

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



# دانش فنی تخصصی

رشته ساختمان

گروه معماری و ساختمان

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



**نام کتاب:** دانش فنی تخصصی (رشته ساختمان) - ۲۱۲۳۹۵  
**پدیدآورنده:** سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی  
**مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:** دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش  
**شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:** محمداسماعیل خلیل ارجمندی، حسین دادور، مجید شجاعی اردکانی، محمدعلی فرزانه، محمد صالح لباف‌زاده و امیرحسین متینی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)  
**مدیریت آماده‌سازی هنری:** محمداسماعیل خلیل ارجمندی، رسول شجاعی اردکانی، مجید شجاعی اردکانی، محمدعلی فرزانه، حامد نفر و زاهد وکیلی (اعضای گروه تألیف)  
**شناسه افزوده آماده‌سازی:** اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی  
**نشانی سازمان:** مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) - امیرحسین متینی (صفحه‌آرا و رسام) - صبا کاظمی دوانی (طراح جلد)  
تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)  
تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹  
وب‌گاه: [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir) و [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)  
**ناشر:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش)  
تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵  
**چاپخانه:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»  
**سال انتشار و نوبت چاپ:** چاپ هفتم ۱۴۰۳

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین برآرد و به کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی «قَدِّسَ سِرُّهُ»



### پودمان اول – تحلیل مکانیک برداری

- ۲ ..... واحد یادگیری ۱- کاربرد جمع بردارها
- ۳ ..... ۱-۱- تعریف علم مکانیک
- ۳ ..... ۲-۱- مفاهیم اصلی در علم مکانیک
- ۴ ..... ۳-۱- فرضیات
- ۴ ..... ۴-۱- قوانین نیوتن
- ۶ ..... ۵-۱- کمیت‌های فیزیکی
- ۶ ..... ۶-۱- بردارها (Vector)
- ۷ ..... ۷-۱- انواع بردارها
- ۸ ..... ۸-۱- جمع و تفریق بردارها
- ۱۲ ..... ۹-۱- تجزیه یک بردار به مؤلفه‌های آن به روش ترسیمی
- ۱۴ ..... ۱۰-۱- تجزیه یک بردار به مؤلفه‌های متعامد آن به روش ترسیمی و محاسباتی
- ۱۵ ..... ۱۱-۱- نمایش برداری یک بردار در دستگاه مختصات دکارتی
- ۱۵ ..... ۱۲-۱- تعیین اندازه و زاویه امتداد یک بردار با استفاده از مؤلفه‌های متعامد آن
- ۱۹ ..... ۱۳-۱- نیرو
- ۱۹ ..... ۱۴-۱- انواع نیرو
- ۲۰ ..... ۱۵-۱- برآیند سامانه‌های نیرویی وارد بر نقطه مادی به روش محاسباتی
- ۳۱ ..... واحد یادگیری ۲- کاربرد ضرب بردارها
- ۳۱ ..... ۱-۲- ضرب بردارها
- ۳۲ ..... ۲-۲- گشتاور، لنگر (مُمان)
- ۳۳ ..... ۳-۲- گشتاور چند نیرو
- ۳۴ ..... ۴-۲- قضیه وارینون
- ۳۵ ..... ۵-۲- زوج نیرو
- ۳۸ ..... ارزشیابی پودمان اول

### پودمان دوم – بررسی تعادل اجسام

- ۴۰ ..... واحد یادگیری ۳- تعادل نقطه مادی
- ۴۰ ..... ۱-۳- تعادل
- ۴۵ ..... واحد یادگیری ۴- تعادل اجسام صلب
- ۴۵ ..... ۱-۴- تعادل جسم صلب
- ۴۶ ..... ۲-۴- انواع تکیه‌گاه‌ها و عکس‌العمل‌های آن‌ها
- ۴۸ ..... ۳-۴- محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی اجسام صلب
- ۵۵ ..... ۴-۴- کاربرد نرم‌افزار در تعادل اجسام صلب
- ۷۱ ..... ارزشیابی پودمان دوم



## پودمان سوم – تحلیل سازه‌های ساختمانی

- ۷۴ ..... واحد یادگیری ۵- تحلیل خرپا
- ۷۴ ..... ۱-۵- خرپا (Truss)
- ۸۷ ..... واحد یادگیری ۶- تحلیل تیرها
- ۸۷ ..... ۱-۶- تحلیل تیر
- ۱۰۶ ..... ارزشیابی پودمان سوم

## پودمان چهارم – خواص هندسی سطوح

- ۱۰۸ ..... واحد یادگیری ۷- گشتاور اول سطح
- ۱۰۸ ..... ۱-۷- گشتاور اول سطح (ممان استاتیک)
- ۱۱۱ ..... ۲-۷- گشتاور اول (ممان استاتیک) سطوح مرکب
- ۱۱۳ ..... ۳-۷- مرکز سطح سطوح مرکب
- ۱۱۴ ..... ۴-۷- استفاده از تقارن در تعیین مرکز سطح سطوح متقارن
- ۱۱۸ ..... واحد یادگیری ۸- گشتاور دوم سطح (ممان اینرسی)
- ۱۱۸ ..... ۱-۸- گشتاور دوم سطح (ممان اینرسی) (Moment of Inertia)
- ۱۲۰ ..... ۲-۸- قضیه محورهای موازی
- ۱۲۲ ..... ۳-۸- محاسبه ممان اینرسی سطوح مرکب
- ۱۲۵ ..... ۴-۸- مشخصات هندسی مقاطع نوردشده
- ۱۳۰ ..... ارزشیابی پودمان چهارم

## پودمان پنجم – کسب اطلاعات فنی

- ۱۳۲ ..... واحد یادگیری ۹- کسب اطلاعات فنی
- ۱۳۳ ..... ۱-۹- نقشه‌های معماری Architectural Drawings
- ۱۴۰ ..... ۲-۹- نقشه‌های سازه‌ای Structural Drawings
- ۱۴۱ ..... ۳-۹- دیتایل‌های ساختمانی Detail Drawings
- ۱۴۲ ..... ۴-۹- انواع مختلف بناها Construction classifications
- ۱۴۷ ..... ۵-۹- اجزای مختلف یک ساختمان Building components
- ۱۴۹ ..... ۶-۹- مصالح ساختمانی Building Materials
- ۱۵۰ ..... ۷-۹- افراد شاغل در پروژه‌های ساختمانی Building Crew
- ۱۵۱ ..... ۸-۹- بارهای اصلی وارد بر ساختمان Primary Loads
- ۱۵۲ ..... ۹-۹- تنش و کرنش محوری Axial Stress & Strain
- ۱۵۷ ..... ارزشیابی پودمان پنجم
- ۱۵۸ ..... منابع و مآخذ

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها درسی تغییر رویکرد آموزشی، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار در محیط واقعی بر اساس استاندارد عملکرد تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی-حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی ترسیم نقشه‌های ساختمانی یا اجرای ساختمان‌های بتنی
  ۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند مسئولیت پذیری، نوآوری و مصرف بهینه انرژی
  ۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها و انواع شبیه سازها
  ۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
- بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف برای هر یک از کتاب‌های درسی در هر رشته است.
- درس دانش فنی تخصصی، از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که ویژه رشته «ساختمان» برای پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های فنی و غیر غنی این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و توسعه آن بر اساس جدول توسعه حرفه‌ای بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.
- این کتاب نیز شامل پنج پودمان است. هنرجویان عزیز پس از طی فرایند یاددهی-یادگیری هر پودمان می‌توانند شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنند. در پودمان

"کسب اطلاعات فنی" هدف توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای شما بعد اتمام دوره تحصیلی در مقطع کنونی است تا بتوانید با درک مطالب از منابع غیر فارسی در راستای یادگیری در تمام طول عمر خود گام بردارید. و در دنیای متغیر و متحول کار و فناوری اطلاعات خود را به‌روزرسانی کنید. هنرآموز محترم شما مانند سایر دروس این خوشه برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. در کارنامه شما این درس شامل ۵ پودمان درج شده که هر پودمان از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی تشکیل می‌شود و چنانچه در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، لازم است در همان پودمان مورد ارزشیابی قرار گیرید. همچنین این درس دارای ضریب ۴ بوده و در معدل کل شما تأثیر می‌گذارد. همچنین در کتاب همراه هنرجو واژگان پرکاربرد تخصصی در رشته تحصیلی - حرفه‌ای شما آورده شده است. کتاب همراه هنرجوی خود را هنگام یادگیری، آزمون و ارزشیابی حتماً همراه داشته باشید. در این درس نیز مانند سایر دروس اجزایی دیگر از بسته آموزشی در نظر گرفته شده است و شما می‌توانید با مراجعه به وبگاه رشته خود با نشانی [www.tvoccd.oerp.ir](http://www.tvoccd.oerp.ir) از عناوین آنها مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی مانند مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی، طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید. امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**



در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و تغییرات سریع عصر فناوری و نیازهای متغیر جامعه بشری و دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته «ساختمان» با طراحی و براساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. این کتاب و درس از خوشه دروس شایستگی های فنی می باشد که در سبد درسی هنرجویان برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است. و مانند سایر دروس شایستگی و کارگاهی دارای ۵ پودمان می باشد. کتاب دانش فنی تخصصی مباحث نظری و تفکیک شده دروس کارگاهی و سایر شایستگی های رشته را تشکیل نمی دهد بلکه پیش نیازی برای شایستگی های لازم در سطوح بالاتر صلاحیت حرفه ای - تحصیلی می باشد. هدف کلی کتاب دانش فنی تخصصی آماده سازی هنرجویان برای ورود به مقاطع تحصیلی بالاتر و تأمین نیازهای آنان را در راستای محتوای دانش نظری است. یکی از پودمان های این کتاب با عنوان "کسب اطلاعات فنی" با هدف یادگیری مادام العمر و توسعه شایستگی های هنرجویان بعد از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، سازماندهی محتوایی شده است. این امر با آموزش چگونگی استخراج اطلاعات فنی مورد نیاز از متون فنی غیر فارسی و جداول، راهنمای ماشین آلات و تجهیزات صنعتی، دستگاه های اداری، خانگی و تجاری و درک مطلب آنها در راستای توسعه شایستگی های حرفه ای محقق خواهد شد. تدریس کتاب در کلاس درس به صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می گیرد.

به مانند سایر دروس هنرآموزان گرامی برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می باشد و نمره هر پودمان از دو بخش ارزشیابی پایانی و مستمر تشکیل می شود. این کتاب مانند سایر کتاب ها جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است. شما می توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته، روش های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ برخی از فعالیت های یادگیری و تمرین ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. در هنگام ارزشیابی استاندارد عملکرد از ملزومات کسب شایستگی می باشند.

کتاب دانش فنی تخصصی شامل پودمان هایی به شرح زیر است:

پودمان اول: تحلیل مکانیک برداری

پودمان دوم: بررسی تعادل اجسام

پودمان سوم: تحلیل سازه های ساختمانی

پودمان چهارم: خواص هندسی سطوح

پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی

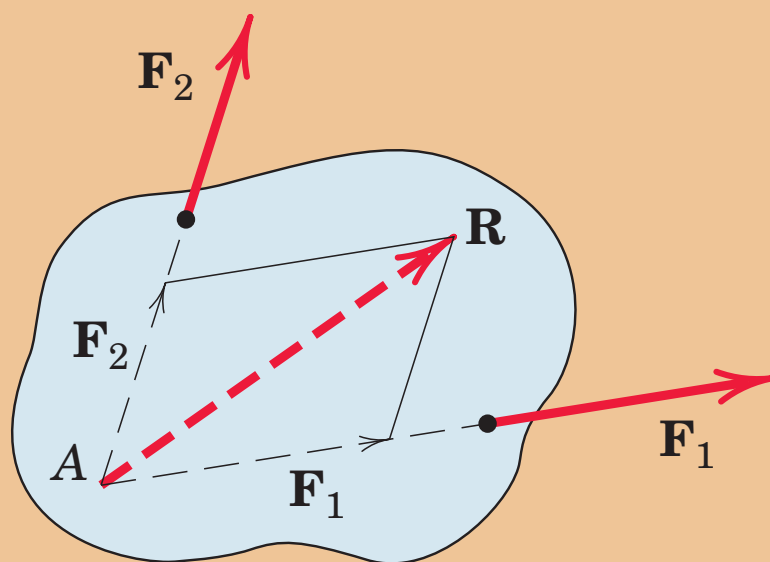
لازم به توضیح است که در پودمان های دو و سه کتاب به معرفی و استفاده از نرم افزار SAP در حد آشنایی اشاره شده است و ملاک ارزشیابی نمی باشد.

هنرآموزان گرامی در هنگام یادگیری و ارزشیابی، هنرجویان بایستی کتاب همراه هنرجو را با خود داشته باشند.

دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش

# پودمان ۱

## تحلیل مکانیک بُرداری



کاربرد جمع بردارها

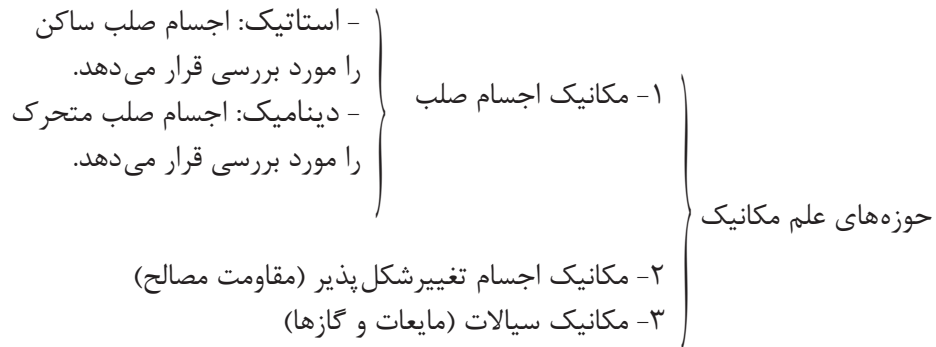
واحد یادگیری ۱





## ۱-۱- تعریف علم مکانیک

علم مکانیک علمی است که شرایط سکون و حرکت اجسام تحت تأثیر نیرو را بررسی می‌کند.



در این کتاب از حوزه‌های فوق، با مکانیک اجسام صلب ساکن (استاتیک) آشنا می‌شویم.

محمد کرجی از نوابع مهندسی ایران در بیش از هزار سال پیش بوده است. کرجی در کتاب «استخراج آب‌های زیرزمینی» به‌وضوح از کرویت زمین و قوه جاذبه و قوانین تعادل و حرکت، که برخی از آن‌ها چندین قرن بعد توسط دانشمندان اروپایی مطرح شد سخن می‌گوید.

بیشتر  
بدانیم



## ۱-۲- مفاهیم اصلی در علم مکانیک

مفاهیم اصلی و مورد استفاده در علم مکانیک و معرفی یکاهای اندازه‌گیری آن‌ها در سامانه بین‌المللی یکاها (SI) به شرح زیر می‌باشد.

۱- فضا (Space):

ناحیه هندسی است که رویدادهای فیزیکی در آن رخ می‌دهد. موقعیت هر نقطه در فضا را مکان می‌نامیم که نسبت به یک نقطه مرجع تعیین می‌شود و واحد اندازه‌گیری آن در سامانه SI، متر (m) می‌باشد.

۲- زمان (Time):

فاصله بین وقوع دو رویداد فیزیکی زمان نام دارد و واحد اندازه‌گیری آن ثانیه (s) می‌باشد.

۳- جرم (Mass):

هر چیزی که فضا را اشغال نماید ماده نام دارد و جسم ماده‌ای است که به وسیله یک سطح بسته محدود شده است. مقدار ماده تشکیل دهنده هر جسم را جرم آن جسم می‌نامیم و واحد اندازه‌گیری آن کیلوگرم (kg) است.

۴- نیرو (Force):

تأثیر یک جسم بر جسم دیگر را نیرو می‌نامیم و واحد اندازه‌گیری آن نیوتن (N) است.

این تأثیر می‌تواند تغییر در حرکت، تغییر شکل و یا چرخش اجسام باشد.

## ۱-۳- فرضیات

در علم مکانیک به منظور ساده‌تر شدن حل مسائل، فرضیاتی به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود.

### ۱- جسم صلب (Rigid Body):

جسمی است که در اثر اعمال نیرو تغییر شکل ندهد.

### ۲- نقطه مادی (Particle):

جسمی است که از ابعاد آن صرف نظر می‌شود؛ به عنوان مثال می‌توان کره زمین را در فضا به صورت یک نقطه مادی در نظر گرفت.

## ۱-۴- قوانین نیوتن

مکانیک اجسام صلب بر اساس قوانین نیوتن به شرح زیر استوار است:

### ۱- قانون اول نیوتن:

هرگاه مجموع نیروهای وارد بر یک جسم صفر باشد:

{ اگر جسم ساکن باشد تا ابد ساکن باقی می‌ماند.  
اگر در حال حرکت باشد به حرکت یکنواخت و مستقیم‌الخط خود ادامه می‌دهد.

### ۲- قانون دوم نیوتن:

هرگاه مجموع نیروهای وارد بر یک جسم صفر نباشد، آن جسم شتابی متناسب با مجموع نیروها و در راستای آن می‌گیرد. قانون دوم نیوتن با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$F = m.a \quad (1)$$

در این رابطه:

**F** مجموع نیروهای وارد بر جسم بر حسب **N**

**m** جرم جسم بر حسب **kg**

**a** شتاب ایجاد شده در جسم بر حسب  $\frac{m}{s^2}$  می‌باشد.

یک مورد خاص و بسیار مهم این قانون وزن اجسام است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

### تعریف وزن (Weight):

وزن نیرویی است که از طرف زمین به اجسام وارد می‌شود و با رابطه (۲) بیان می‌گردد که شباهت زیادی با رابطه (۱) دارد.

$$w = m.g \quad (2)$$

**w**: وزن جسم بر حسب نیوتن

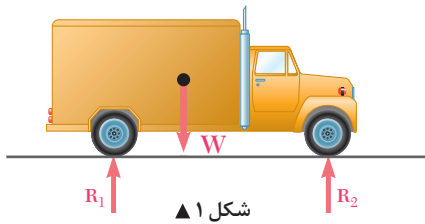
**m**: جرم جسم بر حسب **kg**

**g**: شتاب جاذبه زمین معادل  $(g = 9.81 \sim 10 \frac{m}{s^2})$  می‌باشد.

تذکر:

واحد دیگر وزن، کیلوگرم نیرو (**kgf**) می‌باشد که معادل  $10$  نیوتن است یعنی:

$$1 \text{ kgf} \sim 10 \text{ N}$$



شکل ۱ ▲

### ۳- قانون سوم نیوتن:

هر عملی را عکس‌العملی است مساوی با آن و در جهت خلاف آن. (شکل ۱)

در این کتاب از سامانه بین‌المللی واحدهای اندازه‌گیری (SI) استفاده می‌کنیم که در اکثر کشورها نیز پذیرفته شده است.

نکته



### پیشوندهای واحدهای اندازه‌گیری:

منظور از پیشوند، یک مقدار عددی است که با حروف الفبای یونانی تعریف شده (مطابق جدول ۱) و قبل از واحدهای اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

مزیت استفاده از پیشوندها این است که از نوشتن اعداد خیلی بزرگ و خیلی کوچک اجتناب می‌شود. به عنوان مثال می‌توان  $247500 \text{ N}$  را به صورت  $247/5 \text{ kN}$  و یا  $0/0546 \text{ m}$  را به شکل  $5/46 \text{ mm}$  نوشت.

نکته



• بین پیشوند و واحد اندازه‌گیری مورد نظر از هیچ علامتی استفاده نمی‌شود اما بین دو واحد اندازه‌گیری مختلف هر علامتی نظیر  $\times$  و  $/$  می‌تواند وجود داشته باشد به طور مثال:

$\text{N.m}$  یعنی نیوتن‌متر و  $\text{nm}$  یعنی نانومتر که معادل  $(10^{-9} \text{ m})$  می‌باشد.

مثال:  $7/5 \times 10^{-5} \text{ MN}$  چند نیوتن است؟

$$7/5 \times 10^{-5} \times 10^6 = 75 \text{ N}$$

نکته



جدول (۱) پیشوندهای آحاد اندازه‌گیری

نام پیشوند	علامت اختصاری	مقدار عددی	شکل توانی
پیکو	<b>p</b>	0/000000000001	$10^{-12}$
نانو	<b>n</b>	0/000000001	$10^{-9}$
میکرو	<b>μ</b>	0/000001	$10^{-6}$
میلی	<b>m</b>	0/001	$10^{-3}$
کیلو	<b>K</b>	1,000	$10^3$
مگا	<b>M</b>	1,000,000	$10^6$
گیگا	<b>G</b>	1,000,000,000	$10^9$
ترا	<b>T</b>	1,000,000,000,000	$10^{12}$



## ۱-۵- کمیت‌های فیزیکی

به طور کلی کمیت‌های فیزیکی به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم‌بندی می‌شوند.

**کمیت‌های اصلی:** به کمیت‌هایی گفته می‌شود که مستقل‌اند و در این پودمان عبارت‌اند از طول (L)، جرم (M) و زمان (T).

**کمیت‌های فرعی:** به کمیت‌هایی گفته می‌شود که وابسته به کمیت‌های اصلی هستند و از آنها ناشی می‌شوند. مانند نیرو، گشتاور نیرو، سرعت، کار، انرژی و ...

در یک تقسیم‌بندی دیگر کمیت‌های فیزیکی به دو دسته اسکالر و برداری تقسیم می‌شوند.

**کمیت‌های عددی یا اسکالر:** کمیت‌هایی هستند که فقط دارای اندازه یا مقدار می‌باشند؛ مانند طول، جرم، زمان، کار و انرژی.

**کمیت‌های برداری:** کمیت‌هایی هستند که علاوه بر مقدار دارای جهت و راستا نیز می‌باشند. مانند: بردارهای نیرو، گشتاور، سرعت، شتاب و جابه‌جایی.

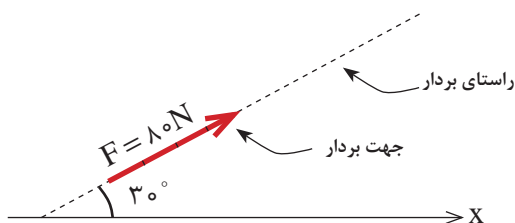
### دیمانسیون

به رابطه کمیت‌های اصلی و فرعی دیمانسیون یا معادله ابعادی گفته می‌شود. در این معادله کمیت‌های فرعی بر حسب دیمانسیون کمیت‌های اصلی تعریف می‌گردند.

دیمانسیون طول را به L و دیمانسیون جرم را با M و دیمانسیون زمان را با T نشان می‌دهند.

به طور مثال دیمانسیون نیرو که یک کمیت فرعی است را با توجه به قانون دوم نیوتن یعنی  $F=ma$  به صورت  $F = MLT^{-2}$  نمایش می‌دهند.

## ۱-۶- بردارها (Vector)



شکل ۲ ▲

هر بردار به صورت یک پیکان با طولی متناسب با مقدار آن ترسیم می‌شود

به عنوان مثال در شکل (۲)، بردار نیروی ( $\vec{F}$ ) با مقدار  $100\text{ N}$  و با زاویه  $30^\circ$  نسبت به محور  $x$  و در جهت و راستای نشان داده شده ترسیم شده است.

زاویه امتداد هر بردار، با یک امتداد مبنا که معمولاً امتدادهای  $x$  یا  $y$  است، مشخص می‌شود.

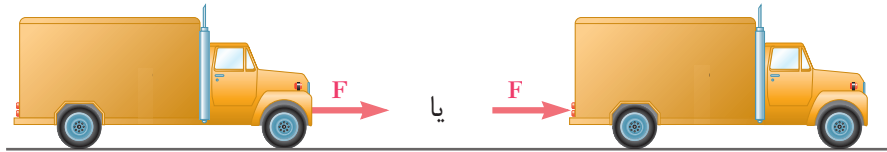
نکته



## ۱-۷- انواع بردارها

### ۱- بردار لغزان

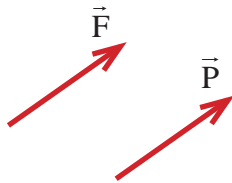
برداری است که اگر در راستای خود جابه‌جا شود، اثر آن بر جسم تغییر ننماید. همانند نیروی  $\vec{F}$  در شکل (۳)



شکل ۳ ▲

### ۲- بردار ثابت

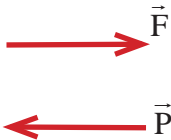
برداری است که مکان معینی را در فضا اشغال می‌کند و نمی‌توان آن را جابه‌جا نمود. یعنی با جابه‌جا کردن آن، اثر آن بر جسم تغییر می‌نماید. مثلاً ضربه‌ای که به سر انسان وارد می‌شود با ضربه‌ای که با همان مقدار و همان جهت به پای او وارد می‌آید متفاوت است.



شکل ۴ ▲

### ۳- بردارهای هم‌سنگ

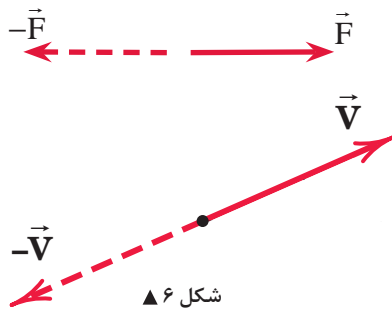
دو بردار مساوی، موازی و هم‌جهت را بردارهای هم‌سنگ می‌نامیم. در شکل (۴) بردارهای  $\vec{P}$  و  $\vec{F}$  هم‌سنگ اند.



شکل ۵ ▲

### ۴- بردارهای زوج

دو بردار مساوی، موازی و مختلف‌الجهت را بردارهای زوج می‌نامیم. در شکل (۵) بردارهای  $\vec{P}$  و  $\vec{F}$  زوج‌اند.



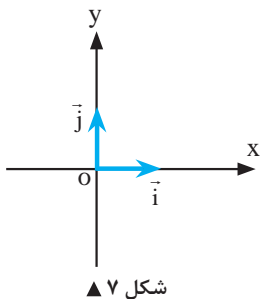
شکل ۶ ▲

### ۵- بردارهای مخالف

دو بردار مساوی، هم‌راستا و مختلف‌الجهت را بردارهای مخالف گویند. (شکل ۶)

### ۶- بردار یکه (واحد)

برداری که مقدار (اندازه) آن برابر واحد است را بردار یکه یا واحد می‌نامیم. بردار واحد روی محور  $x$  ها را با  $\vec{i}$  و روی محور  $y$  ها را با  $\vec{j}$  نمایش می‌دهند. (شکل ۷)

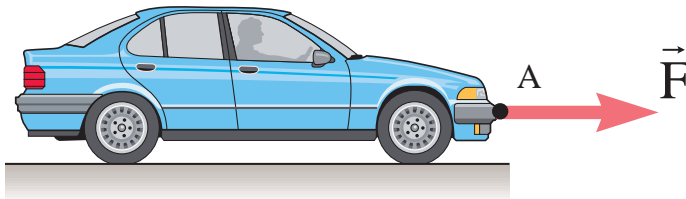


شکل ۷ ▲

## ۷- بردار نیرو

برداری است که علاوه بر مقدار، جهت و راستا دارای نقطه اثر نیز می‌باشد. در شکل (۸) نقطه **A**، نقطه اثر بردار نیرو  $\vec{F}$  می‌باشد.

و واحد اندازه‌گیری نیرو، نیوتن (N) است و مطابق قانون دوم نیوتن به صورت زیر تعریف می‌شود:



شکل ۸ ▲

$$F = m.a$$

$$1\text{N} = 1\text{kg} \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

تعریف نیوتن با استفاده از قانون دوم نیوتن  
یک نیوتن مقدار نیرویی است که اگر به جرم یک کیلوگرم وارد شود،  
در آن شتابی معادل یک متر بر مجذور ثانیه و در جهت اعمال نیرو  
ایجاد نماید.

## ۸-۱- جمع و تفریق بردارها

عملیات جمع و تفریق کمیت‌های برداری با جمع و تفریق کمیت‌های عددی (اسکالر) متفاوت است. یعنی نمی‌توان مقادیر عددی دو یا چند بردار، به‌غیر از بردارهای هم‌راستا، و موازی را با یکدیگر جمع و یا تفریق نمود. در این کتاب برای نشان دادن یک بردار مانند  $\vec{V}$  از علامت  $(\rightarrow)$  در بالای آن استفاده می‌شود و برای نشان دادن مقدار (اندازه) آن بردار علامت  $(\rightarrow)$  بالای آن برداشته می‌شود.

$$\vec{V} : \text{ بردار}$$
$$V : \text{ اندازه یا مقدار بردار}$$

## ۱-۸-۱- روش‌های جمع و تفریق بردارها

جمع و تفریق بردارها به دو روش ۱- ترسیمی ۲- محاسباتی انجام می‌شود.

۱-۱-۸-۱- روش ترسیمی

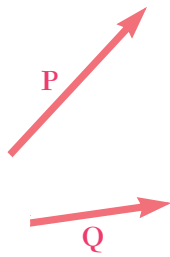
در این روش با استفاده از وسایل ترسیم و مقیاس مناسب جمع و تفریق بردارها انجام می‌شود. روش‌های ترسیمی جمع و تفریق بردارها شامل سه روش زیر می‌باشد:

الف) روش مثلث

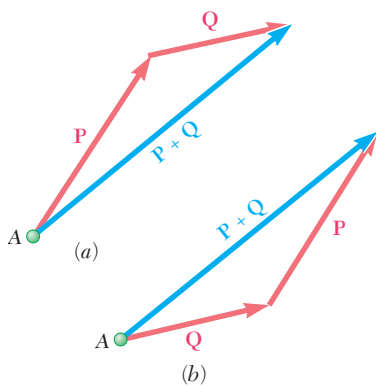
ب) روش متوازی‌الاضلاع

ج) روش چندضلعی

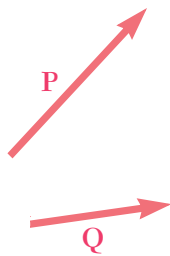
لازم به ذکر است که روش‌های مثلث و متوازی‌الاضلاع برای مجموع یا تفاضل دو بردار و روش چندضلعی برای مجموع یا تفاضل بیش از دو بردار مناسب می‌باشند.



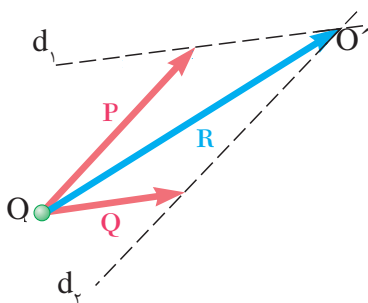
شکل ۹ ▲



شکل ۱۰ ▲



شکل ۱۱ ▲



شکل ۱۲ ▲

### الف) روش مثلث

دو بردار  $\vec{P}$  و  $\vec{Q}$  مطابق شکل (۹) مفروض است. برای به دست آوردن مجموع آن‌ها یعنی  $\vec{P} + \vec{Q}$  به صورت زیر عمل می‌کنیم:

- (۱) از نقطه دلخواه مانند  $A$  هم‌سنگ یکی از بردارها ترسیم می‌شود
- (۲) از انتهای بردار اول هم‌سنگ بردار دوم ترسیم می‌شود
- (۳) برداری که از ابتدای بردار اول به انتهای بردار دوم وصل می‌شود مجموع دو بردار خواهد بود که مقدار آن به وسیله خط کش مقیاس اندازه‌گیری می‌شود: شکل (۱۰)

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q} \quad (۳)$$

### ب) روش متوازی‌الاضلاع

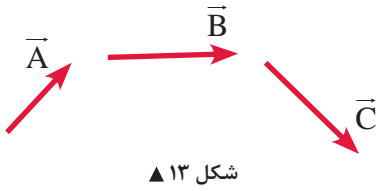
دو بردار  $\vec{P}$  و  $\vec{Q}$  مطابق شکل (۱۱) مفروض است و مجموع آن‌ها یعنی  $\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q}$  مدنظر می‌باشد. طبق قانون متوازی‌الاضلاع به شرح زیر عمل می‌نمائیم: شکل (۱۲)

- (۱) از نقطه دلخواه مانند  $O$  هم‌سنگ بردارهای  $\vec{P}$  و  $\vec{Q}$  را ترسیم می‌نمائیم
- (۲) از انتهای بردار  $\vec{P}$  به موازات بردار  $\vec{Q}$  خطی ترسیم می‌شود (خط  $d_p$ )
- (۳) از انتهای بردار  $\vec{Q}$  به موازات بردار  $\vec{P}$  خطی ترسیم می‌شود (خط  $d_q$ ) تا خط  $d_p$  را در نقطه  $O'$  قطع نماید.
- (۴) برداری که از  $O$  به  $O'$  ترسیم می‌شود همان مجموع دو بردار  $\vec{P}$  و  $\vec{Q}$  یعنی  $\vec{R}$  خواهد بود که مقدار آن با رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

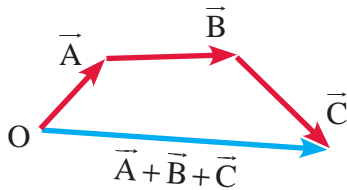
$$\begin{aligned} R^2 &= P^2 + Q^2 + 2PQ \cos O \\ R &= \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos O} \end{aligned} \quad (۴)$$

### ج) روش چندضلعی

در این روش به منظور ترسیم مجموع چند بردار مانند شکل (۱۳) از یک نقطه دلخواه مانند  $O$  هم‌سنگ بردار اول را رسم می‌کنیم و از انتهای بردار رسم شده هم‌سنگ بردار دوم ترسیم می‌شود. این روند تا ترسیم تمامی بردارها ادامه می‌یابد؛ برداری که از ابتدای بردار اول به انتهای بردار آخر رسم می‌شود، مجموع بردارها خواهد بود. شکل (۱۴)



▲ شکل ۱۳



▲ شکل ۱۴

نکته



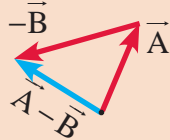
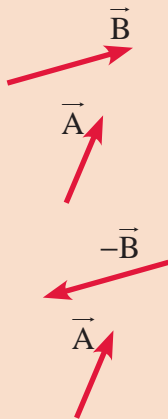
- هر گاه انتهای آخرین بردار بر ابتدای بردار اول منطبق گردد (یک چندضلعی بسته تشکیل شود)، مجموع بردارها صفر خواهد بود.
- در حالتی که بردارها موازی یا هم‌راستا باشند، برای جمع و تفریق آن‌ها کافی است با در نظر گرفتن جهت بردارها، آن‌ها را روی یک محور ترسیم نمود.

نکته

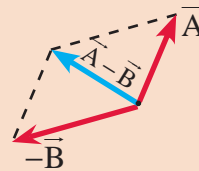


عملیات تفریق دو یا چند بردار به روش‌های فوق با استفاده از تعریف بردار مخالف مطابق شکل زیر امکان‌پذیر است. یعنی:

$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) \quad (5)$$



تفاضل بردارهای  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$   
به روش مثلث

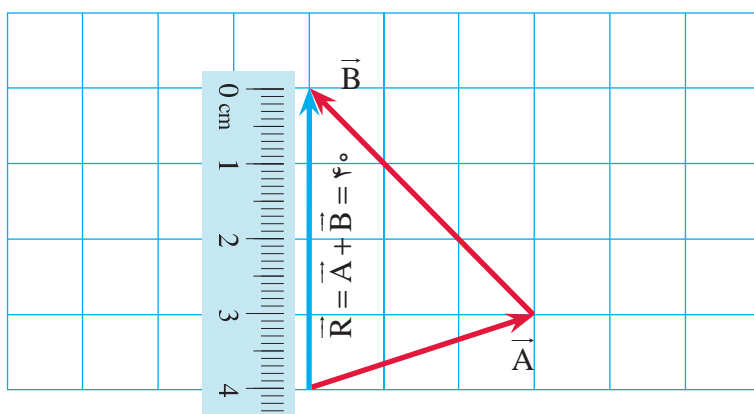
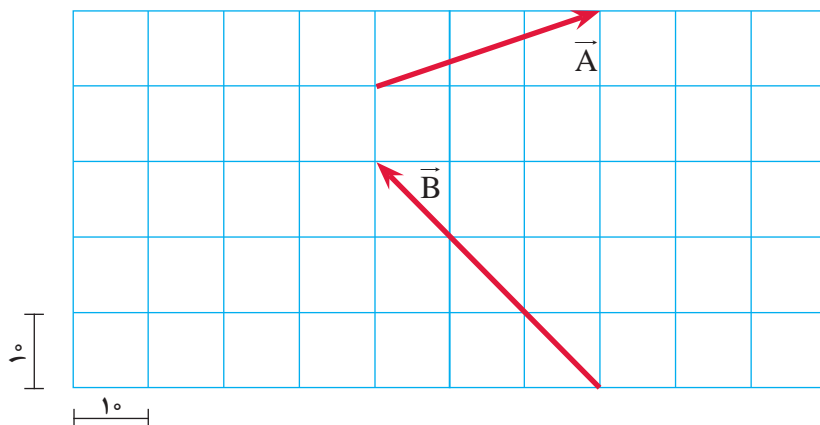


تفاضل بردارهای  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$   
به روش متوازی‌الاضلاع

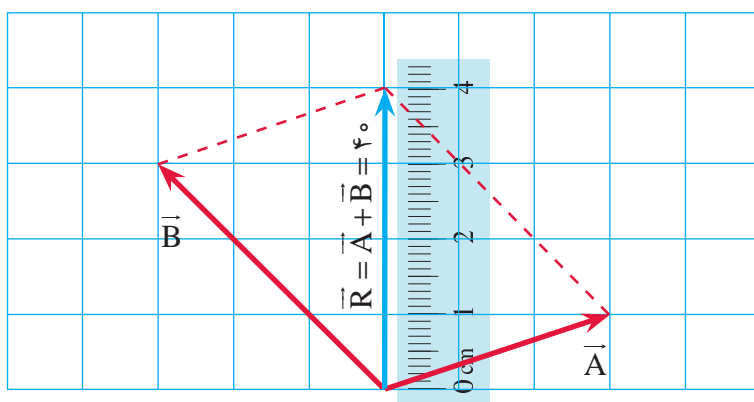
در این حالت چنانچه بخواهیم به روش محاسباتی عمل نمائیم کافیست که بردارهای موجود را دوبه‌دو با هم جمع یا تفریق نموده و حاصل هر دو بردار را با بردار بعد، جمع یا تفریق کرده و این روند را تا آخرین بردار ادامه داد.



در شکل زیر حاصل بردارهای  $\vec{A} + \vec{B}$  و  $\vec{A} - \vec{B}$  را محاسبه نمایید.  
(ابعاد شبکه برابر  $1^\circ$  واحد است)

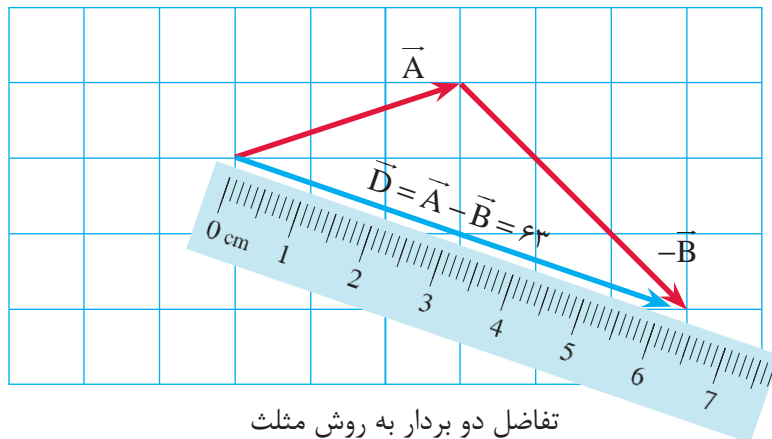


مجموع دو بردار به روش مثلث

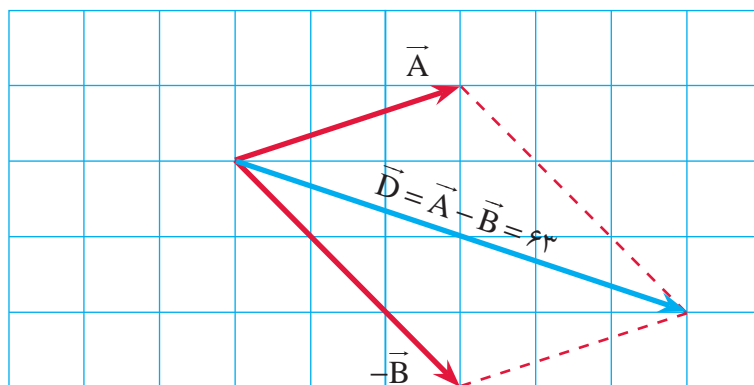


مجموع دو بردار به روش متوازی الاضلاع





تفاضل دو بردار به روش مثلث



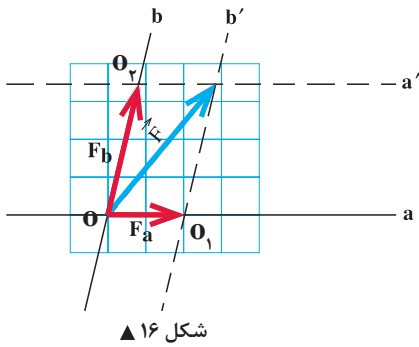
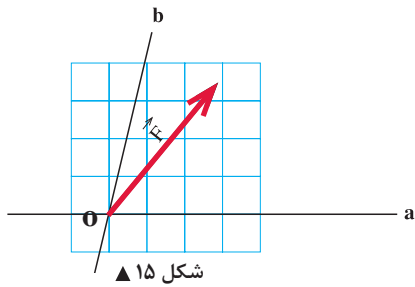
تفاضل دو بردار به روش متوازی الاضلاع

## ۹-۱- تجزیه یک بردار به مؤلفه‌های آن به روش ترسیمی

همان‌گونه که در قسمت قبل دیدیم دو بردار با امتداد و مقادیر مشخص را می‌توان با استفاده از روش‌های مثلث یا متوازی‌الاضلاع با یکدیگر جمع نمود و مجموع آن‌ها را به دست آورد؛ که این بردار مجموع را برآیند دو بردار اولیه نیز می‌نامند. حال چنانچه دو امتداد دلخواه در صفحه داشته باشیم و برداری به نام  $\vec{F}$  نیز داده شده باشد می‌توان آن را بر روی دو امتداد مورد نظر به شرح ذیل تجزیه نمود که عکس عمل جمع دو بردار می‌باشد. (شکل‌های ۱۵ و ۱۶)

(۱) از انتهای بردار  $\vec{F}$  دو خط به موازات محورهای  $\mathbf{a}$  و  $\mathbf{b}$  ترسیم نموده (خطوط  $\mathbf{a}'$  و  $\mathbf{b}'$ ) تا آن‌ها را در نقاط  $O_1$  و  $O_2$  قطع نماید.

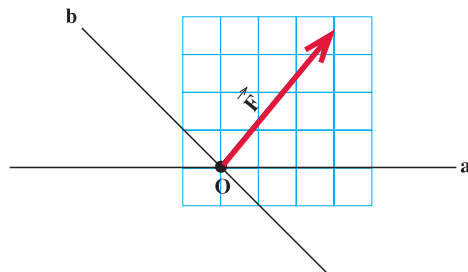
(۲) بردار  $\vec{OO_1}$  مؤلفه  $\vec{F}$  روی امتداد  $\mathbf{a}$  خواهد بود که با  $\vec{F}_a$  نشان داده می‌شود.



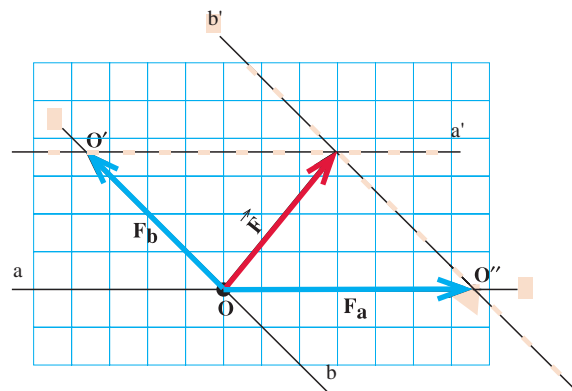
۳) بردار  $\overrightarrow{OO_1}$  مؤلفه  $\vec{F}$  روی امتداد **b** خواهد بود که با نماد  $\vec{F}_b$  نشان داده می‌شود. روش فوق، روش کلی برای تجزیه یک بردار است. حالت خاصی از آن تجزیه یک بردار روی دو محور متعامد (عمود بر هم) است که کاربرد زیادی در حل مسائل ایستایی دارد.

در شکل زیر بردار  $F$  را روی امتدادهای  $a$  و  $b$  تجزیه کنید.

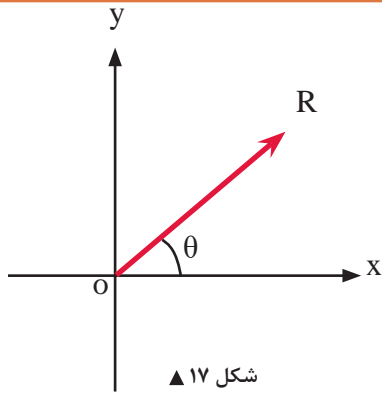
مثال ۲



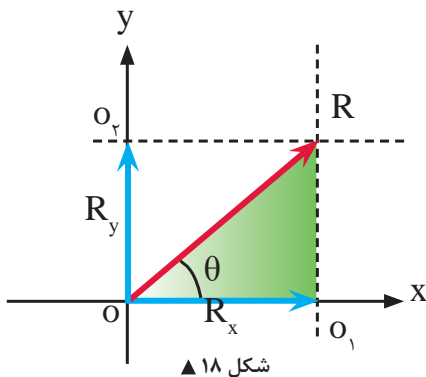
حل:



## ۱-۱۰- تجزیه یک بردار به مؤلفه‌های متعامد آن در دستگاه مختصات دکارتی به روش ترسیمی و محاسباتی



مطابق شکل (۱۷) بردار  $\vec{R}$  با زاویه  $\theta$  نسبت به محور  $x$  مفروض است. می‌خواهیم آن را روی محورهای متعامد  $x$  و  $y$  تجزیه نمائیم. چنانچه مطابق مراحل سه‌گانه در بخش (۱-۹) عمل کنیم، به شکل (۱۸) خواهیم رسید.



اندازه یا مقدار مؤلفه‌های  $R_x$  و  $R_y$  با استفاده از روابط مثلثاتی در مثلث رنگ شده شکل (۱۸) به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$\cos \theta = \frac{R_x}{R} \Rightarrow R_x = R \cdot \cos \theta$$

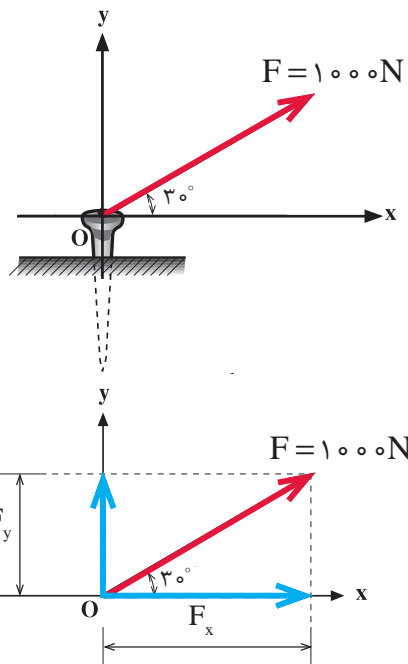
$$\sin \theta = \frac{R_y}{R} \Rightarrow R_y = R \cdot \sin \theta$$

(۶)

مثال ۳



نیروی  $F$  مطابق شکل بر میخی وارد می‌شود. مطلوب است تجزیه این نیرو روی محورهای  $x$  و  $y$  و محاسبه مقادیر مؤلفه‌ها.



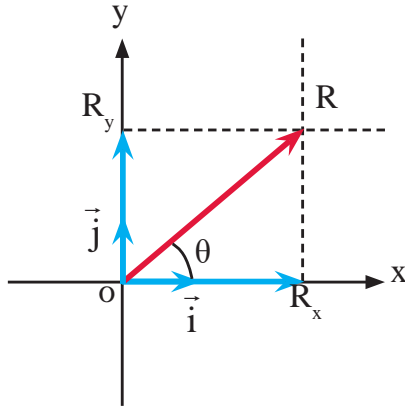
حل:

نیروی  $F$  را به مؤلفه‌های متعامد تجزیه می‌کنیم.

$$F_x = F \cos \theta = 1000 \times \cos 30^\circ \Rightarrow F_x = 866.02 \text{ N}$$

$$F_y = F \sin \theta = 1000 \times \sin 30^\circ \Rightarrow F_y = 500 \text{ N}$$

## ۱۱- نمایش برداری یک بردار در دستگاه مختصات دکارتی



شکل ۱۹ ▲

در دستگاه مختصات دکارتی محورهای  $ox$  و  $oy$  بر یکدیگر عمود بوده و بردارهای واحد (یکه) روی آن‌ها به ترتیب با  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  نمایش داده می‌شوند و برداری مانند بردار  $\vec{R}$  مطابق شکل (۱۹) در این دستگاه با رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} \quad (7)$$

که در رابطه فوق  $R_x$  مؤلفه  $\vec{R}$  روی محور  $x$  و  $R_y$  مؤلفه  $\vec{R}$  روی محور  $y$  می‌باشد.

فرم برداری بردار  $\vec{F}$  در شکل (مثال ۳) را بنویسید.

حل:

فرم برداری بردار  $\vec{F}$  به صورت  $\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j}$  می‌باشد. با توجه به نتایج مثال ۳ داریم:

$$F_x = ۸۶۶/۰۲N$$

$$F_y = ۵۰۰N$$

$$\vec{F} = ۸۶۶/۰۲\vec{i} + ۵۰۰\vec{j}$$

بنابراین:

مثال ۴



## ۱۲-۱ تعیین اندازه و زاویه امتداد یک بردار با استفاده از مؤلفه‌های متعامد آن

همان‌طور که یک بردار را می‌توان به دو مؤلفه روی امتدادهای مختلف تجزیه کرد می‌توان به کمک مؤلفه‌های یک بردار، اندازه بردار و زاویه آن را به کمک رابطه فیثاغورث و نسبت‌های مثلثاتی تعیین کرد. هر گاه برداری مانند  $\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j}$  داشته باشیم، می‌توان اندازه  $R$  و زاویه امتداد آن را با امتداد  $x$  به صورت زیر تعیین نمود:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (8)$$

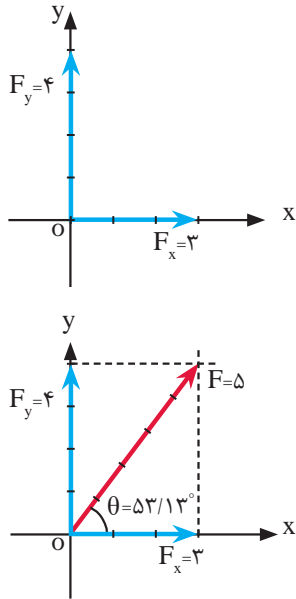
مقدار (اندازه) بردار  $R$

$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{R_y}{R_x} \right| \quad (9)$$

زاویه بردار  $R$  نسبت به محور  $x$  ها



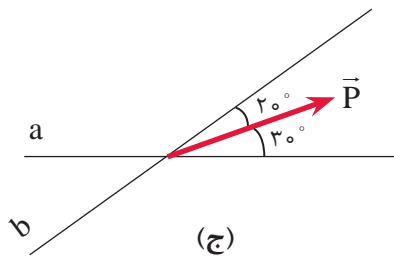
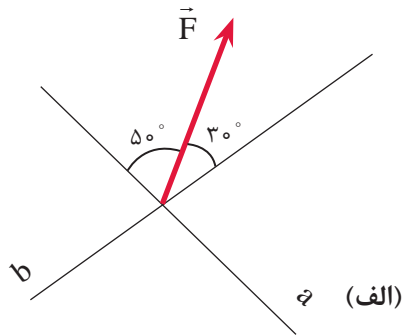
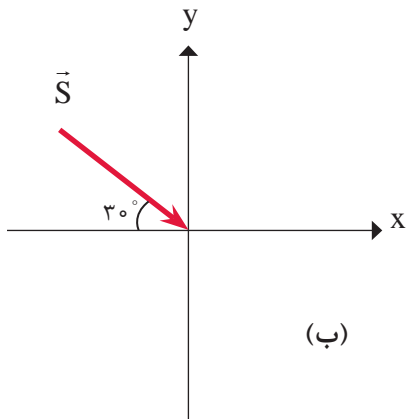
بردار  $\vec{F} = (3\vec{i} + 4\vec{j})$  را ترسیم نموده، مقدار و زاویه امتداد آن را با محور X ها به دست آورید.



