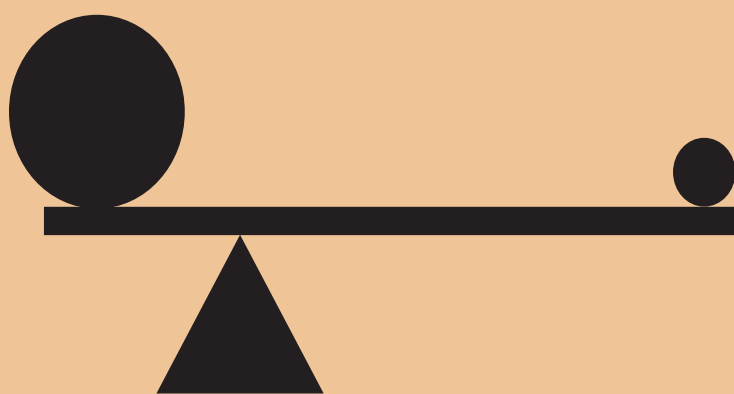


## پودمان ۲

### بررسی تعادل اجسام



### ۳-۱-۱ تعادل

مفهوم تعادل آن است که ذره یا جسم مادی هیچ گونه حرکت و یا چرخشی نداشته باشد. به منظور بررسی تعادل اجسام، آنها را به دو حالت در نظر می گیریم.

۱- نقطه مادی

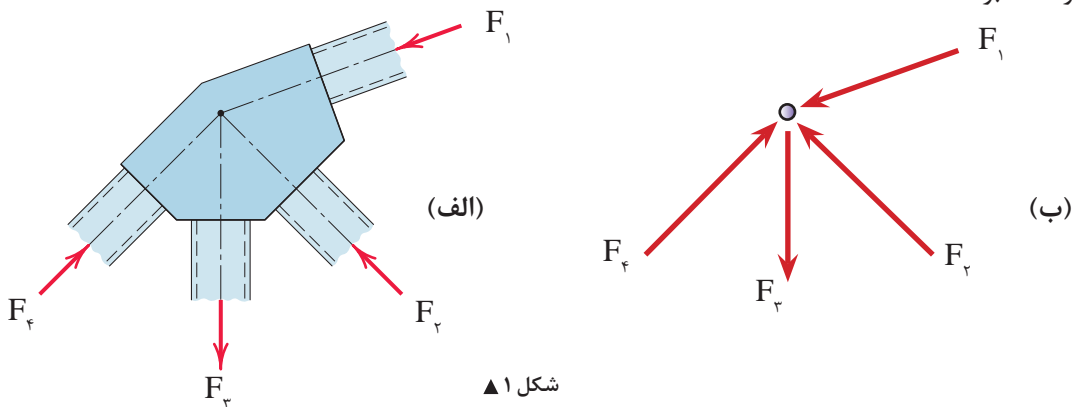
۲- جسم صلب

### ۳-۱-۱-۱ تعادل نقطه مادی

با توجه به تعریف نقطه مادی در پودمان اول، نیروهای وارد به جسم در یک نقطه متقارب خواهند بود و شرط تعادل در این حالت آن است که برآیند نیروهای وارده صفر باشد یعنی:

$$\sum \vec{F} = 0$$

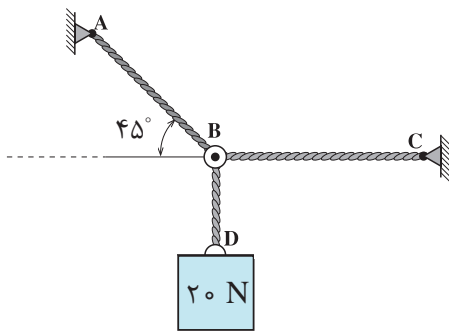
در شکل (۱-الف) چنان چه از ابعاد قطعات اتصال صرف نظر شود، وضعیت نیروها به صورت شکل (۱-ب) خواهند بود.



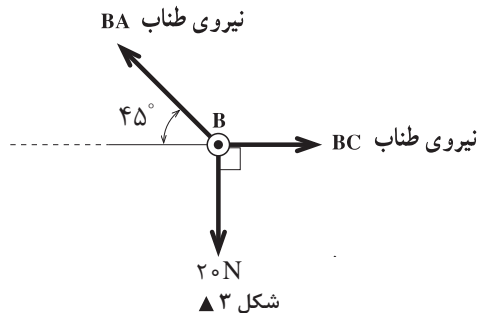
شکل ۱ ▲

در صفحه مختصات دکارتی رابطه بالا را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \sum \vec{F}_x = 0 \\ \sum \vec{F}_y = 0 \end{cases} \quad \text{معادلات تعادل}$$



شکل ۲ ▲



شکل ۳ ▲

### ۳-۱-۲- پیکر آزاد جسم

به منظور بررسی تعادل اجسام، لازم است ابتدا جسم را از محیط اطراف خود جدا نموده و نیروهای وارد بر آن را در راستاهای موجود نمایش دهیم که به این عمل، ترسیم پیکر آزاد جسم (FBD (Free Body Diagram)) گفته می‌شود.

در شکل (۲) وزنه  $20\text{ N}$  توسط سه رشته کابل AB و BC و BD نگهداری شده است. چون کابل‌ها فقط نیروی کششی را تحمل می‌نمایند بنابراین نیروهای وارد به نقطه B به صورت کششی بوده و پیکر آزاد آن مطابق شکل (۳) خواهد بود.

در حل مسائل تعادل نقطه‌ی مادی، ابتدا پیکر آزاد آن را ترسیم نموده و سپس به کمک معادلات تعادل، مجهولات مسئله را محاسبه می‌نمائیم.

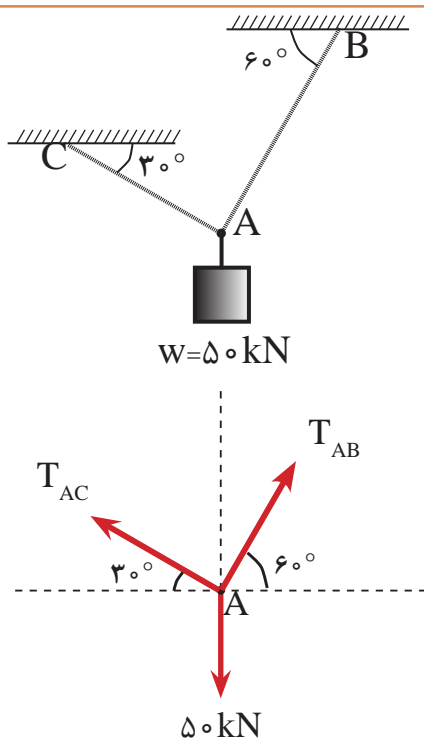
نکته



مثال ۱



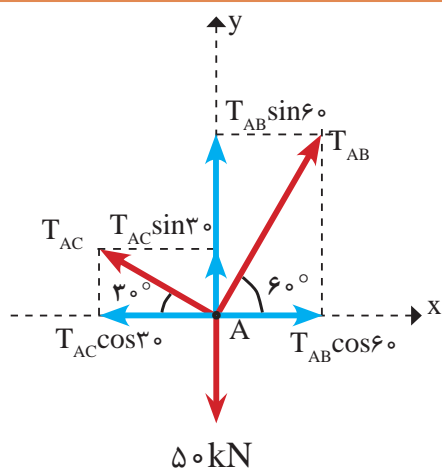
کشش کابل‌های AB و AC را در سامانه در حال تعادل زیر به دست آورید.



حل:

گام اول) ترسیم پیکره آزاد (با در نظر گرفتن این نکته که کابل‌ها همیشه رفتار کششی دارند).

گام دوم) تجزیه نیروها در دستگاه مختصات X و y. (مبدأ مختصات، محل تلاقی نیروها می باشد).



گام سوم) تشکیل معادلات تعادل و حل آنها تا رسیدن به خواسته های مسئله

$$\sum \overset{\rightarrow}{F}_x = 0 \Rightarrow T_{AB} \cos 6^\circ - T_{AC} \cos 3^\circ = 0 \quad \text{رابطه I}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow T_{AB} \sin 6^\circ + T_{AC} \sin 3^\circ - 50 = 0 \quad \text{رابطه II}$$

چون حل هر یک از معادلات فوق با وجود دو مجهول امکان پذیر نیست بنابراین آنها را در یک دستگاه دو معادله دو مجهولی قرار داده که با استفاده از روش های مختلف قابل حل است. در این جا از معادله اول یکی از مجهولات را بر حسب دیگری محاسبه و در معادله دوم قرار می دهیم تا یکی از مجهولات حذف شود:

$$\text{مقدار } T_{AB} \text{ را در رابطه II قرار داده خواهیم داشت:} \quad \text{رابطه III} \Rightarrow T_{AB} = \frac{T_{AC} \cos 3^\circ}{\cos 6^\circ} \Rightarrow T_{AB} = 1/73 T_{AC}$$

$$1/73 T_{AC} \times \sin 6^\circ + T_{AC} \sin 3^\circ - 50 = 0 \Rightarrow 2 T_{AC} - 50 = 0$$

$$T_{AC} = \frac{50}{2}$$

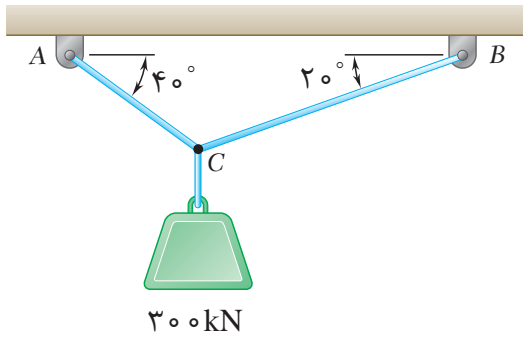
$$\Rightarrow T_{AC} = 25 \text{ kN}$$

حال مقدار  $T_{AC}$  را در رابطه III قرار می دهیم:

$$\Rightarrow T_{AB} = 1/73 \times 25$$

$$\Rightarrow T_{AB} = 43/25 \text{ kN}$$

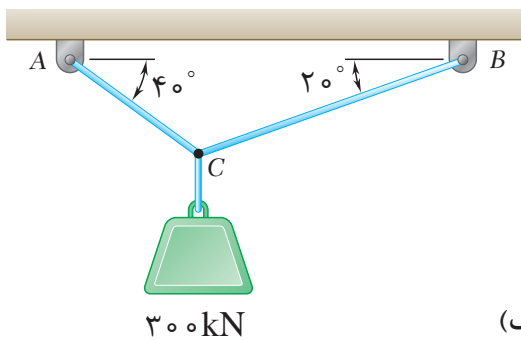
پیکر آزاد شکل زیر را رسم نمایید.



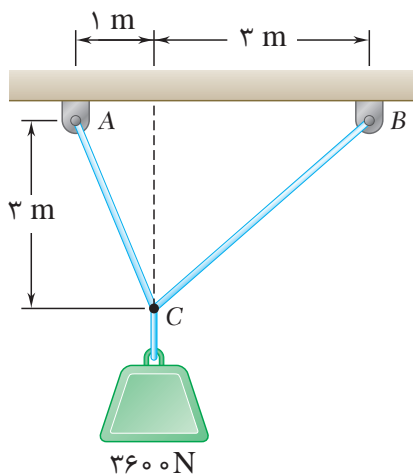
فعالیت  
کلاسی ۱



کشش کابل‌ها را در شکل‌های زیر به دست آورید.



(الف)

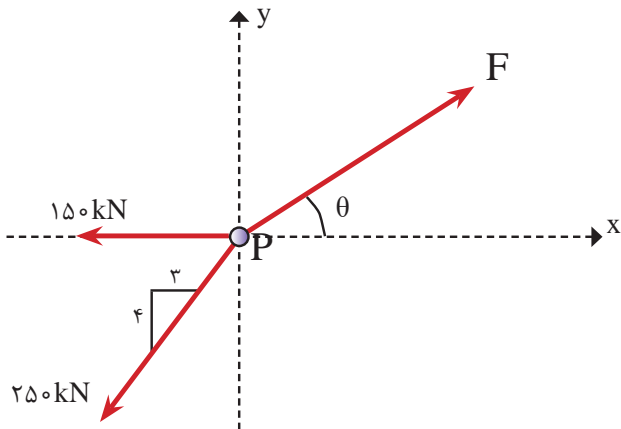


(ب)

فعالیت  
کلاسی ۲



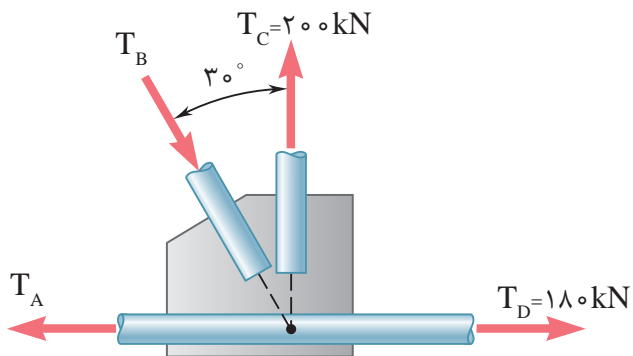
مقدار نیروی  $F$  و زاویه  $\theta$  را طوری تعیین کنید که ذره مادی  $P$  در حال تعادل باشد.



