بسم الله الرحمن الرحیم

دانش فنی تخصصی

رشتهٔ مکانیک موتورهای دریایی

گروه تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی تخصصی (رشتهٔ مکانیک موتورهای دریایی) ـ ۲۱۲۲۲۴

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: ارسلان اقدامی، عبدالرضا باباخانی، مصطفی ربیعی، مصطفی زنگنه، بیژن شعبانی چاله‌سرایی، کریم اکبری وکیل‌آبادی، جلیل محمولی اسدآبادیان، فرهاد میریانی و محمدرضا نخعی امرودی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
مصطفی زنگنه، ارسلان اقدامی، عبدالرضا باباخانی، بیژن شعبانی چاله‌سرایی، جلیل محمولی اسدآبادیان، کریم اکبری وکیل آبادی و محمد رضا نخعی امرودی (اعضای گروه تألیف) ـ عزت‌الله خیرالله(ویراستار ادبی) ـ سید عباس کاظمی(ویراستار زبان)

مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ صبا کاظمی‌دوانی (طراح جلد)ـ پرویز معزز (صفحه‌آرا)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)**تلفن:** ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹ **وب سایت:** www.chap.sch.ir

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)
تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰/ **صندوق پستی:** ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اوّل ۱۳۹۷

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزرات آموزش و پرورش است و هر گونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، 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.

شابک ۸- ۳۱۵۱ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 - 964 - 05 - 3151-8**

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 (قدّس سره الشریف)

فهرست

پودمان ۱:استاتیک و دینامیک کاربردی

واحد یادگیری ۱: استاتیک و دینامیک کاربردی ۲

ارززشیابی شایستگی : استاتیک و دینامیک کاربردی ۵۰

پودمان ۲: اصول بررسی ساختمان کشتی

واحد یادگیری ۲: اصول بررسی ساختمان کشتی ۵۲

ارزشیابی شایستگی : اصول بررسی ساختمان کشتی ۸۴

پودمان ۳: بررسی اصول تعادل کشتی

واحد یادگیری ۳: بررسی اصول تعادل کشتی ۸۶

ارزشیابی شایستگی : بررسی اصول تعادل کشتی ۱۱۲

پودمان ۴: بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

واحد یادگیری ۴: بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی ۱۱۴

رزشیابی شایستگی : بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی ۱۴۲

پودمان ۵: کسب اطلاعات فنی

واحد یادگیری ۵: کسب اطلاعات فنی ۱۴۴

ارزشیابی شایستگی : کسب اطلاعات فنی ۱۷۷

سخنی با هنرجویان عزیز

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 بر اساس 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 کتاب‌های 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 ـ حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی درنظر گرفته است:

۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند کار بر روی شناورها.

۲ـ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند مسئولیت‌پذیری، نوآوری و مصرف بهینه انرژی.

۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها و انواع شبیه‌سازها.

۴ـ 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 رشتهٔ مکانیک و موتورهای دریایی برای پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی 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 ـ یادگیری هر پودمان می‌توانند شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنند. در پودمان «کسب تطلاعات فنی» هدف توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای شما بعد از اتمام دوره تحصیلی در مقتع کنونی است تا بتوانید به درک مطالب از منابع غیر فارسی در راستای یادگیری

در تمام طول عمر گام بردارید. 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 بسیار 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 همراه داشته باشید. در این درس نیز مانند سایر دروس اجزایی دیگر از بسته آموزشی در نظر گرفته‌شده است و شما می‌توانید با مراجعه به وب‌گاه رشتهٔ خود با نشانی www.tvoccd.oerp.ir از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی مانند مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی، طراحی و در کتاب درسی و بستهٔ 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 به‌کار 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 مؤثری شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموزان

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 مکانیک و موتورهای دریایی بازطراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. این کتاب و درس از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که در سبد درسی هنرجویان برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است. مانند سایر دروس شایستگی و کارگاهی دارای ۵ پودمان می‌باشد. کتاب دانش فنی تخصصی مباحث نظری و تفکیک شده دروس کارگاهی و سایر شایستگی‌های رشته را تشکیل نمی‌دهد بلکه پیش نیازی برای شایستگی‌های لازم در سطوح بالاتر صلاحیت حرفه‌ای ـ تحصیلی می‌باشد. هدف کلی کتاب دانش فنی تخصصی آماده‌سازی هنرجویان برای ورود به مقاطع تحصیلی بالاتر و تأمین نیازهای آنان، در راستای محتوای دانش نظری است. یکی از پودمان‌های این کتاب با عنوان «کسب اطلاعات فنی» با هدف یادگیری مادام‌العمر و توسعه شایستگی‌های هنرجویان بعد از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، ساماندهی 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. تدریس کتاب در کلاس درس به‌صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

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 می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش ارزشیابی پایانی و مستمر تشکیل می‌شود. این کتاب مانند سایر کتاب‌ها جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ برخی از فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. در هنگام ارزشیابی استاندارد عملکرد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند.

کتاب دانش فنی تخصصی شامل پودمان‌هایی به شرح زیر است:

پودمان اول: استاتیک و دینامیک کاربردی

پودمان دوم: اصول بررسی ساختمان کشتی

پودمان سوم: «بررسی اصول تعادل کشتی»

پودمان چهارم: بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی

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

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

استاتیک و دینامیک کاربردی

واحد یادگیری ۱
استاتیک و دینامیک کاربردی

آیا تاکنون پی‌برده‌اید:

- ضرب خارجی و داخلی بردارها به چه صورت انجام می‌شود؟
- روش حل مسائل مربوط به تعادل چگونه هست؟
- روش‌های تجزیه وتحلیل نیروها در اجزای خرپا چگونه است؟
- رابطهٔ سرعت خطی و زاویه‌ای چیست؟
- نحوهٔ محاسبهٔ گشتاور در موتورهای الکتریکی چگونه خواهد بود؟
- ماشین‌های سادهٔ مکانیکی کدام‌اند و محاسبهٔ نیروها در این ماشین‌ها چگونه خواهد بود؟

استاندارد عملکرد

در پایان این پودمان انتظار داریم هنرجویان بتوانند نیروهای ایجادشده در خرپاها و ماشین‌های سادهٔ مکانیکی را محاسبه کرده و راندمان را در این ماشین‌ها به دست آورند.

مقدمه

در فیزیک پایهٔ دهم با کمیت‌های نرده‌ای و برداری آشنا شده‌اید. همان‌طور که آموخته‌اید، برای نشان دادن کمیت‌های نرده‌ای یا اسکالر تنها نیاز به اندازه و یکای مناسب می‌باشد که کار، جرم، دما، فاصله و تندی جزء این کمیت‌ها می‌باشند.

امّا کمیت‌های برداری، علاوه بر اندازه و یکای مناسب، راستا و جهت نیز دارند. سرعت و نیرو جزء کمیت‌های برداری هستند. به‌عنوان مثال فاصله جزیرهٔ کیش تا بندرعباس ۱۰ مایل (۲۰ کیلومتر) است. اما آیا به نظر شما برای طی کردن این مسافت دریایی (جزیرهٔ کیش تا بندرعباس) دانستن فاصله به تنهایی کافی است؟ مسلماً برای دانستن موقعیت این دو بندر نسبت به هم لازم است، طول و عرض جغرافیایی هر دو و یا راستا و جهت حرکت از بندری به بندر دیگر مشخص شود. به همین دلیل است که در کشتی‌ها از وسایل جهت‌یابی مختلفی مثل قطب‌نما استفاده می‌شود.

در جدول زیر، کمیت‌های برداری و نرده‌ای را که در این کتاب کاربرد دارند، فهرست شده‌اند.

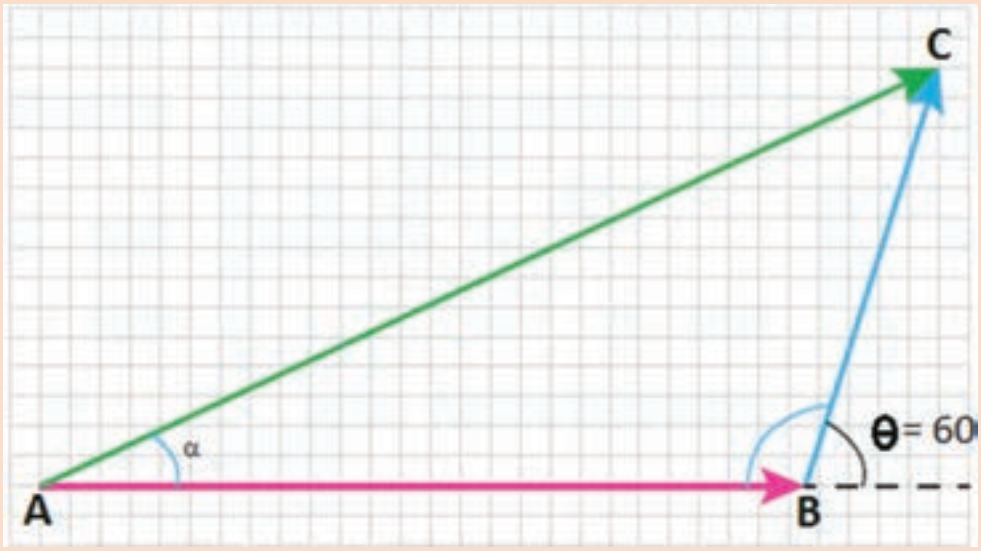
کمیت	نوع	واحد	نماد
نیرو	برداری	N نیوتن	$\vec{F}$
زمان	نرده‌ای	s ثانیه	t
شتاب	برداری	$m.s^{-2}$ متر بر مجذور ثانیه	$\vec{a}$
سرعت	برداری	$m.s^{-1}$ متر بر ثانیه	$\vec{v}$
تندی	نرده‌ای	$m.s^{-1}$ متر بر ثانیه	V
مسافت	نرده‌ای	m متر	s یا d
جابه‌جایی	برداری	m متر	$\vec{\Delta R}$

تمرین

کشتی حامل بار از جزیرهٔ A به اندازه ۳۰ کیلومتر در جهت شرق حرکت کرده و به جزیرهٔ B می‌رسد و بعد از آن ۴۰ کیلومتر در جهت شمال و به سمت شرق (با زاویهٔ ۶۰ درجه نسبت به شرق) حرکت کرده و به جزیرهٔ C می‌رسد. (شکل ۱)

۱ بردار جابه‌جایی AC را محاسبه کنید.

۲ اگر کشتی بخواهد به‌طور مستقیم از جزیرهٔ A به جزیرهٔ C برود، باید با چه زاویه‌ای نسبت به‌محور افق حرکت کند و چه مسافتی را طی کند؟



شکل ۱ـ مسیر حرکت کشتی حامل بار از جزیرهٔ A به جزیرهٔ C

با جمع و تفریق بردارها و تجزیه آن در ریاضی پایهٔ هشتم و فیزیک پایهٔ دهم آشنا شده‌اید. برای محاسبهٔ بردار جابجایی، مسافت بین دو جزیرهٔ A و C و زاویهٔ حرکتی کشتی از روش تجزیه بردارها و متوازی‌الاضلاع استفاده می‌کنیم.

