

**مثال شماره ۷**  
**مطالعه پاسخ دینامیکی یک سیستم یکدرجه آزاد**  
**با نرم افزار ANSYS**

**AHR 90-03**

تهیه و تنظیم: محمد جواد جبارزاده

Web: [www.AnsysHelp.ir](http://www.AnsysHelp.ir)

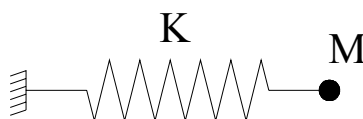
Email: [AnsysHelp.ir@gmail.com](mailto:AnsysHelp.ir@gmail.com)

لطفاً در صورت استفاده از این گزارش پایگاه اینترنتی [www.AnsysHelp.ir](http://www.AnsysHelp.ir) را به عنوان مرجع معرفی فرمایید

## مقدمه

ساده ترین مدل دینامیکی که می تواند مورد بررسی قرار گیرد یک سیستم یکدرجه آزاد است که از یک جرم، یک فنر و یک میراگر تشکیل شده است. به کمک چنین مدلی می توان با مفاهیم رفتار دینامیکی سازه ها آشنا گشت و یا یک ابزار تحلیلی را کنترل نمود. در این مثال پاسخ دینامیکی چنین سیستمی بررسی شده و تغییر مقادیر جرم، سختی و میرایی بر پاسخ آن مختصراً مرور می شود. برای سهولت مطالعه، پس از ساخته شدن مدل از یک ماکرو برای تحلیل حالت های مختلف و دریافت نتایج استفاده خواهد شد.

در تصویر زیر یک سیستم یکدرجه آزاد جرم و فنر نشان داده شده است. در وهله اول مقدار سختی و جرم به نحوی تعیین شده است که پریود ارتعاش طبیعی مجموعه جرم و فنر برابر 0.04 ثانیه باشد.



برای اندازه گیری میرایی لازم است تحریکی به جرم در امتداد فنر وارد شده و پاسخ ارتعاش آزاد آن بدست آید. تحریک انتخاب شده در این مثال یک جابجایی مثلثی فزاینده در پایه است که بطور ناگهانی صفر می شود. برای بدست آوردن تاریخچه زمانی پاسخ ارتعاش آزاد مدل، رشته ای از مقادیر صفر پس از اعمال جابجایی اضافه شده است. گام های زمانی تحلیل 0.005 ثانیه فرض شده است. برای شبیه سازی کل مدل از المان Link 11 استفاده می شود.

## مشخصات مدل

نوع مدل: دو بعدی

نوع المان: Link 11

نوع مصالح: الاستیک

مدول الاستیسیته: -

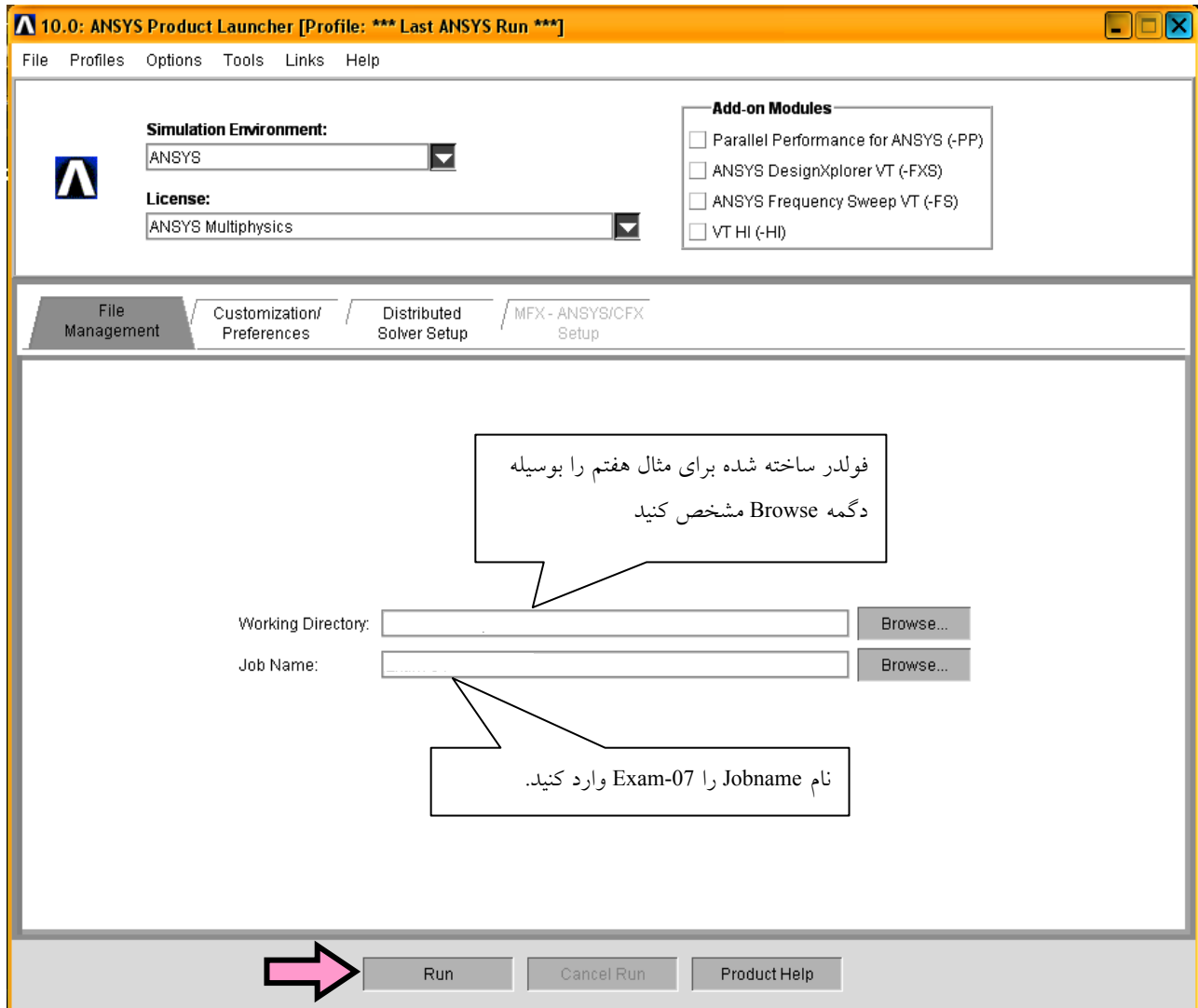
ضریب پواسون: -

واحدها: فنر نیوتن بر متر، جرم کیلوگرم، میرایی نیوتن.ثانیه بر متر

## آغاز برنامه

ابتدا یک فولدر به نام Exam 07 که محل قرار گیری فایل‌های پروژه است بسازید. سپس وارد آدرس زیر شوید و آدرس فولدر پروژه را در پنجره زیر وارد کنید. در محل Job name نام Exam-07 را وارد نموده و دکمه Run را فشار دهید:

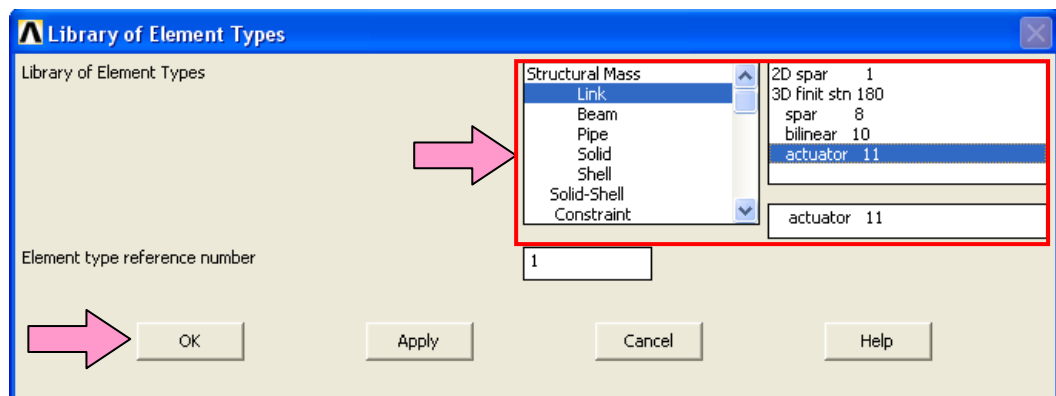
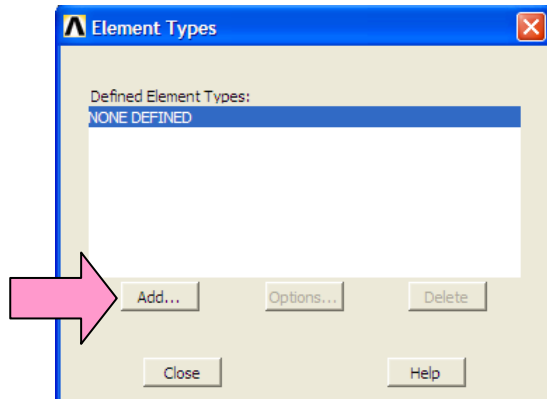
Start → All Programs → ANSYS 10.0 → ANSYS Product Launcher →