$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \Rightarrow F = \sqrt{3^2 + 4^2} \Rightarrow \boxed{F=5}$$

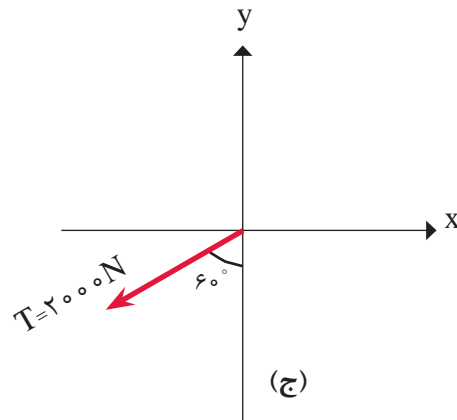
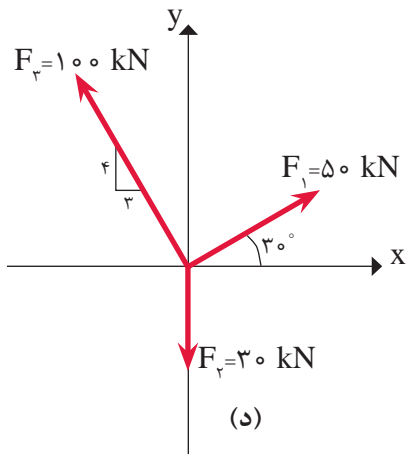
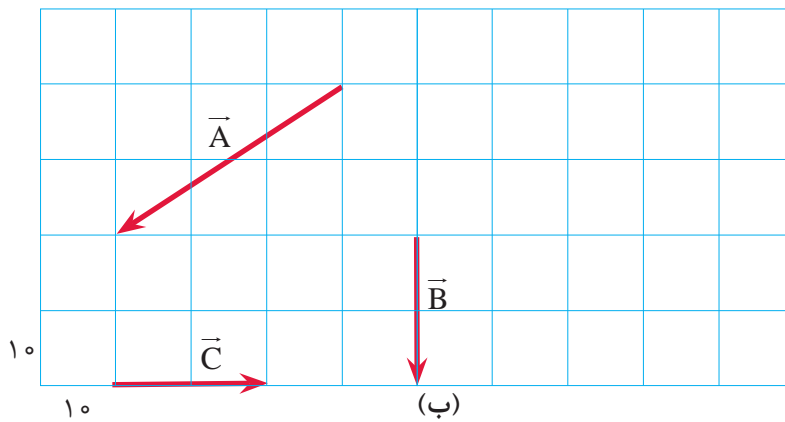
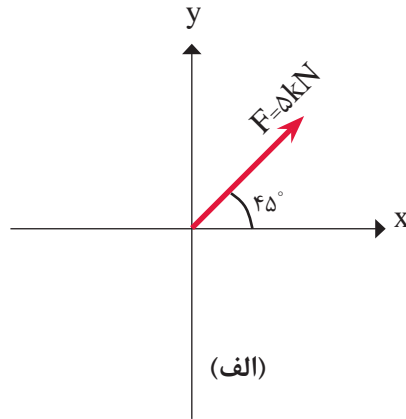
$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \Rightarrow \theta = \tan^{-1} \left| \frac{4}{3} \right| \Rightarrow \boxed{\theta = 53/13^\circ}$$

بردارهای زیر را به روش ترسیمی روی محورهای داده شده تجزیه نمایید.





بردارهای زیر را به مؤلفه‌های متعامد آن تجزیه نمائید و فرم برداری آن‌ها را بنویسید.







بردارهای زیر را ترسیم نموده و اندازه و زاویه امتداد هر یک را نسبت به محورهای X و Y تعیین کنید.

(الف)  $\vec{F} = -4\vec{i} + 3\vec{j}$

(ب)  $\vec{P} = -5\vec{i}$

(ج)  $\vec{T} = 3/5\vec{j}$

(د)  $\vec{Q} = -3\vec{i} - 3\vec{j}$



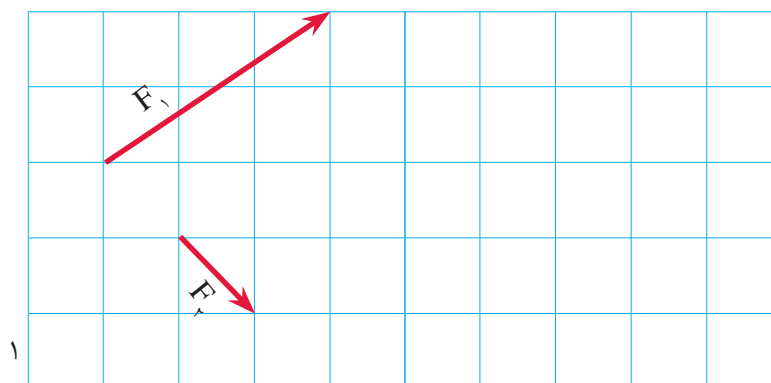
در شکل‌های زیر مطلوب است:

(الف) فرم برداری هر بردار.

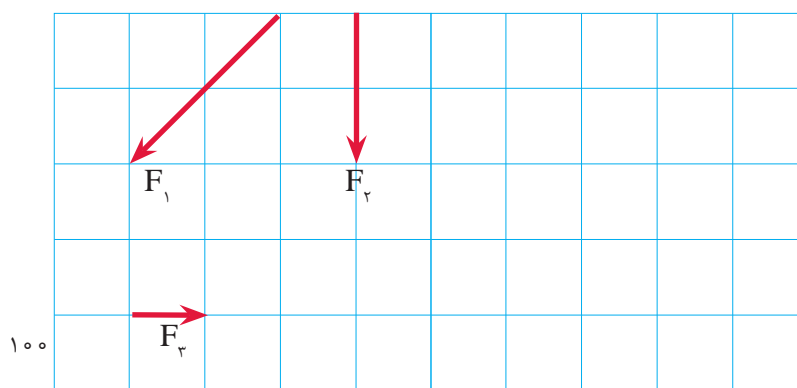
(ب) اندازه هر یک را به صورت ترسیمی (با خط کش) به دست آورید.

(ج) اندازه هر یک را به صورت محاسباتی به دست آورید.

(د) اندازه‌های محاسباتی و ترسیمی هر بردار را با هم مقایسه کنید.



(الف)



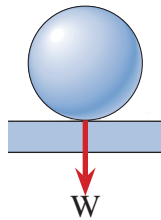
(ب)

## ۱-۱۳- نیرو

نیرو کمیتی است برداری که می‌تواند باعث تغییر در حرکت، تغییر شکل و یا چرخش در اجسام گردد.

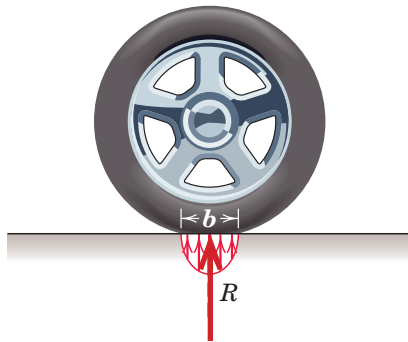
## ۱-۱۴- انواع نیرو

### ۱-۱۴-۱- نیروهای خارجی



شکل ۲۰ ▲

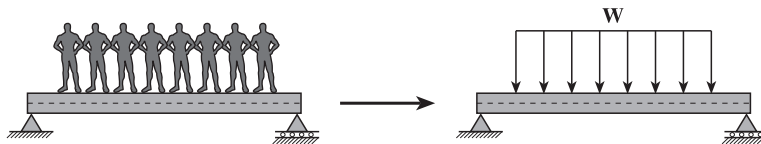
نیروهایی هستند که از محیط اطراف و در خارج از وجود جسم به آن وارد می‌شوند. مکانیک اجسام صلب (استاتیک) فقط به نیروهای خارجی توجه دارد؛ مانند: وزن گوی در شکل (۲۰) که به کف وارد می‌شود.



شکل ۲۱ ▲

الف) نیروهای متمرکز: اگر نیرو به طول کوچک و قابل اغمازی از جسم وارد گردد آن را نیروی متمرکز می‌نامند. شکل (۲۱)

ب) نیروهای گسترده: اگر نیرو در طول قابل توجهی از جسم پخش گردد آن را نیروی گسترده گویند. شکل (۲۲)



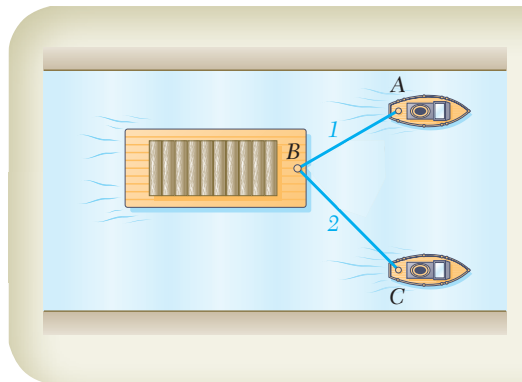
شکل ۲۲ ▲

### ۱-۱۴-۲- نیروهای داخلی

نیروهایی هستند که در داخل جسم و بین ذرات تشکیل‌دهنده آن ایجاد می‌شوند؛ مانند نیرویی که شخص هنگام اجرای بارفیکس در دستان خود احساس می‌کند؛ در مکانیک اجسام تغییرشکل‌پذیر (مقاومت مصالح) به نیروهای داخلی توجه می‌شود.

## ۱-۱۵- برآیند سامانه‌های نیرویی وارد بر نقطه مادی به روش محاسباتی

منظور از برآیند دو یا چند نیرو عبارت است از جمع برداری آن نیروها، به طوری که بردار برآیند به تنهایی اثر همه نیروهای وارد به جسم را دارا باشد. به عنوان مثال در شکل (۲۳) شناور B در مسیری به حرکت در می‌آید که در واقع امتداد بردار برآیند دو نیروی وارده از طرف قایق‌های A و C خواهد بود. این بدان معناست که می‌توان به جای دو نیروی مذکور نیروی برآیند آن‌ها را در امتداد مسیر حرکت شناور قرار داده و آن را به حرکت درآورد.

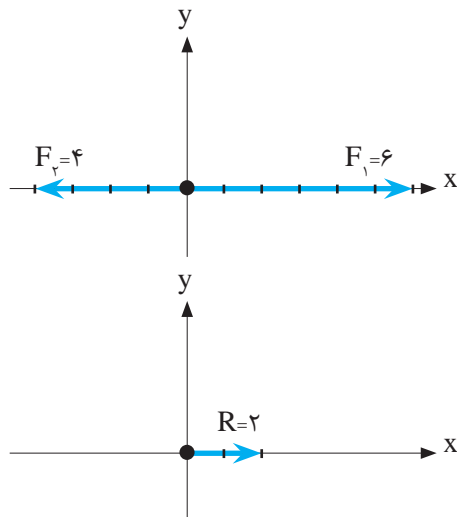


شکل ۲۳ ▲

## ۱-۱۵-۱- برآیند نیروهای هم‌راستا و موازی

برای محاسبه برآیند نیروهای هم‌راستا کافی است مقادیر آن‌ها را با یکدیگر جمع جبری نماییم.

دو نیروی  $F_1 = 6\vec{i}$  و  $F_2 = -4\vec{i}$  را روی محورهای مختصات ترسیم نموده و برآیند آن‌ها را محاسبه و ترسیم نمایید.



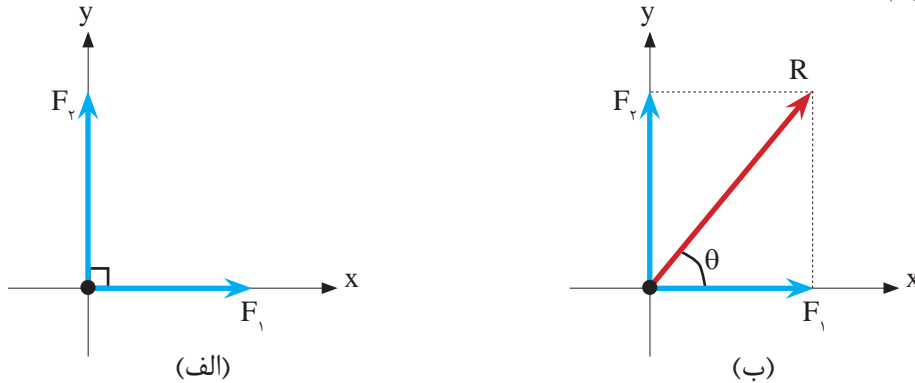
$$\begin{aligned}\vec{R} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\ \vec{R} &= 6\vec{i} - 4\vec{i} \Rightarrow \vec{R} = 2\vec{i}\end{aligned}$$

مثال ۶



### ۱-۱۵-۲- برآیند دو نیروی متعامد

برای محاسبه مقدار برآیند دو نیروی متعامد مطابق شکل (۲۴-الف) با استفاده از رابطه فیثاغورث و شکل (۲۴-ب) داریم:



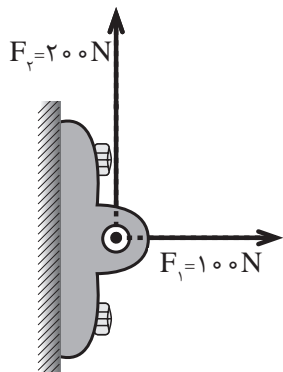
شکل ۲۴ ▲

$$R^2 = F_x^2 + F_y^2 \Rightarrow R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (10)$$

و برای محاسبه زاویه برآیند با  $F_x$  می‌توان از رابطه تانژانت استفاده نمود:

$$\tan \theta = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} \Rightarrow \theta = \tan^{-1} \left( \frac{F_y}{F_x} \right) \quad (11)$$

مثال ۷

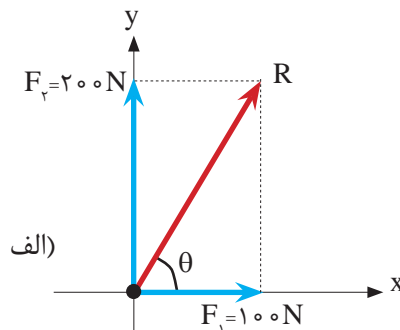


در شکل زیر مطلوب است:

الف) ترسیم برآیند ( $R$ )

ب) تعیین مقدار برآیند

ج) تعیین زاویه برآیند با افق یا امتداد  $F_x$

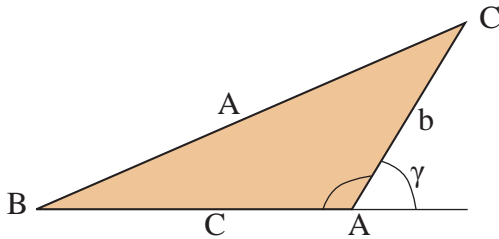


ب)  $R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{100^2 + 200^2} = \sqrt{50000} \Rightarrow R = 223/61 \text{ N}$

ج)  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{F_y}{F_x} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{200}{100} \right) \Rightarrow \theta = 63/43^\circ$

### ۱-۱۵-۳- برآیند دو نیروی غیر متعامد

در این سیستم شرط لازم بسته شدن سه ضلعی نیروهاست، اما تفاوتی که این حالت با حالت متعامد دارد غیر مشخص بودن سه ضلعی (مثلث) نیروهاست. به همین دلیل استفاده از قانون متوازی الاضلاع برای حل ترسیمی و استفاده از قانون سینوس ها و کسینوس ها برای حل مثلثاتی کارآمد خواهد بود.



شکل ۲۵ ▲

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

$$a^2 = b^2 + c^2 + 2bc \cos \gamma$$

#### قانون کسینوس ها در مثلث

علائم:

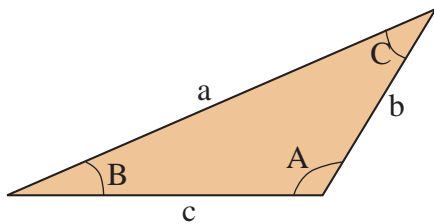
a؛ ضلع روبروی زاویه A یا برآیند اضلاع دیگر،

c و b؛ اضلاع مجاور زاویه A،

A؛ زاویه داخلی مثلث نیروها،

γ؛ زاویه خارجی مثلث نیروها یا زاویه بین ضلع b

و امتداد ضلع c.



$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

شکل ۲۶ ▲

#### قانون سینوس ها در مثلث

علائم:

A و B و C؛ زوایای داخلی مثلث نیروها،

a؛ ضلع مقابل زاویه A،

b؛ ضلع مقابل زاویه B،

c؛ ضلع مقابل زاویه C.

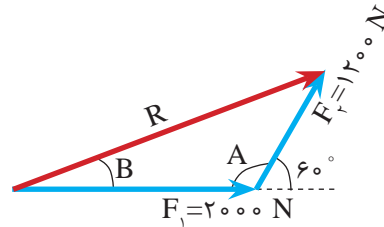
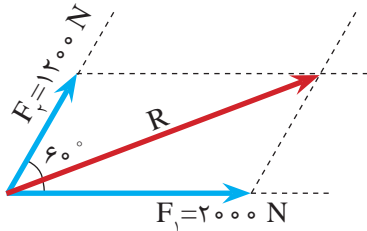
دو نیروی غیر متعامد بر تنه درختی مطابق شکل وارد می شوند. مطلوب است:

الف) محاسبه مقدار برآیند.

ب) محاسبه زاویه برآیند با افق.

مثال ۸

**حل:** ابتدا با استفاده از قانون متوازی الاضلاع مقدار و جهت برآیند را به صورت ترسیمی تعیین می‌کنیم و سپس با استفاده از قانون کسینوس‌ها و یا سینوس‌ها مقدار دقیق برآیند و زاویه آن را با افق محاسبه می‌کنیم.



الف- با استفاده از قانون کسینوس‌ها داریم:

$$A = 180 - 60 = 120^\circ$$

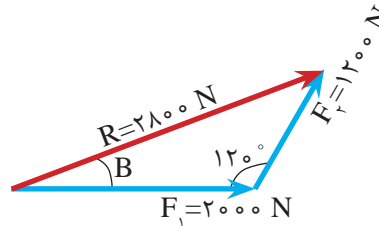
$$R^2 = 2000^2 + 1200^2 - 2 \times 2000 \times 1200 \times \cos 120 = 7840000$$

$$R = \sqrt{7840000} = 2800 \text{ N}$$

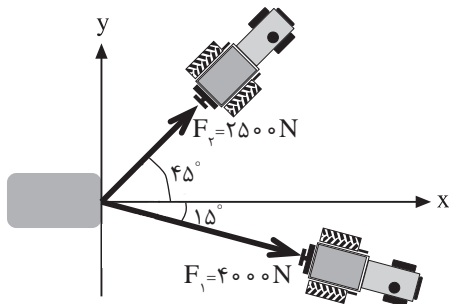
ب- با استفاده از قانون سینوس‌ها داریم:

$$\frac{2800}{\sin 120} = \frac{1200}{\sin B} \Rightarrow \sin B = \frac{1200}{2800} \times \sin 120$$

$$\sin B = 0.371 \Rightarrow B = \sin^{-1}(0.371) = 21.787^\circ$$



زاویه برآیند با  $F_1$  یا افق  $B = \sin^{-1}(0.371) = 21.787^\circ$



دو نیرو مطابق شکل توسط دو کابل بر یک سنگ معدنی وارد می‌شود. مطلوب است:

مثال ۹

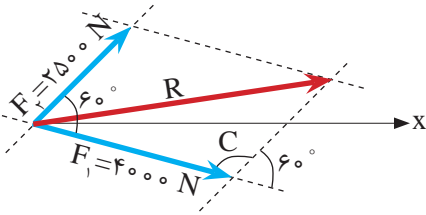


- الف) نمایش برداری برآیند
- ب) نمایش ترسیمی بردار برآیند
- ج) محاسبه اندازه بردار برآیند
- د) محاسبه زاویه برآیند با افق
- ه) ترسیم مسیر جابه‌جایی سنگ



حل:

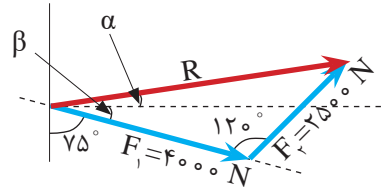
الف) با استفاده از قانون کسینوس ها داریم:



$$C = 180 - 60 = 120^\circ$$

$$R^2 = 4000^2 + 2500^2 - 2 \times 4000 \times 2500 \times \cos 120 = 32250000$$

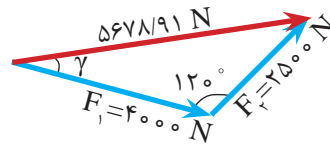
$$R = 5678/91 \text{ N}$$



ب) با استفاده از قانون سینوس ها داریم:

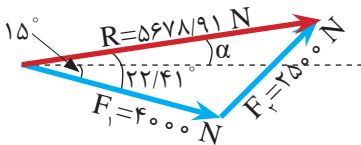
$$\frac{5678/91}{\sin 120} = \frac{2500}{\sin \gamma}$$

$$\Rightarrow \sin \gamma = \frac{2500}{5678/91} \times \sin 120 = 0/381$$



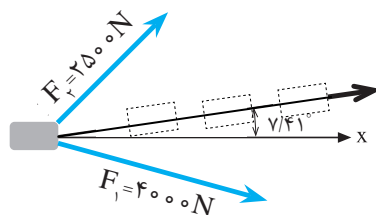
زاویه نیروی  $F_1$  با برآیند  $\gamma = 22/411^\circ$

زاویه برآیند با افق به طریق زیر به دست می آید.



زاویه برآیند با افق  $\alpha = 22/411 - 15 = 7/41^\circ$

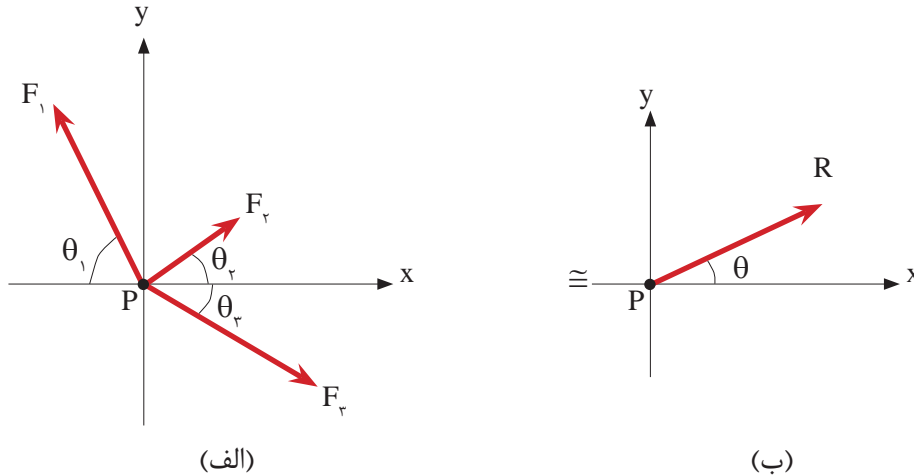
ج)



مسیر جابه جایی سنگ

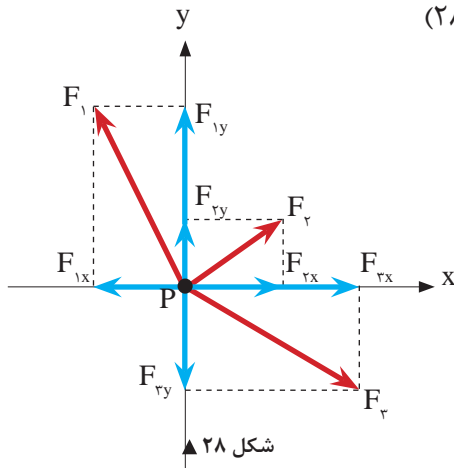
### ۱-۱۵-۴- محاسبه برآیند سامانه چندنیروی وارد به نقطه مادی

هر گاه بر یک نقطه مادی مانند P مطابق شکل (۲۷-الف) نیروهای  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$  وارد شود، به کمک تجزیه به شرح زیر می توان اندازه برآیند این نیروها (R) و راستای برآیند با محور X یعنی  $(\theta)$  را تعیین نمود. شکل (۲۷-ب)



شکل ۲۷ ▲

گام اول: تجزیه هر یک از نیروها روی محورهای X و Y؛ (شکل ۲۸)



شکل ۲۸ ▲

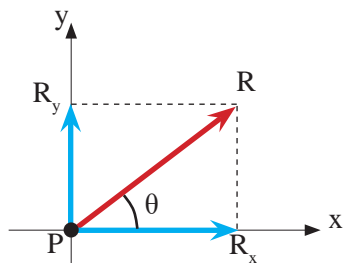
گام دوم: نمایش برداری تمامی نیروها بر حسب بردارهای یکه  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$ ؛  
گام سوم: محاسبه جمع جبری نیروهای هم راستا روی محورهای X و Y

$$R_x = \sum F_x \quad , \quad R_y = \sum F_y \quad (12)$$

$\sum F_x$ : مجموع مؤلفه های هم راستا با محور X  $(\sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x})$   
 $\sum F_y$ : مجموع مؤلفه های هم راستا با محور Y  $(\sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y})$

گام چهارم: نمایش برداری بردار برآیند ( $\vec{R}$ ) مطابق رابطه (۱۱)

$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} \quad (۱۳)$$



شکل ۲۹ ▲

گام پنجم: نمایش ترسیمی بردار برآیند مطابق شکل (۲۹)  
گام ششم: محاسبه اندازه (مقدار) برآیند با استفاده از رابطه فیثاغورث

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (۱۴)$$

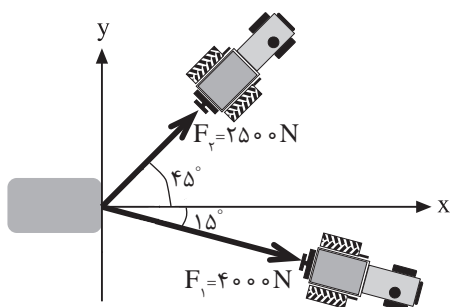
گام هفتم: محاسبه زاویه برآیند با امتداد محور  $x$  ها ( $\theta$ )  
با استفاده از رابطه تانژانت و با توجه به شکل ترسیم شده

$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{R_y}{R_x} \right| \quad (۱۵)$$

مثال ۱۰



دو نیرو مطابق شکل توسط دو کابل بر یک سنگ معدنی وارد می شود. مطلوب است:



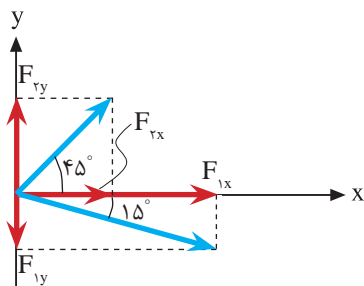
- الف) نمایش برداری برآیند
- ب) نمایش ترسیمی بردار برآیند
- ج) محاسبه اندازه بردار برآیند
- د) محاسبه زاویه برآیند با افق
- ه) ترسیم مسیر جابه جایی سنگ

حل:

الف)

گام اول:

- تجزیه نیروها با توجه به اندازه و زاویه هر نیرو

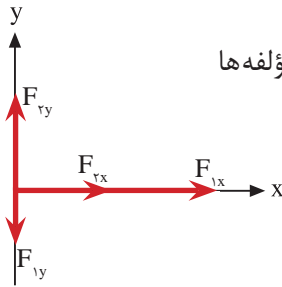


$$\text{مؤلفه های } F_l \begin{cases} F_{lx} = F_l \cos \theta_l = 4000 \times \cos 15^\circ \Rightarrow F_{lx} = 3863/70 \text{ N} \\ F_{ly} = F_l \sin \theta_l = 4000 \times \sin 15^\circ \Rightarrow F_{ly} = 1035/28 \text{ N} \end{cases}$$

$$\text{مؤلفه های } F_r \begin{cases} F_{rx} = F_r \cos \theta_r = 2500 \times \cos 45^\circ \Rightarrow F_{rx} = 1767/77 \text{ N} \\ F_{ry} = F_r \sin \theta_r = 2500 \times \sin 45^\circ \Rightarrow F_{ry} = 1767/77 \text{ N} \end{cases}$$

گام دوم:

- فرم برداری هر بردار با توجه به شکل مقابل و جهت هر یک از مؤلفه‌ها



$$\vec{F}_1 = 3863/70 \vec{i} - 1035/28 \vec{j}$$

$$\vec{F}_2 = 1767/77 \vec{i} + 1767/77 \vec{j}$$

گام سوم:

- تعیین مجموع نیروهای هم‌راستا با محورهای  $\mathbf{x}$  و  $\mathbf{y}$  ( $\Sigma F_x$  و  $\Sigma F_y$ )

$$R_x = \Sigma F_x = 1767/77 + 3863/70 \Rightarrow R_x = 5631/47 \text{ N}$$

$$R_y = \Sigma F_y = 1767/77 - 1035/28 \Rightarrow R_y = 732/49 \text{ N}$$

گام چهارم:

- نمایش برداری بردار برآیند

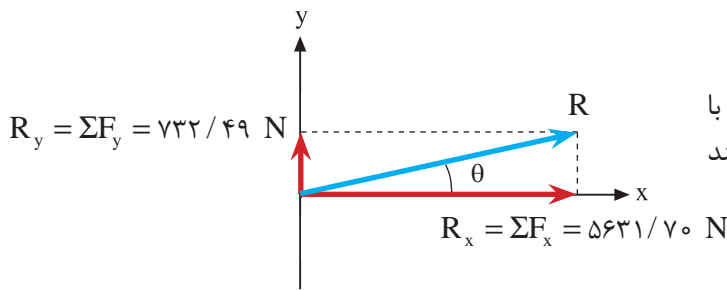
$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j}$$

$$\vec{R} = 5631/47 \vec{i} + 732/49 \vec{j}$$

(ب)

گام پنجم:

- نمایش ترسیمی بردار برآیند با توجه به فرم برداری بردار برآیند و روش متوازی‌الاضلاع



(ج)

گام ششم:

- محاسبه اندازه برآیند به کمک رابطه (۳-۷)

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \Rightarrow R = \sqrt{5631/47^2 + 732/49^2}$$

$$\Rightarrow R = 5678/91 \text{ N}$$

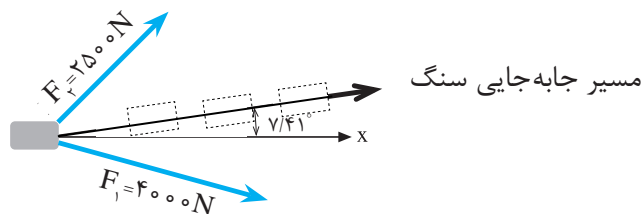
(د)

گام هفتم:

- محاسبه زاویه برآیند با محور  $\mathbf{x}$  ها به کمک رابطه (۳-۸)

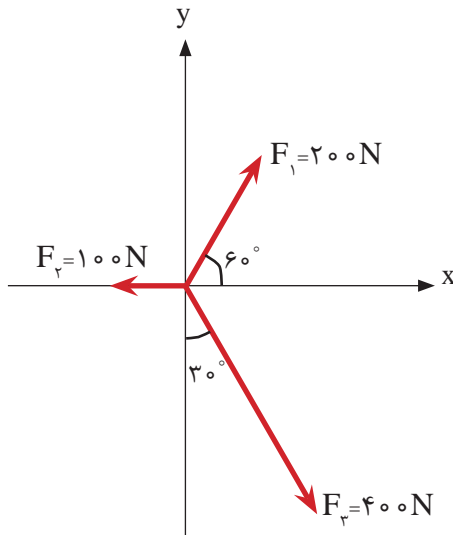
$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{R_y}{R_x} \right| \Rightarrow \theta = \tan^{-1} \left| \frac{732/49}{5631/70} \right| \Rightarrow \theta = 7/41^\circ$$

(ه) مسیر جابه‌جایی سنگ در راستای بردار برآیند مطابق شکل زیر خواهد بود.





- در شکل روبه‌رو مطلوب است:
- الف - محاسبه مقدار برآیند نیروها
  - ب - محاسبه زاویه برآیند با افق
  - ج - ترسیم بردار برآیند
  - د - نمایش برداری بردار برآیند



حل:

الف) تجزیه هر یک از نیروها با توجه به روابط  $F_x = F \cos \theta$  و  $F_y = F \sin \theta$  و زاویه هر نیرو با محور  $x$ ها:

$$\vec{F}_1 = 200 \cos 60^\circ \vec{i} + 200 \sin 60^\circ \vec{j} = 100 \vec{i} + 173/2 \vec{j}$$

$$\vec{F}_2 = -100 \vec{i}$$

$$\vec{F}_3 = 400 \cos 30^\circ \vec{i} - 400 \sin 30^\circ \vec{j} = 200 \vec{i} - 346/4 \vec{j}$$

$$R_x = \Sigma F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$$

$$R_x = \Sigma F_x = 100 - 100 + 200 \Rightarrow R_x = 200 \text{ N}$$

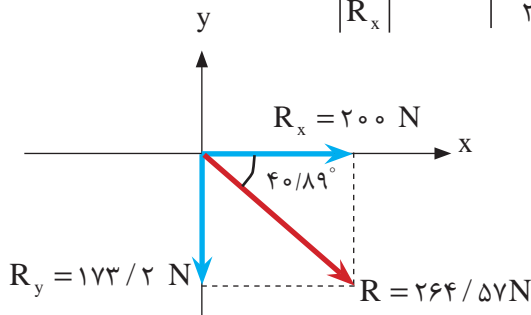
$$R_y = \Sigma F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}$$

$$R_y = \Sigma F_y = 173/2 + 0 - 346/4 \Rightarrow R_y = -173/2 \text{ N}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{200^2 + (-173/2)^2} \Rightarrow \boxed{R = 264/57 \text{ N}}$$

(ب)

$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{R_y}{R_x} \right| = \tan^{-1} \left| \frac{-173/2}{200} \right| \Rightarrow \boxed{\theta = 40/89^\circ}$$

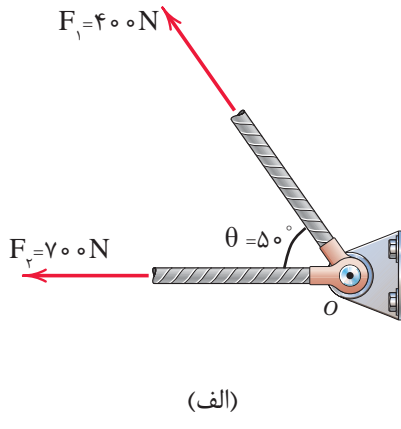


(ج)

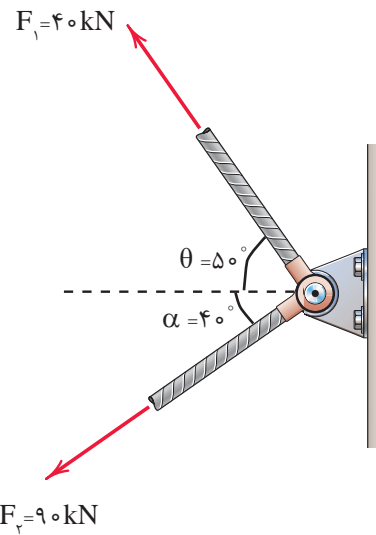
$$\vec{R} = 200 \vec{i} - 173/2 \vec{j} \quad (د)$$



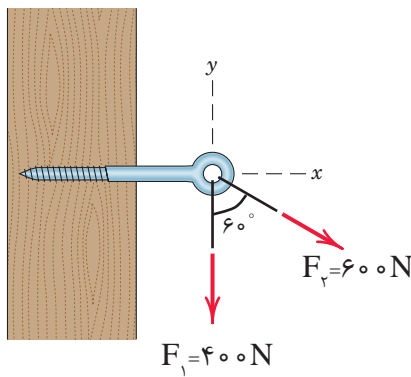
در شکل‌های زیر مطلوب‌است:  
الف) محاسبه مقدار برآیند دو نیرو  
ب) محاسبه زاویه برآیند با  $F_1$   
ج) محاسبه زاویه برآیند با امتداد افق



(الف)

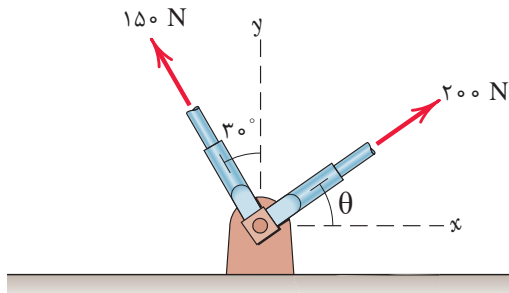


(ب)



(ج)

در شکل زیر مقدار زاویه  $\theta$  را چنان تعیین نمایید که برآیند دو نیرو بر محور  $y$  ها منطبق گردد. سپس در این حالت مقدار برآیند را محاسبه کنید. (راهنمایی: از روش تجزیه به مؤلفه‌های متعامد استفاده شود).

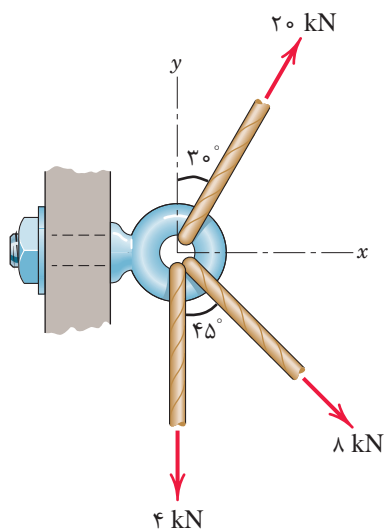




فعالیت  
کلاسی ۷



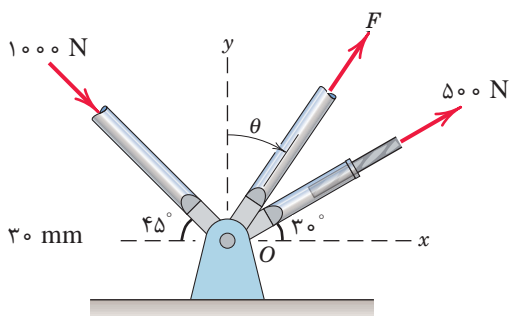
در شکل روبه‌رو مطلوب است:  
الف) محاسبه مقدار برآیند نیروها  
ب) محاسبه زاویه برآیند با افق  
ج) ترسیم بردار برآیند  
د) نمایش برداری برآیند



فعالیت  
کلاسی ۸



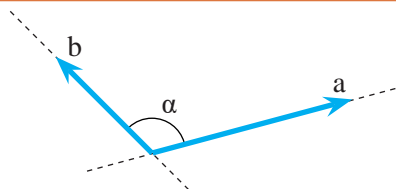
۴- در شکل زیر نیروی  $F$  و زاویه  $\theta$  را طوری تعیین نمایید که برآیند نیروها روی محور افق و مقدار آن برابر  $1500\text{ N}$  در جهت مثبت باشد.



## واحد یادگیری ۲

### کاربرد ضرب بردارها

#### ۲-۱- ضرب بردارها



شکل ۱ ▲

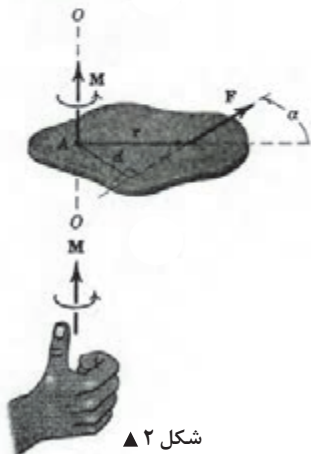
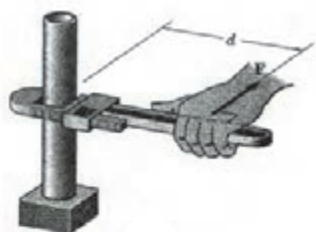
ضرب بردارها  $\left\{ \begin{array}{l} \text{ضرب نقطه‌ای (داخلی)} \\ \text{ضرب برداری (خارجی)} \end{array} \right.$

ضرب داخلی یا ضرب نقطه‌ای: در شکل مقابل دو بردار  $a$  و  $b$  با زاویه بین  $\alpha$  خواهیم داشت:

$$a \cdot b = |a| \times |b| \times \cos \alpha$$

منظور از  $|a|$  مقدار بردار  $\vec{a}$  می‌باشد.

حاصلضرب داخلی دو بردار، یک عدد می‌باشد.



شکل ۲ ▲

ضرب خارجی یا ضرب برداری:  $\vec{a} \times \vec{b}$

$$|\vec{a} \times \vec{b}| = |a| \times |b| \times \sin \alpha$$

حاصلضرب برداری دو بردار، برداری است که عمود بر صفحه گذرنده از دو بردار بوده و جهت آن مطابق قانون دست راست تعریف می‌شود. (شکل ۲)

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} \times \vec{b} \neq \vec{b} \times \vec{a}$$

در ضرب داخلی یا نقطه‌ای خاصیت جابه‌جایی وجود دارد. یعنی:  
اما در ضرب خارجی یا برداری دو بردار، خاصیت جابه‌جایی وجود ندارد. یعنی:

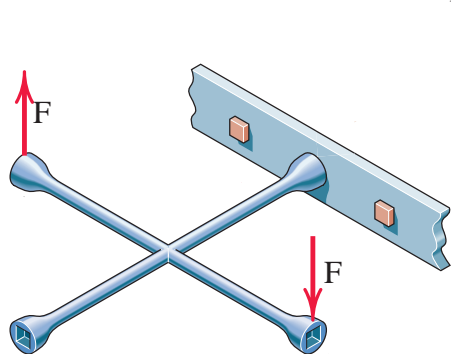
نکته



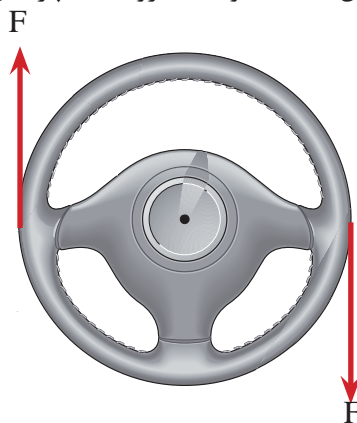
## ۲-۲- گشتاور، لنگر (ممان)

یکی از اثرات نیرو بر اجسام تمایل به ایجاد چرخش در آن‌ها می‌باشد که به این پدیده گشتاور گفته می‌شود.

مطابق شکل‌های (۳) و (۴) نیرو باعث چرخش در اجسام می‌گردد.



شکل ۴ ▲



شکل ۳ ▲

### ۲-۲-۱- گشتاور نیرو

در شکل ۵-a گشتاور نیروی  $F$  که باعث چرخش میله می‌گردد، حاصلضرب برداری دو بردار  $\vec{r}$  (بردار مکان یا موقعیت) و بردار نیروی  $F$  می‌باشد. (شکل ۵-b). یعنی:

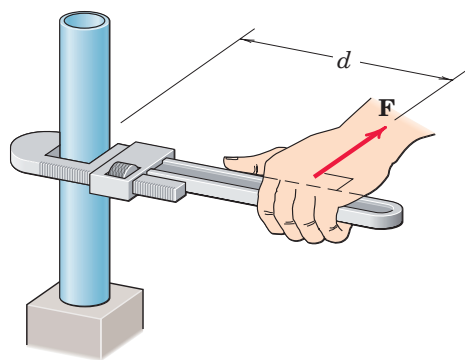
$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

مطابق تعریف

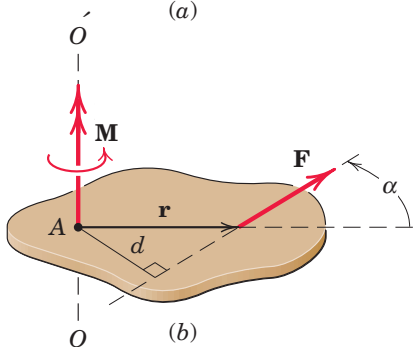
$$|M| = |F| \cdot |r| \cdot \sin \alpha$$

$$M = F \cdot d$$

در این رابطه  $F$  مقدار نیرو،  $d$  کوتاه‌ترین فاصله تا نقطه‌ای که میله حول آن به چرخش درمی‌آید (فاصله عمود بر امتداد نیرو تا نقطه  $O$ ) می‌باشد. در این پودمان به دلیل بررسی نیروها در صفحه، گشتاور حول نقطه در نظر گرفته می‌شود لذا امتداد آن عمود بر صفحه و جهت چرخش آن در جهت عقربه‌های ساعت  $\curvearrowright$  و یا خلاف عقربه‌های ساعت  $\curvearrowleft$  خواهد بود.



(a)



(b)

شکل ۵ ▲

**قرارداد:** در این پودمان جهت چرخش عقربه‌های ساعت مثبت فرض می‌شود.

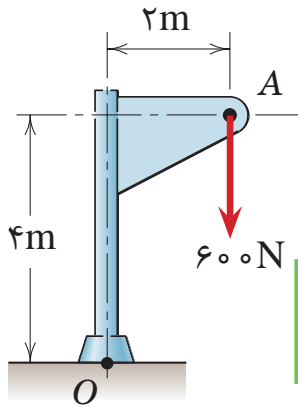
نکته



مثال ۱



گشتاور نیروی F حول نقطه O را محاسبه و جهت چرخش آن را بنویسید.



$$F = 600 \text{ N}$$

$$d = 2 \text{ m}$$

$$M_o = F \cdot d \Rightarrow M_o = 600 \times 2 \Rightarrow M_o = 1200 \text{ N.m}$$

حل:

ساعت گرد

## ۲-۳- گشتاور چند نیرو

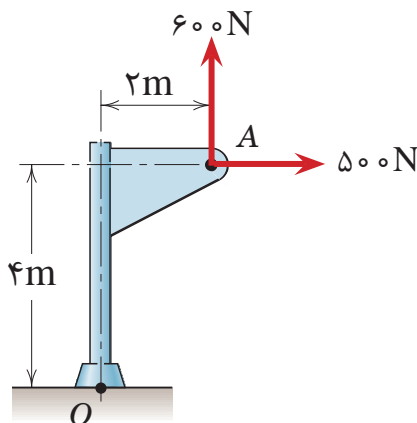
اگر به یک جسم چند نیرو اعمال شود گشتاور آن‌ها نسبت به یک نقطه برابر است با مجموع جبری گشتاور هر نیرو نسبت به آن نقطه یعنی:

$$M_o = \sum_{i=1}^n F_i d_i = F_1 d_1 + F_2 d_2 + \dots + F_n d_n$$

مثال ۲



در شکل زیر گشتاور نیروهای نشان داده شده را حول نقطه O محاسبه کنید و جهت آن را بنویسید.



حل:

$$F_1 = 500 \text{ N}$$

$$d_1 = 4 \text{ m}$$

$$F_2 = 600 \text{ N}$$

$$d_2 = 2 \text{ m}$$

$$M_o = F_1 d_1 + F_2 d_2$$

$$M_o = 500 \times 4 - 600 \times 2$$

$$M_o = +800 \text{ N.m}$$

ساعت گرد

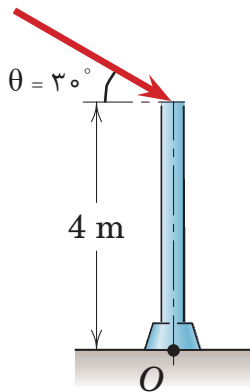
## ۴-۲- قضیه وارینون

گشتاور برآیند چند نیرو حول یک نقطه معین برابر است با مجموع گشتاورهای آن‌ها حول همان نقطه و یا گشتاور یک نیرو حول هر نقطه برابر است با مجموع گشتاورهای مؤلفه‌های آن نیرو حول همان نقطه. کاربرد این قضیه در مثال (۳) نشان داده شده است.

مثال ۳



$$F = 600 \text{ N}$$



گشتاور نیروی  $F$  را در شکل زیر به دو روش حساب کنید:

الف) با استفاده از تعریف گشتاور

ب) به کمک قضیه وارینون

حل:

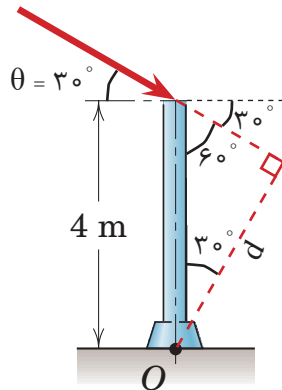
الف) با استفاده از تعریف:

ابتدا با استفاده از روابط مثلثاتی در مثلث

قائم‌الزاویه بازوی لنگر یعنی  $d$  را محاسبه

می‌نمائیم؛ داریم:

$$F = 600 \text{ N}$$



$$\cos \alpha = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$$

$$\cos 30^\circ = \frac{d}{4} \Rightarrow d = 4 \times \cos 30^\circ \Rightarrow d = 3.46 \text{ m}$$

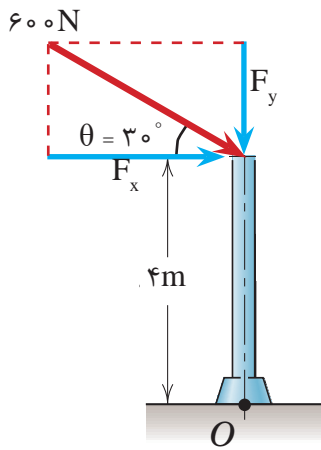
$$M_o = F \cdot d \Rightarrow M_o = 600 \times 3.46 \Rightarrow \boxed{M_o = 2078.4 \text{ N.m}}$$

ب) با استفاده از قضیه وارینون

در این روش ابتدا نیروی  $F$  را به دو مؤلفه متعامد تجزیه نموده و گشتاور آن‌ها را نسبت به نقطه  $O$  محاسبه و با یکدیگر جمع می‌نمائیم.

$$F_x = F \cdot \cos \theta \Rightarrow F_x = 600 \times \cos 30^\circ \Rightarrow F_x = 519.61 \text{ N}$$

$$F_y = F \cdot \sin \theta \Rightarrow F_y = 600 \times \sin 30^\circ \Rightarrow F_y = 300 \text{ N}$$



با توجه به شکل بازوی لنگر  $F_x$  برابر ۴ متر و چون امتداد مؤلفه  $F_y$  از نقطه  $O$  می‌گذرد، بازوی لنگر آن صفر است. بنابراین خواهیم داشت:

$$M_o = \sum_{i=1}^n F_i d_i \Rightarrow M_o = F_x d_x + F_y d_y$$

$$M_o = F_x \times 4 + F_y \times 0 = 519.61 \times 4$$

$$M_o = 2078.44 \text{ N.m}$$

هرگاه امتداد یک نیرو از یک نقطه بگذرد گشتاور آن نیرو نسبت به آن نقطه صفر است.

نکته



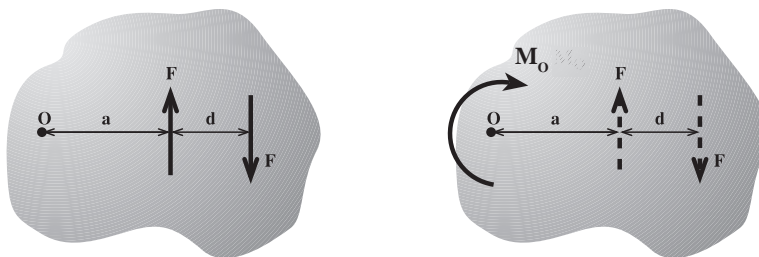
## ۲-۵- زوج نیرو

به دو نیروی مساوی - موازی و مختلف‌الجهت زوج نیرو گفته می‌شود.

### ۲-۵-۱- خصوصیات زوج نیرو

- ۱- برآیند زوج نیرو صفر است؛
- ۲- در اجسام ایجاد گشتاور (چرخش) می‌نماید؛
- ۳- گشتاور زوج نیرو نسبت به هر نقطه دلخواه مقداری است ثابت و برابر است با حاصل ضرب مقدار یک نیرو در فاصله بین آن‌ها. (شکل ۶)

$$M = F \cdot d$$



شکل ۶ ▲

چگونه می‌توان به کمک گشتاورگیری نسبت به یک نقطه دلخواه مانند  $O$  در شکل (۶) خصوصیت سوم زوج نیرو را اثبات کرد.

