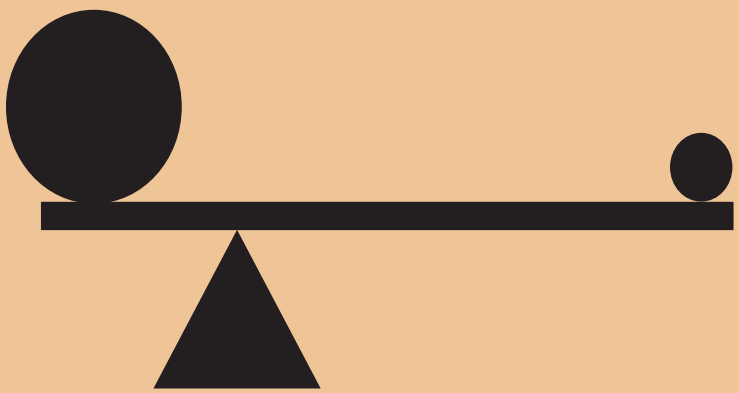
پودمان ۲

بررسی تعادل اجسام



واحد یادگیری ۳ تعادل نقطهٔ مادی

۳–۱– تعادل

مفهوم تعادل آن‌است که ذره یا جسم مادی هیچ‌گونه حرکت و یا چرخشی نداشته باشد.
به منظور بررسی تعادل اجسام، آنها را به دو حالت در نظر می‌گیریم.

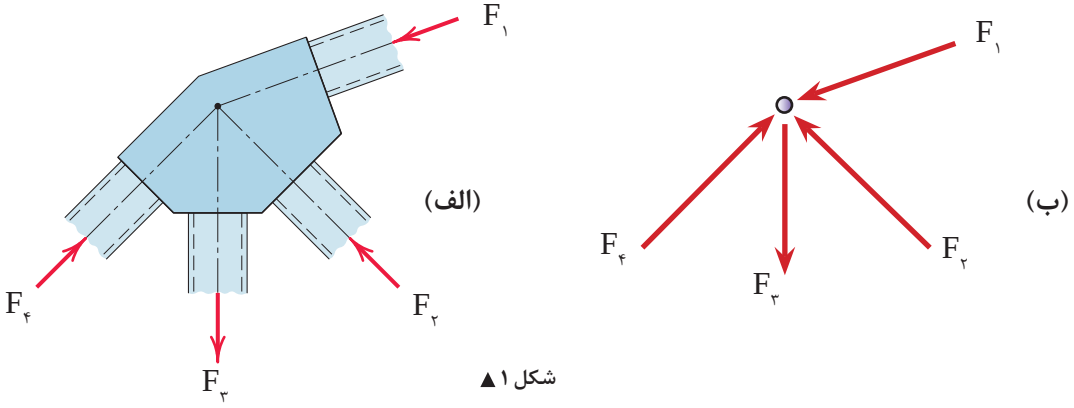
۱- نقطه مادی
۲- جسم صلب

۳–۱–۱– تعادل نقطهٔ مادی

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

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

در شکل (۱- الف) چنان‌چه از ابعاد قطعات اتصال صرف‌نظر شود، وضعیت نیروها به صورت شکل (۱- ب) خواهند بود.



شکل ۱▲

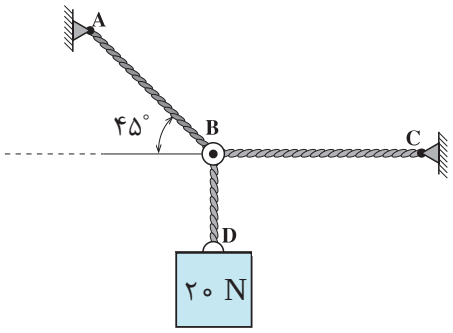
در صفحه مختصات دکارتی رابطهٔ بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

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

معادلات تعادل

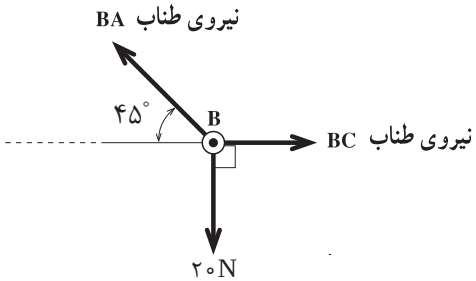
۳-۱-۲- پیکر آزاد جسم

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 پیکرآزادجسم ((FBD (Free Body Diagram گفته می‌شود.



شکل ۲ ▲

در شکل (۲) وزنهٔ ۲۰N 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.



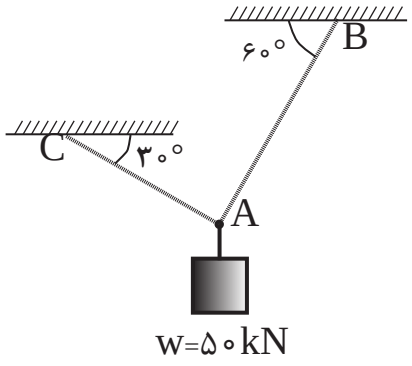
شکل ۳ ▲

نکته

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

مثال ۱

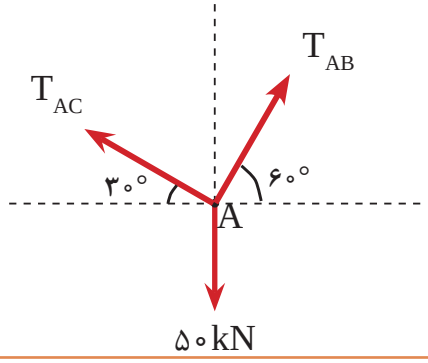
کشش کابل‌های AB و AC را در سامانهٔ در حال تعادل زیر به‌دست آورید.



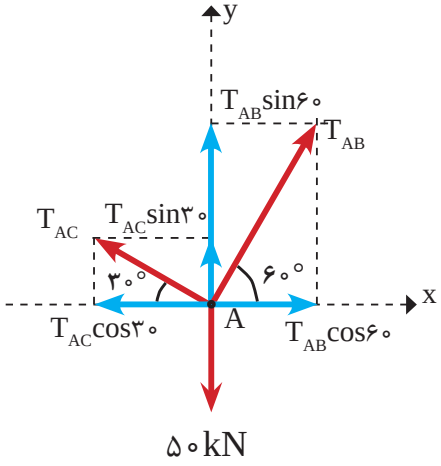
حل:

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 می‌باشد).



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

رابطهٔ I $$\sum \overset{+\rightarrow}{F_x} = ۰ \Rightarrow T_{AB}\cos ۶۰^\circ - T_{AC}\cos ۳۰^\circ = ۰$$

رابطهٔ II $$+\uparrow \sum F_y = ۰ \Rightarrow T_{AB}\sin ۶۰^\circ + T_{AC}\sin ۳۰^\circ - ۵۰ = ۰$$

چون حل هر یک از معادلات فوق با وجود دو مجهول امکان‌پذیر نیست بنابراین آنها را در یک دستگاه دو معادله دو مجهولی قرار داده که با استفاده از روش‌های مختلف قابل حل است.
در این‌جا از معادله اول یکی از مجهولات را بر حسب دیگری محاسبه و در معادله دوم قرار می‌دهیم تا یکی از مجهولات حذف شود:

رابطهٔ III $$\text{از رابطه I نتیجه می‌شود} \Rightarrow T_{AB} = \frac{T_{AC}\cos ۳۰}{\cos ۶۰} \Rightarrow T_{AB} = ۱/۷۳ T_{AC}$$

مقدار T_{AB} را در رابطه II قرار داده خواهیم داشت:

$$۱/۷۳ T_{AC} \times \sin ۶۰^\circ + T_{AC}\sin ۳۰^\circ - ۵۰ = ۰ \Rightarrow ۲\ T_{AC} - ۵۰ = ۰$$

$$T_{AC} = \frac{۵۰}{۲}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_{AC} = ۲۵\ \text{kN}}$$

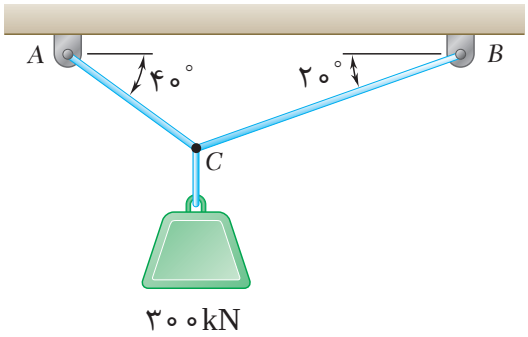
حال مقدار T_{AC} را در رابطهٔ III قرار می‌دهیم:

$$\Rightarrow T_{AB} = ۱/۷۳ \times ۲۵$$

$$\Rightarrow \boxed{T_{AB} = ۴۳/۲۵\ \text{kN}}$$

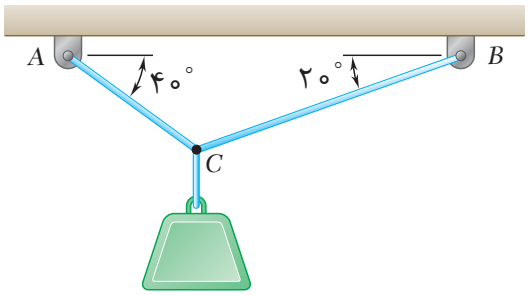
فعالیت کلاسی ۱

پیکر آزاد شکل زیر را رسم نمایید.

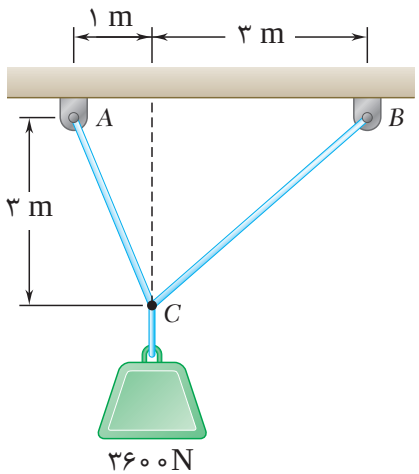


فعالیت کلاسی ۲

کشش کابل‌ها را در شکل‌های زیر به‌دست آورید.



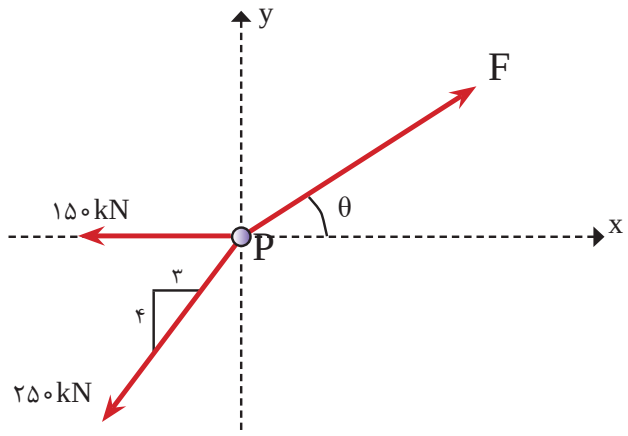
(الف)



(ب)

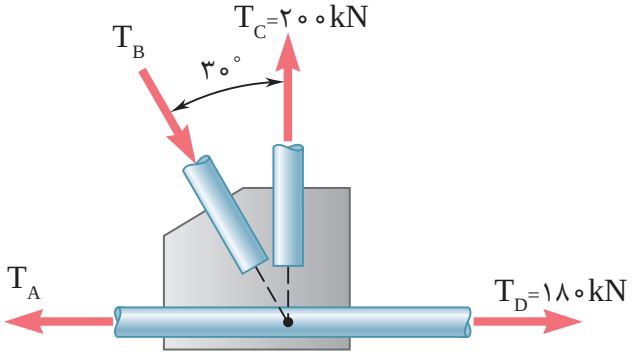
فعالیت کلاسی ۳

مقدار نیروی F و زاویهٔ θ را طوری تعیین کنید که ذرهٔ مادی P در حال تعادل باشد.