## انتخاب نوع المان

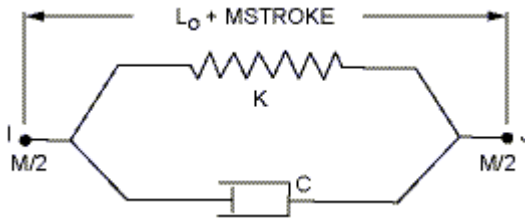
نوع المان با هندسه خطی و از دسته Link با شماره ۱۱ است. این المان در برگیرنده یک فنر و دو جرم متمرکز در دو گره خود است که هر یک نصف مقدار تعریف شده در Real Constant را دارا هستند. این المان دارای دو گره است که هر یک ۳ درجه آزادی جابجایی در امتداد سه محور اصلی دارا هستند. رفتار المان الاستیک خطی است. برای انتخاب المان همانند مثالهای قبلی عمل می شود که بطور خلاصه در آدرس زیر صورت می گیرد:

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



## تعریف مشخصات فنر و جرم

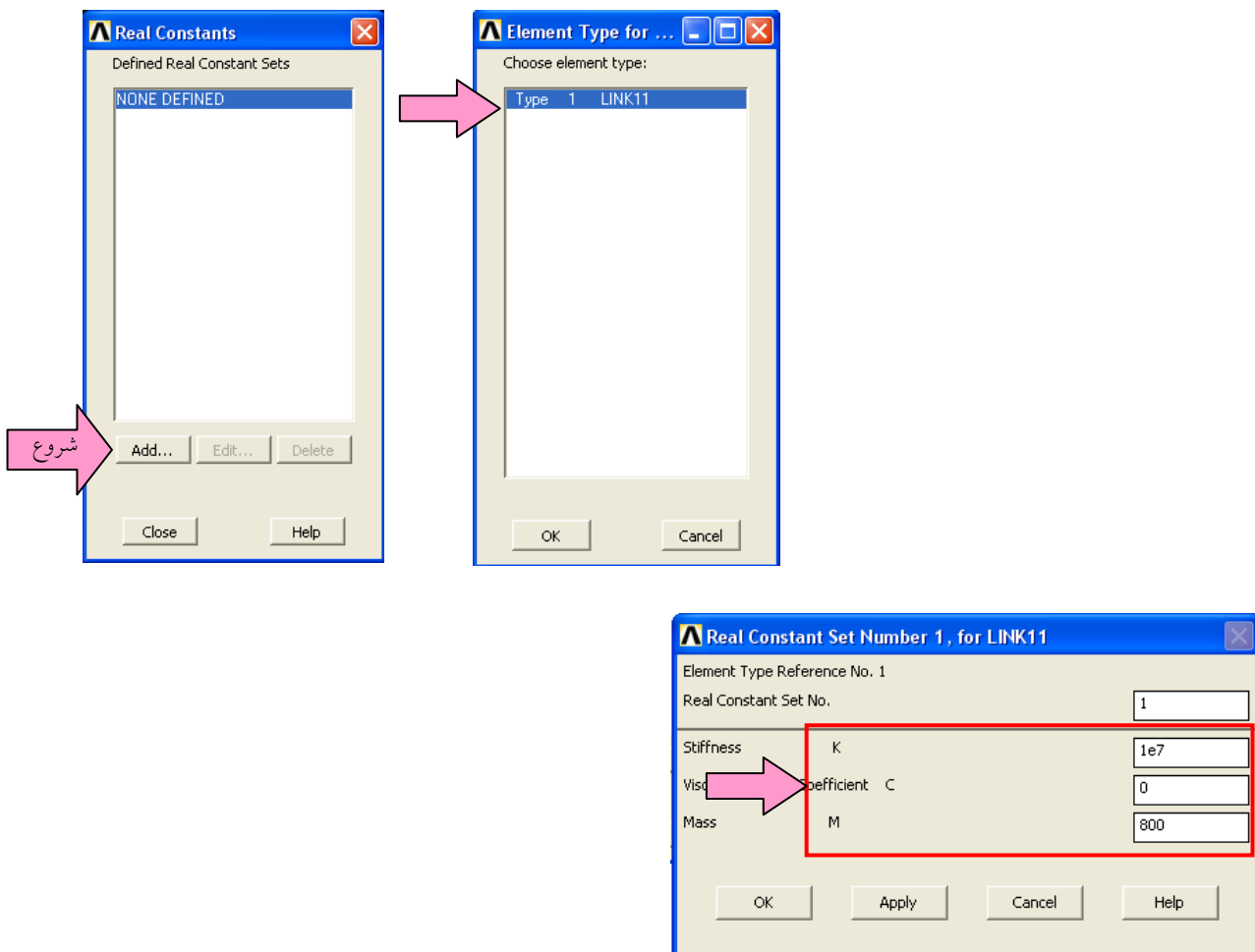
مشخصات لازم برای تعریف شامل سختی فنر، میرایی و جرم متمرکز در دو انتهای آن است. مطابق با تعریف برنامه (تصویر زیر) چون جرم متمرکز تعریف شده به دو تقسیم شده و هر نصف آن در یک گره قرار داده می‌شود، مقدار آن دو برابر آنچه مفروض است وارد می‌شود.



مقدار سختی و جرم به نحوی انتخاب می‌شود که پیوند طبیعی نوسان مدل برابر  $0.04 \text{ s}$  باشد. مقدار سختی در این حالت برابر  $1e7 \text{ N}$  و مقدار جرم برابر  $400 \text{ kg}$  انتخاب می‌شود. برای تعریف مشخصات فنر وارد آدرس زیر شوید:

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

با زدن دکمه ADD نوع المان مورد نظر که بطور پیش فرض Link 11 است را انتخاب و در پنجره باز شده مشخصات آن را وارد نمایید. در این مرحله مقدار میرایی صفر فرض می‌شود به همین دلیل مقدار C برابر صفر قرار داده شده است.

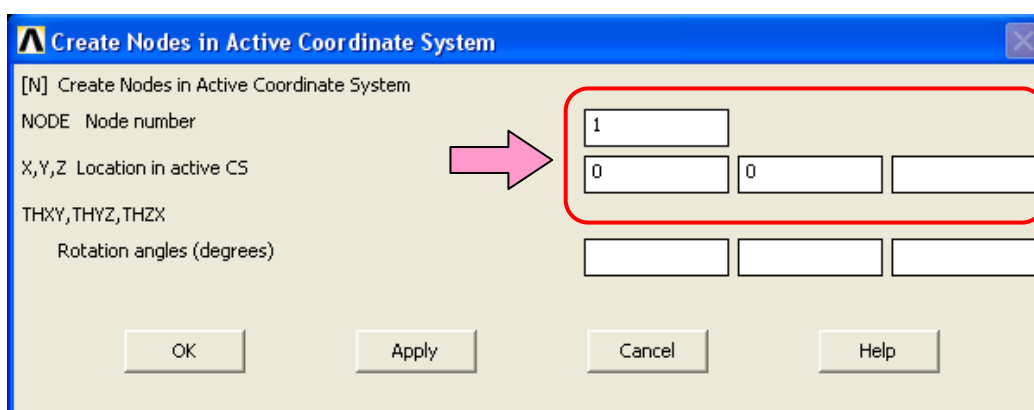


در این مثال نیازی به تعریف مشخصات مصالح نمی باشد زیرا مشخصات المان بطور مستقیم تعریف می شوند.

