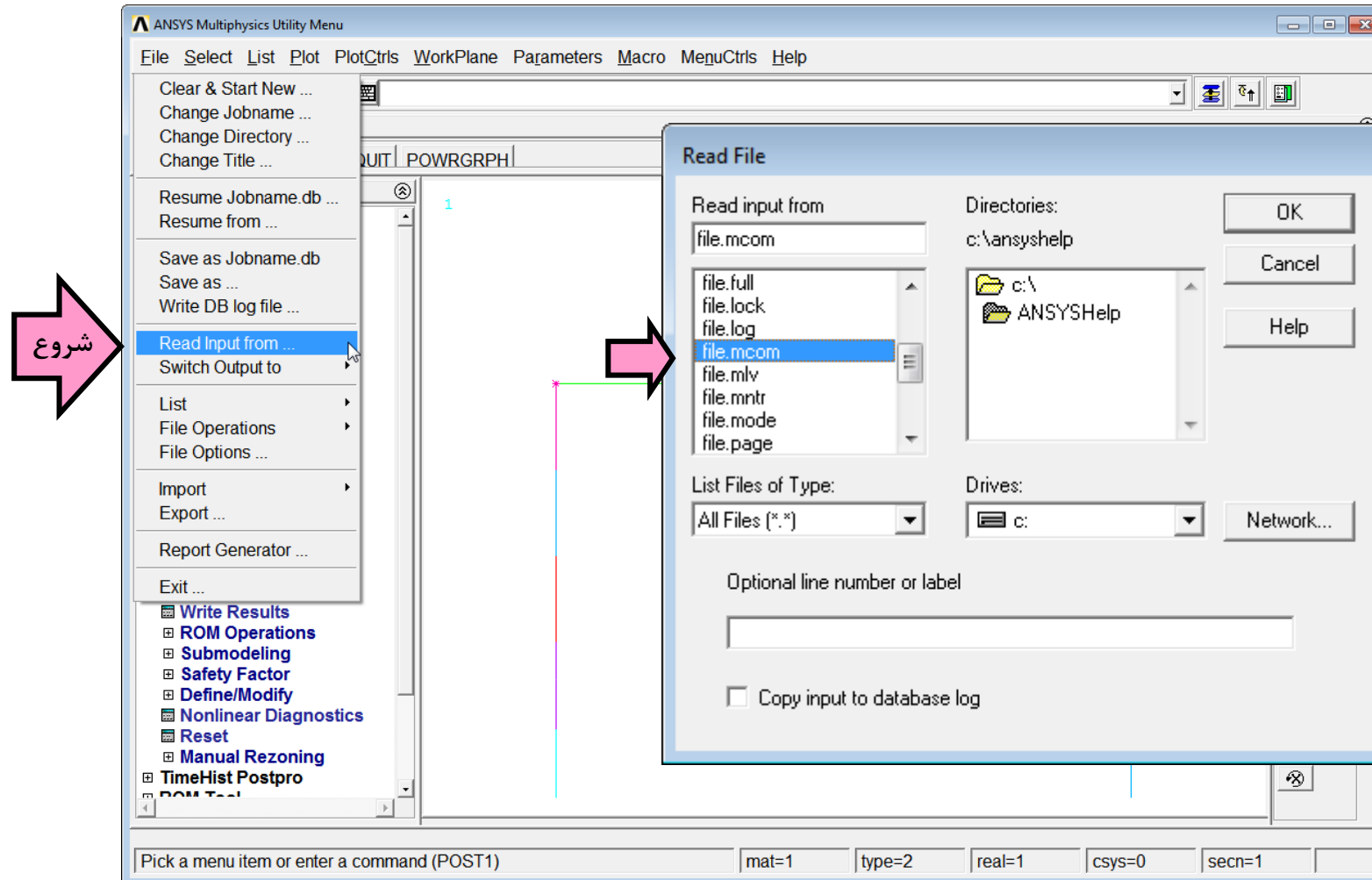
دستورات لازم برای ترکیب نتایج مودها در روش طیفی در فایل به نام file.MCOM ذخیره می‌شوند که در بخش General Postproc باید خوانده شود. برای خواندن این دستورات ابتدا وارد بخش زیر شوید:

Main Menu → General Postproc

حال وارد آدرس زیر شده و فایل file.MCOM را بخوانید:

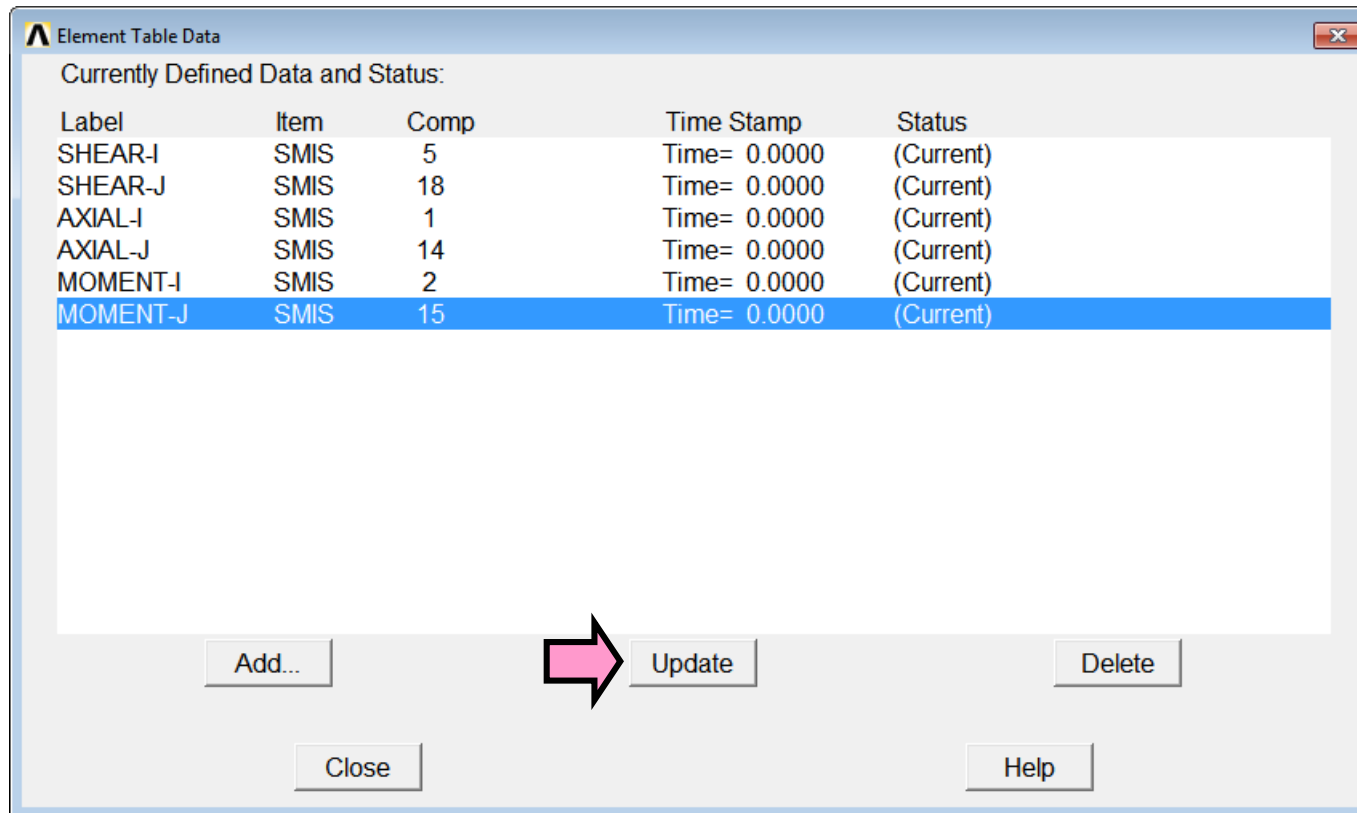
Utility Menu → File → Read input from...

به این ترتیب نتایج در نرم افزار خوانده می‌شوند.



ترسیم نمودار لنگر حاصل از تحلیل طیفی

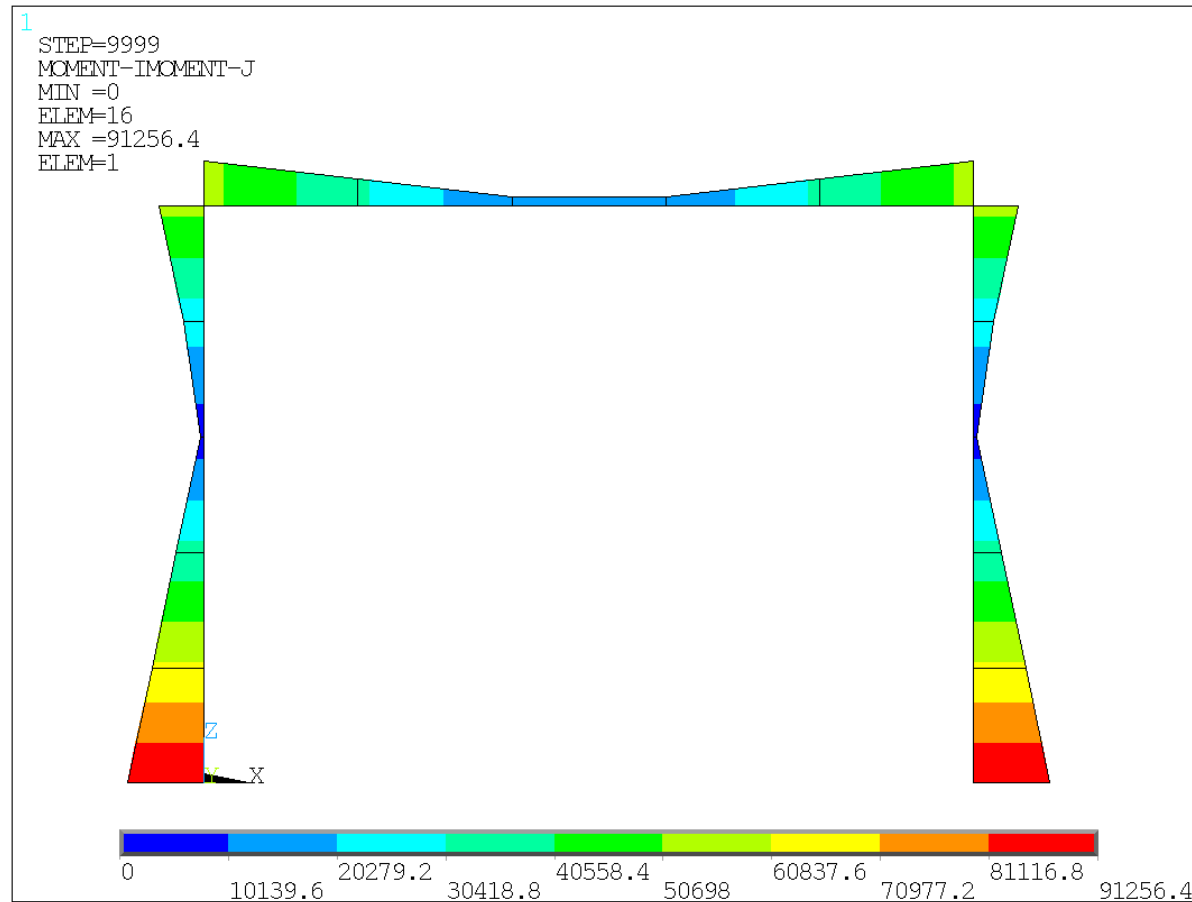
نمودار لنگر المانها حاصل از تحلیل طیفی با همان روشی که برای بار ثقلی بیان شد ترسیم می شود. ابتدا مقادیر Element Table تعریف شده بروزرسانی می شود:



سپس با گزینه زیر نمودار لنگر ترسیم می شود:

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Line Elem Res

نتیجه حاصله به شکل زیر است. دقت داشته باشید که در تحلیل طیفی نتایج تنها با علامت مثبت نشان داده می شوند.

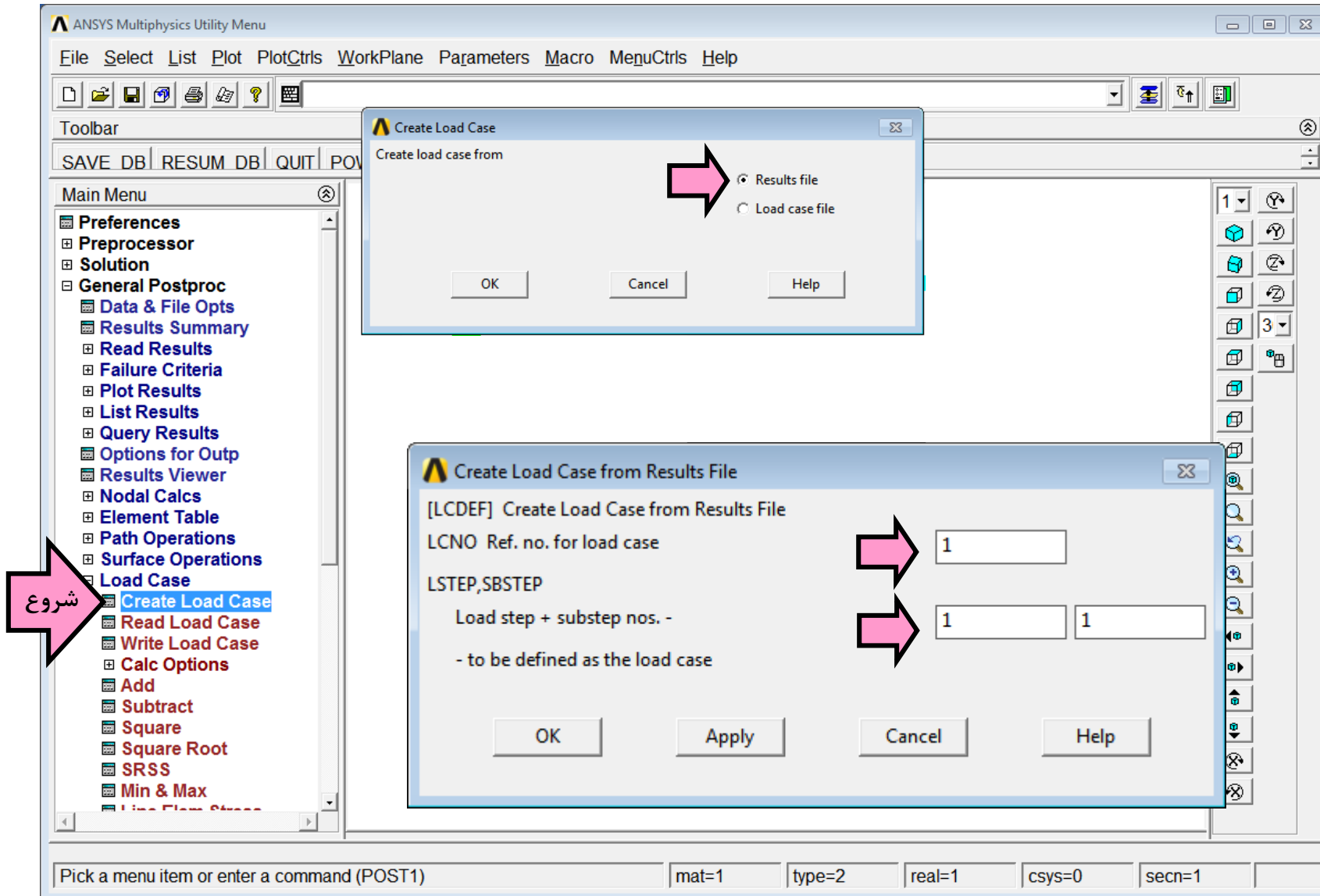


نمودار لنگر المانها حاصل از تحلیل طیفی