فعالیت  
کلاسی ۳



مقدار  $T_A$  و  $T_B$  را طوری تعیین کنید که تعادل در اتصال شکل زیر برقرار باشد.



فعالیت  
کلاسی ۴



## واحدیادگیری ۴ | تعادل اجسام صلب

### ۴-۱- تعادل جسم صلب

در قسمت قبل بنا به فرض، اجسام را به عنوان یک نقطه مادی در نظر گرفتیم. در حالی که چنین فرضی همیشه امکان پذیر نخواهد بود و نمی توان از ابعاد جسم صرف نظر کرد بنابراین در این حالت نیروها در یک نقطه متقارب نخواهند بود و علاوه بر حرکت، امکان دَوْران (گشتاور) جسم تحت تأثیر نیروهای وارده نیز وجود دارد. لذا شرط تعادل در مورد اجسام صلب به صورت زیر خواهد بود:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1- \text{ برای اینکه جسم در راستای محور } x \text{ جابه جایی نداشته باشد باید: } \leftarrow \Sigma F_x = 0 \\ 2- \text{ برای اینکه جسم در راستای محور } y \text{ جابه جایی نداشته باشد باید: } \leftarrow \Sigma F_y = 0 \\ 3- \text{ برای اینکه جسم چرخش نداشته باشد باید: } \leftarrow \Sigma M = 0 \end{array} \right.$$

## ۴-۲- انواع تکیه گاه‌ها و عکس‌العمل‌های آن‌ها

برای بررسی تعادل اجسام صلب، همانند نقاط مادی باید ابتدا پیکر آزاد آن‌ها را ترسیم نمود. برای این منظور، باید جسم را از محیط اطراف آن جدا نمائیم و چون اجسام بر روی تکیه‌گاه‌هایی قرار دارند که با توجه به نوع آن‌ها مانع از حرکت (جابه‌جایی) و یا چرخش جسم می‌گردند، لازم است ابتدا تکیه‌گاه‌ها و عکس‌العمل‌های آن‌ها را معرفی نماییم.

### تعریف عکس‌العمل تکیه‌گاهی

منظور از عکس‌العمل تکیه‌گاهی اجسام، واکنشی است که تکیه‌گاه در جهت حفظ تعادل آن‌ها از خود نشان می‌دهد و مانع از حرکت و یا دوران جسم مورد نظر می‌شود.

## ۴-۲-۱- انواع تکیه‌گاه‌ها

### الف) تکیه‌گاه غلتکی (یک‌مجهولی)

عبارت‌است از تکیه‌گاهی که تنها یک عکس‌العمل آن‌هم عمود بر سطح اتکای خود دارد؛ همانند چرخ اتومبیل روی سطح بدون اصطکاک. (ردیف ۱ جدول ۱)

### ب) تکیه‌گاه مفصلی (دومجهولی)

به تکیه‌گاهی گفته می‌شود که دارای دو عکس‌العمل می‌باشد؛ یکی مماس بر سطح اتکا و دیگری عمود بر آن خواهد بود. (ردیف ۲ جدول ۱)

### ج) تکیه‌گاه گیردار (سه‌مجهولی)

تکیه‌گاهی است که دارای سه عکس‌العمل به شرح زیر

می‌باشد: (ردیف ۳ جدول ۱)

۱- مماس بر سطح تکیه‌گاه

۲- عمود بر سطح تکیه‌گاه

۳- عکس‌العمل دورانی

### د) تکیه‌گاه میله‌ای


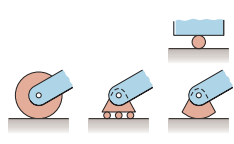
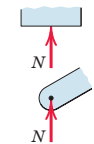
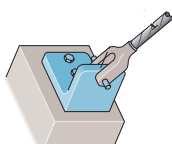
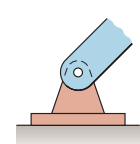
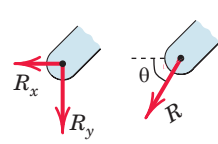
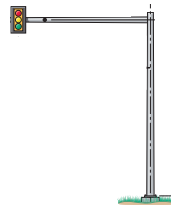
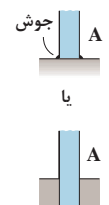
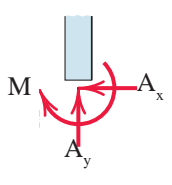
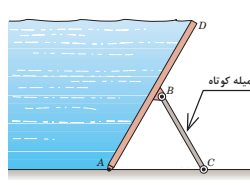
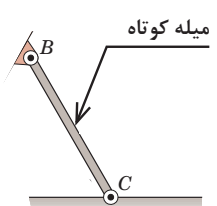
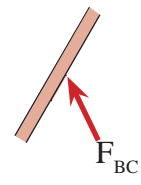
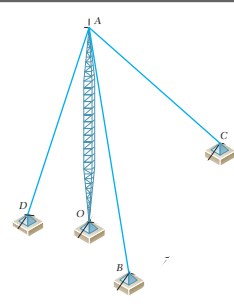
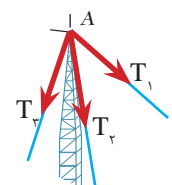
منظور از میله‌ عضو کوتاه است که در دو انتهای خود به صورت لولا یا مفصل متصل شده باشد. عکس‌العمل تکیه‌گاه میله‌ای در راستای میله و به صورت کششی یا فشاری خواهد بود. (ردیف ۴ جدول ۱)

### ه) تکیه‌گاه کابلی

هر گاه جسم توسط کابل به تکیه‌گاه متصل شود، عکس‌العمل کابل به صورت کششی و در راستای آن خواهد بود. (ردیف ۵ جدول ۱)



جدول (۱) انواع تکیه‌گاه

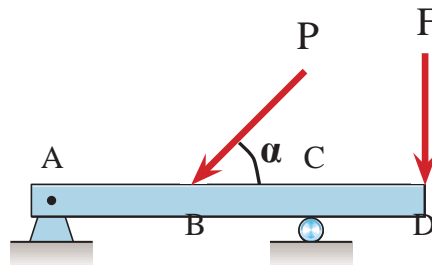
ردیف	نوع تکیه‌گاه	شکل واقعی	شکل شماتیک	عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
۱	غلتکی			
۲	مفصلی			
۳	گیردار			
۴	میله‌ای			
۵	کابلی		—	

### ۴-۳- محاسبه عکس العمل های تکیه گاهی اجسام صلب

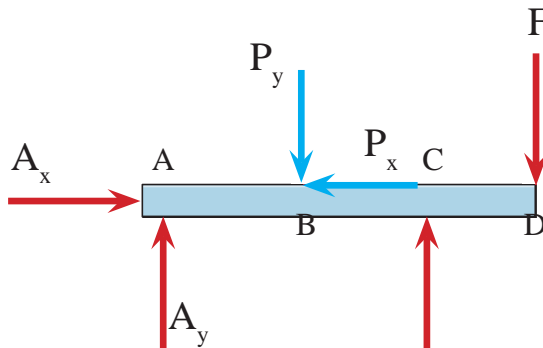
همان طور که گفته شد شرط تعادل اجسام صلب بر آورده شدن معادلات آن می باشد و برای نیل به این هدف به صورت زیر عمل می نماییم.

#### گام اول - ترسیم پیکر آزاد جسم

ابتدا جسم را از تکیه گاه ها جدا نموده و با توجه به نوع تکیه گاه، عکس العمل های مربوطه را در محل تکیه گاه و در جهت دلخواه قرار می دهیم. به عنوان مثال پیکر آزاد تیر شکل (۱- الف) به صورت شکل (۱- ب) خواهد بود.



(الف)



(ب)

شکل ۱ ▲

#### گام دوم - تجزیه نیروها

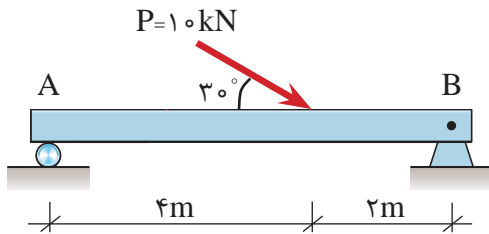
همه نیروهای مورب را روی پیکر آزاد در صورت وجود به مؤلفه های آن تجزیه می نماییم. به عنوان مثال در شکل (۱- ب) نیروی P به دو مؤلفه متعامد تجزیه شده است.

#### گام سوم - تشکیل معادلات و حل آنها

با تشکیل معادلات تعادل و حل آنها مجهولات مسئله (عکس العمل ها) تعیین می شوند.

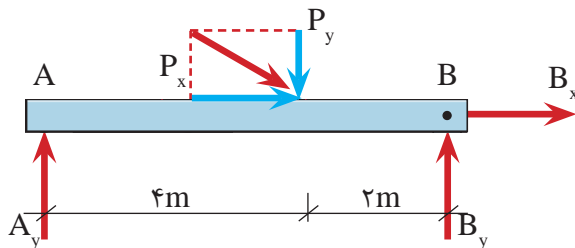


عکس العمل های تکیه گاهی تیر زیر را به دست آورید .



گام اول:

ترسیم پیکر آزاد جسم



گام دوم:

تجزیه نیروی P

$$P_x = P \cdot \cos \theta = 10 \times \cos 30^\circ = 8.66 \text{ kN}$$

$$P_y = P \cdot \sin \theta = 10 \times \sin 30^\circ = 5 \text{ kN}$$

گام سوم : تشکیل معادلات تعادل و حل آنها

$$\sum \vec{F}_x = 0 \Rightarrow B_x + P_x = 0 \Rightarrow B_x + 8.66 = 0 \Rightarrow \boxed{B_x = -8.66 \text{ kN}}$$

لازم به توضیح است که علامت منفی در جواب فوق به این معنی است که جهت صحیح عکس العمل  $B_x$  در پیکر آزاد تیر به سمت چپ می باشد.

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y - P_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y = P_y \Rightarrow A_y + B_y = 5 \text{ kN} \quad \text{رابطه I}$$

معادله فوق دارای دو مجهول بوده و قابل حل نمی باشد لذا از شرط سوم یعنی  $\sum M = 0$  استفاده می کنیم

$$+\curvearrowright \sum M_B = 0 \Rightarrow A_y \times 6 - P_y \times 2 = 0 \Rightarrow A_y \times 6 - 5 \times 2 = 0 \Rightarrow 6A_y = 10$$

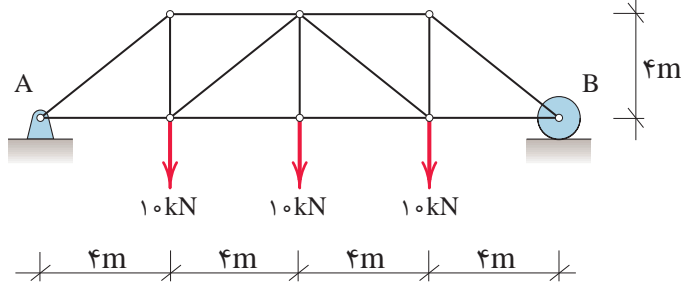
$$A_y = \frac{10}{6} \Rightarrow \boxed{A_y = 1.67 \text{ kN}}$$

بررسی کنید چرا گشتاور نیروها حول نقطه B محاسبه شده است؟  
حال با قرار دادن مقدار  $A_y$  در رابطه I خواهیم داشت:

$$A_y + B_y = 5 \Rightarrow 1.67 + B_y = 5 \Rightarrow B_y = 5 - 1.67 \Rightarrow \boxed{B_y = 3.33 \text{ kN}}$$

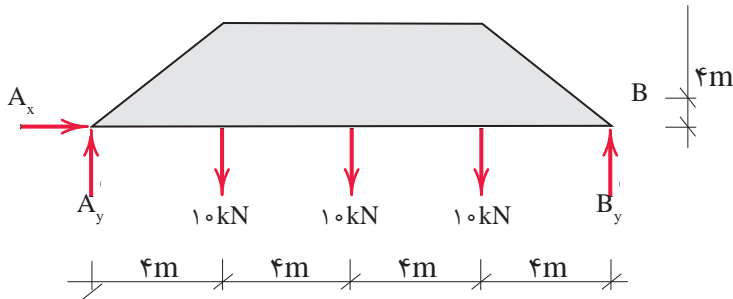


عکس العمل های تکیه گاهی را در خرپای شکل زیر به دست آورید.



گام (۱)

ترسیم پیکر آزاد



گام (۲)

تشکیل معادلات تعادل:

$$\sum \vec{F}_x = 0 \Rightarrow A_x = 0$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y - 10 - 10 - 10 = 0$$

$$A_y + B_y = 30 \text{ kN}$$

رابطه I

با توجه به اینکه نیروی افقی به سیستم وارد

نمی شود لذا عکس العمل افقی تکیه گاه A

یعنی ( $A_x$ ) برابر صفر است.

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \Rightarrow 10 \times 4 + 10 \times 8 + 10 \times 12 - B_y \times 16 = 0$$

$$16B_y = 240 \Rightarrow B_y = \frac{240}{16} \Rightarrow B_y = 15 \text{ kN } \uparrow$$

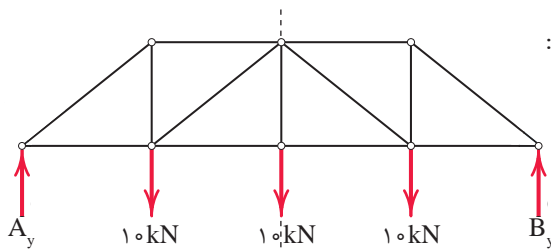
مقدار  $B_y$  را در رابطه I قرار می دهیم داریم:

$$A_y + 15 = 30 \text{ kN} \Rightarrow A_y = 15 \text{ kN } \uparrow$$

نکته: هرگاه بارگذاری و هندسه سازه ای متقارن باشند کل بارهای وارده به صورت مساوی بین دو

تکیه گاه تقسیم می شود.