تحقیق کنید



مثال ۴



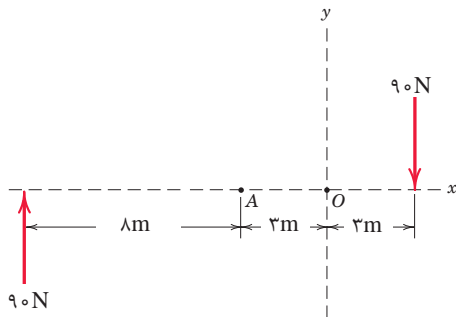
در شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه گشتاور دو نیروی ۹۰ نیوتنی:

الف) حول نقطه A

ب) حول نقطه O

ج) با استفاده از خاصیت زوج نیرو

حل:



$$M_A = 90 \times 8 + 90 \times 6 = 1260 \text{ N.m} \quad \text{الف)}$$

$$M_O = 90 \times 11 + 90 \times 3 = 1260 \text{ N.m} \quad \text{ب)}$$

$$M = F.d = 90 \times 14 = 1260 \text{ N.m} \quad \text{ج)}$$

نکته



جمع بندی نکات پودمان ۱ (تحلیل مکانیک برداری):

- نیرو کمیتی است برداری که باعث حرکت، تغییر شکل و یا چرخش اجسام می‌گردد.
- انواع نیرو عبارتند از: نیروهای خارجی، نیروهای داخلی.
- منظور از برآیند دو یا چند نیرو عبارت است از نیرویی که به تنهایی اثر همه نیروها را در خود داشته باشد.

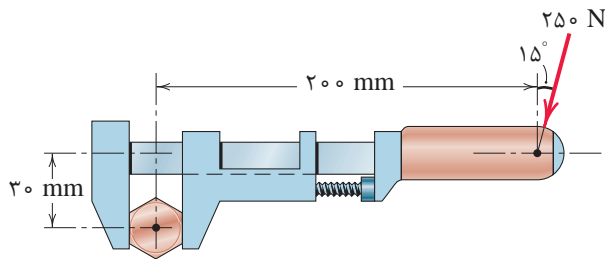
• برای تعیین برآیند چند نیرو از روش تجزیه به مؤلفه‌های متعامد استفاده می‌شود و مقدار برآیند از

$$\text{رابطه} \quad R = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2}$$

و زاویه برآیند با محور x ها از رابطه  $\theta = \tan^{-1} \left| \frac{R_y}{R_x} \right|$  به دست می‌آید.

- گشتاور یک نیرو نسبت به یک محور عبارت است از حاصل ضرب نیرو (F) در کوتاه‌ترین فاصله نیرو تا آن محور (d). و از رابطه  $M = F.d$  به دست می‌آید.
- قضیه وارینون: گشتاور برآیند چند نیرو حول یک نقطه معین برابر است با مجموع گشتاورهای آن‌ها حول همان نقطه.
- به دو نیروی مساوی، موازی و مختلف‌الجهت زوج نیرو گفته می‌شود.
- گشتاور زوج نیرو برابر است با حاصل ضرب یکی از نیروها در فاصله بین آن‌ها.

فعالیت  
کلاسی ۱

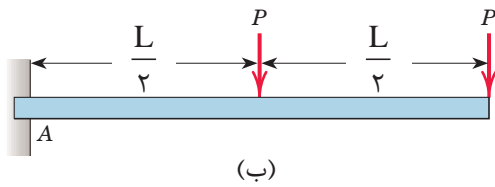


در شکل روبه‌رو گشتاور نیروی  $250^\circ$  نیوتنی را حول مرکز پیچ محاسبه نموده و جهت گشتاور را تعیین نمایید.

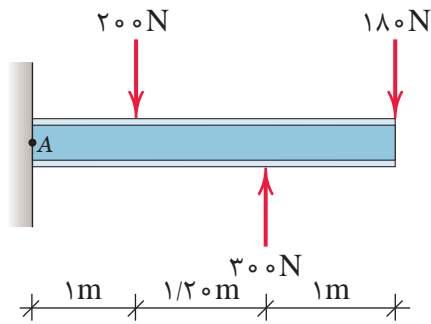
فعالیت  
کلاسی ۲



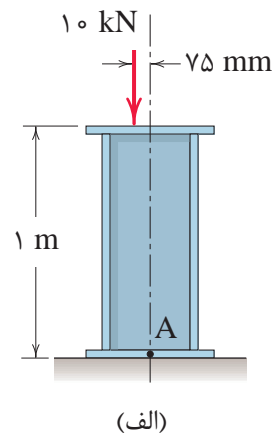
در شکل‌های زیر گشتاور نیرو را حول نقطه A محاسبه نمایید.



(ب)



(ج)

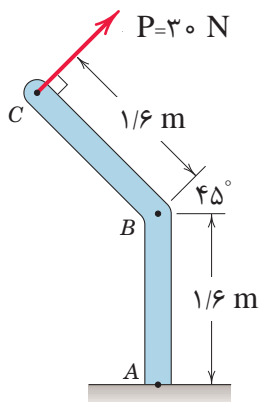


(الف)

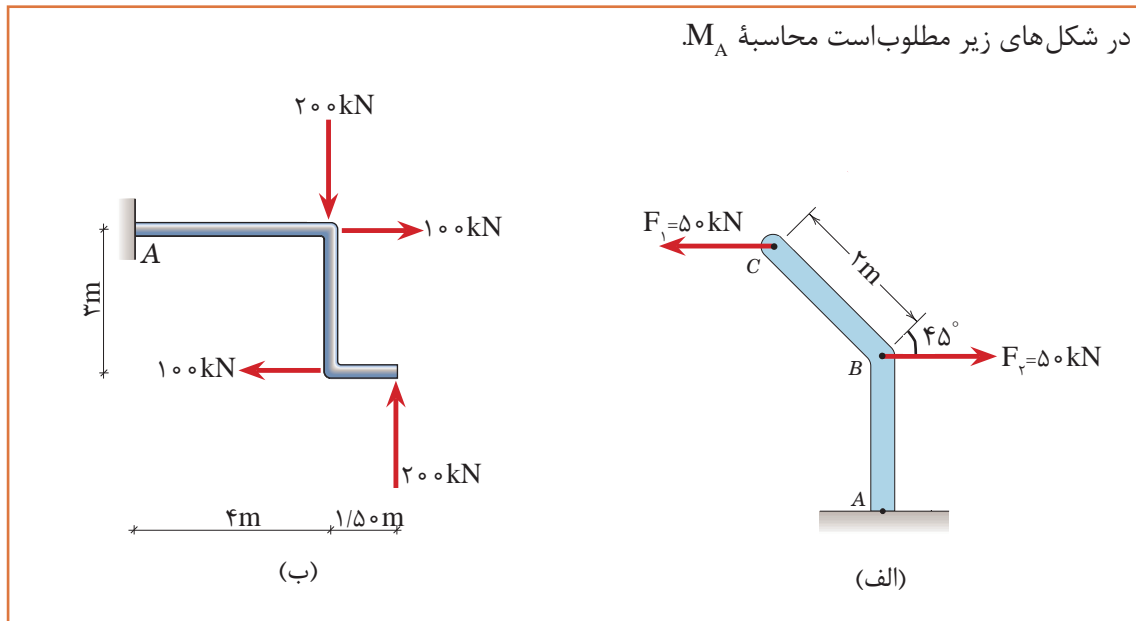
فعالیت  
کلاسی ۳



گشتاور نیروی P حول نقطه A و B را به دست آورید.







## ارزشیابی

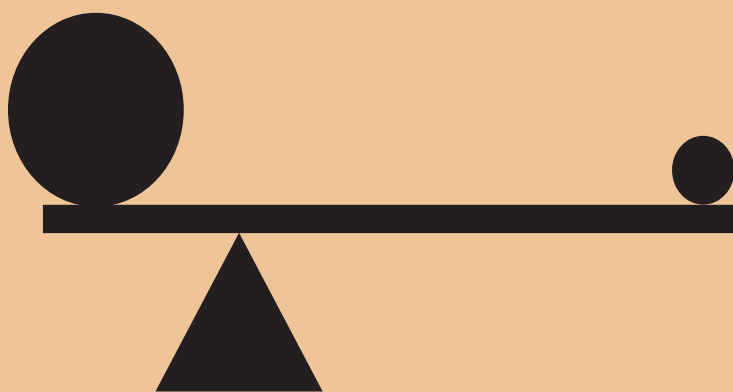
ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌های در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه ریزی هنرستان وجود دارد.

### الگوی ارزشیابی پودمان تحلیل مکانیک برداری

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)
۳	تجزیه بردارها روی محورهای مختلف به روش ترسیمی و محاسباتی، محاسبه برآیند سیستم‌های چندنیروی و محاسبه گشتاور نیروها	بالاتر از حد انتظار	برآیند و گشتاور دو یا چند نیرو را به کمک ماشین حساب و روابط هندسی و مثلثاتی به دست آورد.	کاربرد جمع بردارها
۲	محاسبه جمع و ضرب بردارها به کمک روابط هندسی و مثلثاتی	در حد انتظار (کسب شایستگی)		کاربرد ضرب بردارها
۱	نمایش جمع و ضرب بردارها به صورت ترسیمی	پایین‌تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)		
				نمره مستمر از ۵
				نمره شایستگی پودمان از ۳
				نمره پودمان از ۲۰

## 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

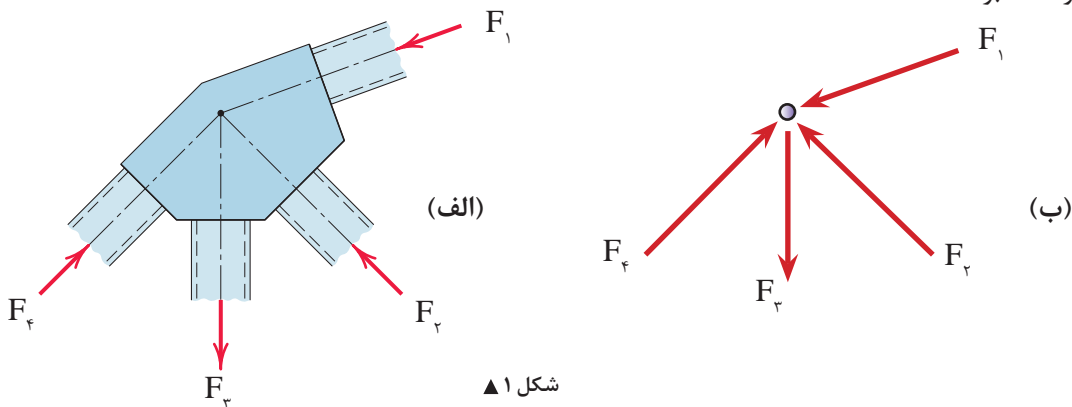
۲- جسم صلب

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.

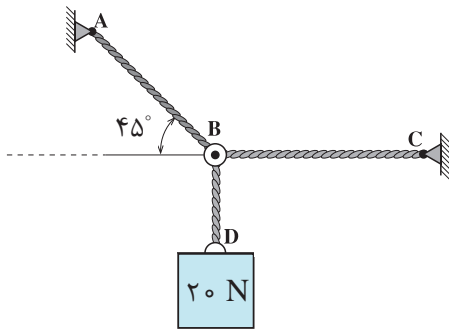


در صفحه مختصات دکارتی رابطه بالا را می توان به صورت زیر نوشت:

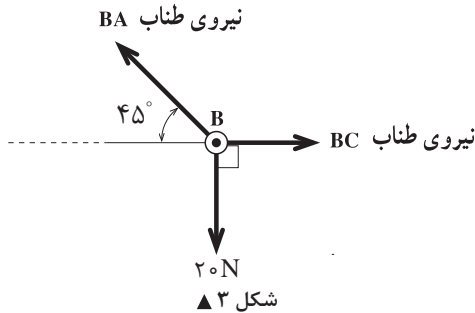
$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \sum \vec{F}_x = 0 \\ \sum \vec{F}_y = 0 \end{cases} \quad \text{معادلات تعادل}$$

### 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.



شکل ۲ ▲



شکل ۳ ▲

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.

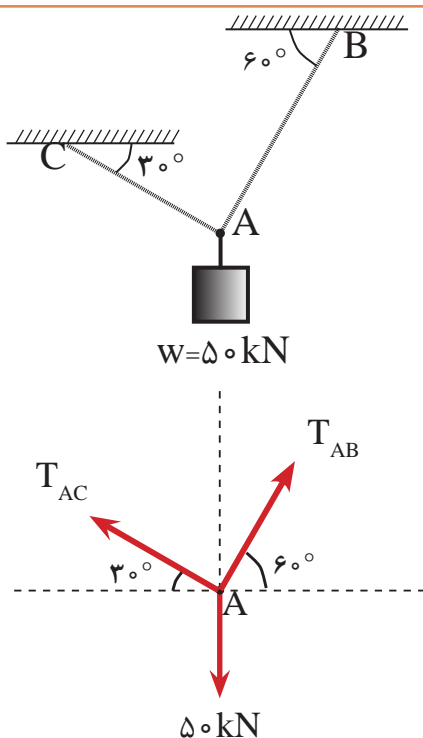
نکته



مثال ۱



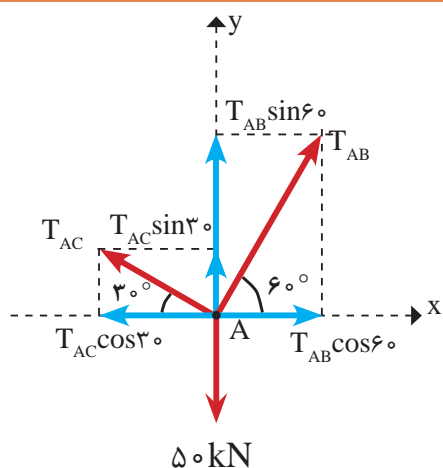
کشش کابل‌های AB و AC را در سامانه در حال تعادل زیر به دست آورید.



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:

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

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

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

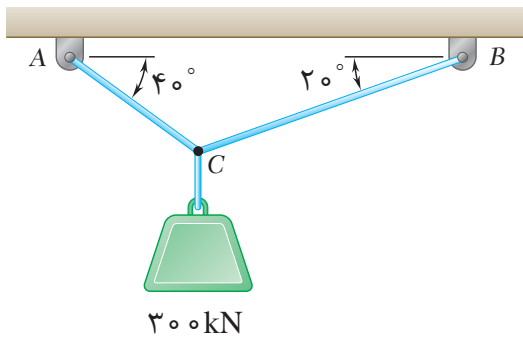
$$\Rightarrow T_{AC} = 25 \text{ kN}$$

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

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

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

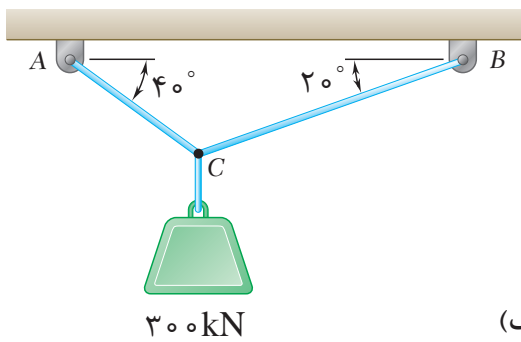
پیکر آزاد شکل زیر را رسم نمایید.



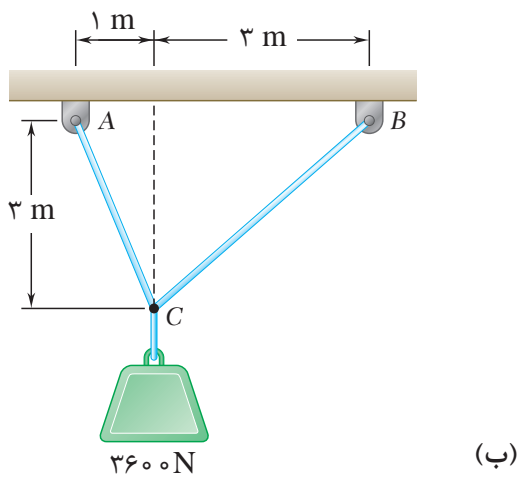
فعالیت  
کلاسی ۱



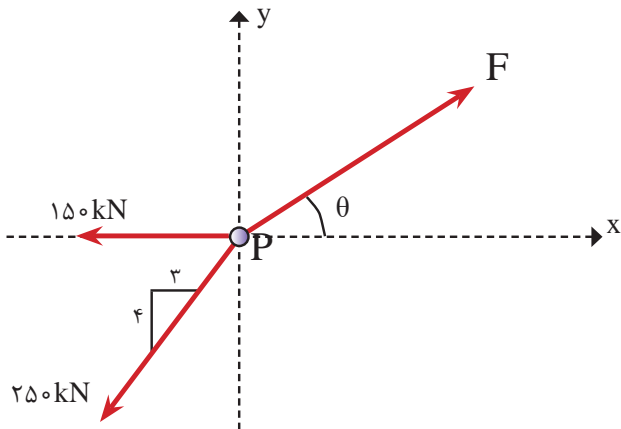
کشش کابل‌ها را در شکل‌های زیر به دست آورید.



فعالیت  
کلاسی ۲



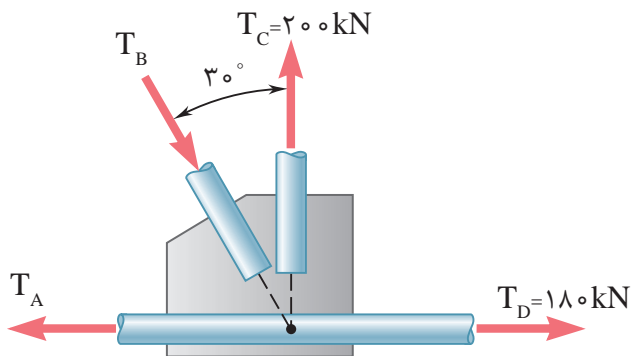
مقدار نیروی  $F$  و زاویه  $\theta$  را طوری تعیین کنید که ذره مادی  $P$  در حال تعادل باشد.



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:

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



## 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


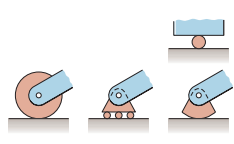
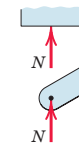
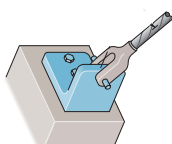
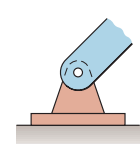
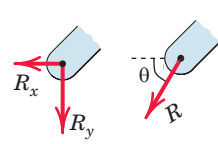
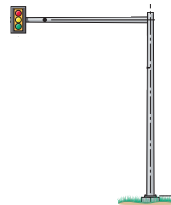
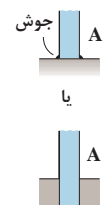
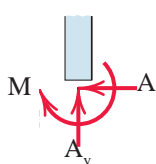
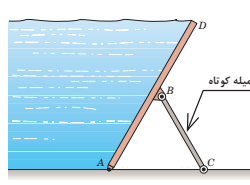
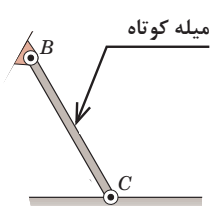
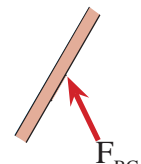
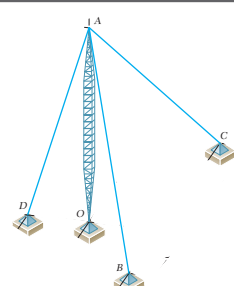
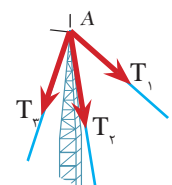
### د) تکیه‌گاه میله‌ای

منظور از میله‌ای عضو کوتاهی 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

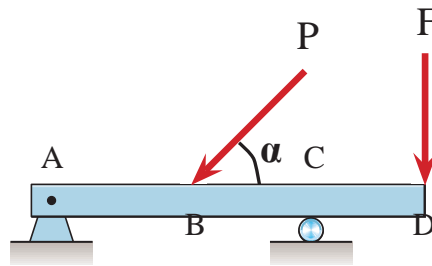
ردیف	نوع تکیه‌گاه	شکل واقعی	شکل شماتیک	عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
۱	غلتکی			
۲	مفصلی			
۳	گیردار			
۴	میله‌ای			
۵	کابلی		—	

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

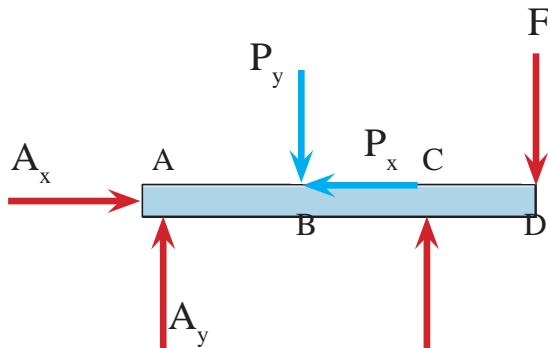
همان طور که گفته شد شرط تعادل اجسام صلب بر آورده شدن معادلات آن می باشد و برای نیل به این هدف به صورت زیر عمل می نماییم.

#### 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

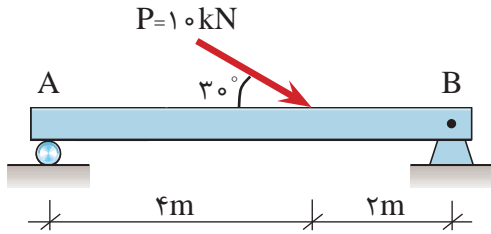
همه نیروهای مورب را روی پیکر آزاد در صورت وجود به مؤلفه های آن تجزیه می نماییم. به عنوان مثال در شکل (۱- ب) نیروی P به دو مؤلفه متعامد تجزیه شده است.

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

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

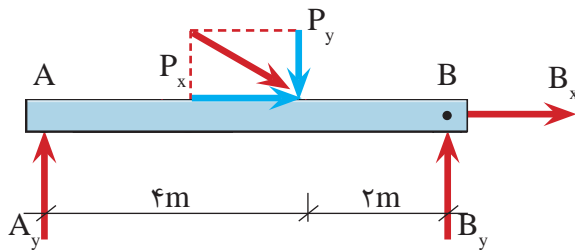


عکس العمل های تکیه گاهی تیر زیر را به دست آورید .



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

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

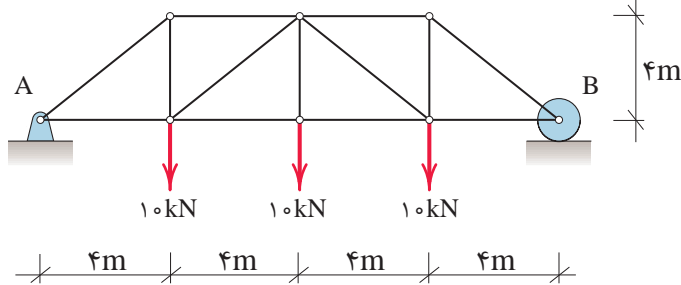
$$A_y = \frac{10}{6} \Rightarrow \boxed{A_y = 1.67 \text{ kN}}$$

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

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

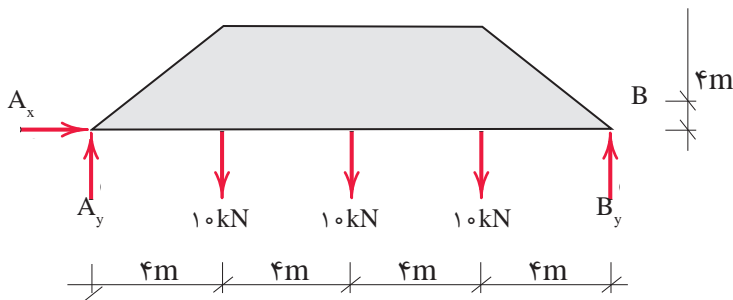


عکس العمل های تکیه گاهی را در خرپای شکل زیر به دست آورید.



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.

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

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

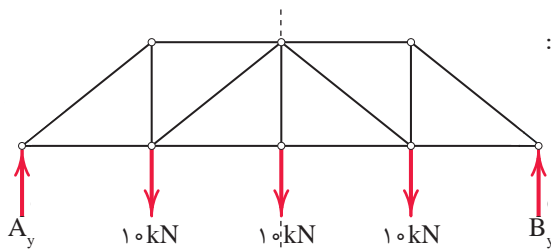
مقدار  $B_y$  را در رابطه I قرار می دهیم داریم:

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

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:



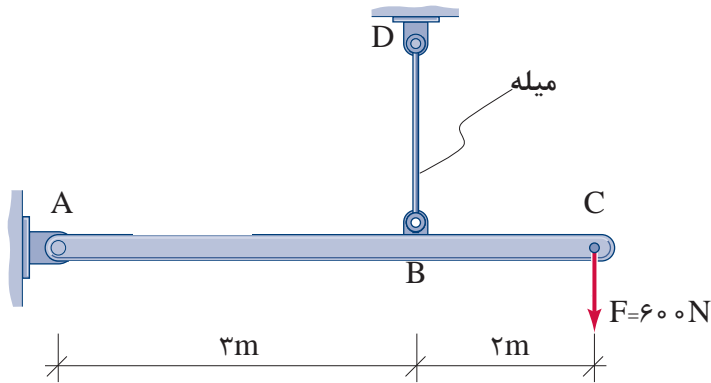
محور تقارن

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

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



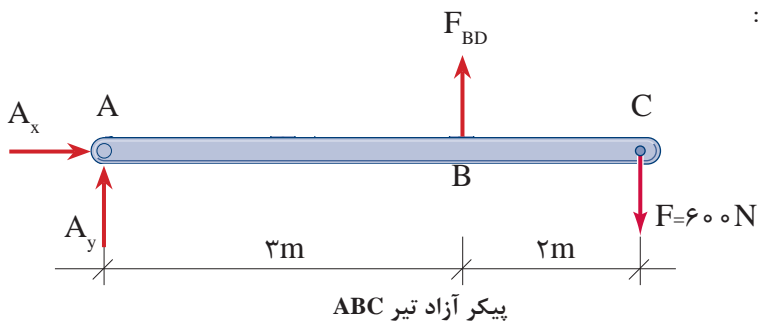
عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تیر ABC را به دست آورید.



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

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

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + F_{BD} - 6000 = 0 \Rightarrow A_y + F_{BD} = 6000 \text{ N}$$

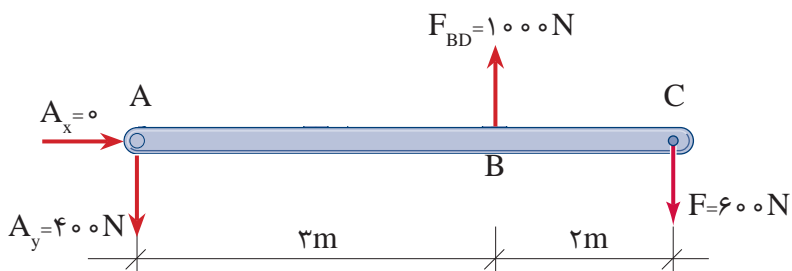
$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \Rightarrow 6000 \times 5 - F_{BD} \times 3 = 0 \Rightarrow \boxed{F_{BD} = 10000 \text{ N}}$$

رابطه I

از رابطه I داریم:

$$A_y + F_{BD} = 6000 \Rightarrow A_y + 10000 = 6000 \Rightarrow \boxed{A_y = -4000 \text{ N} \downarrow}$$

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 (تعالل 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:

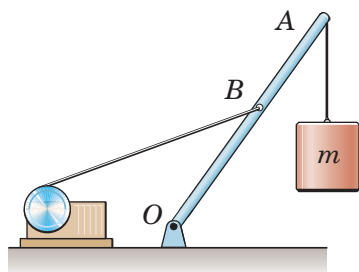
$$\Sigma \vec{F} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \Sigma \vec{F}_x = 0 \\ \Sigma \vec{F}_y = 0 \end{cases}$$

- 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:

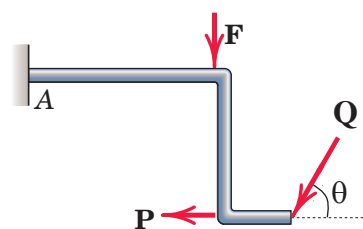
$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases}$$

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

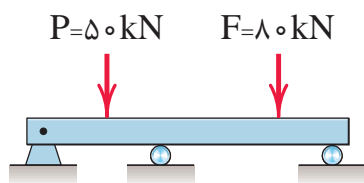
پیکر آزاد هر کدام از شکل‌های زیر را رسم نمایید.



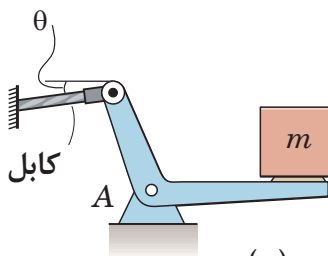
(ب)



(الف)



(د)

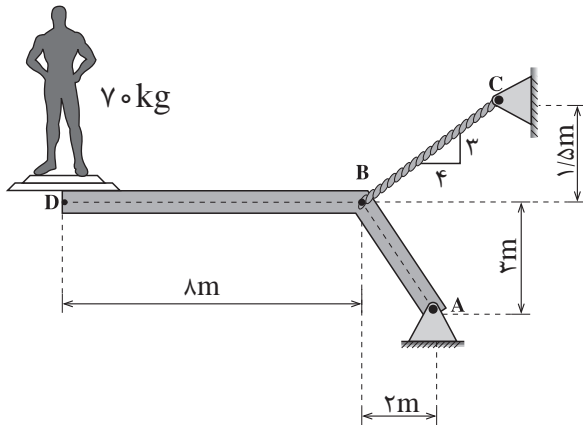


(ج)

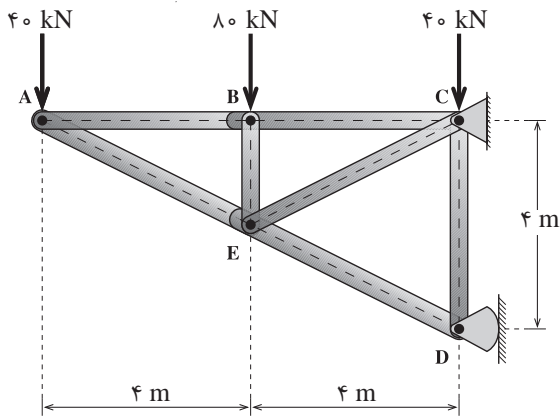




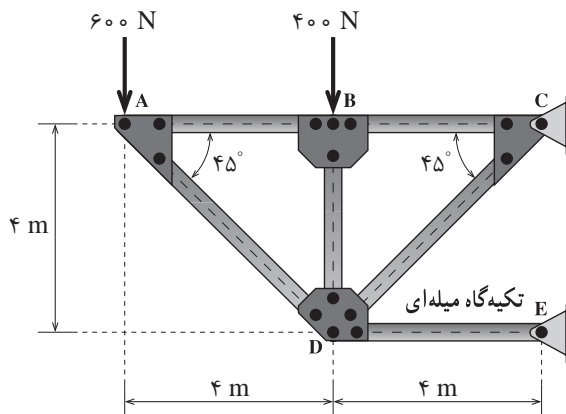
۲- عکس العمل‌های تکیه‌گاهی را در شکل‌های زیر به دست آورید. ( $g = 10 \frac{m}{s^2}$ )



(الف)

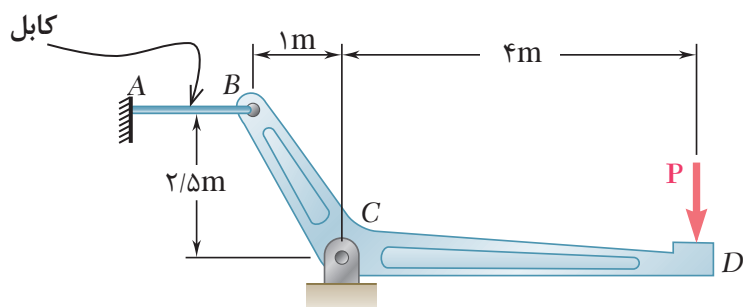


(ب)

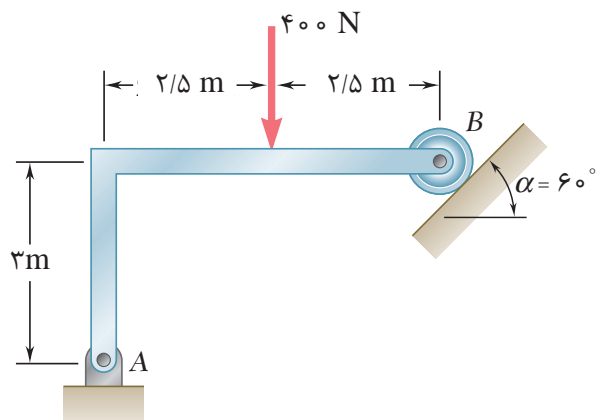


(ج)

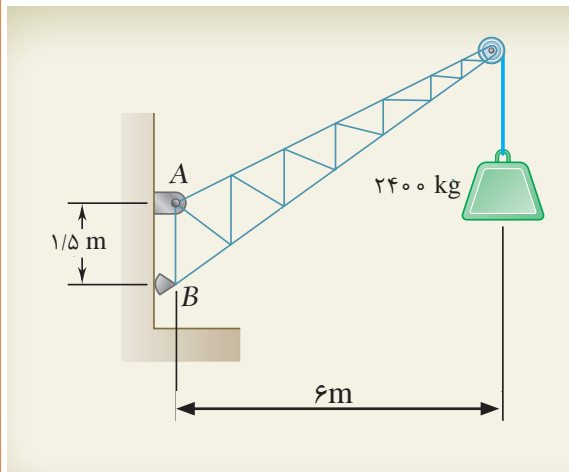




(د)



(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 گاه 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



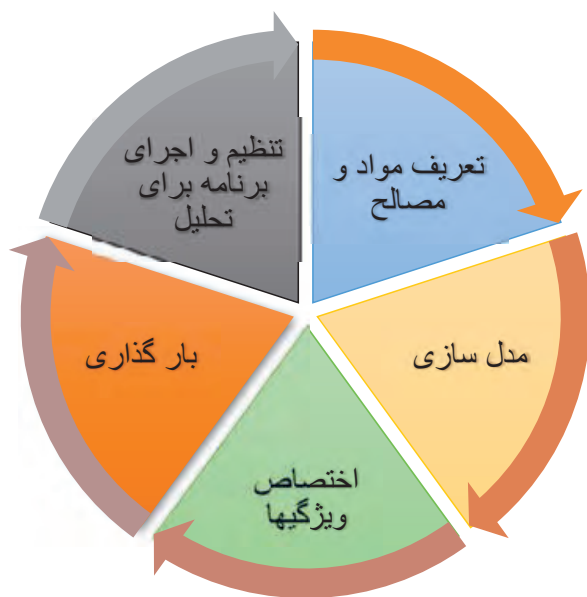
در این کتاب از نرم افزار SAP استفاده می کنیم. لازم به توضیح هست که این نرم افزار مشابهت زیادی به نرم افزار ETABS دارد و تفاوت آنها در این است که نرم افزار SAP برای کلیه سازه ها مثل ساختمان های معمولی، سوله ها، خرپاها و هرنوع سازه دیگر کاربرد دارد و یک نرم افزار کلی برای محاسبات سازه ای ساختمان می باشد 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 مهندسين 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.

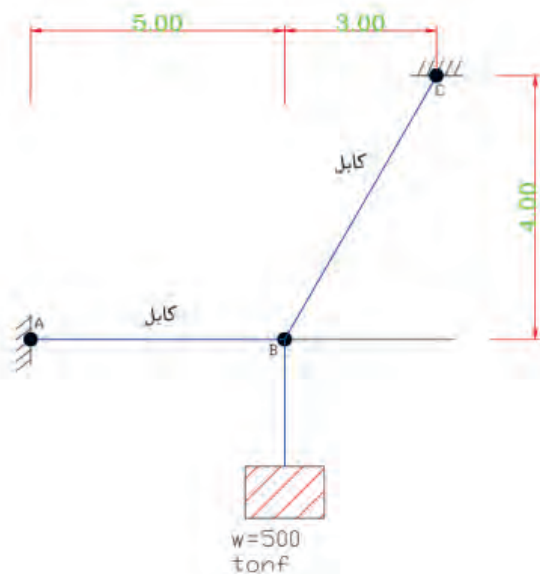
## ۴ - بارگذاری

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.

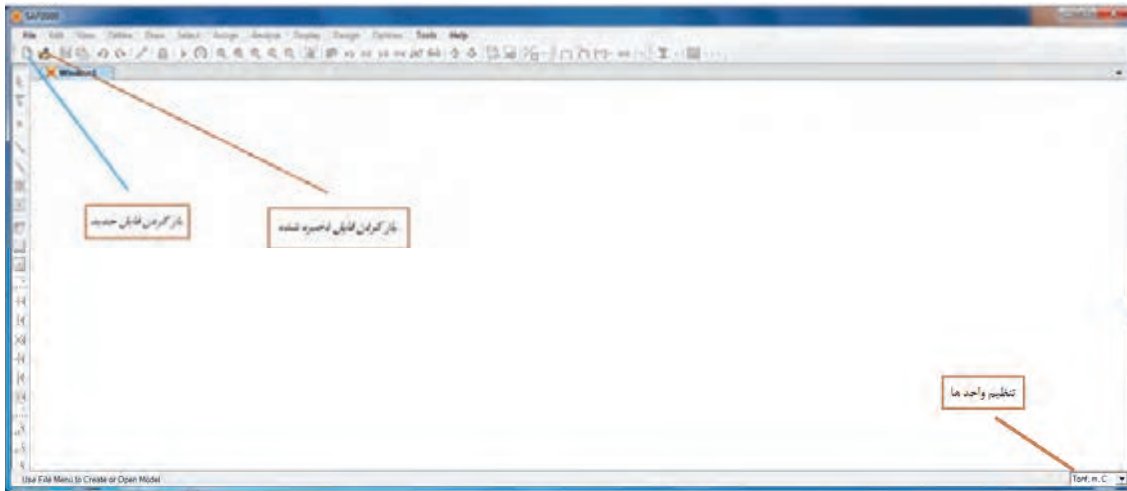


فعالیت  
کلاسی ۳

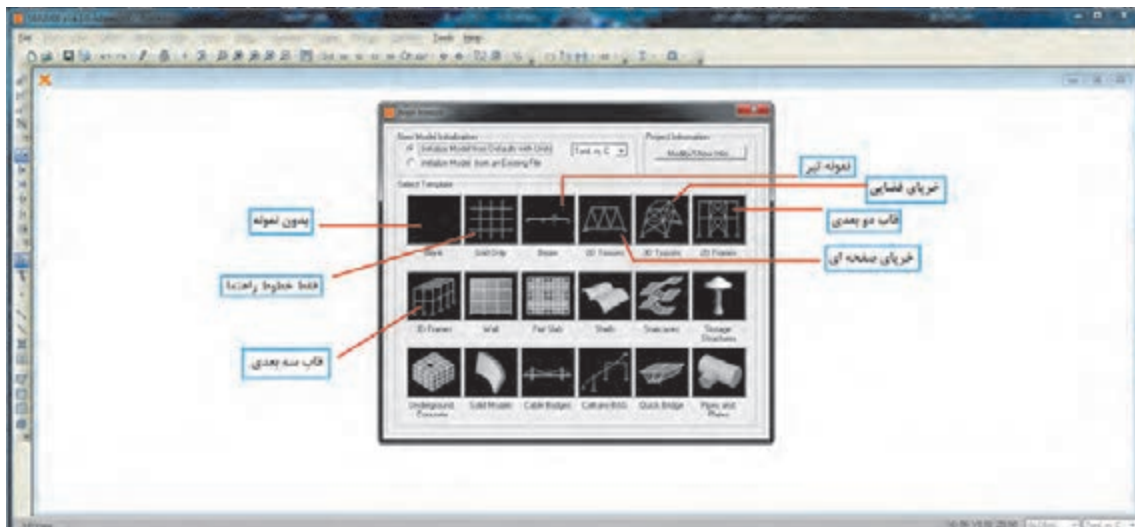


## کار با نرم افزار

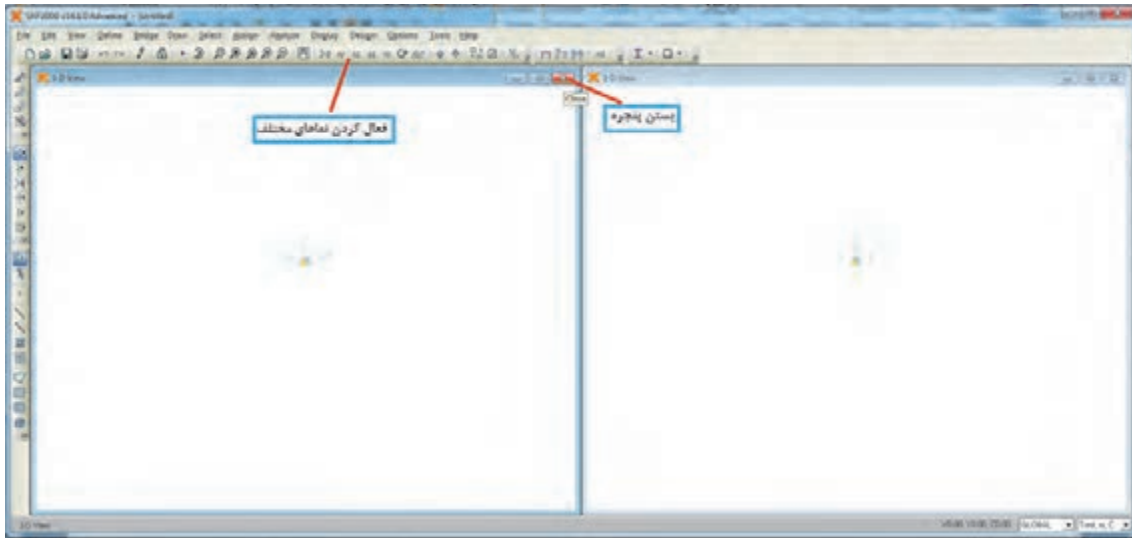
نرم افزار SAP را با کلیک روی آیکون آن اجرا کنید. پس از اجرا صفحه زیر باز می شود.




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  $m$ ،  $tonf$ ،  $c$  (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.



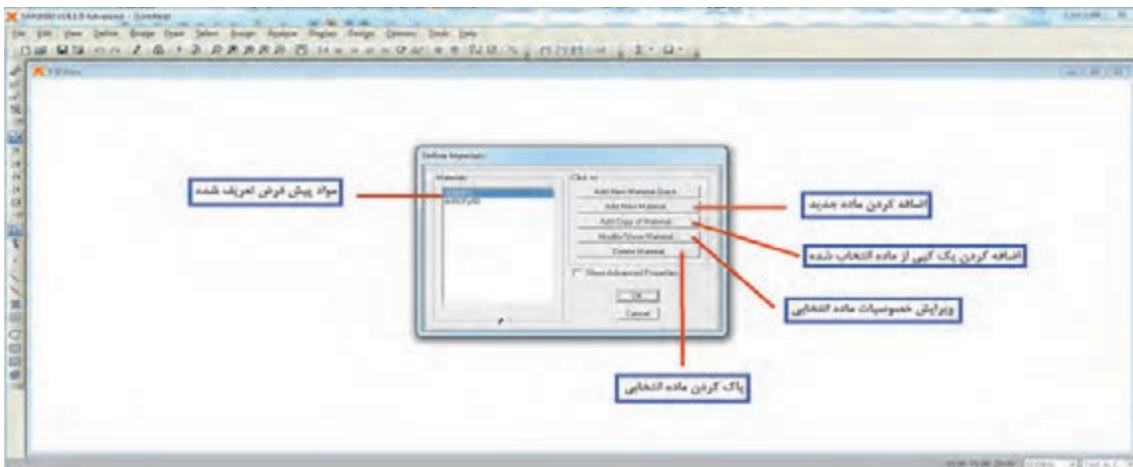
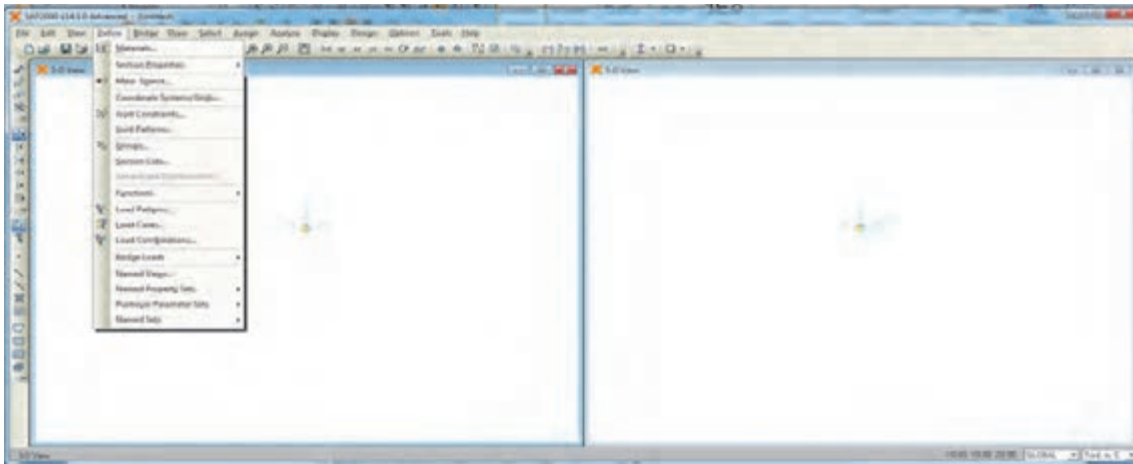
در این صفحه نمونه‌هایی از سازه‌های مختلف وجود دارد و شبیه‌ترین آنها به پروژه خود را می‌توانید برای تسهیل در کار انتخاب نمایید و در غیر این صورت گزینه اول (بدون نمونه) را می‌توانید انتخاب کنید. در گزینه دوم خطوط راهنما انتخاب می‌شود. این خطوط شبیه خطوط آکس هستند و وجود خارجی ندارند و برای ترسیم مدل به 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.



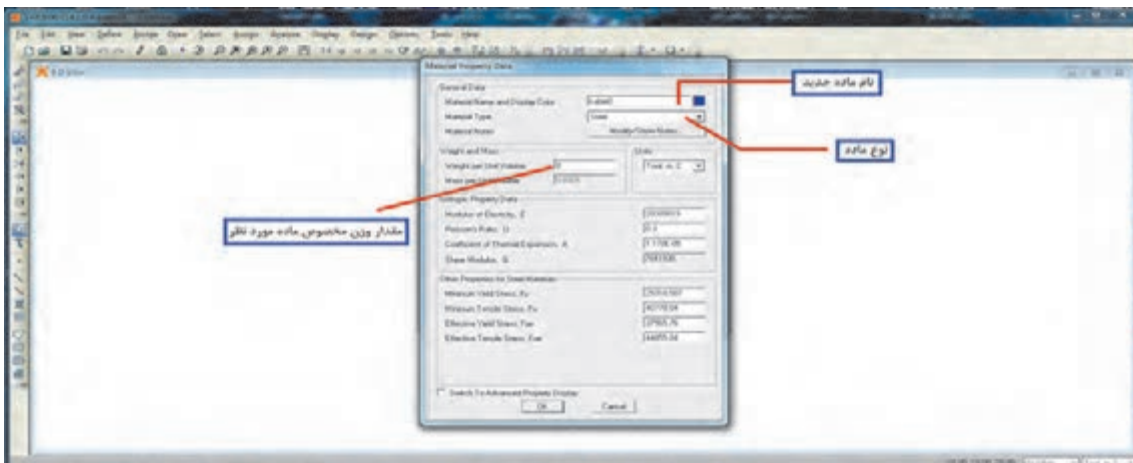
همان‌طور که مشاهده می‌شود دو پنجره هم‌زمان فعال می‌باشند که در پروژه‌های سه‌بعدی می‌توان یک نما و دید سه‌بعدی را هم‌زمان مشاهده کرد. با کلیک روی هر پنجره آن پنجره فعال می‌شود. برای بستن هر پنجره با کلیک روی علامت  3-D View می‌توانید با کلیک روی نماهای مختلف (XZ و YZ و یا XY) دید هر پنجره را تغییر دهید.

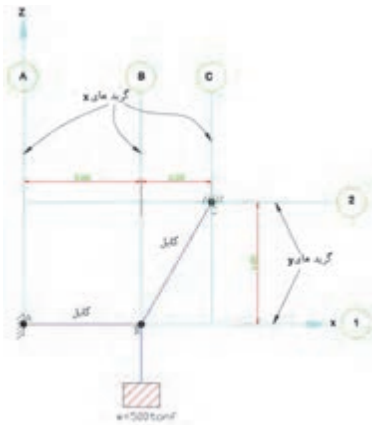
### مرحله اول - تعریف مصالح

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 (بی وزن) تعریف می‌کنیم زیرا برنامه به صورت اتوماتیک وزن مصالحی که ما در مدل سازی 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

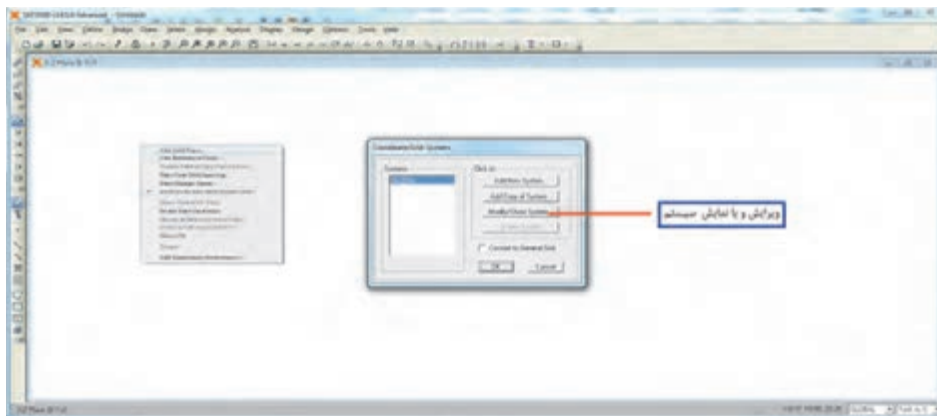
برای مدل سازی باید گریدهای X و Y (خطوط راهنما) ایجاد شوند بنابراین شکل را به صورت زیر تبدیل می کنیم.

این شکل چگونه ایجاد شده است؟

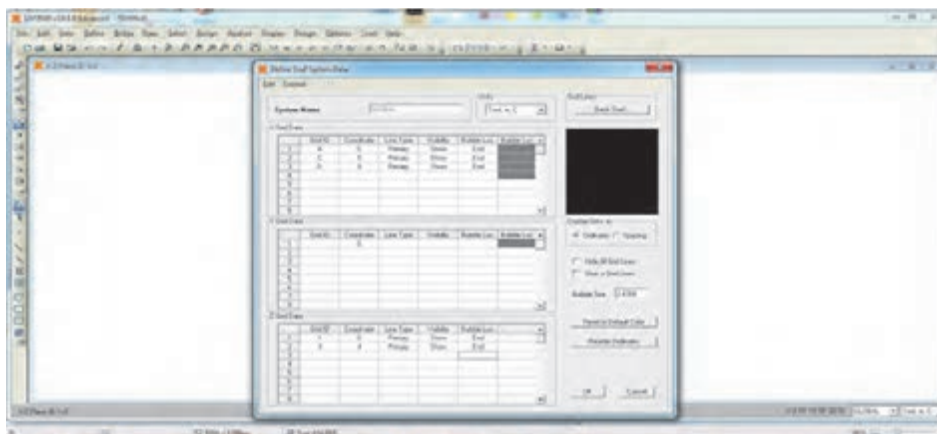
تفکر



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.

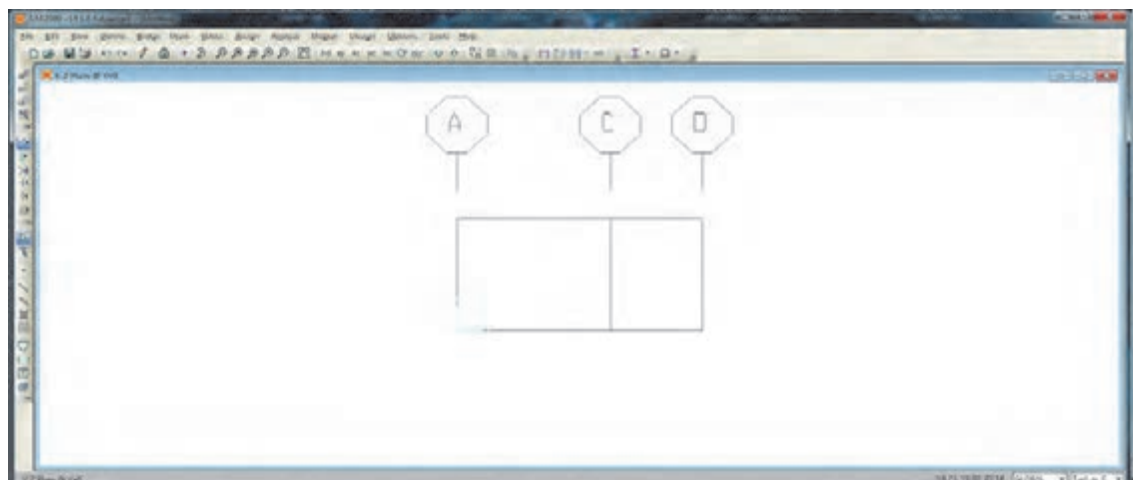


پس از کلیک روی گزینه Modify/show System صفحه زیر باز شده آنها را تکمیل می کنیم. برای تکمیل این جدول می توان از دو حالت ordinate و spacing استفاده کرد که شکل زیر بر اساس spacing و با توجه به شکل مسئله یا سؤال و اندازه های روی آن انجام شده است و می تواند تکمیل جدول به حالت ordinate تغییر یابد.





