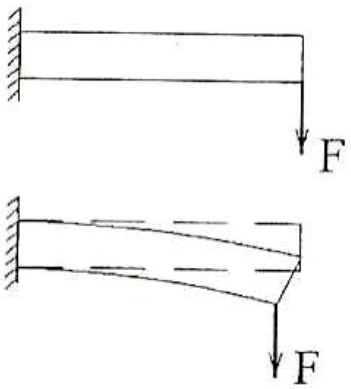
کمانش

کمانش را می‌توان به صورت تغییر شکل ناگهانی سازه در اثرگذاری بار از حد بحرانی تعریف نمود کمانش حالت خاصی از ناپایداری در سازه‌ها است که در اثر عدم وجود تناسب میان ابعاد هندسی سیستم ایجاد می‌گردد.

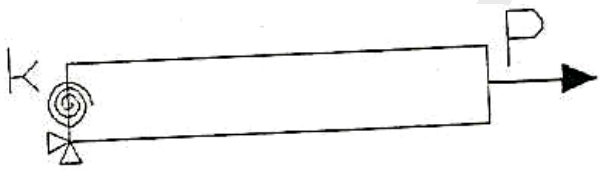
در یک نگاه عمومی‌تر ناپایداری ناشی از وجود اجزای دینامیکی نظیر فنرها را نیز در همین مقوله مطالعه نمود.

در این فصل ابتدا نمونه‌ا ی از ناپایداری در سیستم میله- فنر را بررسی نموده سپس بحث را به سایر انواع ناپایداری بسط می‌دهیم. در ادامه نحوه تحلیل ناپایداری و کمانش در مدلها به کمک نرم‌افزار ANSYS را بررسی نموده مثالهای مطرح شدهٔ قبلی را مجدداً به کمک نرم‌افزار تحلیل می‌نماییم.



شکل ۱ـ۱۰

تیر یک سردرگیر شکل(۱-۱۰)(الف) را بـا بارگـذاری مشـخص شـده در نظـر بگیریـد در شکل(ب) وضعیت تغییر شکل یافته(وضعیت تعادل نهایی) مدل تحـت بارگـذاری ترسـیم شده‌است. در صورتیکه تیر پس از اعمال بارگذاری و رسیدن به وضـعیت تعـادل(در شـکل ب) در حالیکه نیروی Fبه تیر وارد می‌شود کمی از موقعیت خود خارج شده و مجـدداً رهـا گردد به وضعیت تعادل خود (شکل ب) باز خواهد گشت. اکنـون مـدل شـکل ۲-۱۰ را در نظر بگیرید .



شکل ۲-۱۰

در شکل ۲-۱۰ تیری را ملاحظه می‌نمایید که به کمک یک فنر پیچشی به تکیه‌گاه متصل گردیده است. نیروی P که دقیقاً در امتداد محوری وارد می‌گردد تعادل تیر را برهم نخواهد زد. ولی در صورتی که موقعیت تیر مقدار کمی از وضعیت افقـی منحـرف گـردد بـه علـت گشتاور ایجادشده در اثر نیروی P ممکن است تیر در وضعیت تعادل جدیدی قرار گیرد.

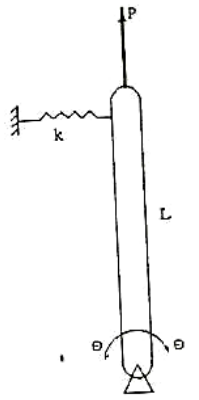
طبق روابط حاکم بر مدل‌های استاتیکی خواهیم داشت:

$$K\theta = PI\sin\theta$$

$$(\theta \text{:کوچک}\ ) \Rightarrow p = \frac{k}{I}$$

ازروابط بالا با فرض $P_{er} = \frac{K}{I}$ نتیجه می‌شود:

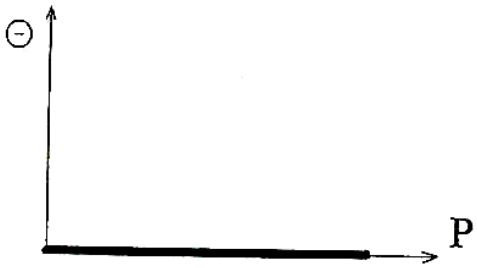
- در صورتیکه $p<p_{cr}$ پس از انحراف از وضعیت تعادل اولیه تیر مجدداً به وضعیت تعادل نخستین خود باز خواهد گشت.
- در صورتیکه $p>p_{cr}$ به محض ایجاد میزان کمی انحراف از وضعیت تعادل سیستم ناپایدار خواهد شد و تیر شروع به دوران می‌کند.
- و اگر $p=p_{cr}$: پس از انحراف وضعیت اولیه(در صورتیکه θ کوچک باشد). تیر دروضعیت جدید به صورت متعادلی باقی خواهد ماند. در واقع در این حالت تیر یک وضعیت تعادل منحصر به فرد ندارد.
- برای آشنایی بیشتر با وضعیت‌های مختلف تعادل سیستم‌ها به مثال زیر توجه کنید:



شکل ۳-۱۰

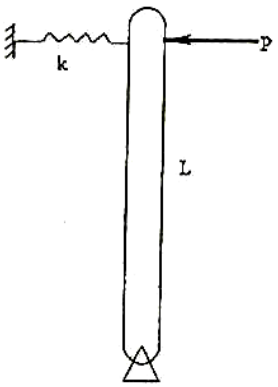
اگر تیر شکل ۳-۱۰ را به صورت ی ک جسم صلب در نظر بگیریم وضعیت آنرا تنها با یک متغیر(مثلاً زاویه دوران تیر) مشخص نمود تحت بارگذاری مشخص شده در شکل وضعیت

تعادل در $\theta = 0$ می‌باشد. با افزایش p این وضعیت تغییر نخواهد نمود. در صورتیکه تیر کمی از وضعیت تعادل منحرف گردد نیروی بازگرداندهٔ p مجدداً آنرا به وضعیت تعادل نخستین باز می‌گرداند. نمودار تعادل برحسب مقادیر مختلف نیرو در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۱۰

وضعیت بارگذاری شکل ۵-۱۰ را در نظر بگیرید.



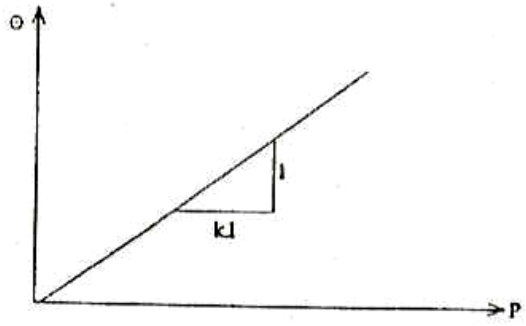
شکل ۵-۱۰

با توجه به روابط استاتیکی حاکم بر سیستم می‌توان نوشت:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow p = lKI\theta \Rightarrow$$

$$\theta = \frac{P}{KI}$$

یعنی به ازاء مقادیر مختلف P مقادیر مختلف θ مشخص کنندهٔ وضعیت تعادل بدست خواهد آمد. شکل ۶-۱۰ نمودار(تعادل) θبرحسب P را نمایش می‌دهد:

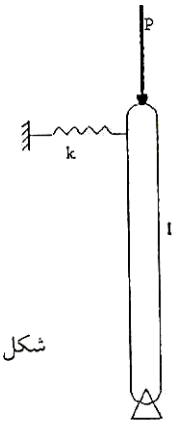


شکل ۶-۱۰

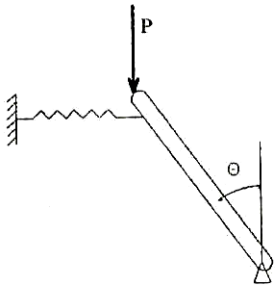
حالت آخری که مورد بررسی قرار می‌گیرد بارگذاری فشاری در امتداد محور تیر می‌باشد: با افزایش p در صورتی که تیر به کمک عامل خارجی از وضعیت تعادل اولیه ($\theta = 0$) خارج نشود (شکل ۷-۱۰) وضعیت خود را حفظ خواهد کرد و در واقع به ازاء هر p ، $\theta = 0$ وضعیت تعادل خواهد بود. ولی در صورتیکه تیر کمی از وضعیت $\theta = 0$ منحرف گردد (شکل ۸-۱۰) می‌توان معادل حاکم بر مدل را به صورت زیر نوشت:

$$p_{cr} = KI$$

$$pI \sin\theta = kl^2 \sin\theta$$



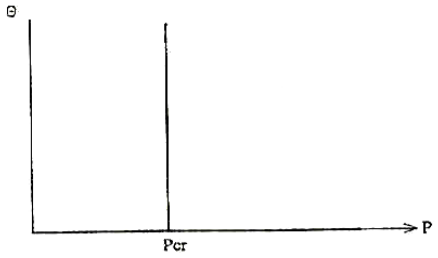
شکل ۱۰-۷



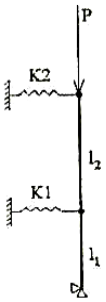
شکل ۱۰-۸

اگر $p>p_{ct}$ باشد پس از انحراف از وضعیت اولیه تیرناپایدار خواهد شد و سقوط خواهد کرد.

در صورتیکه $p=p_{cr}$ پس از انحراف در هر θ دیگری به تعادل خواهد رسید یعنی سیستم تنها یک وضعیت تعادل ندارد(شکل ۱۰-۹)



شکل ۱۰-۹

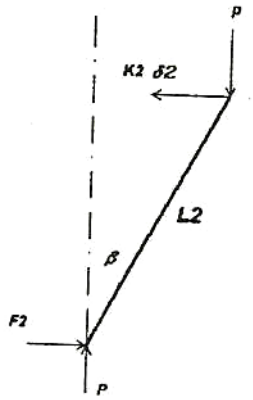


شکل ۱۰-۱۰

اکنون می‌خواهیم معادلات تعادل مدل شکل ۱۰-۱۰ را بررسی نماییم.

سیستم مطرح‌شده دارای دو درجه آزادی می‌باشد.