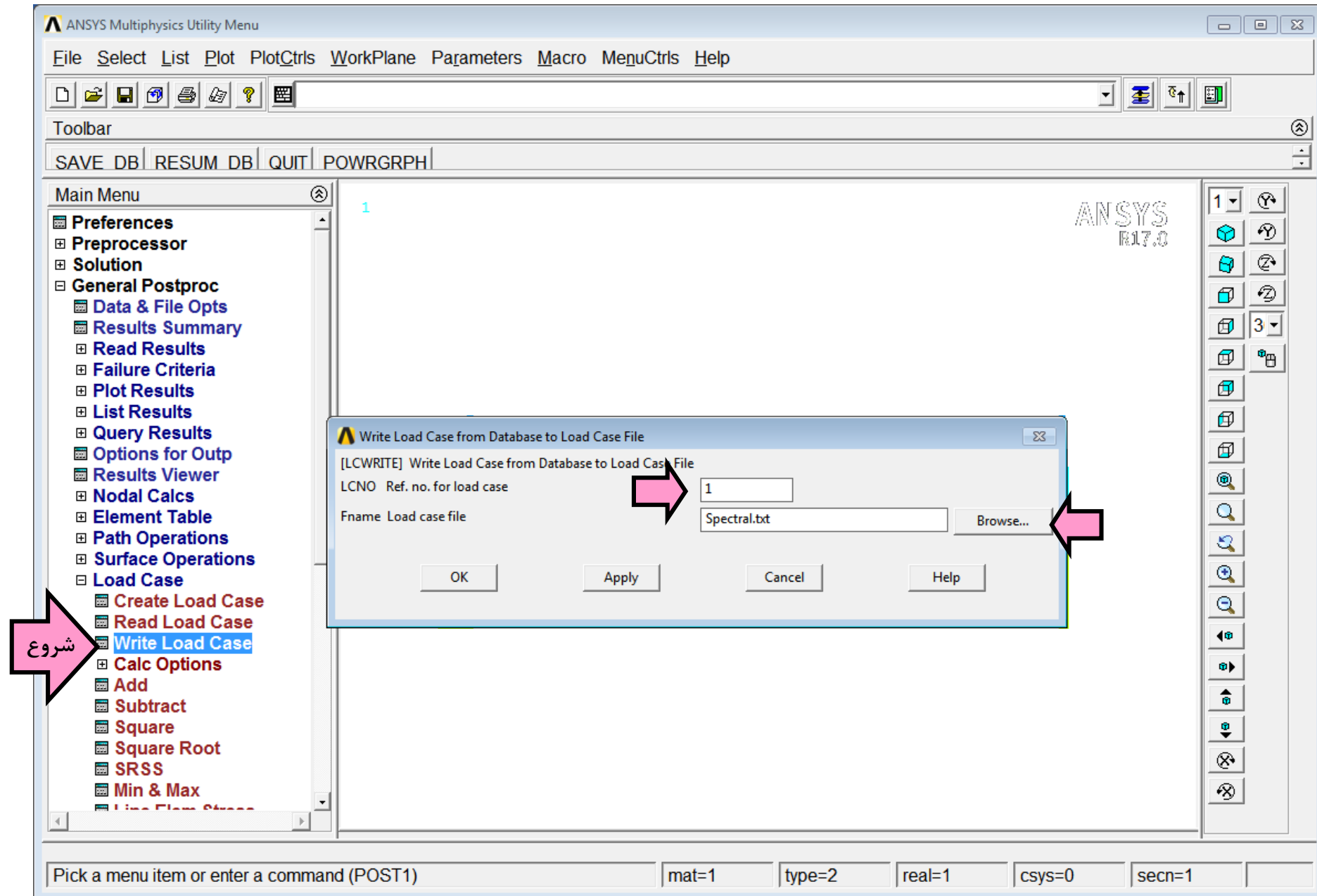
ذخیره نتایج تحلیل طیفی در Load Case

همانند روشی که در ساخت Load Case برای ذخیره نتایج تحلیل ثقلی معرفی شد، در اینجا نیز برای ذخیره نتایج تحلیل طیفی در 1 Load Case استفاده می‌شود.

در مقابل LCNO شماره 1 برای Load Case وارد می‌شود. برای LSTEP و SBSTEP نیز اعداد 1 وارد می‌شوند.