### ساخت مدل

برای ساخت هندسه مدل گره‌های ابتدا و انتهای المان تعریف شده و سپس المان فنر بین آنها ایجاد می شود. فاصله بین گره‌ها تأثیری بر جواب نخواهد داشت اما برای حفظ تناسب مقدار آن ۱ متر فرض می شود. گره اول با مختصات (0,0) و گره دوم در فاصله ۱ متری گره اول و با مختصات (1,0) در جهت x تعریف می شود. برای ساخت گره وارد آدرس زیر شوید و مختصات هر گره را به ترتیب وارد کرده و دگمه Apply را بفشارید:

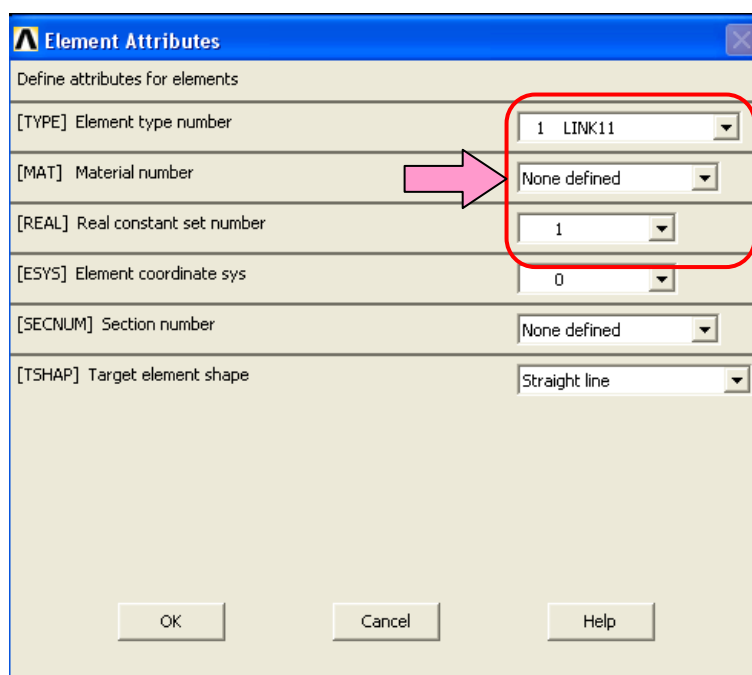
Utility Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Nodes → In Active CS



همین کار را برای تعریف گره دوم بکار برید.

برای ساخت المان ابتدا مشخصات آنرا در آدرس زیر انتخاب نمایید:

Utility Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Elements → Element Attributes

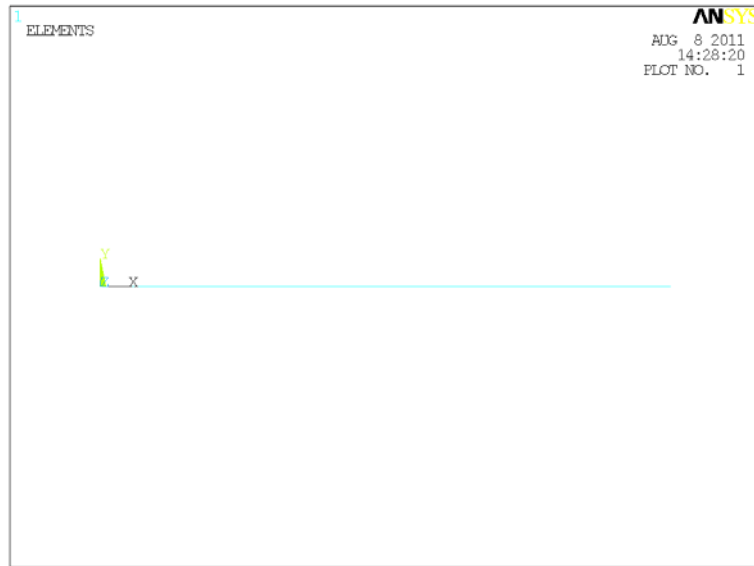


چون در این مدل تنها یک نوع المان و یک نوع Real Constant تعریف شده است برنامه بطور خودکار مشخصات آنها را نشان می دهد. اگر چند نوع المان یا چند نوع Real Constant تعریف شده بود، باید در فهرست مربوطه نوع آنها انتخاب می گردید.

حال وارد آدرس زیر شده و با فعال شدن موس ابتدا روی گره ۱ و سپس روی گره ۲ کلیک نمائید.

Utility Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Elements → Auto Numbered → Thru Nodes

به این ترتیب مدل فنری مطابق تصویر زیر ایجاد خواهد شد.

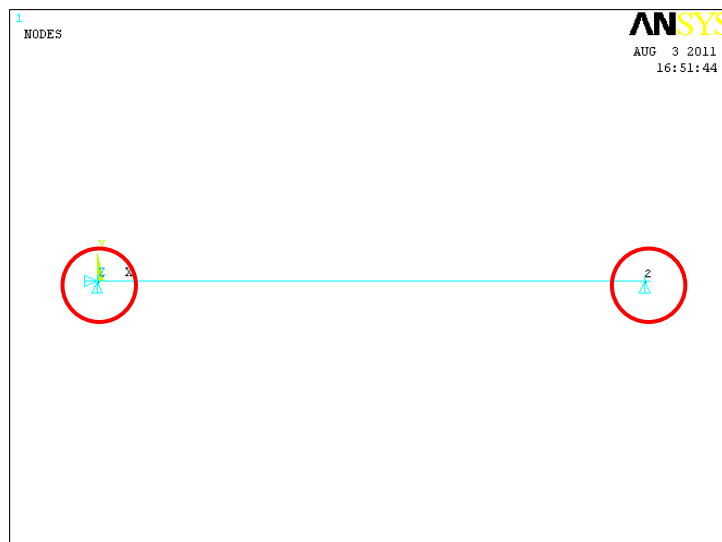


### تعریف شرایط تکیه گاهی

شرایط تکیه گاهی در ابتدای فنر (گره ۱) شامل مقید کردن آن در سه جهت است. اما در انتهای آن (گره ۲) که محل نوسان جرم متمرکز است تنها درجات آزادی جانبی شامل  $u_y$  و  $u_z$  باید مقید شوند. برای تعریف تکیه گاهها از آدرس زیر استفاده نمائید:

Utility Menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Displacement → on Nodes

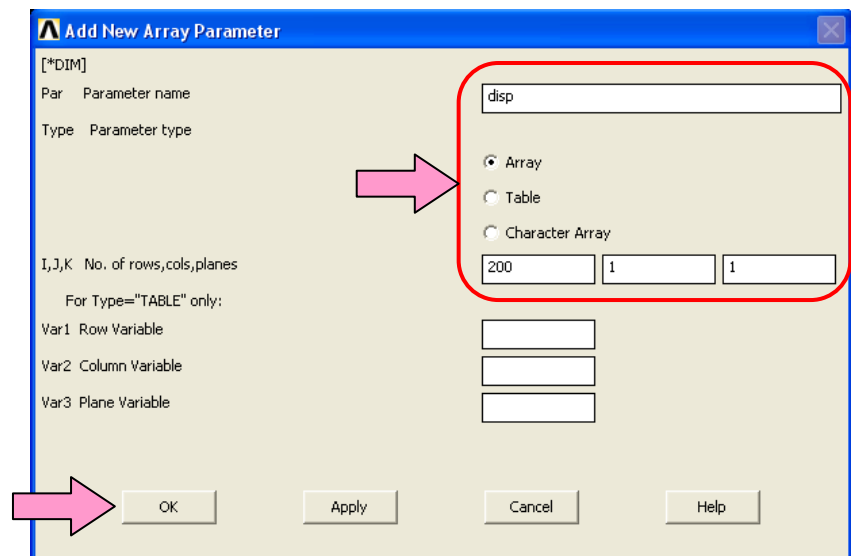
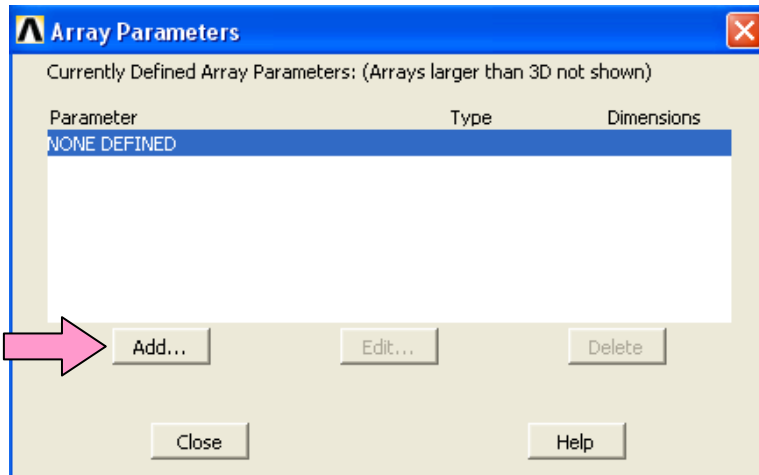
مدل نهایی در تصویر زیر نشان داده شده است.