فعالیت کلاسی ۴

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



واحد یادگیری ۴ تعادل اجسام صُلب

۴-۱- تعادل جسم صلب

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

۱- برای اینکه جسم در راستای محور x جابه‌جایی نداشته باشد باید: $\Sigma F_X = 0 \leftarrow$

۲- برای اینکه جسم در راستای محور y جابه‌جایی نداشته باشد باید: $\Sigma F_Y = 0 \leftarrow$

۳- برای اینکه جسم چرخش نداشته باشد باید: $\Sigma M = 0 \leftarrow$

۴-۲- انواع تکیه‌گاه‌ها 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

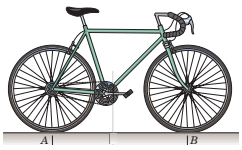
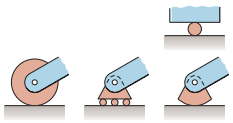
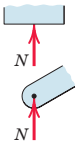
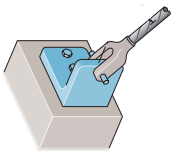
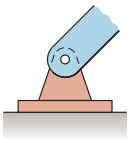
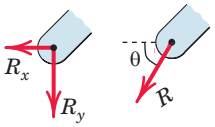
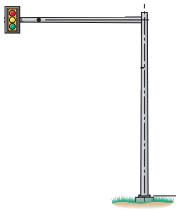
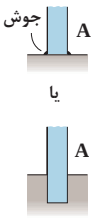
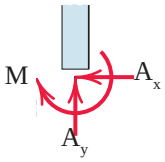
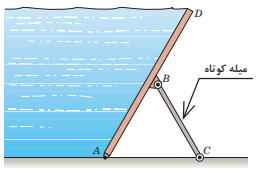
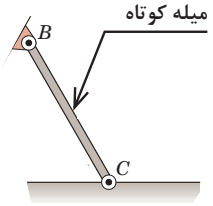
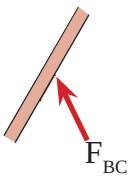
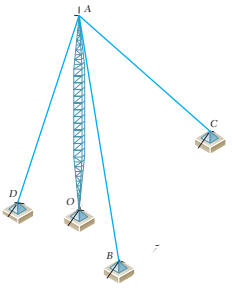
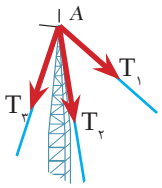
د) تکیه‌گاه میله‌ای

منظور از میله عضوی 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

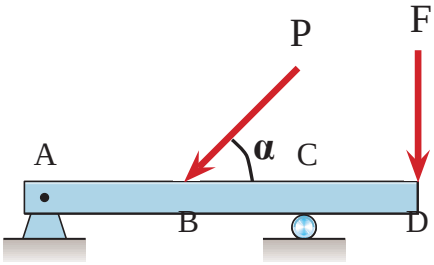
ردیف	نوع تکیه‌گاه	شکل واقعی	شکل شماتیک	عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
۱	غلتکی			
۲	مفصلی			
۳	گیردار			
۴	میله‌ای			
۵	کابلی		ــــــــ	

۴–۳– محاسبه عکس العمل های تکیه‌گاهی اجسام صلب

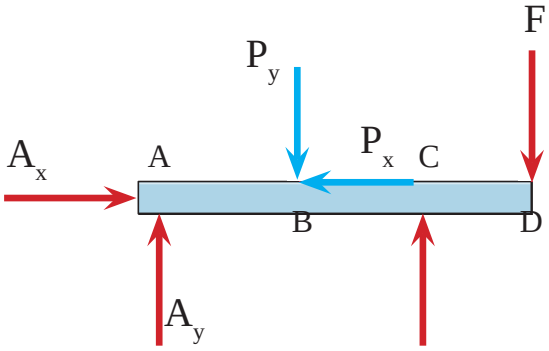
همان‌طور که گفته شد شرط تعادل اجسام صلب بر آورده شدن معادلات آن می‌باشد و برای نیل به این هدف به صورت زیر عمل می‌نماییم.

گام اول - ترسیم پیکر آزاد جسم

ابتدا جسم را از تکیه‌گاه‌ها جدا نموده و با توجه به نوع تکیه‌گاه، عکس العمل‌های مربوطه را در محل تکیه‌گاه و در جهت دلخواه قرار می‌دهیم. به عنوان مثال پیکر آزاد تیر شکل (۱- الف) به صورت شکل (۱- ب) خواهد بود.



(الف)



(ب)

شکل ۱▲

گام دوم - تجزیهٔ نیروها

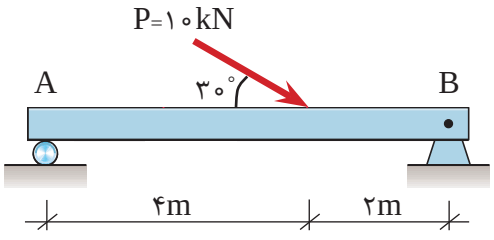
همهٔ نیروهای مورب را روی پیکر آزاد در صورت وجود به مؤلفه‌های آن تجزیه می‌نماییم. به عنوان مثال در شکل (۱- ب) نیروی P به دو مؤلفهٔ متعامد تجزیه شده است.

گام سوم - تشکیل معادلات و حل آنها

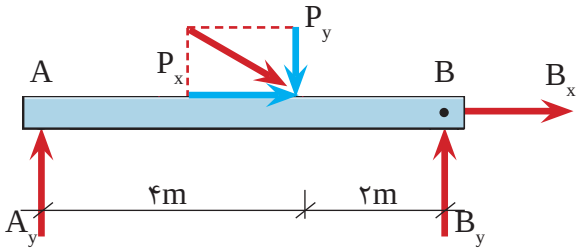
با تشکیل معادلات تعادل و حل آنها مجهولات مسئله (عکس‌العمل‌ها) تعیین می‌شوند.

مثال ۱

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



گام اول:
ترسیم پیکر آزاد جسم



گام دوم:
تجزیه نیروی P

$$P_x = P.\cos\theta = ۱۰\times\cos ۳۰^\circ = ۸/۶۶kN$$

$$P_y = P.\sin\theta = ۱۰\times\sin ۳۰^\circ = ۵kN$$

گام سوم : تشکیل معادلات تعادل وحل آنها

$$\Sigma\overrightarrow{F_x} = ۰ \Rightarrow B_x + P_x = ۰ \Rightarrow B_x + ۸/۶۶ = ۰ \Rightarrow \boxed{B_x = -۸/۶۶\ kN}$$

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 می‌باشد.

$$+\uparrow \Sigma F_y = ۰ \Rightarrow A_y + B_y - P_y = ۰ \Rightarrow A_y + B_y = P_y \Rightarrow A_y + B_y = ۵kN$$ رابطهٔ I

معادله فوق دارای دو مجهول بوده و قابل حل نمی باشد لذا از شرط سوم یعنی $\sum M = ۰$ استفاده می کنیم

$$+\circlearrowleft \Sigma M_B = ۰ \Rightarrow A_y \times ۶ - P_y \times ۲ = ۰ \Rightarrow A_y \times ۶ - ۵\times ۲ = ۰ \Rightarrow ۶A_y = ۱۰$$

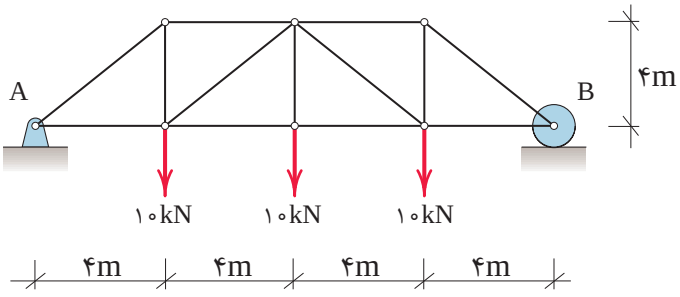
$$A_y = \frac{۱۰}{۶} \Rightarrow \boxed{A_y = ۱/۶۷\ kN}$$

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

$$Ay + By = ۵ \Rightarrow ۱/۶۷ + By = ۵ \Rightarrow By = ۵ - ۱/۶۷ \Rightarrow \boxed{By = ۳/۳۳\ kN}$$

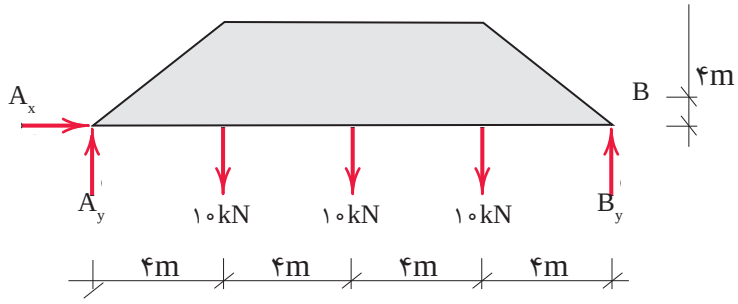
مثال ۲

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



گام ۱)

ترسیم پیکر آزاد



گام۲)

تشکیل معادلات تعادل:

با توجه به اینکه نیروی افقی به سیستم وارد نمی‌شود لذا عکس‌العمل افقی تکیه‌گاه A یعنی (A_x) برابر صفر است.

$$\overset{+}{\rightarrow}\Sigma F_x = 0 \Rightarrow \boxed{A_x = 0}$$

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

$$A_y + B_y = 30 \text{ kN} \qquad \textbf{رابطهٔ I}$$

$$\overset{+}{\circlearrowleft}\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 10\times 4 + 10\times 8 + 10\times 12 - B_y \times 16 = 0$$

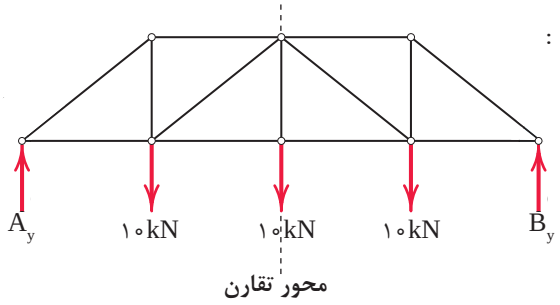
$$16B_y = 240 \Rightarrow B_y = \frac{240}{16} \Rightarrow \boxed{B_y = 15 \text{ kN} \uparrow}$$

مقدار B_y را در رابطهٔ I قرار می‌دهیم داریم:

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

نکته: هرگاه بارگذاری و هندسه سازه‌ای متقارن باشند کل بارهای وارده به صورت مساوی بین دو تکیه‌گاه تقسیم می‌شود.

بنابراین با توجه به تقارن در سازهٔ فوق داریم :

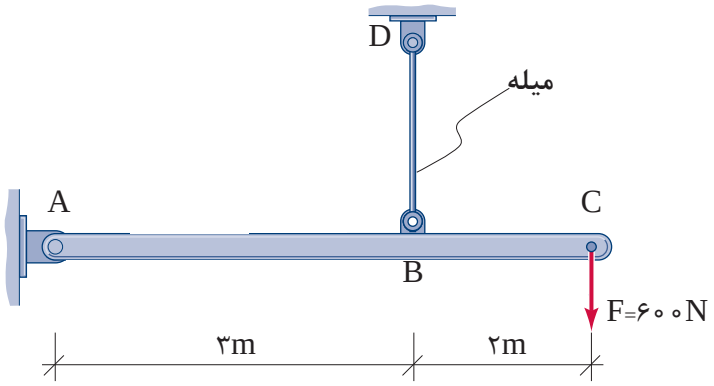


کل بار = ۱۰+۱۰+۱۰=۳۰kN

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

مثال ۳

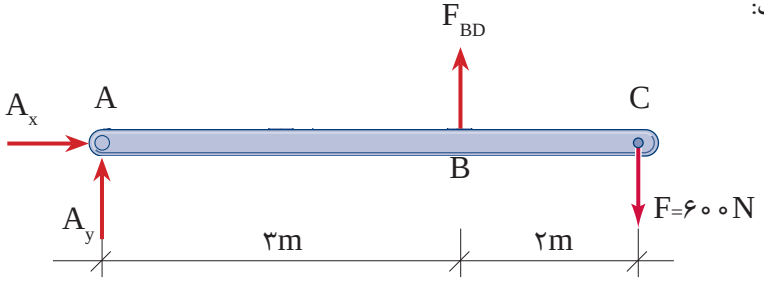
عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تیر ABC را به‌دست آورید.