فرض کنید میزان دوران هر یک از میله‌ها نسبت به محور عمودی را مختصات آن میلـه در نظر بگیریم. به کمک این دو مختصات می‌توان وضـعیت سیسـتم را کـاملاً مشـخص نمـود نمودار پیکرهٔ آزاد هر یک از میله‌ها به صورت شکل ۱۱-۱۰ خواهد بود.



شکل ۱۱-۱۰

$$\delta_2 = I_1 \sin\alpha + I_2 \sin\beta$$

$$pI_2 \sin\beta = k_2\delta_2 I_2 Cos\beta$$

$$= k_2(I_1 Sin\alpha + I_1 Sin\beta) I_2 \cos\beta$$

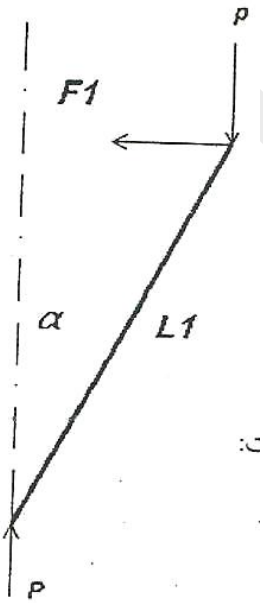
با فرض کوچک بودن زوایای β,α خواهیم داشت:

$$p\beta = k_2(I_1\alpha + I_2\beta) \quad (۱۰-۱)$$

$$PI_1 Sin\alpha = F_1 I_1 Cos\alpha$$

با در نظر گرفتن رابطهٔ:

$$F_1 - F_2 = K_1 I_1 \sin\alpha$$



شکل ۱۲-۱۰

با استفاده از $F_1 - K_2\delta_2 = K_1 I_1 Sin\alpha$ با استفاده از روابط بالا داریم:

$$Ptg\alpha - k_2(I_1 \sin\alpha + I_2 \sin\beta) = k_1 I_1 \sin\alpha$$

مجددا با استفاده از فرض کوچک‌بودن β,α خواهیم داشت:

$$p\alpha - k_2(I_1\alpha + I_2\beta) = K_1 I_1 \alpha$$

معادلات ۱-۱۰ و ۲-۱۰ را می‌توان به صورت ماتریسی نوشت:

$$\begin{bmatrix} (k_1+k_2)I_1 & K_2 I_2 \\ K_2 I_1 & K_2 I_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$$

همچنانکه مشاهده می‌نمایید شکل این معادله به صورت یک مسئله مقدار ویژه می‌باشد.

برای بدست آوردن مقادیر ویژه معادله بالا از روش مطرح شده در فصل نهم استفاده می‌گردد.

$$\begin{vmatrix} (K_1+K_2)I_1 - \lambda & K_2 I_2 \\ K_2 I_2 & K_2 I_2 - \lambda \end{vmatrix} = \mathbf{0}$$

$$\Rightarrow ((k_1+k_2)I_1 - \lambda)(k_2 I_1 K_2 I_2) = \mathbf{0}$$

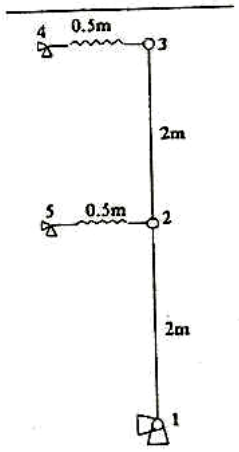
در حالت خاص $I_1 = I_2 = I$ و $K = K_1 = K_2$ را محاسبه می‌نماییم

بنابراین:

$$\lambda = \mathbf{3}KI \pm \sqrt{\mathbf{9}K^2I^2 - \mathbf{4}K^2I^2} = \mathbf{3}KI \pm KI\sqrt{\mathbf{5}}\sqrt{\mathbf{5}} = (\mathbf{3} \pm \sqrt{\mathbf{5}}\sqrt{\mathbf{5}}) = (\mathbf{3} \pm \sqrt{\mathbf{5}}\sqrt{\mathbf{5}})KI$$

icivil.ir

مثال: دراین مثال مدل طـرح شـده در شـکل ۱۰-۱۰ در یـک حالـت خـاص در نـرم‌افـزار ANSYS مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت. مدل المان محدود سیستم مـذکور در شکل ۱۳-۱۰ ترسیم شده‌است.



شکل ۱۳-۱۰

حل:

برای مش‌بندی تیرها از المان Lonk 1 استفاده شده‌است. از آنجا که المان مذکور خمـش را مدل نمی‌کند اتصال دو تیر به کمک گره رفتار« پین» را مدول خواهد کرد.

در این مثال با توجه به ساده‌تربودن استفاده از دسـتورات APDL بسـیاری از مراحـل بـه کمک تایپ و اجرای این دستورها انجام خواهد شد.

در نخستین گام از تحلیل مدل باید المان‌های مورد استفاده تعریف گردد در المـانLink1 (تیر) و COMBIN14 (فنر) به کمک منوی Main/menu/prep با دسـتورهای زیـر تعریف می‌گردند:

```
ET,1,Link1
ET,2,COMBIN14
```

icivil.ir

سطح مقطع تیر را بعنوان ثابت حقیقی شماره ۱ تعریف می‌نماییم لازم بـه یـادآوری اسـت که این ثابت تأثیری در مقدار پاسخ نخواهد داشت.