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

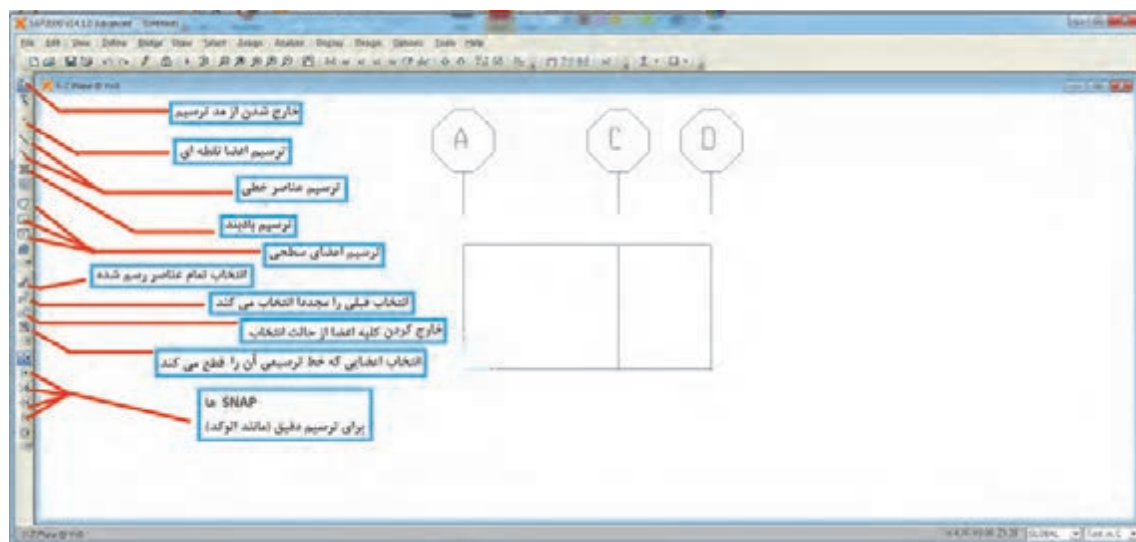
در برنامه SAP اعضای سازه‌ای که ما بیشتر با آنها سر و کار داریم عبارت‌اند از:



۱- اعضای نقطه‌ای مانند ذرات مادی


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

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

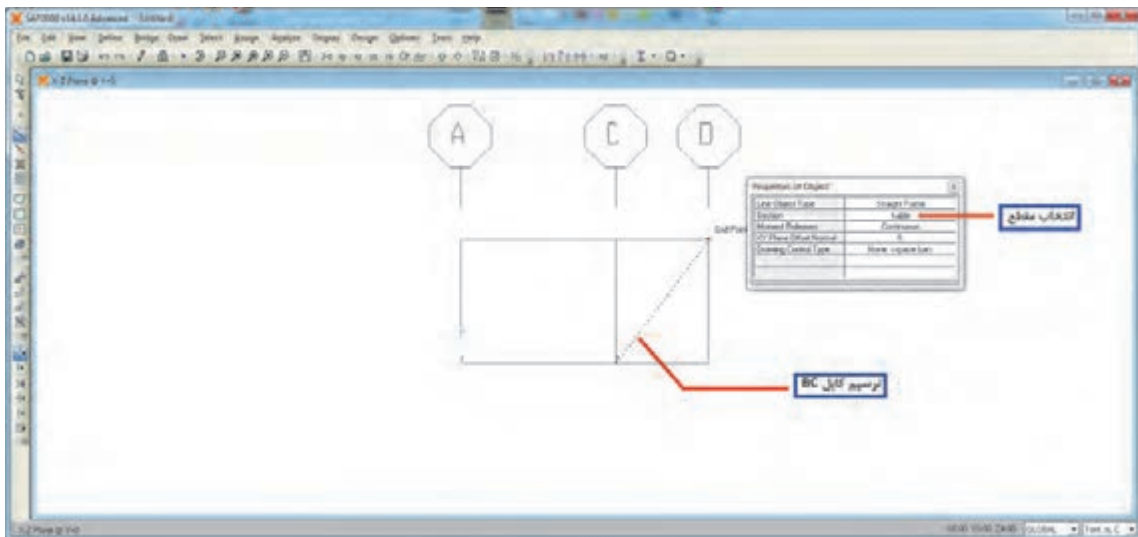
در این مثال کابل‌ها از نوع اعضا خطی هستند آیکون‌های ترسیمی در سمت چپ صفحه قرار دارند که در شکل زیر توضیحات مختصری در مورد هر یک داده شده است.



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.

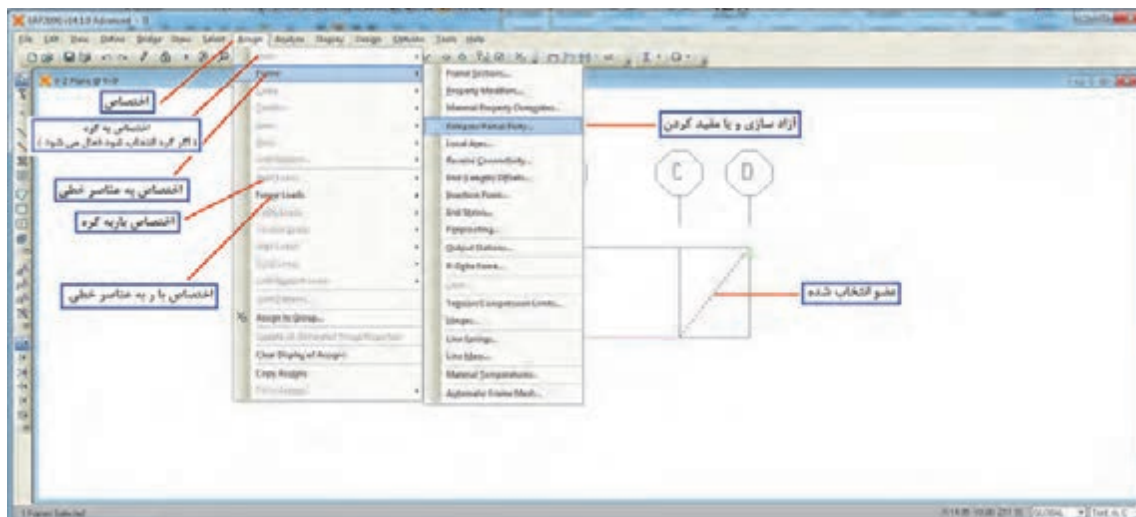
ابتدا با کلیک روی هر عضو و یا کشیدن کادر اطراف آن، عضو مربوطه را انتخاب می‌کنیم (عضوهای انتخاب شده موقتاً حالت خط‌چین پیدا می‌کنند) و سپس از منوی Assign ویژگی‌های لازم را اختصاص می‌دهیم در این مثال باید انتهای هر دو عضو مفصلی باشند که در شکل زیر مراحل را می‌بینید.

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

فعالیت  
کلاسی ۴



## Frame/Releases/Partial Fixity



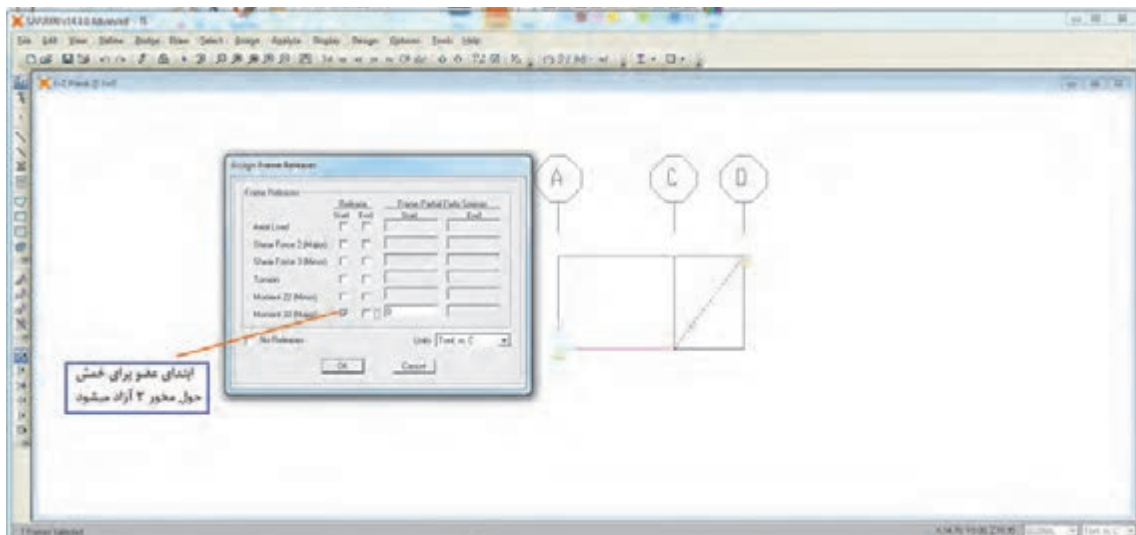
پس از کلیک روی Partial Fixity صفحه زیر باز می شود که می توان هر عضو را در ابتدا و انتهای خود در برابر چرخش حول محور قوی و ضعیف آن را با نشان دادن تیک در مربع مربوطه آزاد کرد.

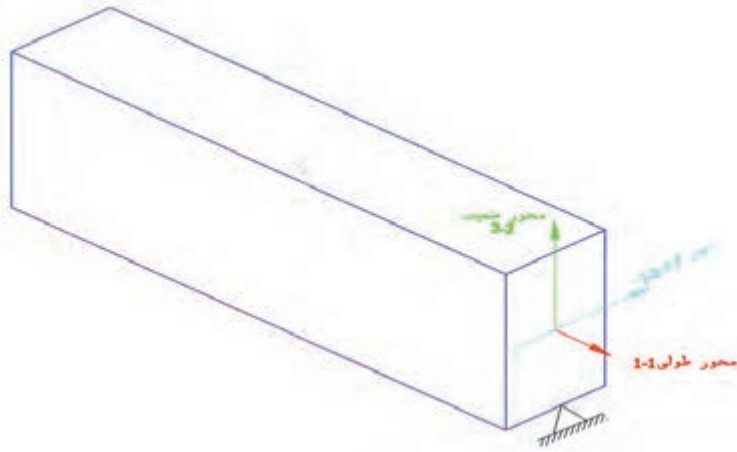
هنگام ترسیم عضو خطی، گرهی که ابتدا کلیک می شود، ابتدا و دیگری انتهای عضو خواهد بود بنابراین شروع و انتهای عضو بستگی به نحوه ترسیم حین مدل سازی دارد. در این برنامه برای هر مقطع یک محور قوی وجود دارد که آن را به نام محور ۳-۳ می شناسد و محور طولی عضو محور ۱-۱ می باشد بنابراین محور ۲-۲ محور ضعیف خواهد بود.

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 آیکون  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.

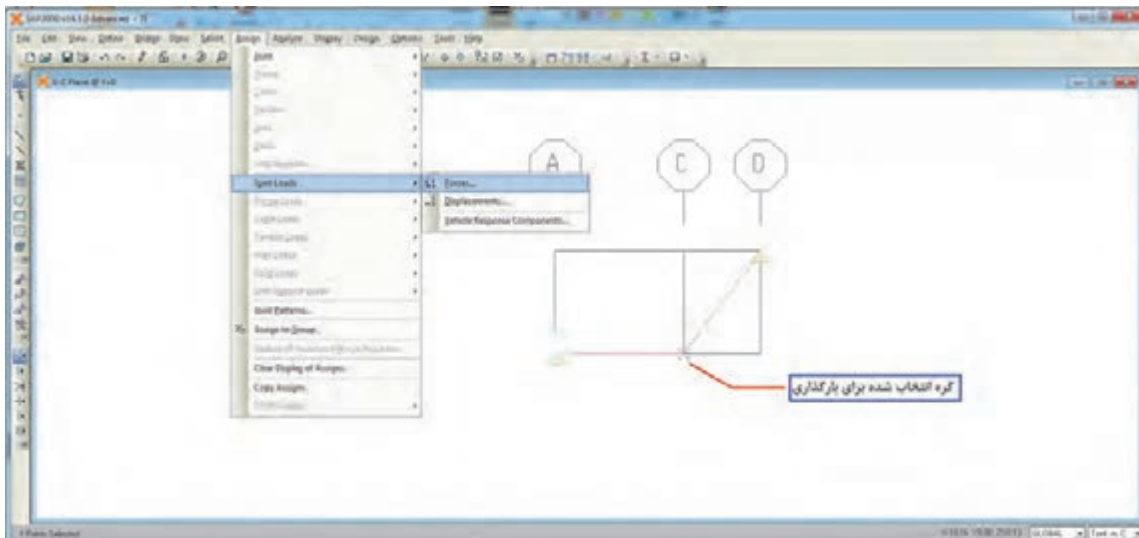
فعالیت  
کلاسی ۵

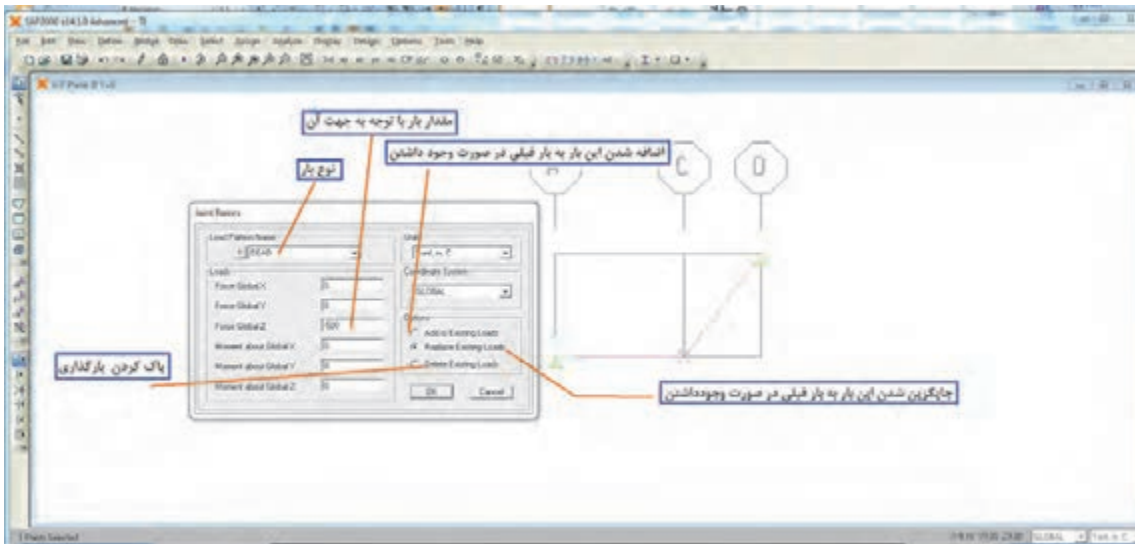


### مرحله چهارم - بارگذاری

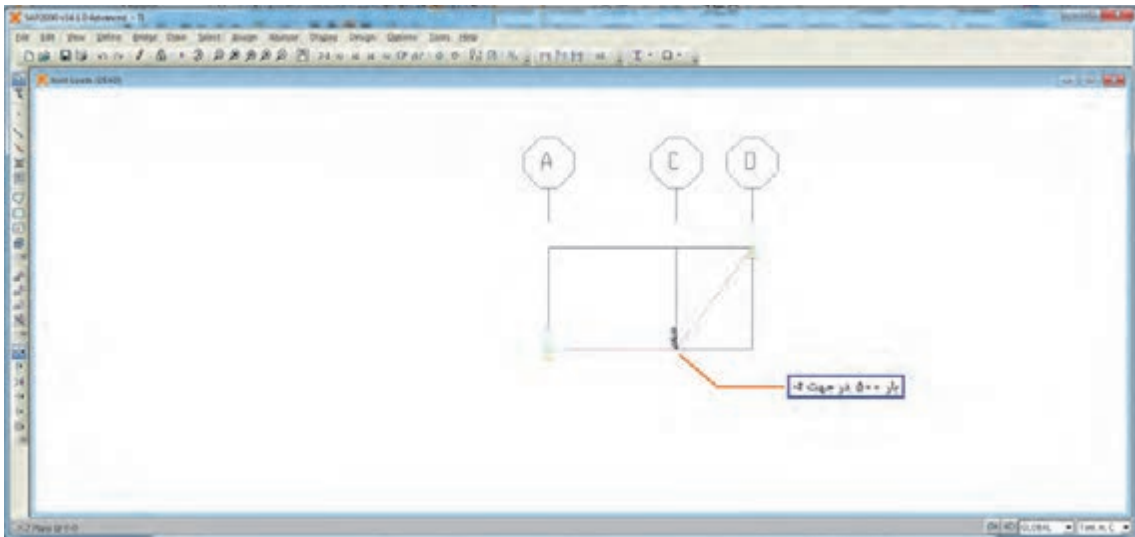
در این مثال یک بار متمرکز  $500$  تن نیرویی وجود دارد که به گره B وارد می‌شود و در جهت مخالف محور Zها می‌باشد.

بنابراین با کلیک روی گره 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.



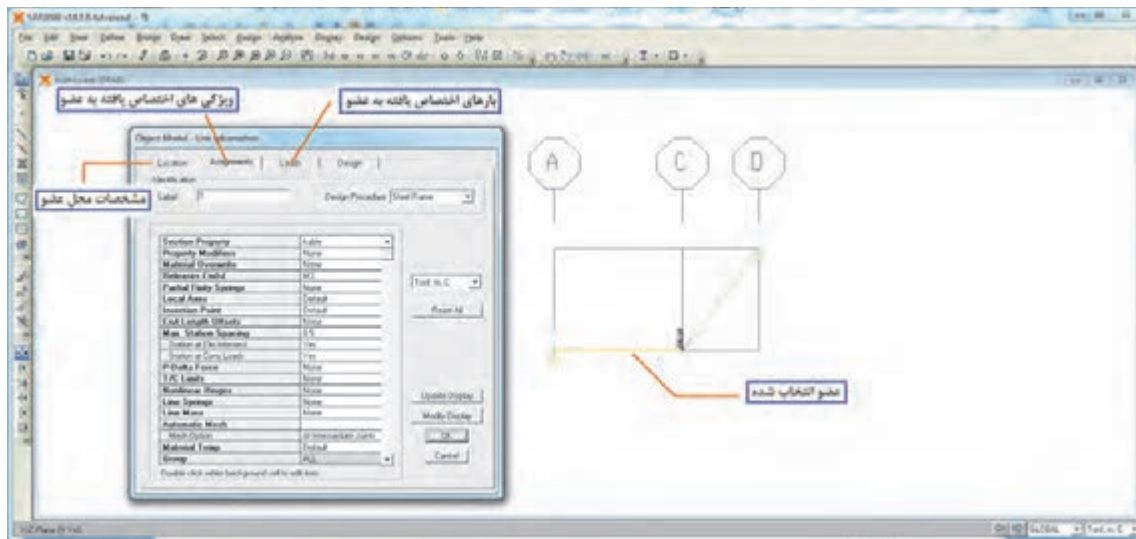


نتیجه بارگذاری در شکل نمایش داده می شود.



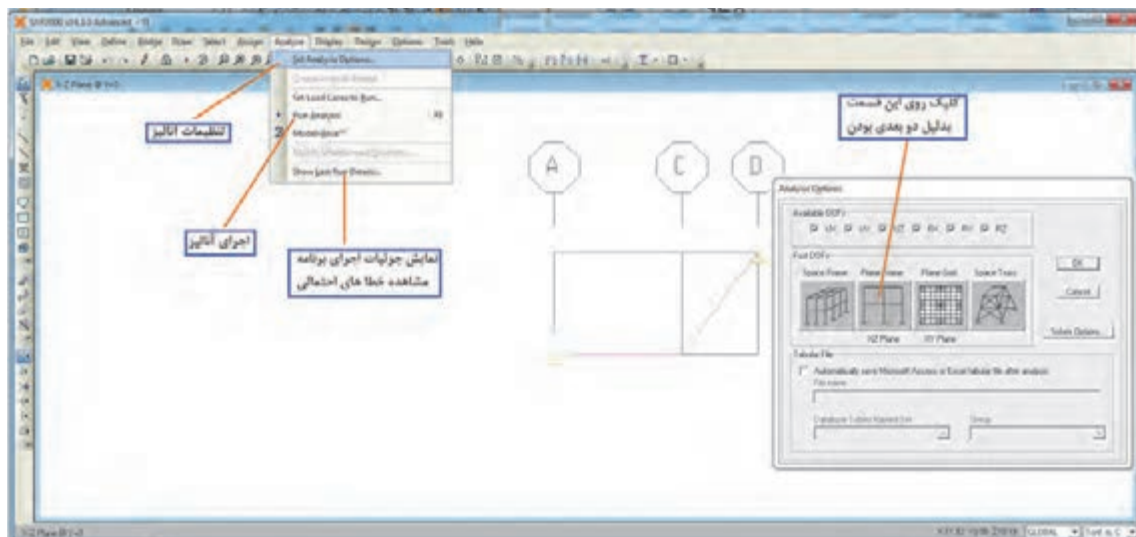
با اتمام بارگذاری، سازه آماده تحلیل می باشد. قبل از آنکه تحلیل انجام شود باید درستی مدل و ویژگی های اختصاص یافته بررسی شود تا اشتباهات احتمالی حذف گردد. برای این منظور روی یکی از اعضا مثلاً AB راست کلیک می کنیم که متعاقباً صفحه ای باز می شود که کلیه مشخصات عضو در آن لیست شده است. تا زمانی که صفحه باز است عضو 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.



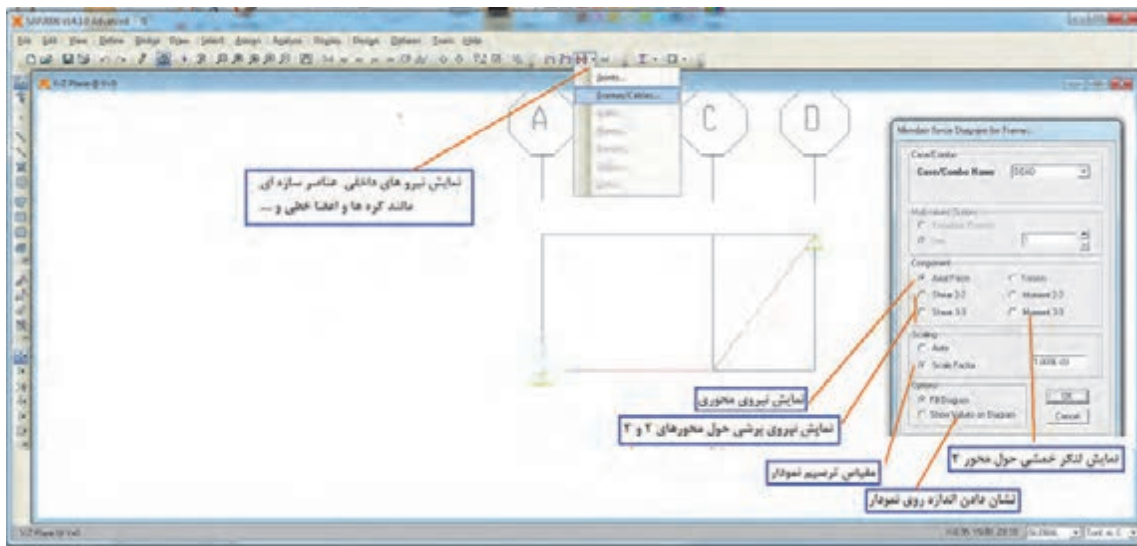
## تحلیل سازه

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 ننماید. فایل اصلی (اجرایی) SAP با پسوند .sdb ذخیره می‌شود.

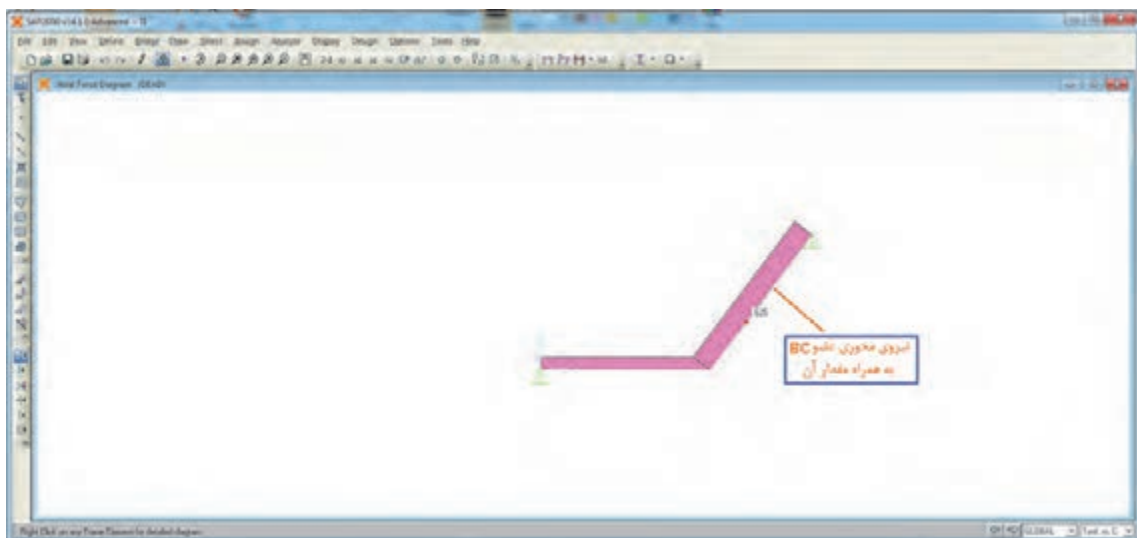


در صورتی که در حین آنالیز خطایی ایجاد نشود تحلیل پایان یافته است و برای مشاهده نتایج تحلیل به صورت زیر عمل می‌شود.

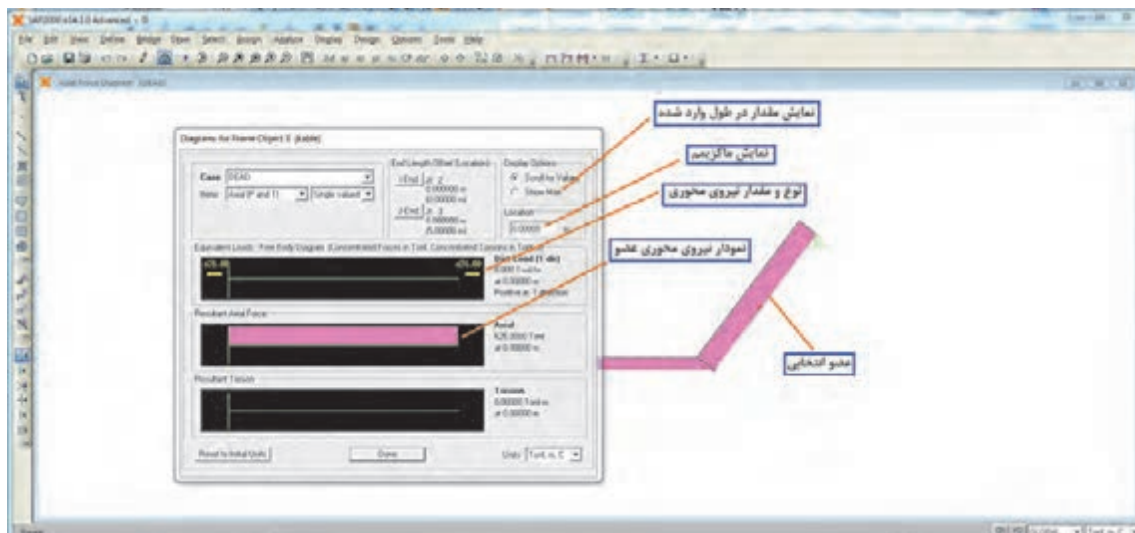




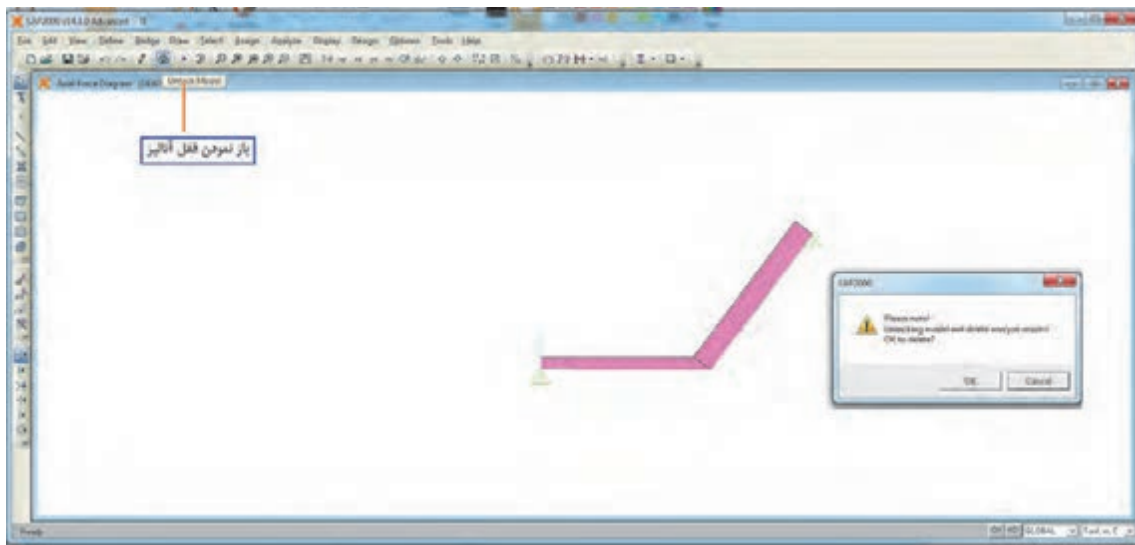
در سازه های کابلی چون فقط نیروی محوری داریم، بنابراین در شکل بالا (Axial Force) را انتخاب می کنیم تا نیروی محوری اعضای خطی را نمایش دهد نتیجه به صورت زیر است.



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

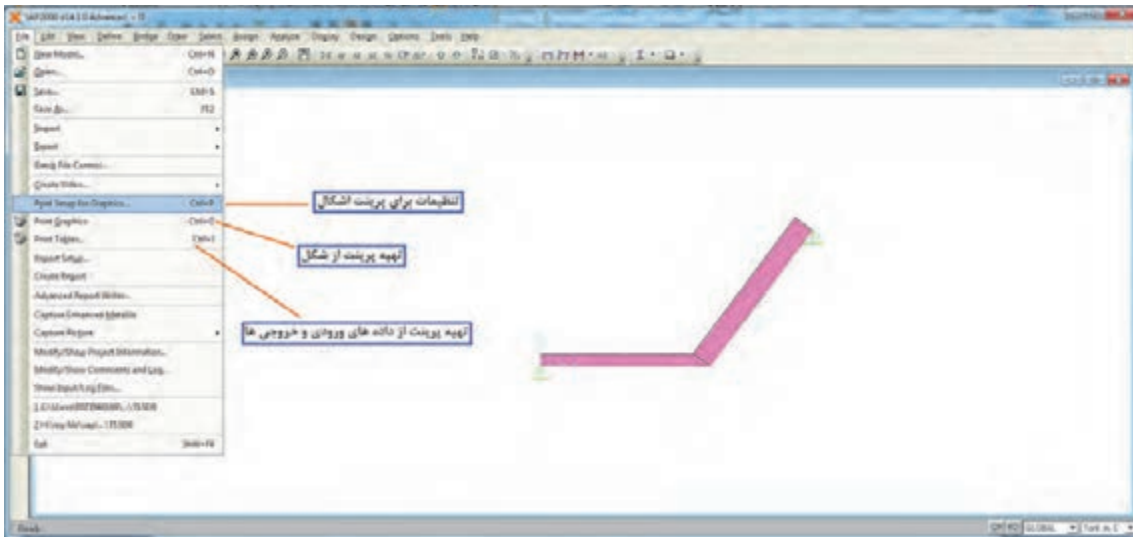


چنانچه در مسئله مشکلی وجود داشته باشد و لازم باشد تغییراتی ایجاد شود و مجدداً تحلیل گردد باید قفل آنالیز باز شده و این کار صورت پذیرد چون پس از هر بار تحلیل برنامه مدل را قفل می نماید و امکان تغییرات را نمی دهد.

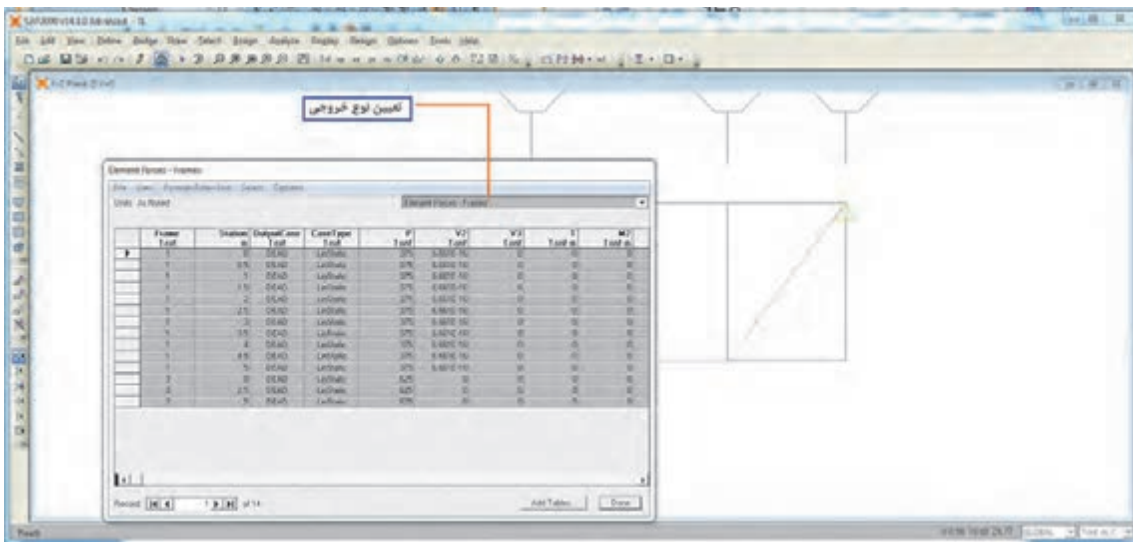


در صورتی که بخواهید از مدل مسئله خود پرینت تهیه کنید از شکل زیر استفاده کنید.



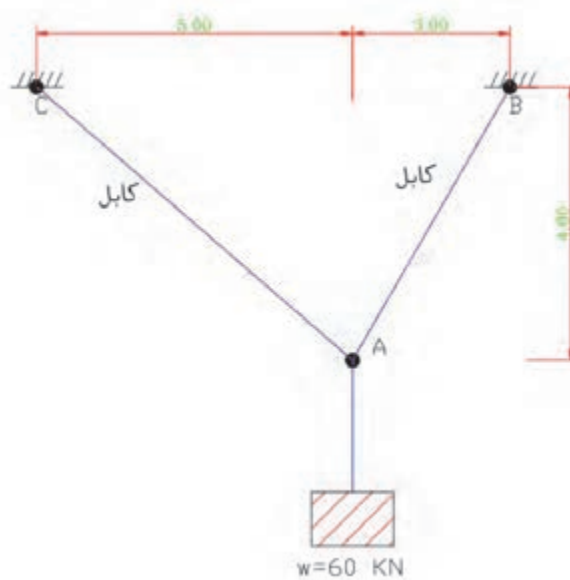


یک نمونه از خروجی که از منوی Display / Show table تهیه شده است در شکل زیر دیده می شود.





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	پایین تر 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.

مبدأ 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.

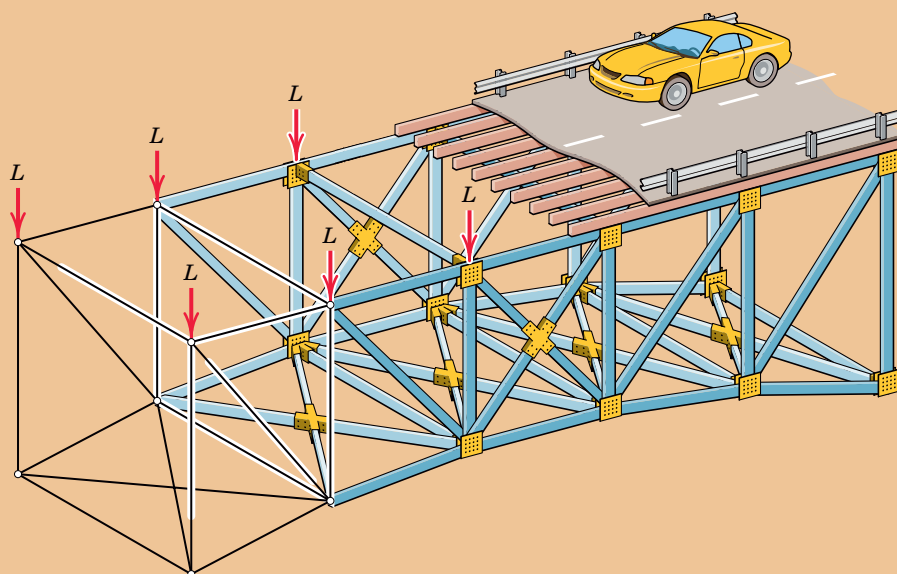
پل خیبر تجربهٔ شیرینی بود چرا که تمام کشور درگیر آن بود و تحقیقی انحصاری بود. حدود ۲۰ کارخانه شبانه‌روز کار می‌کردند و به خودکفایی کمک شد. اساتید دانشگاه، پروژه را کنترل می‌کردند و ارزش تحقیقات در کشور جا افتاد و مسئولین متوجه شدند توان فعالیت‌های نوین در کشور وجود دارد. از همه مهم‌تر، مدیریت کار جمعی 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: «به گفتهٔ مسئولین دولتی آمریکا، دست یافتن به پل قایقی با چین طولی، در تاریخ نظامی مدرن بی‌سابقه است.» در زیر تصاویری از این پل آمده است.



## پودمان ۳

# تحلیل سازه‌های ساختمانی



## واحد یادگیری ۵ تحلیل خرپا

### مقدمه

سازه‌های ساختمانی شامل انواع سازه‌های قابی، سازه‌های پوسته‌ای، سازه‌های کابلی و سازه‌های خرپایی می‌باشد.

به هر عضو یا مجموعه‌ای از اعضا که نیروی وارد شده به آن را تحمل نموده و منتقل نماید، سازه گفته می‌شود. بنابراین تیرها، ستون‌ها، بادبندها و ... نیز نوعی سازه می‌باشند.

منظور از تحلیل سازه، بررسی پایداری سازه، تعیین عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی، نیروهای داخلی و تغییر شکل سازه تحت تأثیر نیروهای خارجی وارد به آن می‌باشد که در پودمان دوم کتاب راجع به تعیین عکس‌العمل‌ها بحث شد و در این پودمان تنها به تعیین نیروهای داخلی در اعضای خرپاهای صفحه‌ای و تیرها بسنده می‌شود.

### ۵-۱- خرپا (Truss)

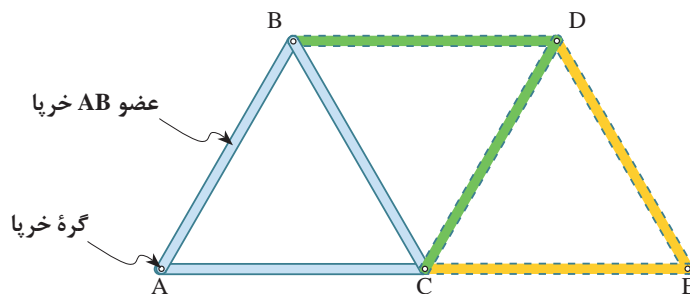
خرپاها سازه‌هایی هستند متشکل از اعضا (میله‌هایی) که در دو انتهای خود به صورت مفصل (پین) به یکدیگر متصل شده و عموماً تشکیل شبکه‌های مثلثی می‌دهند.

### ۵-۱-۱- انواع خرپا

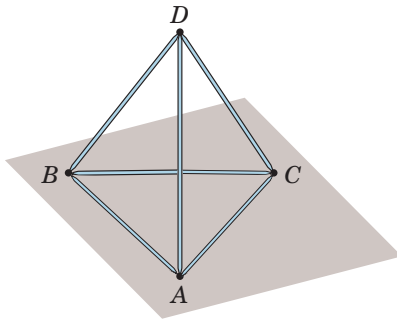
خرپاها به طور کلی به دو گروه تقسیم می‌شوند.

۱- **خرپاهای صفحه‌ای:** خرپاهایی هستند که فرم پایه آنها تشکیل شده از سه عضو (میله) و سه گره (پین یا مفصل) که در یک صفحه واقع شده و با افزودن دو عضو و یک گره جدید گسترش می‌یابند.

(شکل ۱)



شکل ۱ ▲

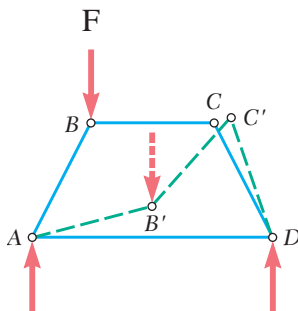


شکل ۲ ▲

۲- خراباهای فضایی: به خراباهایی گفته می‌شود که فرم پایه آنها تشکیل شده از شش عضو و چهار گره که یک شبکه فضایی ساخته و با افزودن سه عضو و یک گره جدید گسترش می‌یابند. (شکل ۲)

### ۵-۱-۲- شکل خراباها

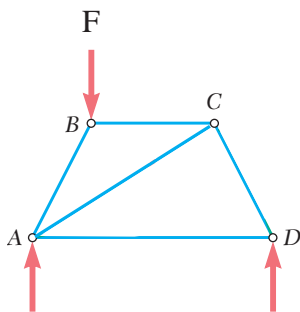
همان‌طور که گفته شد خراباهای صفحه‌ای از تعدادی شبکه مثلثی تشکیل می‌یابند و دلیل استفاده از هندسه مثلثی در آنها، پایداری هندسی مثلث نسبت به سایر اشکال هندسی می‌باشد. چرا که در مثلث تغییر زاویه مشروط به تغییر طول اضلاع آن می‌باشد و این تغییر در هندسه مثلثی خراباها به سادگی اتفاق نمی‌افتد درحالی‌که در یک هندسه چهارضلعی بدون تغییر طول اضلاع آن‌ها تغییر شکل به راحتی صورت می‌پذیرد.



شکل ۳ ▲

با توجه به شکل (۳) دیده می‌شود که در چهارضلعی ABCD که اضلاع آن به صورت مفصل یا پین به هم متصل شده‌اند با وارد آوردن نیروی نه‌چندان بزرگ F به راحتی دچار تغییر شکل شده و نقطه B به B' و C به C' منتقل می‌شود، بنابراین سازه ناپایدار بوده و این مسئله نامطلوب است.

برای تأمین پایداری سازه فوق کافی است عضو قطری BC را به آن بیفزاییم و چهارضلعی را به دو مثلث تبدیل نماییم. (شکل ۴)



شکل ۴ ▲

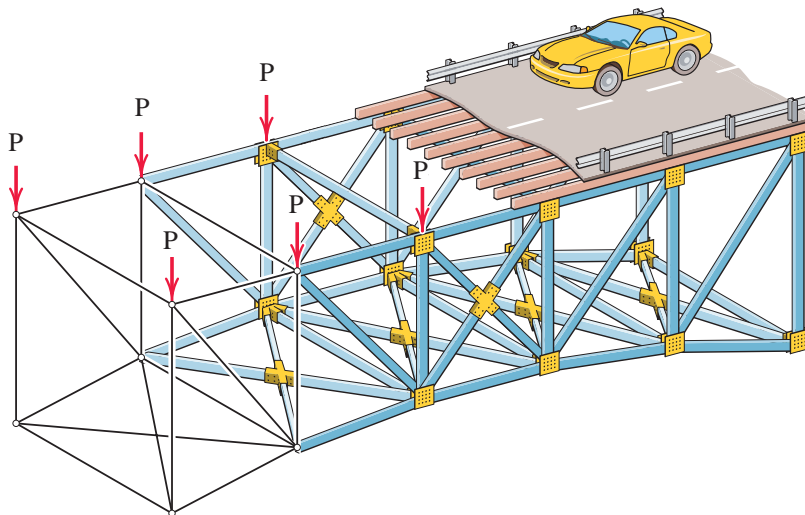
شکل‌های (۳) و (۴) را با قطعات چوبی و اتصال مفصلی بسازید و با اعمال نیروی متناسب، عملکرد آنها را با یکدیگر مقایسه نمایید.



## ۵-۱-۳- فرضیات تحلیل خرپاها

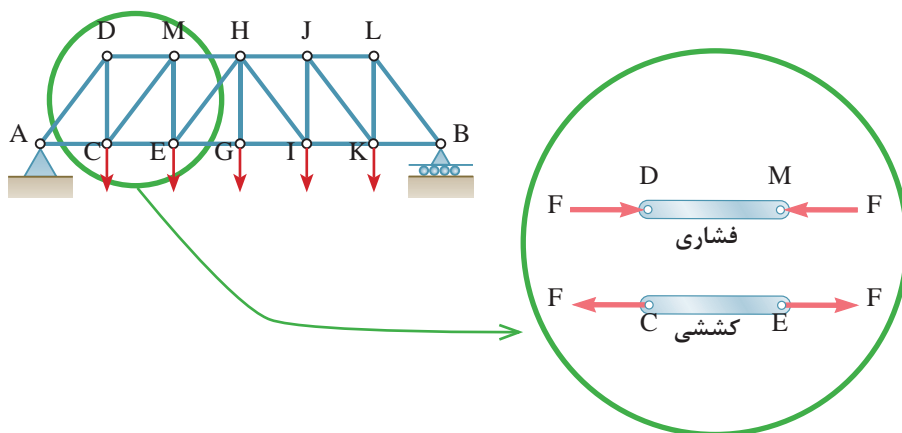
منظور از تحلیل خرپا، تعیین نیروی داخلی هر عضو خرپا و محاسبهٔ عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی آن می‌باشد و مبتنی بر فرضیاتی به شرح ذیل است:

۱- نیروهای خارجی وارد بر خرپا در صفحه خرپا و در محل گره‌ها به آن اعمال می‌شود. (شکل ۵)



شکل ۵ ▲

۲- اعضای خرپا (میله‌ها) به صورت مفصلی به یکدیگر متصل می‌شوند. با توجه به فرضیات فوق، نیروهای داخلی و خارجی در محل گره به صورت متقارب خواهند بود. بنابراین نیروهای داخلی اعضا در راستای آنها و به صورت کششی یا فشاری عمل می‌نمایند. (شکل ۶)



شکل ۶ ▲

## ۵-۱-۴- روش تحلیل خرپا

برای تحلیل خرپاها روش‌های مختلفی وجود دارد که در اینجا به روش تحلیل مفاصل (گره‌ها) اشاره می‌شود و در مقاطع بالاتر با سایر روش‌های تحلیل خرپا آشنا خواهید شد.

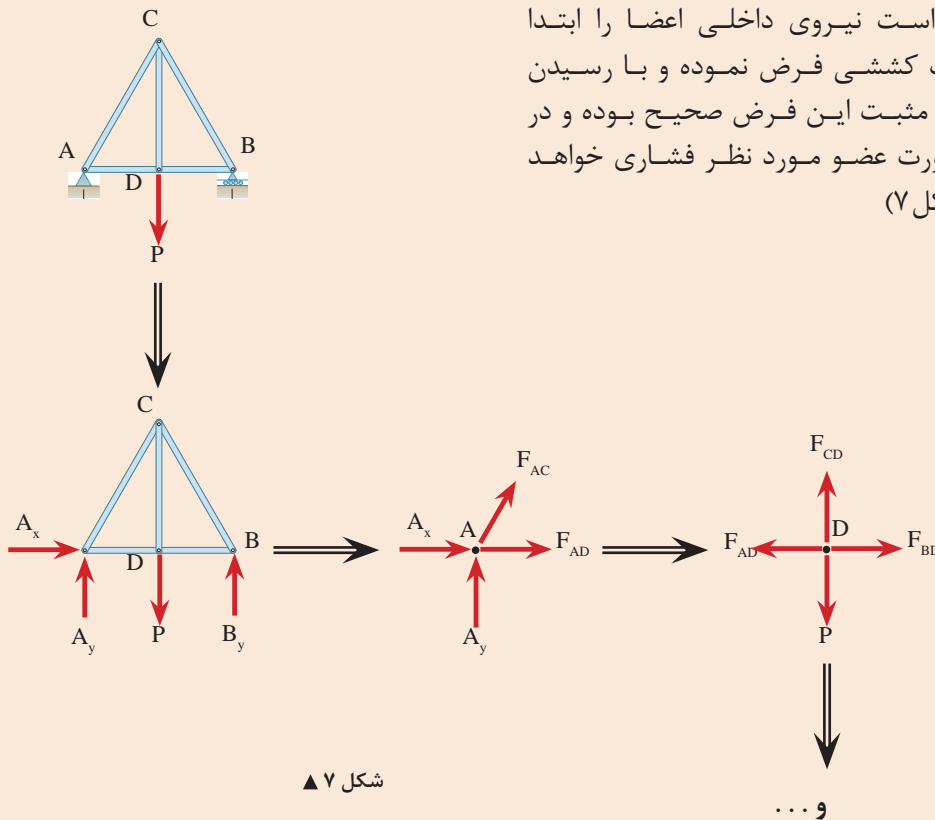
## ۵-۱-۵- روش مفاصل (گره‌ها) در تحلیل خرپاها

فلسفه این روش بر این اصل استوار است که چون کل خرپا در حال تعادل است پس هر گره یا جزء آن نیز باید در حال تعادل باشد، بنابراین عموماً مراحل تحلیل خرپا در این روش عبارت است از:

(۱) محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی (۲) ترسیم پیکر آزاد هر گره ←

(۳) اعمال شرایط تعادل هر گره (نقطه مادی) یعنی:  $\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases}$  ← (۴) حل معادلات تشکیل شده و محاسبه مجهولات مورد نظر

۱- در ترسیم پیکر آزاد گره‌ها، از گره‌ای شروع می‌نماییم که بیش از دو مجهول نداشته باشد.