## معرفی جابجایی و زمان

برای تعریف جابجایی تکیه‌گاهی و زمان به ترتیب از دو پارامتر Disp و Time استفاده می‌شود. ابتدا این پارامترها در آدرس زیر تعریف شده و سپس محتوای آنها مشخص می‌شود:

Utility Menu → Parameters → Define/Edit ...

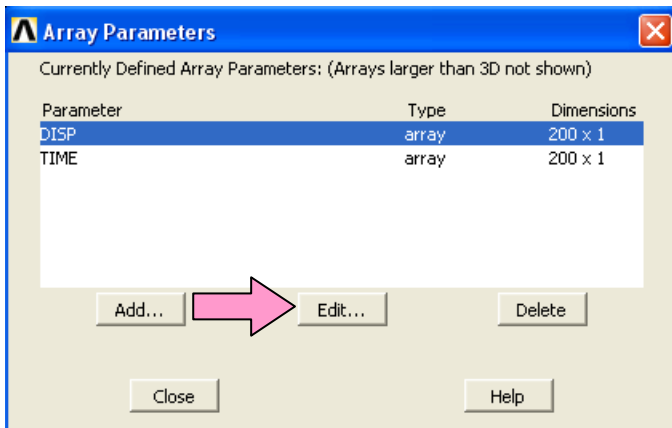


همین مراحل برای تعریف پارامتر time نیز که نماینده متغیر زمان است صورت می‌گیرد.



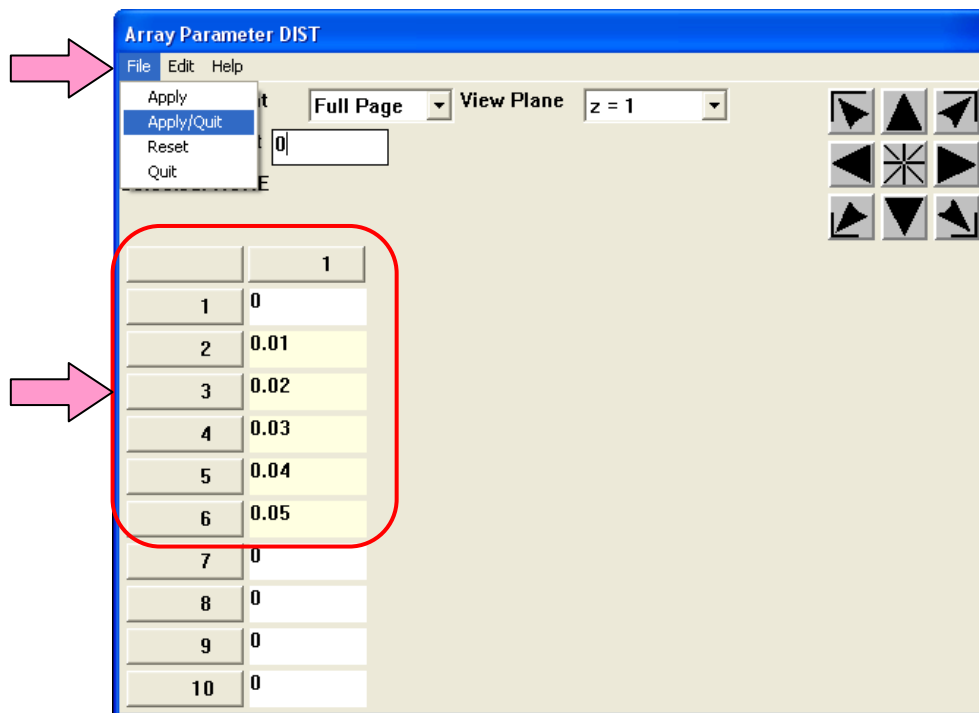
برای نسبت دادن مقادیر جابجایی مجدداً وارد آدرس زیر شده و با انتخاب Disp دگمه Edit را بفشارید:

Utility Menu → Parameters → Define/Edit ...



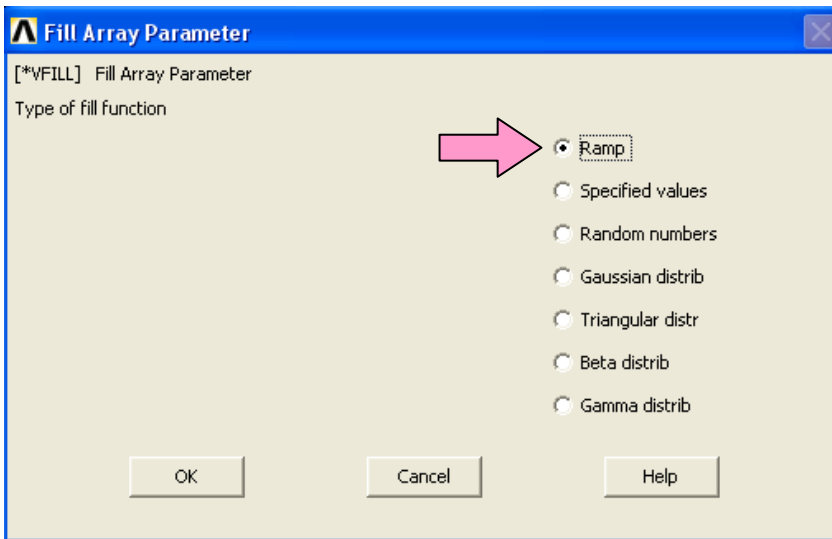
حال مطابق تصویر زیر مقادیر جابجایی را وارد نمائید، سپس وارد فایل شده Apply/Quit را بفشارید تا تغییرات اعمال

شده ذخیره شوند.

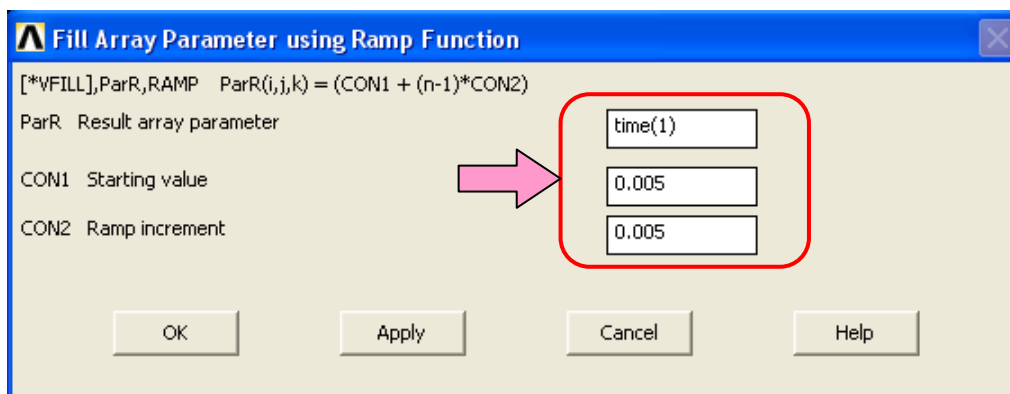


برای تعریف محتوای پارامتر زمان از روش دیگری استفاده می‌شود. ابتدا وارد آدرس زیر شوید:

Utility Menu → Parameters → Fill



در پنجره باز شده گزینه Ramp را انتخاب نمایید. در پنجره بعدی نام متغیر بصورت  $time(1)$  و مقدار ابتدایی و گامهای زمانی به ترتیب نشان داده شده در تصویر زیر وارد می‌شوند:



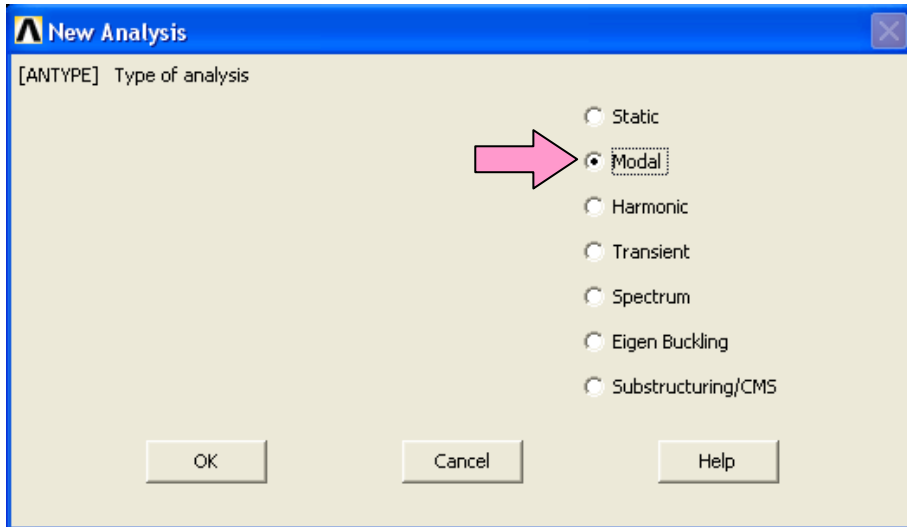
برای کنترل مقادیر  $time$  می‌توانید وارد آدرس زیر شوید:

Utility Menu → Parameters → Define/Edit ... → Edit دگمه

## تحلیل مودال

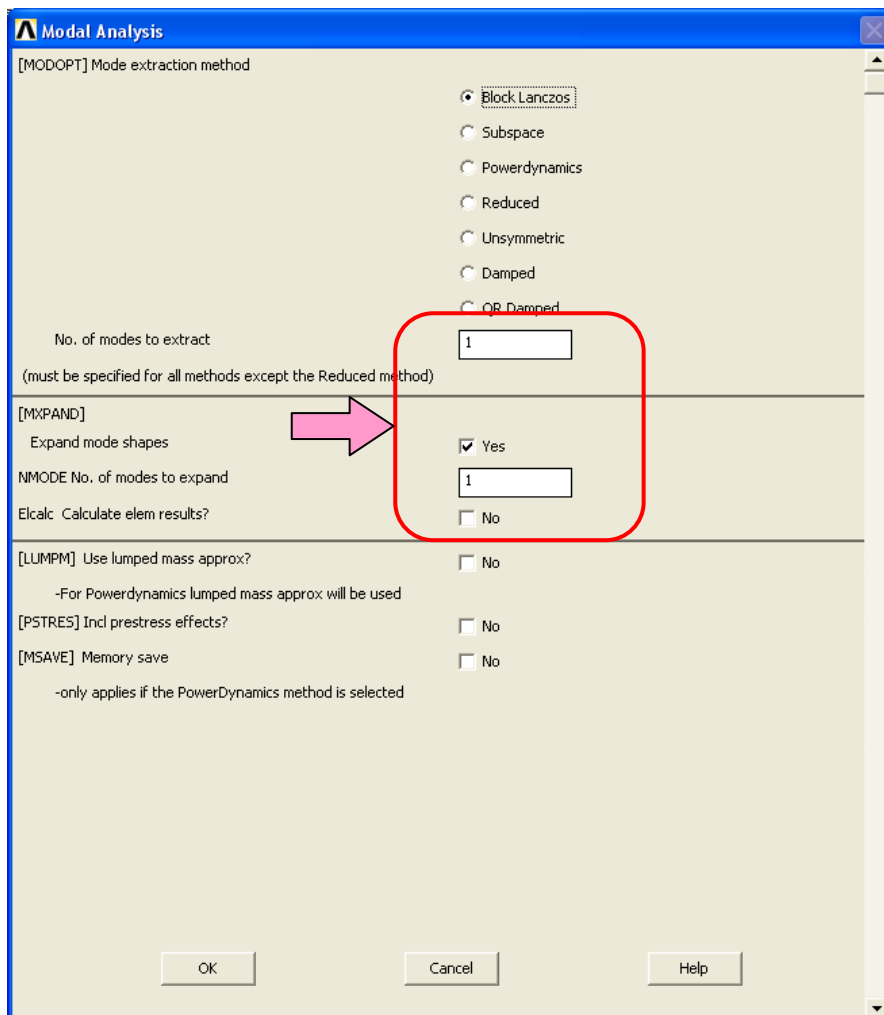
برای کنترل صحت مدل ابتدا یک تحلیل مودال برای تعیین پاسخ دینامیکی آن صورت می‌گیرد. در آدرس زیر گزینه Modal را انتخاب کنید:

Main Menu → Solution → Analysis Type → New Analysis



حال وارد آدرس زیر شده و تعداد مودهای مورد نیاز را در بخش نشان داده شده برابر ۱ قرار دهید:

Main Menu → Solution → Analysis Type → Analysis Options



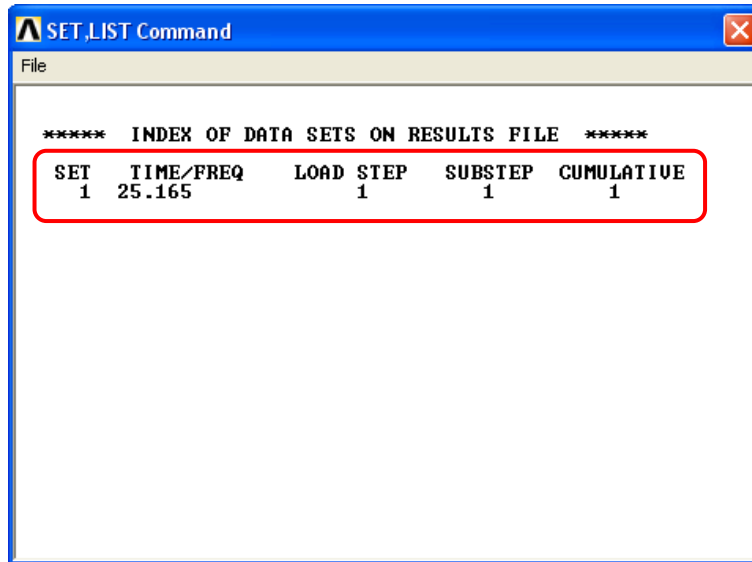
سپس در آدرس زیر تحلیل را آغاز کنید:

Main Menu → Solution → Solve → Current LS

پس از پایان تحلیل پنجره **Solution Done!** را مشاهده خواهید کرد. برای مشاهده نتیجه تحلیل وارد آدرس زیر شوید:

Main Menu → General Post Proc → Results Summary

در فایل باز شده مقدار فرکانس طبیعی سازه بر حسب هرتز نشان داده می‌شود. پریود سازه معکوس این عدد و برابر 0.04 ثانیه است.

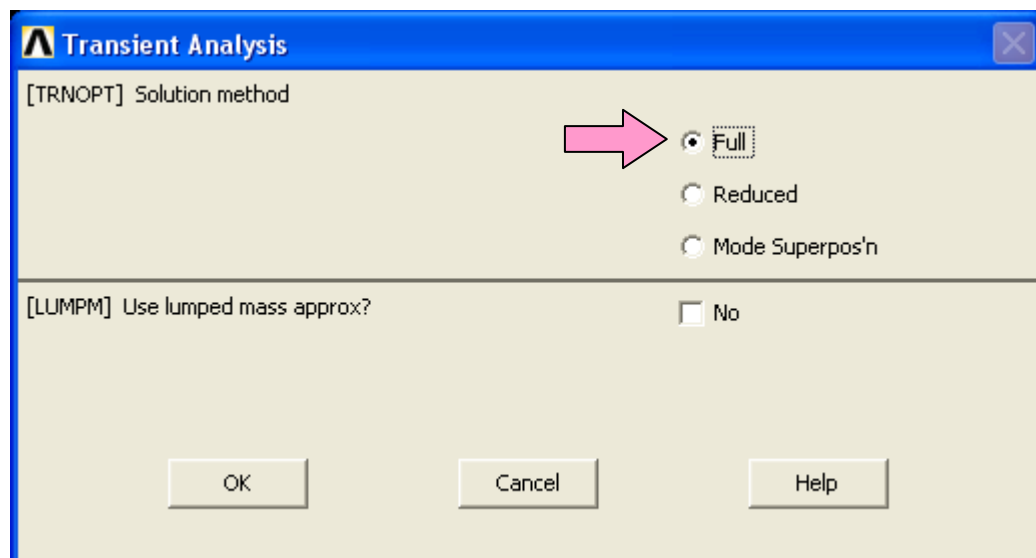
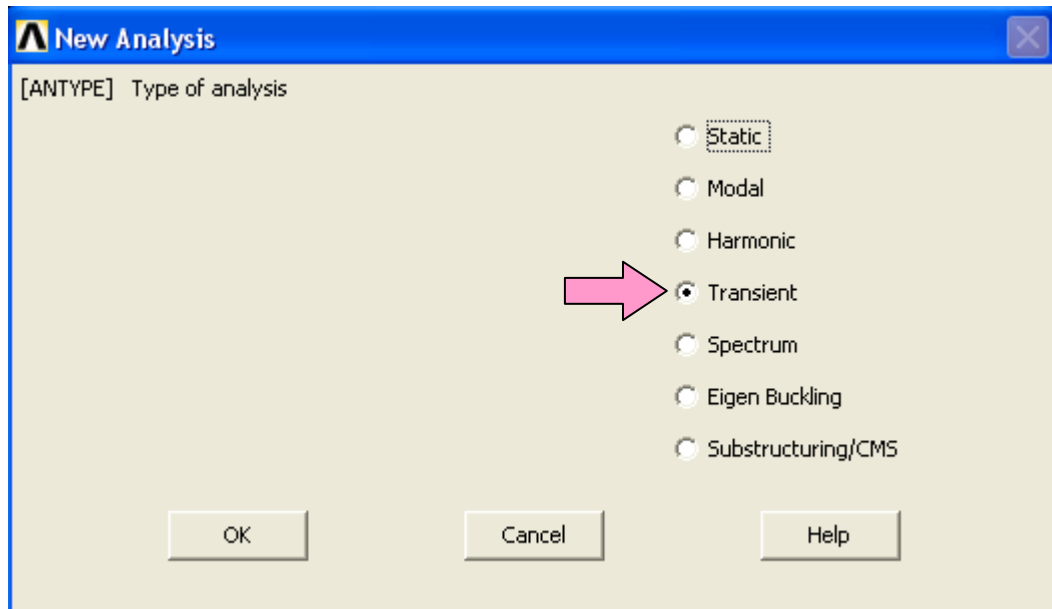