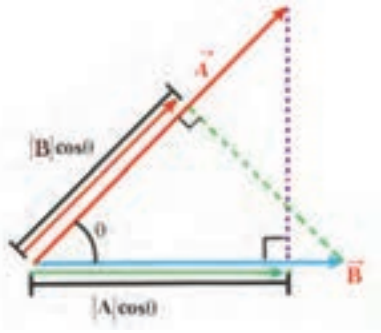
ضرب بردارها

برای ضرب یک بردار در بردار دیگر، دو روش وجود دارد: در یک روش یک اسکالر تولید می‌شود (ضرب داخلی یا اسکالر) و در دیگری یک بردار جدید حاصل می‌شود (ضرب خارجی یا برداری)

ضرب داخلی

ضرب داخلی بردارهای A و B در شکل (۲) نشان داده است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{A}.\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\,Cos(\theta)$$



شکل ۲ـ ضرب داخلی دو بردار

که در آن |A| بزرگی بردار A ، |B| بزرگی بردار B و θ زاویهٔ بین دو بردار است.
ضرب نقطه‌ای را می‌توان همانند یک ضرب دو کمیت در نظر گرفت: ۱ـ بزرگی یکی از بردارها و ۲ـ مؤلفهٔ اسکالر بردار دوم در راستای بردار اول. برای مثال در شکل ۲، مؤلفهٔ اسکالر بردار A در راستای بردار B برابر با |A|Cosθ است و مشابه آن، مؤلفهٔ اسکالر بردار B در راستای A برابر است با |B|Cosθ است.
به عبارت دیگر می‌توانیم بنویسیم:

$$\vec{A}.\vec{B} = (|\vec{A}|)(|\vec{B}|\,\mathrm{Cos}(\theta)) = (|\vec{B}|)(|\vec{A}|\,\mathrm{Cos}(\theta))$$

اگر زاویهٔ بین دو بردار ۰° باشد، مؤلفهٔ یکی از بردارها در راستای بردار دیگر، بیشینه است و بنابراین حاصل ضرب اسکالر آنها نیز بیشینه خواهد بود. اگر زاویهٔ بین دو بردار ۹۰° باشد، مؤلفهٔ یکی از بردارها در راستای بردار دیگر صفر است، بنابراین حاصل‌ضرب اسکالر آنها نیز صفر خواهد بود. است.
با به‌کارگیری اصل جابه‌جاپذیری برای ضرب اسکالر می‌توانیم بنویسیم:

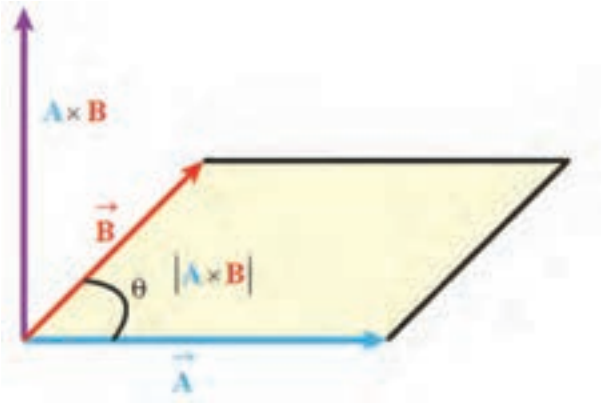
$$\vec{A}.\vec{B} = \vec{B}.\vec{A}$$

ضرب خارجی

ضرب خارجی بردارهای A و B که با A×B نشان داده می‌شود یک بردار سوم C تولید می‌کند که بزرگی آن برابر است با:

$$|\vec{C}| = |\vec{A}\times\vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}|\,\mathrm{Sin}(\theta)$$

در اینجا θ زاویهٔ بین دو بردار است.
مطابق شکل ۳، این اندازه برابر است با مساحت متوازی‌الاضلاع تشکیل‌شده توسط دو بردار.

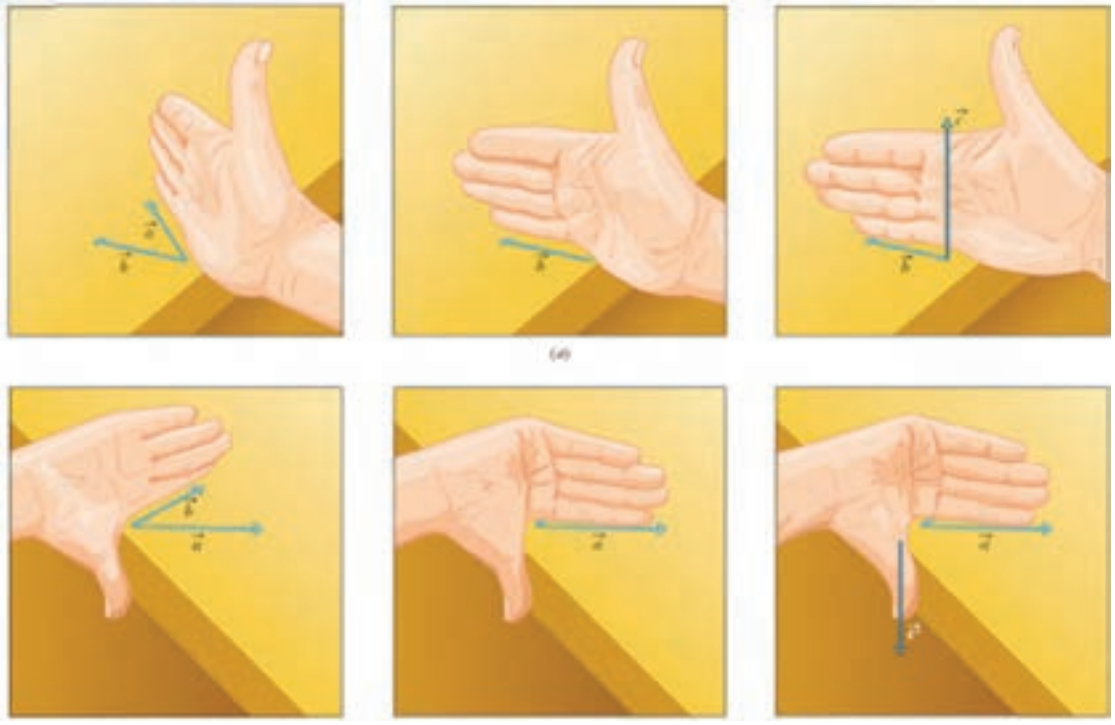


«اگر بردارهای A و B موازی یا پاد موازی باشند، حاصل‌ضرب برداری آنها صفر است. بزرگی ضرب خارجی بردارهای A×B، هنگامی بیشینه است که دو بردار A و B برهم عمود باشند.»

ما می‌توانیم از قاعده‌ی دست راست برای مشخص کردن جهت بردار C در ضرب خارجی بردار C = A×B استفاده می‌کنیم. اگر چهار انگشت دست راست در جهت مثبت بردار A قرار داشته و به‌طرف بردار B خم شوند، جهت شست دست راست در حالت کشیده در جهت بردار C قرار می‌گیرد.

توجه داشته باشید که ترتیب بردارها، در ضرب خارجی مهم است. در شکل ۴، ما جهت بردار C = B×A را تعیین کرده‌ایم. در این شکل جهت شست در خلاف جهت قبلی است، بنابراین باید داشته باشیم:

$$\vec{A}\times\vec{B}=-(\vec{B}\times\vec{A})$$



شکل ۴ـ نحوه به دست آوردن جهت ضرب خارجی دو بردار

شاید برای درک بهتر ضرب داخلی و خارجی بتوان این مثال را ذکر کرد. در بحث کار و انرژی، مقدار کار در اصل نوعی حاصل‌ضرب بردارهای جابه‌جایی و نیرو است. مقدار کار به دست آمده از این طریق یک بردار نیست و بلکه یک کمیت نرده‌ای است. به این نوع ضرب، ضرب داخلی می‌گویند. در مورد گشتاور که دردانش فنی پایهٔ دهم با آن آشنا شدید، در ضربی مشابه بحث کار و انرژی، از ضرب خارجی یا برداری استفاده می شودکه حاصل‌ضرب آن همان گشتاور است که یک بردار است.

نیرو

در کتاب‌های فیزیک و دانش فنی پایهٔ دهم با مباحث نیرو و قوانین نیوتن آشنا شدید. زمانی که به یک جسم نیرو وارد می‌شود، این نیرو باعث تغییر سرعت و جابه‌جایی آن جسم خواهد شد.
اگر نیروی وارد شده بر جسم نتواند آن جسم را جابه‌جا کند، کار انجام یافته توسط نیرو صفر خواهد بود؛ در حالی که مطابق شکل (۵) اگر این نیرو، باعث جابه‌جای جسم شود کاری انجام‌شده است که مقدار کار انجام‌شده بر روی جسم از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$W = Fd\cos\theta$$

جسم در جهت نیرو، به اندازهٔ d جابه‌جا شده است.

شکل ۵ـ انجام کار W برای جابه‌جایی جعبه به مسافت d

تمرین

برای حمل ۵۰۰۰ تن زغال سنگ بین دو جزیرهٔ A و B به مسافت ۲۰ کیلومتر، از یک یدک‌کش استفاده‌شده که با دو طناب به قطر و طول ۱۰m به بارج وصل شده است. اگر یدک‌کش با نیروی ۲۰ کیلو نیوتن بارج را یدک کند.

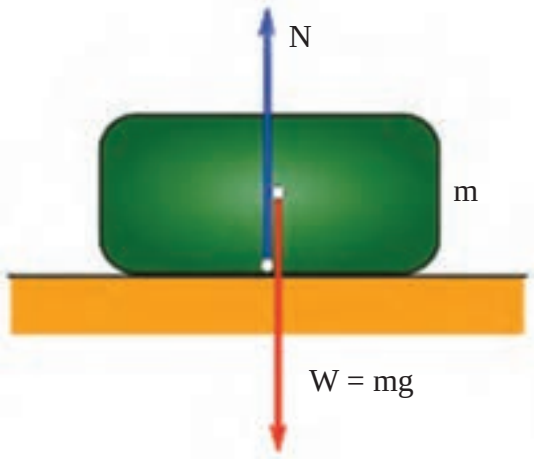
۱ کار انجام‌شده توسط یدک‌کش چه مقدار است؟

۲ در صورتی که فاصلهٔ بسته شدن طناب‌ها به بارج ۵ متر باشد، نیروی وارده بر هر یک از طناب‌ها چه مقدار خواهد بود؟

۳ مقاومت کششی این طناب‌ها حداقل چه مقدار باید باشد؟

اگرچند نیروی مختلف به یک جسم وارد شود و برآیند نیروهای وارد بر این جسم برابر صفر باشد آن جسم در حال تعادل است.

شکل (۶) یک شیء را بر روی میز نشان می‌دهد. شیء در حال حرکت نیست. دلیلش این است که نیروی گرانش، شیء را رو به پایین می‌کشد و میزان نیروی گرانش، برابر و مخالف جهت نیروی میز است که رو به بالا است. نیروی خالص، صفر است و نیروها در حال تعادل‌اند.



شکل ۶ـ نیروهای وارد بر یک جسم که در حال تعادل است

نیرویی که از طرف میز به جسم وارد می‌شود نیروی عمودی تکیه‌گاه نام دارد.

$\vec{F}_T = 0 \Rightarrow \vec{N} + \vec{W} = 0$ (برایند نیروهای وارد بر جعبه)

$N + (-W) = 0 \Rightarrow N = W = mg$

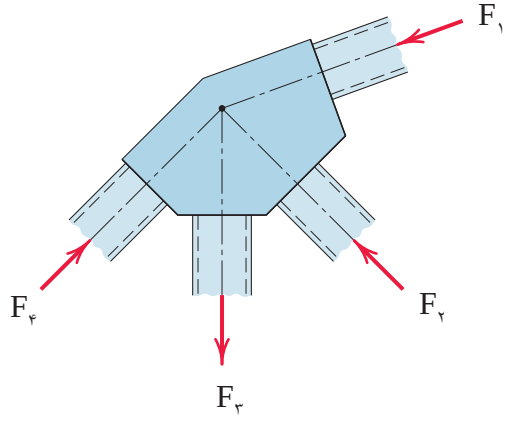
نیروهایی که بر این جسم وارد می‌شوند دقیقاً از مرکز جرم این جسم عبور می‌کنند. به دلیل مساوی بودن این دو نیرو، جسم در حالت سکون است.