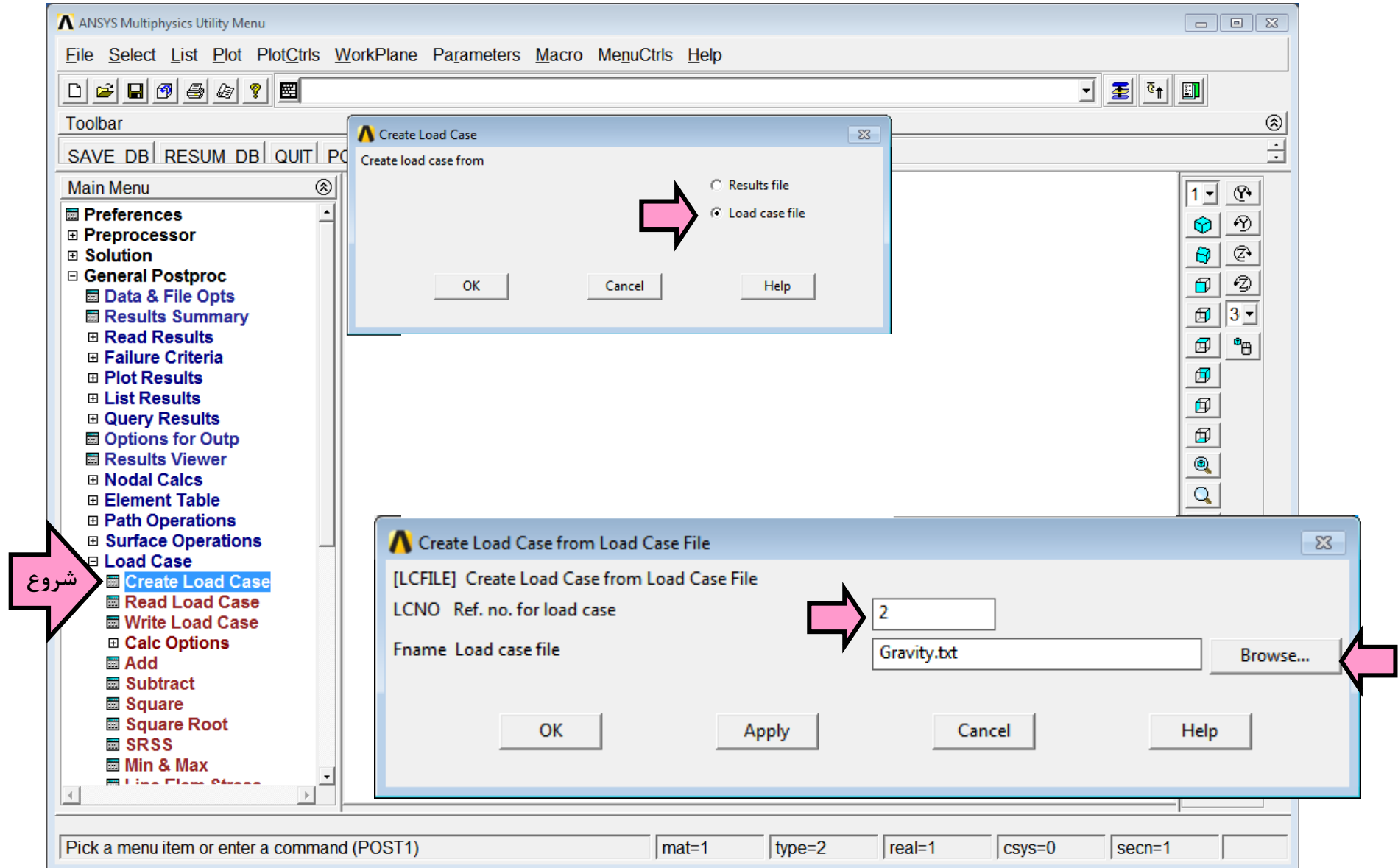


حال نتایج LC1 (Load Case 1) برای بازبانی بعدی در یک فایل با نام Spectral.txt ذخیره می‌شود.