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:



پیکر آزاد تیر ABC

گام دوم:

تشکیل معادلات تعادل

$$\overset{+}{\Sigma F_x}=0 \Rightarrow \boxed{A_x=0}$$

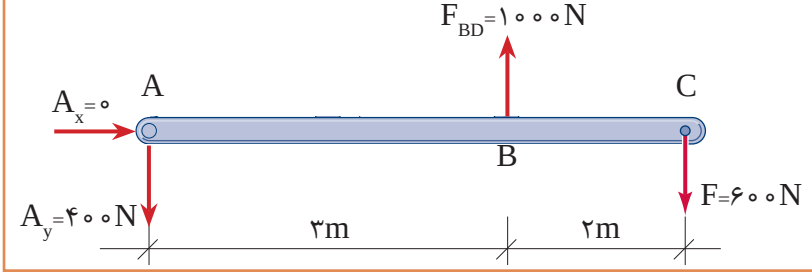
$$+\uparrow \Sigma F_y=0 \Rightarrow A_y+F_{BD}-600=0 \Rightarrow A_y+F_{BD}=600\ N$$

$$\overset{+}{\circlearrowleft}\Sigma M_A=0 \Rightarrow 600\times 5-F_{BD}\times 3=0 \Rightarrow \boxed{F_{BD}=1000\ N}$$ رابطهٔ I

از رابطهٔ I داریم:

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

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



نکته

نکات مربوط به جمع‌بندی پودمان ۲ (تعادل 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:

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

• 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.

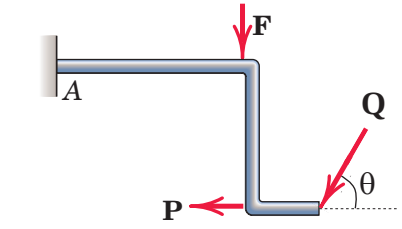
• شرایط تعادل جسم صلب عبارت‌است از:

$$\begin{cases} \Sigma F_X = 0 \\ \Sigma F_Y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases}$$

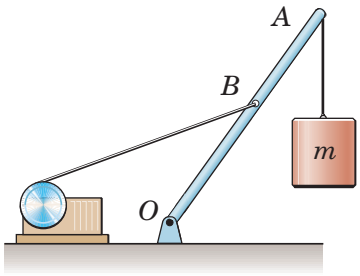
• برای تعیین عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی از معادلات تعادل جسم صلب و یا نقطهٔ مادی استفاده می‌شود.

فعالیت کلاسی ۱

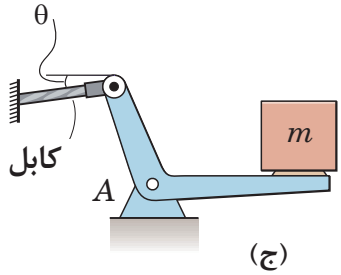
پیکر آزاد هر کدام از شکل‌های زیر را رسم نمایید.



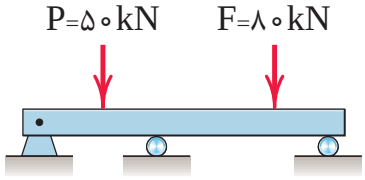
(الف)



(ب)



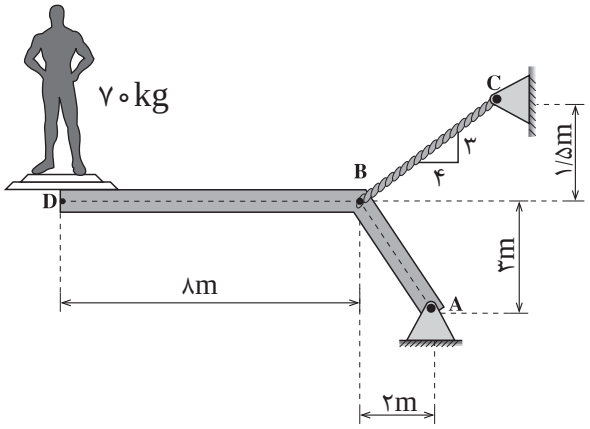
(ج)



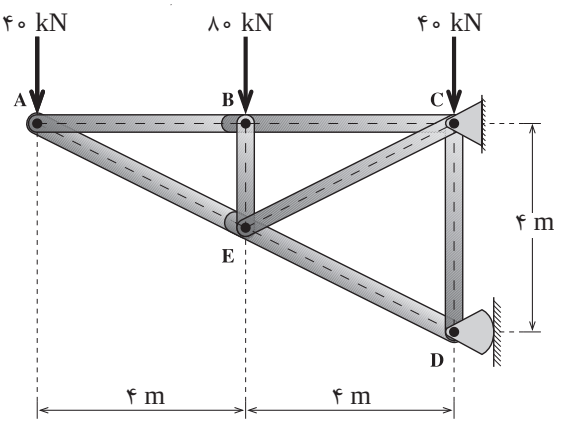
(د)

فعالیت کلاسی ۲

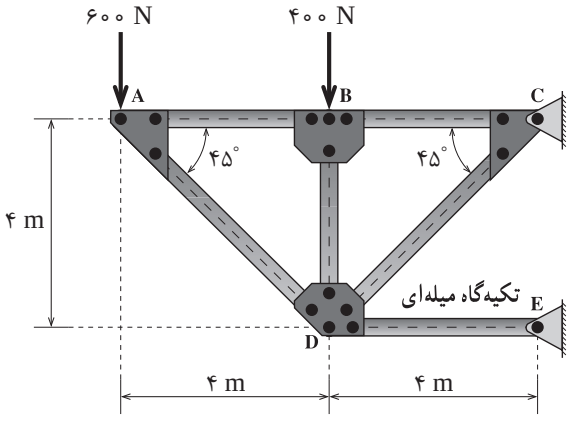
۲- عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی را در شکل‌های زیر به‌دست آورید. ($g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$)



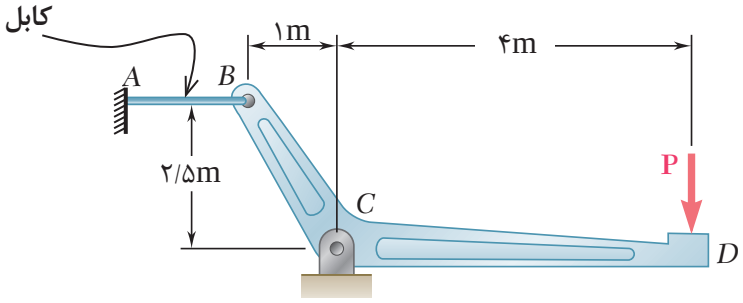
(الف)



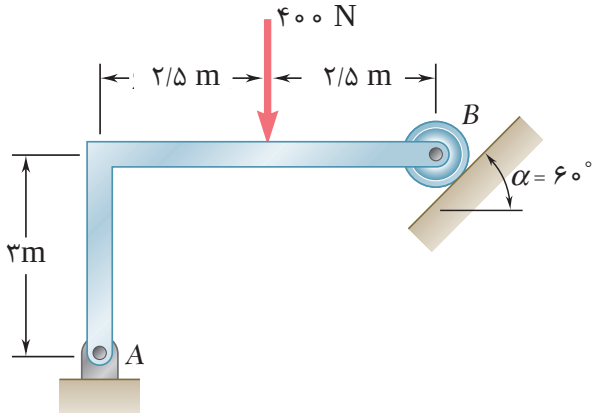
(ب)



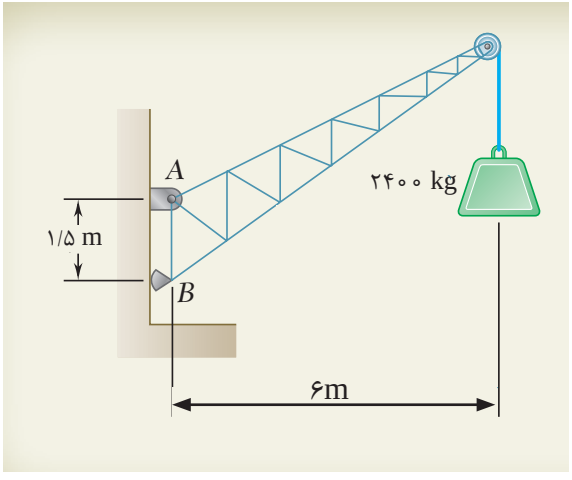
(ج)



(د)



(ه)



(و)

۴-۴- کاربرد نرم‌افزار در تعادل اجسام صلب

امروزه استفاده از نرم‌افزار در تمامی علوم مورد نیاز بشر بسیار فراوان و غیرقابل اجتناب شده است. در مهندسی عمران هم با طراحی انواع سازه‌های پیچیده از یک‌طرف و مهار خرابی‌های ناشی از عوامل طبیعی مانند باد و زلزله و سیل از طرف دیگر باعث به‌وجود آمدن نرم‌افزارهای متعددی شده است که کمک بسیار بزرگی را به مهندسین محاسب می‌نمایند. نرم‌افزارهایی مثل SAP و ETABS و SAFE و ... نرم‌افزارهای مهندسی سازه می‌باشند که به کمک آنها می‌توان سازه‌ها را ابتدا تحلیل و سپس طراحی نمود.

منظور از تحلیل سازه بررسی پایداری، محاسبه عکس‌العمل‌ها، محاسبه نیروی داخلی و تعیین تغییر شکل‌های سازه می‌باشد. شما در این پودمان با محاسبه عکس‌العمل‌ها و نیروهای داخلی بعضی از سازه‌ها (سازه‌های معین) آشنا می‌شوید و روش محاسبهٔ آن‌را به کمک نرم‌افزار SAP فرا می‌گیرید.

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

نکته

برای سازه‌هایی که در هنرستان بررسی می‌شوند روش تحلیل دستی کفایت نموده و احتیاجی به استفاده از نرم‌افزار نیست وروش حل دستی سریعتر و راحت‌تر می‌باشد ولی سازه‌هایی که در سال‌های آتی با آنها آشنا می‌شوید وتقریباً اکثر سازه‌هایی که اجرا می‌گردند، حل دستی آنها وقت‌گیر و پرزحمت بوده و گاهاً غیرممکن می‌شود. لذا برای آشنایی شما مثال‌ها و تمرینات این کتاب نیز با نرم‌افزار تحلیل می‌شوند تا از این طریق مبانی کار با نرم‌افزارهای مهندسی را فراگرفته و برای دوره‌های عالی آمادگی لازم را به‌دست آورید.

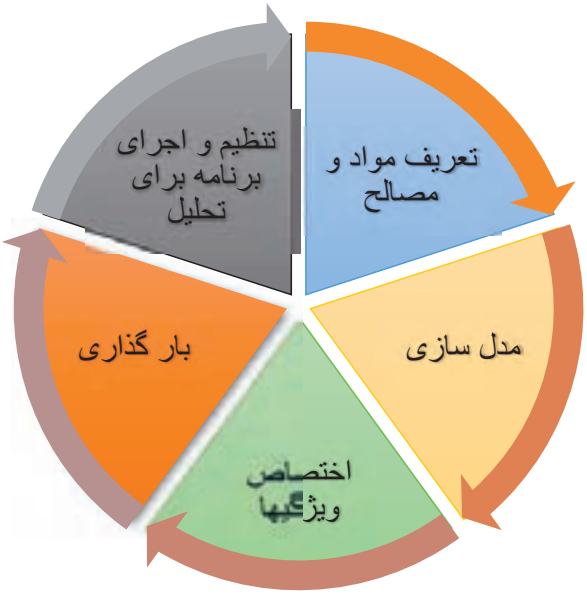
نکته

در این کتاب از نرم‌افزار SAP استفاده می‌کنیم. لازم به توضیح هست که این نرم‌افزار مشابهت زیادی به نرم‌افزار ETABS دارد و تفاوت آنها در این است که نرم‌افزار SAP برای کلیهٔ سازه‌ها مثل ساختمان‌های معمولی، سوله‌ها، خرپاها و هرنوع سازهٔ دیگر کاربرد دارد و یک نرم‌افزار کلی برای محاسبات سازه‌ای ساختمان می‌باشد ولی ETABS نرم‌افزاری است که در محاسبهٔ ساختمان‌های معمولی کاربرد بیشتری دارد زیرا کار کردن با آن برای کاربر بسیار راحت‌تر بوده و مختص ساختمان است.