R,1,0.01

ضریب سختی فنرها را ۱۰۰۰ در نظر می‌گیریم.

R,2,1000

ماده مورد استفاده را به کمک دستور مربوطه تعریف می‌کنیم. می‌دانـیم خـواص مکـانیکی ماده اکنون نیز تأثیری بر پاسخ نخواهد داشت البته از انجائیکه لازم است شرط صلب‌بـودن تیرها برقرار باشد مقدار مدول یانگ بایـد بسـیار بـزرگ مـثلاً[۱۲] ۱۰ در نظـر گرفتـه شـود و دانستیه یک عدد غیرصفر تعیین نمی‌شود چون تحلیل دینامیکی است.

اکنون گره‌های شماره ۱ تا ۵ را به کمک دستورهای زیر ترسیم می‌کنیم.

```
N,1
N,2,,2
N,3,,4
N,4,-0.5,4
```

برای ترسیم المانها ابتدا باید نرم‌افزار المان مـورد نظـر و همچنـین ثابـت مربوطـه Real Constant))مشخص گردد فرض کنید ابتدا می‌خواهیم المانهـای تیـر را ترسـیم نمـاییم یکی از دو روش زیر را می‌توان انجام داد:

(روش اول) تایپ دستورهای APLD :

Type,1

Real,1

(روش دوم): اجرای دستور

Main/Prep/Create/Elements/Elem/Attributes

در پنچره‌ای که باز می‌شود المان Link1 و ثابت حقیقی شمارهٔ ۱ را انتخاب نمایید.

پس از انتخاب المان و ثابت مورد نظر به کمک دستورهای:

*E,**1**,**2***
*E,**2**,**3***

بین گره‌های (۲و۱) و (۳و۲) المان تیر را قرار دهید.مشابه همین عمل را تکرار نموده و المان شمارهٔ ۲ همراه با ثابت شماره ۲ را انتخاب نمایید. المان فنر را باید بین گره‌های (۴و۳) و(۵و۲) قرار دهید.

*Type,**2***
Re*al,**2***
*E,**3**,**4***
*E,**2**,**5***

به کمک دستور

Main/menu/Prep/Load/Apply/Displacement/On Nodes

قید UX و UY را به گره‌های ۱و۴و۵ اعمال نمایید.

همچنین به کمک دستور

Main Menu/Prep/Loads/Apply/force/On Node

نیروی N ۱- را در راستای Y به گره ۳ اعمال کنید. لازم به یادآوری است که نرم‌افزار ANSYS مقدار بار بحرانی ساده را به صورت تقریبی از بار اعمالی کاربر تعیین خواهد نمود.

از آنجا که باید برای محاسبهٔ ماتریس سختی(در حالت پیش‌تنش) یک تحلیل استاتیکی انجام شود ابتدا دستور

Pstres,on

را اجرا نمایید تا مراحل مربوط به محاسبهٔ ماتریس سختی انجام گردد سپس دستور

Main/Solution/Solve-Current-LS

را اجرا نمایید.

اکنون برای انجام تحلیل کمانش مجدداً وارد منوی Solution شده.

با استفاده از دستور

Main/Solution/New Analysis

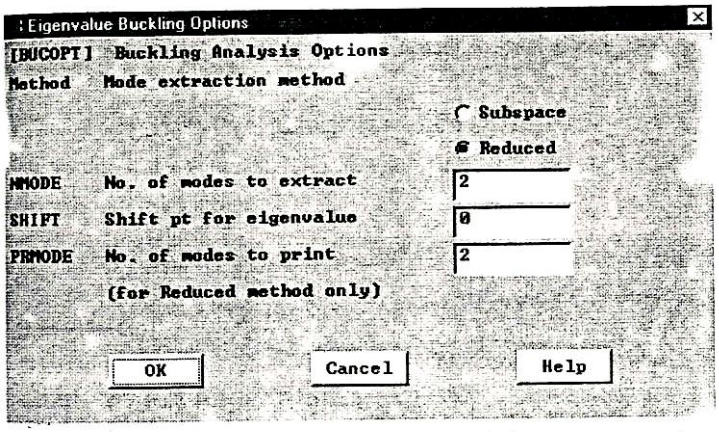
تحلیل Eigen Buckling را انتخاب نمایید و پنجره اخطاری که روی صفحه ظاهر می‌شود ببندید.

گام بعدی مشخص نمودن تعداد مودهای موردنظر و روش مورد استفاده در تحلیل مدل می‌باشد. برای این کار می‌توان از دستور

Main/Solution/Analysis Options

استفاده نمود.

پنجره‌ای به صورت شکل ۱۴-۱۰ باز خواهدشد. روش مورد استفاده را reduced انتخاب نمایید. زیرا در نظر گرفتن حرکت گره‌ها در جهت X، برای به دست آوردن جواب نسبتاً دقیق، کافی خواهدبود. در مقابل عبارت‌های No of Modes to Print , No of Modes to Extract عدد ۲ را تایپ نمایید. به این وسیله به نرم‌افزار اعلام می‌شود که دو مورد کمانش را محاسبه و مقدار حاصل را در پنجرهٔ ANSYS Output نمایش دهد.