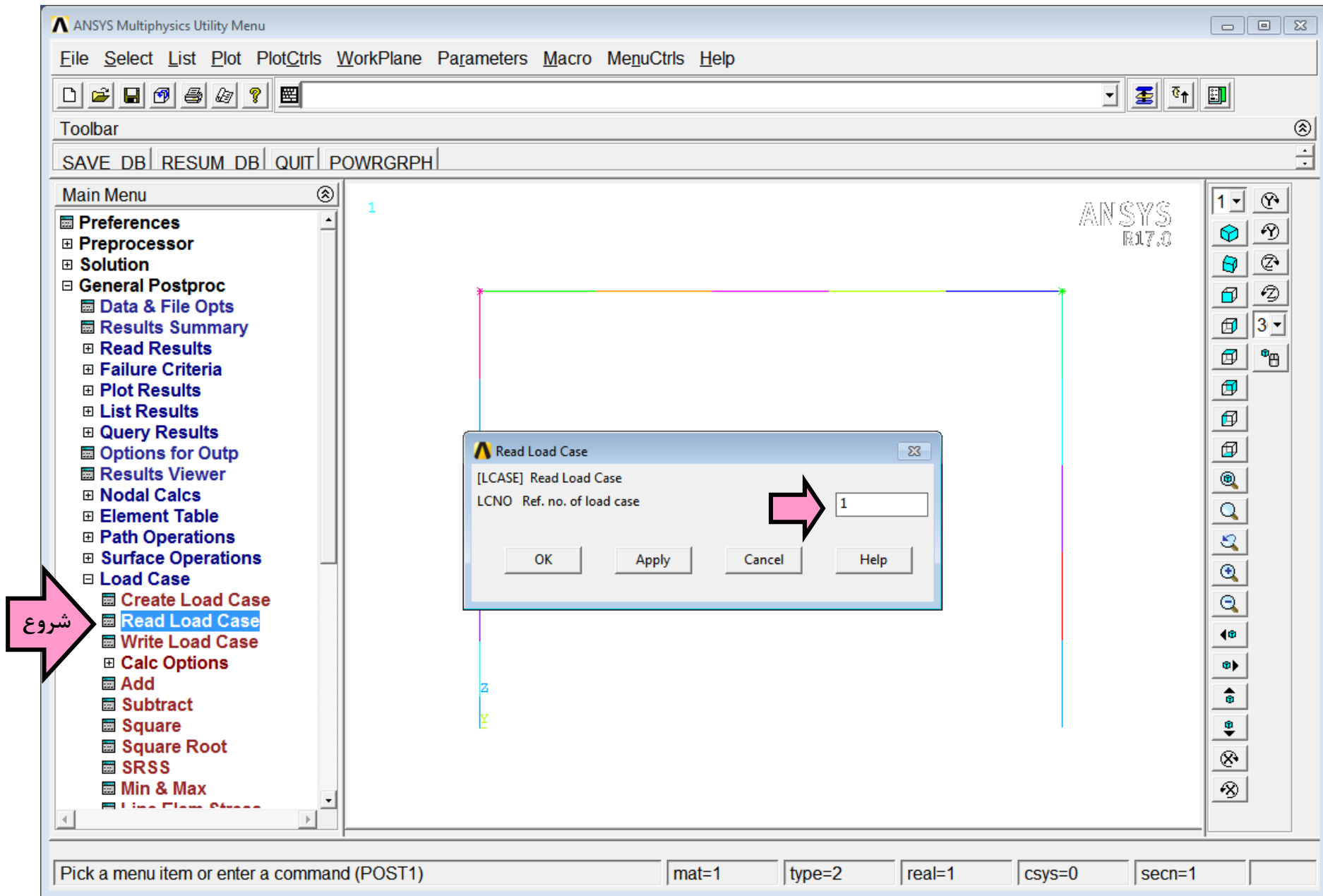
ترکیب نتایج تحلیل ثقلی و طیفی

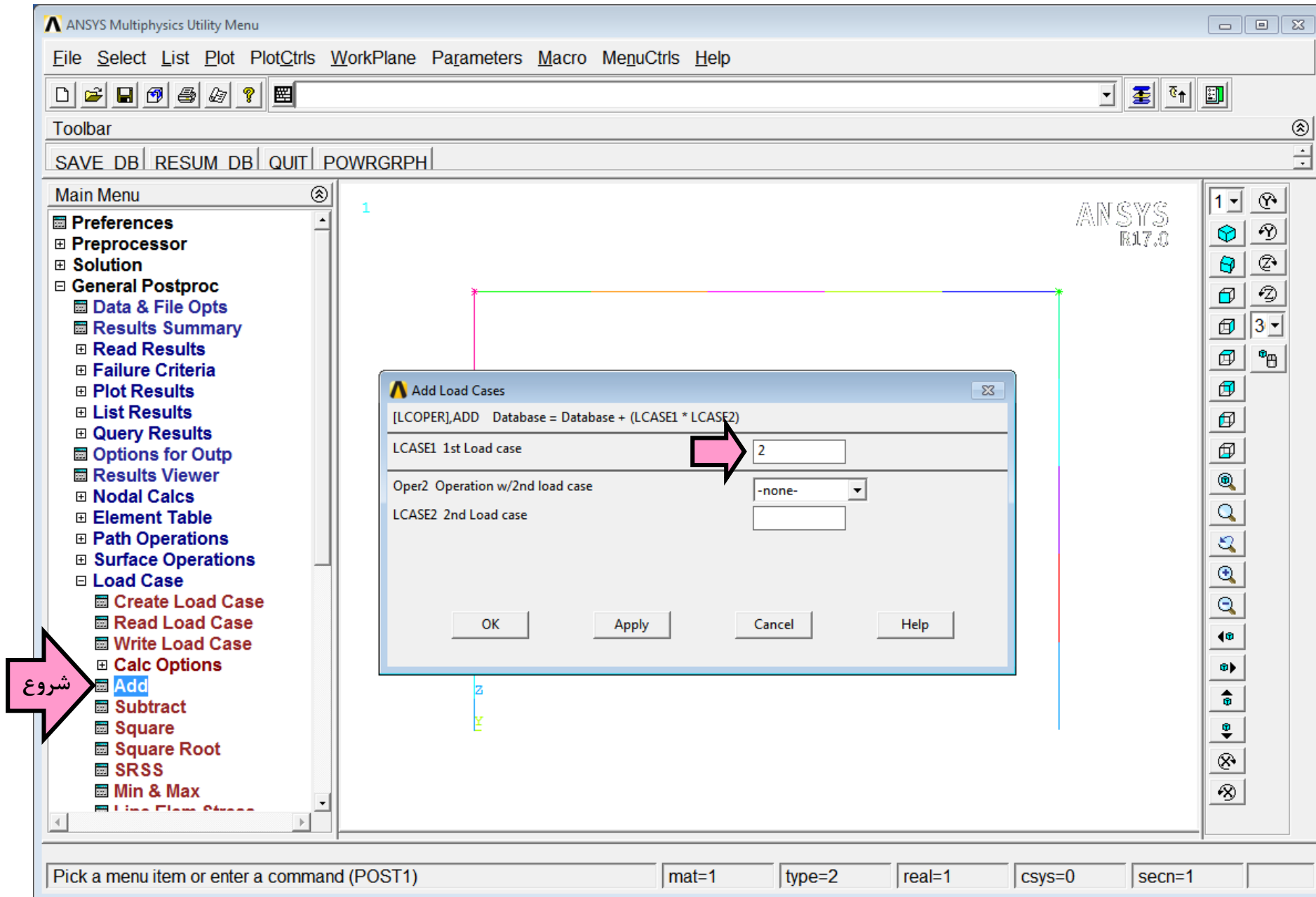
ابتدا نتایج تحلیل ثقلی از فایل Gravity.txt فراخوانی شده و در LC2 ذخیره می‌شود. برای این منظور از دکمه Browse در پنجره Create Load Case from Load Case File برای انتخاب فایل Gravity.txt در Working Directory استفاده نمایید.