تفکر

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 مراحلی را که مهندسین محاسب برای محاسبه و طراحی یک سازه طی می‌کنند نشان می‌دهد. در این کتاب وارد قسمت طراحی نخواهیم شد و آن‌را به سال‌های آتی واگذار خواهیم کرد ولی سه مرحلهٔ 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 خصوصیاتی باید در پروژه استفاده کرد.

تفکر

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

۲ – مدل سازی

هـر سـازه دارای اعضایـی بـا ابعـاد مختلف بـوده که بـه یکدیگر متصل می‌شـوند مانند تیر، سـتون، سـقف و .... بنابرایـن در ایـن مرحلـه هندسـه سـازه را بـرای نرم‌افـزار مشـخص می‌کنیـم کـه می‌توانـد سـازه دوبعـدی و یا سـه‌بعدی و یـا از هـر نوعی باشـد.

۳– اختصاص ویژگی‌ها

هـر یـک از اعضـا سـازه دارای ویژگی‌هایـی بـوده ماننـد جنـس ، سـطح مقطـع و نـوع اتصـال و ... کـه باید به هـر عضـو، این ویژگی‌هـا را اختصـاص داد.

۴ – بارگذاری

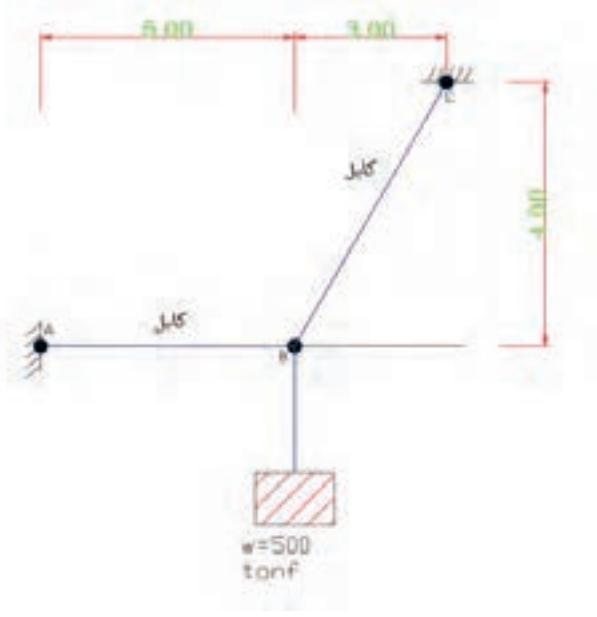
بـار هـر عضـو از سـازه نیـز یـک ویژگی سـازه می‌باشـد کـه باید بـرای هر عضـو تعریف شـود و به‌دلیـل اهمیت زیـاد، آن‌را جداگانـه بـه عنـوان یـک مرحلـه در نظـر گرفتیـم. بارهـا در سـاختمان دارای انواعی نظیر بـار مرده، زنـده، بـاد، زلزلـه، برف، فشـار خـاک، تغییـر دما و ... می‌باشـند.

۵ – تنظیم و اجرای برنامه

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

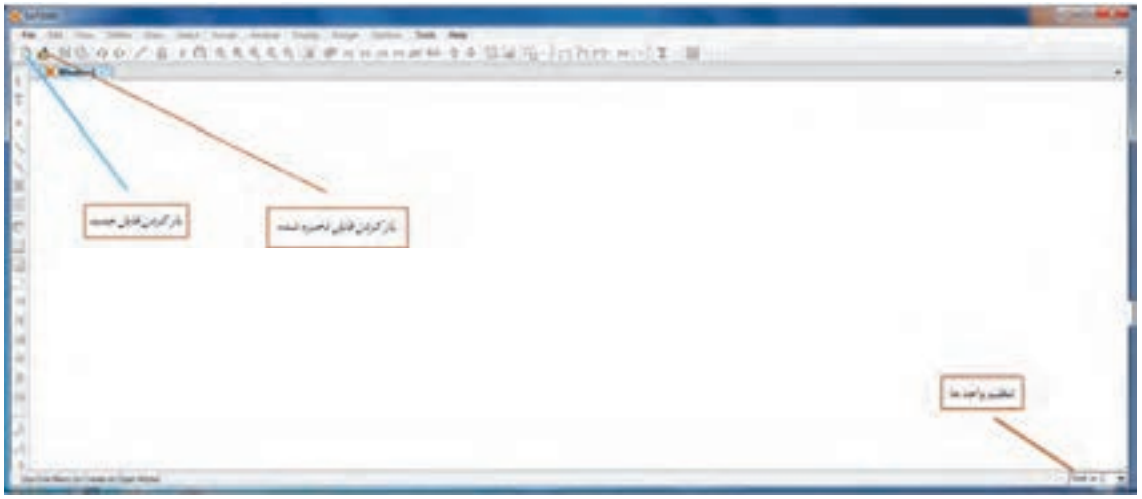
فعالیت کلاسی ۳

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



کار با نرم‌افزار

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

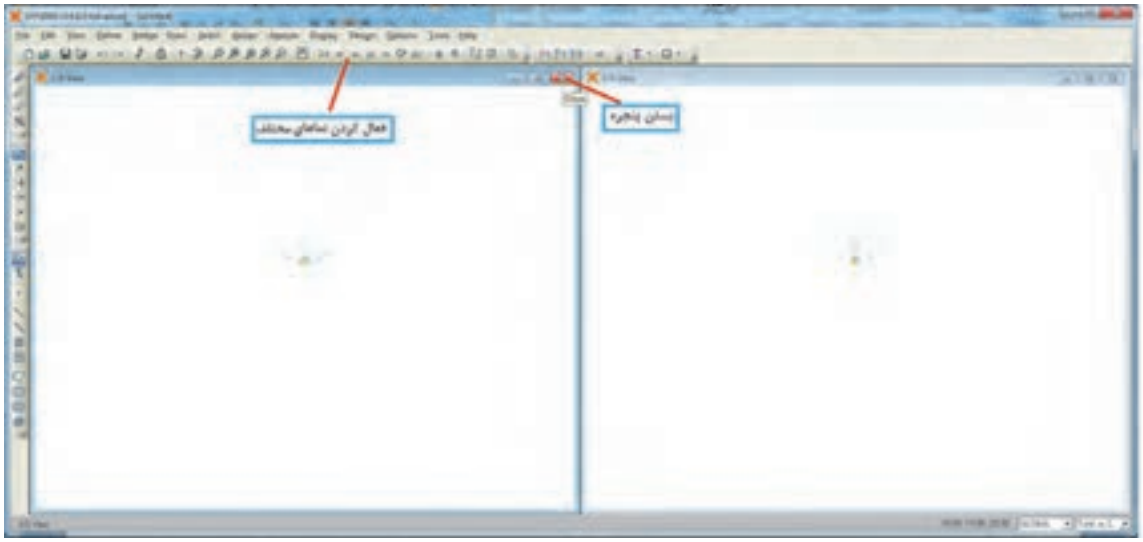


چون در ابتدای کار با برنامه هستیم مطابق شکل بالا آیکون‌های زیادی فعال نیستند. قبل از بازکردن فایل جدید باید واحدها را تنظیم نماییم که مطابق شکل به ترتیب از چپ به راست واحد نیرو، واحد طول و واحد دما را روی واحدهای مورد نظر قرار دهید . معمولاً اگر این واحدها روی tonf، m، c (تن نیرو، متر و سانتی‌گراد) تنظیم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

در ایـن صفحـه نمونه‌هایـی از سـازه‌های مختلـف وجـود دارد و شـبیه‌ترین آنهـا بـه پـروژه خـود را می‌توانیـد بـرای تسـهیل در کار انتخـاب نماییـد ودر غیر این صـورت گزینه اول (بـدون نمونه) را می‌توانیـد انتخاب کنید. در گزینـه دوم خطـوط راهنمـا انتخـاب می‌شـود. ایـن خطـوط شـبیه خطـوط آکس هسـتند و وجـود خارجی ندارنـد و بـرای ترسـیم مـدل بـه‌کار می‌روند.

در این مثال از گزینه اول استفاده می‌کنیم و گزینه‌های بعدی را در مثال‌های دیگر به‌کار می‌بریم.

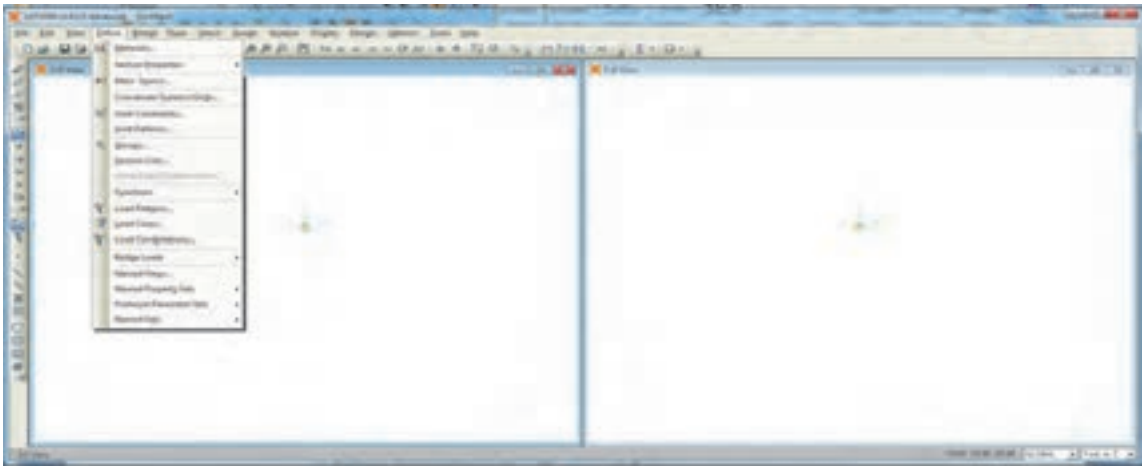
با انتخاب گزینه اول صفحه اصلی SAP باز شده و می‌توانیم مراحل تحلیل را شروع کنیم.

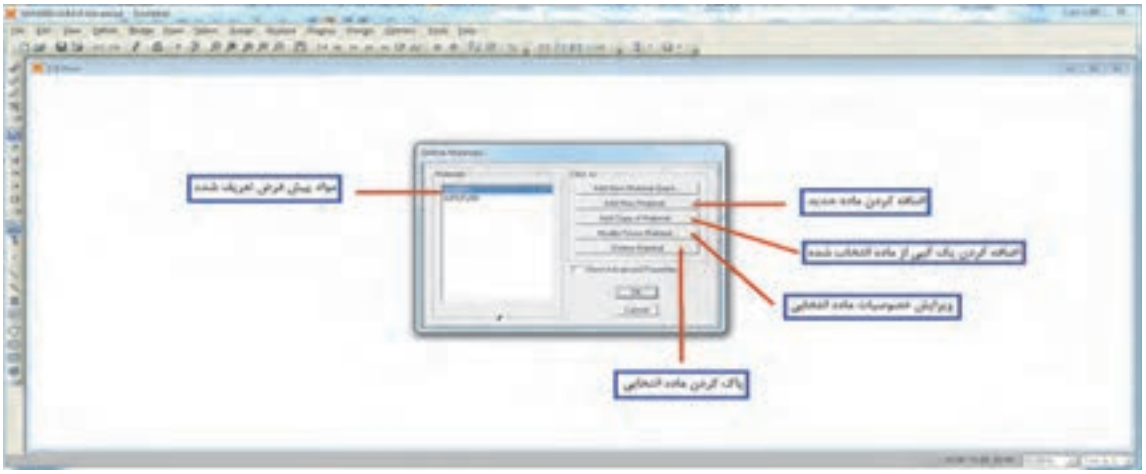


همان‌طـور کـه مشـاهده می‌شـود دو پنجـره هم‌زمـان فعـال می‌باشـند کـه در پروژه‌هـای سـه‌بعدی می‌تـوان یـک نمـا و دیـد سـه‌بعدی را هم‌زمـان مشـاهده کرد. با کلیـک روی هـر پنجره آن پنجـره فعال می‌شـود. برای بسـتن هـر پنجـره با کلیـک روی علامت 3-D View پنجره مورد نظر بسـته می‌شـود، حتـی می‌توانید بـا کلیـک روی نماهـای مختلـف (xz و yz و یـا xy) دیـد هر پنجـره را تغییر دهید.