تعادل اجسام

اجسامی در حال تعادل هستند که در حال سکون باشند و یا با سرعت ثابت و بدون چرخش در حال حرکت‌اند. اولین شرط تعادل اجسام این است که برآیند نیروهای وارده بر جسم صفر باشد.

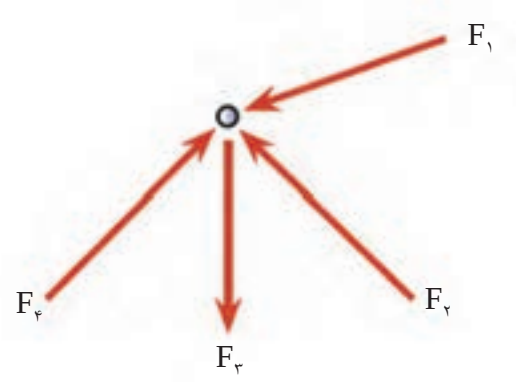
مطابق شکل (۷)، باید برآیند نیروها حول یک نقطه در نظر گرفته شود که به این نیروها، نیروهای همرس گفته می‌شود. **نیروهای هم رس خط اثرشان در یک نقطه مشترک است.**

$\sum F = 0$



شکل ۷ـ نیروهای همرس وارده بر یک قطعه

چنان‌چه از ابعاد قطعات اتصال صرف‌نظر شود، وضعیت نیروها به‌صورت شکل (۸) خواهد بود.



شکل ۸ـ رسم نیروهای وارد بر جسم بدون در نظر گرفتن ابعاد قطعه

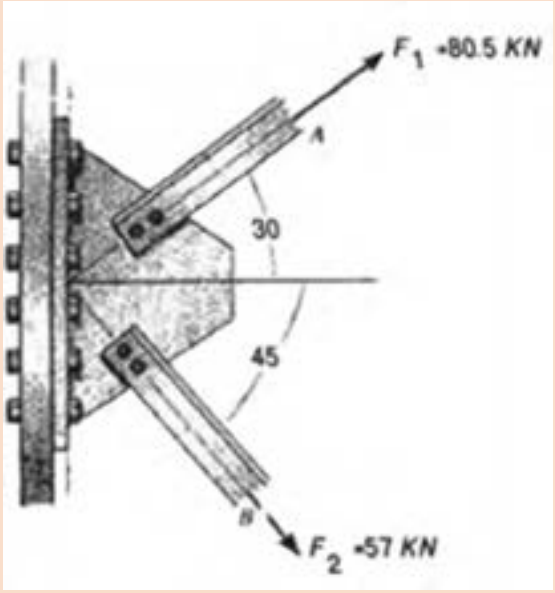
برای تعادل جسم، برآیند این نیروها که حول یک نقطه رسم می‌شود باید برابر صفر باشد. برای این منظور در صفحهٔ مختصات دکارتی، رابطه $\sum \vec{F} = ۰$ را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\sum \vec{F} = ۰ \Rightarrow \begin{cases} \sum \vec{F_x} = ۰ \\ \sum \vec{F_x} = ۰ \end{cases}$$

در این پودمان به مسائل سه‌بعدی پرداخته نمی‌شود ولی در حالت سه‌بعدی، $\sum \vec{F_z} = ۰$ معادلات بالا اضافه می‌شود.

تمرین

برایند نیروهای وارد بر نبشی‌های پایهٔ یک دکل نفتی در خلیج فارس را به دست آورید.

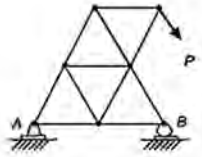
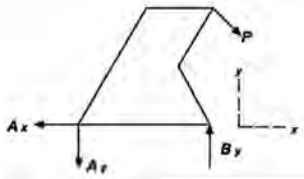
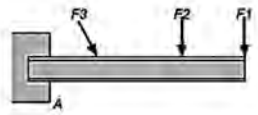
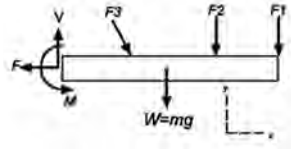
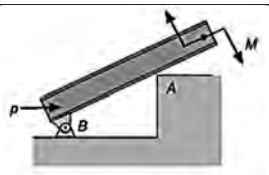
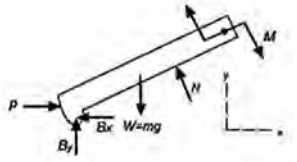


روش حل مسائل تعادل

در تحلیل اجسام در حال تعادل، مهم‌ترین نکته، شناخت کامل نیروهای وارد بر جسم و محل اثر آن است. برای بررسی تعادل جسم به روش زیر عمل می‌شود:

۱ـ رسم نمودار جسم آزاد : به‌منظور 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. در رسم نیروها دقت شود که جهت نیروها صحیح انتخاب شود چون در اثر انتخاب ناصحیح، مقدار نیروها منفی به دست می‌آید. در زیر نمونه‌هایی از نمودار جسم آزاد بعضی از دستگاه‌های مکانیکی نشان داده‌شده است.

نمونه‌هایی از ترسیم جسم آزاد برای سیستم‌های مکانیکی

عنوان و توضیح	سیستم مکانیکی	نمودار جسم آزاد
۱ـ خرپای صفحه‌ای از وزن خرپا در مقابل نیروی P صرف‌نظر شده است.		
۲ـ تیر یک سر آزاد (یا طره‌ای): جرم تیر m در نظر گرفته شده است.		
۳ـ تیر: جرم تیر، m فرض شده و تیر در نقطه A تکیه‌گاه بدون اصطکاک دارد.		

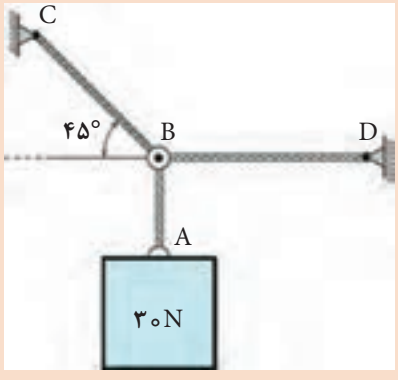
۲ـ با انتخاب دستگاه مختصات مناسب، تمام نیروها را به مؤلفه‌های عمود بر هم تجزیه می‌کنیم و رابطهٔ $\sum \vec{F} = 0$ را برای نیروها به کار می‌بریم. در نظر گرفتن درست علامت و جهت نیروها بسیار مهم است.

۳ـ با استفاده از قانون تعادل، چند معادله به‌دست می‌آید که با حل آنها می‌توانیم مؤلفه‌های مجهول را به‌دست آوریم.

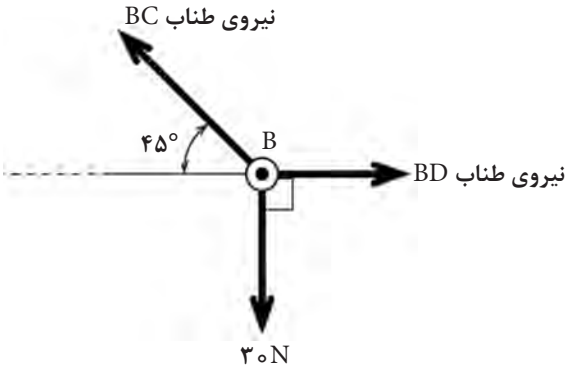
برای یادگیری بهتر مراحل حل مسائل تعادل، یک مثال در زیر آورده شده است.

مثال

در شکل زیر وزنه ۳۰N توسط سه طناب AB و BC و BD نگهداری شده است. مقدار نیروی وارد بر هریک از رشته‌ها را به‌دست آورید.

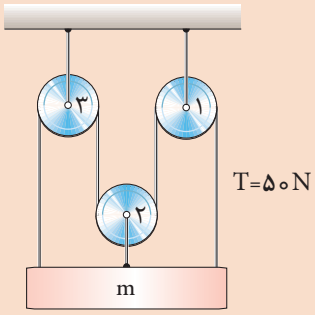


چون کابل‌ها فقط نیروی کششی را تحمل می‌نمایند بنابراین، نیروهای وارد به نقطهٔ B به‌صورت کششی بوده و نمودار جسم آزاد آن مطابق شکل زیر خواهد بود.



تمرین

در شکل زیر جسمی به جرم m به‌وسیله سیستم قرقره‌ها ثابت نگه‌داشته می‌شود؛ جرم جسم را به‌دست آورید.



ایستایی

تابه‌حال فرض بر این بود که لازم است اجسام را به‌عنوان یک نقطه مادی در نظر بگیرید و یا نیروها باید همرس باشند تا شرایط تعادل را بررسی نماییم؛ درحالی‌که چنین فرضی همیشه امکان‌پذیر نخواهد بود و نمی‌توان از ابعاد جسم صرف‌نظر نمود. بنابراین، در این حالت، نیروها در یک نقطه متقارن نخواهند بود و علاوه بر حرکت، امکان دَوَران (گشتاور) جسم تحت تأثیر نیروهای وارده نیز وجود دارد. برای مثال شکل ۹ را در نظر بگیرم که در آن، دو نیرو با اندازهٔ یکسان و در خلاف جهت هم به این جسم وارد می‌شود و این دو نیرو در یک راستا (همرس) نیستند در این حالت برای این جسم چه اتفاقی خواهد افتاد؟

شکل ۹ـ اعمال دو نیروی در خلاف جهت هم به جسم، که این دو نیرو همرس نیستند

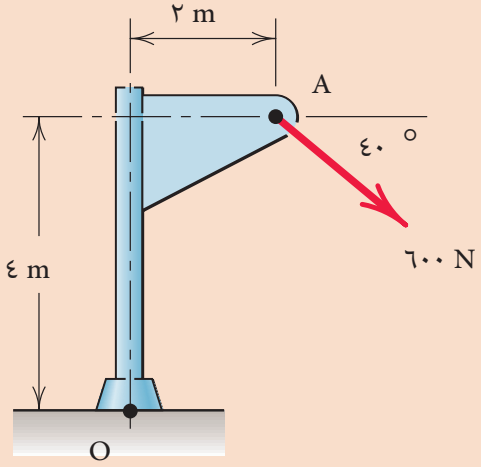
همان‌طور که در شکل می‌بینیم، وقتی نیرو در خارج از مرکز جرم جسم به آن وارد شود، اثر گشتاوری خود را نشان می‌دهد. این گشتاور می‌تواند مانند نیرو، موجب تغییر شکل و یا به حرکت درآمدن یک جسم شود.
همان‌طور که در دانش فنی پایهٔ دهم آموخته‌اید، گشتاور کمیتی برداری است که از حاصل‌ضرب نیرو (نیوتن (N)) در فاصله (متر (m)) به‌دست می‌آید و واحد آن N.M (نیوتن در متر) است.
لذا شرط تعادل در مورد اجسام صلب در مختصات دکارتی (دوبعدی) به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{cases} \sum F_X = ۰ \\ \sum F_Y = ۰ \\ \sum M = ۰ \end{cases}$$

فراموش نکنید که رابطهٔ بالا نیز در مورد یک نقطه خاص نوشته می‌شود و معمولاً برای این کار یکی از تکیه‌گاه‌ها یا مرکز جرم جسم را در نظر می‌گیرند.