شکل ۱۴-۱۰

لازم به تذکر است که در واقع تنها محاسبهٔ یک مود در تحلیل کمانش کافی است زیرا گذر با اعمالی از میزان بار بحرانی تعیین شده توسط تحلیل مود اول به معنای عدم تحمل بار توسط سازه خواهدبود و مقدار حداکثر بار قابل تحمل (حداقل مقدار بار بحرانی) مورد نیاز مهندس طراح می‌باشد.

قبل از حل مدل باید درجات آزادی اصلی(که تعیین آنها در تحلیل reduced لازم می‌باشد.) مشخص گردد. برای اینکار دستور

Main/Solution/Master DOFs/Define

مورد استفاده قرار می‌گیرد. گره‌های ۲ و ۳ را انتخاب نموده و UX را در مقابل First Degree of Freedom به عنوان Master DOF تعیین نمایید. نباید در پنجره Additional Degrees of freedom انتخابی انجام شود. اکنون دستور

Main/Soluction/Solve- Current-LS

را اجرا نمایید.

پاسخ تحلیل را در پنجره ANSYS Oupput می‌توان مشاهده نمود. این پنجره زیر سایر پنجره‌ها در صفحه نمایش قرار دارد در صورتیکه برای مشاهده آن دچار مشکل شدید دوبار متوالی روی دستور

Utility/MenuCtrls/output wimdow

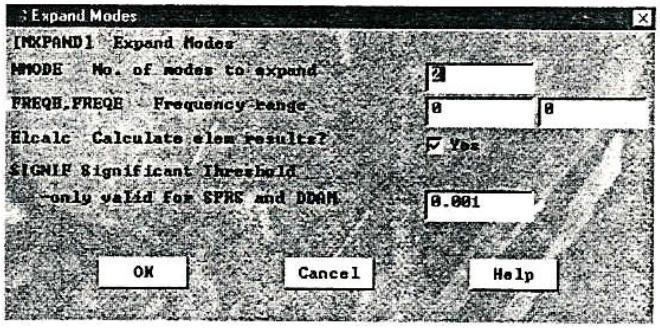
کلیک نمایید دفعه اول پنجره خروجی بسته خواهد شد و دفعه دوم پس از بازشدن مجدد پنجره روی سایر پنجره‌ها قرار خواهد گرفت. چند صفحه آخر پنجره مربوط به تحلیل کمانش خواهد بود. مقدار بارهای بحرانی را در مقابل Load Multiplier مشاهده می‌نمایید.

در صورتیکه به منوی General Postproc مراجعه نمایید مشاهده خواهید کرد که نرم‌افزار تغییر شکل سازه در اثر کمانش را ترسیم نمی‌کند و تنها محاسبهٔ مقادیر بار بحرانی انجام شده‌است. برای مشاهدهٔ تغییر شکل سازه و سایر پارامترها(نظیر تنش وکرنش و ...) مراحل زیر را انجام دهید:

۱ مجدداً به منوی Solution باز گردید و دستور

Main/Solution/Loadstep Opts- Expansionpass/ Expand mode

را انتخاب نمایید، پنجره مشابه شکل ۱۵-۱۰ ایجاد خواهد شد.



شکل ۱۵-۱۰

همچنانکه در شکل مشخص شده‌است ۲ را بعنوان تعداد مودهایی که در پرونده نتایج ثبت می‌گردد تعیین نمایید. همچنین با قراردادن علامت در مقابل عبارت Calculate Element Result برای نرم‌افزار مشخص کنید که نتایج حاصل درهر یک از المانها مورد نظر می‌باشد.

۲- مسئله را مجدداً حل نمایید.

۳- به منوی General Postprocessing مراجعه نموده و تغییر شکل‌ها و سایر پارامترهای مورد نظر را بررسی نمایید.

مثال: با استفاده از المان تیر بار بحرانی میله‌ای فولادی به طول ۵ m وسطح مقطع مربع به ضلع

۱ m را محاسبه نمایید میله یکسر درگیر می‌باشد.

خلاصهٔ اطلاعات:

$$I = 5\,m$$

$$A = 1 \times 10^{-4}\,m^2$$

$$I = \frac{1}{2} a^4 = 8.33 \times 10^{-10}$$

$$E = 200 \times 10^9\,pa$$

شکل ۱۶ – ۱۰

ابتدا باید به کمک دستورهای

/ prep7
ET ,1, Beam3

و یا

Main/Prep/Element Type/ Add – edit- delete/ Add

المان Beam3 را برای استفاده در مدول انتخاب نموده،

سپس به کمک دستور: Main/Prep/Real

constants…/Add

مقادیر زیر را به عنوان ثابت‌های متغیر المان مشخص کرد:

AREA=1e-4

IZZ=8.333e-10

HEIGHT=0.01

گام بعدی تعریف خاص مادهٔ مورد استفاده می‌باشد در این مدول یانگ کافی است:

Main/Peap/ Material props/Istropic EX=200e9

بجای دستور بالا می‌توان از عبارت APDL نیز استفاده کرد:

MP,EX,1,200e9

icivil.ir

برای مدل‌کردن تیر یک خط عمودی به طول ۵ واحد ترسیم نموده سپش آنرا با المان Beam3 مش می‌زنیم. مراحل کار به شرح زیر است:

ترسیم خط: برای ترسیم خط ابتدا باید دو نقطه کلیدی ابتدا و انتهای آن مشخص گردد.