مرحله اول- تعریف مصالح

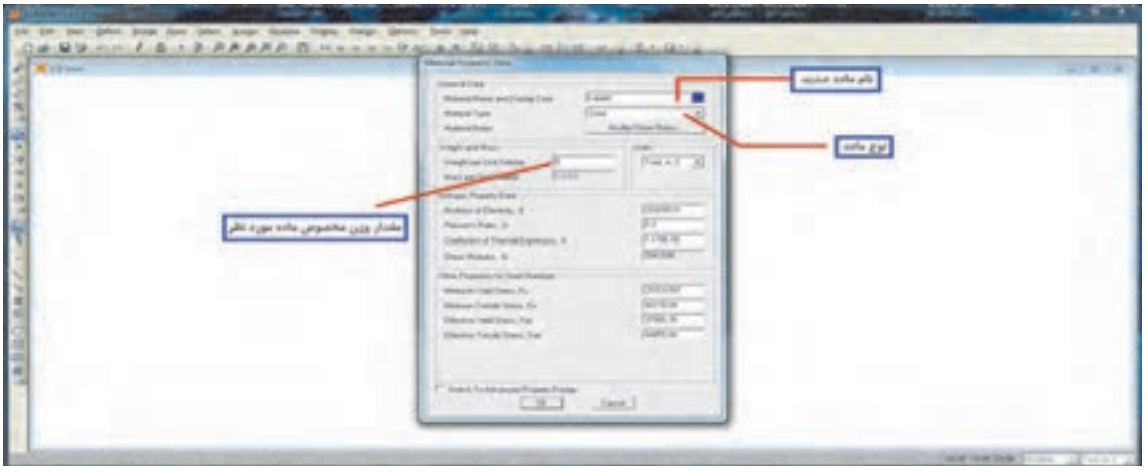
در منـوی define/material می‌تـوان مصالـح مختلفـی را تعریـف کـرد. در ایـن مثـال برای در نظـر گرفتن اثر وزن اعضـا کـه در جـای خـود توضیـح داده می‌شـود یـک نوع مصالـح با وزن مخصـوص صفر (بـی وزن) تعریف می‌کنیـم زیـرا برنامـه بـه صـورت اتوماتیـک وزن مصالحـی کـه مـا در مدل‌سـازی تعریـف کرده‌ایم را محاسـبه می‌کنـد. چـون کابل‌هـا وزن قابـل ملاحظـه‌ای ندارند لـذا وزن مخصوص را برابـر صفر تعریف می‌کنیـم بنابراین بـا ایـن ترفنـد برنامـه هـم کـه وزن را محاسـبه می‌نماید بـه عدد صفر می‌رسـد.

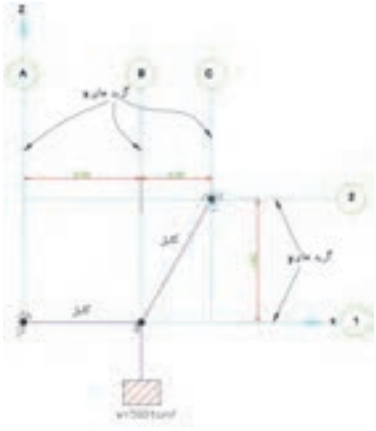




بـا کلیـک روی گزینـه دوم در شـکل بـالا یک مـاده جدید به نـام cable۰ تعریـف می‌کنیم و از مشـخصات آن فقـط وزن واحـد حجـم را برابـر صفر در نظـر می‌گیریم.

اکنـون در منـوی Define/section property/frame section/add new property یـک مقطـع دلخـواه به نـام cable می‌سـازیم کـه مصالـح آن از نـوع cable۰ بوده و دارای وزن نیسـت.





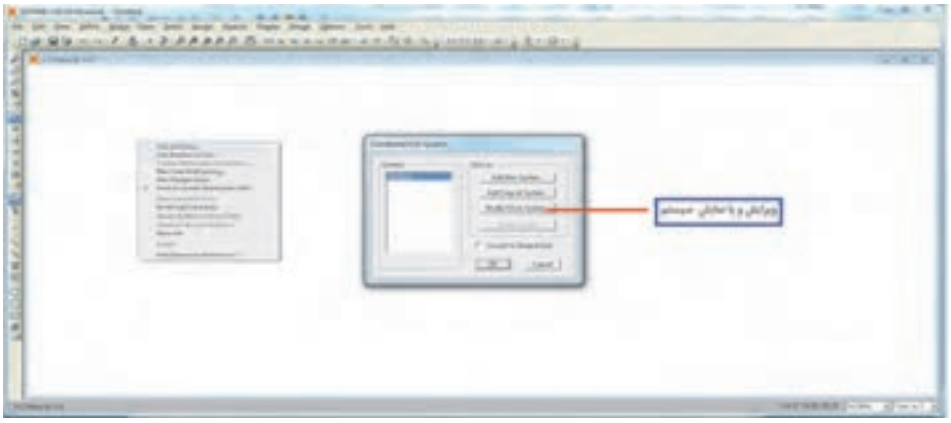
مرحله دوم- مدل‌سازی

برای مدل‌سازی باید گریدهای x و y (خطوط راهنما) ایجاد شوند بنابراین شکل را به صورت زیر تبدیل می‌کنیم.

تفکر

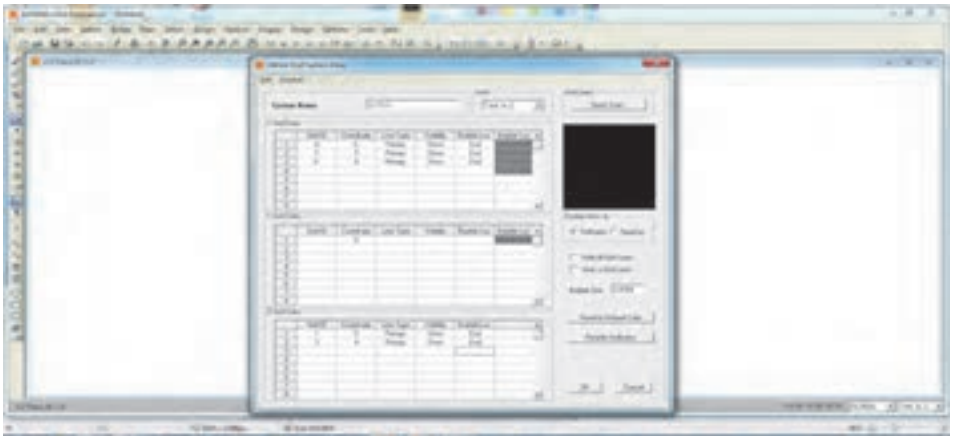
این شکل چگونه ایجاد شده است؟

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 شکل‌های زیر نشان‌داده شده است.

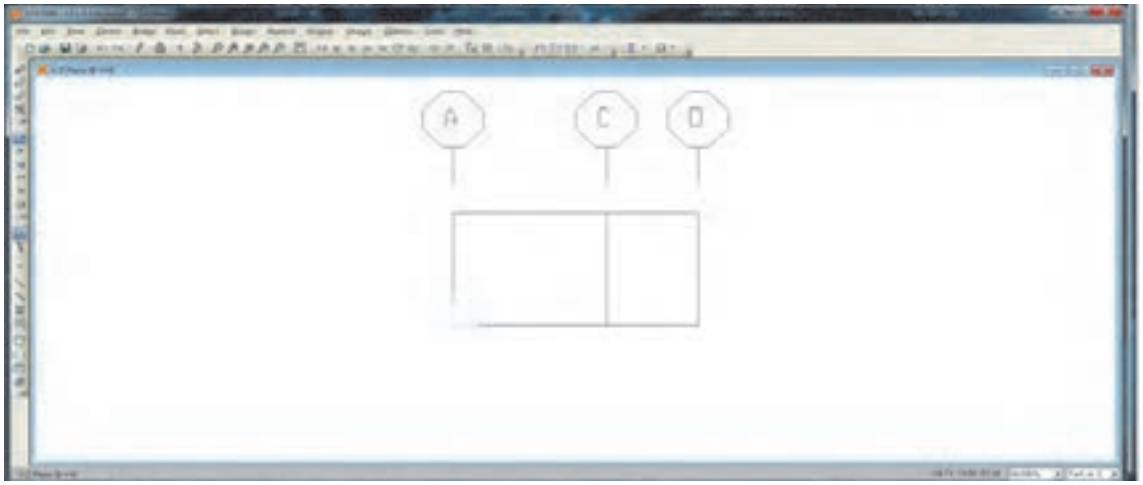


پس از کلیک روی گزینه Modify/show System صفحه زیر بازشده آنها را تکمیل می‌کنیم.

برای تکمیل این جدول می‌توان از دو حالت ordinate و spacing استفاده کرد که شکل زیر بر اساس spacing و با توجه به شکل مسئله یا سؤال و اندازه‌های روی آن انجام شده است و می‌تواند تکمیل جدول به حالت ordinate تغییر یابد.



پـس از تکمیـل جـدول فـوق ok نمـوده و از آن خـارج شـده و نتیجه را ببینید در صورتی که اشـکالی داشـته باشـد می‌توانیـد مجـدداً بـا کلیک راسـت روی صفحـه و انتخـاب Edit Grid Dat ویرایـش لازم را انجام دهید.



در صورتـی کـه گریدبنـدی درسـت انجام شـده باشـد برای تکمیل مدل‌سـازی بایـد اعضا AB و BC را رسـم کنیم

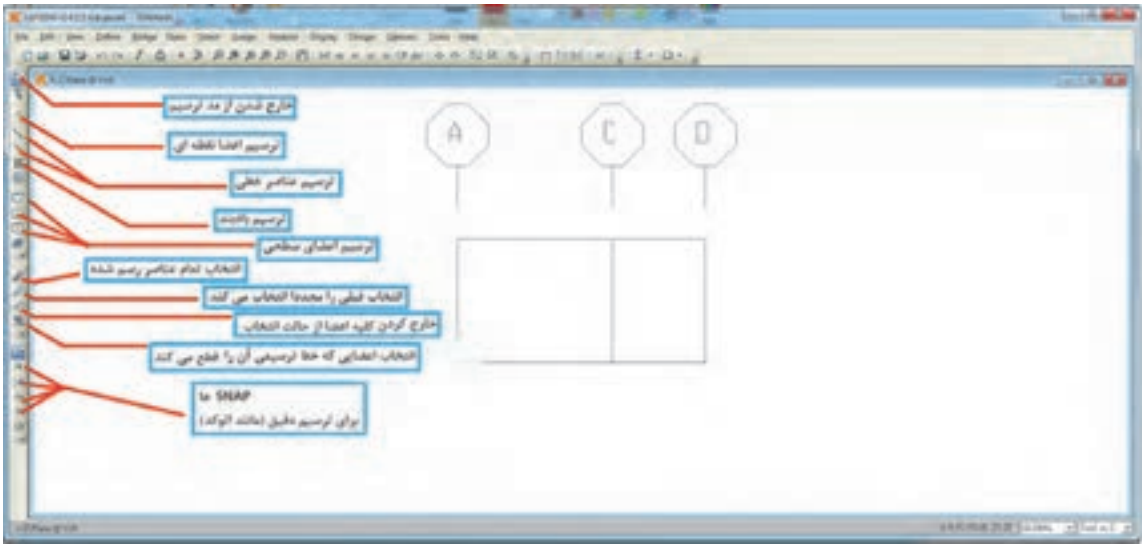
در برنامه SAP اعضای سازه‌ای که ما بیشتر با آنها سر و کار داریم عبارت‌اند از:

۱- اعضای نقطه‌ای مانند ذرات مادی

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

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

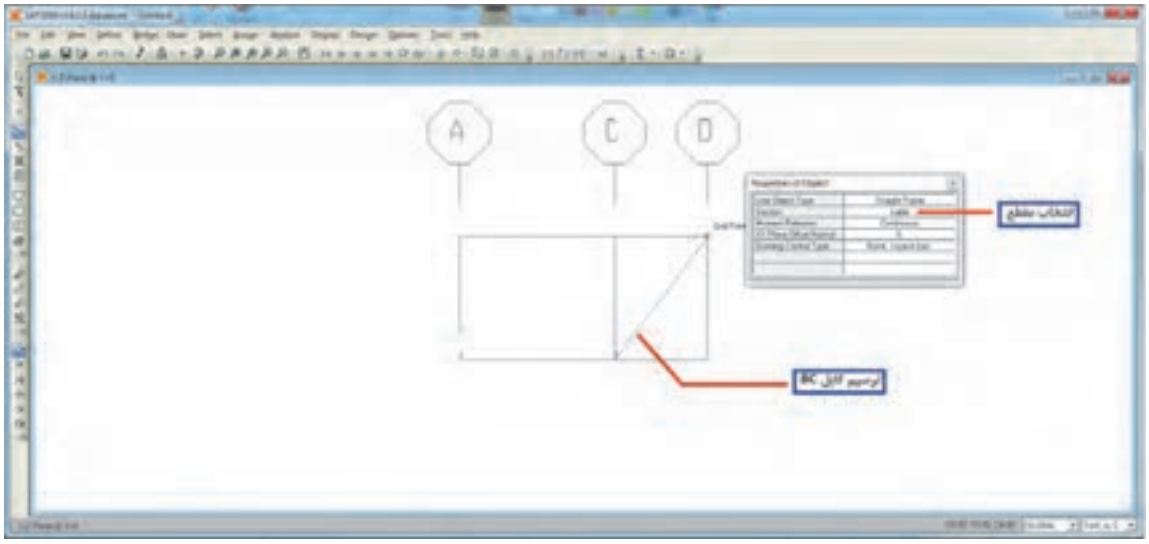
در ایـن مثـال کابل‌هـا از نـوع اعضـا خطـی هسـتند آیکون‌های ترسـیمی در سـمت چـپ صفحـه قراردارند که در شـکل زیـر توضیحـات مختصـری در مـورد هر یک داده شـده اسـت.



بنابرایـن بـرای ترسـیم کابل‌ها از ترسـیم اعضای خطی اسـتفاده می‌شـود . در آیکون کافی‌اسـت تقاطع دو گریـد ابتـدا و انتهـای کابـل AB را کلیـک کنیـد در این حالـت باید snapهـا را فعال کرده تا ترسـیم دقیق باشـد و در آیکـون کافی‌اسـت مابیـن دو نقطـهٔ A و B را کلیک نمایید.

نکته

۱- بـا کلیـک آیکون ترسـیمی هر عنصـر، جعبه‌ای همراه آن باز شـده که می‌توان قبل از ترسـیم ویژگی‌های آن‌را نیـز ماننـد مقاطـع و ... اختصاص داد. در این مثال جنـس مصالح را cable وارد می‌کنیم.
۲- در مُـد ترسـیم شـکل Crosshair تغییـر می‌یابـد و بـه صـورت فلـش عمـودی در خواهـد آمـد. با فشـار دکمـهٔ ESCAP هـم می‌تـوان از مـد ترسـیم خـارج شـد و یا از آیکـون بـا عنـوان set select mode اسـتفاده کرد.



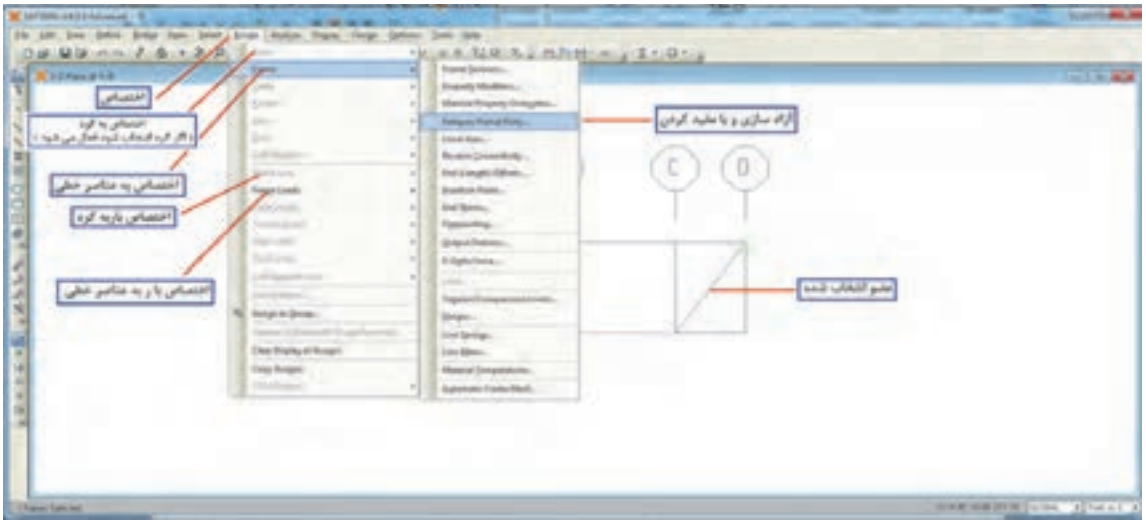
مرحله سوم- اختصاص ویژگی‌ها

در ایـن مرحلـه می‌تـوان ویژگی‌هـای هـر عضـو ماننـد نـوع اتصـال آن، جنـس مصالح و شـکل مقطـع و ... را به آن عضـو اختصاص داد.
ابتـدا بـا کیـک روی هـر عضـو ویـا کشـیدن کادر اطـراف آن، عضـو مربوطـه را انتخـاب می‌کنیـم (عضوهـای انتخـاب شـده موقتـاً حالـت خط‌چین پیـدا می‌کنند) و سـپس از منـوی Assign ویژگی‌هـای لازم را اختصاص می‌دهیـم در ایـن مثـال بایـد انتهـای هـر دو عضـو مفصلی باشـند کـه در شـکل زیـر مراحـل را می‌بینید.

فعالیت کلاسی ۴

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

Frame/Releases/Partial Fixity

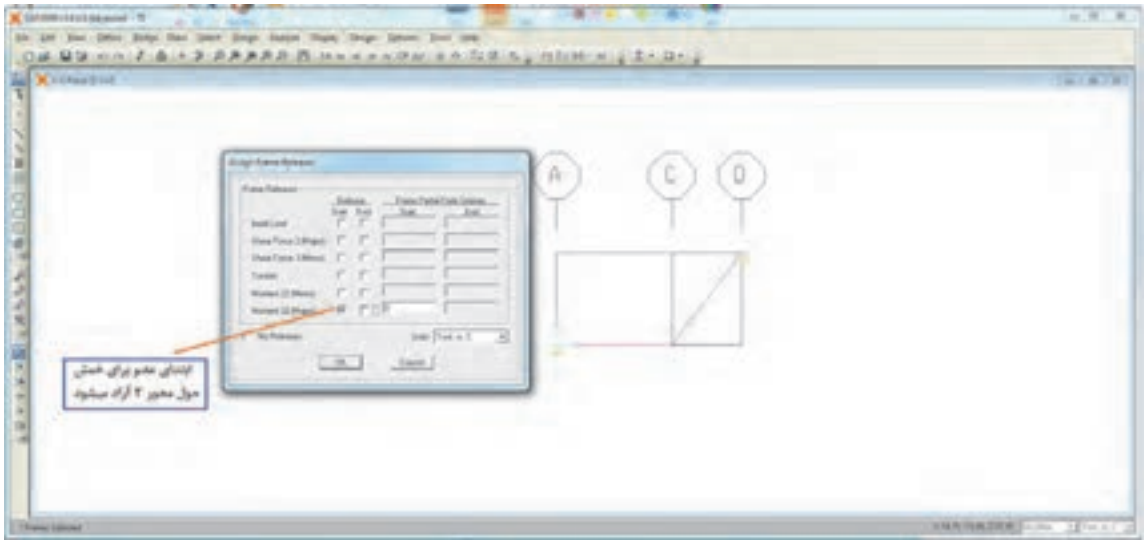


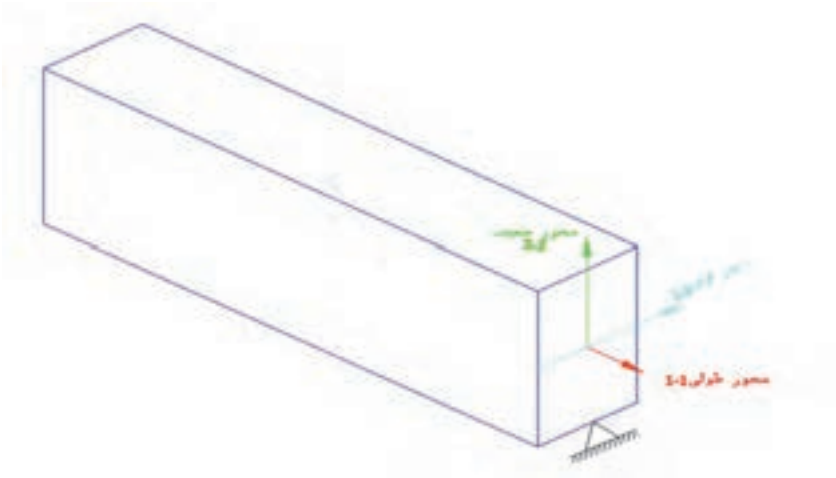
پس از کلیک روی Partial Fixity صفحه زیر باز می‌شود که می‌توان هر عضو را در ابتدا و انتهای خود در برابر چرخش حول محور قوی و ضعیف آن‌را با نشاندن تیک در مربع مربوطه آزاد کرد.

نکته

هنگام ترسیم عضو خطی، گرهی که ابتدا کلیک می‌شود، ابتدا و دیگری انتهای عضو خواهد بود بنابراین شروع و انتهای عضو بستگی به نحوه ترسیم حین مدل‌سازی دارد.
در این برنامه برای هر مقطع یک محور قوی وجود دارد که آن‌را به نام محور ۳-۳ می‌شناسد و محور طولی عضو محور ۱-۱ می‌باشد بنابراین محور ۲ - ۲ محور ضعیف خواهد بود.

در شکل زیر محورهای یک تیر را با رنگ مربوطه در برنامه SAP می‌بینید. دراین برنامه محورهای هر عضو و بسیاری دیگر از مشخصات گره‌ها و اعضا را با کلیک روی آیکون ☑ set display option در منوی بالای صفحه می‌توانید ببینید. از جمله شمارهٔ گره، اعضا و ابتدا و انتهای عضو و ...