نکته



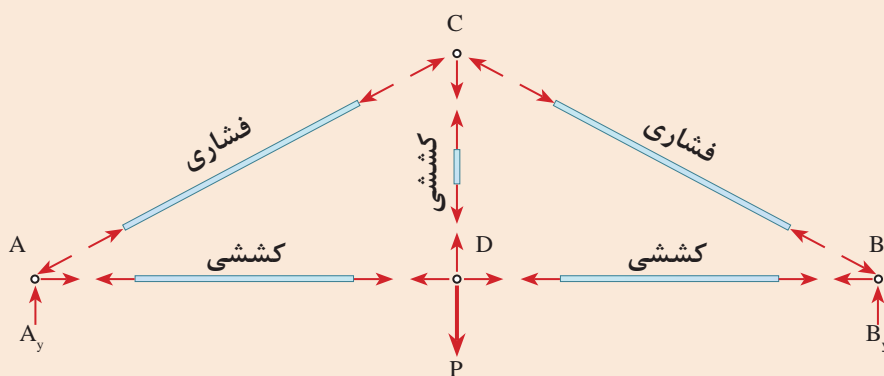
۲- بهتر است نیروی داخلی اعضا را ابتدا به صورت کششی فرض نموده و با رسیدن به جواب مثبت این فرض صحیح بوده و در غیراین صورت عضو مورد نظر فشاری خواهد بود. (شکل ۷)



نکته



۳- در ترسیم پیکر آزاد هر گره جهت نیروهای کششی از گره دور شده و جهت نیروهای فشاری به گره نزدیک می‌شود.  
نتیجه نهایی تحلیل خرابی شکل (۷) در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸ ▲

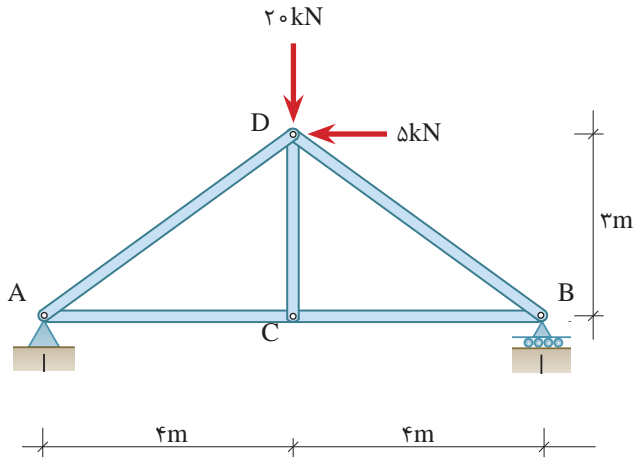
تحقیق کنید



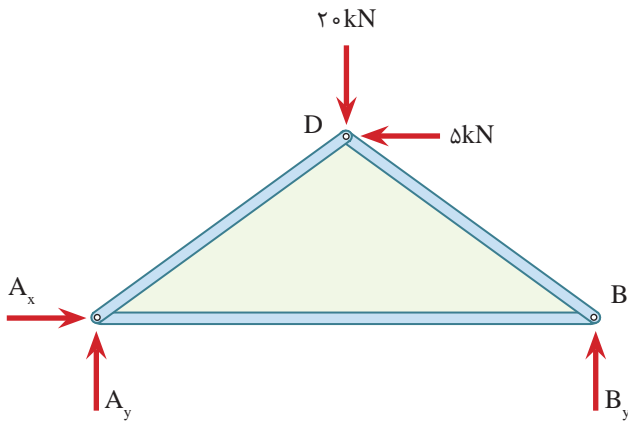
در کتاب‌های تاریخ فنی غرب، چنین آمده است که اولین نوع ساختمان‌های خرابایی، در قرن شانزدهم میلادی ساخته شده است. همچنین گفته شده که اولین نوع خرابای واقعی ثبت شده در تاریخ در قرن شانزدهم میلادی توسط یک مهندس رومی به نام پالادیو (Paladio) (۱۵۸۰ - ۱۵۱۸ م) ابداع و ساخته شده است. اما سندهای تاریخی نشان‌دهنده آن است که ساختمان خرابایی در ایران باستان از هزاره سوم قبل از میلاد ساخته می‌شده است. مورد استناد در این بررسی لوحه‌ای است که در حفاری‌های باستان‌شناسی شوش به دست آمده و تاریخ آن به هزاره سوم قبل از میلاد (پنج هزار سال پیش) می‌رسد. در مورد موارد ذکر شده تحقیقی انجام داده و در جلسه آینده در کلاس ارائه نمایید.



خرپای شکل روبه‌رو را تحلیل نمایید.



۱- ترسیم پیکر آزاد کل خرپا



۲- محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی

$$\sum \vec{F}_x = 0 \Rightarrow A_x - 5 = 0 \Rightarrow \boxed{A_x = 5 \text{ kN} \rightarrow}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y - 20 = 0$$

$$A_y + B_y = 20 \text{ kN} \quad \text{معادله I}$$

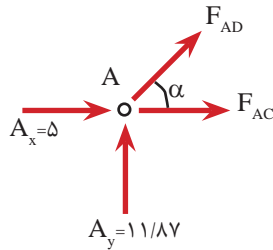
$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \Rightarrow 20 \times 4 - 5 \times 3 - B_y \times 8 = 0$$

$$B_y = \frac{65}{8} \Rightarrow \boxed{B_y = 8.125 \text{ kN}}$$

$$\text{در معادله I} \quad A_y + 8.125 = 20 \Rightarrow \boxed{A_y = 11.875 \text{ kN}}$$

### ۳- تحلیل گره‌ها

برای تحلیل گره‌ها با توجه به وجود دو عضو (دو مجهول) در هر یک از گره‌های A و B می‌توانیم از هریک از آنها شروع نماییم که در این مثال گره A انتخاب می‌گردد.



پیکر آزاد گره A:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{3}{4}\right) = 36.87^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha = 0.6 \\ \cos \alpha = 0.8 \end{cases}$$

$$\overset{+}{\Sigma} F_x = 0 \Rightarrow 5 + F_{AD} \cos \alpha + F_{AC} = 0 \Rightarrow 5 + 0.8 F_{AD} + F_{AC} = 0 \quad \text{معادله II}$$

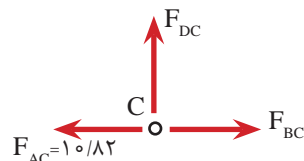
$$+\uparrow \Sigma F_y = 0 \Rightarrow 11/17 + F_{AD} \sin \alpha = 0 \Rightarrow 0.6 F_{AD} = -11/17$$

$$\Rightarrow F_{AD} = -19/17 \text{ kN} \quad \text{فشاری}$$

$$\text{II معادله} \Rightarrow 5 + 0.8(-19/17) + F_{AC} = 0$$

$$\Rightarrow F_{AC} = 10/17 \text{ kN} \quad \text{کششی}$$

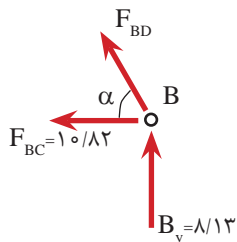
باتوجه به مشخص شدن نیروی داخلی عضو AC می‌بینیم که گره C نیز دارای دو مجهول BC و CD می‌باشد و اکنون می‌توان تحلیل این گره را آغاز کرد.



پیکر آزاد گره C:

$$\overset{+}{\Sigma} F_x = 0 \Rightarrow F_{BC} - 10/17 = 0 \Rightarrow F_{BC} = 10/17 \text{ kN} \quad \text{کششی}$$

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_{CD} = 0$$



پیکر آزاد گره B:

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_{BD} \sin \alpha + 8/17 = 0$$

$$\Rightarrow F_{BD} = \frac{-8/17}{0.6} \Rightarrow F_{BD} = -13/55 \text{ kN} \quad \text{فشاری}$$

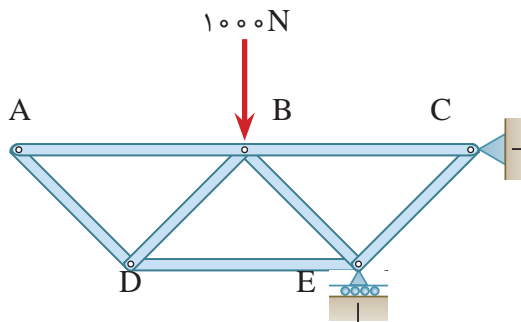
## ۵-۱-۶- اعضای صفر نیرویی

در مثال (۱) ملاحظه گردید که نیروی داخلی عضو CD برابر صفر است که اصطلاحاً به آن عضو صفر نیرویی گفته می‌شود.

در موارد زیر می‌توان اعضای صفر نیرویی را بدون تحلیل تشخیص داد.

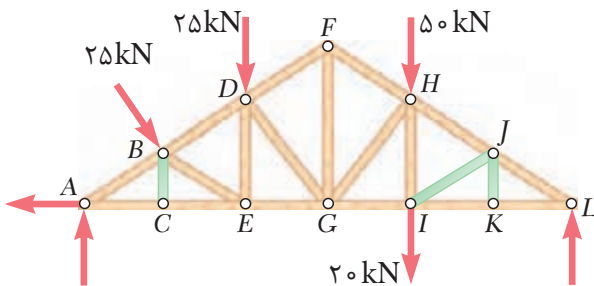
الف) هرگاه در گره‌ای دو عضو غیر هم‌راستا وجود داشته باشد و به آن گره نیروی خارجی و یا عکس‌العمل تکیه‌گاهی اعمال نشود، هر دو عضو صفر نیرویی خواهند بود. برای نمونه در شکل (۹)، اعضای AB و AD دارای چنین شرایطی هستند. بنابراین این اعضا صفر نیرویی خواهند بود. یعنی:

$$F_{AB} = F_{AD} = 0$$



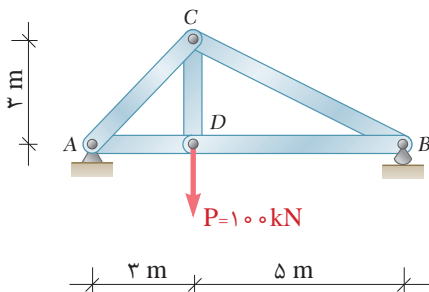
شکل ۹ ▲

آیا این خرپا دارای عضو صفر نیرویی دیگری می‌باشد؟ چرا؟ نام ببرید.



شکل ۱۰ ▲

ب) هرگاه در گره‌ای سه عضو وجود داشته باشد که دو عضو آن هم‌راستا باشند، در صورتی که نیروی خارجی روی گره مذکور نباشد، عضو سوم صفر نیرویی خواهد بود. در خرپای شکل (۱۰) اعضای BC و JK و IJ صفر نیرویی می‌باشند.



در خرپای شکل روبه‌رو مطلوب است:

الف) محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی

ب) محاسبه نیروهای داخلی اعضا و تعیین کششی یا فشاری بودن آنها

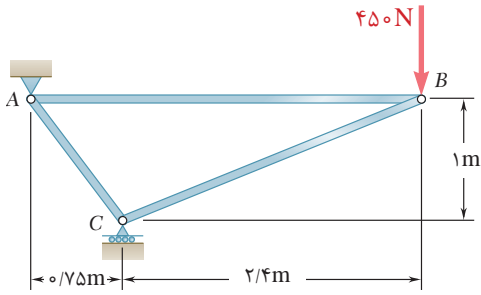
فعالیت  
کلاسی ۱



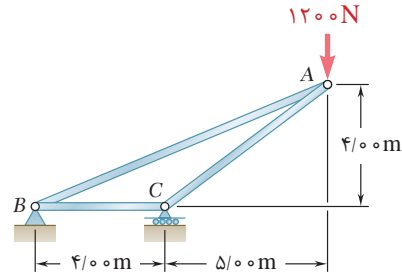
فعالیت  
کلاسی ۲



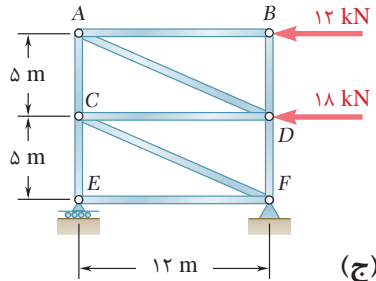
در خرپاهای زیر نیروهای داخلی اعضا را محاسبه نمایید.



(الف)



(ب)

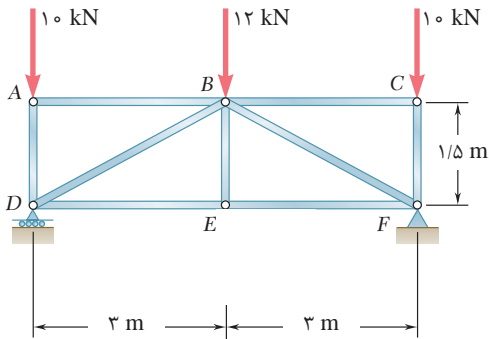


(ج)

فعالیت  
کلاسی ۳



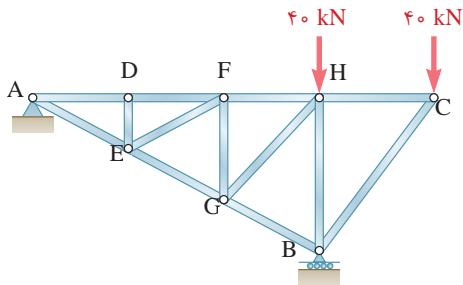
در خرپای شکل روبه‌رو اولاً اعضای صفر نیرویی را تعیین کنید. ثانیاً نیروی داخلی سایر اعضا را محاسبه کنید.



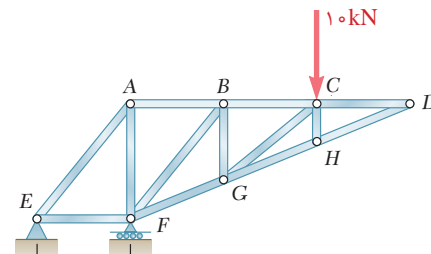
فعالیت  
کلاسی ۴



در خرپاهای زیر اعضای صفر نیرویی را مشخص نمایید.



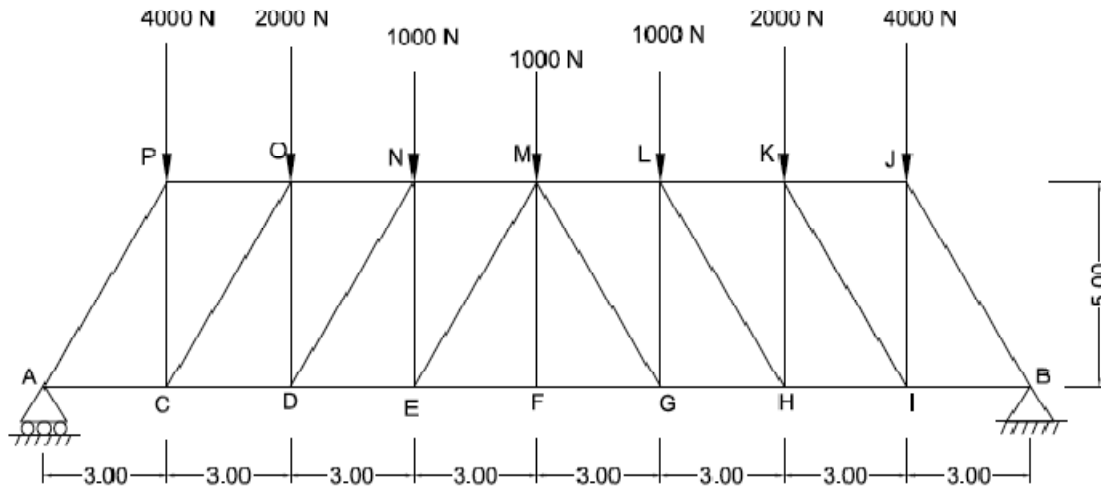
(ب)



(الف)

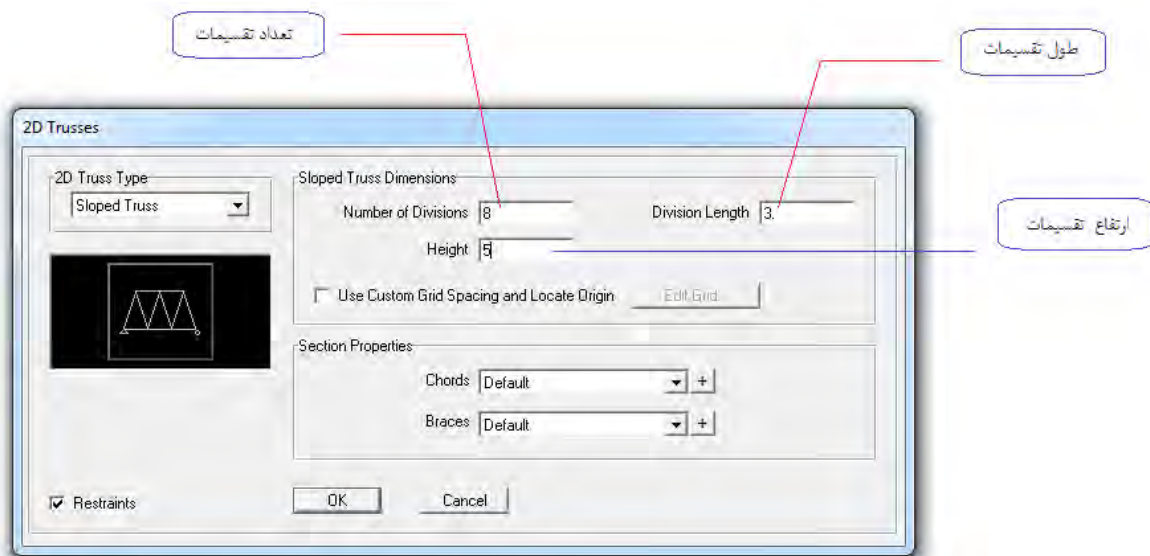


خرپای زیر را به کمک برنامه SAP تحلیل کنید. از وزن اعضا خریا صرف نظر کنید.

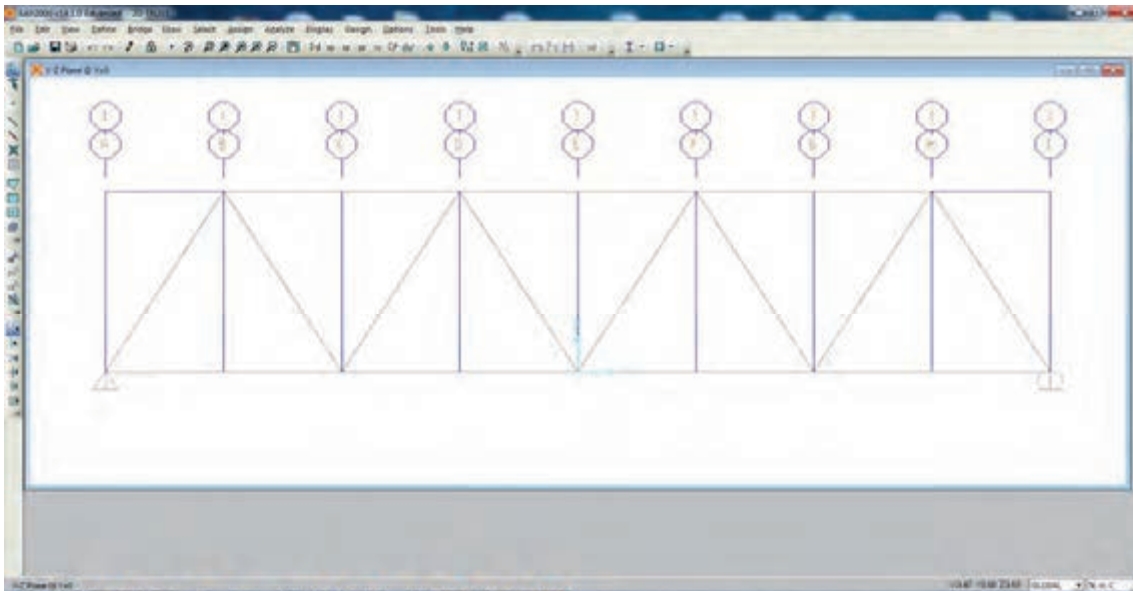


برای شروع برنامه SAP را راه‌اندازی نموده و مراحل زیر را انجام دهید.

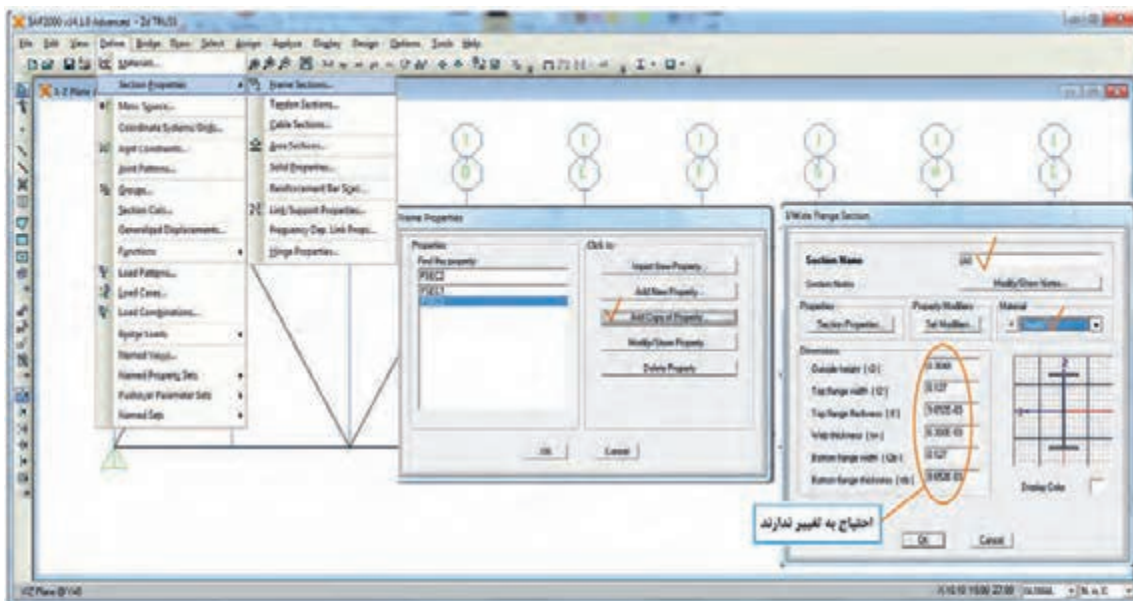
- با توجه به صورت سؤال واحدها را روی N و m و C قرار دهید.
- سپس گزینه new model را کلیک و این بار از بین نمونه‌ها 2D TRUSS را انتخاب نموده و با توجه به شکل سؤال صفحه زیر را تکمیل کنید.



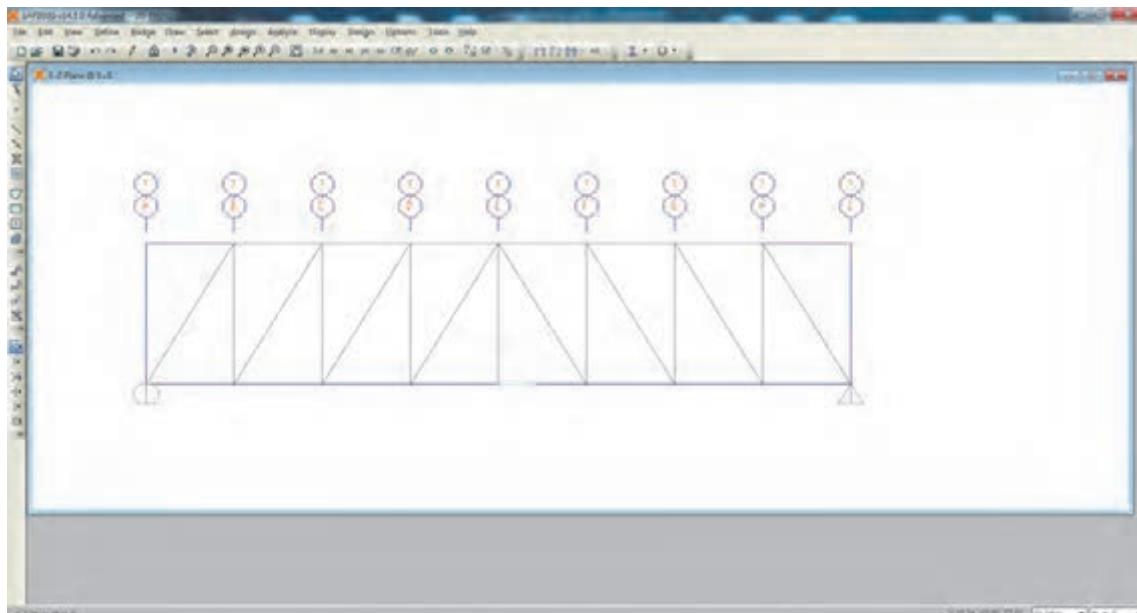
پس از تأیید، خرپا مدل می‌شود. برای این که مدل مطابق تمرین عملی باشد باید اعضای اضافی پاک شده و همچنین اعضای ممتد مجدداً ترسیم شوند. نتیجه نهایی به صورت شکل صفحه بعد خواهد بود.



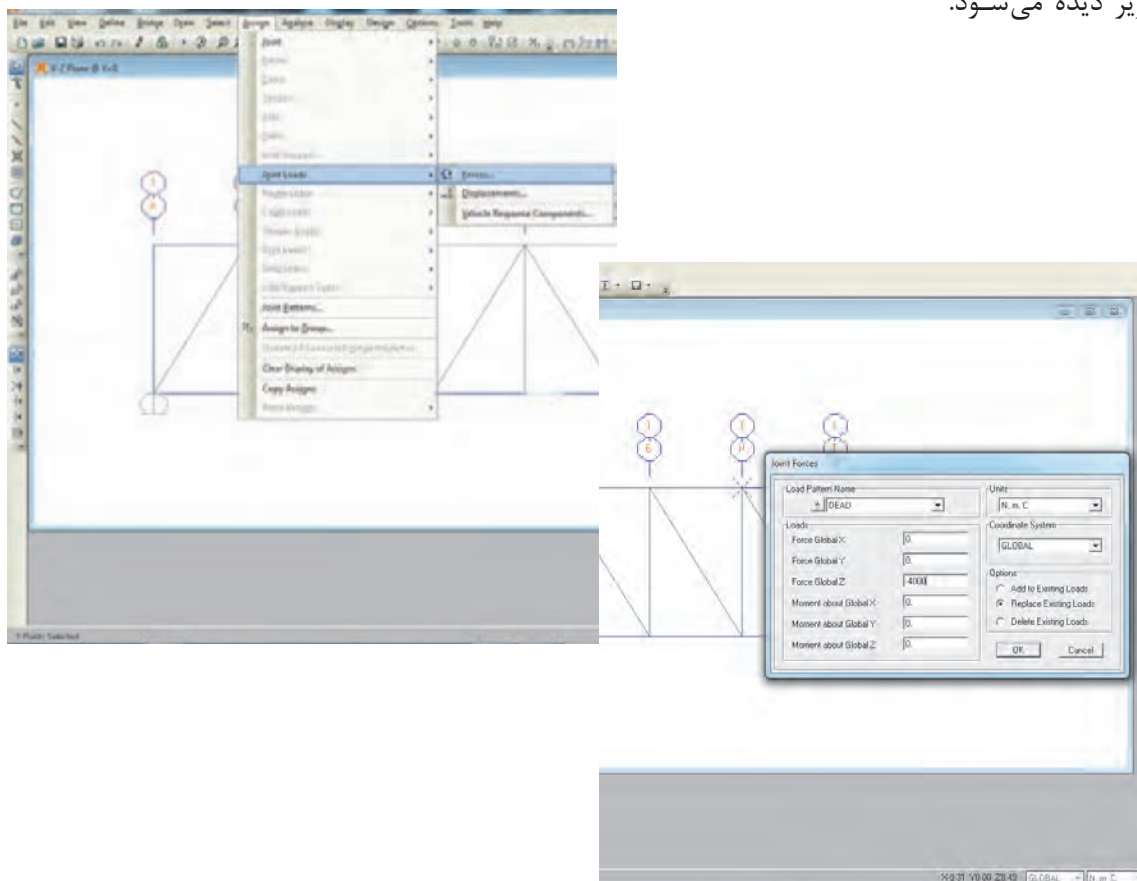
برای این که هم زمان با ترسیم اعضا، مقطع هر عضو را تعیین کنیم لازم است ابتدا یک ماده با وزن مخصوص صفر تعریف نموده و یک مقطع دلخواه برای این ماده تعریف کرده و در زمان ترسیم اعضا در قسمت مربوط به معرفی سطح مقطع آن را انتخاب کنیم.  
 در این جا مثل تمرین قبل ماده‌ای با اسم **Steel** تعریف می‌کنیم و سپس یک مقطع به نام **A0** تعریف کرده که مراحل این کار در شکل‌های زیر دیده می‌شود.



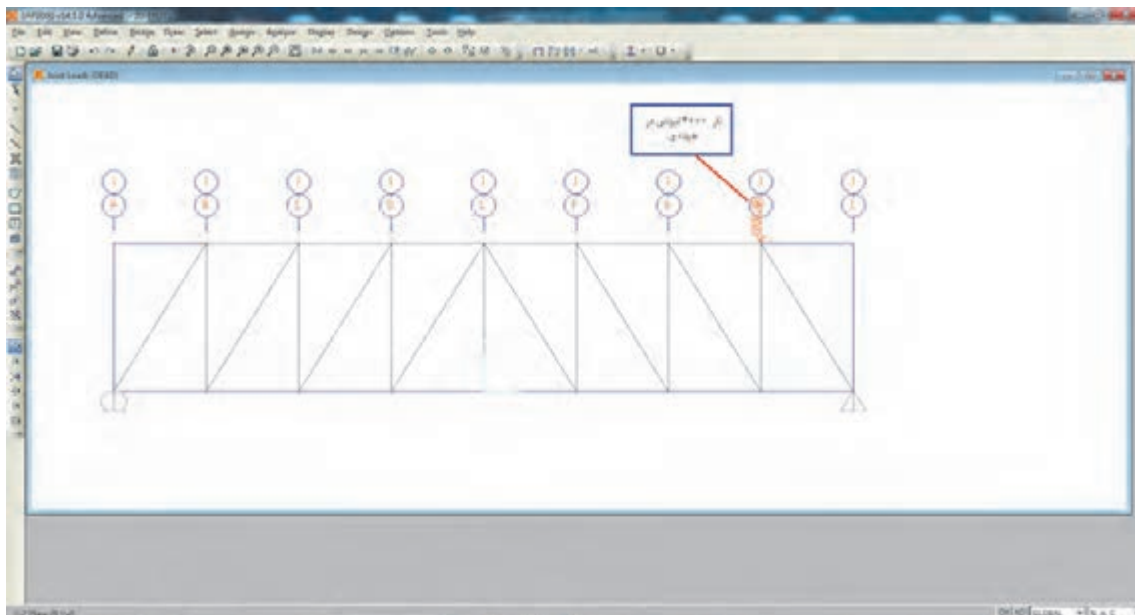
نتیجه نهایی به صورت شکل صفحه بعد است که با کلیک روی هر عضو می‌توانید مقطع هر عضو را ببینید که آیا درست تعریف شده‌اند یا نه.



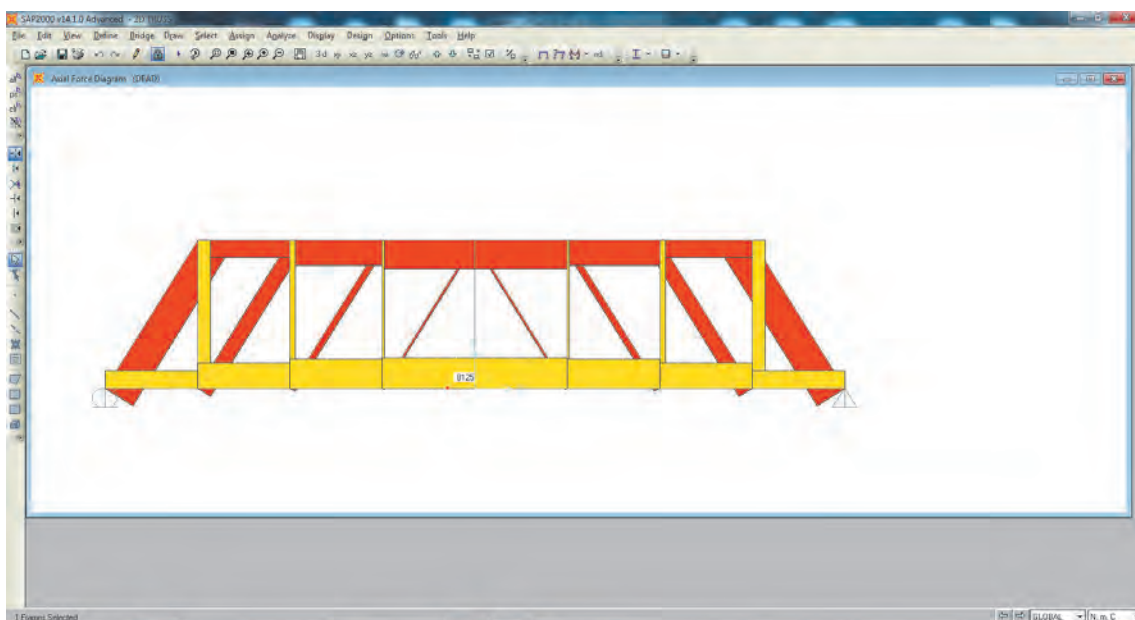
گام بعدی بارگذاری روی گره‌های J ، K ، L ، M ، N ، O ، P می‌باشد که نحوه بارگذاری یک گره در شکل زیر دیده می‌شود.







بارگذاری سایر گره‌ها به همین شکل انجام می‌شود. پس از بارگذاری و کنترل صحت کار انجام شده، با کلیک روی run analysis تحلیل خرابا انجام می‌گردد. مانند تمرین قبل نیروهای هر عضو را با کلیک روی آن عضو و نوع نیرو را نیز می‌توانید مشاهده کنید. در شکل زیر چند نمونه را مشاهده می‌کنید.



نمایش نیروی محوری اعضا

از نتایج کار پرینت تهیه کنید و با هم کلاسی‌های خود نتایج را بررسی نمایید.

## واحد یادگیری ۶ تحلیل تیرها

### ۶-۱-۱- تحلیل تیر

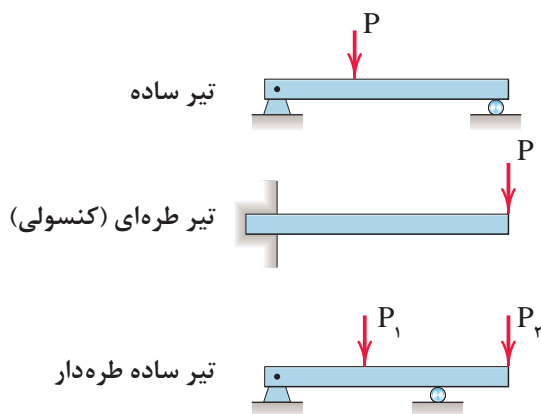
هدف از تحلیل تیر در این واحد یادگیری تعیین عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی و نیروهای داخلی در هر مقطع از تیر می‌باشد.

### ۶-۱-۱-۱- تعریف تیر (Beam)

تیر عضوی است که بارهای عمود بر محور خود را تحمل و منتقل می‌نماید و در اکثر سازه‌های ساختمانی به کار می‌رود.

### ۶-۱-۲- انواع تیرها از نظر شرایط تکیه‌گاهی

با توجه به انواع تکیه‌گاه‌ها که قبلاً معرفی شده‌اند تیرها می‌توانند به صورت‌های مختلف روی تکیه‌گاه‌ها قرار گیرند که در این قسمت به معرفی چند نوع از آنها اکتفا می‌شود. (شکل ۱)

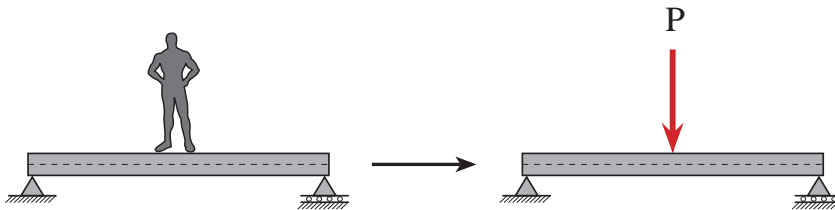


شکل ۱ ▲

### ۶-۱-۳- انواع بارهای وارد به تیر

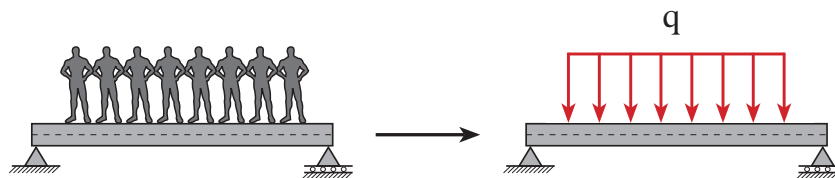
بارها به صورت‌های گوناگون به تیرها وارد می‌گردند که تعدادی از آنها عبارت‌اند از:

الف) بار متمرکز



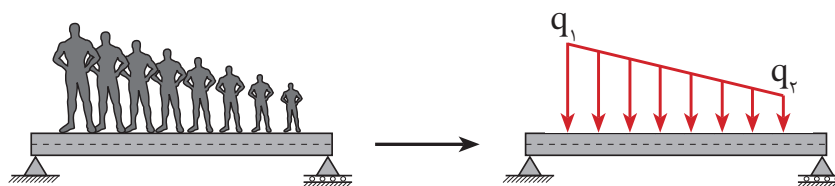
شکل ۲ ▲

ب) بار گسترده یکنواخت



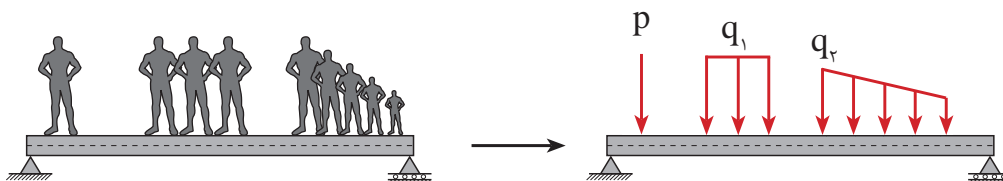
شکل ۳ ▲

ج) بار گسترده غیر یکنواخت



شکل ۴ ▲

د) ترکیبی از انواع فوق



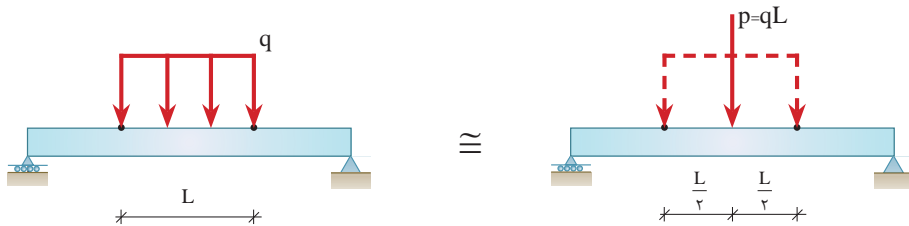
شکل ۵ ▲

### ۶-۱-۴- تعیین عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تیرها با بار گسترده یکنواخت

برای محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تیرها تحت بار گسترده یکنواخت ابتدا باید مقدار و محل اثر برآیند بارهای گسترده یکنواخت وارد به تیر را تعیین نمود. مطابق شکل (۶)

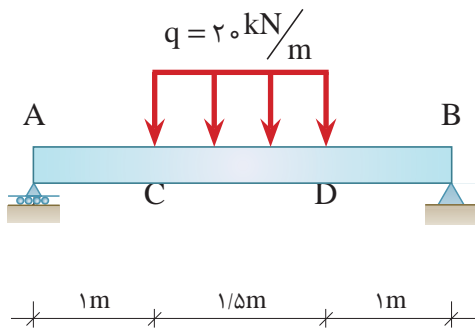
مقدار برآیند بار گسترده برابر مساحت مستطیل بار وارده و محل اثر آن نقطه تلاقی دو قطر مستطیل (نصف طول آن) خواهد بود.

با توجه به موارد فوق‌الذکر پیکر آزاد تیر را ترسیم نموده و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی را محاسبه می‌نماییم.



شکل ۶ ▲

عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تیر شکل زیر را محاسبه نمایید.



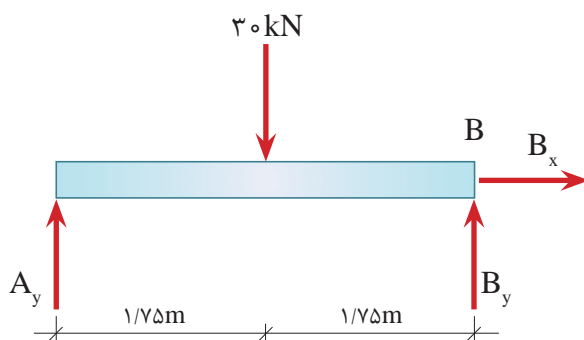
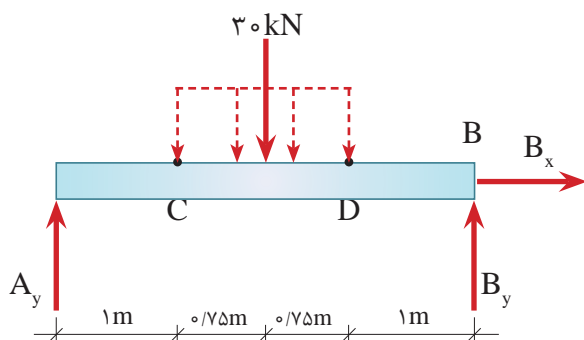
الف) ابتدا مقدار برآیند بار گسترده (مساحت مستطیل) را به دست می‌آوریم.

$$P = q.L \Rightarrow P = 20 \times 1/5 = 4 \text{ kN}$$

مثال ۱



ب) محل اثر برآیند بار گسترده در نصف طول مستطیل می‌باشد که در پیکر آزاد تیر دیده می‌شود.



ج) با تشکیل معادلات تعادل و حل آنها خواهیم داشت:

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

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y - 30 = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{A_y + B_y = 30 \text{ kN}} \quad \text{I}$$

$$\overset{+}{\curvearrowleft} \sum M_A = 0 \Rightarrow 30 \times 1/75 - B_y \times 3/5 = 0$$

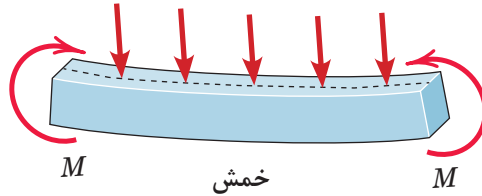
$$\Rightarrow \boxed{B_y = 15 \text{ kN}}$$

مقدار  $B_y$  را در معادله I قرار می‌دهیم تا  $A_y$  به دست آید.

$$\text{I از معادله } \Rightarrow A_y + B_y = 30 \Rightarrow A_y + 15 = 30 \Rightarrow \boxed{A_y = 15 \text{ kN}}$$

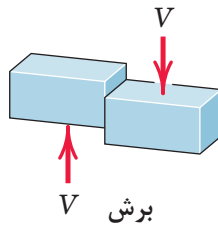
### ۶-۱-۵- رفتار تیر تحت تأثیر بارهای خارجی

هنگامی که تیری تحت تأثیر نیروهای خارجی مطابق شکل (۷) واقع می‌شود، در آن پدیده‌های خمش و برش ایجاد می‌گردد. پدیده خمش باعث ایجاد کشش و فشار در لایه‌ها یا تارهای تحتانی و فوقانی تیر می‌گردد. (شکل ۷)



شکل ۷ ▲

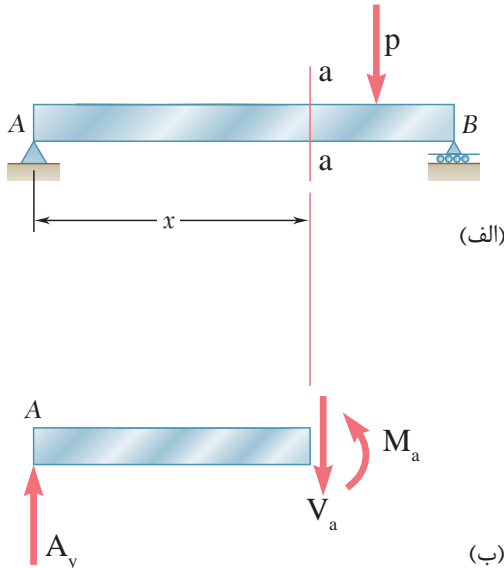
پدیده برش، رفتاری از تیر است که تمایل دارد تیر را در مقاطع مختلف آن قطع نماید. این رفتار، شبیه رفتار یک قیچی می‌باشد. (شکل ۸)



شکل ۸ ▲

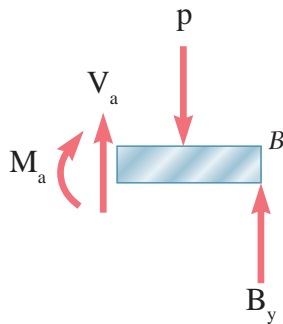
### ۶-۱-۶- نیروهای داخلی در تیرها با بار متمرکز

هنگامی که تیر تحت تأثیر بار قرار می‌گیرد در هر نقطه از طول تیر نیروهایی به وجود می‌آیند که به آنها نیروهای داخلی تیر می‌گویند. برای این که نیروهای داخلی در هر نقطه از تیر تعیین شود باید یک برش (مقطع) عمود بر محور تیر در آن نقطه در نظر گرفت و پیکر آزاد یکی از قطعات سمت چپ یا راست مقطع مورد نظر را ترسیم نموده و با توجه به بحث تعادل اثر قطعه دیگر را بر روی آن اعمال کرد. به عنوان مثال در شکل (۹) در مقطع  $a-a$  خواهیم داشت:



شکل ۹ ▲

و مطابق قانون سوم نیوتن همین اثر روی قطعه سمت راست و در جهت مخالف وجود دارد. (شکل ۱۰)

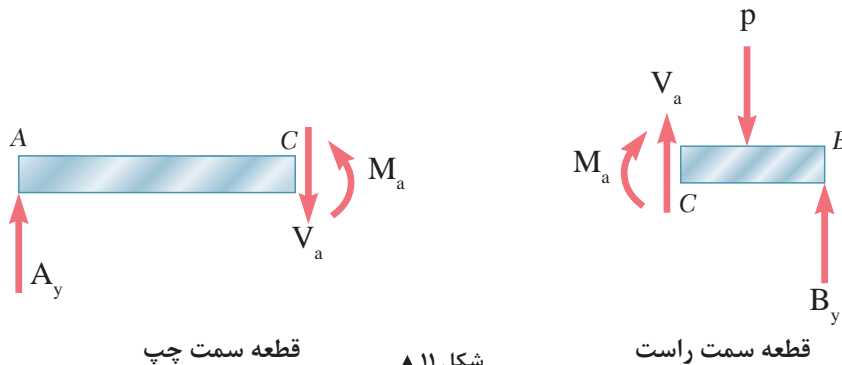


شکل ۱۰ ▲

بنابراین نیروهای داخلی در هر مقطع از تیرها عبارتند از:  $\left. \begin{array}{l} ۱- \text{نیروی برشی } (V) \\ ۲- \text{لنگر خمشی } (M) \end{array} \right\}$

### ۱-۶-۱-۶-۱-۶ علامت قراردادی نیروهای داخلی تیرها

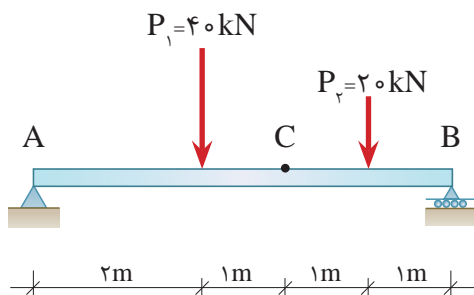
برای ایجاد یکنواختی در محاسبات نیروهای داخلی در مقاطع تیرها بهتر است جهت‌های مثبت نیروی برشی و لنگر خمشی را به صورت شکل (۱۱) در نظر بگیریم.



شکل ۱۱ ▲

### ۱-۶-۲-۶-۱-۶ محاسبه نیروهای داخلی تیرها با بار متمرکز

برای محاسبه نیروهای داخلی در هر مقطع، پس از ترسیم پیکر آزاد یکی از قطعات سمت چپ یا راست آن مقطع و قرار دادن نیروی برشی  $V$  و لنگر خمشی  $M$  مطابق قرارداد فوق کافی است معادلات تعادل را برای قطعه مورد نظر تشکیل داده و اقدام به حل آنها نماییم.

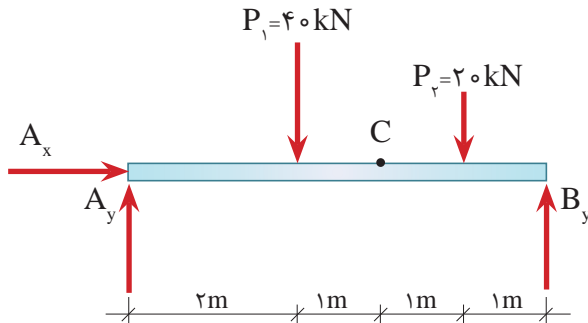


در تیر شکل مقابل مطلوب است:  
الف) محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی  
ب) محاسبه نیروی برشی و لنگر خمشی در نقطه C

مثال ۲



گام (۱) ترسیم پیکر آزاد تیر:



گام (۲) محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی:

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

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y - 40 - 20 = 0$$

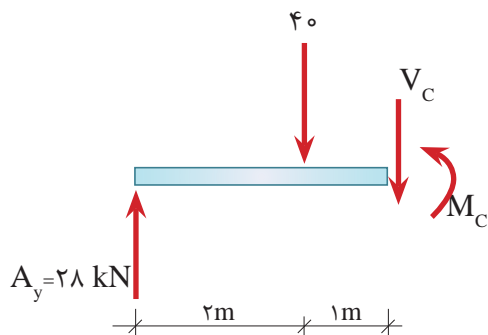
$$A_y + B_y = 60 \text{ kN} \quad \text{رابطه I}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \Rightarrow 40 \times 2 + 20 \times 4 - 5B_y = 0$$

$$\boxed{B_y = 32 \text{ kN}}$$

$$\text{I از رابطه } \Rightarrow A_y + 32 = 60 \Rightarrow \boxed{A_y = 28 \text{ kN}}$$

گام (۳) برای تعیین نیروهای داخلی در مقطع C، تیر را در این نقطه به دو قسمت تقسیم نموده و قطعه سمت چپ را مورد بررسی قرار می‌دهیم.



گام (۴) تشکیل معادلات تعادل و حل آنها برای این قطعه

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow 28 - 40 - V_c = 0 \Rightarrow \boxed{V_c = -12 \text{ kN}}$$

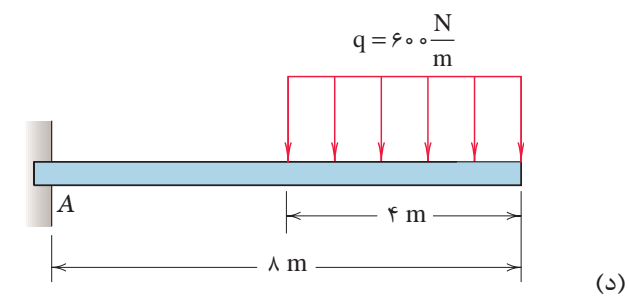
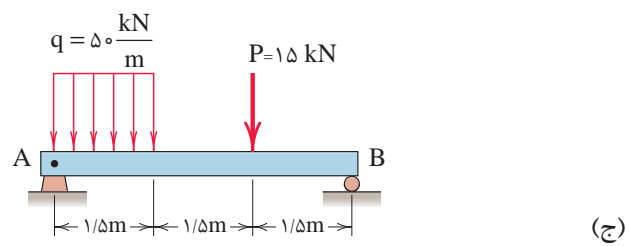
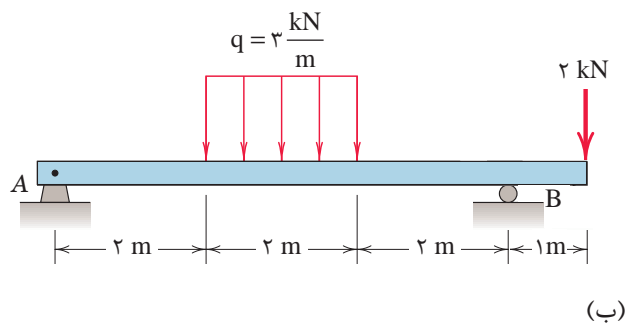
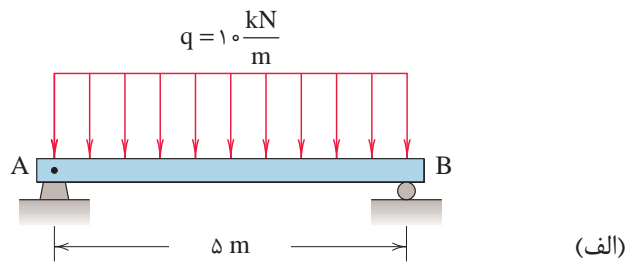
$$+\circlearrowleft \sum M_c = 0 \Rightarrow 28 \times 2 - 40 \times 1 - M_c = 0$$

$$\boxed{M_c = 44 \text{ kN.m}}$$



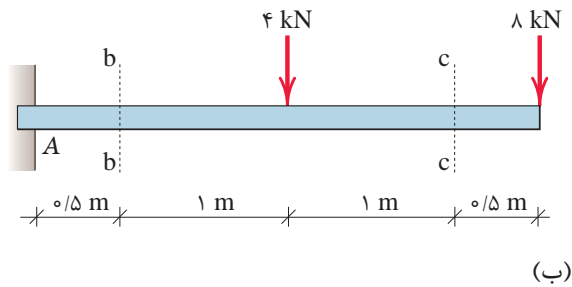
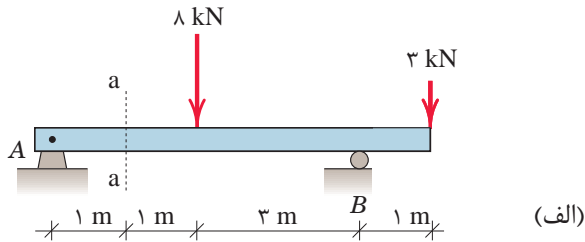


عکس العمل‌های تکیه‌گاهی زیر را به دست آورید.