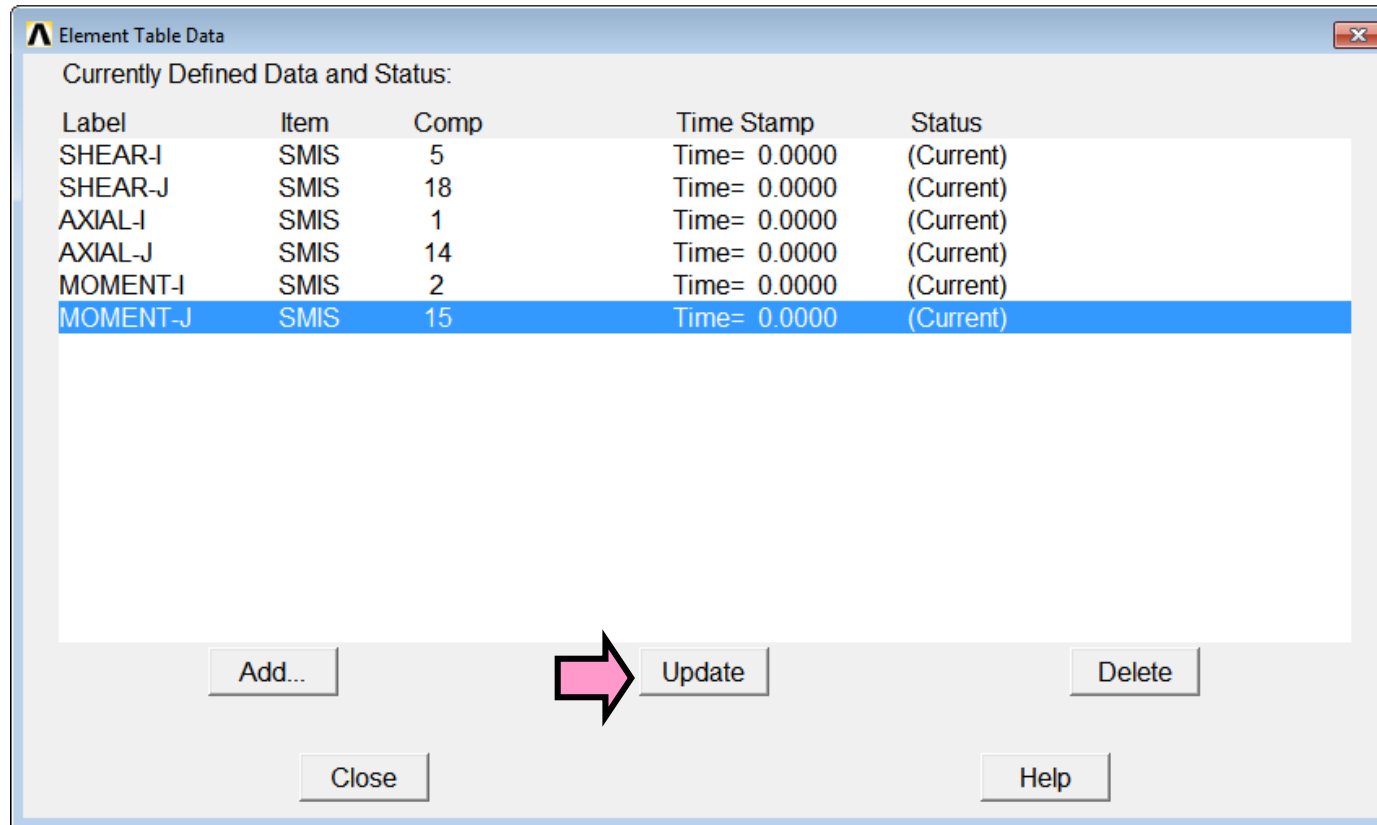
به این ترتیب هم اکنون دو Load Case وجود دارند که در اولی نتایج تحلیل طیفی و در دومی نتایج تحلیل ثقلی ذخیره شده است. برای ترکیب نتایج این دو LC ابتدا LC1 از حافظه فراخوانی