بنابراین با توجه به تقارن در سازه فوق داریم :



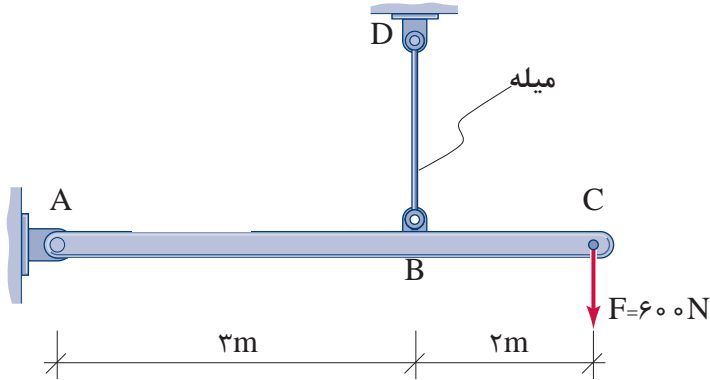
$$\text{کل بار} = 10 + 10 + 10 = 30 \text{ kN}$$

$$A_y = B_y = \frac{30}{2} = 15 \text{ kN}$$

محور تقارن



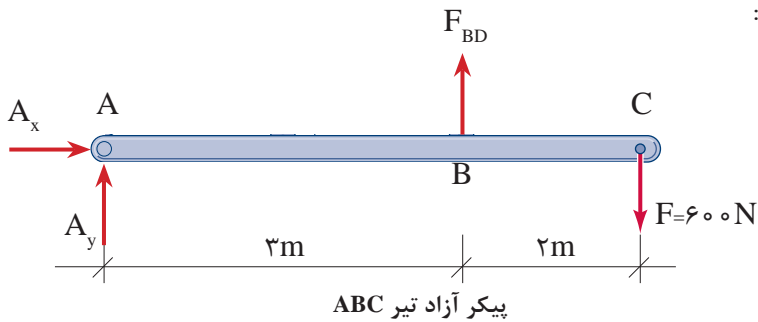
عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تیر ABC را به دست آورید.



گام اول:

ترسیم پیکر آزاد تیر ABC

چون عضو BD میله است و با توجه به اینکه در تکیه‌گاه میله‌ای عکس‌العمل تکیه‌گاهی، در راستای میله می‌باشد، خواهیم داشت:



گام دوم:

تشکیل معادلات تعادل

$$\sum \vec{F}_x = 0 \Rightarrow \boxed{A_x = 0}$$

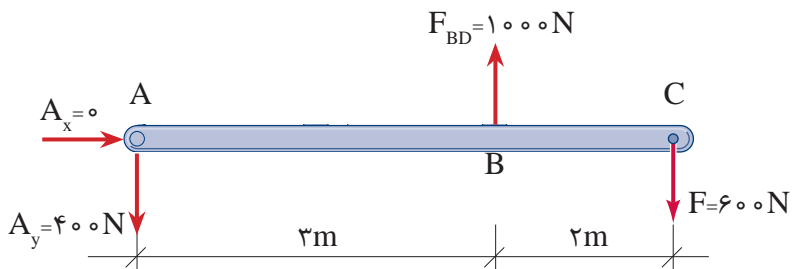
$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + F_{BD} - 600 = 0 \Rightarrow A_y + F_{BD} = 600 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \Rightarrow 600 \times 5 - F_{BD} \times 3 = 0 \Rightarrow \boxed{F_{BD} = 1000 \text{ N}} \quad \text{رابطه I}$$

از رابطه I داریم:

$$A_y + F_{BD} = 600 \Rightarrow A_y + 1000 = 600 = 0 \Rightarrow \boxed{A_y = -400 \text{ N} \downarrow}$$

با توجه به علامت منفی در مقدار  $A_y$ ، جهت عکس‌العمل تکیه‌گاهی  $A_y$  به طرف پایین (↓) خواهد بود؛ یعنی:





### نکات مربوط به جمع‌بندی پودمان ۲ (تعالُد اجسام):

- مفهوم تعادل آن است که ذره یا جسم مادی هیچ‌گونه حرکت و یا چرخشی نداشته باشد.
- شرط تعادل نقطه مادی آن است که برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد یعنی:

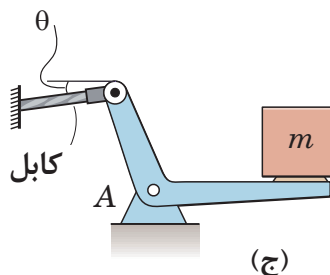
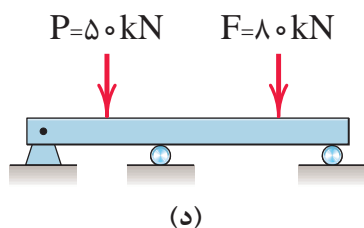
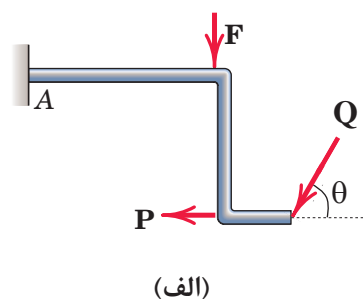
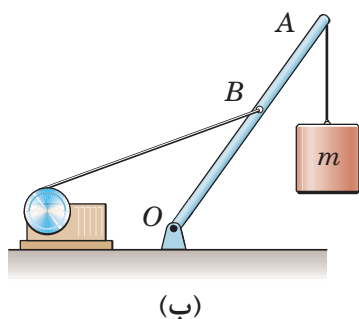
$$\Sigma \vec{F} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \Sigma \vec{F}_x = 0 \\ \Sigma \vec{F}_y = 0 \end{cases}$$

- هرگاه جسم یا نقطه مادی را از محیط اطراف خود جدا و نیروهای وارد بر آنها را در راستاهای موجود نمایش دهیم، پیکر آزاد جسم و یا نقطه مادی را ترسیم نموده‌ایم.
- شرایط تعادل جسم صلب عبارت‌است از:

$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases}$$

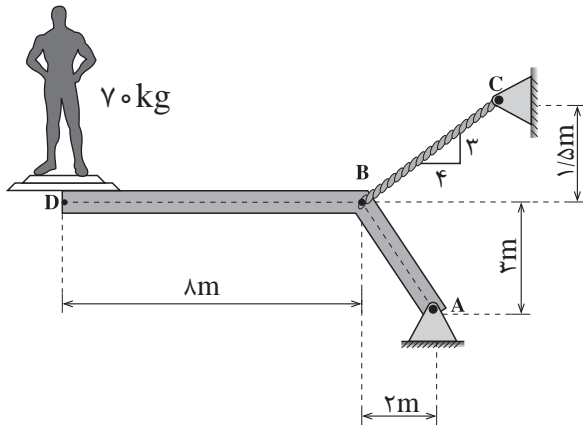
- برای تعیین عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی از معادلات تعادل جسم صلب و یا نقطه مادی استفاده می‌شود.

پیکر آزاد هر کدام از شکل‌های زیر را رسم نمایید.

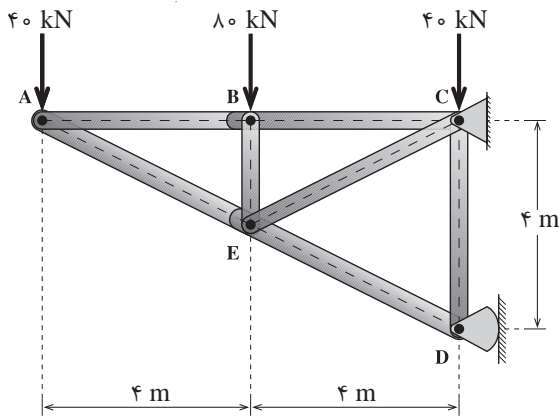




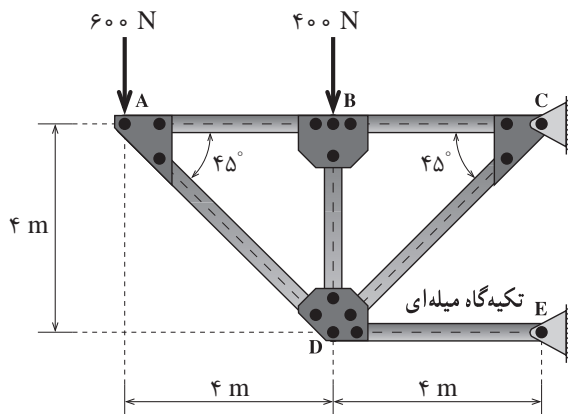
۲- عکس العمل‌های تکیه‌گاهی را در شکل‌های زیر به دست آورید. ( $g = 10 \frac{m}{s^2}$ )



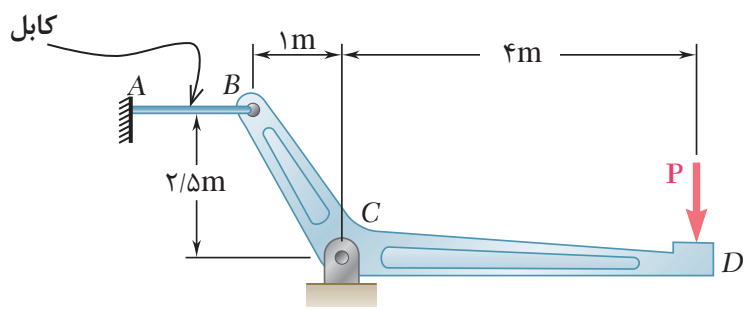
(الف)



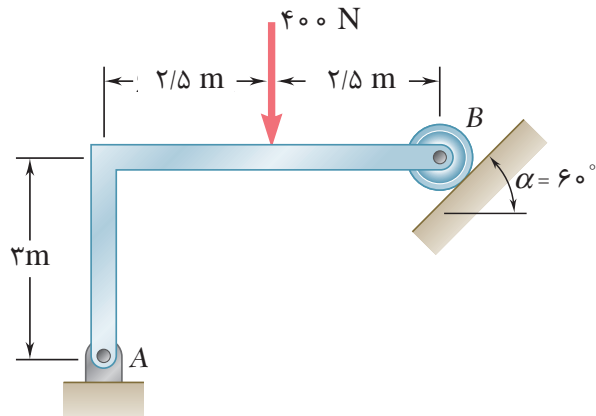
(ب)



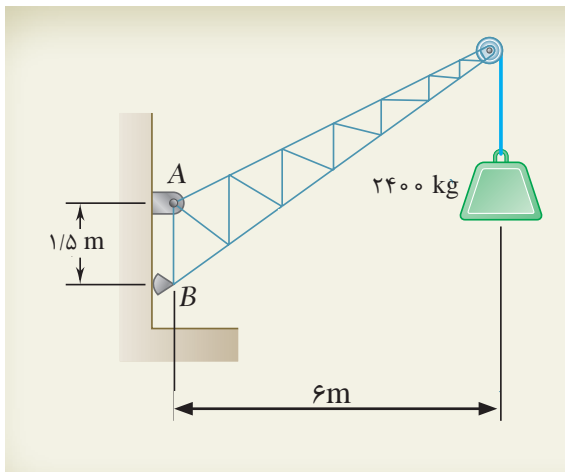
(ج)



(د)



(ه)



(و)



## ۴-۴- کاربرد نرم افزار در تعادل اجسام صلب

امروزه استفاده از نرم افزار در تمامی علوم مورد نیاز بشر بسیار فراوان و غیرقابل اجتناب شده است. در مهندسی عمران هم با طراحی انواع سازه های پیچیده از یک طرف و مهار خرابی های ناشی از عوامل طبیعی مانند باد و زلزله و سیل از طرف دیگر باعث به وجود آمدن نرم افزارهای متعددی شده است که کمک بسیار بزرگی را به مهندسين محاسب می نمایند. نرم افزارهایی مثل SAP و ETABS و SAFE و ... نرم افزارهای مهندسی سازه می باشند که به کمک آنها می توان سازه ها را ابتدا تحلیل و سپس طراحی نمود.

**منظور از تحلیل سازه** بررسی پایداری، محاسبه عکس العمل ها، محاسبه نیروی داخلی و تعیین تغییر شکل های سازه می باشد. شما در این پودمان با محاسبه عکس العمل ها و نیروهای داخلی بعضی از سازه ها (سازه های معین) آشنا می شوید و روش محاسبه آن را به کمک نرم افزار SAP فرا می گیرید.

**منظور از طراحی محاسبه و تعیین ابعاد لازم برای یک سازه** می باشد تا توانایی مقاومت در برابر بارهای وارده در طول عمر خود را داشته باشد.