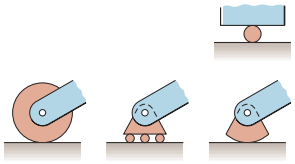
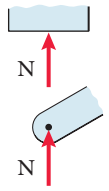
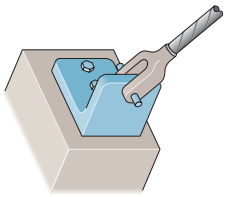
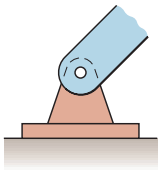
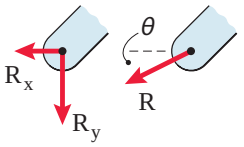
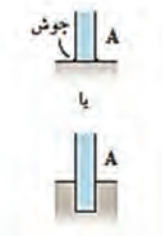
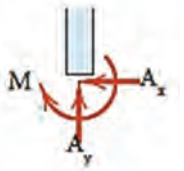
تمرین

مطابق شکل زیر نیرویی به اندازه ۶۰۰N به ستون وارد می‌شود. گشتاور حاصل از این نیرو را در نقطه O به‌دست آورید.



انواع تکیه‌گاه‌ها

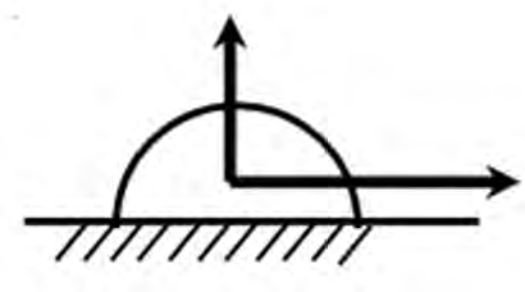
برای اینکه یک سازه، تحت تأثیر نیروهای خارجی یا وزن خود حرکت نکند، باید توسط قیدهایی به محیط (زمین یا هر جسم دیگر) متصل شود. به این قیدها، تکیه‌گاه می‌گویند. تکیه‌گاه‌ها برحسب قیدی که در مقابل حرکت به وجود می‌آورند، به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. در ادامه، سه نمونه از معروف‌ترین و کاربردی‌ترین آنها در جدول زیر نشان داده‌شده است.

انواع تکیه‌گاه				
ردیف	نوع تکیه‌گاه	شکل واقعی	شکل شماتیک	عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
۱	غلتکی			
۲	مفصلی			
۳	گیردار			

۱ـ تکیه‌گاه مفصلی متحرک (غلتکی)

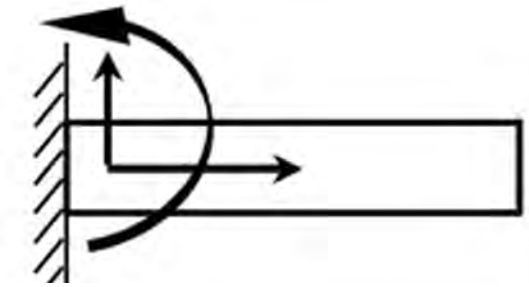
تکیه‌گاه غلتکی یا تکیه‌گاه مفصلی متحرک کاملاً شبیه تکیه‌گاه لولایی است، با این تفاوت که نسبت به آن، درجهٔ آزادی بیشتری دارد. این درجهٔ آزادی، همان حرکت پایه در امتداد حرکت غلتک‌هاست. در واقع در این نوع تکیه‌گاه‌ها تنها یک امتداد حرکت محدود می‌شود و درنتیجه واکنش تکیه‌گاهی ایجادشده، در امتدادی است که از حرکت پایه در آن امتداد جلوگیری شده است. این واکنش تکیه‌گاهی، عمود بر امتداد قابل حرکت تکیه‌گاه است که از مرکز مفصل هم می‌گذرد.

۲ـ تکیه‌گاه مفصلی ثابت (لولایی)



تکیه‌گاه مفصلی ثابت یا تکیه‌گاه لولایی، نوعی از تکیه‌گاه است که از هرگونه تغییر مکان جلوگیری به عمل می‌آورد اما هیچ مقاومتی در برابر دوران سازه نمی‌کند و به‌راحتی می‌توانیم سازه را حول نقطه تکیه‌گاه بچرخانیم. بنابراین، چنانچه سازهای به این نوع تکیه‌گاه متکی باشد، در مقابل چرخش آن حول محورهای پایه، هیچ‌گونه گشتاوری ایجاد نمی‌شود ولی به علت محدود شدن دو امتداد حرکت در صفحه، در حالت کلی دو مؤلفهٔ واکنش تکیه‌گاهی در صفحه ایجاد می‌شود.

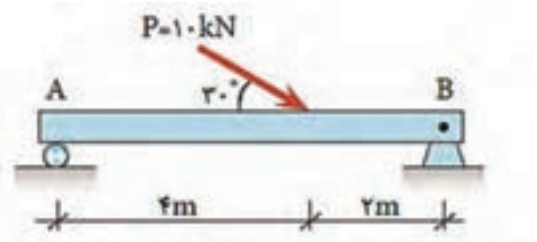
۳ـ تکیه‌گاه گیردار (طره‌ای)

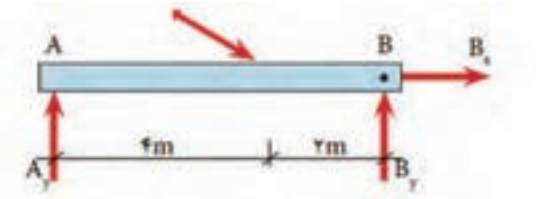


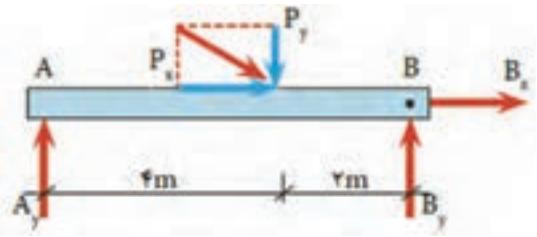
تکیه‌گاه گیردار از حرکت نقطهٔ تکیه‌گاهی در امتداد محورهای y و x و همچنین از دوران جسم حول نقطهٔ تکیه‌گاهی جلوگیری می‌کند. بنابراین سه مؤلفهٔ واکنش تکیه‌گاهی در این نوع تکیه‌گاه ایجاد می‌شود. اگر جسمی فقط یک تکیه‌گاه گیردار داشته باشد کاملاً پایدار خواهد بود.

محاسبهٔ عکس‌العمل تکیه‌گاهی اجسام صلب:

به‌طور مثال تیر زیر را در نظر بگیرید که در نقطه A و B به ترتیب دارای تکیه‌گاه غلتکی و لولایی است و نیروی P=۱۰KN با زاویهٔ ۳۰° به آن وارد شده است. همان‌طور که گفته شد شرط تعادل اجسام صلب برآورده شدن معادلات تعادل است و برای رسیدن به این هدف مراحل زیر را انجام می‌دهیم:







۱ـ رسم نمودار جسم آزاد

ابتدا جسم را از تکیه‌گاه‌ها جدا نموده و با توجه به نوع تکیه‌گاه، عکس‌العمل‌های مربوطه را در محل تکیه‌گاه و در جهت دلخواه قرار می‌دهیم.

۲ـ تجزیهٔ نیروها در جهت‌های افقی و عمودی

همه نیروهای مورب را روی پیکر آزاد در صورت وجود، به مؤلفه‌های آنها تجزیه می‌نماییم. به‌عنوان مثال نیروی P به دو مؤلفهٔ عمود بر هم تجزیه‌شده است.

$$P_x = P.Cos\theta = ۱۰ \times Cos۳۰^\circ = ۸,۶۶kN$$

$$P_y = P.Sin\theta = ۱۰ \times Sin۳۰^\circ = ۵kN$$

۳ـ تشکیل معادلات تعادل و حل آنها

$$\begin{cases}\sum \overrightarrow{F_X} = ۰\\ \sum \overrightarrow{F_Y} = ۰\\ \sum M = ۰\end{cases}$$

$$\sum \overrightarrow{F_x}^{+} = ۰ \Rightarrow B_x + P_x = ۰ \Rightarrow B_x + ۸/۶۶ = ۰ \Rightarrow B_x = -۸/۶۶\text{kN}$$

علامت منفی در جواب فوق به این معنی است که جهت صحیح عکس‌العمل B_x در پیکر آزاد تیر به سمت چپ است.

$$+\uparrow \sum F_y = ۰ \Rightarrow A_y + B_y - P_y = ۰ \Rightarrow A_y + B_y = P_y \Rightarrow A_y + B_y = ۵\text{kN}$$

در معادلهٔ بالا دو مؤلفهٔ مجهول وجود دارد که برای حل آنها از معادلهٔ سوم تعادل $\sum M = ۰$ استفاده می‌شود که نقطهٔ مدنظر برای محاسبهٔ گشتاور یکی از نقاط اعمال این دونیرو است.

$$\sum M_B = ۰ \Rightarrow A_y \times ۶ - P_y \times ۲ = ۰ \Rightarrow A_y \times ۶ - ۵ \times ۲ = ۰ \Rightarrow ۶A_y = ۱۰$$

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

حال مقدار A_y را در معادله قبل قرار داده و مقدار B_y را به‌دست می‌آوریم.

$$A_y + B_y = ۵ \Rightarrow ۱/۶۷ + B_y = ۵ \Rightarrow B_y = ۵ - ۱/۶۷ \Rightarrow B_y = ۳/۳۳\text{kN}$$

نکته

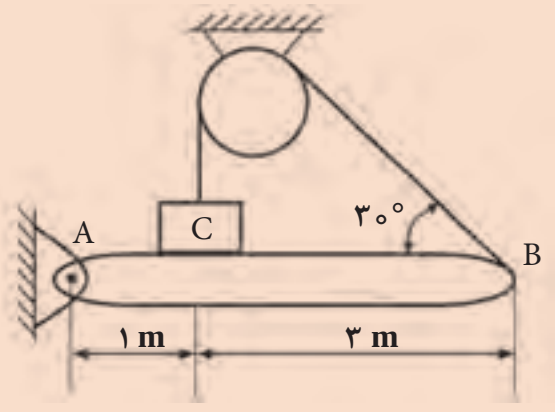
۱ هرگاه یک نیرو خودش یا امتدادش از یک نقطه یا یک تکیه‌گاه بگذرد گشتاور آن نسبت به آن نقطه یا تکیه‌گاه صفر است.

۱ اغلب برای گشتاور گرفتن، نسبت به تکیه‌گاهی گشتاور می‌گیریم که بیشترین نیروها را داشته باشیم. با این روش ساده‌ترین معادله برای حل مجهولات به دست می‌آید.

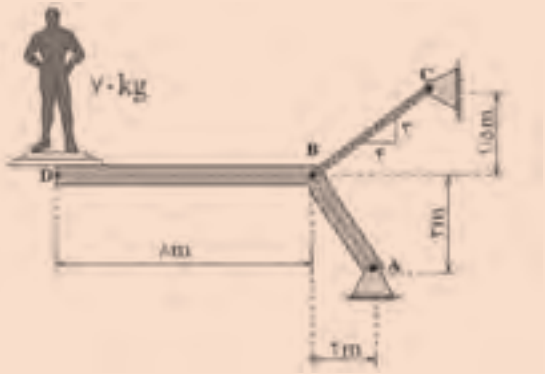
تمرین

جسم C به وزن ۵۰۰N بر روی تیر AB به وزن ۲۰۰N مطابق شکل تکیه کرده است کشش در طناب را حساب کنید.

نیروی تکیه‌گاهی در نقطه A را به‌دست آورید.



تمرین



عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی را در شکل زیر به دست آورید.