می‌شود:



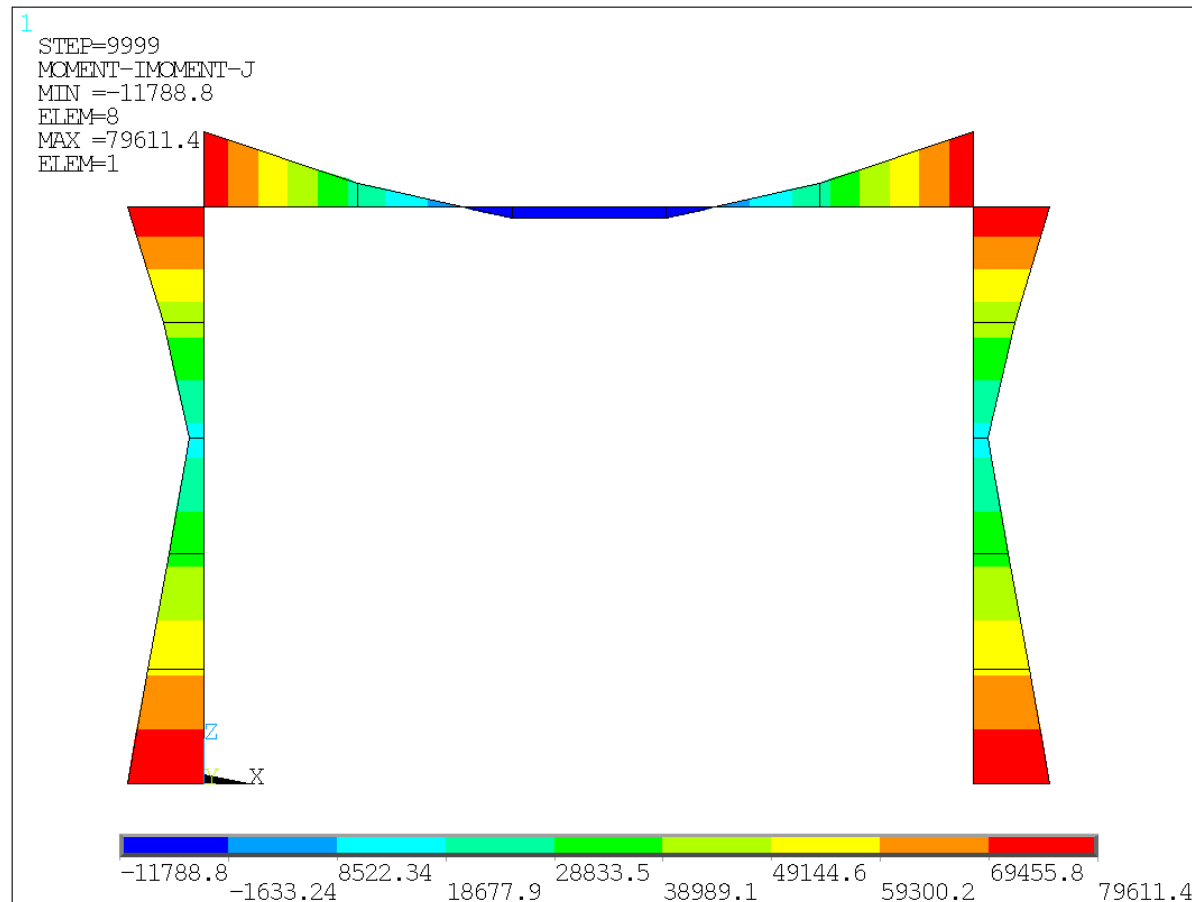


اکنون نتایج ذخیره شده در حافظه حاصل جمع تحلیل طیفی و ثقلی است. برای مشاهده نتایج از روشهای متداول استفاده می شود. توجه داشته باشید که برای مشاهده نتایج از طریق Element Table لازم است مقادیر آن در هر مرحله Update شوند.



ترسیم نمودار لنگر حاصل از بار طیفی تنها

به عنوان نتیجه نهایی نمودار لنگر المانها تحت بارگذاری ترکیبی ثقلی و طیفی با روش ذکر شده قبلی ترسیم می شود:



نمودار لنگر المانها در اثر ترکیب بار طیفی + ثقلی

در پایان مدل را ذخیره کنید.