نکته



برای سازه هایی که در هنرستان بررسی می شوند روش تحلیل دستی کفایت نموده و احتیاجی به استفاده از نرم افزار نیست و روش حل دستی سریعتر و راحت تر می باشد ولی سازه هایی که در سال های آتی با آنها آشنا می شوید تقریباً اکثر سازه هایی که اجرا می گردند، حل دستی آنها وقت گیر و پر زحمت بوده و گاهی غیرممکن می شود. لذا برای آشنایی شما مثال ها و تمرینات این کتاب نیز با نرم افزار تحلیل می شوند تا از این طریق مبانی کار با نرم افزارهای مهندسی را فرا گرفته و برای دوره های عالی آمادگی لازم را به دست آورید.

نکته



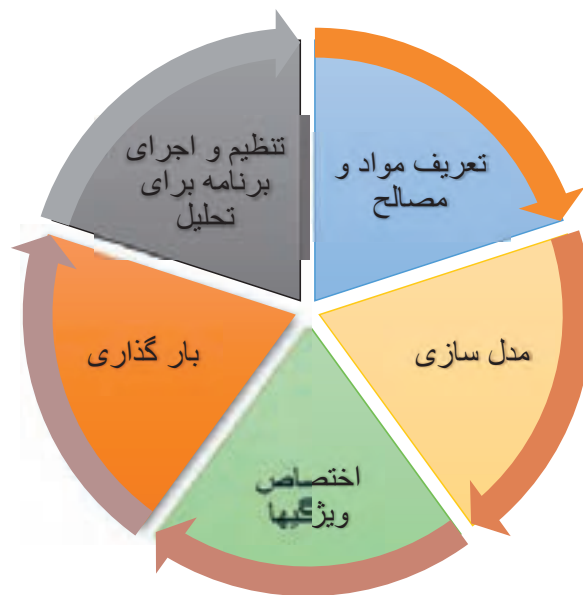
در این کتاب از نرم افزار SAP استفاده می کنیم. لازم به توضیح هست که این نرم افزار مشابهت زیادی به نرم افزار ETABS دارد و تفاوت آنها در این است که نرم افزار SAP برای کلیه سازه ها مثل ساختمان های معمولی، سوله ها، خرپاها و هرنوع سازه دیگر کاربرد دارد و یک نرم افزار کلی برای محاسبات سازه ای ساختمان می باشد ولی ETABS نرم افزاری است که در محاسبه ساختمان های معمولی کاربرد بیشتری دارد زیرا کار کردن با آن برای کاربر بسیار راحت تر بوده و مختص ساختمان است.



با اطلاعاتی که تاکنون کسب کرده‌اید، مراحل تحلیل یک سازه را بنویسید.  
در ادامه با همکلاسی‌های خود در مورد نمودار زیر بحث کنید.



نمودار فوق مراحل را که مهندسیین محاسب برای محاسبه و طراحی یک سازه طی می‌کنند نشان می‌دهد. در این کتاب وارد قسمت طراحی نخواهیم شد و آن را به سال‌های آتی واگذار خواهیم کرد ولی سه مرحله مدل‌سازی و بارگذاری و تحلیل را به جزئیات بیشتری مطابق نمودار زیر تبدیل نموده و به توضیح مختصر هر یک از آنها می‌پردازیم.



شکل ۲ ▲

### ۱- تعریف مواد و مصالح

باید نوع سازه و مصالح مصرفی را برای نرم‌افزار مشخص کنیم. به عنوان مثال آیا سازه بتنی است و یا فلزی؟ چه نوع بتن و یا از چه نوع میلگردهایی و با چه خصوصیتی باید در پروژه استفاده کرد.



با راهنمایی هنرآموز خود، چند خصوصیت بتن و میلگرد که در تحلیل و طراحی سازه استفاده می‌شوند را نام ببرید.

## ۲ - مدل سازی

هر سازه دارای اعضای با ابعاد مختلف بوده که به یکدیگر متصل می‌شوند مانند تیر، ستون، سقف و ... بنابراین در این مرحله هندسه سازه را برای نرم‌افزار مشخص می‌کنیم که می‌تواند سازه دوبعدی و یا سه‌بعدی و یا از هر نوعی باشد.

## ۳ - اختصاص ویژگی‌ها

هر یک از اعضا سازه دارای ویژگی‌هایی بوده مانند جنس، سطح مقطع و نوع اتصال و ... که باید به هر عضو، این ویژگی‌ها را اختصاص داد.

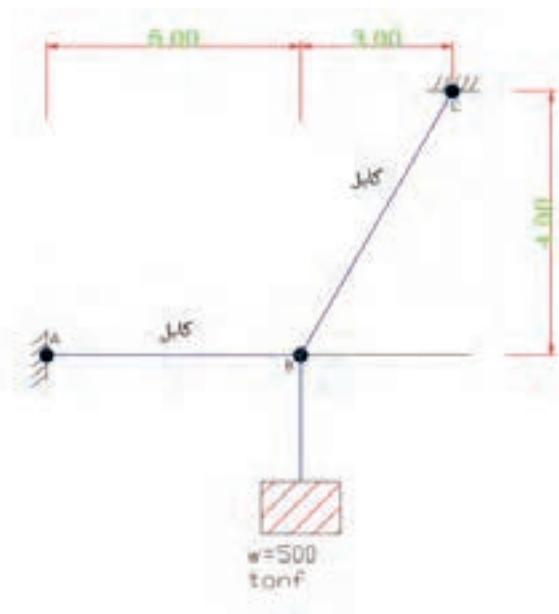
## ۴ - بارگذاری

بار هر عضو از سازه نیز یک ویژگی سازه می‌باشد که باید برای هر عضو تعریف شود و به دلیل اهمیت زیاد، آن را جداگانه به عنوان یک مرحله در نظر گرفتیم. بارها در ساختمان دارای انواعی نظیر بار مرده، زنده، باد، زلزله، برف، فشار خاک، تغییر دما و ... می‌باشند.

## ۵ - تنظیم و اجرای برنامه

نرم‌افزار را باید برای بعضی از سازه‌هایی که نیاز به تحلیل‌های خاصی دارند تنظیم و سپس اجرا نمود.

کشش کابل‌های AB و BC را به کمک SAP به دست آورید. از وزن کابل‌ها صرف نظر کنید.

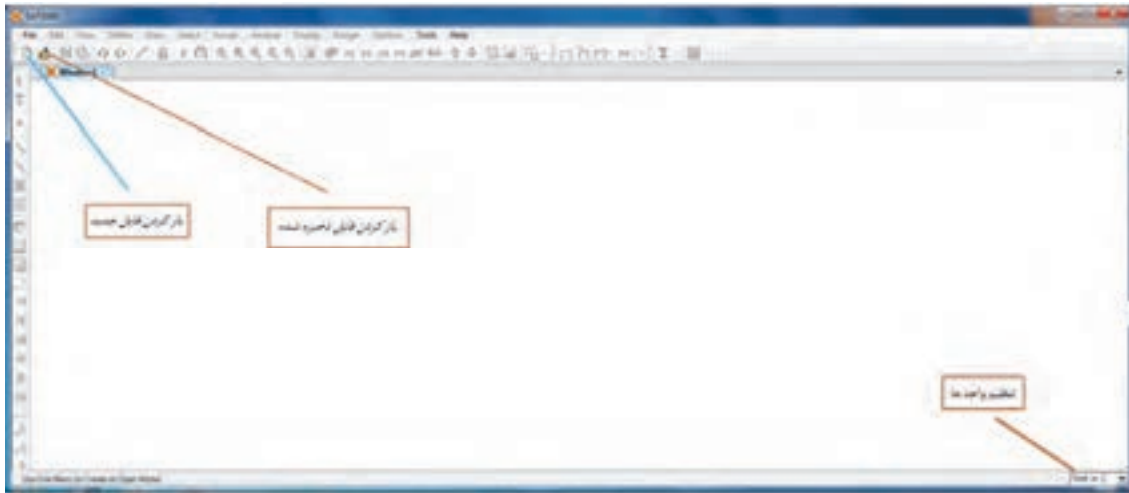


فعالیت  
کلاسی ۳



## کار با نرم افزار

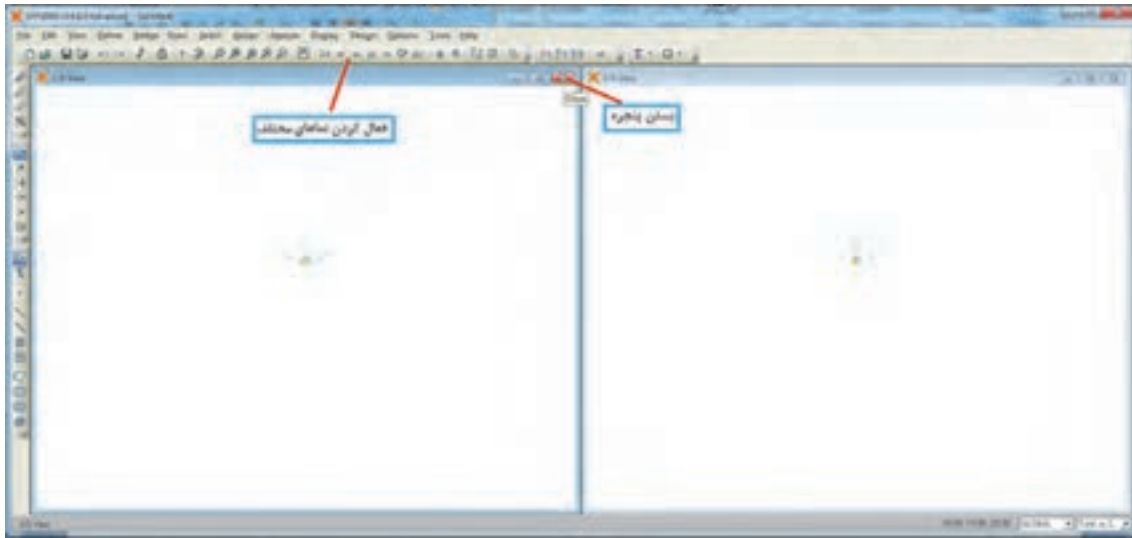
نرم افزار SAP را با کلیک روی آیکون آن اجرا کنید. پس از اجرا صفحه زیر باز می شود.





چون در ابتدای کار با برنامه هستیم مطابق شکل بالا آیکون های زیادی فعال نیستند. قبل از باز کردن فایل جدید باید واحدها را تنظیم نماییم که مطابق شکل به ترتیب از چپ به راست واحد نیرو، واحد طول و واحد دما را روی واحدهای مورد نظر قرار دهید. معمولاً اگر این واحدها روی  $c$ ,  $m$ ,  $tonf$  (تن نیرو، متر و سانتی گراد) تنظیم گردند مناسب تر به نظر می رسد. سپس آیکون  $new\ model$  را برای شروع پروژه جدید کلیک نمایید تا صفحه زیر باز شود.



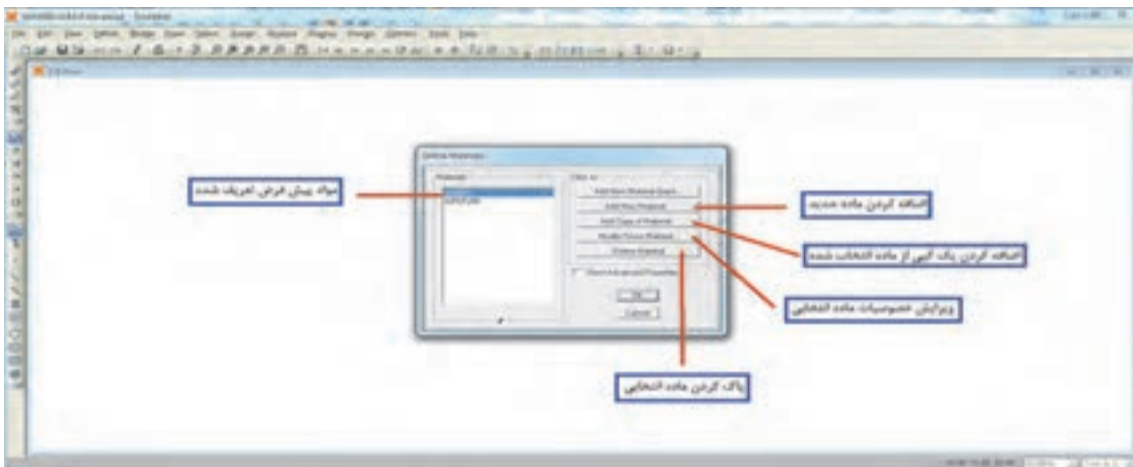
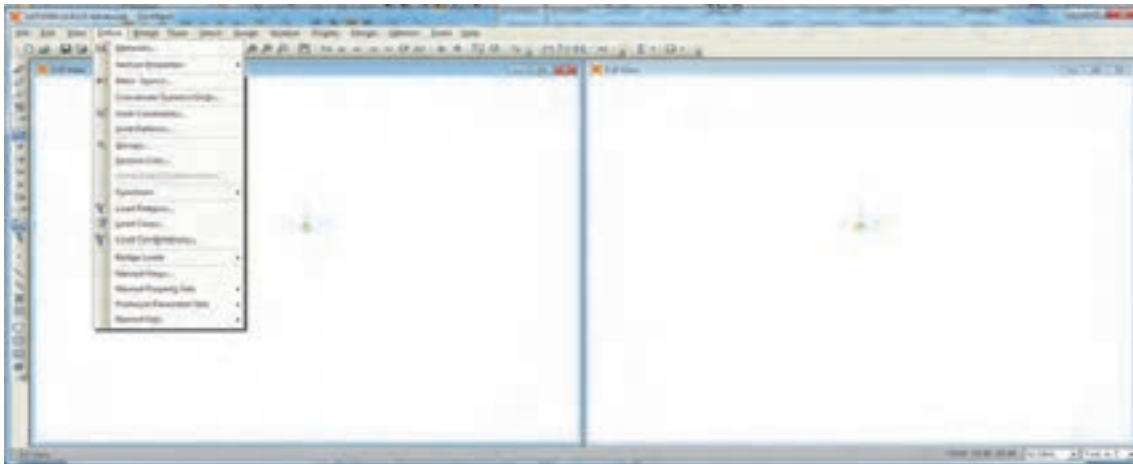
در این صفحه نمونه‌هایی از سازه‌های مختلف وجود دارد و شبیه‌ترین آنها به پروژه خود را می‌توانید برای تسهیل در کار انتخاب نمایید و در غیر این صورت گزینه اول (بدون نمونه) را می‌توانید انتخاب کنید. در گزینه دوم خطوط راهنما انتخاب می‌شود. این خطوط شبیه خطوط آکس هستند و وجود خارجی ندارند و برای ترسیم مدل به کار می‌روند. در این مثال از گزینه اول استفاده می‌کنیم و گزینه‌های بعدی را در مثال‌های دیگر به کار می‌بریم. با انتخاب گزینه اول صفحه اصلی SAP باز شده و می‌توانیم مراحل تحلیل را شروع کنیم.