در تیرهای زیر نیروی برشی و لنگر خمشی را در مقاطع نشان داده شده به دست آورید.



### ۶-۱-۷- مقادیر حداکثر نیروهای برشی و لنگر خمشی در تیرها با بار متمرکز

در مثال قبل چگونگی محاسبه نیروی برشی و لنگر خمشی در نقطه دلخواه C را مشاهده نمودیم. برای مهندسیین معمولاً مقدار ماکزیمم نیروهای داخلی و محل آنها مهم است. حال این سؤال مطرح می‌شود که مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی حداکثر در کدام نقطه از طول تیر به وجود می‌آید؟

برای پاسخ به این سؤال باید مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی را در تمام نقاط طول تیر همانند مثال قبل محاسبه نموده تا مقادیر حداکثر مورد نظر و محل آنها مشخص شود که این روش، کاری است طاقت فرسا. لذا بهتر است که مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی در طول تیر را به صورت نمودار نشان داده و از روی نمودار مقادیر حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی و محل آنها را تعیین نمود.

## ۶-۱-۸- ترسیم نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی تیرها با بار متمرکز

نمودار نیروی برشی و یا لنگر خمشی عبارت است از نموداری که مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی را در هر نقطه از تیر مشخص می‌نماید. هدف از ترسیم چنین نمودارهایی تعیین نقاطی است که حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی در آنها به وجود می‌آید. برای رسیدن به این هدف تیر را با توجه به محل‌هایی که بارگذاری آن تغییر می‌نماید به چند ناحیه تقسیم نموده و در هر ناحیه معادلات نیروی برشی و لنگر خمشی را بر حسب طول تیر تعیین و سپس نمودار معادلات مذکور ترسیم می‌گردد.

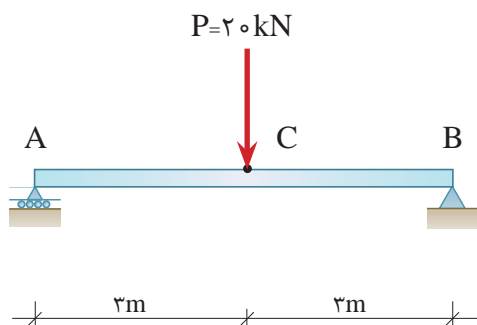
مراحل ترسیم نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی در تیر با بار متمرکز به شرح ذیل خواهد بود:

- ۱- محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تیر
- ۲- ما بین هر دو بار متمرکز یک مقطع به فاصله  $X$  از تکیه‌گاه در نظر گرفته و محدوده  $X$  را تعیین می‌نماییم. عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی نیز، بار متمرکز محسوب می‌شوند.
- ۳- پیکر آزاد یکی از قطعات سمت چپ و یا راست مقطع مورد نظر را ترسیم می‌کنیم.
- ۴- با تشکیل معادلات تعادل برای قطعه مورد نظر، به معادلات نیروی برشی و لنگر خمشی بر حسب  $X$  خواهیم رسید.
- ۵- با ترسیم نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی در محدوده‌های مختلف تیر به نمودارهای مورد نظر دست می‌یابیم.

مثال ۳



نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی تیر مقابل را ترسیم نمایید.

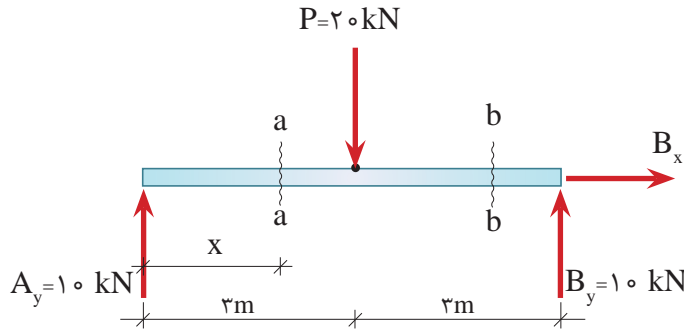


۱- محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی: با توجه به تقارن تیر داریم:

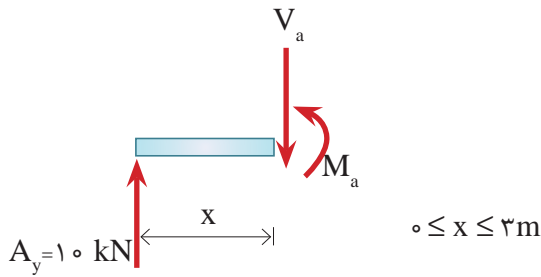
$$\sum F_x^+ = 0 \Rightarrow B_x = 0$$

$$A_y = B_y = \frac{20}{2} = 10 \text{ kN}$$

۲- مقطع a-a به فاصله x از تکیه‌گاه A را در نظر گرفته و محدوده x را مشخص می‌نماییم.



۳- ترسیم پیکر آزاد قطعه سمت چپ مقطع a-a



۴- با تشکیل معادلات تعادل برای قطعه فوق خواهیم داشت:

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0 \Rightarrow 10 - V_a = 0$$

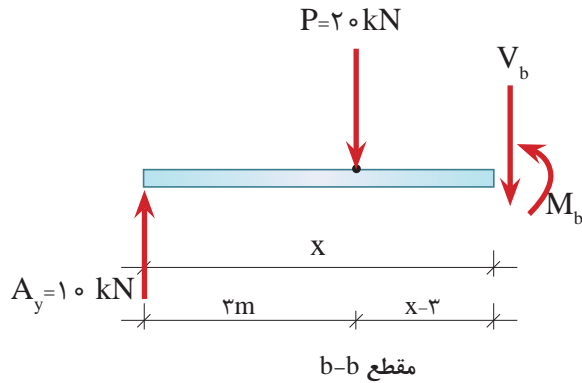
$$\boxed{V_a = 10 \text{ kN}} \quad \text{(I)} \quad 0 \leq x \leq 3 \text{ m} \quad \text{معادله نیروی برشی در محدوده}$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_a = 0 \Rightarrow 10 \times x - M_a = 0$$

$$\boxed{M_a = 10x} \quad \text{(II)} \quad 0 \leq x \leq 3 \text{ m} \quad \text{معادله لنگر خمشی در محدوده}$$

این معادلات مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی را در محدوده  $0 \leq x \leq 3 \text{ m}$  مشخص می‌نمایند.

عملیات صفحه قبل را برای مقطع b-b در محدوده  $3m \leq x \leq 6m$  تکرار می‌نماییم. خواهیم داشت:



$$+\uparrow \Sigma F_y = 0 \Rightarrow 10 - 20 - V_b = 0$$

$$\boxed{V_b = -10 \text{ kN}} \quad \text{(III)} \quad 3m \leq x \leq 6m \quad \text{معادله نیروی برشی در محدوده}$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_b = 0 \Rightarrow 10 \times x - 20 \times (x - 3) - M_b = 0$$

$$M_b = 10x - 20(x - 3)$$

$$\boxed{M_b = 60 - 10x} \quad \text{(IV)} \quad 3m \leq x \leq 6m \quad \text{معادله لنگر خمشی در محدوده}$$

۵- اکنون نمودار نیروی برشی را با استفاده از معادلات I و III ترسیم می‌نماییم.

$$\text{(I)} \quad V_a = 10 \text{ kN} \quad 0 \leq x \leq 3m$$

$$\text{(III)} \quad V_b = -10 \text{ kN} \quad 3m \leq x \leq 6m$$

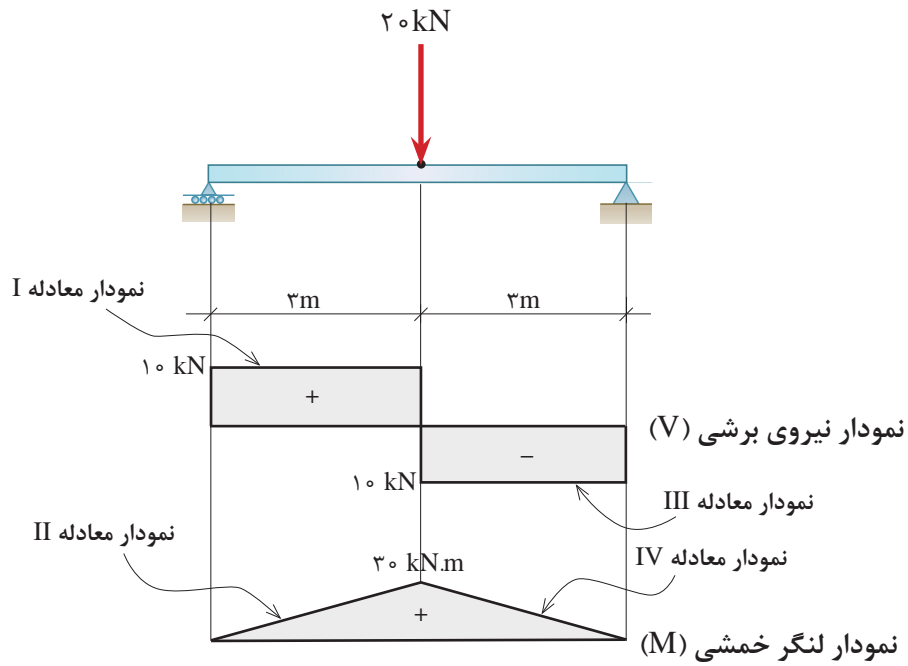
۶- نمودار لنگر خمشی را با استفاده از معادلات II و IV و به روش نقطه‌یابی در نقاط ابتدا و انتهای هر ناحیه ترسیم می‌کنیم.

$$\text{(II)} \quad M_a = 10x \quad 0 \leq x \leq 3m$$

x (m)	M(kN.m)
0	0
3	30

$$\text{(IV)} \quad M_b = 60 - 10x \quad 3m \leq x \leq 6m$$

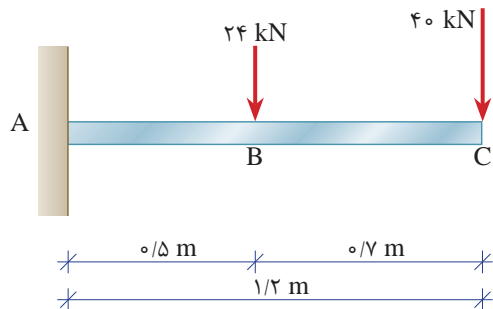
x (m)	M(kN.m)
3	30
6	0



مثال ۴

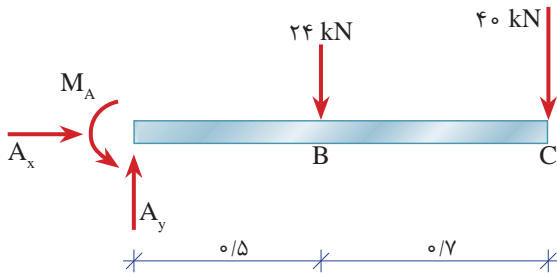


در تیر شکل مقابل مطلوب است:  
 الف) ترسیم دیاگرام نیروی برشی تیر  
 ب) ترسیم دیاگرام لنگر خمشی تیر  
 ج) تعیین نیروی برشی و لنگر خمشی حداکثر تیر.



حل:

الف) محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی

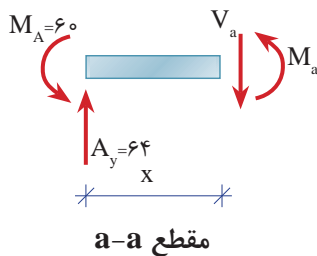
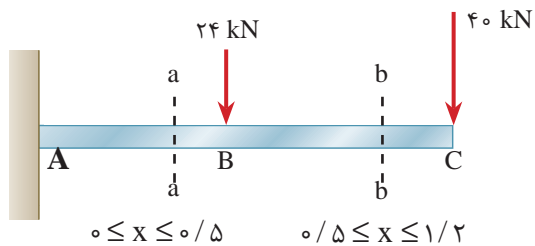


$$\overset{+}{\Sigma} F_x = 0 \Rightarrow A_x = 0$$

$$\overset{+}{\Sigma} F_y = 0 \Rightarrow A_y - 24 - 40 = 0 \Rightarrow A_y = 64 \text{ kN}$$

$$\overset{+}{\Sigma} M_A = 0 \Rightarrow -M_A + 24 \times 0.5 + 40 \times 1.5 = 0 \Rightarrow M_A = 60 \text{ kN.m}$$

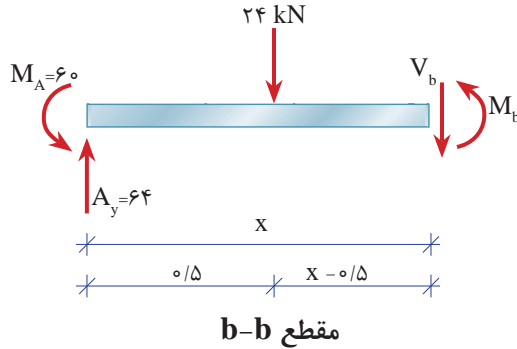
معادلات نیروی برشی و لنگر خمشی در ناحیه AB ( $0 \leq x \leq 0.5$ ):



$$\overset{+}{\Sigma} F_y = 0 \Rightarrow 64 - V_a = 0 \Rightarrow V_a = 64 \text{ kN} \quad 0 \leq x \leq 0.5$$

$$\overset{+}{\Sigma} M_a = 0 \Rightarrow -M_a + 64x - M_A = 0 \Rightarrow M_a = 64x - 60$$

معادلات نیروی برشی و لنگر خمشی در ناحیه BC ( $0/5 \leq x \leq 1/2$ ):



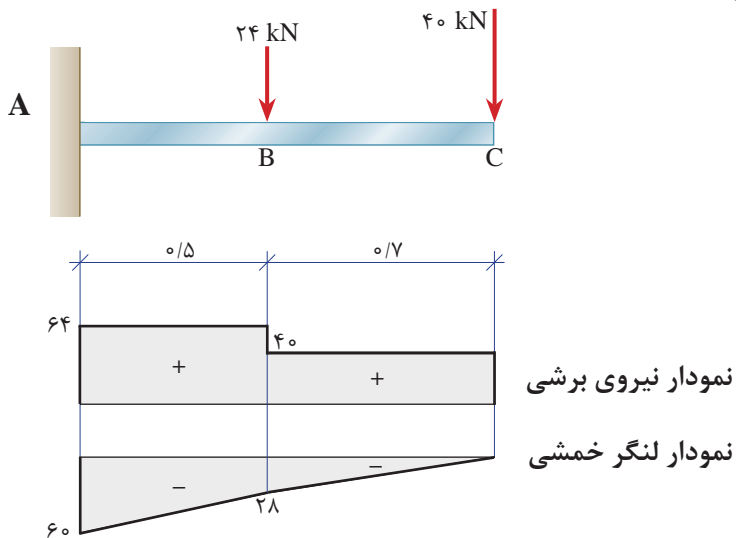
$$+\uparrow \Sigma F_y = 0 \Rightarrow 64 - 24 - V_b = 0 \Rightarrow \boxed{V_b = 40 \text{ kN}} \quad 0/5 \leq x \leq 1/2$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_b = 0 \Rightarrow -M_b - M_A + 64 \times x - 24(x - 0/5) = 0$$

$$\Rightarrow M_b = 64x - 24(x - 0/5) - 60$$

$$\boxed{M_b = 40x - 48} \quad 0/5 \leq x \leq 1/2$$

ترسیم معادلات برش و خمش:



ج) با توجه به نمودار، حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی در تکیه‌گاه قرار دارد و مقدار آن برابر است با:

$$\boxed{V_{\max} = 64 \text{ kN}}$$

$$\boxed{M_{\max} = 28 \text{ kN.m}}$$

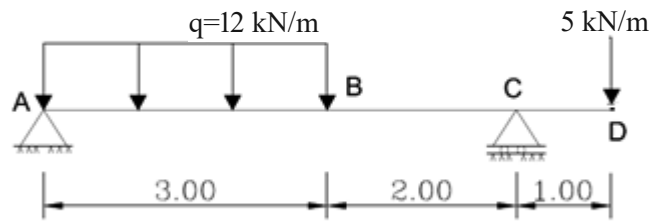
نتیجه: در تیرهای کنسولی حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی در تکیه‌گاه به وجود می‌آید.





به کمک برنامه SAP در تیر شکل زیر مطلوب است:

- ۱- محاسبه عکس العمل‌های تکیه‌گاهی
- ۲- ترسیم دیاگرام برش و تعیین مقدار و محل حداکثر آن
- ۳- ترسیم دیاگرام خمش و تعیین مقدار و محل حداکثر آن

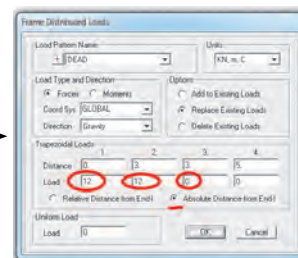
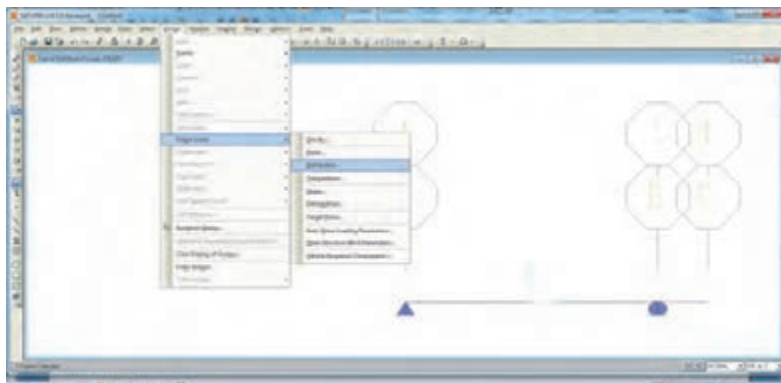


مراحل کار به صورت زیر است که با تمامی آنها آشنایی دارید به جز نحوه اعمال بار گسترده که در ادامه توضیح خواهیم داد.

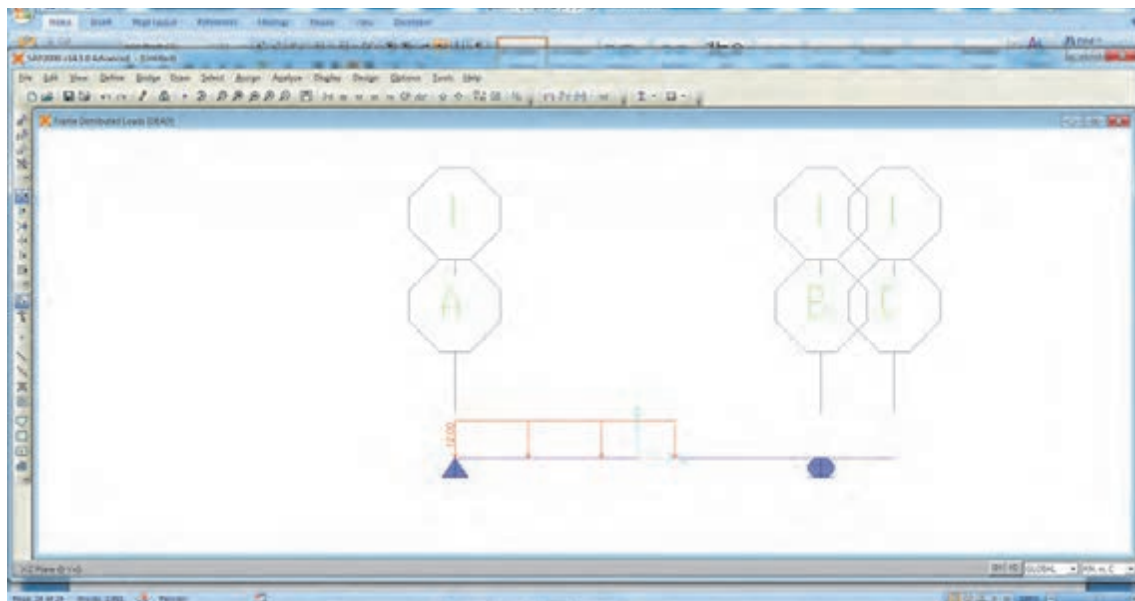
- واحد را با توجه به مسئله تنظیم کنید
- از گزینه new model نمونه تیر یک دهانه را انتخاب و اصلاحات مربوطه مانند تعداد تقسیمات و طول دهانه را انجام دهید.
- پنجره سه بعدی را بسته و در نمای X-Z قرار بگیرید.
- در زمینه برنامه کلیک راست نموده و گریدها را برای ایجاد کنسول تیر اصلاح کنید.
- ماده‌ای با نام mat<sup>o</sup> تعریف کنید.
- یک مقطع دلخواه beam تعریف کنید که مصالح آن از نوع mat<sup>o</sup> باشد.
- هریک از اعضا AC و CD را ترسیم کنید. در جعبه‌ای که همراه ترسیم باز شده، مقطع را روی beam قرار دهید.

### تعریف بار گسترده

عضو AC را انتخاب و از منوی Assign/frame Load/distributed مطابق شکل زیر تعریف‌های لازم را انجام دهید.



نتیجه در شکل زیر مشاهده می‌شود.



• بار نقطه‌ای را در نقطه D در جهت z- تعریف کنید.

توجه داشته باشید که نوع این بار با بار گسترده یکی می‌باشد. در تعریف آن گزینه Add to existing load را به جای Replace existing load در جعبه Frame distributed loads در شکل بالا فعال نمایید در غیر این صورت این بار جایگزین بار گسترده شده و بار گسترده حذف می‌شود.

نکته



برای کنترل کار می‌توانید از منوی Display / Show load هر یک از بارهای اختصاص یافته را ببینید.

نکته

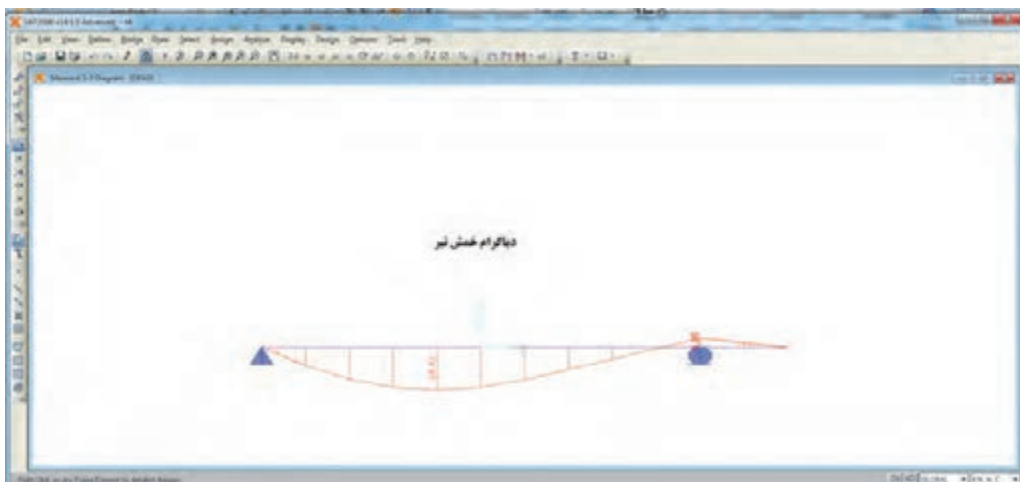
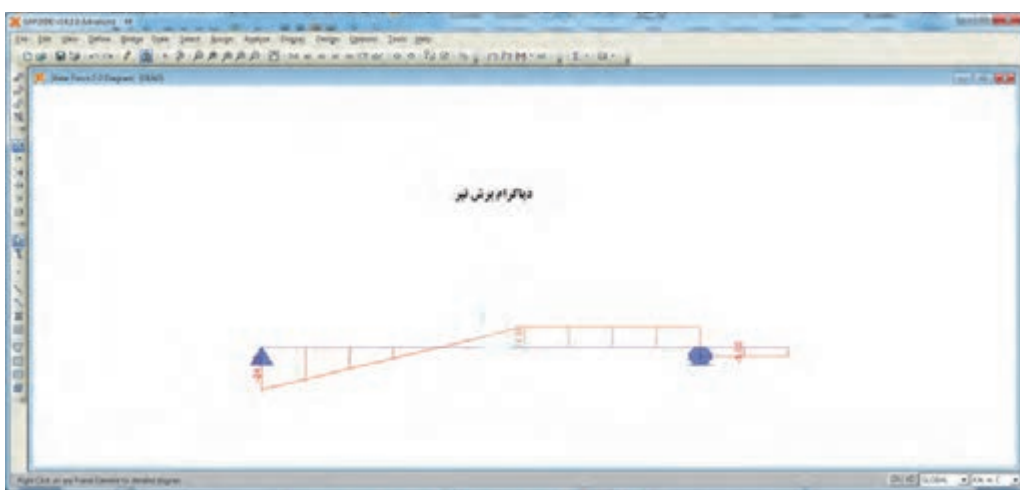
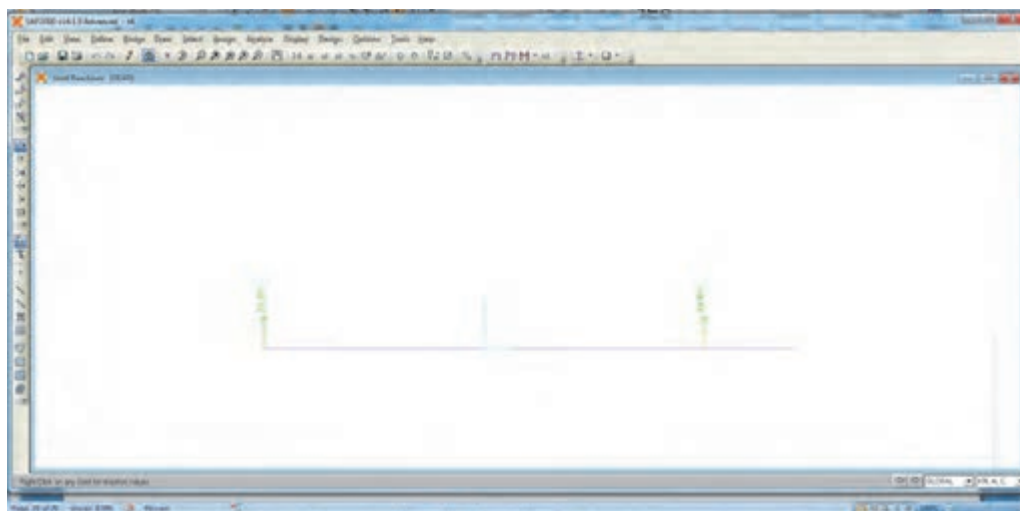


• برنامه آماده Run می‌باشد و می‌توانید نتایج را در شکل‌های صفحه بعد ببینید.

برای اطمینان از صحت نتایج ابتدا مقادیر عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی را نمایش دهید و با روش دستی کنترل کنید.

نکته





با توجه به توضیحات در تمرین‌های عملی قبلی محل حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی را تعیین کنید.



### نکات مربوط به جمع‌بندی پودمان ۳ (تحلیل سازه‌های ساختمانی)

- خرپاها به دو گروه کلی صفحه‌ای و فضایی تقسیم می‌شوند.
- خرپاها تشکیل شبکه‌ی مثلثی می‌دهند.
- نیروهای خارجی وارد بر خرپاها در صفحه خرپا و در محل گره‌ها به آنها اعمال می‌شود.
- اعضای خرپاها به صورت مفصلی به یکدیگر متصل می‌شوند.
- منظور از تحلیل خرپا، تعیین نیروی داخلی هر عضو خرپا و محاسبه‌ی عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی آن می‌باشد.
- برای تحلیل خرپاها از روش مفصل (گره) استفاده می‌شود.
- در گره‌های دارای دو عضو غیر هم‌راستا در صورتی که نیروی خارجی وجود نداشته باشد هر دو عضو صفر نیرویی خواهند بود.
- در گره‌های دارای سه عضو که دو عضو آنها هم‌راستا باشند، در صورت عدم وجود نیروی خارجی در آن گره، عضو سوم، صفر نیرویی خواهد بود.
- هدف از تحلیل تیر، تعیین عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی و نیروهای داخلی در هر مقطع از تیر می‌باشد.
- تیرها در اثر اعمال بارهای خارجی دارای رفتارهای خمشی و برشی می‌باشند.
- نیروهای داخلی در هر مقطع از تیر عبارت‌اند از: نیروی برشی و لنگر خمشی.
- مقدار برآیند بارهای گسترده یکنواخت برابر است با مساحت بار گسترده.
- محل اثر برآیند بارهای گسترده یکنواخت در محل تلاقی دو قطر مستطیل بار وارده (نصف طول مستطیل) می‌باشد.

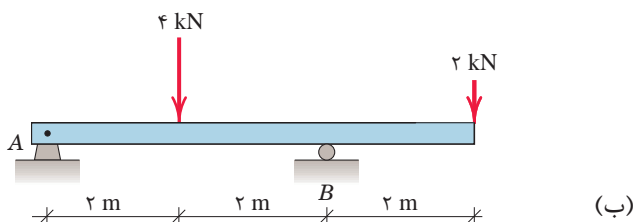
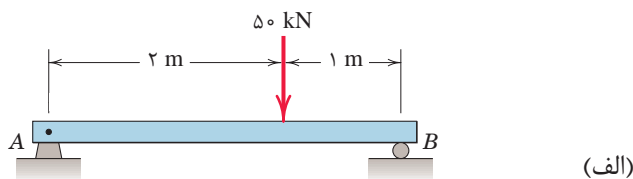


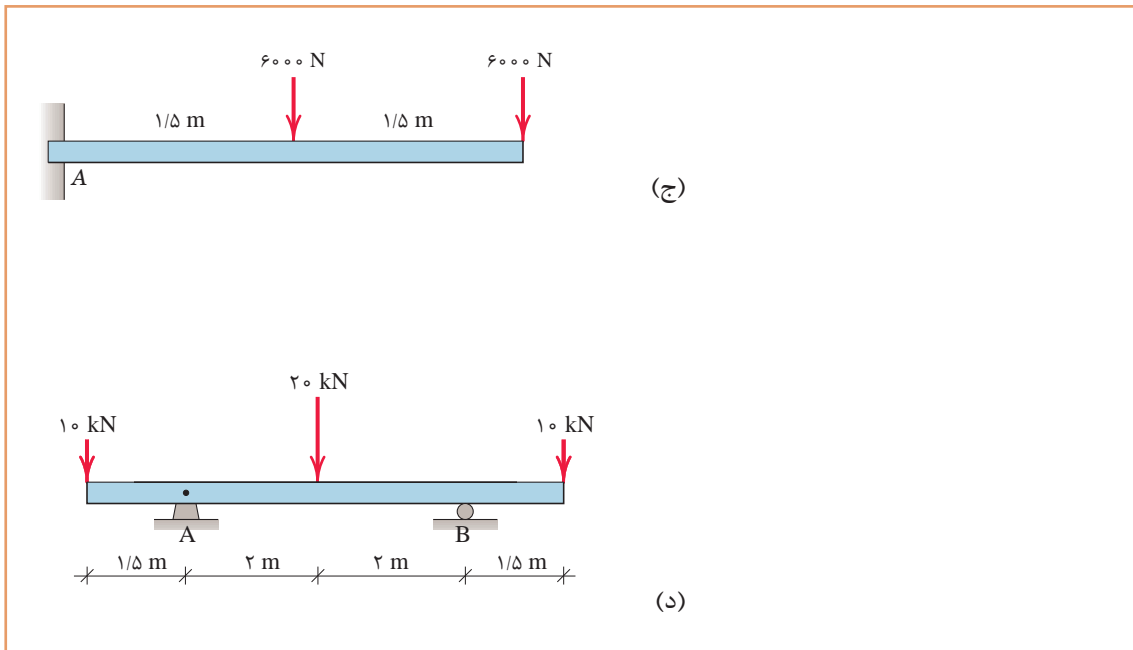
در تیرهای زیر مطلوب است:

(الف) ترسیم نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی

(ب) تعیین محل لنگر خمشی حداکثر

(ج) تعیین مقادیر حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی تیر





## ارزشیابی

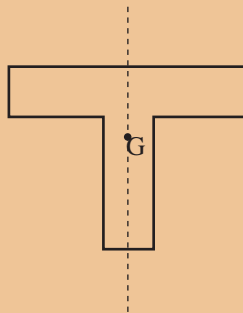
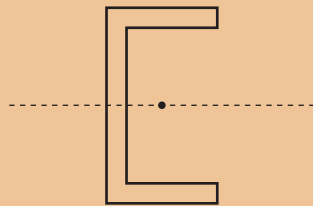
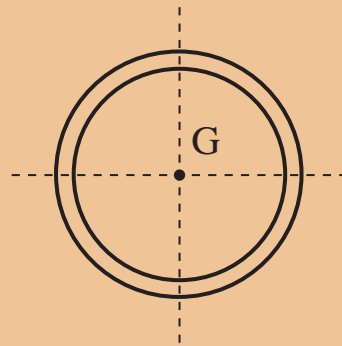
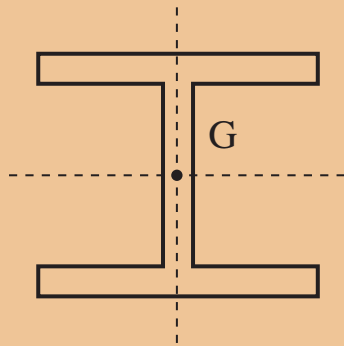
ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جدول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌های در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه‌ریزی هنرستان وجود دارد.

### الگوی ارزشیابی پودمان تحلیل سازه‌های ساختمانی

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)
۳	ترسیم نیروهای داخلی خرپا و تیر	بالاتر از حد انتظار	به کمک معادلات تعادل، نیروهای داخلی در خرپا و اجسام صلب را با ماشین حساب به دست آورد.	تحلیل خرپا
۲	تشکیل معادلات تعادل گره یا در هر مقطع از جسم صلب	در حد انتظار (کسب شایستگی)		تحلیل تیر
۱	ترسیم پیکره آزاد هر گره یا در هر مقطع از جسم صلب	پایین‌تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)		
	نمره مستمر از ۵			
	نمره شایستگی پودمان از ۳			
	نمره پودمان از ۲۰			

## پودمان ۴

### خواص هندسی سطوح



## واحدیادگیری ۷ گشتاور اول سطح

### مقدمه

طول، سطح و حجم سه خصوصیت اصلی هندسی اجسام به شمار می‌روند. اجسام یک‌بعدی مانند طناب با طولشان، اجسام دو‌بعدی مانند یک قطعه زمین با مساحتشان و اجسام سه‌بعدی مثل یک ساختمان با حجمی که دارند مشخص می‌شوند.

با راهنمایی هنرآموز خود، خصوصیات دیگری از سطح را بنویسید.

تفکر



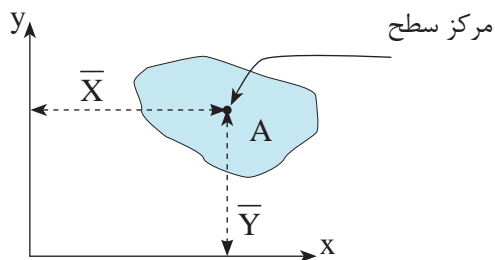
این خصوصیات تمام ویژگی‌های اجسام را بیان نمی‌کنند؛ مثلاً دو قطعه زمین هم‌مساحت ممکن است دارای شکل‌های هندسی متفاوت باشند. بنابراین اجسام دارای خصوصیات دیگری نیز می‌باشند که در این فصل به بررسی بعضی از خصوصیات سطوح شامل گشتاور اول سطح، مرکز سطح، گشتاور دوم سطح و مدول مقطع یا اساس مقطع آنها می‌پردازیم.

### ۷-۱- گشتاور اول سطح (مان استاتیک)

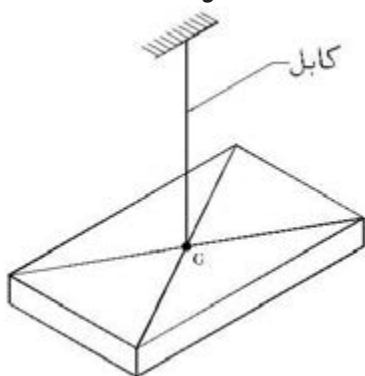
در پودمان دوم با گشتاور نیرو آشنا شدیم که عبارت بود از حاصل ضرب نیرو در فاصله آن نیرو تا یک محور. گشتاور اول سطح نیز تعریفی مشابه گشتاور نیرو دارد. گشتاور اول سطح نسبت به یک محور، حاصل ضرب آن سطح در فاصله مرکز آن تا محور مورد نظر می‌باشد.

گشتاور اول سطح با نماد  $Q$  نمایش داده می‌شود و واحد آن طول به توان ۳ می‌باشد یعنی  $m^3$  و یا  $cm^3$

و ...



شکل ۱ ▲



شکل ۲ ▲

گشتاور اول سطح A نسبت به محور x  $Q_x = A \cdot \bar{Y}$

گشتاور اول سطح A نسبت به محور y  $Q_y = A \cdot \bar{X}$

در روابط فوق  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  مختصات مرکز سطح A می‌باشند.

در جدول (۱) مختصات مرکز سطح بعضی از سطوح هندسی نسبت به محورهای x و y آمده است.

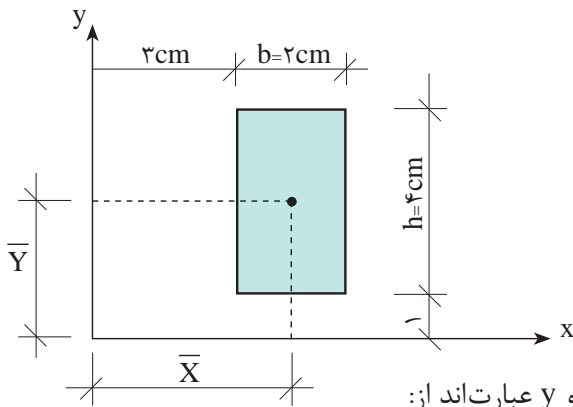
جدول (۱)				
نام سطح	شکل هندسی	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	توضیحات
مستطیل (مربع)		$\frac{b}{2}$	$\frac{h}{2}$	مرکز سطح مستطیل محل تلاقی دو قطر آن می‌باشد
مثلث قائم‌الزاویه		$\frac{b}{3}$	$\frac{h}{3}$	مرکز سطح مثلث قائم‌الزاویه در فاصله $\frac{1}{3}$ از قاعده آن می‌باشد
دایره		r	r	مرکز سطح دایره مرکز دایره می‌باشد



مثال ۱



گشتاور اول سطح (ممان استاتیکی) مستطیل را نسبت به محورهای X و Y محاسبه کنید.



با توجه به شکل فاصله مرکز سطح از محورهای X و Y عبارتند از:

$$\bar{X} = \frac{b}{2} + 3 \Rightarrow \bar{X} = \frac{2}{2} + 3 = 4 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \frac{h}{2} + 1 \Rightarrow \bar{Y} = \frac{4}{2} + 1 = 3 \text{ cm}$$

$$A = b \cdot h = 2 \times 4 = 8 \text{ cm}^2$$

مساحت مستطیل برابر است با

$$Q_x = A \cdot \bar{Y} \Rightarrow Q_x = 8 \times 3 = 24 \text{ cm}^3$$

ممان استاتیکی نسبت به محور X

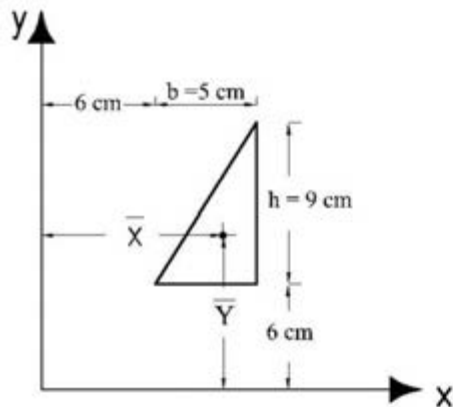
$$Q_y = A \cdot \bar{X} \Rightarrow Q_y = 8 \times 4 = 32 \text{ cm}^3$$

ممان استاتیکی نسبت به محور Y

مثال ۲



گشتاور اول سطح (ممان استاتیکی) مستطیل را نسبت به محورهای X و Y محاسبه کنید.



ابتدا مساحت مثلث و مختصات  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  را به دست می آوریم:

$$A = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{5 \times 9}{2} = 22.5 \text{ cm}^2$$

$$\bar{X} = 6 + \frac{2}{3}b \Rightarrow \bar{X} = 6 + \frac{2}{3} \cdot 5 = 9.33 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = 6 + \frac{1}{3}h \Rightarrow \bar{Y} = 6 + \frac{1}{3} \cdot 9 = 9 \text{ cm}$$

حال گشتاور اول سطح را نسبت به محورهای X و Y به دست می آوریم:

$$Q_x = A \cdot \bar{Y} \Rightarrow Q_x = 22.5 \times 9 = 202.5 \text{ cm}^3$$

$$Q_y = A \cdot \bar{X} \Rightarrow Q_y = 22.5 \times 9.33 = 209.92 \text{ cm}^3$$

## ۷-۲- گشتاور اول (مان استاتیک) سطوح مرکب

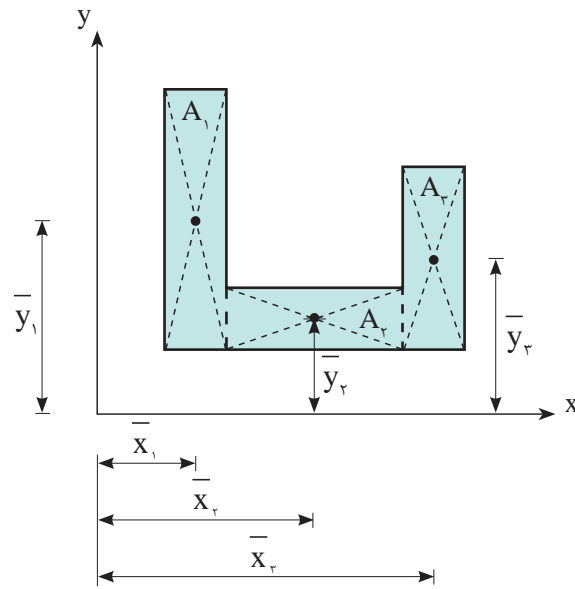
به منظور محاسبه گشتاور اول سطوح مرکب، آن‌ها را به سطوح هندسی ساده تجزیه نموده و ممان استاتیک هر یک از آن‌ها را نسبت به محورهای مورد نظر محاسبه و با یکدیگر جمع جبری می‌نماییم. یعنی:

$$Q_x = \sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i$$

$$Q_y = \sum_{i=1}^n A_i \bar{x}_i$$

در این رابطه علامت  $\Sigma$  (بخوانید زیگما) به معنی مجموع می‌باشد.

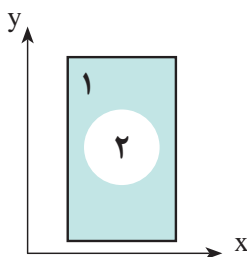
به عنوان نمونه در شکل (۳) خواهیم داشت:



شکل ۳

$$Q_x = \sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i \Rightarrow Q_x = A_1 \bar{y}_1 + A_2 \bar{y}_2 + A_3 \bar{y}_3$$

$$Q_y = \sum_{i=1}^n A_i \bar{x}_i \Rightarrow Q_y = A_1 \bar{x}_1 + A_2 \bar{x}_2 + A_3 \bar{x}_3$$



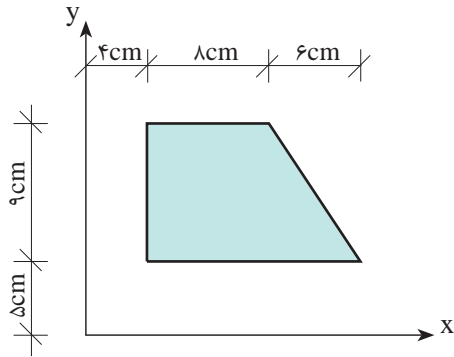
رابطه بسط یافته  $Q_x$  و  $Q_y$  در شکل زیر را بنویسید.  
(دایره و مستطیل، هم‌مرکز هستند)

فعالیت  
کلاسی ۱



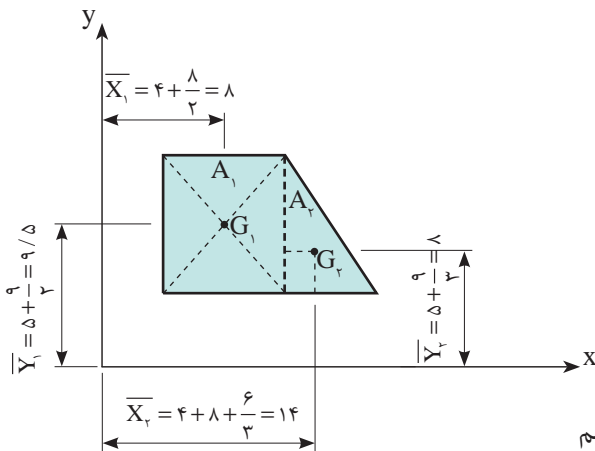


گشتاور اول سطح داده شده را نسبت به محورهای X و Y محاسبه کنید.



حل:

سطح مرکب داده شده را مطابق شکل زیر به دو سطح ساده مستطیلی و مثلثی تجزیه می کنیم.



به کمک جدول (۲) حل مسئله را ادامه می دهیم

جدول (۲)					
سطوح	مساحت $(A_i)$ $cm^2$	$\bar{x}$ $cm$	$\bar{y}$ $cm$	$Q_x = A\bar{y}_i$ $cm^3$	$Q_y = A\bar{x}_i$ $cm^3$
$A_1$	$8 \times 9 = 72$	۸	۹/۵	$72 \times 9/5 = 684$	$72 \times 8 = 576$
$A_2$	$\frac{6 \times 9}{2} = 27$	۱۴	۸	$27 \times 8 = 216$	$27 \times 14 = 378$
$\Sigma$				۱۴۰۰	۹۵۴

بنابراین:

$$Q_x = 1400 \text{ cm}^3$$

$$Q_y = 954 \text{ cm}^3$$

### ۷-۳- مرکز سطح سطوح مرکب

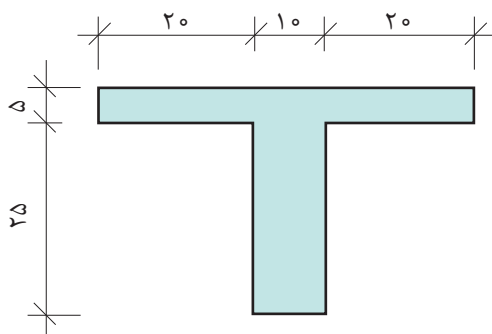
برای محاسبه مرکز سطح سطوح مرکب با توجه به اینکه گشتاور اول کل سطح با مجموع گشتاورهای اول اجزای سطح مرکب با هم برابرند می توان نوشت:

$$\left. \begin{aligned} Q_y &= A\bar{X} \\ Q_y &= \sum_{i=1}^n A_i \bar{x}_i \end{aligned} \right\} \Rightarrow A\bar{X} = \sum_{i=1}^n A_i \bar{x}_i \Rightarrow \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

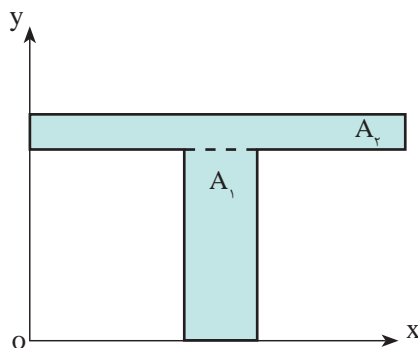
$$\left. \begin{aligned} Q_x &= A\bar{Y} \\ Q_x &= \sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i \end{aligned} \right\} \Rightarrow A\bar{Y} = \sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i \Rightarrow \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

در روابط فوق  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  مختصات مرکز سطح مرکب مورد نظر می باشند که نسبت به محورهای مختصات دلخواه تعیین می شوند.

#### مثال ۴



مختصات مرکز سطح شکل زیر را محاسبه نمایید.  
(ابعاد شکل بر حسب cm است)



به منظور سادگی حل مسئله محورهای مختصات  $x$  و  $y$  را طوری در نظر می گیریم که شکل در ربع اول دستگاه مختصات قرار گرفته و تمام طولها مثبت باشند.

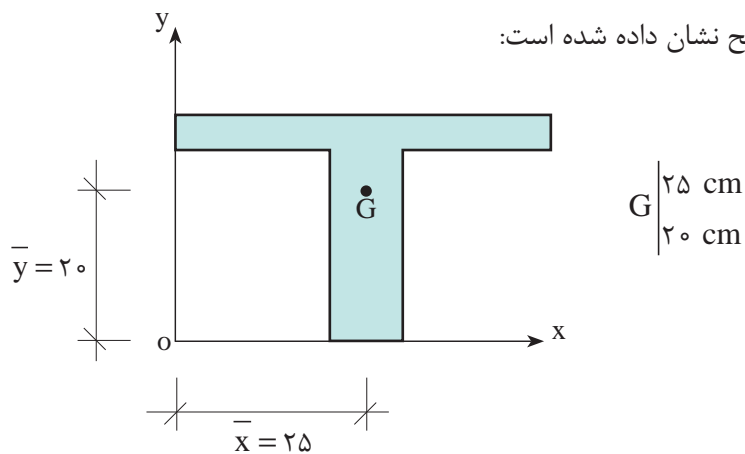
پس از تجزیه شکل مرکب به سطوح ساده جدول مشخصات آنها را تشکیل داده و با استفاده از روابط مرکز سطح سطوح مرکب، مختصات مرکز سطح را محاسبه می‌نماییم. (جدول ۳)

جدول (۳)					
سطوح	مساحت ( $A_i$ ) $\text{cm}^2$	$\bar{x}_i$ cm	$\bar{y}_i$ cm	$Q_x = A_i \bar{y}_i$ $\text{cm}^3$	$Q_y = A_i \bar{x}_i$ $\text{cm}^3$
$A_1$	$10 \times 25 = 250$	$20 + \frac{10}{2} = 25$	$\frac{25}{2} = 12.5$	3125	6250
$A_2$	$5 \times 50 = 250$	$\frac{50}{2} = 25$	$25 + \frac{5}{2} = 27.5$	6875	6250
$\Sigma$	500			10000	12500

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{12500}{500} = 25 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{10000}{500} = 20 \text{ cm}$$

در شکل زیر مختصات مرکز سطح نشان داده شده است:

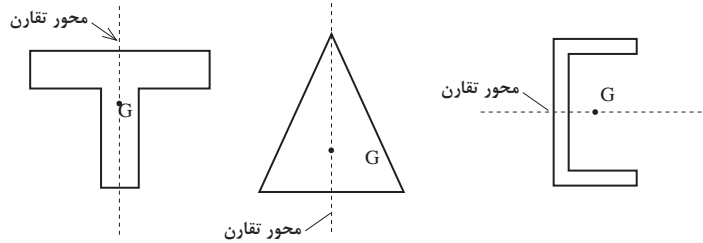


#### ۷-۴- استفاده از تقارن در تعیین مرکز سطح متقارن

محور تقارن: خطی است که سطح را به دو قسمت مساوی و قرینه تقسیم می‌کند.