برای اینکار یا از مجموعه دستور

```
K,1
K,2,,5
```

و یا از دستور

Main/Prep/Create/Keypoints/ In Activ CS…

استفاده نمایید در هر حال باید دو نقطه کلیدی در مکانهای(۰و۰) و (۵و۰) ترسیم گردد.

سپس به کمک دستور

L,1,2

و یا

Main/Prep/Create/lines/Straight line

بین نقاط کلیدی ۱و۲ خطی ترسیم نمایید.

- مش‌بندی دستور … Main/Prep/Meshtool را اجرا نمایید.

روی دکمه set در مقابل Giobal کلیک نموده و تقسیم‌بندی المانها(No. of Element divisions) را ۵۰ انتخاب کنید اکنون با فشاردادن دکمهٔ mesh و سپس

انتخاب خط ترسیم شده پس از زدن OK خط را مش‌بندی نمایید. بدیهی است تعداد المانهای مورد استفاده ۵۰ عدد خواهد بود.

برای اطمینان از انجام مش‌بندی دستور

Utility/Plot/Nodes

را اجرا نمایید تا گره‌های حاصل از مش‌بندی روی صفحه ظاهر گردد.

اکنون وارد منوی Solution شده و دستور Analysis Option را انتخاب نمایید.در پنجره ایجاد شده مقابل Stress Stiffess or Prestress عبارت Prestress را انتخاب نموده OK را فشار دهید.

کلیه درجات آزادی گرهٔ پایین خط را به کمک دستور

Main/Solution/Load- Apply/ Displacement/On/Node

مقید نمایید.

تنها گام باقیمانده از حل استاتیکی مدل افزودن نیروی N ۱- به سرتیر است که آنرا می‌توان با اجرای دستور

Main/Solution/Load- Apply/Force/On Nodes

انجام داد اکنون مدل را با تایپ دستور Solve حل نمایید.

پس از تحلیل مدل و ظاهرشدن پیغام Solution is done مجدداً وارد منـوی solution شده دسـتور New Analysis را اجـرا نمـوده و تحلیـل eigen buckling را انتخـاب کنید.

به کمک دستور

Main/Solution/ Analysis Option…

نوع تحلیل را reduced انتخاب نموده و عدد یک را بعنوان تعداد مودهای مورد نظر تعین کنید. پس از انتخاب روش« کاهش‌یافته» در تحلیل‌های مقـدار ویـژه بایـد درجـات آزادی اصـلی (Master) را تعیـین کـرد. بنـابراین دسـتور Main/Solution/Master DOF/Define را اجرا نموده، در پنجرهٔ مربوطه دکمهٔ Pick All را فشار دهیـد. سـپس UX را به عنوان lab1 انتخاب نمایید.

قبل از حل مسئله، دستور

Main/Solution/Load step opt-Expansion pass/Expand modes…

را اجرا نمایید و مقدار پارامتر NMODE را برابر ۱ قرار دهید. همچنین در محـل مقابـل Calculate Element results علامت بگذارید تا پس از حل بتوان شکل تیـر را در اثـر کمانش ملاحظه نمود.

با اجـرای دسـتور Solve یـا انتخـاب منـوی Main/Solution/Solve-Current-LS مدل تحلیل خواهدشد. پـس از تحلیـل مـدل، وارد منـوی General Postprocessing شده دستور Results Summary را اجرا نمایید. در پنجره‌ای که باز می‌شود مقـدار بـار بحرانی در زیر Time/Freq نوشته شده‌است. خواننـده پـس از آشـنایی بـا روش تحلیـل کمانش در مدل‌ها نباید از معرفی بار بحرانی به عنوان فرکانس تعجب کند. زیرا هر دو ایـن مقادیر با استفاده از یک نوع حل‌کننده (Solver) محاسبه می‌گردند.

برای مشاهدهٔ نتایج باید دستور

Main/General Postproc./Read Results-First Set

اجرا شود تا اولین مجموعه جواب محاسبه شده توسط نرم‌افزار برای ارائـه بـه کـاربر آمـاده گردد. لازم به یادآوری است در تحلیل این مـدل تنهـا یـک مجموعـه جـواب وجـود دارد. بنابراین تفاوتی بین مجموعه جواب اول و مجموعه جواب آخر نخواهد بود.

شکل حاصـل از کمـانش تیـر را بـه کمـک دسـتور Main/General Postproc./Plot Results/Deformed shap مشاهده نمایید.

سایر کمیت‌ها مانند همهٔ مدل‌هـای مشـابه بـه کمـک دسـتورهای مربوطـه قابـل بررسـی می‌باشد.