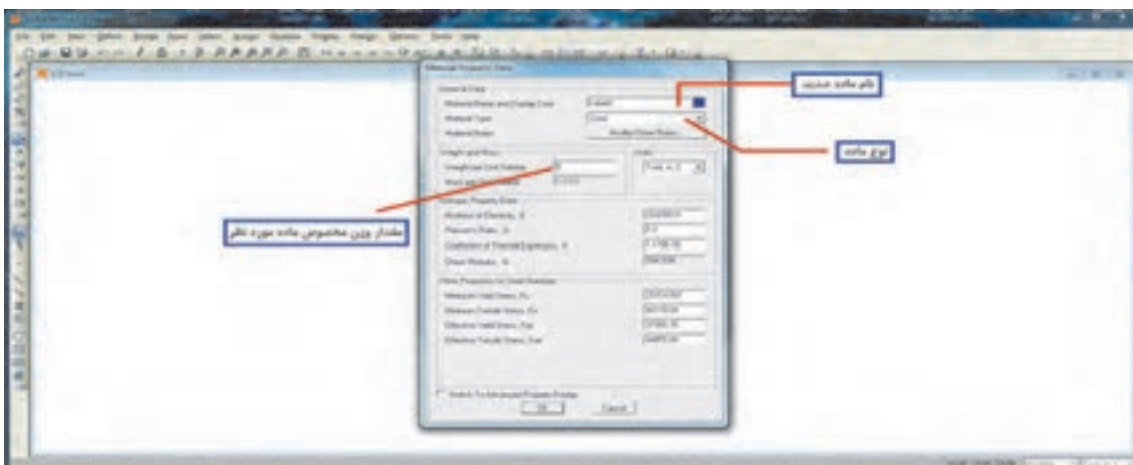
همان‌طور که مشاهده می‌شود دو پنجره هم‌زمان فعال می‌باشند که در پروژه‌های سه‌بعدی می‌توان یک نما و دید سه‌بعدی را هم‌زمان مشاهده کرد. با کلیک روی هر پنجره آن پنجره فعال می‌شود. برای بستن هر پنجره با کلیک روی علامت  3-D View  پنجره مورد نظر بسته می‌شود، حتی می‌توانید با کلیک روی نماهای مختلف (XZ و YZ و یا XY) دید هر پنجره را تغییر دهید.

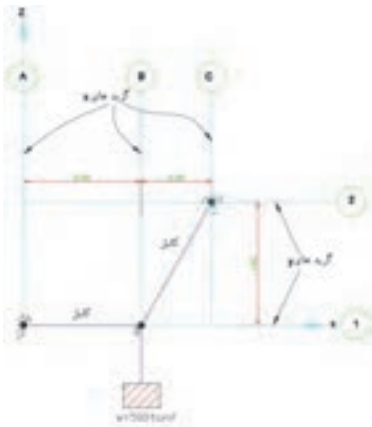
### مرحله اول - تعریف مصالح

در منوی `define/material` می‌توان مصالح مختلفی را تعریف کرد. در این مثال برای در نظر گرفتن اثر وزن اعضا که در جای خود توضیح داده می‌شود یک نوع مصالح با وزن مخصوص صفر (بی‌وزن) تعریف می‌کنیم زیرا برنامه به صورت اتوماتیک وزن مصالحی که ما در مدل‌سازی تعریف کرده‌ایم را محاسبه می‌کند. چون کابل‌ها وزن قابل ملاحظه‌ای ندارند لذا وزن مخصوص را برابر صفر تعریف می‌کنیم بنابراین با این ترفند برنامه هم که وزن را محاسبه می‌نماید به عدد صفر می‌رسد.



با کلیک روی گزینه دوم در شکل بالا یک ماده جدید به نام cable تعریف می کنیم و از مشخصات آن فقط وزن واحد حجم را برابر صفر در نظر می گیریم. اکنون در منوی Define/section property/frame section/add new property یک مقطع دلخواه به نام cable می سازیم که مصالح آن از نوع cable بوده و دارای وزن نیست.





### مرحله دوم - مدل سازی

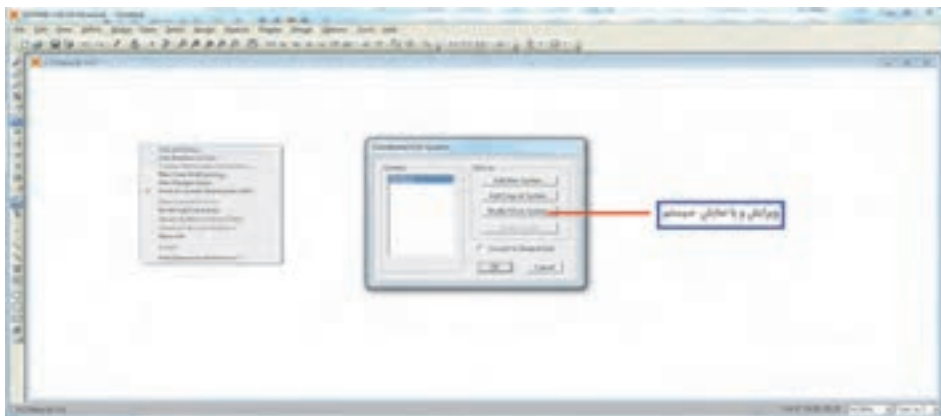
برای مدل سازی باید گریدهای X و Y (خطوط راهنما) ایجاد شوند بنابراین شکل را به صورت زیر تبدیل می کنیم.

این شکل چگونه ایجاد شده است؟

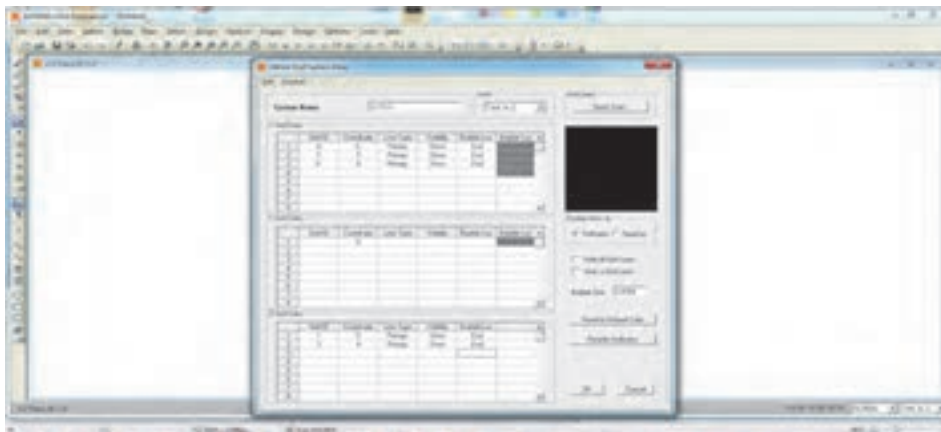
تفکر



اکنون در محیط SAP و در یک جای دلخواه کلیک راست کنید و گزینه اول Edit Grid Dat (ویرایش گریدها) را انتخاب کنید. ادامه مراحل در شکل های زیر نشان داده شده است.

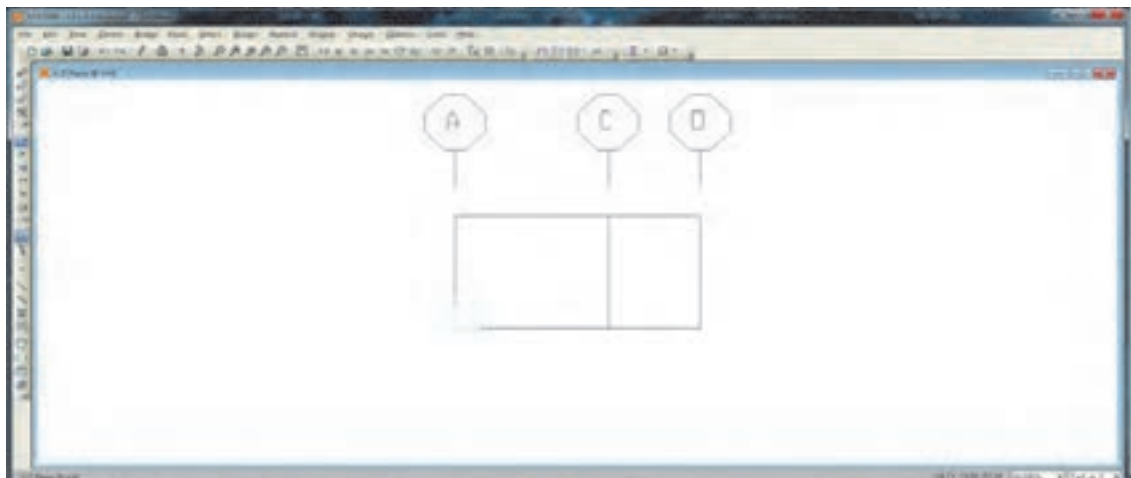


پس از کلیک روی گزینه Modify/show System صفحه زیر باز شده آنها را تکمیل می کنیم. برای تکمیل این جدول می توان از دو حالت ordinate و spacing استفاده کرد که شکل زیر بر اساس spacing و با توجه به شکل مسئله یا سؤال و اندازه های روی آن انجام شده است و می تواند تکمیل جدول به حالت ordinate تغییر یابد.





پس از تکمیل جدول فوق ok نموده و از آن خارج شده و نتیجه را ببینید در صورتی که اشکالی داشته باشد می‌توانید مجدداً با کلیک راست روی صفحه و انتخاب Edit Grid Dat ویرایش لازم را انجام دهید.



در صورتی که گریدبندی درست انجام شده باشد برای تکمیل مدل‌سازی باید اعضا AB و BC را رسم کنیم

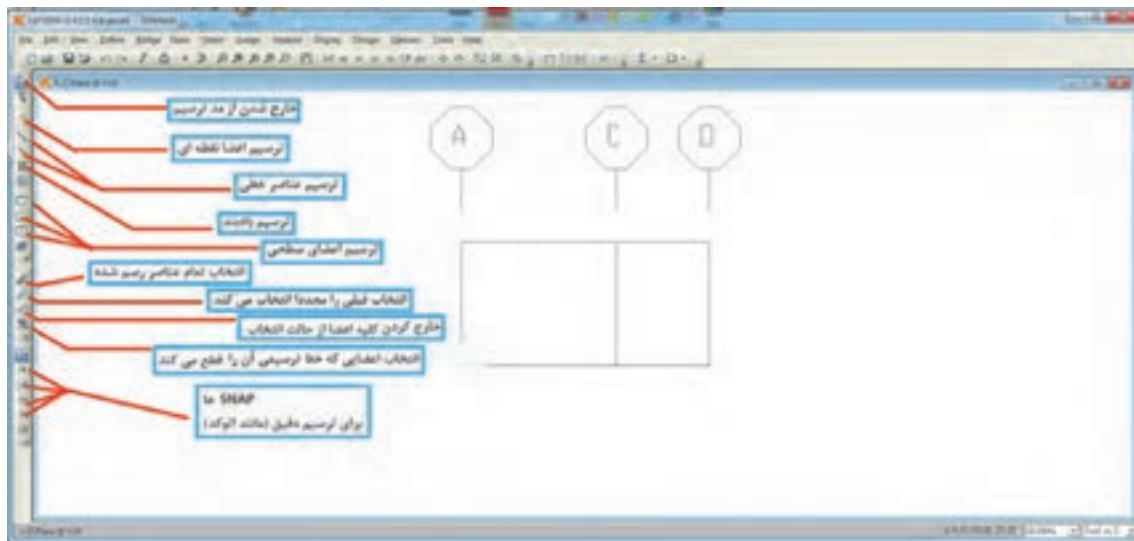
در برنامه SAP اعضای سازه‌ای که ما بیشتر با آنها سر و کار داریم عبارت‌اند از:

۱- اعضای نقطه‌ای مانند ذرات مادی



۲- اعضای خطی مانند تیرها، ستون‌ها و بادبندها و ...