خرپا

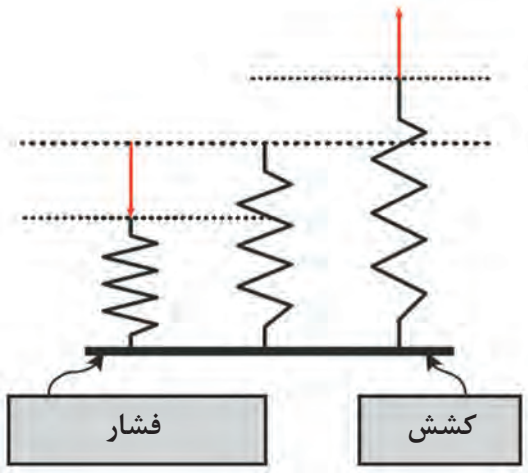
خرپا یکی از سازه‌های اصلی مهندسی است. خرپا مجموعه‌ای است از میله‌های مستقیم که به‌طور مفصلی به هم متصل شده و شبکه‌های مثلثی شکلی را به‌وجود می‌آورند. این مثلث ازنظر هندسی یکتا است؛ یعنی با اعمال نیروی خارجی، به مثلث دیگری تبدیل نخواهد شد. نمونه‌هایی از سازه‌های خرپا در شکل (۱۰) نشان داده‌شده است.

شکل ۱۰ـ نمونه‌ای از سازه‌های خرپا

در خرپاها، فرض می‌شود که اعضا در انتهای خود، به اعضای دیگری لولا شده‌اند به‌گونه‌ای که توانایی تحمل نیروهای کششی و فشاری را دارند.

فشار (Compression): نیرویی که تمایل دارد عضو تحت اثرش را فشرده یا کوتاه کند.

کشش (Tension): نیرویی که تمایل دارد عضو تحت اثرش را طویل یا گسترده کند. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱ـ نحوه تغییر شکل در اثر کشش و فشار در اعضای خرپا

پایداری سازه

یک سازه باید در مقابل نیروهای وارده صلب باشد یعنی بتواند شکل خود را حفظ نماید. به عبارت دیگر در اثر وارد شدن نیروهای خارجی، سازه فرو نریزد. با اجرای یک آزمون بسیار ساده می‌توان فهمید که یک سازه، خرپا است یا خیر. رابطه زیر می‌تواند تعداد مجهولات را در یک سازه تعیین کند.

$$K = 2J - R$$

که در آن:

K = تعداد مجهولات؛

J = تعداد مفاصل؛

M = تعداد اعضا؛

(تعداد اضلاع مثلث ۳= R).

حال با توجه به شرایط زیر، پایداری و قابل‌حل بودن سازه مشخص می‌شود:

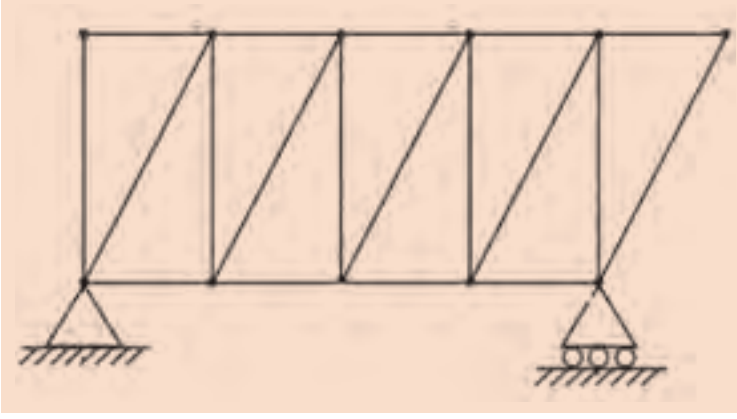
۱ـ اگر $M = K$ باشد سازه خرپا است، یعنی پایدار و قابل‌حل است.

۲ـ اگر $M < K$ باشد سازه نه پایدار است نه قابل‌حل.

۳ـ اگر $M > K$ باشد سازه پایدار است اما معادلات آن، قابل‌حل نیست.

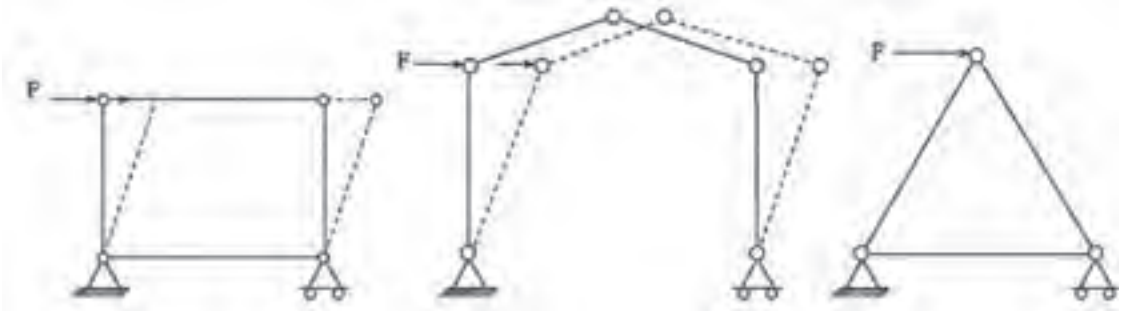
مثال

تعیین کنید که آیا شکل زیر خرپا است یا خیر؟



J=۱۱ و M=۱۹ است پس ۱۹= ۳ - (۱۱) ۲ = K که با توجه به شرایط ذکرشده، سازه خرپا است (پایدار و قابل‌حل است).

در شکل‌های زیر ۳ سازه مختلف دیده می‌شود که فقط یکی از آنها پایدار است که شکل آن به‌صورت مثلثی است.



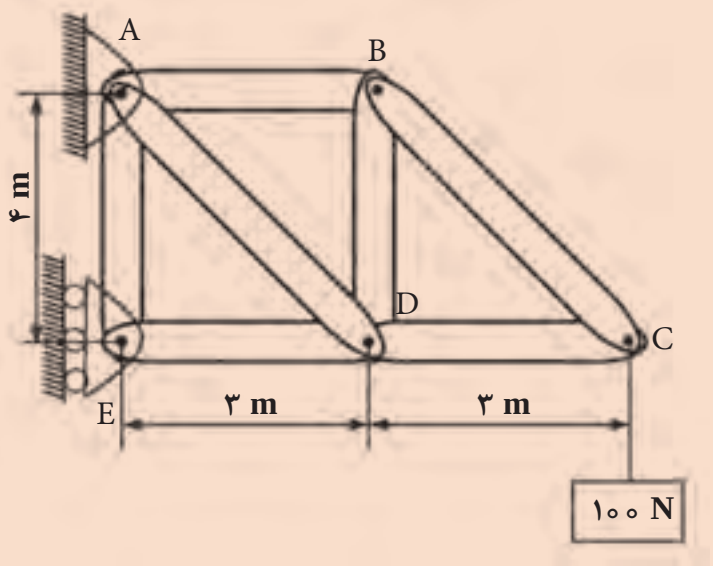
الف) حالت پایدار ب) حالت ناپایدار

حل مسائل مربوط به خرپا

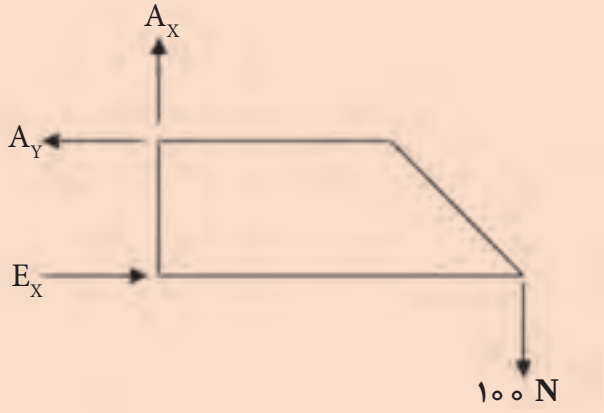
برای حل معادلات یک خرپا پس‌ازاینکه بررسی کردیم و متوجه خرپا بودن آن شدیم، کافی است معادلات تعادل را یک‌بار برای کل و یک‌بار برای تک‌تک مفاصل بنویسیم. در مثال زیر با این روش آشنا می‌شوید. دقت کنید که در نوشتن معادلات برای یک مفصل، نیازی به نوشتن معادلات مربوط به گشتاور نیست زیرا همه نیروها از یک نقطه می‌گذرند.

مثال

در خرپای روبه رو، نیروها را به‌دست آورده و کششی یا فشاری بودن آنها را مشخص کنید.



ابتدا کل خرپا را به‌عنوان یک سیستم مکانیکی در نظر می‌گیریم که نمودار جسم آزاد آن به‌صورت زیر است.



حال، معادلات مربوط به تعادل را می‌نویسیم:

$$\sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \rightarrow E_x - A_y = ۰ \rightarrow E_x = A_y$$

$$\sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \rightarrow A_x - ۱۰۰ = ۰ \rightarrow A_x = ۱۰۰N$$

برای حل معادلهٔ اول، حول نقطهٔ A گشتاور می‌گیریم:

$$\sum M_A = ۰ \rightarrow E_x \times ۴ - ۱۰۰ \times ۶ = ۰ \rightarrow E_x = ۱۵۰N$$

در نتیجه:

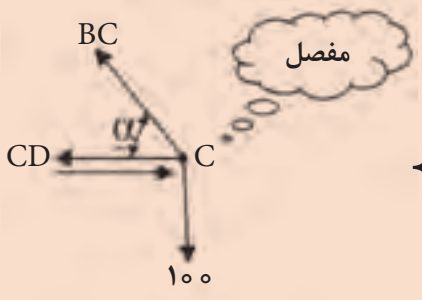
$$A_y = ۱۵۰N$$

برای محاسبهٔ نیروهای درون اعضای خرپا داریم:

$$Cos\alpha = \frac{۳}{۵} = ۰/۶ \qquad Sin\alpha = \frac{۴}{۵} = ۰/۸$$

نکته

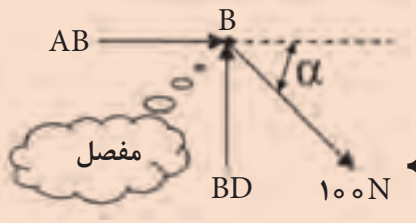
وقتی فلش به سمت تکیه‌گاه باشد، نیروی داخلی فشاری است.
وقتی فلش برعکس تکیه‌گاه باشد، نیروی داخلی کششی است.
ابتدا از مفصل C شروع می‌کنیم:



$$\sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \qquad \sum \overrightarrow{F_x} = ۰$$

$$\begin{cases} -۱۰۰ + BC\,Sin\alpha = ۰ \\ BC = \dfrac{-۱۰۰}{۰/۸} = ۱۲۵N \end{cases} \qquad \begin{cases} -BC\,Cos\alpha + CD = ۰ \\ -۱۲۵ \times ۰/۶ + CD = ۰ \\ CD = ۷۵N \end{cases}$$

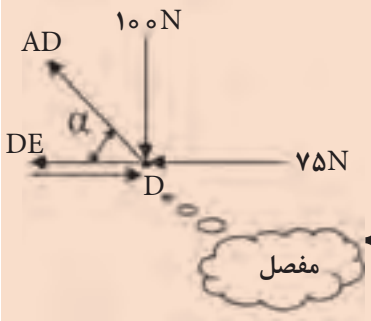
حال مفصل B را در نظر می‌گیریم:



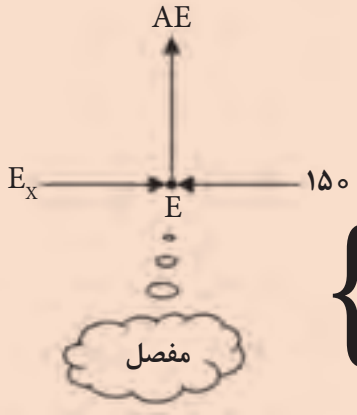
$$\begin{cases} \sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \\ ۱۲۵\text{Cos}\alpha + AB = ۰ \\ AB = ۱۲۵ \times ۰/۶ = -۷۵ \\ AB = -۷۵ \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \\ -۱۲۵\text{Sin}\alpha + BD = ۰ \\ BD = ۱۰۰\text{N} \end{cases}$$

چون مقدار AB منفی است، پس نتیجه می گیریم جهت نیروی AB برعکس در نظر گرفته‌شده است.