مقایسهٔ با جواب تئوری:

با استفادهٔ از رابطهٔ $p_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2}$

و با قرار دادن $l_e = 21$ (برای تیر یکسر درگیر) داریم:

$$P_{cr_{theroy}} = 16.448\ N$$

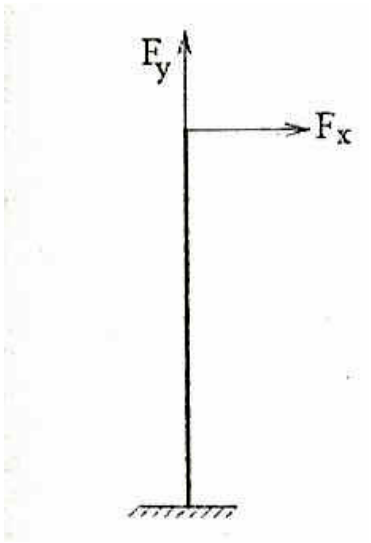
بنابراین خطا برابر $Err = \frac{16.448 - 16.443}{16.448} = 0.0003$ خواهد بود.

آنچه تاکنون مورد بررسی قرار گرفت، نحوهٔ محاسبهٔ بار بحرانی یک سازه بود. گاهی اوقات لازم است تغییر شکل‌های سازه در اثر اعمال بارهایی بیش از حد بار بحرانی، مورد بررسی قرار گیرد. روش مورد استفاده در چنین مواردی، تعریف یک نیروی فوق‌العاده کوچک عمود بر جهت بارگذاری اصلی می‌باشد در صورتی که بارگذاری بیش از بار بحرانی باشد نیروی کوچک باعث می‌گردد، سازه از وضعیت تعادل اولیهٔ خود خارج شده، در وضعیت دیگری به صورت متعادل قرار گیرد. به این نیروی کوچک « عامل اغتشاش» (Perturbance) گفته می‌شود. از آنجا که تغییر شکل در چنین مواردی معمولاً زیاد است، باید اثرات غیرخطی بودن نیز در تحلیل مدل لحاظ گردد. این کار در نرم‌افزار ANSYS با فعال کردن گزینهٔ Deformation Large در منوی

Main/Solution/Anslysis Option

انجام می‌گردد. مثال بعد نحوهٔ تحلیل چنین مسائلی را نشان می‌دهد:

مثال: تیری فولادی با سطح مقطعA، عرض سطح مقطع h و طول l را در نظر بگیرید:



$l = 2.5\,m$
$h = 0.01\,m$
$A = 10^{-4}\,m^2$

شکل ۱۷-۱۰

یک انتهای آن مطابق شکل ۱۷-۱۰ ثابت است و در انتهای دیگر آن نیروی عمودی F وارد می‌شود. اگر $F = 1.2F_{cr}$ باشد، شکل سازه را مشخص نمایید. مقادیر ΔX و ΔY و θ چقدر خواهد بود؟

مدل المان محدود این تیر در شکل ۱۸-۱۰ ترسیم شده‌است. برای مدلسازی این تیر از ۱۰ عدد المان Beam3 استفاده می‌نماییم.

روش ترسیم و تحلیل مدل به صورت زیر است:

ابتدا خواص مادهٔ فولاد را تعریف نموده، المان Beam3 را نیز انتخاب کنید.

به وسیلهٔ دستور

Main/Prep/Real Constants…

مشخصات تیر را برای نرم‌افزار تعریف نمایید:

$$AREA = le - 4$$
$$IZZ = 8.33e - 10$$
$$HEIGHT = 0.01$$

مشابه سایر مثالها از روش زیر برای ترسیم مدل استفاده می‌نماییم:

N,1,0,0

*Repeat,11, 1, 0, 0.25

(از آنجا که طول تیر به ۱۰ المان تقسیم شده فاصلهٔ هر دو گرهٔ متوالی ۰٫۲۵m می‌باشد.)

E,1,2

*Repeat, 10, 1, 1

پس از ترسیم تیر وارد منوی

Main/Solution

شده، دستور

Main/Solution/Analysis Options…

Main/Solution/ Analysis Options…

icivil.ir

را اجرا نمایید د رمقابل عبارت Largr Deform Effects علامت بگذارید تا کلمـهٔ off به on تبدیل شود. سپس پنجرهٔ این دستور را ببندید.

بجای استفاده از این روش می‌توانستید از دستور APDL زیر استفاده نمایید:

NLGEOM, on

لازم به تذکر است که نوع تحلیل در این مثال استاتیکی می‌باشد:

از آنجـا کـه لازم نیسـت مسـئله مقـدار ویـژه‌ای حـل گـردد، لازم نیسـت از تحلیـل Eigenbuckling استفاده شود با اجرای دستور:

Mian/Solution/Load- Apply/Displacement/ On Nodes

کلیه درجات آزادی گره شماره ۱ را مقید نمایید(گره پایین تیر)

ابتدا باید به کمک دستورهای

Main/Solution/Load-Apply/Force/On Nodes

نیروی $FY = -78.925$ را برای گرهٔ ۱۱ (بالای تیر) تعریف نمایید. مقدار این نیرو از محاسبهٔ زیر به دست آمد:

$$F = 1.2\,F_{cr} = 1.2\,\frac{\pi^2 EI}{4l^2} = 78.925$$

برای ایجاد کمانش نیروی افقـی $FX = 0.1$ را نیـز بـرای گـرهٔ ۱۱ تعریـف کنیـد. لازم بـه یادآوری است بردارهای ترسیم شده، تنها جهت نیروها را نشان می‌دهند و در ترسیم آنها

مقیاس رعایت نشده‌است.