۳- اعضای سطحی مانند انواع سقف‌ها، دیوار برشی و ...

در این مثال کابل‌ها از نوع اعضا خطی هستند آیکون‌های ترسیمی در سمت چپ صفحه قرار دارند که در شکل زیر توضیحات مختصری در مورد هر یک داده شده است.

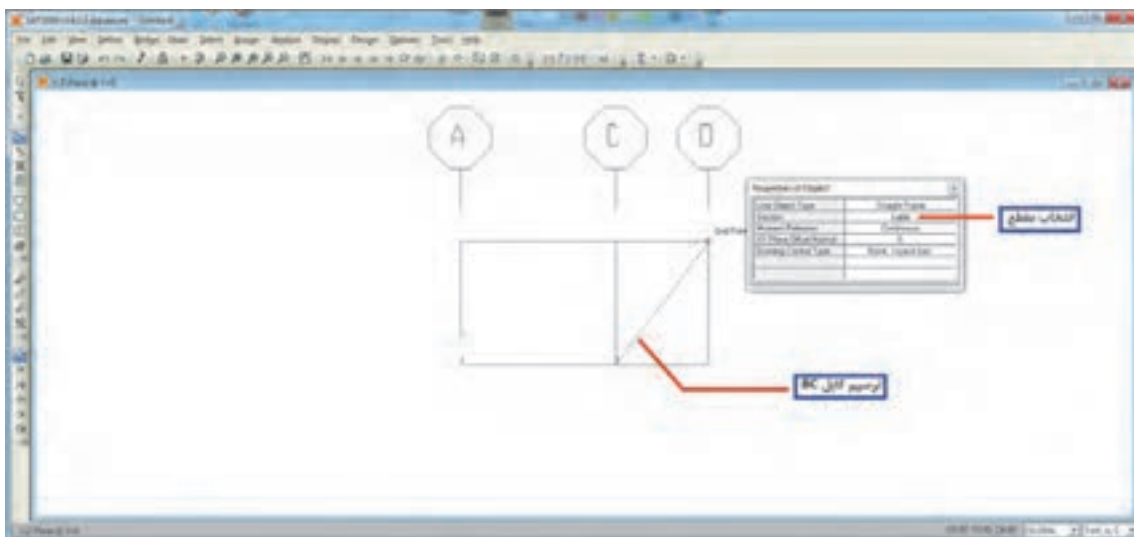




بنابراین برای ترسیم کابل‌ها از ترسیم اعضای خطی استفاده می‌شود. در آیکون  کافی است تقاطع دو گرید ابتدا و انتهای کابل AB را کلیک کنید در این حالت باید snapها را فعال کرده تا ترسیم دقیق باشد و در آیکون  کافی است مابین دو نقطه A و B را کلیک نمایید.

۱- با کلیک آیکون ترسیمی هر عنصر، جعبه‌ای همراه آن باز شده که می‌توان قبل از ترسیم ویژگی‌های آن را نیز مانند مقاطع و ... اختصاص داد. در این مثال جنس مصالح را cable وارد می‌کنیم.  
 ۲- در مد ترسیم شکل Crosshair تغییر می‌یابد و به صورت فلش عمودی در خواهد آمد. با فشار دکمه ESCAP هم می‌توان از مد ترسیم خارج شد و یا از آیکون  با عنوان set select mode استفاده کرد.

نکته



### مرحله سوم - اختصاص ویژگی‌ها

در این مرحله می‌توان ویژگی‌های هر عضو مانند نوع اتصال آن، جنس مصالح و شکل مقطع و ... را به آن عضو اختصاص داد.

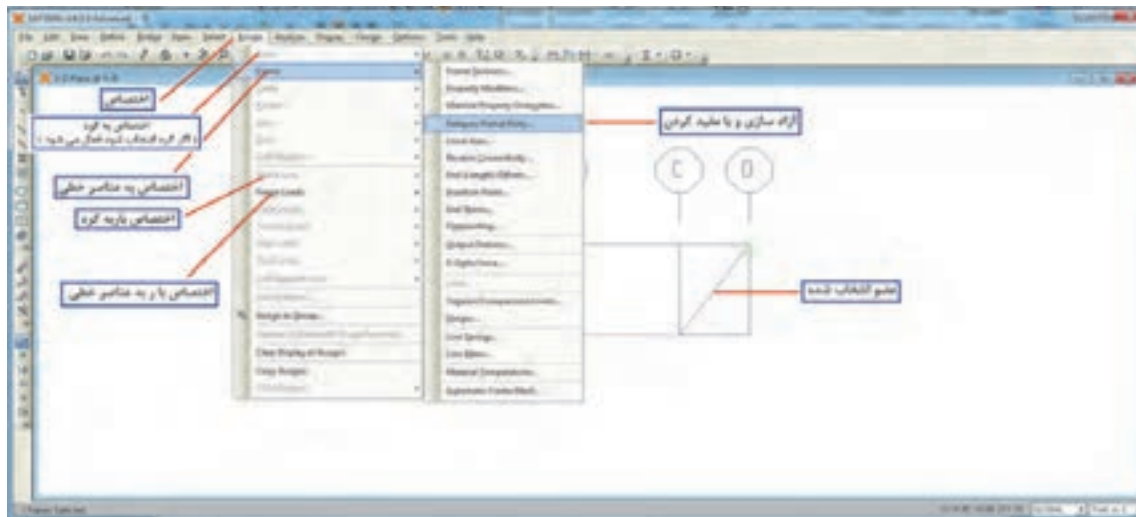
ابتدا با کلیک روی هر عضو و یا کشیدن کادر اطراف آن، عضو مربوطه را انتخاب می‌کنیم (عضوهای انتخاب شده موقتاً حالت خط‌چین پیدا می‌کنند) و سپس از منوی Assign ویژگی‌های لازم را اختصاص می‌دهیم در این مثال باید انتهای هر دو عضو مفصلی باشند که در شکل زیر مراحل را می‌بینید.

انتخاب اعضا در SAP و AutoCAD را با یکدیگر مقایسه کنید.

فعالیت  
کلاسی ۴



## Frame/Releases/Partial Fixity



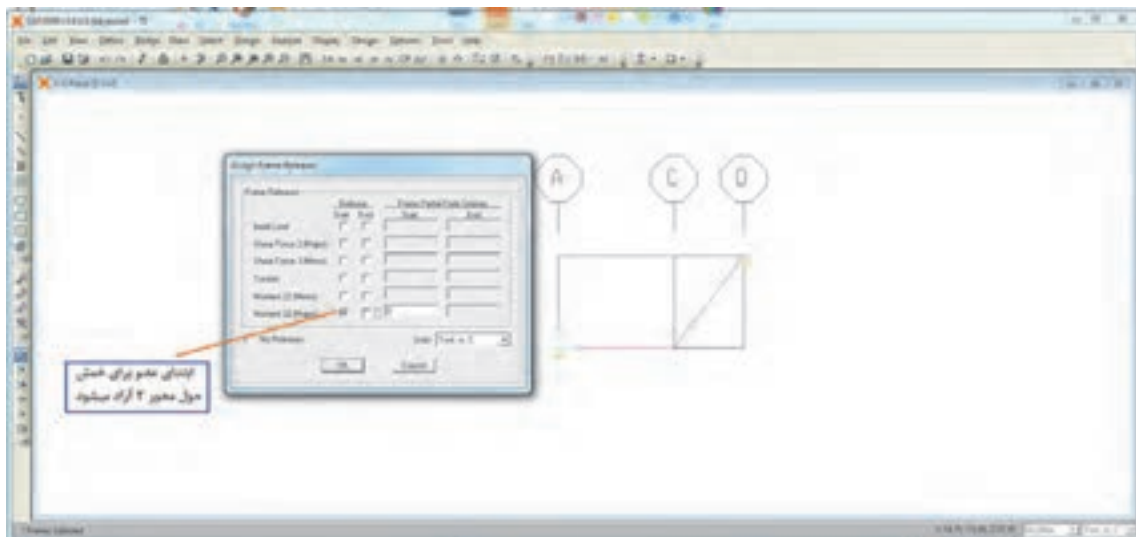
پس از کلیک روی Partial Fixity صفحه زیر باز می شود که می توان هر عضو را در ابتدا و انتهای خود در برابر چرخش حول محور قوی و ضعیف آن را با نشان دادن تیک در مربع مربوطه آزاد کرد.

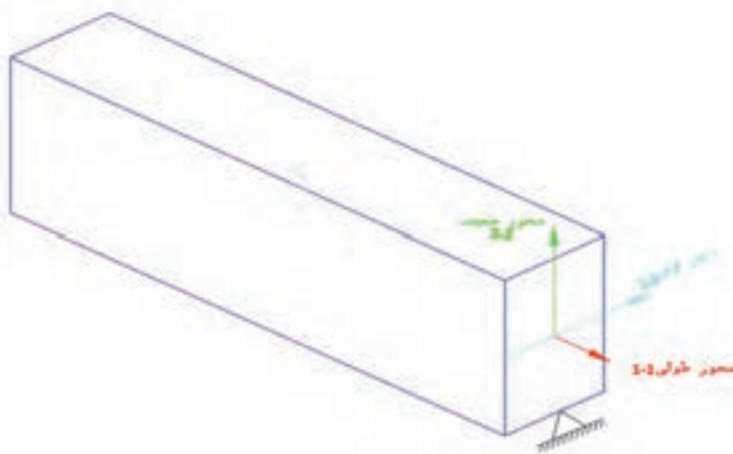
هنگام ترسیم عضو خطی، گرهی که ابتدا کلیک می شود، ابتدا و دیگری انتهای عضو خواهد بود بنابراین شروع و انتهای عضو بستگی به نحوه ترسیم حین مدل سازی دارد. در این برنامه برای هر مقطع یک محور قوی وجود دارد که آن را به نام محور ۳-۳ می شناسد و محور طولی عضو محور ۱-۱ می باشد بنابراین محور ۲-۲ محور ضعیف خواهد بود.

نکته



در شکل زیر محورهای یک تیر را با رنگ مربوطه در برنامه SAP می بینید. در این برنامه محورهای هر عضو و بسیاری دیگر از مشخصات گره ها و اعضا را با کلیک روی آیکن  set display option در منوی بالای صفحه می توانید ببینید. از جمله شماره گره، اعضا و ابتدا و انتهای عضو و ...





آیکون  set display option را باز نموده و تعدادی از مشخصات پروژه را در آن ببینید.