در مرحلهٔ بعد مفصل D را در نظر می‌گیریم:



$$\begin{cases} \sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \\ -۷۵ - ۱۲۵\ \text{Cos}\alpha + DE = ۰ \\ DE = ۷۵ + ۱۲۵ \times ۰/۶ = ۱۵۰\text{N} \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \\ -۱۰۰ + AD\ \text{Sin}\alpha = ۰ \\ AD = \dfrac{۱۰۰}{\text{Sin}\alpha} = \dfrac{۱۰۰}{۰/۸} = ۱۲۵\text{N} \end{cases}$$



$DE = ۱۵۰\text{N}$

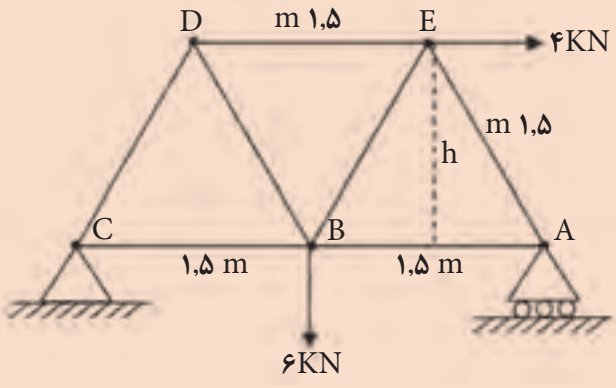
$AD = ۱۲۵\text{N}$

در مرحلهٔ آخر نیز مفصل E را در نظر می‌گیریم:

$$\begin{cases} \sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \\ -۱۵۰ + E_x = ۰ \\ E_x = ۱۵۰\text{N} \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \\ AE = ۰ \end{cases}$$

تمرین

نیروهای داخلی اعضای خرپای نشان داده‌شده را به‌دست آورید.



حرکت دورانی

در فیزیک پایهٔ دهم با حرکت انتقالی آشنا شدیم که در آن، جسم در طول یک مسیر مستقیم حرکت می‌کرد. در این حرکت، سرعت از تقسیم بردار جابه‌جایی بر واحد زمان (یا تغییرات زمان) به دست می‌آید. گاهی مواقع اجسام حرکت دارند اما نه از نوع مستقیم، بلکه حول محور خود دوران می‌کنند. مسیر حرکت ماه و ماهواره‌ها به دور زمین و برخی سیاره‌ها به دور خورشید تقریباً دایره‌ای است. در بعضی وسایل خانگی مانند لباس‌شویی، آب‌میوه‌گیری و... اجسام درونِ آنها در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کنند. در شکل ۱۲، نمونه‌هایی از حرکت اجسام بر مسیر دایره را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱۲ــ نمونه‌هایی از حرکت دورانی بر مسیر دایره‌ای

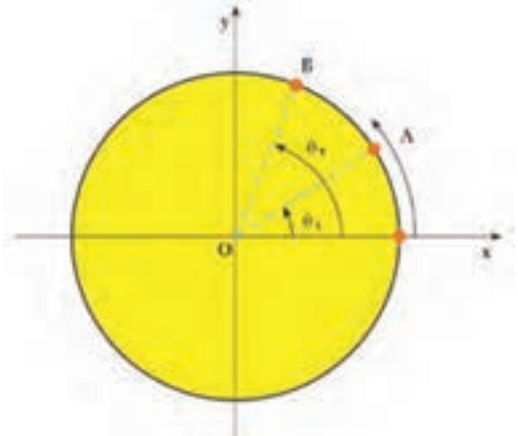
اکنون به بررسی حرکت دایره‌ای و دینامیک آن می‌پردازیم.

سرعت زاویه‌ای متوسط

آهنگ تغییرات جابه‌جایی زاویه‌ای ذرهٔ (θ) نسبت به زمان به‌عنوان سرعت زاویه‌ای متوسط تعریف می‌شود. مطابق شکل (۱۳) درواقع اگر تغییرات زاویه‌ای را از A تا B با $\Delta\theta = (\theta_2 - \theta_1)$ و مدت‌زمان این تغییر را با Δt نشان دهیم، در این صورت سرعت زاویه‌ای برابر است با:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

یکای سرعت زاویه‌ای عکس یکای زمان است و معمولاً یکاهای آن را رادیان بر ثانیه انتخاب می‌کنند.



شکل ۱۳ــ تغییرات زاویه‌ای از A به B در مدت زمان t

برای تبدیل زاویهٔ برحسب درجه به رادیان، می‌توانیم از جدول زیر برای بعضی از زوایای معروف استفاده کنیم.

درجه	۰°	۳۰°	۴۵°	۶۰°	۹۰°	۱۸۰°	۲۷۰°	۳۶۰°
رادیان	۰	$\frac{\pi}{۶}$	$\frac{\pi}{۴}$	$\frac{\pi}{۳}$	$\frac{\pi}{۲}$	π	$\frac{۳\pi}{۲}$	۲π

برای زوایای دیگر، با توجه به نسبت و تناسب که در ریاضی پایهٔ دهم آموخته‌اید می‌توانید درجه را به رادیان تبدیل کنید.

مثال

۱۵۰° چند رادیان است؟

$$\frac{۳۶۰^\circ}{۱۵۰^\circ}=\frac{۲\pi}{x}\rightarrow x=\frac{۱۵۰\times۲\pi}{۳۶۰}=\frac{۵\pi}{۶}\,\text{rad}$$

مثال

حرکت زمین به دور خورشید تقریباً دایره‌ای است، سرعت زاویه‌ای متوسط زمین به دور خورشید را محاسبهٔ کنید.

زمین در مدّت ۳۶۵ روز، یک‌بار به دور خورشید می‌چرخد و در این مدت ۲π رادیان طی می‌کند؛ بنابراین:

$$\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}=\frac{۲\pi}{۳۶۵\times۲۴\times۳۶۰۰}=۲\times۱۰^{-۷}\,(\text{rad}/\text{s})$$

سرعت دورانی

سرعت دورانی برابر است با تعداد دوری که یک جسم حول محورش در یک دقیقه می‌زند که با دور بر دقیقه یا rpm نشان داده می‌شود. هر دور برابر ۲π رادیان تغییرات زاویهٔ است و هر دقیقه برابر ۶۰ ثانیه است. لذا برای تبدیل سرعت دورانی (N) به‌سرعت زاویه‌ای از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$N=\omega\times\frac{۶۰}{۲\pi}\rightarrow N\cong۱۰\omega$$

دورهٔ تناوب و فرکانس

به مدت‌زمانی که متحرک، یک دور کامل را طی می‌کند، دورهٔ تناوب گفته می‌شود که با T نشان داده می‌شود و واحد آن ثانیه است.

به تعداد دور متحرک در واحد زمان بسامد یا فرکانس گفته می‌شود که واحد آن هرتز $(\frac{۱}{s})$ است و با f نشان داده می‌شود.

در نتیجه :

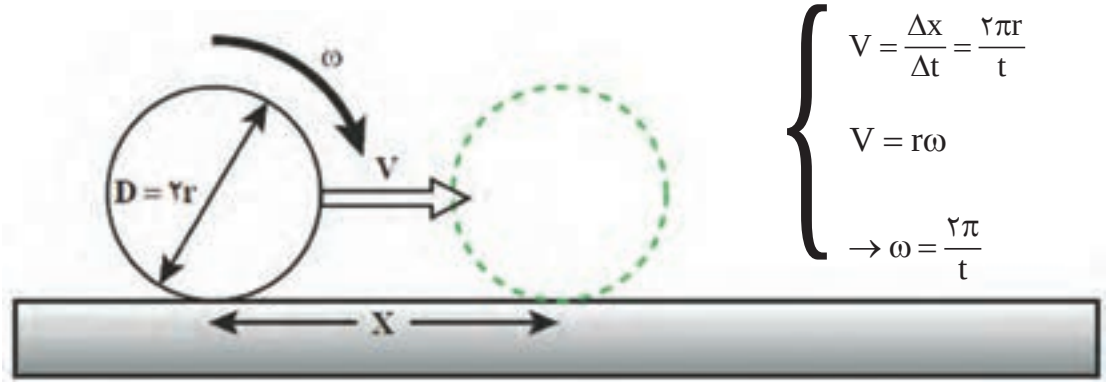
$$T = \frac{1}{f}$$

چون ذره در هر دور، 2π رادیان طی می‌کند، سرعت زاویه‌ای آن برابر است با:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

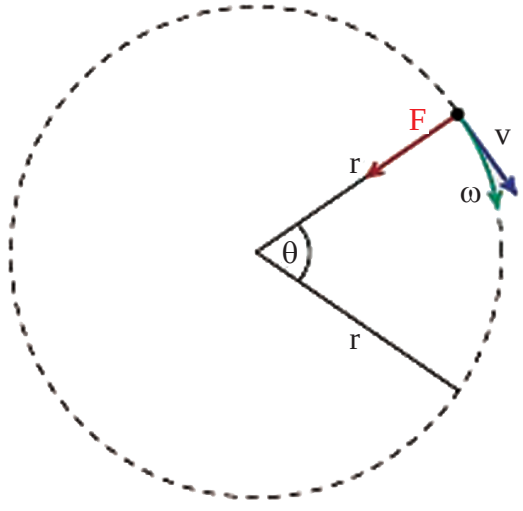
رابطهٔ سرعت خطی و زاویه‌ای

فرض کنید یک استوانه (مثلاً چرخ یک گاری) در زمان Δt یک دور روی زمین بچرخد. در این حالت استوانه به‌اندازه محیطش حرکت کرده و به‌اندازه $x = 2\pi r$ به جلو رفته است. شکل (۱۴)
با توجه به مطالبی که در حرکت یکنواخت فیزیک پایهٔ دهم آموخته‌اید، مقدار سرعت برابر است با:



$$\begin{cases} V = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{2\pi r}{t} \\ V = r\omega \\ \rightarrow \omega = \dfrac{2\pi}{t} \end{cases}$$

شکل ۱۴ـ جابه‌جایی مرکز جرم در اثر دوران



این سرعت برابر با سرعت خطی متحرک است که مطابق شکل (۱۵) درحرکت دورانی، همواره مماس بر مسیر حرکت است.

شکل ۱۵ـ جهت سرعت یک متحرک، که بر روی مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند.

اگر متحرکی بر روی یک دایره، قوس‌های مساوی را در زمان‌های مساوی طی کند، حرکتش دورانی یکنواخت است که در این نوع حرکت اندازه بردار سرعت V در هرلحظه ثابت است ولی جهت آن تغییر می‌کند.

مثال

در یک شهربازی، گردونه‌ای افراد را در یک سطح افقی و در مسیر دایره‌ای می‌گرداند به‌طوری که هر فرد حرکت دایره‌ای یکنواختی دارد. اگر گردونه در هر ۱۰ ثانیه یک دور بزند و شعاع چرخش برای هر نفر ۵m باشد، سرعت زاویه‌ای و سرعت خطی هر شخص را در این گردونه محاسبه کنید.