## تحلیل تاریخچه زمانی

برای تحلیل تاریخچه زمانی باید نوع تحلیل در آدرس زیر transient تعریف شود:

Main Menu → Solution → Analysis Type → New Analysis

در پنجره بعد روش آنالیز Full انتخاب می شود.



در غیر این صورت اثرات دینامیکی پاسخ تاریخچه زمانی مشاهده نخواهد شد.

در این مرحله مدل را ذخیره نمایید.

برای انجام تحلیلها و همچنین تغییراتی که در هر تحلیل مد نظر است در مدل ایجاد شود از یک ماکرو استفاده می شود. ماکرو برنامه ای است که بصورت متنی نوشته شده و از دستورات معتبر نرم افزار برای انجام عملیات استفاده می کند. این ماکرو باید در Working Directory تعریف شده در هنگام ورود به برنامه ذخیره شود تا قابل اجرا باشد. برای این منظور یک فایل با فرمت txt در فولدر مربوطه ایجاد کرده و نام آنرا Displacement.txt بگذارید. فهرست دستورات لازم در این ماکرو در تصویر زیر آورده شده است.

The screenshot shows a Notepad window with the following text and annotations:

```

M=800
K=1e7
C=0

!-----
/PREP7
R,1,K,C,M
!-----
/SOLU
ANTYPE,4

*DO,i,1,150,1
D,1,,disp(i),,,UX,,,,,
time,time(i)
SOLVE
*ENDDO

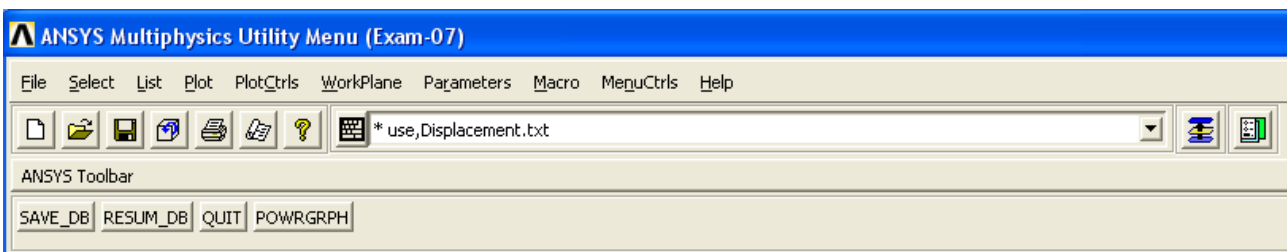
!-----
/POST26
NSOL,2,2,U,X
PLVAR,2
!-----
  
```

Annotations in Persian:

- مقادیر جرم، سختی و میرایی. دقت کنید مقدار جرم دو برابر وارد شود.
- دستوری که مقادیر فوق را در بخش Real Constant اعمال می کند.
- نوع تحلیل را مشخص می کند که تاریخچه زمانی است.
- بخشی که به کمک یک حلقه تحلیل تاریخچه زمانی را انجام می دهد.
- تعریف یک متغیر تاریخچه زمانی برای نمایش جابجایی گره ۲.
- ترسیم نمودار مقادیر جابجایی در پنجره گرافیکی.

برای استفاده از این ماکرو عبارت زیر را در بخش Input Window وارد نموده و دگمه Enter را بفشارید:

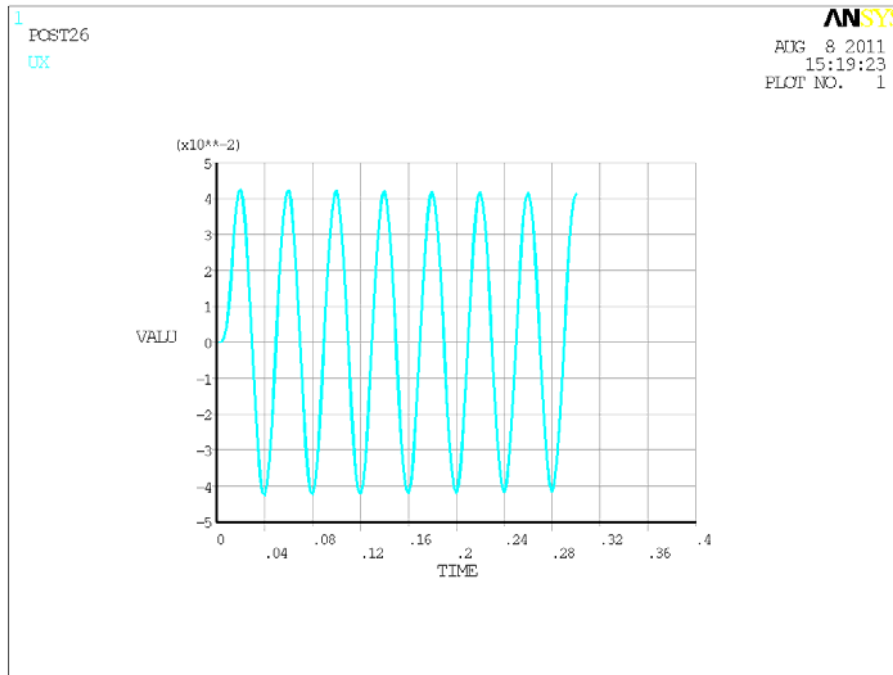
\* use,Displacement.txt



## نتایج تحلیلی

### سیستم نامیرا

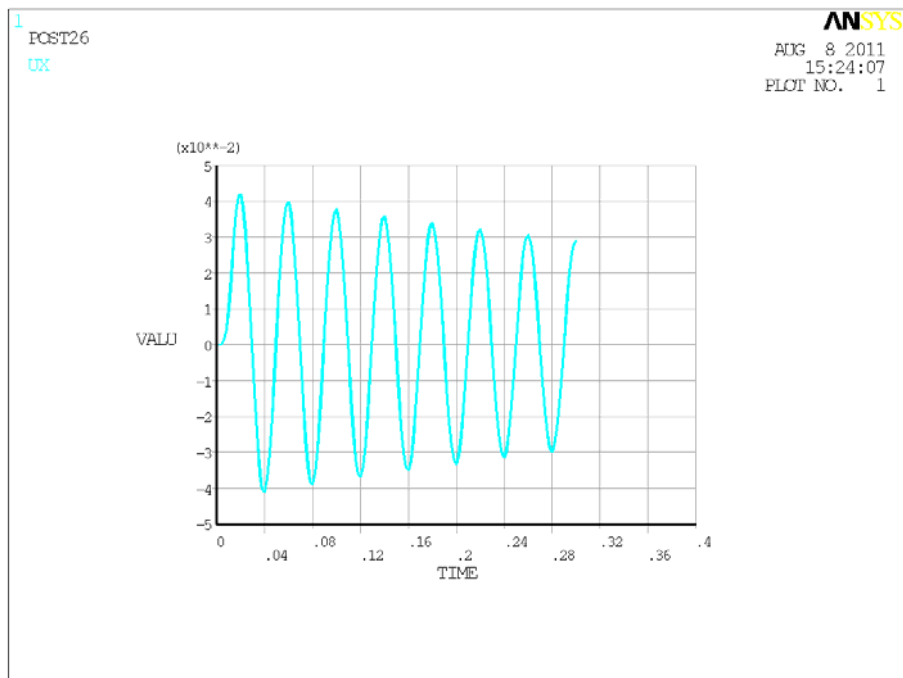
نتیجه تحلیلی مدل فوق که شامل جابجایی گره دوم است در تصویر زیر نشان داده شده است. در غیاب میرایی دامنه نوسان پاسخ بدون تغییر باقی می ماند. چنانچه ملاحظه می شود دامنه نوسان پاسخ ارتعاش آزاد که بعد از پایان بارگذاری در زمان 0.03 ثانیه دیده می شود برابر 0.04 ثانیه است. این زمان از تفاضل فاصله زمانی بین دو قله بدست می آید.