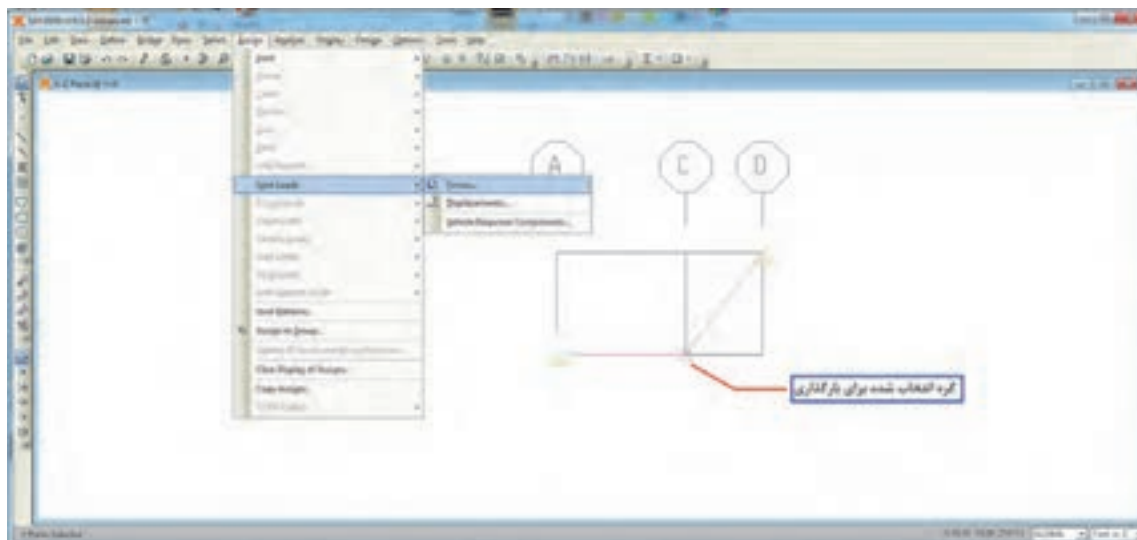
فعالیت  
کلاسی ۵

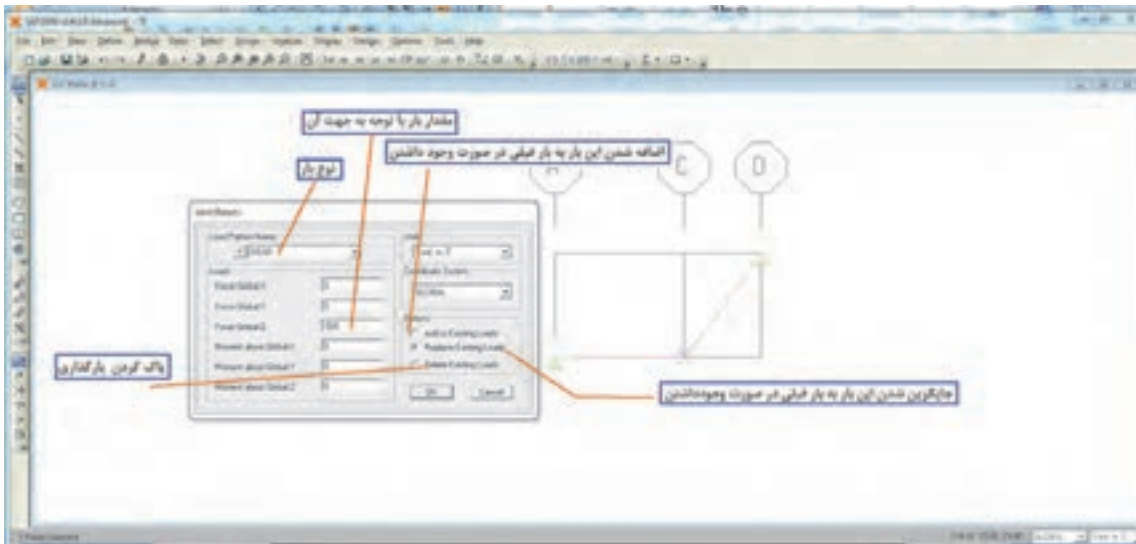


### مرحله چهارم - بارگذاری

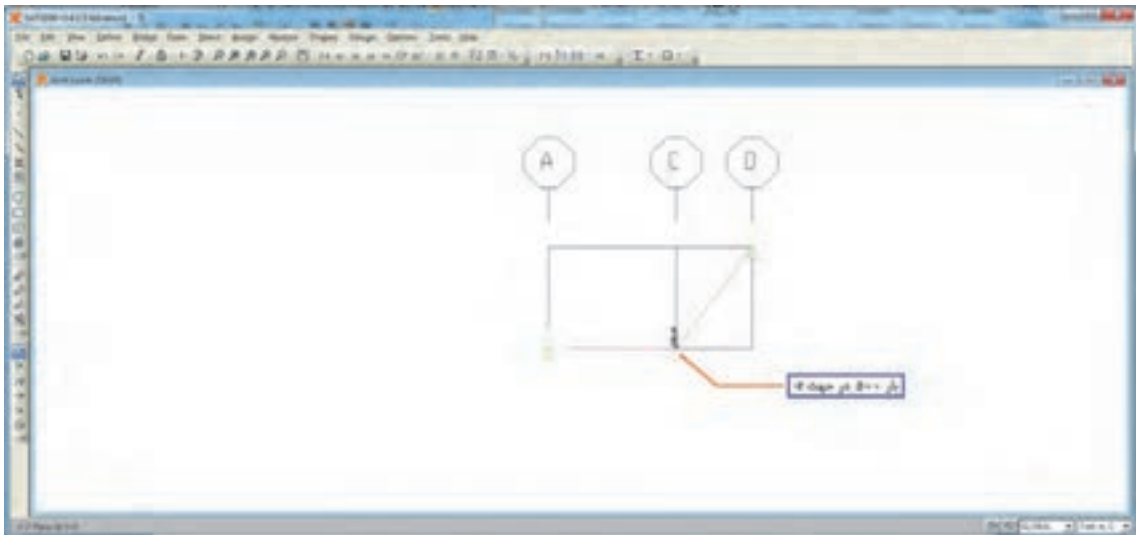
در این مثال یک بار متمرکز  $500$  تن نیرویی وجود دارد که به گره B وارد می شود و در جهت مخالف محور Z ها می باشد.

بنابراین با کلیک روی گره B آن را انتخاب و از منوی Assign قسمت Joint Load و Force بار را اختصاص می دهیم. در صفحه بعدی مقدار بار در جهت مورد نظر مشاهده می گردد.





نتیجه بارگذاری در شکل نمایش داده می شود.



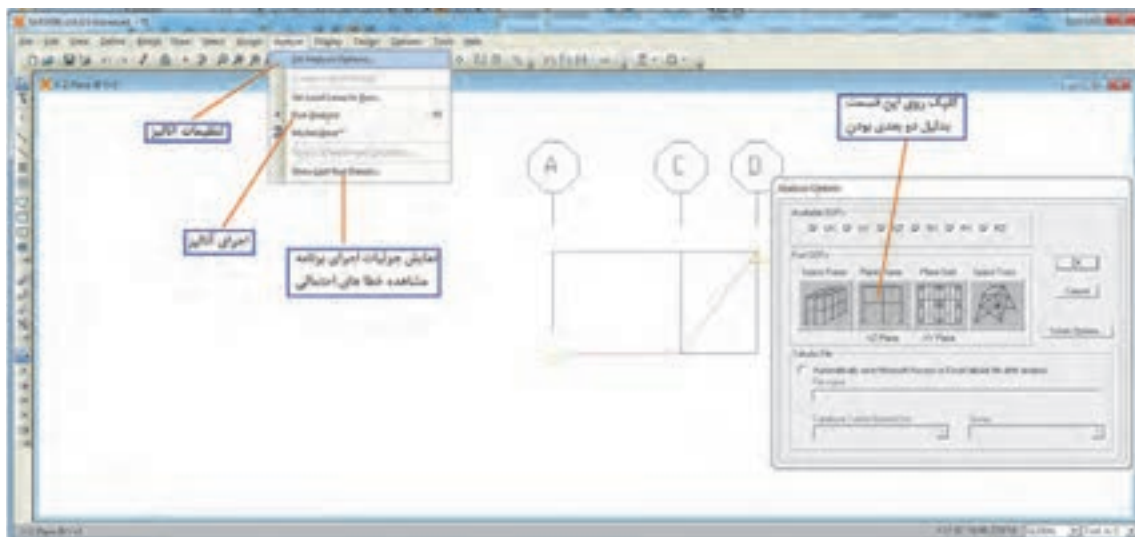
با اتمام بارگذاری، سازه آماده تحلیل می باشد. قبل از آنکه تحلیل انجام شود باید درستی مدل و ویژگی های اختصاص یافته بررسی شود تا اشتباهات احتمالی حذف گردد. برای این منظور روی یکی از اعضا مثلاً AB راست کلیک می کنیم که متعاقباً صفحه ای باز می شود که کلیه مشخصات عضو در آن لیست شده است. تا زمانی که صفحه باز است مورد نظر چشمک زن شده که یادآوری می کند مشخصات کدام عضو نمایش داده شده است. این صفحه دارای چند TAB بوده که هر یک مربوط به یکی از مراحل کاری می باشد.

با کلیک روی هر مورد می توان در صورت لزوم آن را تغییر داد.

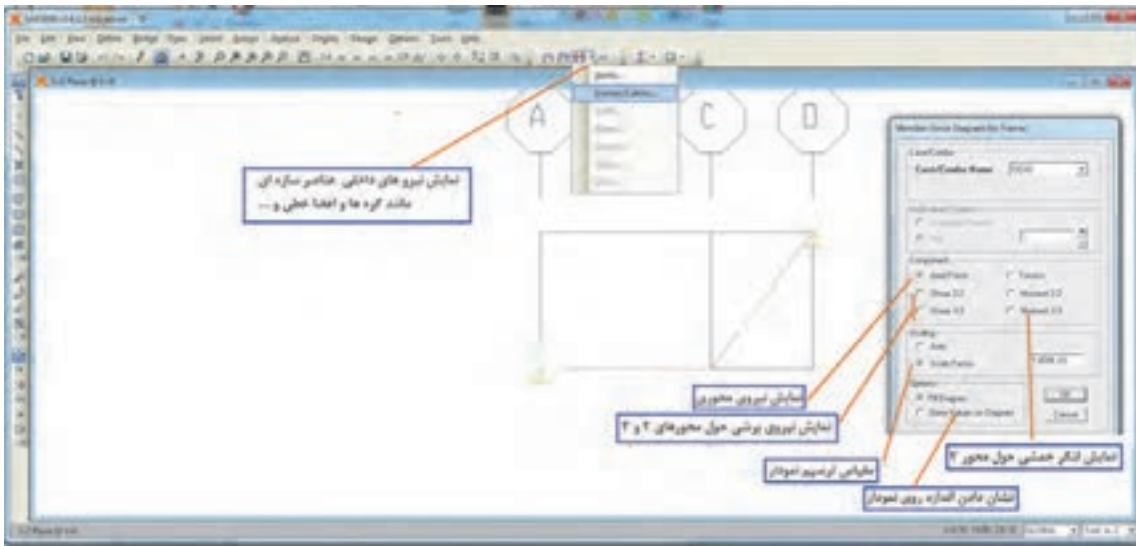


## تحلیل سازه

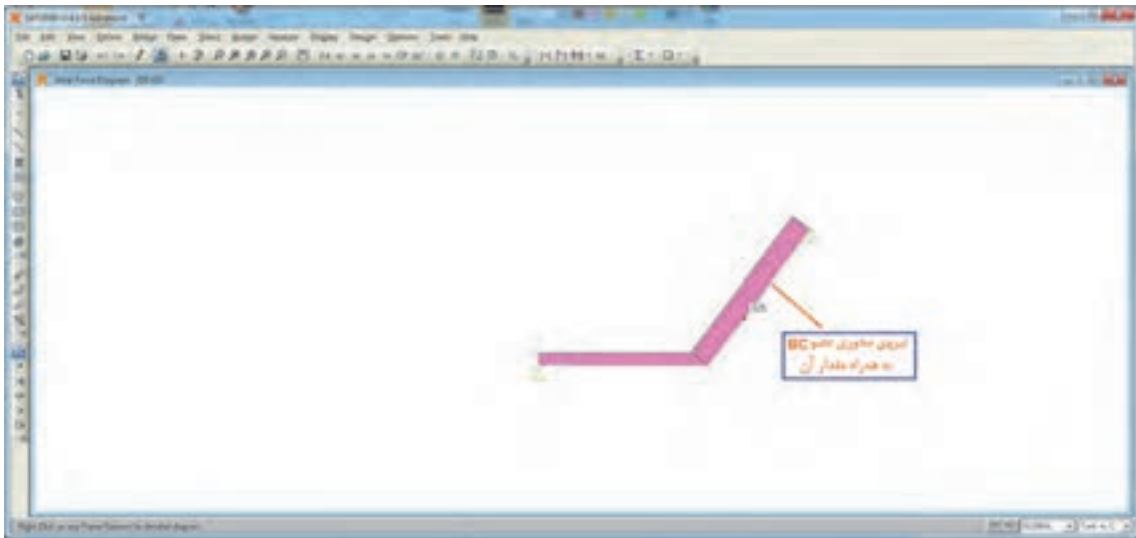
برای تحلیل از منوی Analyse استفاده می‌شود و ابتدا باید تنظیمات لازم را انجام داد. نکته قابل توجه اینکه در حین آنالیز برنامه SAP فایل‌های زیادی را تولید می‌کند بنابراین قبل از تحلیل، مدل را در یک پوشه خاصی ذخیره کنید تا با دیگر فایل‌های شما تداخل نداشته باشد. فایل اصلی (اجرایی) SAP با پسوند .sdb ذخیره می‌شود.



در صورتی که در حین آنالیز خطایی ایجاد نشود تحلیل پایان یافته است و برای مشاهده نتایج تحلیل به صورت زیر عمل می‌شود.

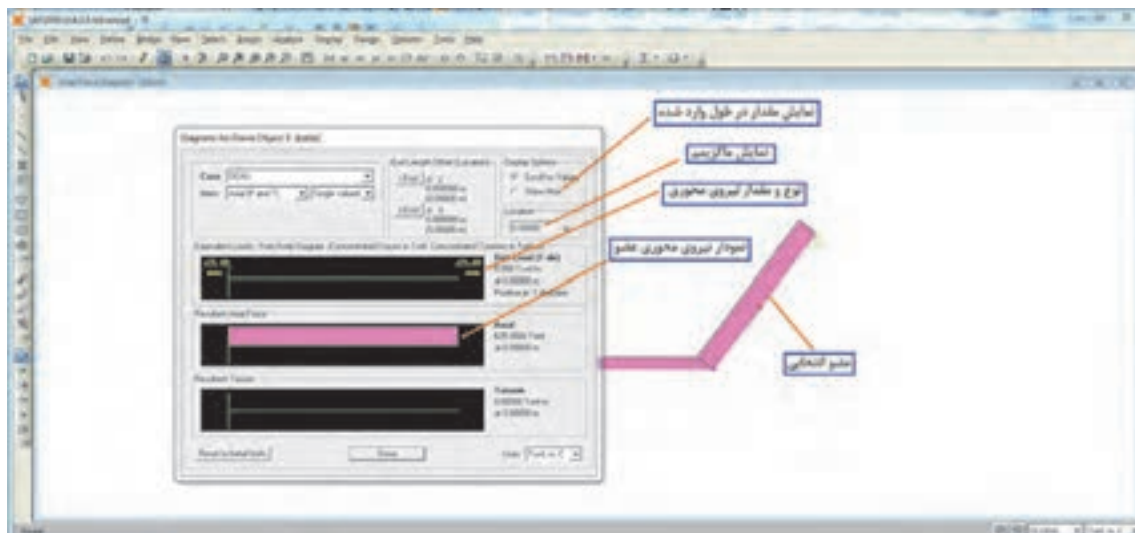


در سازه‌های کابلی چون فقط نیروی محوری داریم، بنابراین در شکل بالا (Axial Force) را انتخاب می‌کنیم تا نیروی محوری اعضای خطی را نمایش دهد نتیجه به صورت زیر است.