مدت‌زمان یک دور چرخش $T = ۱۰s$ است، پس‌سرعت زاویه‌ای برابر است با:

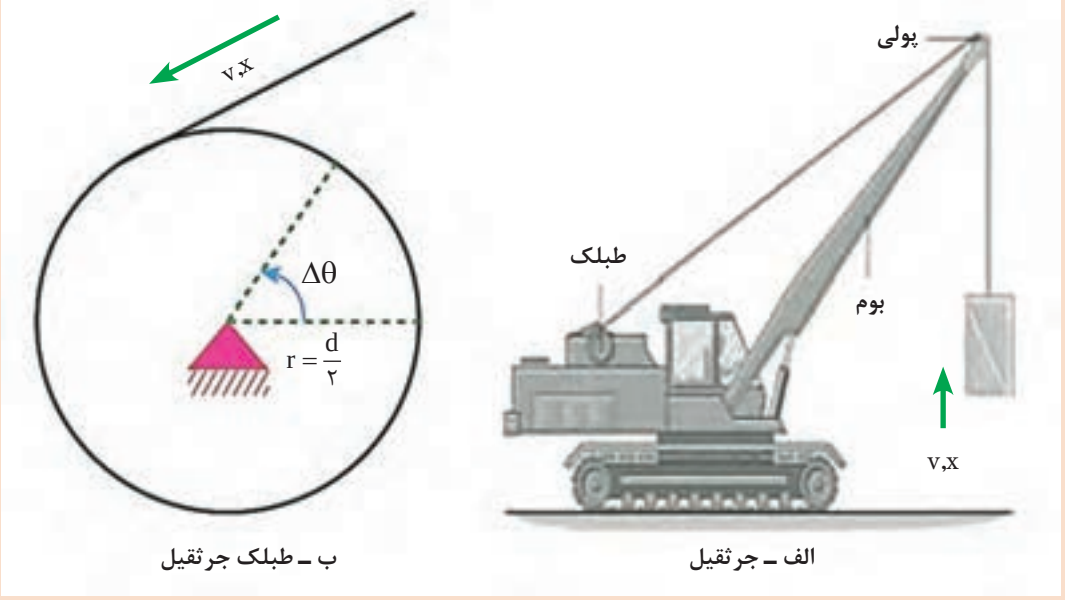
$$\omega = \frac{۲\pi}{t} = \frac{۲\pi}{۱۰} = \frac{\pi}{۵}(rad/s)$$

و سرعت خطی آن نیز برابر خواهد بود با:

$$V = r\omega = ۵ \times \frac{\pi}{۵} = ۳/۱۴(\frac{m}{s})$$

مثال

طبلک یک جرثقیل با سرعت ۵۰rpm می‌چرخد. اگر قطر این طبلک ۴۰ سانتی‌متر باشد سرعت بالابری این جرثقیل چقدر خواهد بود؟



ب ـ طبلک جرثقیل

الف ـ جرثقیل

روش اول: مقدار سرعت زاویه‌ای با استفاده از سرعت دورانی به‌دست می‌آید.

$$N = \omega \times \frac{۶۰}{۲\pi} \rightarrow \omega = \frac{N \times ۲\pi}{۶۰} = \frac{۵۰ \times ۲ \times \pi}{۶۰} = ۵/۲۵(\frac{rad}{s})$$

بعد از آن سرعت خطی را به‌دست می‌آوریم.

$V = r\omega = ۰/۲ \times ۵/۲۵ = ۱/۰۵ (m/s)$

روش دوم: هر بار که طبلک به دور خود می‌چرخد، کابل جرثقیل را به‌اندازهٔ یک محیط، به دور خود می‌پیچد. پس با هر مقدار کشیده شدن کابل، جسم به همان مقدار بالا کشیده می‌شود. درواقع با هر دورچرخیدن طبلک، جسم به‌اندازه یک محیط طبلک جابه‌جا می‌شود.
پس برای هر دور دوران طبلک جابه‌جایی برابر است با:

$x = ۲\pi r = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۰/۲ = ۱۲۵/۶ \text{ cm}$

از طرفی در هر دقیقه، طبلک ۵۰ دور می‌زند پس جابه‌جایی طناب در یک دقیقه کار جرثقیل برابر است با:

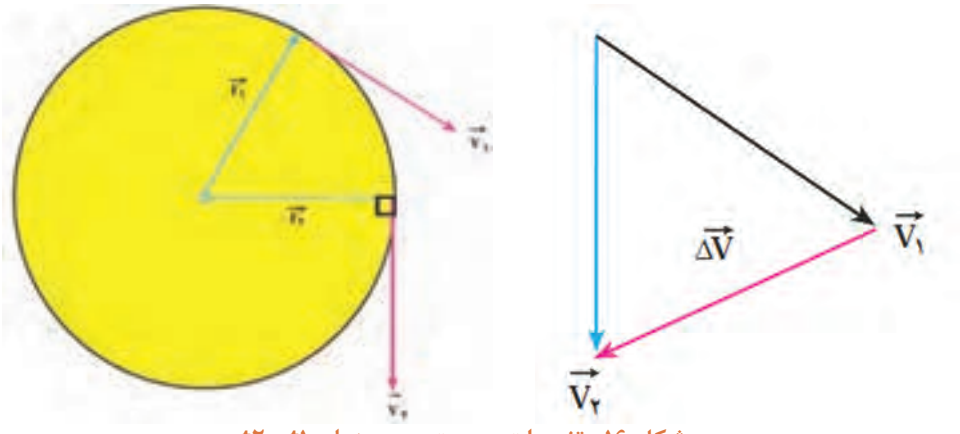
$x_{\text{دقیقه}} = x \times ۵۰ = ۱۲۵/۶ \times ۵۰ = ۶۲۸۰ \text{ cm} = ۶۲/۸ \text{m}$

حال می‌توان با تقسیم جابه‌جایی بر زمان، سرعت خطی جسمی را که جرثقیل بلند می‌کند، را می‌توان به‌دست آورد.

$$V = \frac{x}{۶۰} = \frac{۶۲/۸}{۶۰} = ۱/۰۵ (m/s)$$

شتاب در حرکت دایره‌ای یکنواخت

می‌دانیم که سرعت یک کمیت برداری است. در کمیت‌های برداری، تغییر در راستا و اندازه باعث تغییربردار می‌شود. درحرکت‌های دورانی به علت تغییر در راستای بردار سرعت، متحرک دارای شتاب می شود و این شتاب متحرک به علت تغییر جهت است و اندازهٔ بردار سرعت تغییر نمی‌کند.
همان‌طور که پیش از این اشاره شد بردار سرعت درحرکت دورانی، در هرلحظه مماس بر مسیر است. مطابق شکل (۱۶) اگر موقعیت ذره در زمان $t_۱$، $r_۱$ و در زمان $t_۲$، $r_۲$ باشد، بردارهای سرعت در این نقاط بر $r_۱$ و $r_۲$ عمودند. پس بردار سرعت برابر $\Delta V = V_۱ - V_۲$ است و با اینکه بزرگی بردار ثابت است ولی $\Delta V \neq ۰$ است.



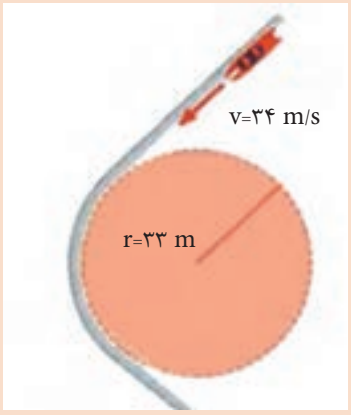
شکل ۱۶ــ تغییرات سرعت در دو زمان t۱ و t۲

اندازهٔ شتاب متوسط در این حالت از رابطهٔ $|a|=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ به‌دست می‌آید. راستای این شتاب در راستای شعاع دایره و جهت آن به‌طرف مرکز است، به این علت این شتاب را شتاب مرکزگرا گویند که از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید و واحد آن $\frac{m}{s^2}$ است:

$$a=\frac{V^2}{r}\rightarrow a=r\omega^2\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

مثال

خودرویی پیچ جاده‌ای به شعاع ۳۴m را با سرعت ثابت ۳۳m/s می‌پیماید. شتاب مرکزگرای این خودرو را محاسبه کنید.



$$a=\frac{V^2}{r}=\frac{34^2}{33}=35/03\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

دینامیک حرکت دایره‌ای یکنواخت

همان‌طور که در بخش قبل دیدید، جهت شتاب در حرکت دایره‌ای یکنواخت به سمت مرکز و در جهت راستای شعاع دایره است. با توجه به قانون دوم نیوتن، جهت شتاب و نیرو باهم یکسان است؛ در نتیجه درحرکت دایره‌ای یکنواخت، برآیند نیروها در جهت راستای شعاع و به سمت مرکز است. از این‌رو برایند نیروهای وارد بر جسم را که منجر به‌حرکت دایره‌ای می‌شوند، **نیروی مرکزگرا** می‌نامند.

با توجه به قانون دوم نیوتن، برایند نیروهای وارد بر جسم در راستای شعاع دایره به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

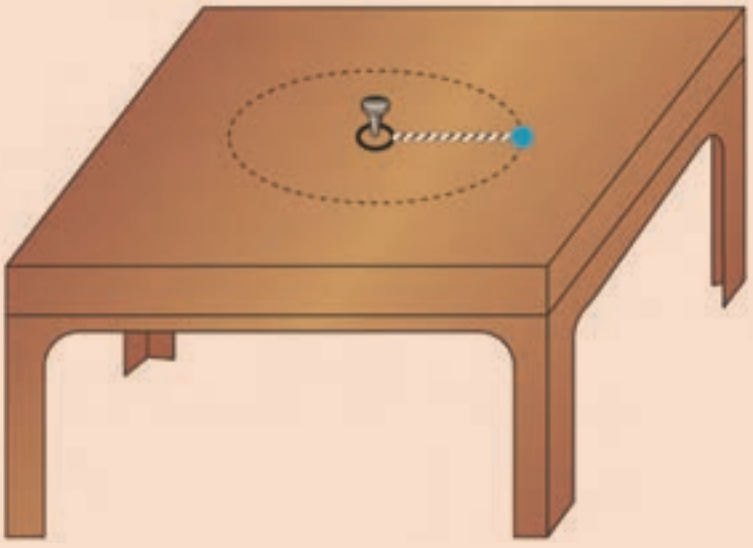
$$F=ma=\frac{mV^2}{r}\qquad \text{یا}\qquad F=mr\omega^2$$

مثال

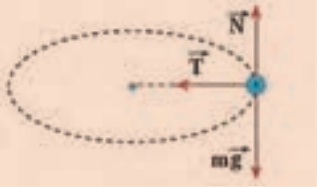
مهره‌ای به جرم ۲۰g را به نخی با طول ۲۵cm می‌بندیم و به انتهای دیگر نخ، حلقه کوچکی وصل می‌کنیم. سپس حلقه را با میخ کوتاهی در وسط یک میز ثابت می‌کنیم. (اصطکاک میز با سکه ناچیز است) با یک ضربه که به مهره وارد می‌کنیم آن را روی مسیر دایره‌ای به حرکت درمی‌آوریم.

نیروهای وارد بر مهره را با رسم شکل مشخص کنید.

اگر مهره در هر ثانیه یک دور بزند، بزرگی نیروی کشش نخ را محاسبه کنید.



نیروهای وارد بر مهره در زیر نشان داده‌شده است. در راستای قائم، نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه بر جسم اثر می‌کنند. برآیند این دونیرو صفر است:



$$N - mg = 0$$

$$N = mg$$

تنها، نیروی کشش نخ می‌ماند که در اینجا همان نیروی مرکزگرا یعنی، $T = \frac{mV^2}{r}$ است.