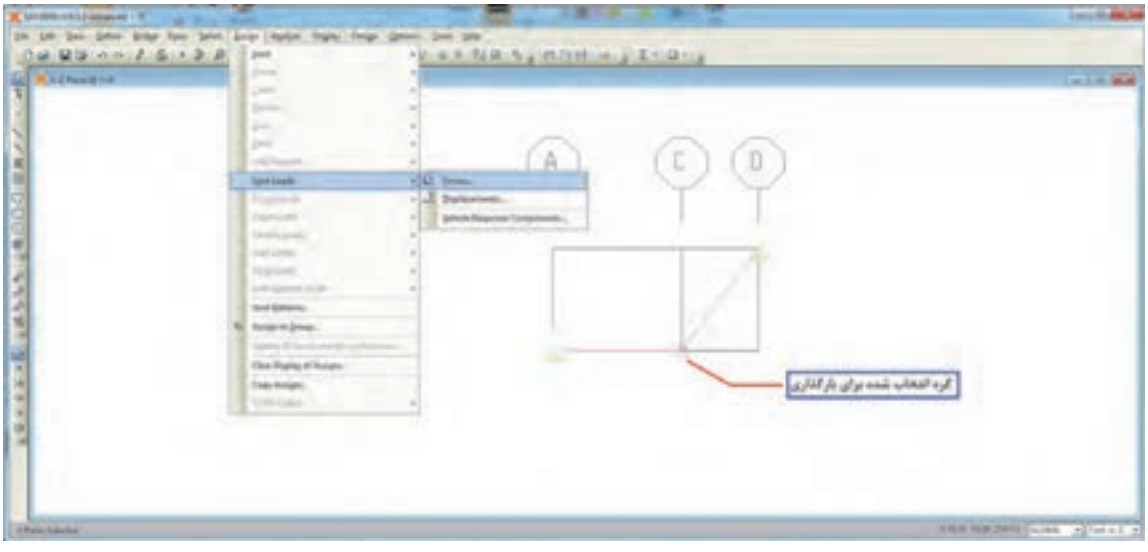
فعالیت کلاسی ۵

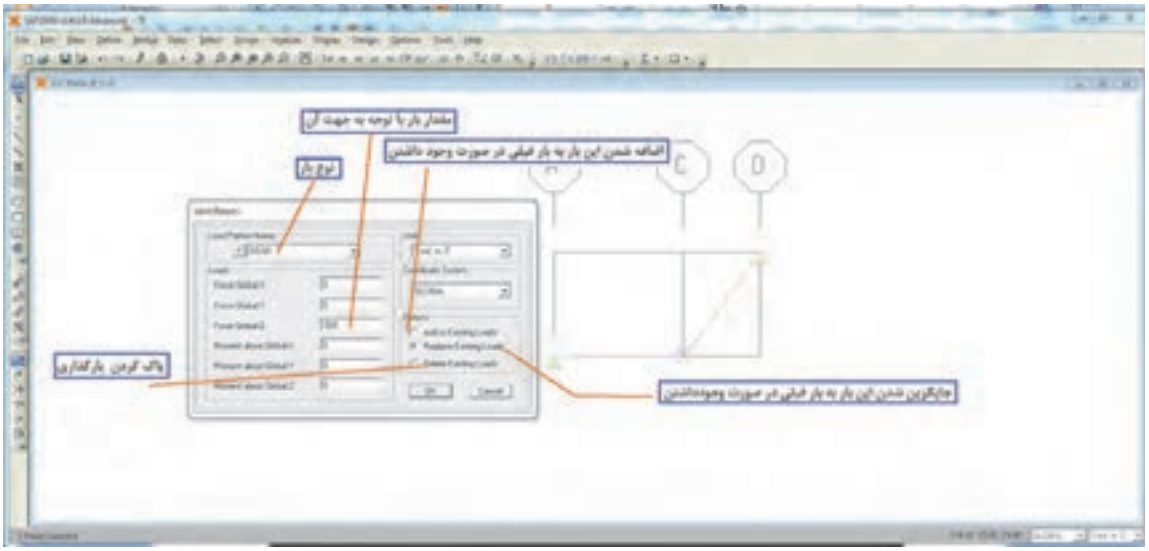
آیکون set display option را باز نموده و تعدادی از مشخصات پروژه را در آن ببینید.

مرحله چهارم- بارگذاری

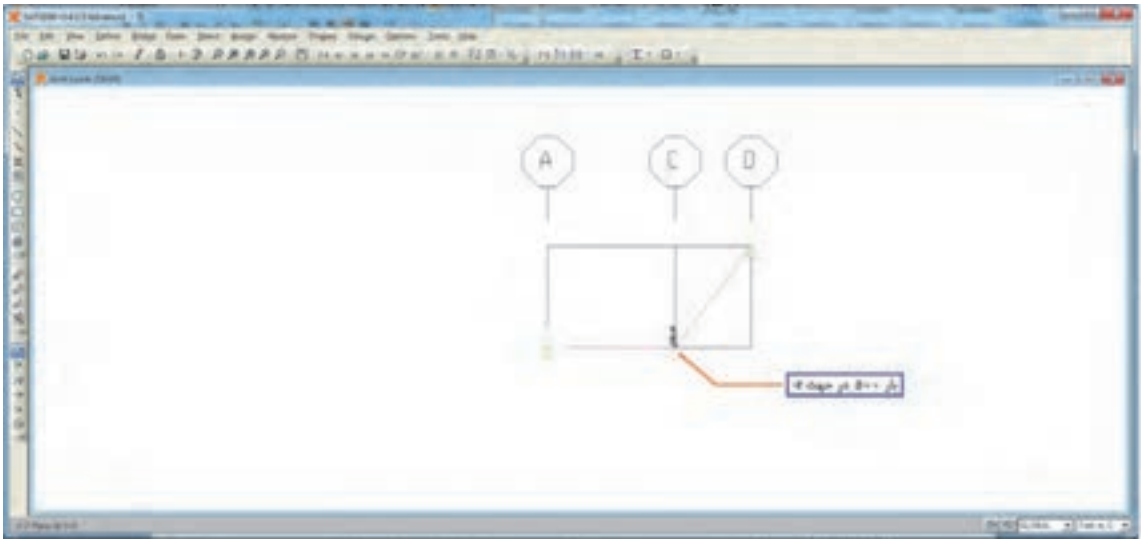
در این مثال یک بار متمرکز ۵۰۰ تن نیرویی وجود دارد که به گره B وارد می‌شود و در جهت مخالف محور zها می‌باشد.

بنابراین با کلیک روی گرهٔ B آن‌را انتخاب و از منوی Assign قسمت Joint Load و Force بار را اختصاص می‌دهیم. در صفحه بعدی مقدار بار در جهت مورد نظر مشاهده می‌گردد.





نتیجه بارگذاری در شکل نمایش داده می‌شود.

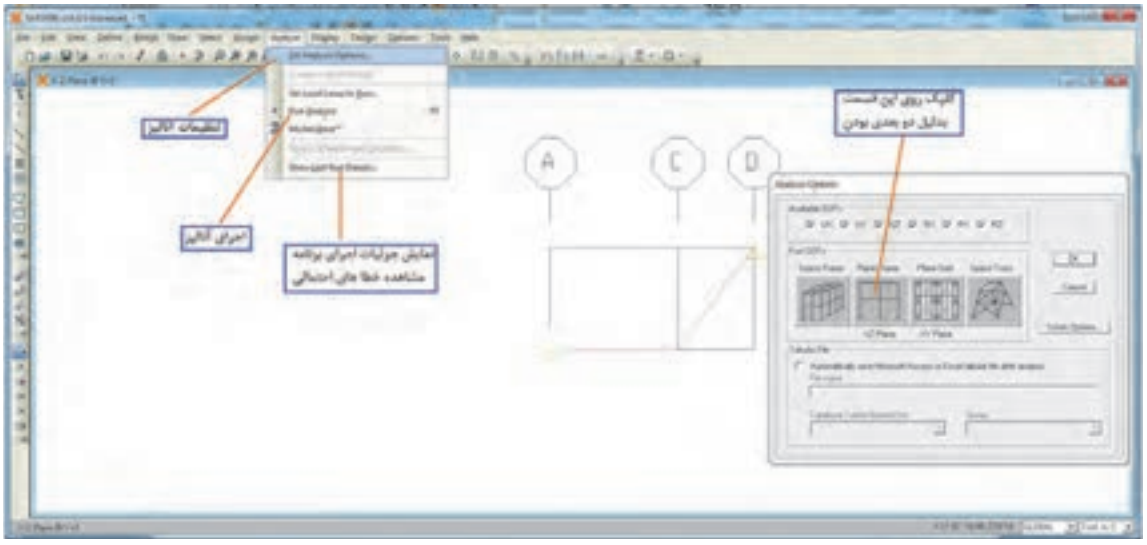


با اتمام بارگذاری، سازه آماده تحلیل می‌باشد. قبل از آنکه تحلیل انجام شود باید درستی مدل و ویژگی‌های خصاص یافته بررسی شود تا اشتباهات احتمالی حذف گردد. برای این منظور روی یکی از اعضا مثلاً AB راست کلیک می‌کنیم که متعاقباً صفحه‌ای باز می‌شود که کلیه مشخصات عضو در آن لیست شده است. تا زمانی که صفحه باز است عضو مورد نظر چشمک‌زن شده که یادآوری می‌کند مشخصات کدام عضو نمایش داده شده است. این صفحه دارای چند TAB بوده که هر یک مربوط به یکی ازمراحل کاری می‌باشد.

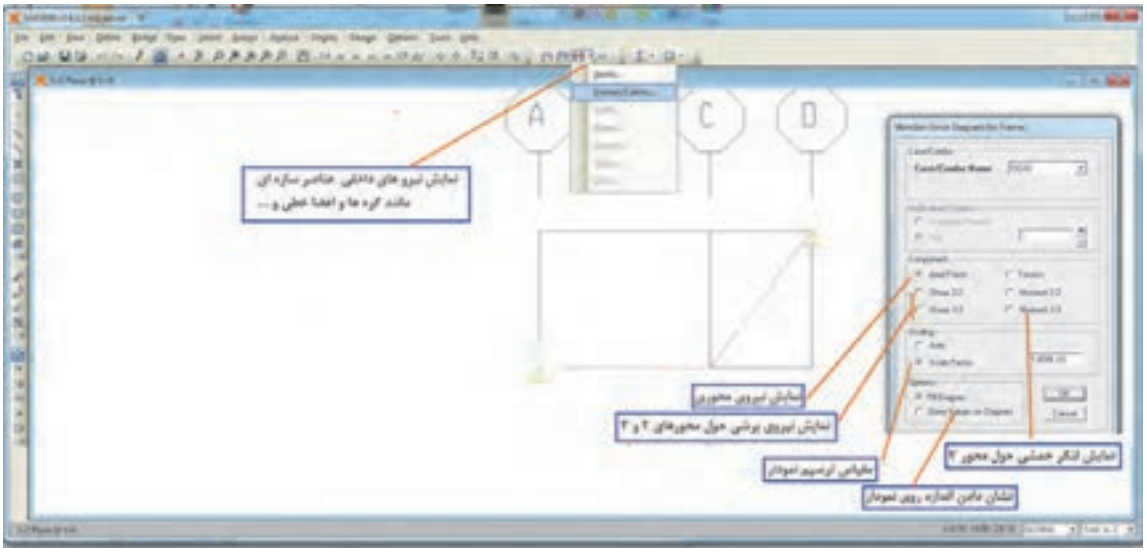
با کلیک روی هر مورد می‌توان در صورت لزوم آن‌را تغییر داد.

تحلیل سازه

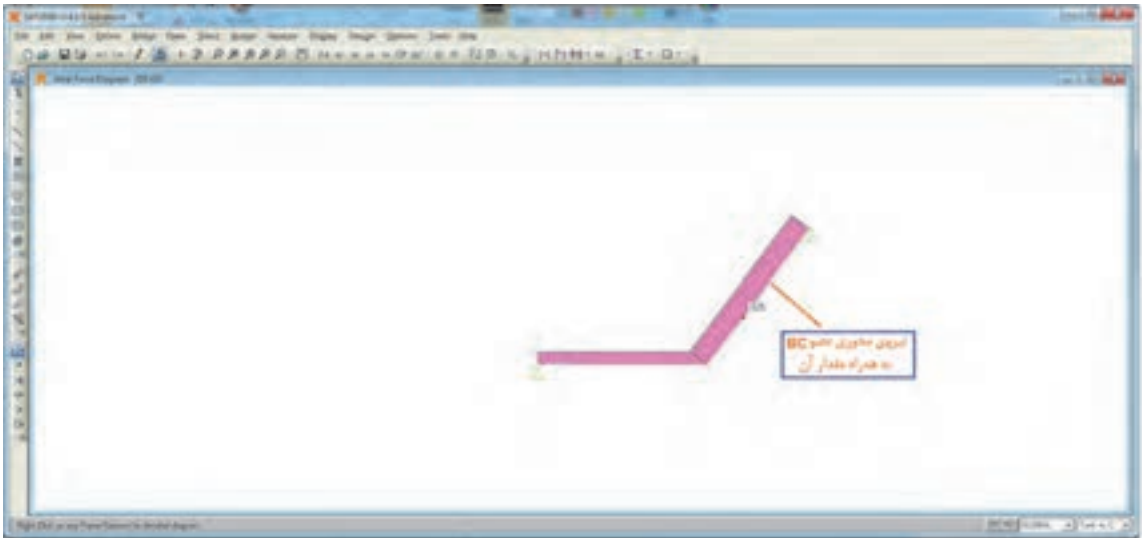
برای تحلیل از منوی Analyse استفاده می‌شود و ابتدا باید تنظیمات لازم را انجام داد. نکته قابل توجه اینکه در حین آنالیز برنامه SAP فایل‌های زیادی را تولید می‌کند بنابراین قبل از تحلیل، مدل را در یک پوشه خاصی ذخیره کنید تا با دیگر فایل‌های شما تداخل ننماید. فایل اصلی (اجرایی) SAP با پسوند sdb. ذخیره می‌شود.