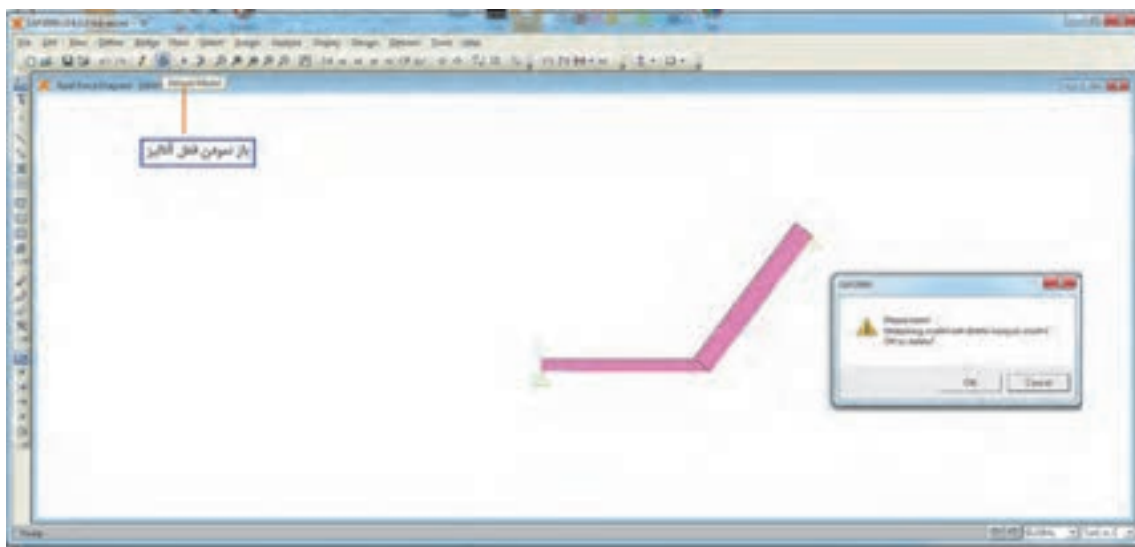


با نزدیک کردن موس به هر عضو مقدار نیروی محوری در هر نقطه‌ای که موس قرار دارد، نشان داده می‌شود. در صورتی که بخواهیم این نمودار را جداگانه داشته باشیم با راست کلیک روی عضو، این امر امکان پذیر خواهد بود.

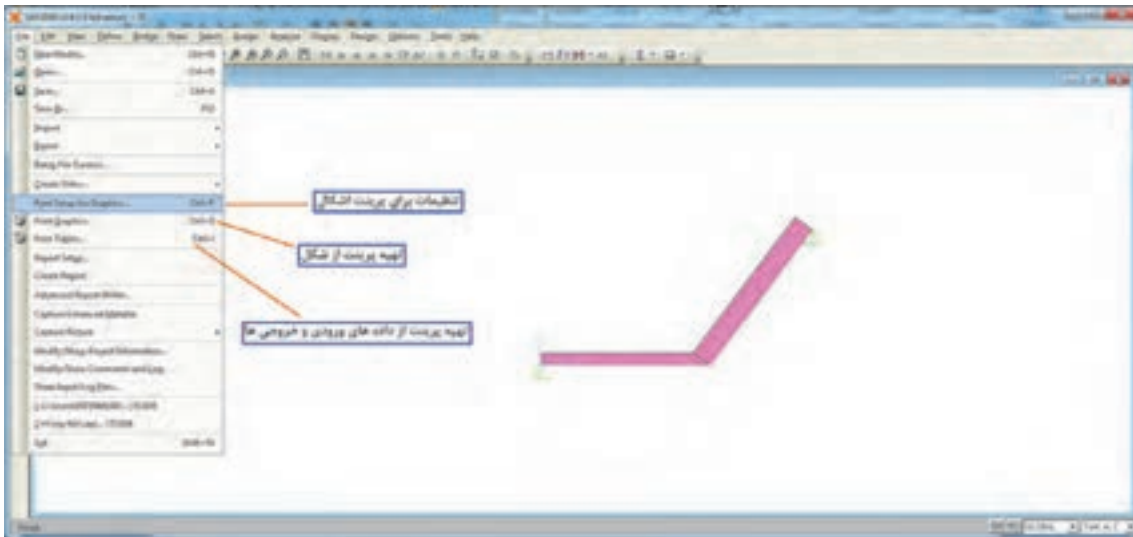




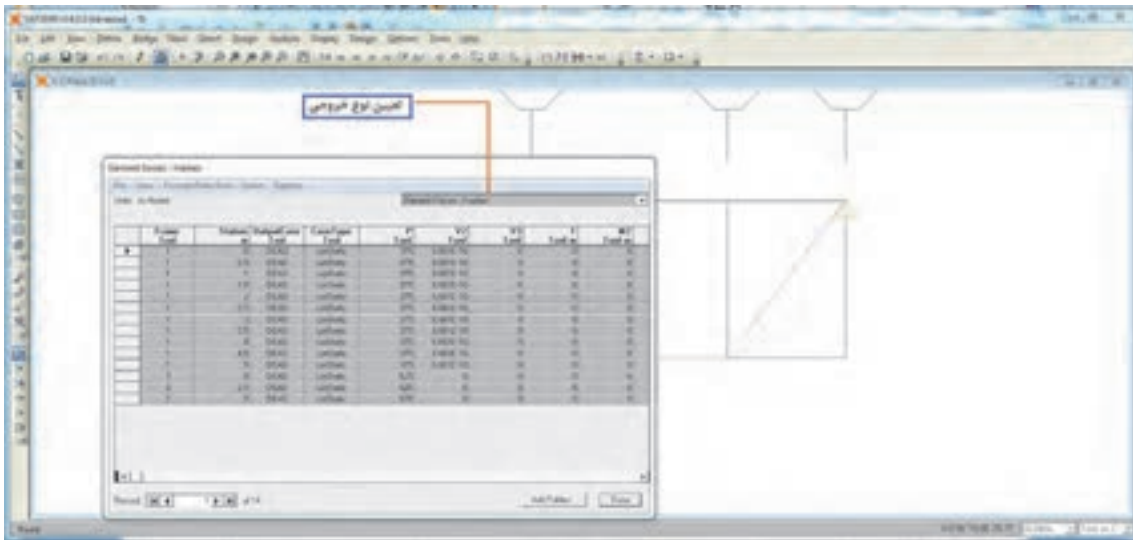
چنانچه در مسئله مشکلی وجود داشته باشد و لازم باشد تغییراتی ایجاد شود و مجدداً تحلیل گردد باید قفل آنالیز باز شده و این کار صورت پذیرد چون پس از هر بار تحلیل برنامه مدل را قفل می نماید و امکان تغییرات را نمی دهد.



در صورتی که بخواهید از مدل مسئله خود پرینت تهیه کنید از شکل زیر استفاده کنید.



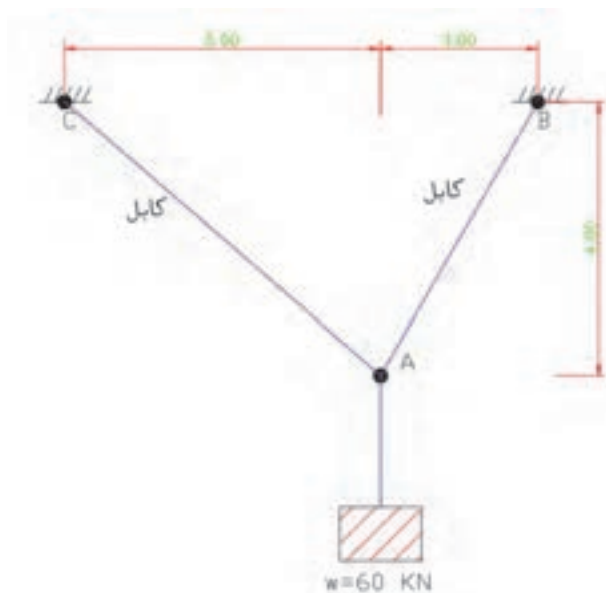
یک نمونه از خروجی که از منوی Display / Show table تهیه شده است در شکل زیر دیده می شود.







کشش کابل‌های AB و AC را در شکل زیر به دست آورید.



## ارزشیابی

ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استاندارد‌های عملکرد جدول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌های در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه ریزی هنرستان وجود دارد.

### الگوی ارزشیابی پودمان بررسی تعادل اجسام

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)
۳	تعیین نیروهای وارد بر جسم و به دست آوردن آنها	بالاتر از حد انتظار	تعادل جسم صلب و نقطه مادی را به کمک قوانین نیوتن و روابط مکانیک برداری تعیین کند.	پایداری نقطه مادی
۲	تشکیل معادلات تعادل	در حد انتظار (کسب شایستگی)		تعادل اجسام صلب
۱	ترسیم پیکره آزاد	پایین‌تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)		
نمره مستمر از ۵				
نمره شایستگی پودمان از ۳				
نمره پودمان از ۲۰				



مهندس بهروز پورشریفی

## ابتکار پل خیبر- طولانی‌ترین پل شناور نظامی جهان

شاید بتوان منشأ پیشرفت ایران در سدسازی و پل سازی را در تلاش جهادگران در جبهه‌های غرب و جنوب جست و جو کرد. شرایط اقلیمی ایران به گونه‌ای است که هر منطقه نیازمند طراحی پل منحصر به فرد خود است.

به‌طور مثال رودخانه‌های غرب کشور به دلیل دره‌های شیب‌دار و عمیق، خروشان و ناآرام با بعضی مناطق گسترده و پرآب رودهای جنوب و در عین حال باتلاقی تفاوت داشت. بنابراین روش ساخت پل در عملیات‌ها در این دو منطقه متفاوت است.

در دوران جنگ، عبور دادن تعداد زیادی از نیروها از باتلاق‌ها و نهرها و رودخانه‌های کوچک و بزرگ هر کدام تکنیکی خاص می‌طلبید که تلاش جهادگران در ساخت پل‌های فایبرگلاس، پل‌های شناور، پلیکا، فرش‌های باتلاقی، سرعت عبور نیروها را در شب‌های عملیات با کمترین تلفات بالا می‌برد.

پل خیبر، پل بعثت، پل‌های متحرک و معلق در جنوب و غرب کشور از جمله شاخص‌ترین پل‌های ساخته شده در دوران دفاع مقدس هستند.

پل خیبر که از آن به عنوان یکی از شاهکارهای مهندسی جنگ نام برده می‌شود، بزرگ‌ترین پل شناور دنیا به طول ۱۳ کیلومتر با عرض ۳ متر و ۲ متر بال محافظ است که بر روی هور زده شد تا بتوان ارتباط بین جزیرهٔ مجنون و ساحل خودی را برقرار نمود.

مبدع اصلی این طرح، مهندس بهروز پورشریفی بود. او احداث پل معلق را که بتواند به صورت سریع نصب شود از طریق فشرده کردن یونولیت‌ها و انداختن یک ورق فلزی آج‌دار بر روی آنها، پیشنهاد کرد. پس از ساخت اولیهٔ پل، آزمایشات آن در دریاچهٔ مصنوعی آزادی صورت پذیرفت و تکمیل تر شد. عناصر طراح تحقیقاتی در جریان کل عملیات قرار گرفته بودند و با حضور در منطقه، طراحی فنی واقعی صورت پذیرفت. به‌طور مثال مهار کردن پل به وسیلهٔ لنگر پیشنهاد شد ولی در عمل، نی‌های منطقه مانند لنگر عمل می‌کردند و لنگر لازم نشد.

پلی برای عبور خودروهای سبک احداث گردید که توانست مشکل تردد رزمندگان اسلام را پس از پایان عملیات خیبر حل نماید. مزیت این پل آن بود که با بالا و پایین رفتن آب هور، بالا و پایین می‌رفت. از سوی دیگر چنانچه هر قسمت از پل به وسیلهٔ هواپیماها و یا آتش دشمن منهدم می‌گردید بلافاصله توسط رزمندگان جهاد سازندگی بازسازی می‌شد.

پل خیبر تجربهٔ شیرینی بود چرا که تمام کشور درگیر آن بود و تحقیقی انحصاری بود. حدود ۲۰ کارخانه شبانه‌روز کار می‌کردند و به خودکفایی کمک شد. اساتید دانشگاه، پروژه را کنترل می‌کردند و ارزش تحقیقات در کشور جا افتاد و مسئولین متوجه شدند توان فعالیت‌های نوین در کشور وجود دارد. از همه مهم‌تر، مدیریت کار جمعی و جهادی شکل گرفت و ساخت این پل حدود دوماه زمان برد.

نصب پل خیبر روی آب‌های هور، یکی از موفقیت‌های مهم مهندسی و نظامی به شمار می‌رفت که در نوع خود بی‌سابقه بود. این مسئله، مورد توجه منابع غربی نیز قرار گرفت. خبرگزاری فرانسه گزارش داد: «به‌گفتهٔ مسئولین دولتی آمریکا، دست یافتن به پل قایقی با چنین طولی، در تاریخ نظامی مدرن بی‌سابقه است.» در زیر تصاویری از این پل آمده است.