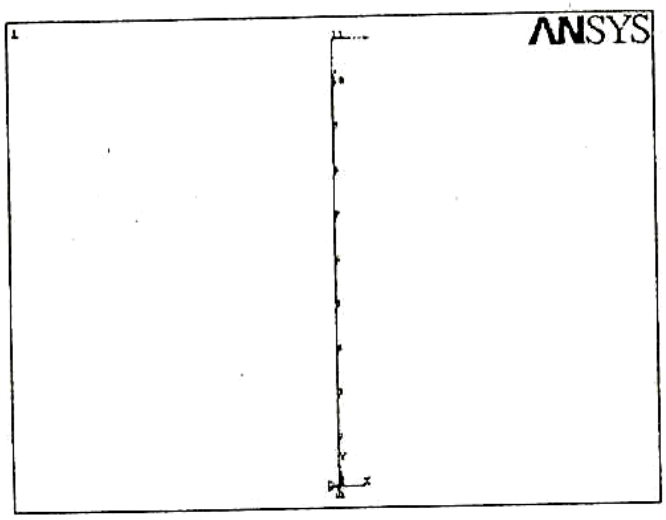
دستور

Main/Solution/Solve-Current LS

را اجرا نمایید، قبل از زدن OK پنجرهٔ STAT Command را ببندید و سپس OK را بزنید. در این صورت می‌توانید نمودار همگرایی را روی صفحه مشاهده نمایید. پس از مدتی محاسبه، نتایج به جواب موردنظر همگرا نمی‌شود و نرم‌افزار پیغام خطایی را اعلام می‌کند. در چنین مواردی لازم است تعداد تکرارهای مورد استفاده در محاسبات (Number of Iterations) افزایش یابد. برای این کار دستور

Main/Solution/Npn-linear/Equilibrium Iter…

را اجرا نموده، عدد ۲۵ را به عدد بزرگتری (مثلاً ۱۰۰ یا ۱۵۰) تغییر دهید. پس از اجرای مجدد دستور تحلیل، نمودار مشخص‌کنندهٔ همگرایی را به صورت شکل ۱۹-۱۰ روی صفحه ظاهر گشته و مدل به صورت کامل تحلیل می‌گردد.



شکل ۱۹-۱۰

برای بررسی آخرین مجموعهٔ جواب (پس از آخرین تکرار) دستور

Main/General Postproc./Last Set

را اجرا نمایید.

تصویر تغییر شکل یافتهٔ تیر، به کمک دستور

Main/General Postproc/Plot Results/Deformed shape

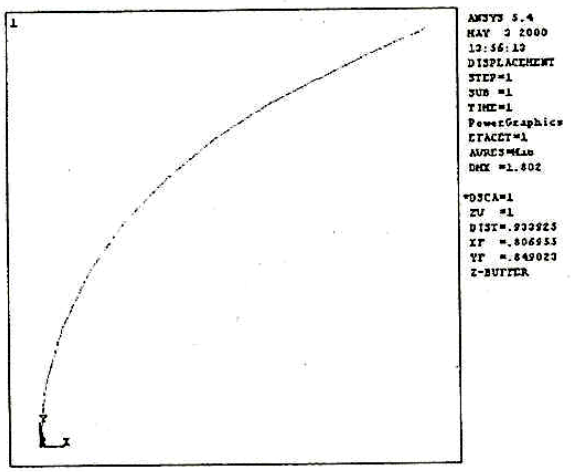
به صورت شکل ۲۰-۱۰ ترسیم گردد. برای مشاهدهٔ جابجایی عمودی نقـاط مختلـف تیـر، دستور

Main/General Postproc/Plot Results/Nodal Solution

را اجرا نموده، UY را از گروه DOF Solution انتخاب نمایید. میزان تغییر شـکل نقـاط مختلف با رنگ‌های متفاوت ترسـیم مـی‌گـردد. بیشـترین تغییـر ارتفـاع عمـودی (ΔY) را می‌توان از سمت راست شکل خواند:

$\Delta Y = \boldsymbol{0.805}\ m$

(رنگ آبی)



شکل ۲۰-۱۰

همین روش را می‌توان برای به دست آوردن حداکثر جابجایی افقی (ΔX) مورد استفاده قرار داد:

$\Delta X = \boldsymbol{1.617}\ m$

(رنگ قرمز)

برای مشاهدهٔ دوران انجام شده می‌توان از همان روش قبل و یا شیوهٔ زیر استفاده کرد:

دستور

Main/General Postproc/Query Results/Nodal Solution

را اجرا نموده، Rotz را از گروه DOF Solution انتخاب نمایید. (لازم به یادآوری است دوران در صفحهٔ XY معادل Rotz می‌باشد.)

icivil.ir

پس از انتخاب گرهٔ ۱۱ (بالای تیر) عدد ۱,۱۷۸− در مقابل Rotz در پنجرهٔ Query Nodal Results ظاهر می‌گردد. این عدد برحسب رادیان بوده و تقریباً معادل 6.75° می‌باشد.

icivil.ir