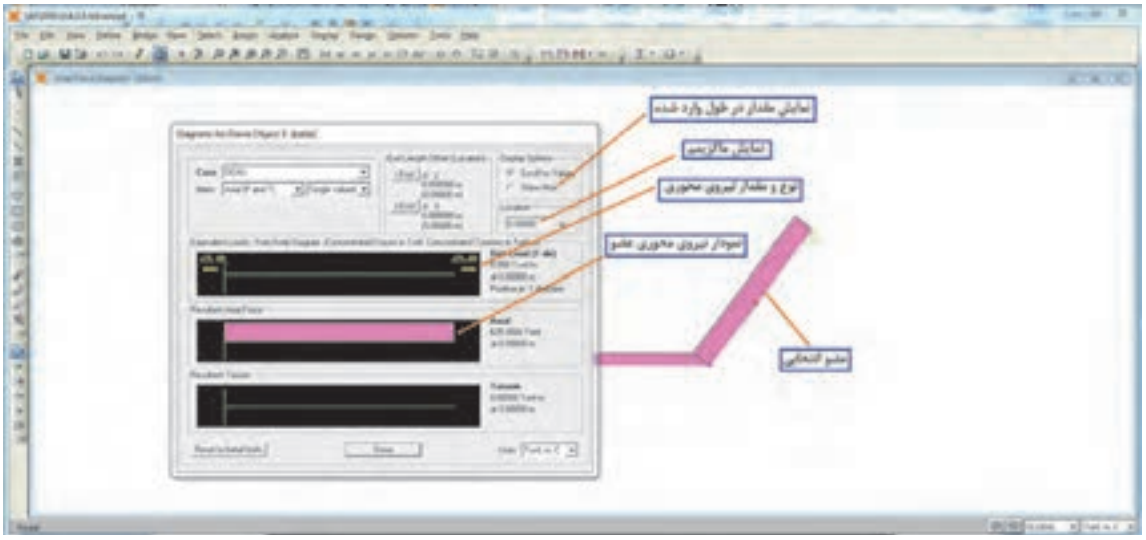
در صورتی که در حین آنالیز خطایی ایجاد نشود تحلیل پایان یافته است و برای مشاهده نتایج تحلیل به صورت زیر عمل می‌شود.



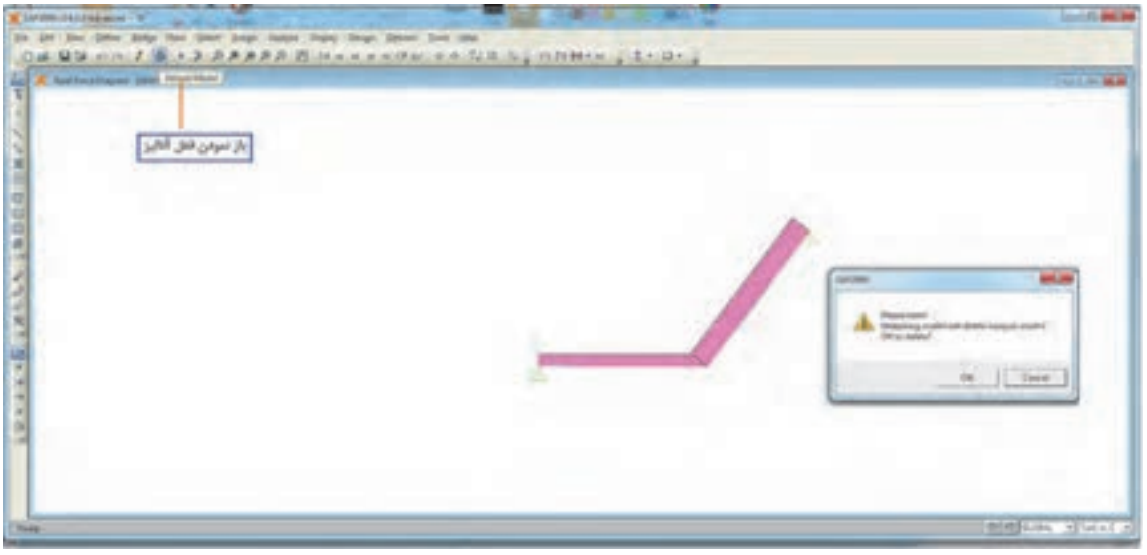
در سازه‌های کابلی چون فقط نیروی محوری داریم، بنابراین در شکل بالا (Axial Force) را انتخاب می‌کنیم تا نیروی محوری اعضای خطی را نمایش دهد نتیجه به صورت زیر است.



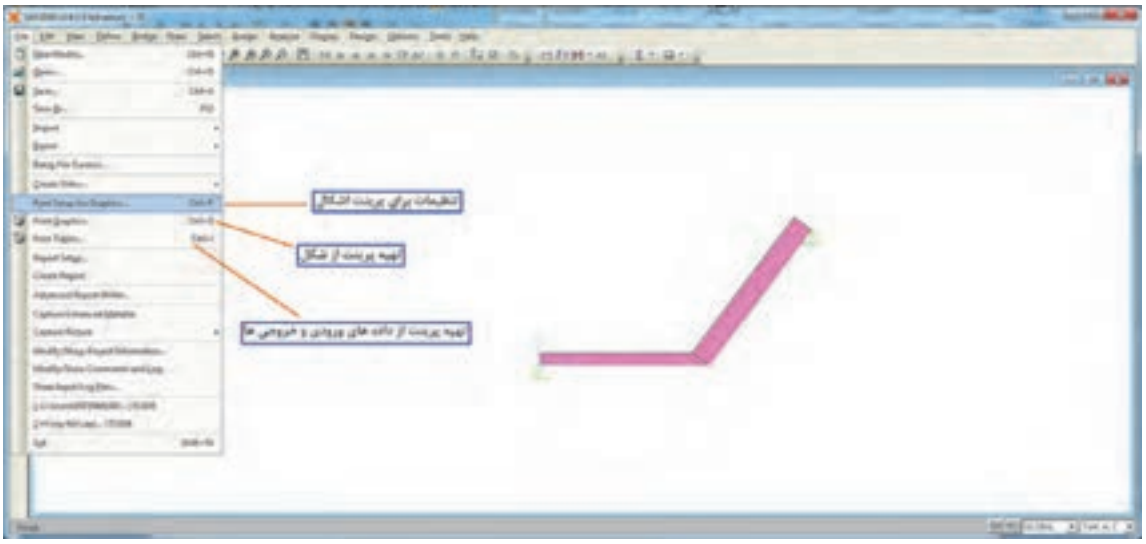
با نزدیک کردن موس به هر عضو مقدار نیروی محوری در هر نقطه‌ای که موس قرار دارد، نشان داده می‌شود. در صورتی‌که بخواهیم این نمودار را جداگانه داشته باشیم با راست کلیک روی عضو، این امر امکان پذیر خواهد بود.



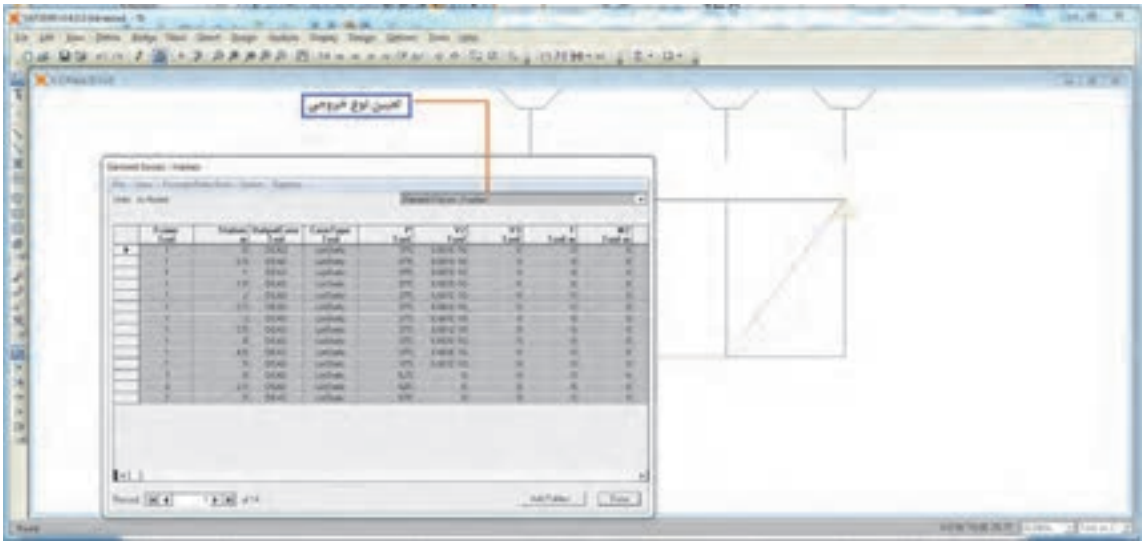
چنانچـه در مسـئله مشـکلی وجود داشـته باشـد و لازم باشـد تغییراتـی ایجاد شـود و مجدداً تحلیل گـردد باید قفـل آنالیـز بـاز شـده و ایـن کار صـورت پذیـرد چـون پـس از هـر بـار تحلیل برنامـه مـدل را قفـل می‌نماید و امـکان تغییـرات را نمی‌دهد.



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

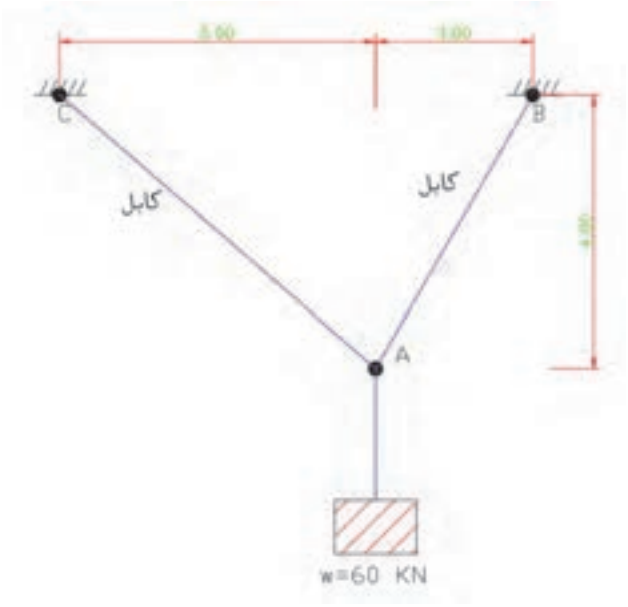


یک نمونه از خروجی که از منوی Display / Show table تهیه شده است در شکل زیر دیده می‌شود.



فعالیت کلاسی ۶

کشش کابل‌های AB و AC را در شکل زیر به‌دست 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 استاندارد های عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می گردد. امکان جبران پودمان های در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه ریزی هنرستان وجود دارد.

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

بیشتر بدانیم

ابتکار پل خیبر-طولانی‌ترین پل شناور نظامی جهان

مهندس بهروز پورشریفی

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 می برد.

پل خیبر، پل بعثت، پل‌های متحرک و معلق در جنوب و غرب کشور ازجمله 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 معلقی 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 تکمیل‌تر شد. عناصر طراح تحقیقاتی در جریان کل عملیات قرار گرفته بودند و با حضور در منطقه، طراحی فنی واقعی صورت پذیرفت. به طور مثال مهار کردن پل به‌وسیلهٔ لنگر پیشنهاد شد ولی در عمل، نی‌های منطقه مانند لنگر عمل می‌کردندو 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: «به گفتهٔ 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.