### ۷-۴-۱- سطوح با یک محور تقارن

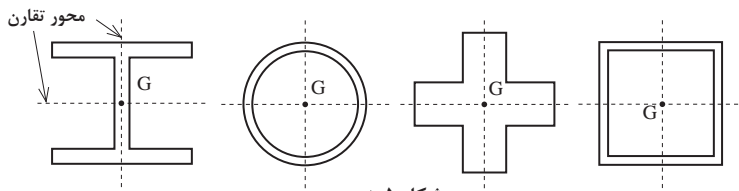
اگر سطح دارای یک محور تقارن باشد، مرکز سطح روی آن محور خواهد بود. (شکل ۴)



شکل ۴ ▲

### ۷-۴-۲- سطوح با دو محور تقارن

هرگاه سطح دارای دو محور تقارن باشد، مرکز سطح در محل تلاقی آن دو محور خواهد بود. (شکل ۵)



شکل ۵ ▲

به صورت عملی با روش‌های زیر، مرکز سطح یک سطح دلخواه را تعیین نموده و مقایسه کنید.  
 ۱- از دو نقطه سطح مورد نظر را در امتداد شاقول آویزان کنید. محل تلاقی آنها مرکز سطح خواهد بود.  
 ۲- در نرم‌افزار AutoCAD سطح را ترسیم نموده و با دستور Region آنها را به یک ناحیه تبدیل کنید. سپس با دستور زیر، مرکز سطح آنها مشخص کنید.  
 tools → inquiry → region / properties

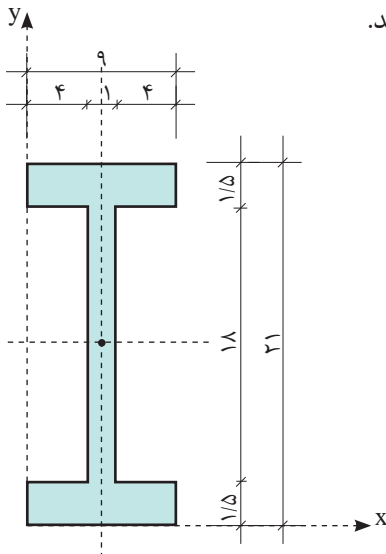
فعالیت  
کلاسی ۲



مثال ۵



در شکل زیر با استفاده از تقارن مختصات مرکز سطح را به دست آورید.  
 (ابعاد بر حسب سانتی‌متر می‌باشد)



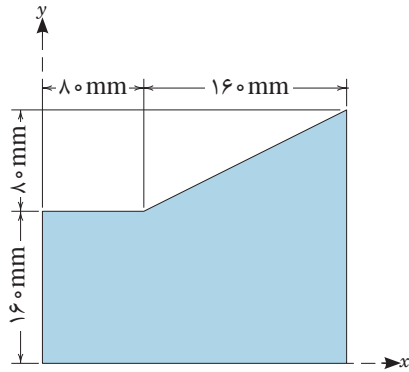
باتوجه به اینکه شکل دارای دو محور تقارن می‌باشد لذا مرکز سطح محل تلاقی آنها خواهد بود. بنابراین داریم:

$$\bar{x} = \frac{9}{2} = 4.5 \text{ cm}$$

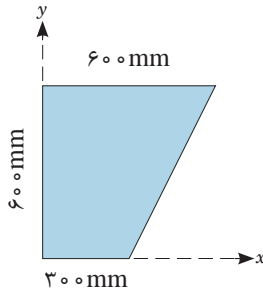
$$\bar{y} = \frac{21}{2} = 10.5 \text{ cm}$$



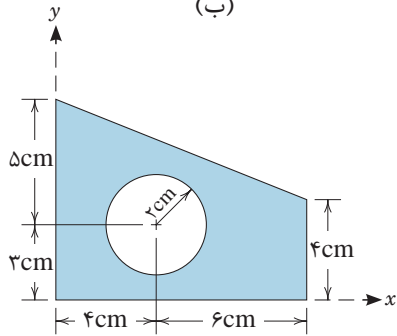
در شکل‌های زیر مختصات مرکز سطح را محاسبه کنید.



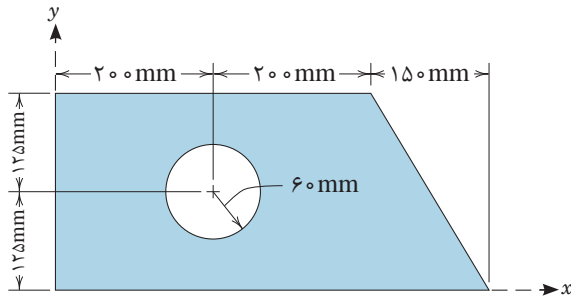
(ب)



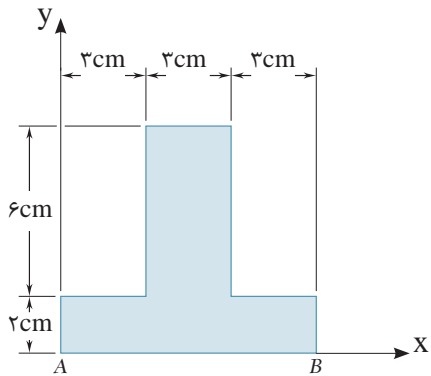
(الف)



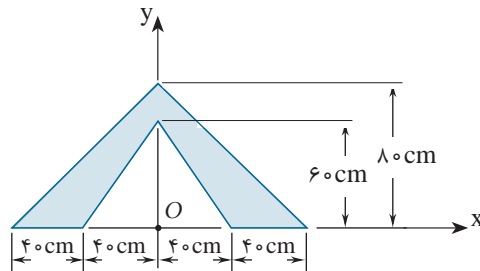
(د)



(ج)

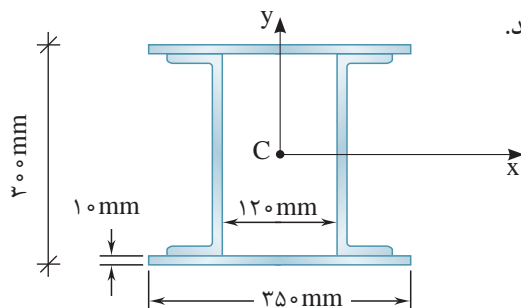


(و)



(ه)

با استفاده از تقارن، مختصات مرکز سطح را به دست آورید.





### نکات مهم واحد یادگیری ۷ (گشتاور اول سطح):

$$Q_x = A \cdot \bar{Y}$$

$$Q_y = A \cdot \bar{X}$$

$$Q_x = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \bar{y}_i$$

$$Q_y = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \bar{x}_i$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

• گشتاور اول سطح نسبت به یک محور عبارت‌است از: حاصل ضرب آن سطح، در فاصله مرکز آن تا آن محور مورد نظر و نسبت به محور های X و Y به صورت روبه‌رو تعریف می‌شود:

• گشتاور اول سطوح مرکب با تجزیه آنها به سطوح ساده هندسی و محاسبه گشتاور اول سطح هر کدام نسبت به محورهای مورد نظر و جمع جبری آنها محاسبه می‌شود. یعنی:

• مختصات مرکز سطح یک سطح هندسی با استفاده از گشتاور اول سطح و رابطه روبه‌رو تعیین می‌شود:

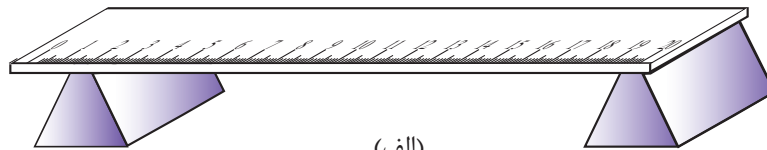
- اگر سطحی دارای یک محور تقارن باشد، مرکز سطح روی آن محور خواهد بود.
- اگر سطحی دارای دو محور تقارن باشد، مرکز سطح، محل تلاقی آن دو محور خواهد بود.



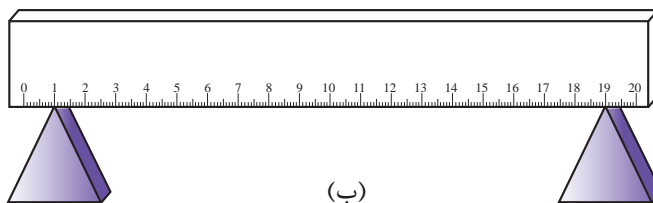
گشتاور دوم سطح (ممان اینرسی)

۸ - ۱ - گشتاور دوم سطح (ممان اینرسی) (Moment of Inertia)

خط کشی را مطابق شکل (۱) در نظر می‌گیریم. اگر بخواهیم آن را در دو حالت نشان داده شده خم کنیم به نظر شما در کدام حالت راحت‌تر خم می‌شود؟ چرا؟



(الف)



(ب)

▲ شکل ۱

باتوجه به مثال فوق درمی‌یابیم علی‌رغم آنکه سطح مقطع خط‌کش در هر دو حالت یکسان است، در حالت (الف) خط‌کش راحت‌تر خم می‌شود. یعنی مقاومت آن در مقابل خم شدن (خمش) کمتر از حالت (ب) می‌باشد. علت آن ممان اینرسی سطح مقطع خط‌کش است که در حالت (الف) کمتر از حالت (ب) می‌باشد.

به عنوان یک تعریف ساده از ممان اینرسی، می‌توان گفت: گشتاور دوم سطح یا ممان اینرسی عامل مقاوم در مقابل خمش می‌باشد و به پراکندگی ذرات تشکیل‌دهنده جسم حول محور خمش بستگی دارد. ممان اینرسی را با نماد  $I$  نشان داده و نسبت به محورهای مختلف با اندیس آن محور نام‌گذاری می‌شود. به عنوان مثال،  $I_x$  یعنی ممان اینرسی نسبت به محور  $x$ .

به نظر شما در مقطع  $I$  شکل ضخامت بال‌ها بیشتر است یا جان؟ چرا؟

واحد ممان اینرسی، طول به توان ۴ یعنی  $\text{cm}^4$  یا  $\text{mm}^4$  و ... می‌باشد.

تفکر



نکته



در جدول (۱) روابط ممان اینرسی بعضی از سطوح هندسی ساده نسبت به محورهای مرکزی آن‌ها آمده است.

جدول (۱)			
نام سطح	شکل هندسی	$I_{x_G}$	$I_{y_G}$
مستطیل		$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{hb^3}{12}$
مربع		$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a^4}{12}$
دایره		$\frac{\pi r^4}{4}$	$\frac{\pi r^4}{4}$

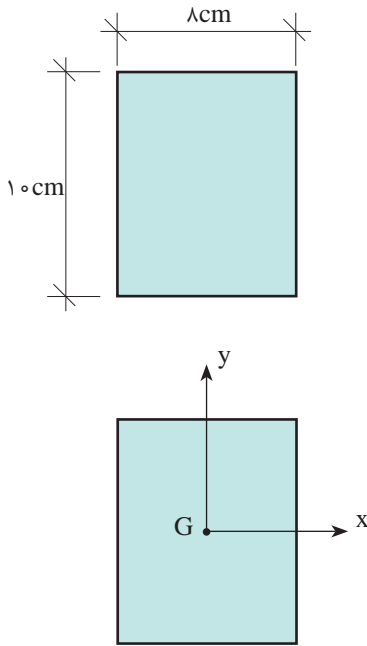


ممان اینرسی سطح مقطع مقابل را نسبت به محورهای مرکزی آن محاسبه نمایید.

حل:

مرکز سطح مستطیل محل تلاقی دو قطر آن می باشد بنابراین:

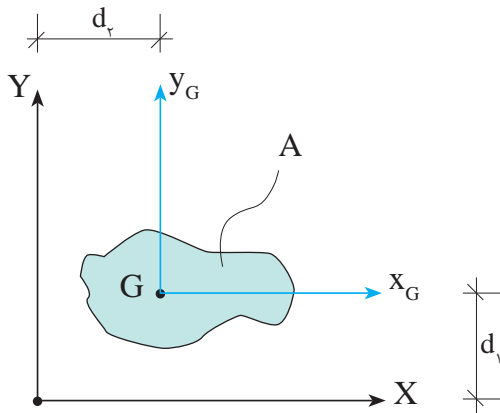
ابتدا موقعیت محورهای مرکزی سطح مقطع را مشخص نموده سپس با استفاده از روابط جدول (۱)  $I_{y_G}$  و  $I_{x_G}$  را تعیین می نماییم.



$$I_{x_G} = \frac{bh^3}{12} = \frac{8 \times 10^3}{12} = 666.67 \text{ cm}^4$$

$$I_{y_G} = \frac{hb^3}{12} = \frac{10 \times 8^3}{12} = 426.67 \text{ cm}^4$$

## ۸-۲- قضیه محورهای موازی



شکل ۲ ▲

در قسمت قبل روش تعیین ممان اینرسی یک سطح نسبت به محورهایی که از مرکز آن سطح می گذرد، را دیدیم.

حال می خواهیم ممان اینرسی یک سطح را نسبت به محورهایی که موازی محورهای مرکزی آن می باشند، به دست آوریم.

به عنوان مثال در شکل (۲) با فرض اینکه ممان اینرسی آن نسبت به محورهای مرکزی ( $x_G$  و  $y_G$ ) معلوم باشد، می خواهیم ممان اینرسی مقطع را نسبت به محورهای  $X$  و  $Y$  که با فاصله  $d_x$  و  $d_y$  از محورهای مرکزی قرار دارند، محاسبه کنیم.

این موضوع با قضیه محورهای موازی که به صورت زیر بیان می شود قابل محاسبه خواهد بود.

ممان اینرسی یک سطح نسبت به محورهایی که موازی با محورهای مرکزی آن سطح می باشند، برابر است با ممان اینرسی آن سطح نسبت به محورهای مرکزی به اضافه حاصل ضرب مساحت در مجذور فاصله محور مورد نظر تا مرکز سطح.

$$I_X = I_{x_G} + Ad_y^2$$

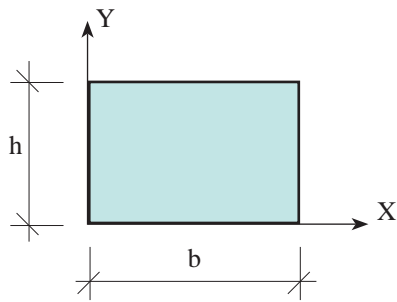
$$I_Y = I_{y_G} + Ad_x^2$$

یعنی:



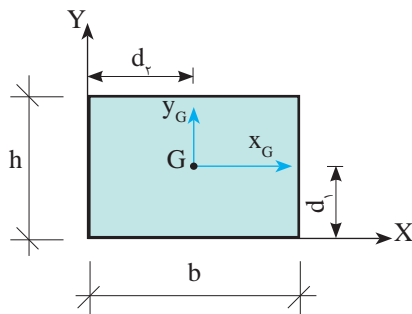
در شکل روبه‌رو مطلوب است:

محاسبه  $I_x$  و  $I_y$



حل:

الف) ابتدا ممان اینرسی را نسبت به محورهای مرکزی آن یعنی  $x_G$  و  $y_G$  تعیین می‌کنیم.



$$I_{xG} = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_{yG} = \frac{hb^3}{12}$$

ب) با توجه به اینکه محور  $X$  بر طول مستطیل مماس می‌باشد، فاصله آن از محور  $x_G$  یعنی  $d_1$  برابر است با:

$$d_1 = \frac{h}{2}$$

$$A = b.h$$

$$I_X = I_{xG} + Ad_1^2 \Rightarrow I_X = \frac{bh^3}{12} + (b.h)\left(\frac{h}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow I_X = \frac{bh^3}{12} + \frac{bh^3}{4} \Rightarrow I_X = \frac{bh^3 + 3bh^3}{12}$$

$$I_X = \frac{4bh^3}{12} \Rightarrow I_X = \frac{bh^3}{3}$$

$$d_2 = \frac{b}{2}$$

$$A = b.h$$

$$I_Y = I_{yG} + Ad_2^2 \Rightarrow I_Y = \frac{hb^3}{12} + (b.h)\left(\frac{b}{2}\right)^2$$

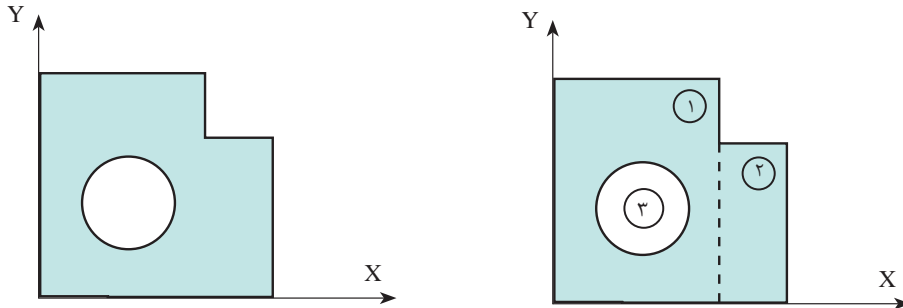
$$\Rightarrow I_Y = \frac{hb^3}{12} + \frac{hb^3}{4} \Rightarrow I_Y = \frac{hb^3 + 3hb^3}{12}$$

$$I_Y = \frac{4hb^3}{12} \Rightarrow I_Y = \frac{hb^3}{3}$$

ج) برای محور  $Y$  نیز خواهیم داشت:

### ۸-۳- محاسبه ممان اینرسی سطوح مرکب

برای محاسبه ممان اینرسی سطوح مرکب، آن‌ها را به اشکال هندسی ساده تجزیه نموده و ممان اینرسی هر یک را نسبت به محور مورد نظر محاسبه و با یکدیگر جمع جبری می‌نماییم. (شکل ۳)



▲ شکل ۳

$$I_X = I_{X_1} + I_{X_2} - I_{X_3}$$

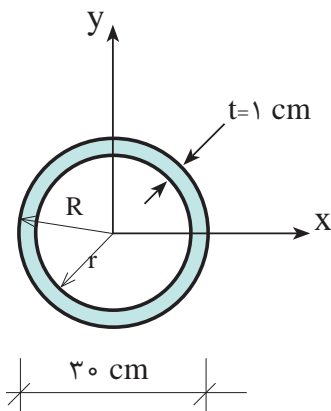
$$I_Y = I_{Y_1} + I_{Y_2} - I_{Y_3}$$

و به‌طور کلی خواهیم داشت:

$$I_X = \sum_{i=1}^n I_{X_i} = \sum_{i=1}^n (I_{X_{G_i}} + A_i d_i^2)$$

$$I_Y = \sum_{i=1}^n I_{Y_i} = \sum_{i=1}^n (I_{Y_{G_i}} + A_i d_i^2)$$

در شکل زیر مطلوب است محاسبه ممان اینرسی نسبت به محورهای X و Y.



$$R = \frac{30}{2} = 15$$

$$r = R - t \Rightarrow r = 15 - 1 \Rightarrow r = 14 \text{ cm}$$

$$I_x = I_y = I_{\text{خارجی}} - I_{\text{داخلی}}$$

$$I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{\pi r^4}{4}$$

$$I_x = I_y = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4) = \frac{\pi}{4} (15^4 - 14^4)$$

$$I_x = I_y = 9588 / 93 \text{ cm}^4$$

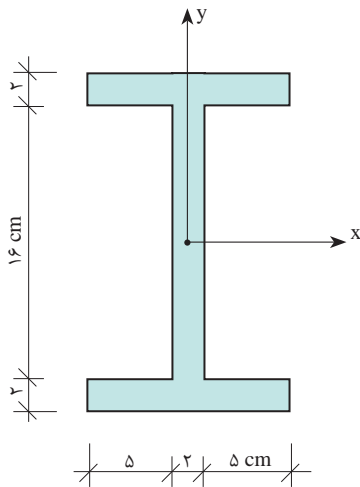
مثال ۳



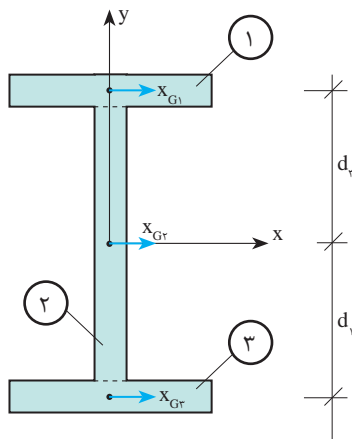


در شکل روبه‌رو مطلوب است:

محاسبه  $I_x$

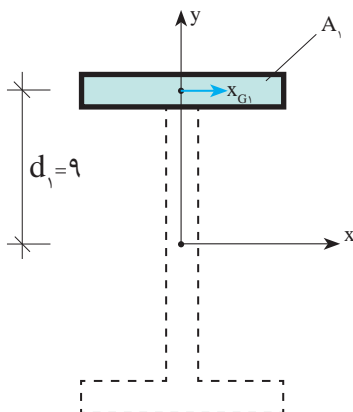


- ابتدا سطح مقطع را به سه سطح ۱، ۲ و ۳ تجزیه می‌کنیم.



- به کمک قضیه محورهای موازی ممان اینرسی هر یک از سطوح را نسبت به محور  $x$  محاسبه می‌کنیم.

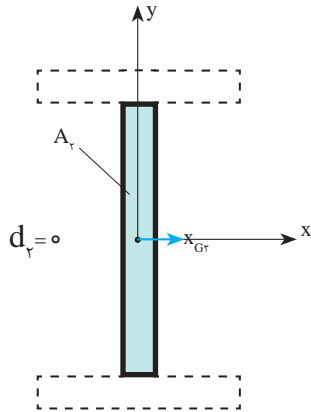
محاسبه  $I_{x1}$ :



$$I_{x1} = I_{xG1} + A_1 d_1^2$$

$$I_{x1} = \frac{12 \times 2^3}{12} + (2 \times 12)(9)^2 = 1952 \text{ cm}^4$$

محاسبه  $I_{x_r}$ :



$$I_{x_r} = I_{x_{Gr}} + A_r d_r^2$$

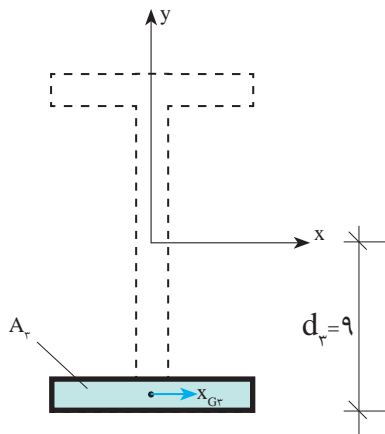
$$I_{x_r} = \frac{2 \times 16^3}{12} + (2 \times 16)(0)^2$$

$$I_{x_r} = 682/67 \text{ cm}^4$$

محاسبه  $I_{x_1}$ :

به دلیل تقارن  $A_1$  و  $A_r$  نسبت به محور  $x$  داریم:

$$I_{x_r} = I_{x_1} = 1952 \text{ cm}^4$$



ممان اینرسی کل مقطع برابر است با:

$$I_x = \sum_{i=1}^r I_{x_i} = I_{x_1} + I_{x_r} + I_{x_r}$$

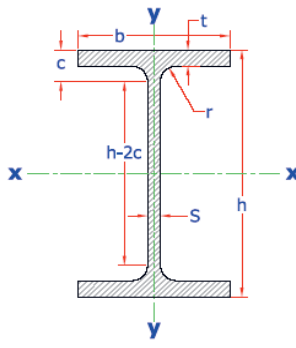
$$I_x = 1952 + 682/67 + 1952$$

$$I_x = 4586/67 \text{ cm}^4$$

## ۸-۴- مشخصات هندسی مقاطع نوردشده

با توجه به اینکه مقاطع نوردشده با استانداردهای کارخانه سازنده تولید می‌شوند، لذا برای هر یک از مقاطع تولیدی شامل تیر آهن‌ها، ناودانی‌ها، نبشی‌ها و ... جداول مشخصات هندسی هر مقطع نیز ارائه می‌شود که با استفاده از این جداول مشخصات هندسی مقاطع نظیر ابعاد، سطح مقطع، ممان اینرسی و ... استخراج می‌شوند، به عنوان مثال، قسمتی از جدول مشخصات مقاطع نیم پهن (IPE) را زیر این جدول مشاهده می‌کنید که برای نمونه مشخصات هندسی IPE ۲۰۰ را از آن استخراج نموده‌ایم.

### نیمرخ نیم پهن IPE



A = سطح مقطع  
 G = وزن واحد طول  
 I = ممان اینرسی  
 S = اساس مقطع  
 I = شعاع ژیراسیون

IPE	h	b	s	t	r	c	h-2c	A	G	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	a <sub>1</sub>	r <sub>T</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	mm	mm
80	80	46	3.8	5.2	5	10.2	59	7.64	6	80.1	20	3.24	8.49	3.69	1.05	63	12.2
100	100	55	4.1	5.7	7	12.7	74	10.3	8.1	171	34.2	4.07	15.9	5.79	1.24	79	14.6
120	120	64	4.4	6.3	7	13.3	93	13.2	10.4	318	53	4.9	27.7	8.65	1.45	96	16.9
140	140	73	4.7	6.9	7	13.9	112	16.4	12.9	541	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65	112	19.3
160	160	82	5	7.4	9	16.4	127	20.1	15.8	869	109	6.58	68.3	16.7	1.84	129	21.7
180	180	91	5.3	8	9	17	146	23.9	18.8	1320	146	7.42	101	22.2	2.06	145	24
200	200	100	5.6	8.5	12	20.5	159	28.5	22.4	1940	194	8.26	142	28.5	2.24	162	26.4
220	220	110	5.9	9.2	12	21.2	177	33.4	26.2	2770	252	9.11	205	37.3	2.48	179	29.1
240	240	120	6.2	9.8	15	24.8	190	39.1	30.7	3890	324	9.97	284	47.3	2.6	196	31.8
270	270	135	6.6	10.2	15	25.2	219	45.9	36.1	5790	429	11.2	420	62.2	3.02	220	35.6
300	300	150	7.1	10.7	15	25.7	248	53.8	42.2	8360	557	12.5	604	80.5	3.35	245	39.5
330	330	160	7.5	11.5	18	29.5	271	62.6	49.1	11770	713	13.7	788	98.5	3.55	270	42.1

### مشخصات IPE ۲۰۰:

ارتفاع مقطع  $h = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}$

عرض بال  $b = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$

ضخامت جان  $S = 5/6 \text{ mm} = 0/56 \text{ cm}$

ضخامت بال  $t = 8/5 \text{ mm} = 0/85 \text{ cm}$

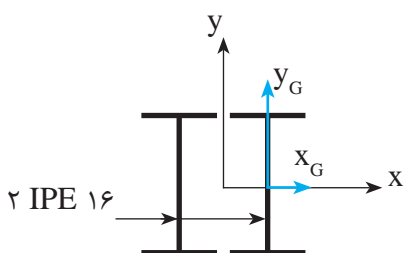
مساحت مقطع  $A = 28/5 \text{ cm}^2$

ممان اینرسی حول محور  $x$   $I_x = 1940 \text{ cm}^4$

ممان اینرسی حول محور  $y$   $I_y = 142 \text{ cm}^4$

در صورتی که مقطع مورد نظر ترکیبی از دو یا چند مقطع نوردشده باشد می‌توان ابتدا مشخصات هندسی مقطع نوردشده ساده (تکی) را از جدول استخراج نموده و سپس با استفاده از قضیه محورهای موازی مشخصات هندسی مقطع مرکب را به دست آورد.





در شکل زیر دوتیر آهن IPE ۱۶ به صورت به هم چسبیده به عنوان یک مقطع مرکب ساخته شده است مطلوب است محاسبه ممان اینرسی مقطع مرکب حول  $x$  و  $y$ .

ابتدا مشخصات هندسی مورد نیاز تیر آهن IPE ۱۶ را از جدول استخراج می‌نماییم.

$$\text{IPE ۱۶ : } (h=160 \text{ mm}=16 \text{ cm}, b=82 \text{ mm}=8/2 \text{ cm}, A=20/1 \text{ cm}^2, I_x=869 \text{ cm}^4, I_y=68/3 \text{ cm}^4)$$

(الف) محاسبه  $I_x$  و  $I_y$  مقطع مرکب:

باتوجه به اینکه مقطع مرکب ساخته شده نسبت به محورهای  $x$  و  $y$  متقارن می‌باشد کافی است که ممان اینرسی یک پروفیل نسبت به محورهای مورد نظر را محاسبه نموده و دو برابر نماییم. بنابراین با استفاده از قضیه محورهای موازی خواهیم داشت:

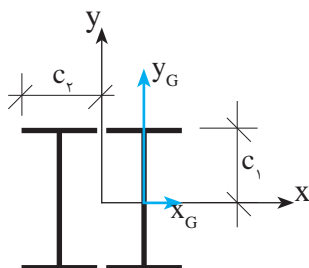
$$I_x = 2(I_{x_G} + Ad_y^2)$$

$$I_y = 2(I_{y_G} + Ad_x^2)$$

باتوجه به شکل (الف) مقدار  $d_y$  نسبت به محور  $x$  به دلیل انطباق محورهای  $x_G$  در پروفیل تک و  $x$  در پروفیل مرکب برابر صفر است لذا:

$$I_x = 2I_{x_G} \Rightarrow I_x = 2 \times 869 \Rightarrow \boxed{I_x = 1738 \text{ cm}^4}$$

و مقدار  $d_x$  نسبت به محور  $y$  برابر نصف عرض بال IPE ۱۶ می‌باشد یعنی:



$$d_x = \frac{b}{2}$$

(شکل الف)

$$d_x = \frac{b}{2} = \frac{8/2}{2} = 4/1 \text{ cm}$$

$$I_y = 2(I_{y_G} + Ad_x^2) = 2(68/3 + 20/1 \times 4/1^2) \Rightarrow$$

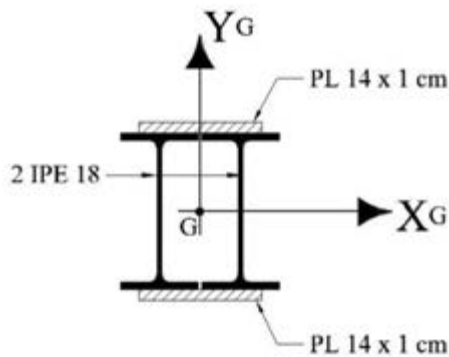
$$\boxed{I_y = 812/36 \text{ cm}^4}$$

نکته



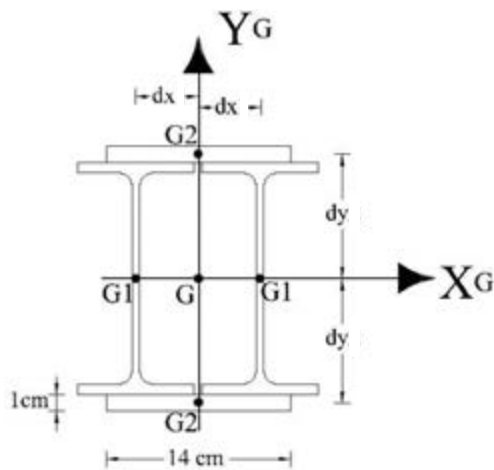
با توجه به نتایج مثال ۵ و مقایسه آن با مشخصات هندسی IPE ۱۶ مشاهده می شود که: ممان اینرسی مقطع مرکب حول محور X دو برابر ممان اینرسی مقطع ساده (تکی) می باشد، به همین ترتیب اگر تعداد مقاطع n برابر شود و مرکز سطح آنها بر محور X منطبق باشد، ممان اینرسی مقطع مرکب حول محور X نیز n برابر خواهد شد.

مثال ۶



دو تیر آهن مطابق شکل زیر به هم چسبیده اند. مطلوب است ممان اینرسی مقطع مرکب حول محور  $X_G$  و  $Y_G$  (گذرنده از مرکز سطح کل شکل).

حل: ابتدا مشخصات هندسی مقطع تک تیر آهن IPE ۱۸ را از جدول اشتال استخراج می کنیم:



$$I_x = 1320 \text{ cm}^4 \quad I_y = 101 \text{ cm}^4$$

$$A = 23/9 \text{ cm}^2 \quad b = 9/1 \text{ cm}$$

$$h = 18 \text{ cm}$$

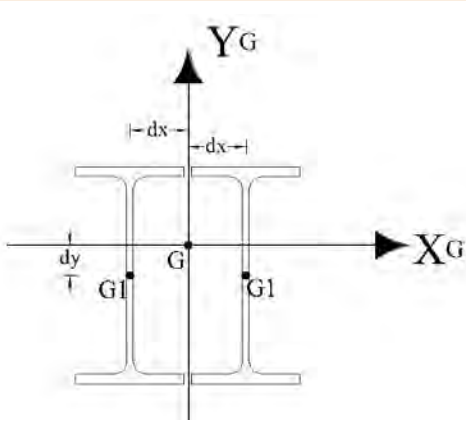
مرکز سطح هر کدام از تیر آهن ها و پلیت ها را با نقطه  $G_1$  و  $G_2$  معلوم کرده و فاصله آنها را تا مرکز سطح کل شکل (نقطه  $G$ ) در جهت  $x$  و  $y$  با علامت  $d_x$  و  $d_y$  نشان می دهیم:

همان طور که از شکل فوق معلوم است نقطه  $G_1$  مرکز سطح یک تیر آهن،  $G_2$  مرکز سطح یک پلیت و  $G$  مرکز سطح کل شکل می باشد. فاصله مرکز سطح تیر آهن با مرکز سطح کل شکل در جهت افقی را  $d_x$  و فاصله مرکز سطح پلیت با مرکز سطح کل شکل در جهت قائم را با  $d_y$  نشان دادیم. همان طور که از شکل معلوم است چون نقطه  $G$  و نقطه  $G_1$  بر روی یک خط افقی قرار گرفته اند لذا فاصله بین مرکز سطح تیر آهن با مرکز سطح کل شکل در جهت قائم ( $d_y = 0$ ) برابر صفر و فاصله بین مرکز سطح پلیت با مرکز سطح کل شکل در جهت افقی ( $d_x = 0$ ) برابر صفر می باشد.

نکته



برای درک بیشتر در مورد  $d_y$ ، اگر در شکل روبه‌رو نقطه  $G$ ، مرکز سطح کل را به طرف بالا حرکت دهیم، در این حالت  $d_y$  برابر صفر نیست که مقدار آن در شکل نشان داده شده است:



حال برای ممان اینرسی جسم مرکب حول محور  $X_G$  و  $Y_G$ ، با استفاده از قضیه محورهای موازی آن را نسبت به محورهای گذرنده از نقطه  $G$  (مرکز سطح کل شکل) انتقال می‌دهیم: به دلیل اینکه شکل نسبت به هر دو محور  $X_G$  و  $Y_G$  متقارن می‌باشد، پس با استفاده از قضیه محورهای موازی برای یکی از تیرآهن‌ها و پلیت‌ها ممان اینرسی را حساب کرده و در تعدادشان ضرب می‌کنیم:

$$I_x = 2 \cdot [I_{xG} + (A \cdot d_{y1}^2)] + 2 \cdot \left[ \frac{b \cdot h^3}{12} + (A \cdot d_{y2}^2) \right]$$

$$I_x = 2 \times [1320 + (23/9 \times 5^2)] + 2 \times \left[ \frac{14 \times 1^3}{12} + (14/1 \times 9/5^2) \right] \Rightarrow I_x = 5169/33 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot [I_{yG} + (A \cdot d_{x1}^2)] + 2 \cdot \left[ \frac{h \cdot b^3}{12} + (A \cdot d_{x2}^2) \right]$$

$$I_y = 2 \times [101 + (23/9 \times 4/55^2)] + 2 \times \left[ \frac{1 \times 14^3}{12} + (14/1 \times 5^2) \right] \Rightarrow I_y = 1648/91 \text{ cm}^4$$

نکته



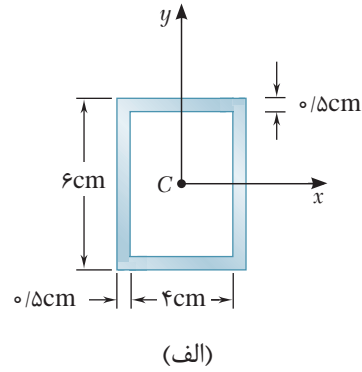
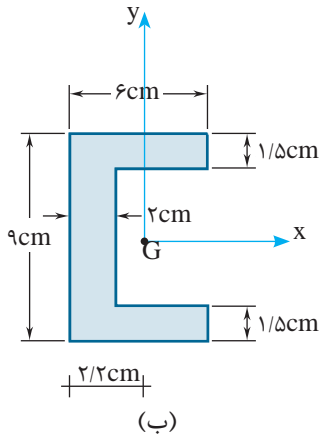
**نکات مهم واحد یادگیری ۸ (گشتاور دوم سطح):**

- ممان اینرسی عامل مقاوم در مقابل خمش است.
- اگر تعداد مقاطع روی یک محور  $n$  برابر شود در صورتی که مرکز سطح آنها روی آن محور قرار گیرد.
- در این حالت ممان اینرسی کل نیز  $n$  برابر خواهد شد.
- ممان اینرسی یک سطح نسبت به محورهای موازی محور مرکزی آن با روابط زیر تعیین می‌شود:

$$I_x = I_{x_G} + Ad_y^2 \quad \text{d}_y: \text{فاصله دو محور } X \text{ و } x_G \text{ می‌باشد.}$$

$$I_y = I_{y_G} + Ad_x^2 \quad \text{d}_x: \text{فاصله دو محور } Y \text{ و } y_G \text{ می‌باشد.}$$

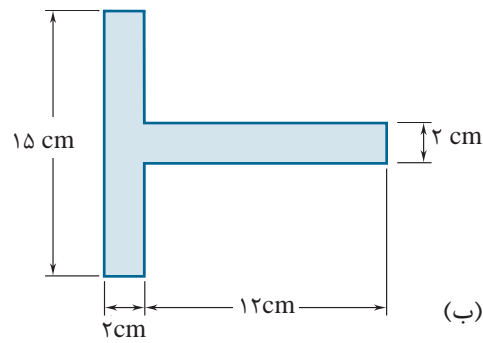
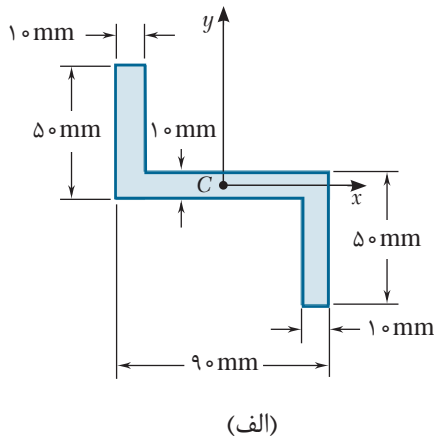
در هر مقطع مطلوب است محاسبه  $I_x$  و  $I_y$ .



فعالیت  
کلاسی ۱



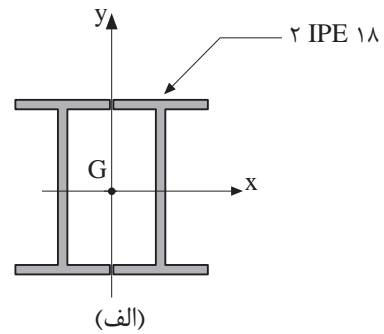
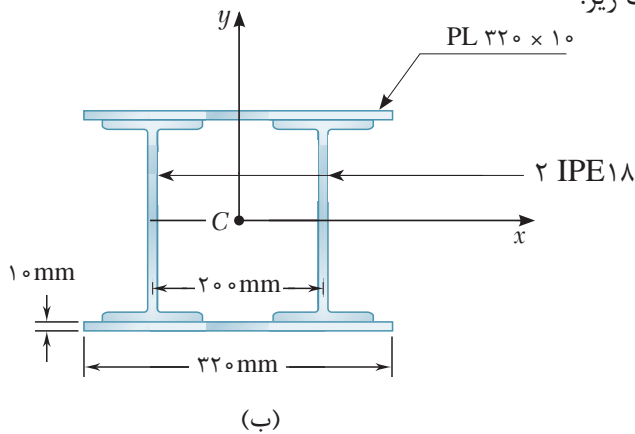
در هر کدام از مقاطع زیر مطلوب است محاسبه:  
الف) مختصات مرکز سطح  
ب) ممان اینرسی حول محورهای گذرنده از مرکز سطح



فعالیت  
کلاسی ۲

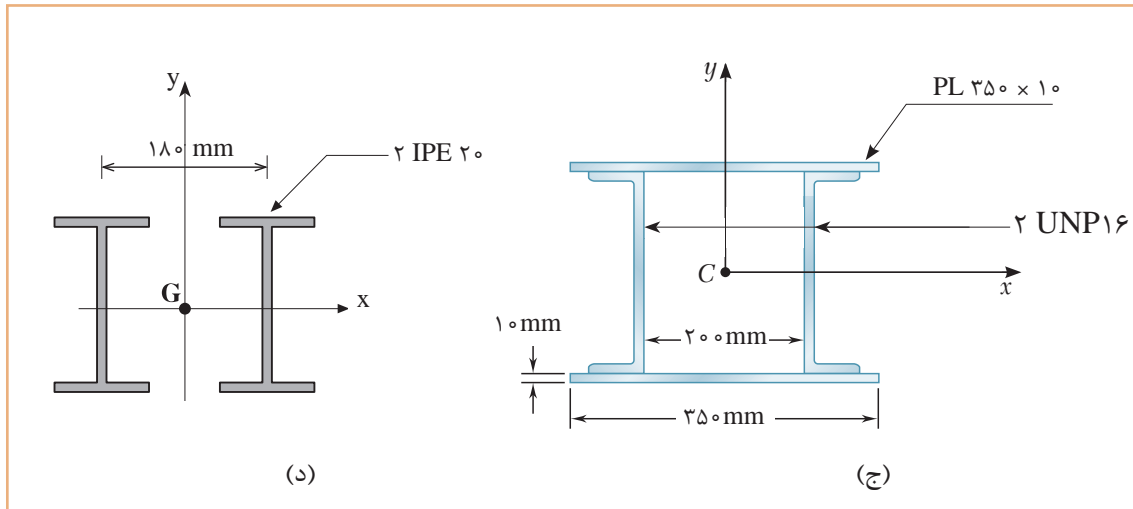


مطلوب است محاسبه  $I_x$  و  $I_y$  در مقاطع مرکب زیر.



فعالیت  
کلاسی ۳





## ارزشیابی

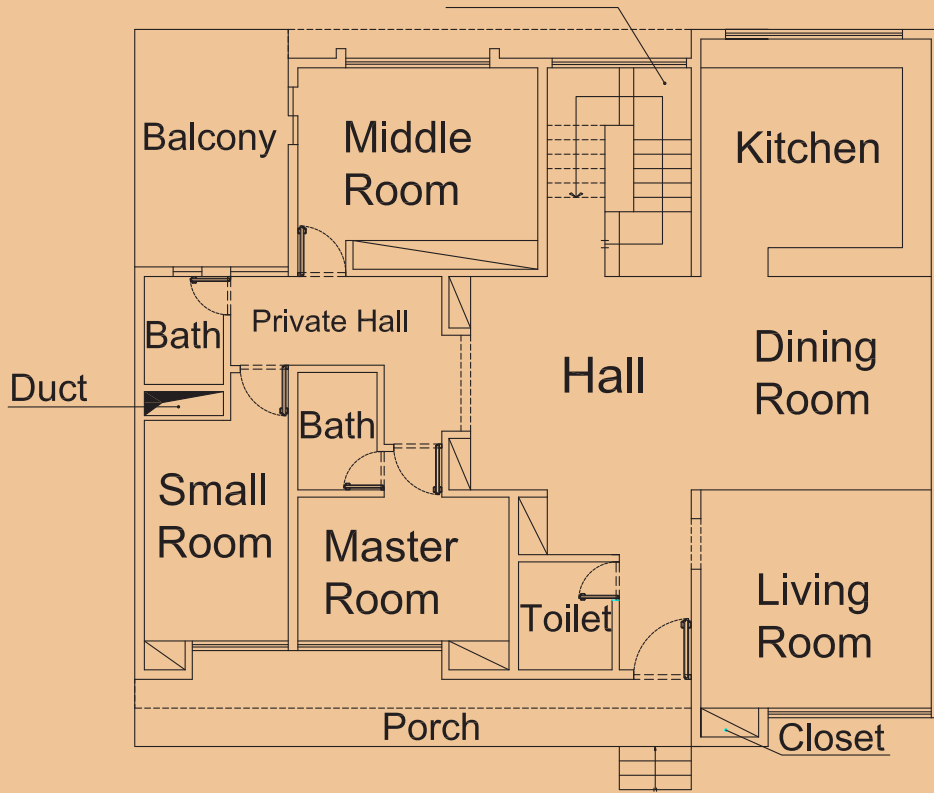
ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استاندارد های عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می گردد. امکان جبران پودمان ها در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه ریزی هنرستان وجود دارد.

### الگوی ارزشیابی پودمان خواص هندسی سطوح

نمره	استاندارد (شاخص ها، داوری، نمره دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)
۳	تعیین مرکز سطح و ممان اینرسی سطوح هندسی مرکب	بالاتر از حد انتظار	به کمک روابط برداری مرکز سطح و اساس مقطع سطوح هندسی را با ماشین حساب به دست آورد.	گشتاور اول سطح
۲	تعیین مرکز سطح و ممان اینرسی سطوح هندسی ساده	در حد انتظار (کسب شایستگی)		گشتاور دوم سطح
۱	تعیین مرکز سطح و ممان اینرسی سطوح هندسی ساده	پایین تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)		
				نمره مستمر از ۵
				نمره شایستگی پودمان از ۳
				نمره پودمان از ۲۰

## پودمان ۵

### کسب اطلاعات فنی



## مقدمه

تفاوت بین زبان عمومی 'General English' و زبان فنی 'Technical English' در این است که متون آورده شده در زبان عمومی اغلب متون ساده شده است 'Simplified Texts'، اما در زبان فنی بیشتر از متون اصلی انگلیسی 'Original Texts' استفاده می شود. در این پودمان اطلاعات فنی راجع به انواع نقشه‌های ساختمانی، اجزای ساختمان، انواع بناها، آشنایی با مصالح پر کاربرد، افراد مرتبط با کارگاه ساختمانی و تنش‌های وارد بر اجزای ساختمان را کسب می کنیم. البته برای پشتیبانی این امر در کتاب همراه هنرجو، که خود نیز عملاً یک دانشنامه ویژه است، بیشتر به خواندن درست لغات، جملات و درک مطالب ارایه شده در کاتالوگ‌ها، بروشورها و کتاب‌های راهنمای کاربری تأکید دارد.

پودمان حاضر حاوی یک لوح فشرده (CD) آموزشی نیز می باشد. در این لوح مطالب ارایه شده در درس به زبان اصلی بیان می شود تا راهنمایی در خواندن و نوشتن باشد.

**هنرجویان عزیز شما می توانید علاوه بر کتاب همراه هنرجو، فرهنگ تخصصی لغات رشته خود را در فرایند یادگیری و ارزشیابی به همراه داشته باشید.**

با پیشرفت و گسترش و تنوع منابع ضروری است که برای تحقق اهداف و توسعه شایستگی‌های خود به منابع و مراجع غیر فارسی نیز مراجعه کنیم. در این راستا پودمان حاضر به همین منظور در کتاب دانش فنی تخصصی طراحی و تألیف شده است. پودمان "کسب اطلاعات فنی" با هدف یادگیری مادام‌العمر و توسعه شایستگی‌های هنرجویان بعد از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، سازماندهی محتوایی شده است. این امر با آموزش چگونگی استخراج اطلاعات فنی مورد نیاز از متون فنی غیر فارسی و جداول، راهنمای ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، دستگاه‌های اداری، خانگی و تجاری و درک مطلب آنها در راستای توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای محقق خواهد شد.

بدیهی است هدف از ارایه این پودمان، تدریس زبان انگلیسی نمی باشد بلکه کسب اطلاعات فنی و تخصصی، حرفه خود می باشد. از طریق خواندن منابع ذکر شده می توان به این هدف دست یافت. توضیح بیشتر آنکه برای بیان طرح و نقشه‌های ساختمانی به زبان مشترک بین المللی از زبان تخصصی یا زبان فنی ساختمان استفاده می شود و هدف از یادگیری زبان فنی آشنایی با لغات Vocabularies، اصطلاحات Terms، و متون انگلیسی Context، در رشته ساختمان به زبان انگلیسی است.

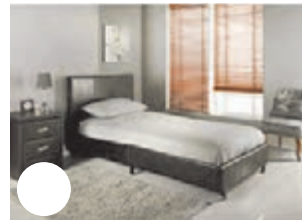
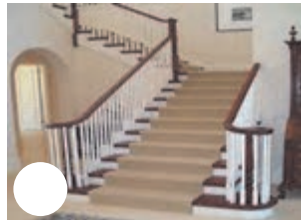
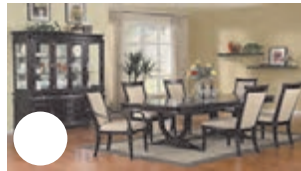
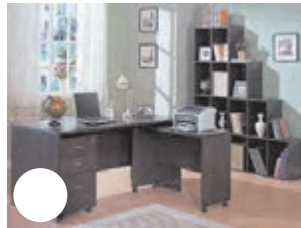
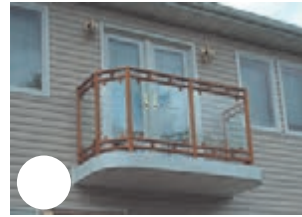
## ۹-۱- نقشه های معماری Architectural Drawings

نقشه های معماری عموماً شامل: پلان Plan، برش Section، و نما Elevation، ترسیمات سه بعدی Isometric and axonometric می باشند. با توجه به اهمیت پروژه پلان های معماری تنوع و گستردگی زیادی دارند، در اینجا با چند نمونه از این پلان ها آشنا می شویم:

پلان تپ Typical Plan	پلان طبقه همکف Ground Floor Plan
پلان موقعیت ساختمان Site Plan	پلان طبقه اول First Floor Plan
پلان پارکینگ Parking Plan	پلان طبقه دوم Second Floor Plan
پلان مبلمان Decoration / Furniture Plan	پلان طبقه سوم Third Floor Plan
پلان شیب بندی بام Roofing Plan	پلان زیر زمین Basement Plan

### Match the words and the pictures (لغات داده شده را با شکل مناسب آن ارتباط دهید)

- 1- Kitchen
- 2- Living room
- 3- Porch
- 4- Rest room / Toilet
- 5- Lavatory
- 6- Mechanical room
- 7- Utility
- 8- Dining room
- 9- Kid's room
- 10- Study / Office room
- 11- Bedroom
- 12- Balcony
- 13- Stairway



فعالیت  
کلاسی ۱







**Translate the following words into Persian. (By using an English Dictionary)**

(با استفاده از فرهنگ لغات انگلیسی معنی کلمات زیر را به فارسی ترجمه کنید)

Duct .....	Garage / Parking .....
Chimney .....	Yard / Court .....
Wall .....	Landscape .....
Cloak room .....	Pool .....
Terrace .....	Bower .....
Patio .....	Pond .....
Media room .....	Mud's room.....
Light well .....	Passage .....
Lobby .....	Fountain .....

**فضاهاى مختلف يك خانه Different Spaces of A House**

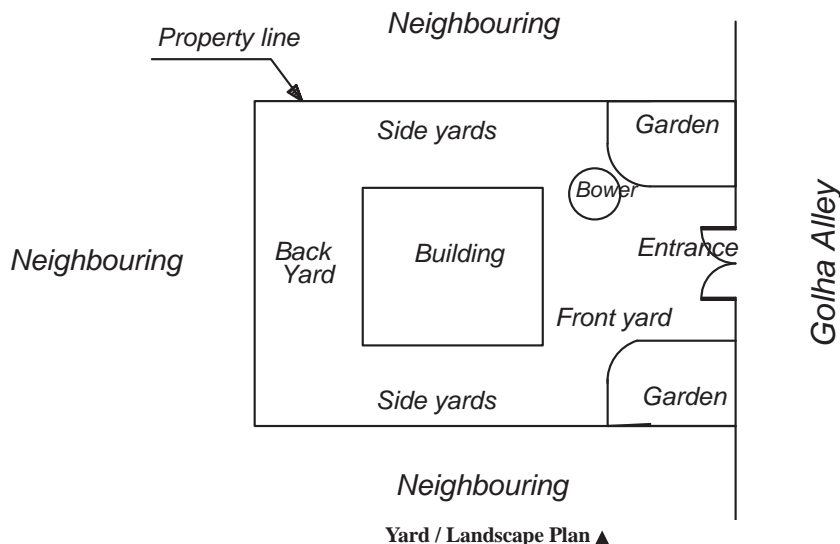
The spaces of a house can be divided into two parts, outdoor and indoor. Yard, back yard, front yard, gardens, bowers and barbeque areas are in the category of outdoor space. They are also called landscape. Indoor spaces of a building are consists of rooms with different purposes, such as: living room, bedroom, kitchen, dining room, bathroom, and etc.

**فضاهای بیرون Outdoor**

**Yard:** It is a paved area open to the sky and adjacent to a building. There are two types of yards; Enclosed, and open. Open yards are usually walled or fenced.

**Back Yard:** It is a yard at the back of a house.

**Front Yard:** It is a place between the street and the front of the house.



## فضاهای داخل Indoor

**Bedroom:** A bedroom is used primarily for resting or sleeping. It is made up with a bed, wardrobe, carpet, chair etc. There are three types of bedrooms in the modern houses or buildings, a big size room which is called **Master room**. That is the biggest bedroom of the house. Also there is a middle size room which is called **Middle room**, and the smallest room which is called **Small room or Kids' room**.

**Sitting room / living room:** It is a room in a house where people can sit and talk and relax. It is made up of chairs, TV set, sofa, curtains, etc.