### سیستم میرا

در تحلیلهای دینامیکی همواره لازم است مقداری میرایی که ناشی از عوامل مختلف مانند اصطکاک، باز و بسته شدن ترکهای مویی، حرارت ناشی از تغییرات انرژی کرنشی و ... است برای سازه در نظر گرفته شود. میرایی باعث می شود مقداری از انرژی ورودی به سازه مستهلک شود.

برای مشاهده تأثیر میرایی به تدریج مقدار آنرا افزایش می دهیم. برای این منظور در ماکروی فوق مقدار  $C=1000$  (نیوتن - ثانیه بر متر) قرار دهید. پس از ذخیره فایل مجدداً دستور `use,Displacement.txt` \* را اجرا نمایید. نتیجه بصورت تصویر زیر مشاهده خواهد شد:



کاهش ناچیزی که در دامنه جابجایی پاسخ مشاهده می‌کنید ناشی از تأثیر میرایی بر پاسخ سازه است. کاربر می‌تواند با تغییر مقادیر میرایی اثر آنرا مورد بررسی قرار دهد. فرض کنید که هدف تعیین پاسخ سازه‌ای با نسبت میرایی ۵٪ است. رابطه بین میرایی و درصد میرایی به شکل زیر است:

$$\zeta = \frac{C}{2M\omega_n}$$

$$\omega_n = 2\pi f$$

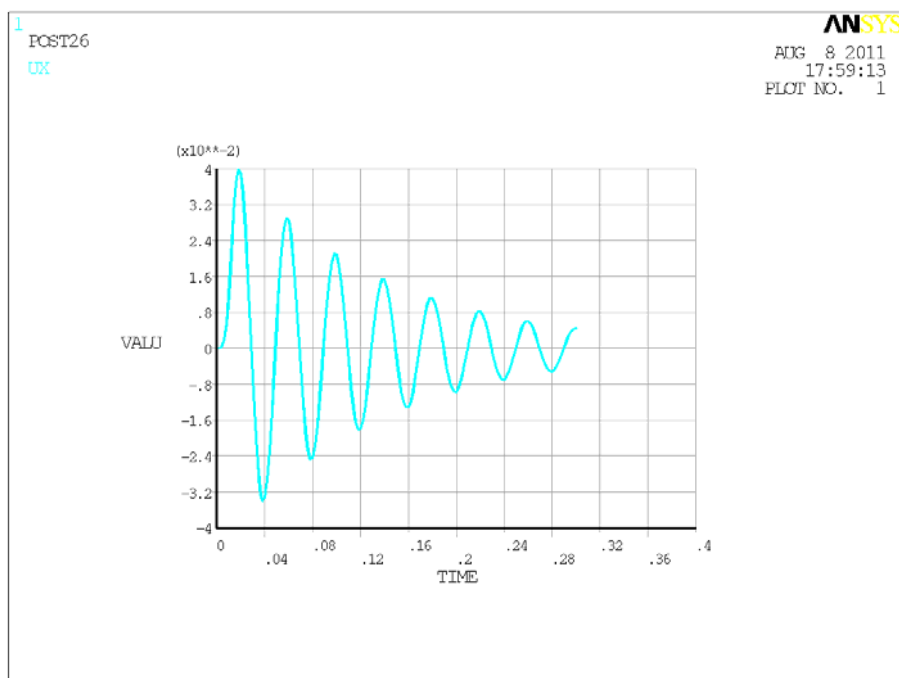
f فرکانس بر حسب هرتز و برابر ۲۵/۱۷ است. برای دستیابی به درصد میرایی ۵٪ لازم است مقدار C برابر باشد با:

$$C = 0.05 \times 2 \times M \times 25.17 \times (2 \times 3.14159)$$

$$M = 400$$

$$C = 6325$$

با قرار دادن این مقدار در ماکرو و تحلیل مجدد سیستم خواهیم داشت:





برای کنترل مقدار میرایی ایجاد شده در سیستم از رابطه کاهش لگاریتمی دامنه استفاده می شود<sup>۱</sup>:

$$\zeta = \frac{1}{2\pi j} \ln \frac{u_i}{u_{i+j}}$$

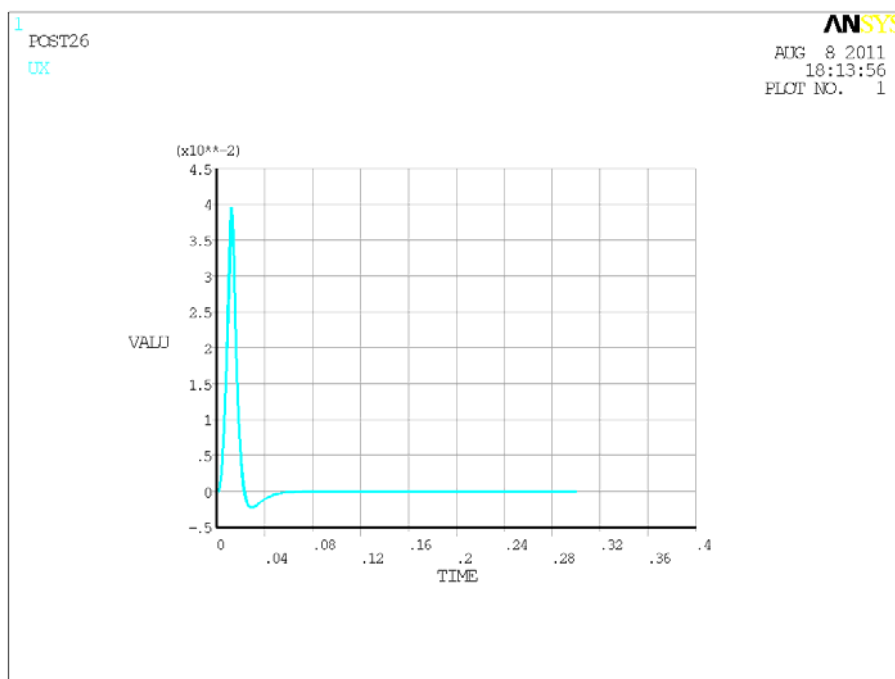
$u_i$  حداکثر جابجایی در تناوب  $i$  و  $u_{i+j}$  حداکثر جابجایی در تناوب  $i+j$  است. از تصویر فوق می توان بطور تقریبی جابجایی حداکثر در تناوب اول را  $4E-2$  و جابجایی حداکثر در تناوب ۴ را برابر  $1.6E-2$  بدست آورد. به این ترتیب  $j=4-1=3$  و مقدار نسبت میرایی برابر  $0.0486$  بدست می آید که با تقریب قابل قبول است.

### میرایی بحرانی

میرایی بحرانی حداقل مقداری از میرایی است که پس از آن هیچ گونه نوسانی در سیستم مشاهده نمی شود. فرض می کنیم میرایی سیستم برابر حالت بحرانی باشد. یعنی مقدار آن برابر  $\zeta = 1$   $C = 2M\omega_n$ ، به این ترتیب مقدار  $C$  خواهد شد:

$$C = 2M\omega_n = 126518$$

مجدداً با اصلاح میرایی و اجرای مجدد ماکروی Displacement.txt پاسخ دینامیکی سیستم برای حالت میرایی بحرانی استخراج می شود.



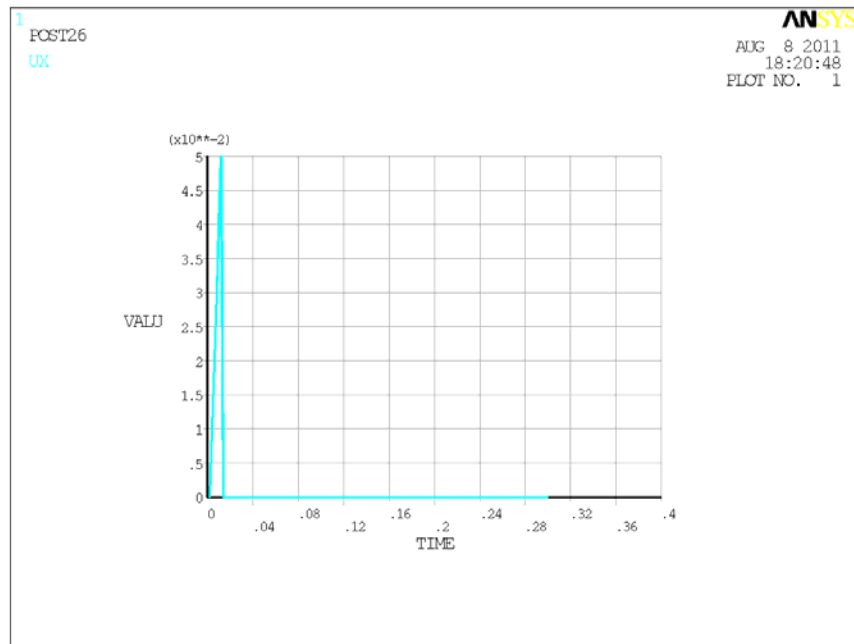
چنانچه از تصویر دیده می شود پس از اتمام بارگذاری هیچ گونه نوسانی در پاسخ سیستم مشاهده نمی شود و جابجایی آن پس از رسیدن به یک قله منفی بطور تدریجی به سمت صفر میل می کند.

### جرم صفر

شرایط تحلیلی را مورد بررسی قرار می دهیم که جرم سیستم برابر صفر باشد. صفر شدن جرم باعث می شود که رفتار سازه از حالت دینامیکی خارج شده و هیچ گونه نوسانی از خود نشان ندهد. این شرایط برای میرایی ۵٪ و با قرار دادن

<sup>۱</sup> کتاب دینامیک سازه ها و تعیین نیروهای زلزله، تألیف آنیل چوپرا، ترجمه شاپور طاحونی

M=0 در ماکروی Displacement.txt مورد بررسی قرار می گیرد.



چنانچه ملاحظه می شود پاسخ فنر کاملاً استاتیکی است و با حذف تحریک به سرعت به محل اولیه خود باز می گردد.

### افزایش سختی یا کاهش جرم

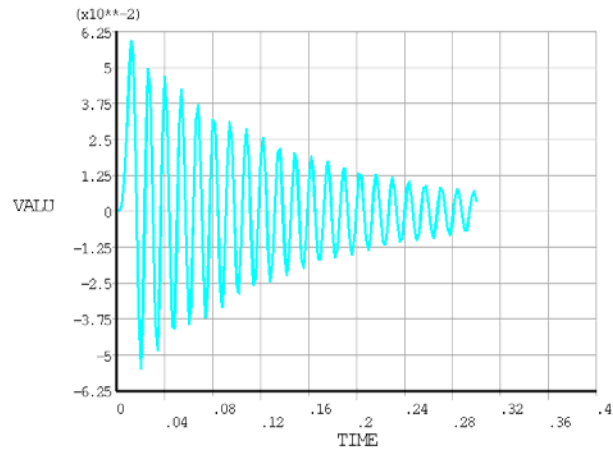
در صورتیکه جرم ثابت نگاه داشته شده و سختی افزایش یابد پیروی نوسان طبیعی سیستم کاهش می یابد (فرکانس افزایش می یابد). همین مسئله با کاستن از جرم و ثابت نگاه داشتن سختی قابل مشاهده است. برای مطالعه اثر افزایش سختی مقدار K در عدد ۱۰ ضرب می شود. نتیجه در تصویر زیر دیده می شود. پیروی نوسان مدل که فاصله زمانی جابجایی حداکثر در دو موج متوالی است به 0.013 ثانیه کاهش یافته است. در تصویر دوم همین پاسخ هنگامی که جرم ۱۰ برابر کمتر شده ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می شود فاصله زمانی دو قله موج یکسان است زیرا پیروی سازه از رابطه

$$T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{K}}$$

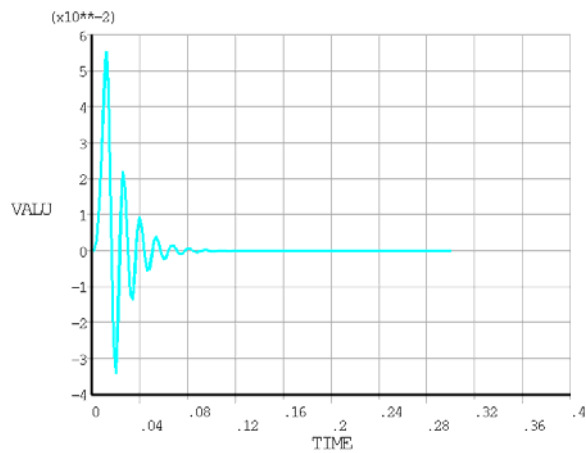
جرم بر ۱۰ تقسیم شود، مقدار پیروی و پاسخ دینامیکی سیستم یکسان خواهد بود.

اما تفاوت پاسخ دو مدل در مقدار میرایی آنهاست. با کاهش جرم نسبت میرایی افزایش می یابد به همین دلیل در مدل

دوم دامنه جابجایی با سرعت بیشتری به صفر متمایل شده است.



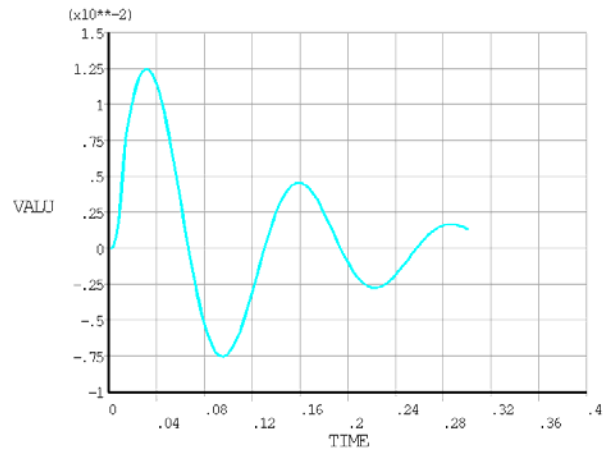
افزایش سختی - جرم ثابت



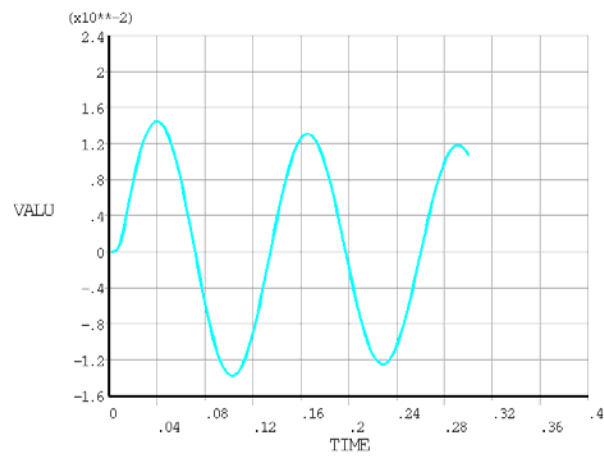
کاهش جرم - سختی ثابت

### کاهش سختی یا افزایش جرم

مشابه حالت قبل اما اینبار تأثیر کاهش سختی و ثابت نگاه داشتن جرم و یا افزایش جرم و ثابت نگاه داشتن سختی بر پیروی اصلی و پاسخ مدل بررسی می‌شود. مقایسه پاسخ این دو مدل با استفاده از ماکرو قبلی در تصاویر زیر صورت گرفته است. ابتدا سختی ۱۰ برابر کوچک شده و سپس جرم ۱۰ برابر بزرگ شده است. پیروی مدل در هر دو حالت ثابت و تقریباً برابر 0.13 ثانیه است اما میرایی در مدلی که جرم آن افزایش یافته کاهش یافته است. این مسئله با مقایسه پاسخ دو مدل مشهود است.



کاهش سختی - جرم ثابت



افزایش جرم - سختی ثابت