**Bath room:** A room with a toilet and a place to wash your hands, there is often a bathtub and a shower.

**Rest room / Men's room VS Women's room:** It is a more polite term for the word 'toilet'.

**Kitchen:** Is a room for cooking and food preparation. It is where all meals of the family are prepared.

**Dining room:** It is where the meal is served. It contains chairs, table, and sometimes refrigerator, and etc.

**Study room / Office room:** A room where people work or study.

**Library:** A room where the books are kept.

**Cellar:** A room underneath the house.

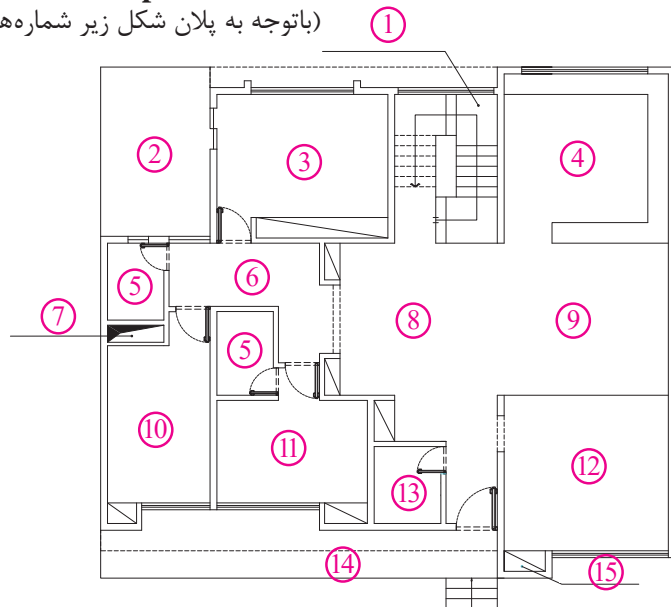
**Corridor / Hallway:** A passage connecting parts of a building.

**Pantry:** A small room used to store kitchen and dining items.

### Match the words with the numbers in the picture

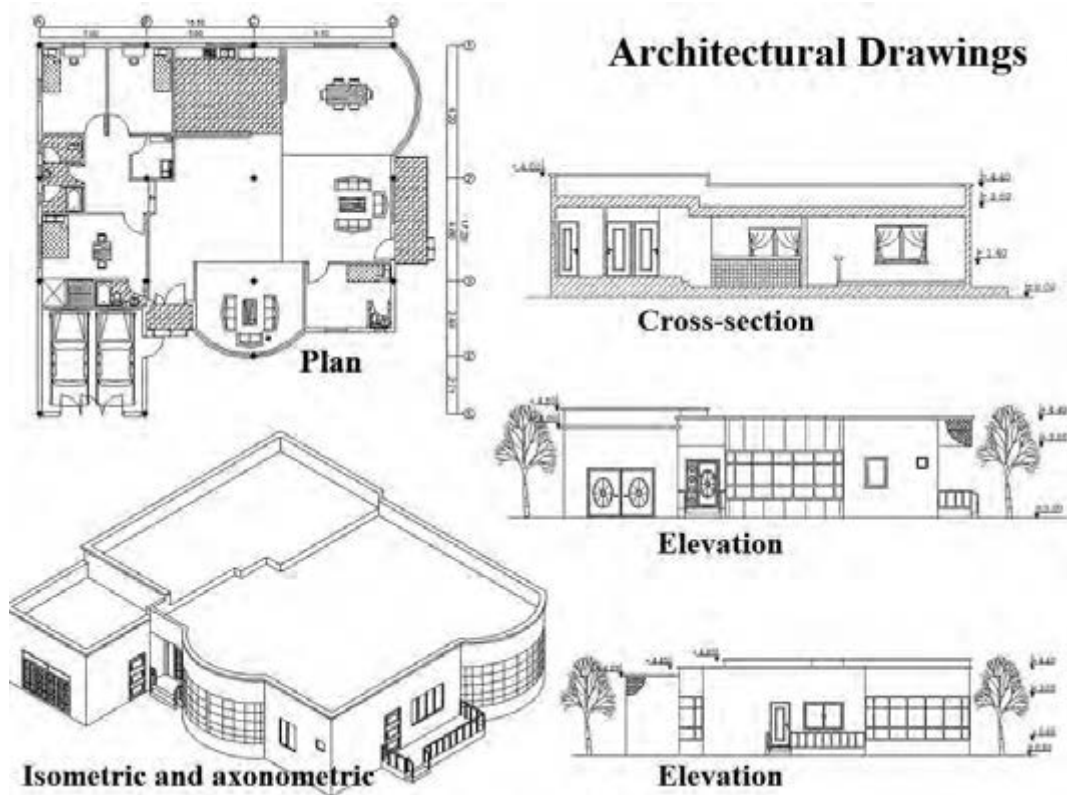
(باتوجه به پلان شکل زیر شماره‌های مربوط به هر لغت را روبروی آن بنویسید)

- Living room.....
- Duct.....
- Bath room.....
- Private hall .....
- Middle room.....
- Hall.....
- Dining room .....
- Small room.....
- Porch .....
- Master room .....
- Balcony .....
- Kitchen.....
- Staircase .....
- Closet .....
- Toilet .....



فعالیت  
کلاسی ۳





Architectural drawings ▲

**Floor Plan:** It is a top or horizontal view of an object that shows the relationships between the rooms, spaces and other physical features. Dimensions are usually drawn between the walls to specify room sizes and wall lengths.

**Site plan:** A site plan usually shows the location of buildings, building property line, walls, neighbourings, and etc.

**Section:** A section is a view used to show an area or hidden part of an object by cutting away or removing some of that object.

**Elevation:** An elevation is the outside view of a building. There are 4 vertical views or elevations for a building. For example: West View, East View, South View, North view, or North elevation, South Elevation, and etc.

**Isometric and axonometric drawing:** Isometric and axonometric drawings are a simple way of representing a three dimensional object.

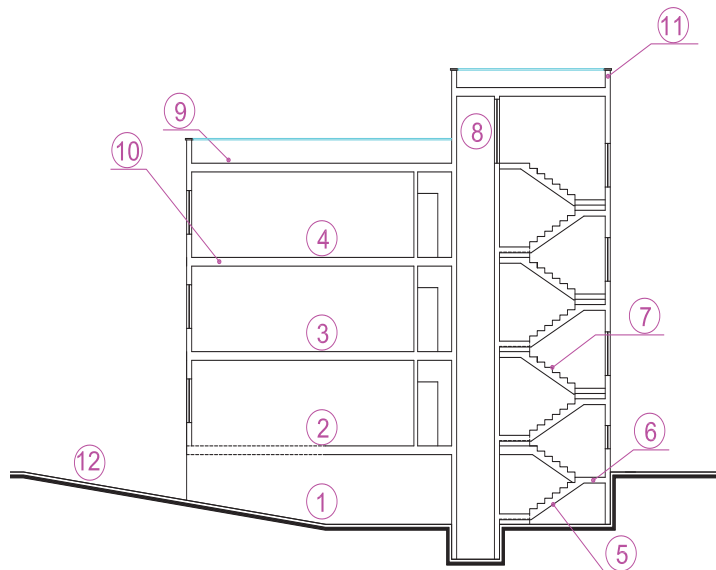


Different elevation of a house ▲

**Match the words with the numbers in the picture**

(باتوجه به برش شکل زیر شماره های مربوط به هر لغت را روبه روی آن بنویسید)

- First floor (1st floor) .....
- Second floor (2nd floor) .....
- Steps .....
- Stair Ramp .....
- Basement .....
- Ramp .....
- Roof .....
- Ceiling .....
- Ground floor .....
- Landing .....
- Elevator well .....
- Parapet .....

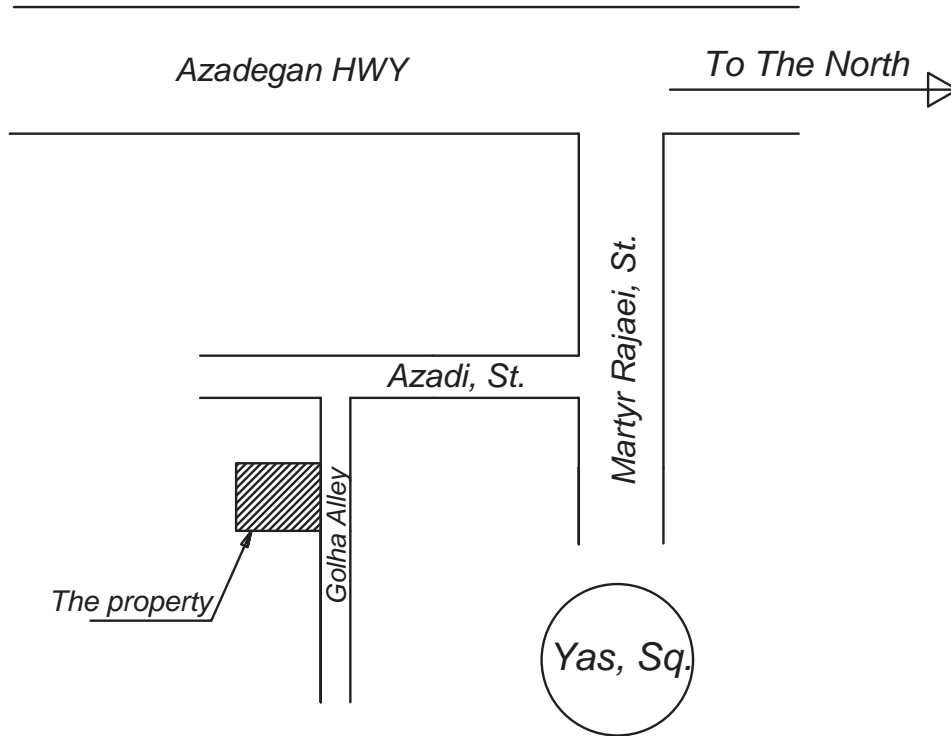


فعالیت  
کلاسی ۴



## ۹-۱-۱- آدرس نویسی (Writing Addresses)

برای نوشتن آدرس محل پروژه در ذیل نقشه های ساختمانی، و یا ترسیم نقشه های کروکی نیاز به آشنایی با برخی لغات و اصول نوشتن آدرس داریم.



Schematic Map ▲

در این بخش با قواعد کلی آدرس نویسی به زبان انگلیسی آشنا می شویم:

- ۱- نوشتن آدرس در زبان انگلیسی بر عکس قواعد نوشتن آدرس در زبان فارسی است. یعنی آدرس از شماره واحد یا شماره پلاک شروع، و به نام کشور ختم می شود. و ترتیب آن به صورت زیر است: شماره واحد - پلاک - کوچه - خیابان - منطقه - نام شهر - نام استان - نام کشور - کدپستی
- ۲- در نوشتن اسامی خاص دقت شود که این اسامی ترجمه نمی شوند. به طور مثال عبارت برج آزادی را به صورت Freedom Square ترجمه نمی کنند، بلکه به صورت Azadi Square ترجمه می شود.
- ۳- برای نوشتن آدرس به زبان انگلیسی معمولاً از کلمات اختصاری نظیر St, Ave, Sq, Fwy و ... استفاده می شود و از نوشتن کلمات کامل Street, Avenue, Square, Freeway و ... خودداری می گردد.
- ۴- برای نوشتن اسامی اشخاص، نام محله، منطقه، شهر، کشور، و به طور کلی برای نوشتن تمامی اسامی در آدرس ها حتماً باید حرف اول آن حرف بزرگ (Capital Letter) باشد.
- ۵- در خصوص کاما و نقطه دقت شود که کاما، ویرگول و یا نقطه به آخرین حرف کلمه چسبیده باشد و پس از آن با یک فاصله (space)، کلمه بعدی آورده می شود.

جدول (۱-۵) لغات مهمی که در آدرس نویسی باید بدانیم:

معادل انگلیسی	کلمه فارسی	معادل انگلیسی	کلمه فارسی
Freeway / FWY	آزاد راه (توبان بین شهری)	Unit	واحد
First / 1 <sup>st</sup>	اول	Plate Number / No	شماره پلاک
Second / 2 <sup>nd</sup>	دوم	Floor	طبقه
Third / 3 <sup>rd</sup>	سوم	Alley	کوچه
Fourth / 4 <sup>th</sup>	چهارم	Dead end / Blinded Alley	کوچه بن بست
5 <sup>th</sup>	پنجم به بعد..	Street / St	خیابان
Basement	زیر زمین	Road	جاده
Apartment / Block	آپارتمان	Belt Road	جاده کمربندی
Residential Complex	مجتمع مسکونی	Avenue / Ave	جاده اصلی
Before	قبل از	District	محله
After	بعد از	Boulevard / Blvd	بلوار
In front of	روبروی	Square	میدان
Next to	جنب	Roundabout	میدان محلی
In the corner of	نیش	Junction	تقاطع
Near to	نزدیک	Crossroad	چهار راه
First of	ابتدای	T-Junction	سه راه
End of	انتهای	Highway / HWY	بزرگراه (توبان داخل شهری)

مثال ۱



۱- تهران - میدان فردوسی - خیابان شهید سپهبد قرنی - نرسیده به خیابان سمیه - ساختمان شهید رجایی - وزارت آموزش و پرورش  
Ministry of Education, Before Somayeh St, Shahid Sepahbod Gharani St, Ferdowsi Sq, Enghelab Ave, Tehran, Iran.

۲- تهران - خیابان انقلاب - میدان فردوسی - خیابان شهید سپهبد قرنی - نرسیده به پل کریمخان - روبروی اداره بیمه - نیش کوچه شهید باقری قصرالدشتی - پلاک ۱۸۱ - سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی - طبقه دوم  
Room 202, Level 2, The Organisation for Educational Research and Planning, In the corner of Shahid Bagheri Ghasrodashti Alley, In front of the Insurance Company, Before Karimkhan Zand Bridge, Shahid Sepahbod Gharani St, Enghelab Ave, Tehran, Iran.

با کمک هنرآموز خود آدرس هنرستان، مسجد محل، و یک واحد آپارتمانی را بنویسید.

فعالیت  
کلاسی ۵



## ۲-۹- نقشه‌های سازه‌ای Structural Drawings

سازه ساختمان (ابعاد، شکل، و نوع اجزای سازه‌ای) توسط مهندسين سازه محاسبه شده و سپس بصورت نقشه در می‌آیند. که در ادامه با لغات و اصطلاحات انگلیسی در چند نمونه از این نقشه‌ها آشنا می‌شویم:

Foundation plan پلان فونداسیون

Column plan پلان ستون گذاری

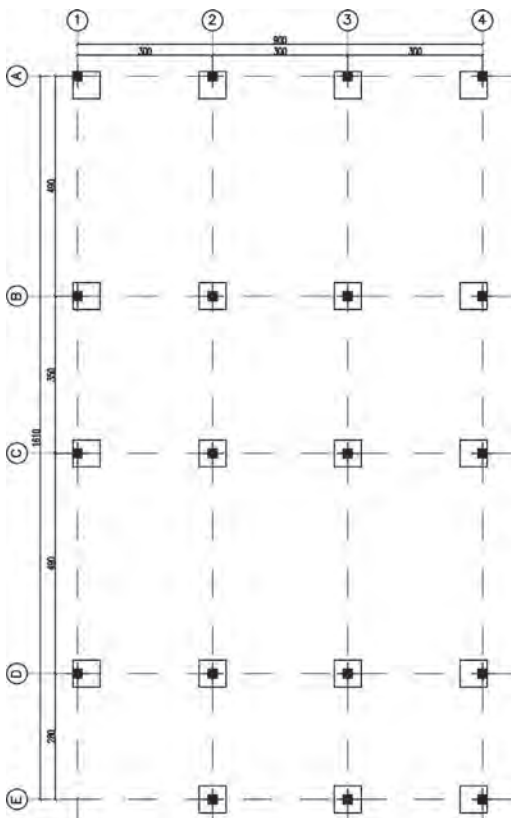
Axis plan پلان آکس بندی

Beam plan پلان تیرریزی

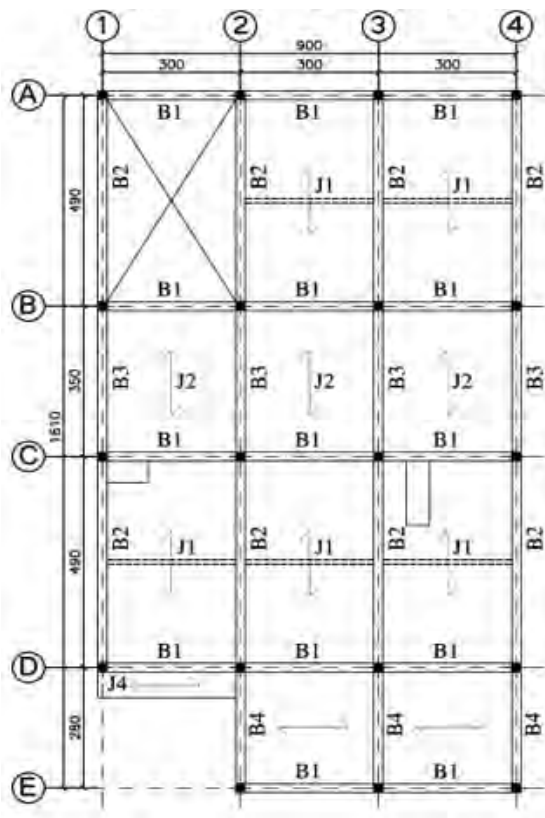
**Foundation Plan:** It is a top view of the footings or foundation, showing their area and their locations.

**Column Plan:** It is a plan to show the position and properties of the columns in the structure. These three factors are essential to be concerned: 1. Size of the Columns 2. Distance between the columns 3. Alignment of Columns

**Beam Plan:** It shows the size and spacing of joists, girders, tie beams, and columns which used to support the floor.



Column & Baseplate Plan ▲

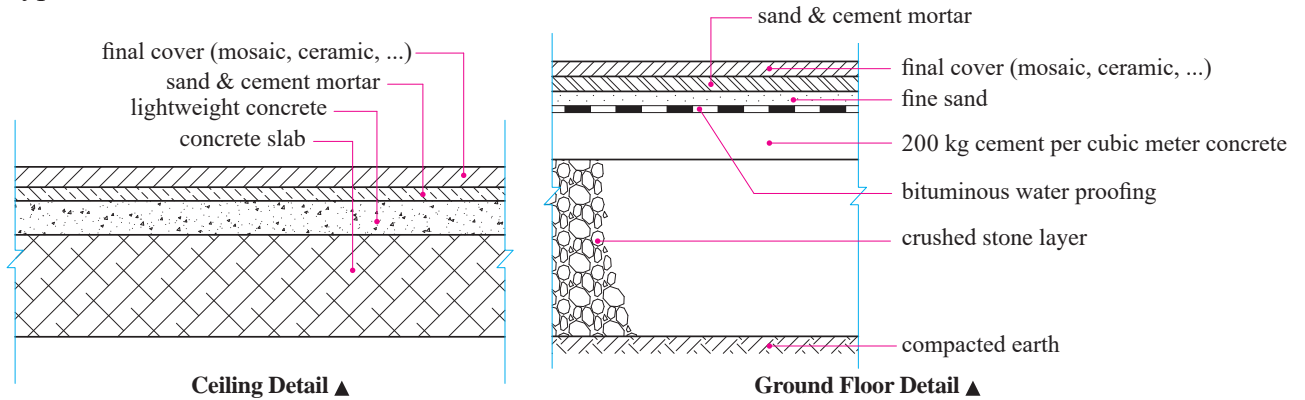


Beam Plan ▲



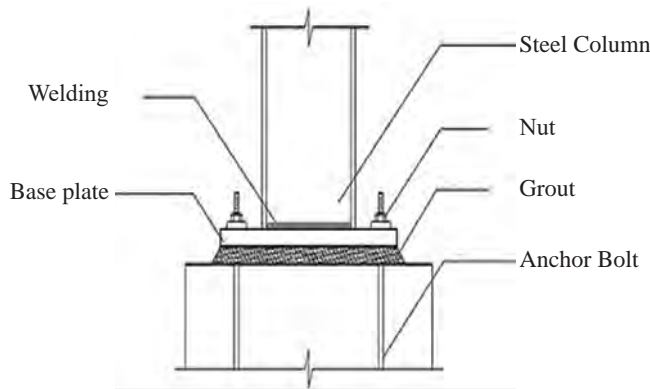
### ۳-۹- دیتایل های ساختمانی Detail Drawings

Generally there are two categories for the building details, Architectural details and Structural details. Detail drawings show a small part of the construction at a larger scale. Typical scales for the details are from 1/20 to 1/1.

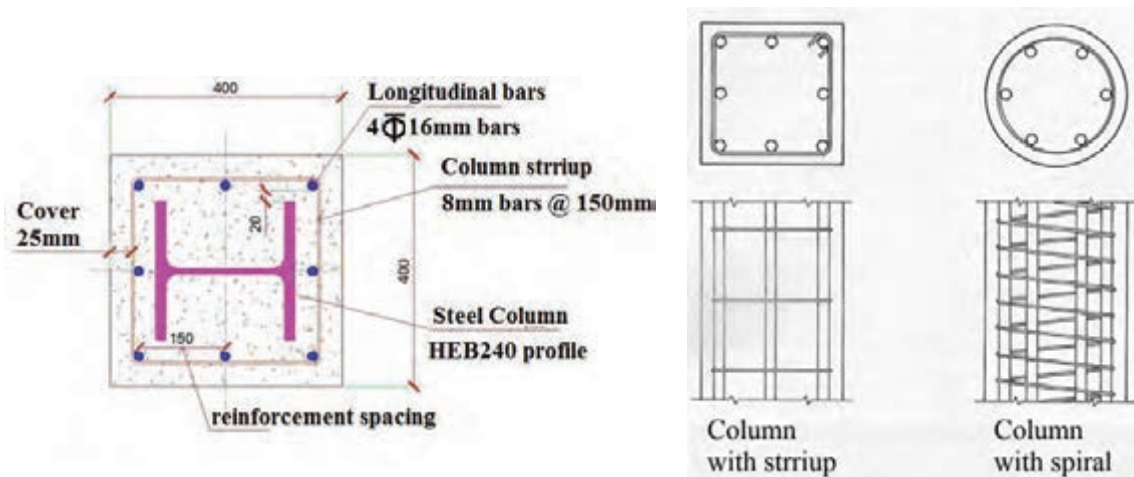


Ceiling Detail ▲

Ground Floor Detail ▲



Foundation & Column Connection Detail ▲



Detail of a Composite Column ▲

Stirrup VS Spiral ▲



## ۹-۴- انواع مختلف بناها Construction classifications

Generally there are two main types of constructions; **buildings** and **engineering constructions**.

**Buildings** are the type of construction which are used to shelter people, animals, materials, machines, human activity, and products, in a generally enclosed space. Depending on their purpose there are several types of subcategories such as; civic, industrial, agricultural, transportation building, and etc.

**Engineering constructions** refer to all the other types of constructions that we didn't mention it in the above (building) category. (There are often no special enclosed spaces in these constructions). Engineering constructions such as; The constructions related to the various means of communications (roads, railways, etc), communicational constructions (bridges, tunnels, etc), hydro technical constructions (dams, canals, etc), pipe lines (for gas, water, fuel, electricity, drainages, etc), and special constructions (chimneys, television towers, antennas, tanks, etc).

### Match the words and the pictures (شماره لغات مربوط به هر شکل را در زیر آن بنویسید)

- 1- Duplex house
- 2- Tower
- 3- Mosque
- 4- Sport Complex
- 5- Road
- 6- Airport
- 7- Bridge
- 8- Tunnel
- 9- Six-storey Apartment



## CONSTRUCTIONS:

The following chart represents some examples of different types and categories of constructions.

### 1. BUILDINGS

#### ► CIVIL BUILDINGS

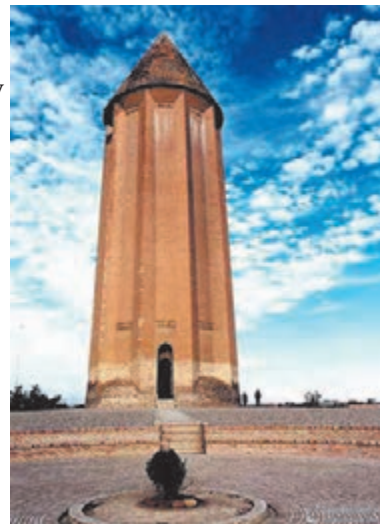
- Homes
  - Individual
    - Villa
    - House
    - Flat house
    - Duplex house
    - Triplex house
  - Collective
    - Apartment / block
    - Skyscraper
    - Multi-Storey Building
- Social, cultural and touristic
  - Hospital, Clinic
  - Cinema, Theater
  - Mosque, Praying Room, Church
  - School, kindergarten, College, University, Library
  - Museum, Convention Center/hall
  - Sports Hall / Sport Complex, Gym
  - Hotel, Hostel, Motel, Inn, Guest house



Bazar of Tabriz ▲



Jame Mosque of Isfahan ▲



Gonbad-e Qabus Tower ▲

#### ► INDUSTRIAL BUILDINGS

- Production
  - Factories
  - Workshops
- For production supplies
  - Warehouses, silos
  - Reservoirs

#### ► AGRICULTURAL & ZOOTECHNICAL BUILDINGS

- Animal shelters
  - Stables
- Vegetable production rooms
  - Greenhouses
- Storage rooms for agricultural equipments
  - Shed



Naaseri Castle in Sistan and Baluchestan Province ▲

➤ TRANSPORTATION AND TELECOMMUNICATION BUILDINGS

- For transports
  - Terminals (rails, roads)
  - Airport
  - Naval station
- For telecommunications
  - Postal, telegraphic and telephonic buildings
  - Radio – TV



Jame Mosque of Sanandaj ▲

2. ENGINEERING CONSTRUCTIONS

➤ Communicational

- bridges
- tunnels
- Road
- Rail

➤ Hydro technical constructions

- Dam
- Cannel
- Wharf

➤ Special constructions

- Chimney
- Tower
- And etc.



Shushtar Historical Hydraulic System ▲

**Tick the appropriate answers:**

1- Which ones are in the category of the ‘Engineering Constructions’?

- |           |             |           |            |
|-----------|-------------|-----------|------------|
| a) Bridge | c) Tunnel   | e) Mosque | g) School  |
| b) Villa  | d) Hospital | f) Cinema | h) Factory |

2- Which ones are in the category of ‘Civil / Civic Buildings’?

- |               |               |              |                            |
|---------------|---------------|--------------|----------------------------|
| a) Skyscraper | c) Terminal   | e) Villa     | g) Duplex house            |
| b) Airport    | d) Greenhouse | f) Penthouse | h) Three –storey apartment |

**Determine the appropriate construction category for each given word:**

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| Residential Building ..... | Mega Mall .....            |
| Pedestrian Bridge .....    | Overpass / Underpass ..... |
| Sport Complex .....        | Supermarket.....           |

فعالیت  
کلاسی ۷



## Persepolis



بیشتر  
بدانیم



Persepolis is the Greek name meaning 'Persian City', for the ancient city of Parsa, located seventy miles northeast of Shiraz in present-day Iran. The name Parsa meant 'City of The Persians' and construction began at the site in 518 BC under the rule of king Darius. He made Parsa the new capital of the Persian Empire, instead of Pasargadae, the old capital and burial place of Cyrus the Great.

The city of Persepolis was built in terraces up from the river Pulwar to rise on a larger terrace of over 125,000 square feet, partly cut out of the Mountain Kuh-e Rahmet ("the Mountain of Mercy"). To create the level terrace, large depressions were filled with soil and heavy rocks which were then fastened together with metal clips; upon this ground the first palace at Persepolis slowly grew. Around 515 BC, construction of a broad stairway was begun up to the palace doors. This grand, dual entrance to the palace, known as the Persepolitan stairway, was a masterpiece of symmetry on the western side of the building and the steps were so wide that users could ascend or descend the stairs by horseback. The top of the stairways led to a small yard in the north-eastern side of the terrace, opposite the 'Gate of all Nations'.

## Dome of Soltaniyeh: Symbol of Islamic Architecture and Art in Iranian History



بیشتر  
بدانیم



The Dome of Soltaniyeh is one of the largest brick domes in the world. The structure is a very exquisite mosque which is well-known in the world from the viewpoint of architecture, interior design and space.

The dome is located 30 km east of Zanjan inside the rampart of the old city of Soltaniyeh. It is an octagonal building, each side of which is almost 80 meters. The Soltaniyeh Dome is built in the Arg city or old fortification of Sultaniyeh. The old fortification was a plot of land with an area of 18 hectares, encircled by a wall which was the characteristic of old cities. It is interesting to mention that the dome was used as a template in construction of the big dome of Florence, Italy.

The structure is the oldest double-shell dome in Iran. The dome is blue and is covered in turquoise blue faience. The inside roof of the rooms are decorated with colored bricks and plasterwork. There is a tall dome on each sides of the building which are about 120 meters each. There are eight minarets around the dome.

On the upper part of the building, pavilions and rooms have been constructed. On the sides of the ceiling, Quranic verses and names of God have been written in beautiful manifest handwriting, which is a symbol of Iranian art.

Construction of the dome started in 1302 and was completed in 1312 that is construction of the building took almost 10 years, ranking the structure among the biggest brick domes in the world.

The dome, which is the largest in the world after Santa Maria and Hagia Sophia, has three sections of the main entrance, mausoleum and crypt. The decoration and structure of the mausoleum is in fact a turning point in the architecture of that era, creating a new style in architecture.



## ۹-۵- اجزای مختلف یک ساختمان Building components

Generally buildings are constructed from **Structural elements**, **Architectural elements**, and **Technical equipment**.

**Structural elements** are known as 'skeleton'. They ensure the stability of a building. Columns, Beams, Foundations, are some examples of the structural elements in a building. They are the 'bearing elements' of the building.

**Architectural elements** ensure the functionality and provide welfare for its users. For example: Interior walls, windows, doors, finishing, and etc. are kinds of non-bearing elements or architectural elements of a building.

**Technical equipments** elements are meant to ensure comfort for people who live in the building.

The following chart indicates some not examples of these buildings:

### BUILDING COMPONENTS

#### ► STRUCTURAL ELEMENTS

-Foundations /Base

- Single footing
- Strip footing
- Combined footing
- Mat
- Pile

- Vertical elements

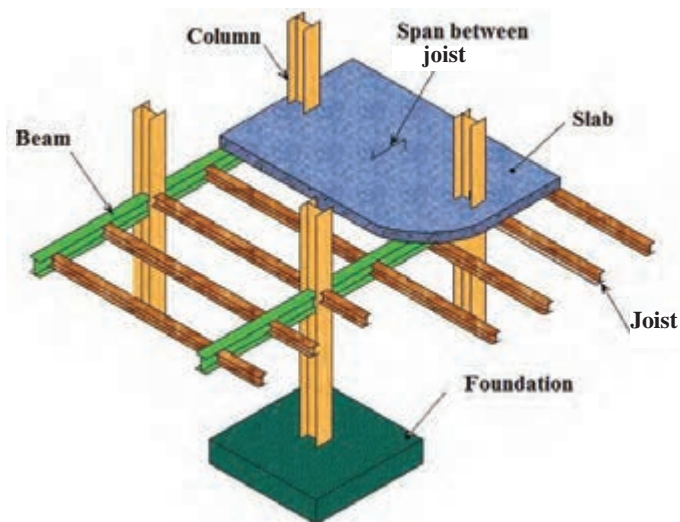
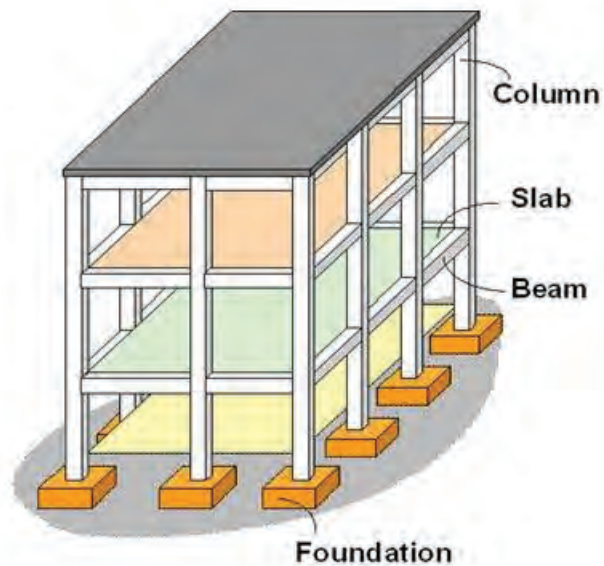
- Column / Pillar
- Pedestal
- Bearing wall

- Horizontal elements

- Beam
- Joist
- Slab

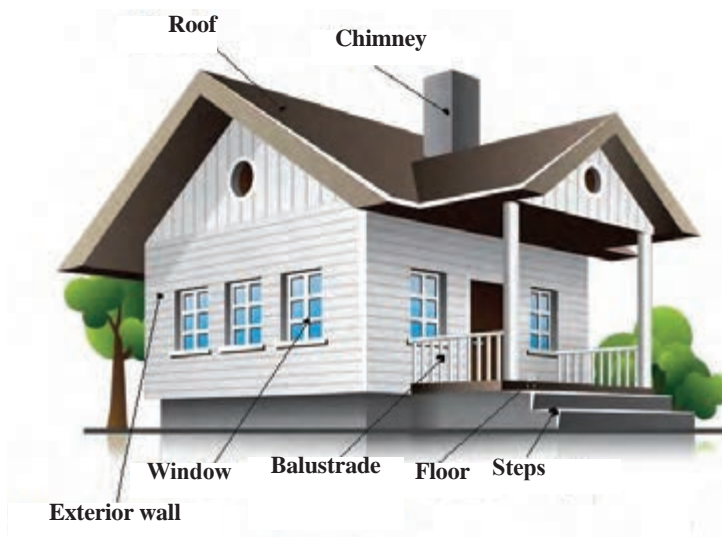
- Special elements

- Bracing
- Shear wall
- Dome
- Cable
- Arch



Structural Elements ▲

- Truss
- Staircase
- Roof
- And etc.
- Architectural elements
  - Walls
    - Interior wall
    - Exterior wall
    - Partition
  - Finishings
  - Door
  - Window
  - Chimney
  - Etc



Architectural Elements ▲

- Technical equipment elements
  - Water supplying
  - Used water disposal
  - Heating
  - Ventilation
  - Electricity
  - Gas
  - Warning, telecommunication
  - Garbage disposal
  - And etc.

(به انگلیسی پاسخ دهید)

- ۱- چند نمونه از اجزای سازه‌ای ساختمان را نام ببرید.
- ۲- چند نمونه از فونداسیون‌ها را نام ببرید.
- ۳- کدام فونداسیون قدرت باربری بیشتری نسبت به دیگر انواع فونداسیون‌ها دارد؟
- ۴- چند نمونه از اجزای معماری (غیر باربر) در ساختمان را نام ببرید.
- ۵- چند نمونه از تجهیزات فنی ساختمان را نام ببرید.

با مراجعه به منابع مختلف معادل کلمات انگلیسی «تیر لانه‌زنبوری»، «کرسی چینی» و «شناژ» را پیدا کرده و در مورد آنها مطالبی را به انگلیسی و فارسی جمع‌آوری و ارائه نمایید.

فعالیت  
کلاسی ۸



تحقیق  
کنید



## ۹-۶- مصالح ساختمانی Building Materials

مصالح ساختمانی عبارت‌اند از موادی که برای ساخت و ساز استفاده می‌شوند. مصالح سنتی Traditional materials شامل: خاک Soil، ماسه Sand، چوب Wood، سنگ Stone، و حتی شاخ و برگ گیاهان Tree branches می‌باشند.

امروزه کاربرد مصالح سنتی در ساختمان‌سازی‌ها محدودتر شده است، زیرا مصالح ساختمانی جدید با خصوصیات و ویژگی‌های متنوع‌تری قابل دسترس هستند. از بتن Concrete، فولاد Steel، شیشه Glass و آلومینیوم Aluminum می‌توان به عنوان مصالح جدید Modern materials نام برد.

Match the words and the pictures.

(لغات داده شده را به شکل مناسب آن ارتباط دهید)

1- Cement

2- Concrete

3- Reinforced concrete

4- Soil

5- Sand

6- Gravel

7- Marble

8- Granite

9- Asphalt

10- Bitumen

11- Lime

12- Mosaic

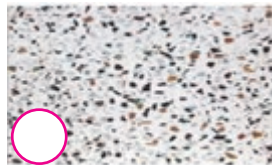
13- Ceramic

14- Brick

15- Steel bar

16- Sand-cement Mortar

17- Cement Block



فعالیت  
کلاسی ۹





## ۷-۹- افراد شاغل در پروژه های ساختمانی Building Crew

There are many people with exclusive responsibilities in the construction site or design office. The following list represents some common titles of these people:

Engineers  
Civil Engineer  
Consulting Engineer  
Operating Engineer  
Supervisor Engineer  
Project Manager  
Safety Officer  
Site Superintendent  
Architect  
Contractor  
Employer  
Surveyor  
Electrician  
Plumber  
Foreman  
Welder  
Laborer / Worker  
And etc.



**WHITE:** For High-Level employees, such as: Engineers, Project Manager, Site Superintendent, Supervisors, and etc.



**BLUE:** For Staff of Technical Services, such as: Repairers, Electricians, Carpenters and Other Technical Operators.



**RED:** For Fire Fighters.



**GREEN:** For Safety Officers, such as: HSE team.



**GRAY:** For Site Visitors.



**YELLOW:** For Labourers.



**BROWN:** For Welders.

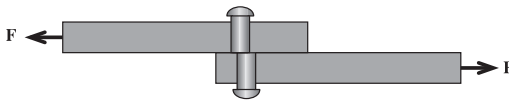
Different Colours of Safety Helmets / Hard Hats ▲

## ۸-۹- بارهای اصلی وارد بر ساختمان Primary Loads

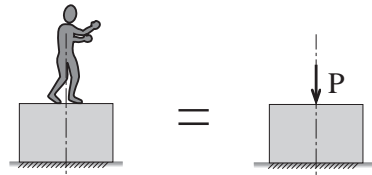
بارهای وارد بر ساختمان به طور کلی به دو دستهٔ ثقلی یا قائم **Vertical Loads** و افقی یا جانبی **Horizontal Loads** تقسیم بندی می شوند. بارهای قائم شامل: بار مرده **Dead Load** بار زنده **Live Load**، بار برف **Snow Load** و ... ، همچنین بارهای افقی شامل: بار باد، بار زلزله و ... می باشند. اثر این بارها (نیروها) به اجزای ساختمان می تواند به یکی از اشکال زیر باشد: ۱- نیروهای محوری (شامل نیروی فشاری و کششی)، ۲- نیروی برشی، ۳- نیروی خمشی، و ۴- نیروی پیچشی.

### چگونگی اثر نیروهای مختلف به ساختمان

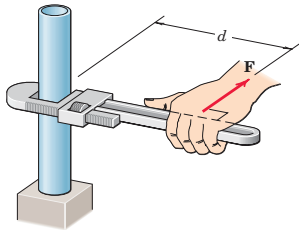
۲- نیروی برشی **Shear Force**



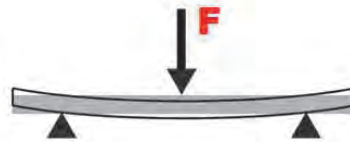
۱- نیروی محوری **Axial Force**



۴- نیروی پیچشی **Torsion Force**



۳- نیروی خمشی **Bending Force**



1- When there are no great loads imposed to a building ..... can be used.

- |                              |                   |
|------------------------------|-------------------|
| a) Mat foundation with piles | b) strip footings |
| c) single footings           | d) mat foundation |

2- ..... is due to a sudden application of a load on the structure.

- |                |              |              |              |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| a) impact load | b) live load | c) dead load | d) snow load |
|----------------|--------------|--------------|--------------|

3- Columns are mainly under the ..... force in buildings.

- |          |          |            |            |
|----------|----------|------------|------------|
| a) Axial | b) Shear | c) Torsion | d) Bending |
|----------|----------|------------|------------|

4- ..... and ..... are the most critical force in beams.

- |          |          |              |            |
|----------|----------|--------------|------------|
| a) Axial | b) Shear | c) Torsional | d) Bending |
|----------|----------|--------------|------------|

5- The snow load is mainly in the category of ..... loads.

- |             |               |            |         |
|-------------|---------------|------------|---------|
| a) Vertical | b) Horizontal | c) Oblique | d) None |
|-------------|---------------|------------|---------|

فعالیت  
کلاسی ۱۰



### Types of stresses imposed to a structure

Same as the different types of the forces, there are four types of stresses imposed to a structure. They are Axial stress, shear stress, bending stress, and torsional stress. In this part we will discuss about the Axial stress. For more information about the other stresses students can refer to the sources recommended at the end of this book.

### Axial Stress

The force per unit area, or intensity of the forces distributed over a given section, is called stress, and is denoted by the Greek letter  $\sigma$  (sigma). Stress is obtained by dividing the force  $F$  by the area  $A$ . There are two types of Axial stresses, Compressive and tensile stress.

$$\text{Stress (N/mm}^2\text{)} \rightarrow \sigma = \frac{\pm F}{A}$$

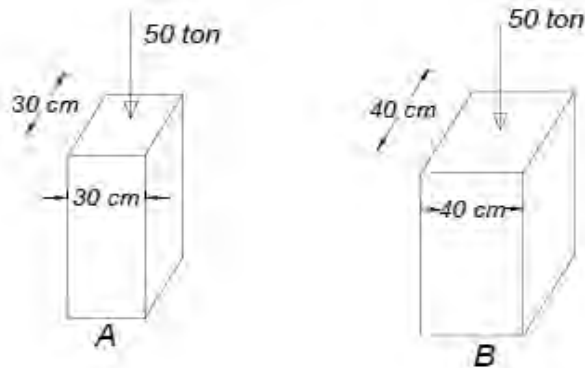
Force (N)   
 Area (mm<sup>2</sup>)

### Axial Strain

Strain is the response of a system to an applied stress. When a material is loaded with a force, it produces a stress, which then causes a material to deform. Strain is defined as the amount of deformation in the direction of the applied force divided by the initial length of the material.

$$\text{Strain} = \frac{\text{Change in Length}}{\text{Original Length}} \quad \text{or} \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

The shown schematics are two columns with the same amount of loads and different area. Which one is imposed to more stresses than the other one?



Solution:

Stress in Column A

$$\sigma_A = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{50000}{30 \times 30} = 55.5 \text{ kg/cm}^2$$

Stress in Column B

$$\sigma_B = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{50000}{40 \times 40} = 31.25 \text{ kg/cm}^2$$

The answers indicate that the column A imposes more stresses than column B.

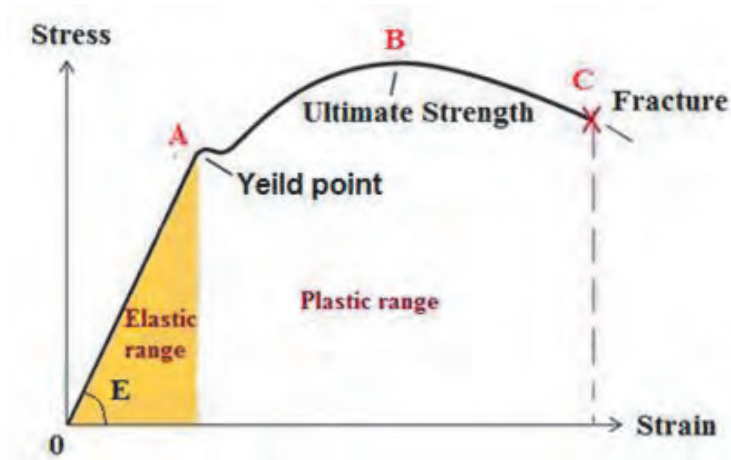




Suppose that the original length of the given column in previous example be 1m, after imposing load, the length shortened to 99cm. Calculate the strain of the column.

### Stress- strain Diagram

The relationship between the stress and strain that a particular material displays is known as that particular material's stress-strain curve. It is unique for each material and is found by recording the amount of deformation (strain) at distinct intervals of tensile or compressive loading (stress).



These curves reveal many of

the properties of a material, including data to establish the Modulus of Elasticity, E. If tensile force is applied to a steel bar, it will have some elongation. If the force is small enough, the ratio of the stress and strain will remain proportional. This can be seen in the graph as a straight line between zero and point A, which is called elastic limit or yield point.

Beyond the elastic limit, the material will experience plastic deformation. The plastic deformation continues to the point B which is the ultimate strength of the bar. Finally the point C is where the bar tore's apart, and the test is over.

### The definitions below are important for understanding the Stress-Strain interactions:

**Elasticity:** Elasticity is the property of the material which enables the material to return to its original form after the external force is removed.

**Plasticity:** Plasticity is a property that allows the material to remain deformed without fracture even after the force is removed.

**Hooke's Law:** Within the elastic range of the curve strain is proportionate to stress.

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

**Young's modulus of elasticity:** Young's modulus is a measure of the ability of a material to withstand changes in length when it is under tension or compression. It is shown by the word E. It has the same unit as the stress.

The amount of 'elongation' which is denoted by  $\Delta L$ , obtains from the following equation, where the F is force, L is the original length, E is the modulus of elasticity, and A is the cross-sectional area of the material.

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= E \cdot \varepsilon \\ \sigma &= \frac{F}{A} \\ \varepsilon &= \frac{\Delta L}{L} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta L = \frac{F \cdot L}{E \cdot A}$$

Determine the total elongation of the BC bar shown in the below picture (Where the Young's Modulus is  $E = 2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ , diameter of the bar is 20mm).

فاعليت  
كلاسي ١٢



A) Determine the diameter of the steel bar with the original length of 2 meters, which imposes maximum tensional force of  $F = 1 \text{ ton}$ . (If the allowable stress be equal to  $1440 \text{ kg/cm}^2$ , and Young's Modulus  $E = 2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ).

B) Determine the total elongation of the steel bar.

فاعليت  
كلاسي ١٣



The below picture shows two circular bars with various diameters and different materials, the top one is a steel bar of 50mm diameters. And the other one is an aluminum bar of 30mm diameters.

If:  
 $E_{\text{steel}} = 2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ , and  
 $E_{\text{aluminium}} = 7.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ ,  
determine the total elongation of the bars.

فاعليت  
كلاسي ١٤



Determine the allowable tensile force for a circular steel bar of 22mm diameters, if the allowable stress be equal to 1440 kg/cm<sup>2</sup>.

فعالیت  
کلاسی ۱۵



تحقیق  
کنید



By using various sources find the impact of the amount of carbon in different types of steel, on its strength , ductility, and weldability. Then write and offer it as a short research.

### Other Essential Vocabularies ( لغات مکمل این پودمان )

(صرفاً جهت مطالعه بیشتر)

معادل انگلیسی	کلمه فارسی	معادل انگلیسی	کلمه فارسی
Vector	بردار	Metal	فلز
Stability	پایداری	Iron	آهن
Concentrated load	بار متمرکز	Aluminum	آلومینیوم
Distributed load	بار گسترده	IPE profile	پروفیل I شکل
Cable support	تکیه گاه کابلی	Equal leg angle / L profile	نبشی بال مساوی
Roller support	تکیه گاه غلتکی	Unequal leg angle / L	نبشی با بال نامساوی
Hinge support	تکیه گاه مفصلی	HEB profile	پروفیل H شکل
Fixed support	تکیه گاه گیردار / صلب	Standard channel / UNP profile	پروفیل ناودانی
Capital	سرستون	Zee	پروفیل Z شکل
Base	پا ستون	Welding	جوشکاری
Primary beam	شاه تیر (تیر اصلی)	Weld	جوش
Secondary beam	تیر فرعی	Formwork	قالب بندی
Tertiary beam	تیرچه	Form	قالب
Steel column	ستون فولادی	Reinforcement	آرماتوربندی
Concrete column	ستون بتنی	Bar	آرماتور
Composite column	ستون مرکب	Longitudinal reinforcement	آرماتورهای طولی
Castellated beam	تیرچه مشبک	Lateral reinforcement	آرماتورهای عرضی
Straight stair	پله مستقیم	Stirrup	خاموت
Quarter-turn stair	پله ۹۰ درجه گردش	Spiral	خاموت دورپیچ
Half-turn stair	پله دوطرفه	Mesh / Web	شبكة میلگرد
Escalator	پله برقی	Screw	پیچ
Ramp	رмп	Bolt	مهره

Elevator	آسانسور	Washer	واشر
Linter	نعل درگاه	Tool	ابزار
Partition	دیوار غیرباربر	Trowel	ماله بنایی
Course	یک رج دیوار چینی	Bricklayer's trowel	کمچه بنایی
Stretcher course	یک رج راسته	Sieve	الک
Header course	یک رج کله	Buggy	فرغون
Flemish bond	پیوند کله و راسته	Shovel	بیل
Stretcher bond	پیوند راسته چینی	Safety	ایمنی
Header bond	پیوند کله چینی	Fire safety	ایمنی حریق
Thermal insulation	عایق کاری حرارتی	HVAC	گرمایش-هوایسانی-تهویه مطبوع
Damp proofing	عایق کاری رطوبتی	Heating system	سیستم گرمایش
High-rise building	ساختمان بلند مرتبه	Ventilation system	سیستم هوایسانی
Mid-rise building	ساختمان متوسط	Air conditioning	سیستم تهویه مطبوع
Low-rise building	ساختمان کوتاه مرتبه	Electricity system	سیستم برق
Residential building	ساختمان مسکونی	Plumbing system	سیستم لوله کشی
Official building	ساختمان اداری	Lighting system	سیستم روشنایی
Commercial building	ساختمان تجاری	Drainage system	سیستم دفع فاضلاب
Residential Complex	مجتمع مسکونی	Well	چاه
Sport Complex	مجموعه ورزشی	Installations	تأسیسات
Perspective	ترسیمات پرسپکتیو	Vent	دریچه هواکش
Sketch	اسکیس	Duct	محل عبور لوله های تأسیسات
Cavalier drawing	ترسیمات کاوالیر	Surface	سطح
Cabinet drawing	ترسیمات کابینت	Triangle	مثلث
3 dimensional drawing	ترسیمات سه بعدی	Square	مربع
Section	برش (مقطع)	Rectangular	مستطیل
Longitudinal section	برش طولی	Circle	دایره
Oblique section	برش مایل	Polygon	چند ضلعی
Cross section	برش عرضی	Scale	مقیاس
North direction	جهت شمال	Survey	نقشه برداری
Line	خط	Leveling	ترازیابی
Dashed line	خط چین	Turning point	نقطه برگشت
Contentious line	خط ممتد	Station	ایستگاه
Dotted line	خط نقطه	Bench mark	بنچ مارک (نقطه نشانه)
Section line	خط برش (مقطع)	Stadia	میر (شاخص)
Dimension line	خط اندازه	Theodolite	دوربین تراز یاب

## 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 کسب اطلاعات فنی				
نمره	استاندارد (شاخص ها، داوری، نمره دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)
۳	توانایی درک مفاهیم و به کارگیری لغات، اصطلاحات و متون ساده خارج از کتاب و در حد کتاب	بالاتر از حد انتظار	با استفاده از لغات، اصطلاحات، متن یا نقشه آماده و واژه نامه و کتاب همراه هنرجو، برداشت محتوایی لازم را ارائه نماید.	درک مفاهیم و به کارگیری لغات، اصطلاحات و متون فنی و تخصصی ساده
۲	توانایی درک مفاهیم و به کارگیری لغات، اصطلاحات و متون ساده در حد کتاب	در حد انتظار (کسب شایستگی)		
۱	عدم توانایی در درک مفاهیم و به کارگیری لغات، اصطلاحات و متون ساده درون کتاب	پایین تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)		
				نمره مستمر از ۵
				نمره شایستگی پودمان از ۳
				نمره پودمان از ۲۰

“Keep praying for what it is you seek. Impossibility and possibility are merely concepts of your mind, to God nothing is impossible.”

Imam Ali (A.S)

تفکر





## منابع و مآخذ

- ۱- استاندارد شایستگی حرفه ساختمان، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۲.
- ۲- استاندارد ارزشیابی حرفه ساختمان، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۳.
- ۳- راهنمای برنامه‌ی درسی ساختمان، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۴.
- ۴- خلیل ارجمندی، محمداسماعیل و همکار، ایستایی ساختمان، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.
- ۵- خاکی، علی، ایستایی ساختمان، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۰.
- ۶- فرشاد، مهدی، مکانیک مهندسی - جلد اول: استاتیک، انتشارات پژوهش
- ۷- مریام، ج - ال، استاتیک، ترجمه حمید لعل‌خو

۸- ENGINEERING MECHANICS STATICS,

J.L.MERIAM&L.G.KRAIGE, SEVENTH EDITION

۹- STATICS AND MECHANICS OF MATERIALS,

Ferdinand P.Beer&E.Russell Johnston, Jr.&John T.DeWolf&David F.Mazurek

۱۰- MECHANICS OF MATERIALS, Third Edition

ROY R. CRAIG, JR.

و سایت‌های اینترنتی معتبر و منابع مختلف دیگر.



هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را درباره مطالب کتاب‌های درسی از طریق سامانه «نظرسنجی از محتوای کتاب درسی» به نشانی «nazar.roshd.ir» یا نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ - ۱۵۸۷۵ ارسال کنند.



سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