سرعت زاویه‌ای برابر است با:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \text{rad/s}$$

سرعت خطی برابر است با:

$$V = r\omega = 0/25 \times 2\pi = \frac{\pi}{2} \simeq 1/57 \text{m/s}$$

و نیروی کشش نخ برابر است با:

$$T = m\frac{V^2}{r} = 20 \times 10^{-3} \times \frac{\pi^2}{4} \times \frac{1}{0/25} \simeq 0/2\text{N}$$

برای مطالعه

همان‌طور که در حرکت خطی برای اجسام، شتاب خطی، تعریف می‌شود در حرکت دورانی نیز شتاب دورانی تعریف می‌شود. شتاب دورانی برابر است با تغییرات سرعت دورانی بر تغییرات زمان یعنی:

$$a = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}(rad.s^{-2})$$

همچنین در قانون اول و دوم نیوتن برای اجسام در حرکت خطی یک لختی تعریف می‌شد. لختی به معنای مقاومت جسم در برابر تغییر سرعت تعریف می‌شود. در حرکت دورانی نیز لختی دورانی تعریف می‌شود. لختی دورانی به معنی مقاومت جسم در برابر تغییرات سرعت دورانی (یا زاویه‌ای) جسم است. رابطهٔ قانون دوم نیوتن برای گشتاور، لختی دورانی و شتاب دورانی به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

$$\vec{\tau} = I.\vec{a}$$

گشتاور و توان موردنیاز موتور

گشتاور نیرو، عاملی است که سبب چرخش جسمی حول یک محور می‌شود و کمیتی برداری است. اگر اثر آن در خلاف جهت حرکت عقربهٔ ساعت باشد، گشتاور مثبت و اگر در جهت حرکت عقربه ساعت باشد، گشتاور منفی است. مطابق مطالبی که در دانش فنی و فیزیک پایهٔ دهم آموخته‌اید، قوانین نیوتن که برای تعریف رابطه نیرو و حرکت خطی اجسام کاربرد داشت، در مورد گشتاور و حرکت دورانی اجسام نیز کاربرد دارد.

برای انواع موتورها، اعم از الکتریکی، پنوماتیکی، هیدرولیکی یا احتراقی معمولاً دو مشخصه اهمیت بسیار دارند و همواره به همراه اطلاعات موتور ارائه می‌شوند. این دو مشخصه عبارتند از:

۱ سرعت دورانی

۲ گشتاور تولیدی موتور

با توجه به اینکه در مطالب این کتاب، حرکت دورانی یکنواخت موردبررسی قرارگرفته است؛ بنابراین از تغییرات سرعت دورانی و وجود لختی دورانی برای اجسام، در مسائل کاربردی این کتاب صرف‌نظر شده است؛ ولی در مسائل حساس و مهم مهندسی لازم است که این عوامل تأثیرگذار را در نظر گرفت. چیزی که در اینجا اهمیت بیشتری دارد، محاسبهٔ گشتاور لازم برای یک موتور به منظور ایجاد حرکت در اجسام، در ماشین‌ها است.

مثال

فرض کنید یک موتور با سرعت ۱۴۰rpm به یک پولی کوپل شده است و این پولی می‌بایست یک جسم به وزن ۷۰ کیلو را در ثانیه نیم متر با طناب بالا ببرد. ($g = ۱۰$)

- قطر پولی که لازم است به شفت موتور وصل شود چقدر باید باشد؟
- توان موتور با گشتاور آن را محاسبه کنید.

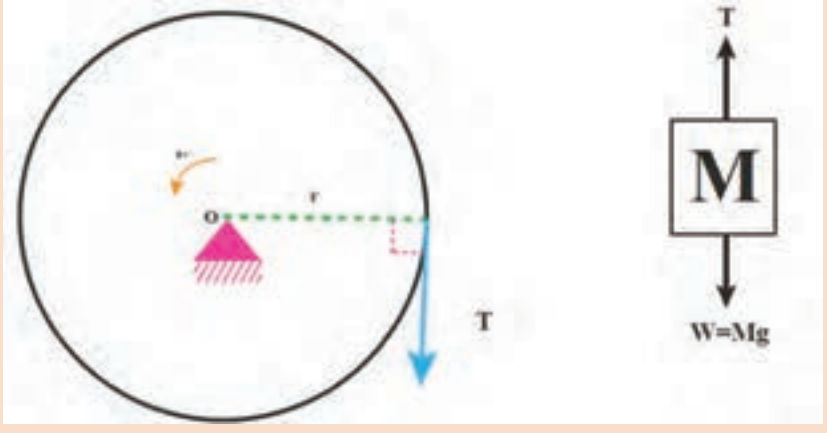
با توجه به اینکه سرعت دورانی برابر ۱۴۰rpm است، پس‌سرعت زاویه‌ای برابر است با:

$$N = \omega \times \frac{۶۰}{۲\pi} \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{N \times ۲\pi}{۶۰} = \frac{۱۴۰ \times ۲ \times \pi}{۶۰} = ۱۴/۶۵ (\frac{rad}{s})$$

درنتیجه قطر پولی برابر است با:

$$V = r\omega \quad \rightarrow \quad r = \frac{V}{\omega} = \frac{۰/۵}{۱۴/۶۵} = ۰/۰۳۴ m = ۳/۴ cm$$

برای محاسبهٔ مقدار گشتاور موتور ابتدا نمودار جسم آزاد وزنه و طبلک را رسم می‌کنیم.



دقت کنید که در این‌گونه مسائل اگر اشاره‌ای به حرکت شتاب‌دار نشده باشد، به این معنی است که حرکت با سرعت ثابت مفروض است. پس می‌توان شرایط ایستایی را برای وزنه و پولی به‌صورت جداگانه نوشت.

وزنه:

$$\sum Fy = ۰ \quad \rightarrow \quad W - T = ۰ \quad \rightarrow \quad T = mg = ۷ \times ۱۰ = ۷۰ ۰ N$$

پولی:

$$\sum M = ۰ \rightarrow \tau - T \times r = ۰ \rightarrow \tau = ۷۰۰ \times ۰/۰۳۴ = ۲۳\,(N.m)$$

مقدار گشتاور موتور برابر $۲/۳\,N.m$ است که برای محاسبهٔ توان از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$P = \frac{\tau \times RPM}{۵۲۵۲} = \frac{۲۳ \times ۱۴۰}{۵۲۵۲} = ۰/۶۱\,hp$$

بنابراین توان موتور برابر ۰/۶۱ اسب بخار است.

سرعت نسبی

ما در زندگی روزمرهٔ خود اکثرا با این مفهوم برخورد می‌کنیم، زمانی که در داخل ماشین خود نشسته‌ایم و به ماشین‌هایی که از رو به رو به سمت ما می‌آیند نگاه می‌کنیم، احساس می‌کنیم که آنها بسیار سریع به ما نزدیک می‌شوند. یعنی نسبت به ما سرعت بیشتری دارند.

در حقیقت سرعت هر متحرک را نسبت به یک مرجع یا دستگاه می‌سنجیم؛ حال با توجه به این مرجع، دو حالت رخ می‌دهد:

۱ اگر این مرجع ساکن باشد، به این سرعت، مطلق یا همان سرعت جسم گفته می‌شود.

۲ اگر این مرجع متحرک باشد، به این سرعت «سرعت نسبی» گفته می‌شود. کسی که داخل ماشین متحرک قرار دارد، سرعت اجسام دیگر را نسبت به خودش که متحرک است می‌سنجد یعنی سرعتی که به دست می‌آورد، سرعت نسبی است.

بنابراین، درحرکت نسبی اگر دو جسم به ترتیب با سرعت‌های $V_۱$ و $V_۲$ در خلاف جهت هم در حال حرکت باشند، پس‌سرعت نسبی از جمع دو سرعت$(V_۲+V_۱)$ به دست می‌آید و در صورتی که حرکت این دو جسم، هم‌جهت باشد، سرعت نسبی از تفریق دو سرعت $(V_۲-V_۱)$ به دست می‌آید.

مثال

یک یدک‌کش با سرعت ۴۰ گره دریایی به سمت شمال و یک کشتی با سرعت ۲۵ گره دریایی به سمت جنوب و در همان مسیر یدک‌کش در حرکت است. ملوانان روی کشتی نفت‌کش می‌بینند که یدک‌کش با سرعت به آنها نزدیک می‌شود. سرعت نزدیک شدن یدک‌کش به نفت‌کش را بیابید.

با توجه به مطالب گفته شده، زمانی که دو جسم متحرک می‌باشند و در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند، سرعت نسبی برابر جمع دو سرعت است.

$V_{۲/۱} = V_۲ + V_۱ = ۴۰ + ۲۵ = ۶۵ \text{ knot}$

در مثال قبل اگر کشتی دوم نیز به سمت شمال در حرکت باشد، کارکنان این کشتی، سرعت یدک‌کش را چقدر می‌بینند؟

در این حالت، جهت دو جسم متحرک باهم یکسان است پس:

$V_{۲/۱} = V_۲ + V_۱ = ۴۰ - ۲۵ = ۱۵ \text{ knot}$

همان‌طور که در قبل اشاره شد، سرعت، یک کمیتی برداری است و سرعت نسبی نیز کمیت برداری خواهد بود. اگر حرکت دو جسم در جهت خلاف هم باشد از خاصیت برداری آن استفاده می‌شود.

مثال

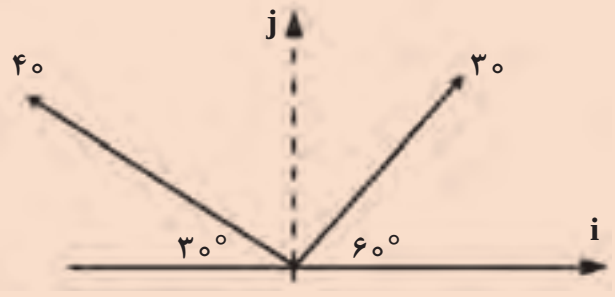
یک کشتی یدک‌کش با سرعت ۳۰ گره دریایی به سمت شمال شرق (زاویهٔ ۶۰° نسبت به افق) و یک ناوشکن نظامی با سرعت ۴۰ گره دریایی ولی در جهت شمال غرب (زاویهٔ ۳۰° نسبت به افق) در حرکت هستند. سرعت نسبی آنها نسبت به هم چقدر است؟

ابتدا یک شکل نمادین رسم می‌کنیم تا مسئله را بهتر درک کنیم. هر یک از سرعت‌ها را به مؤلفه‌های آن تقسیم می‌کنیم و در انتها آنها را باهم جمع می‌کنیم.

$V_۱ = ۳۰\cos(۶۰)\mathbf{i} + ۳۰\sin(۶۰)\mathbf{j}$

$V_۲ = -۴۰\cos(۳۰)\mathbf{i} + ۴۰\sin(۳۰)\mathbf{j}$

$$V_{۱۲} = \left((۳۰\times\frac{۱}{۲}) - (۴۰\times\frac{\sqrt{۳}}{۲})\right)\mathbf{i} + \left((۳۰\times\frac{\sqrt{۳}}{۲}) + (۴۰\times\frac{۱}{۲})\right)\mathbf{j} = -۱۹/۶\mathbf{i} + ۴۵/۹\mathbf{j}$$



تأثیر جریان آب بر سرعت و راه

اگر کشتی‌ای که در آب آرام حرکت می‌کند وارد محیطی با «جریان آب» شود سرعت و جهت حرکت کشتی تغییر می‌کند. به این صورت که سرعت و جهت جدیدحرکت کشتی برآیند کار پروانه و تیغه سکان در آب آرام به علاوه سرعت جریان آب است.

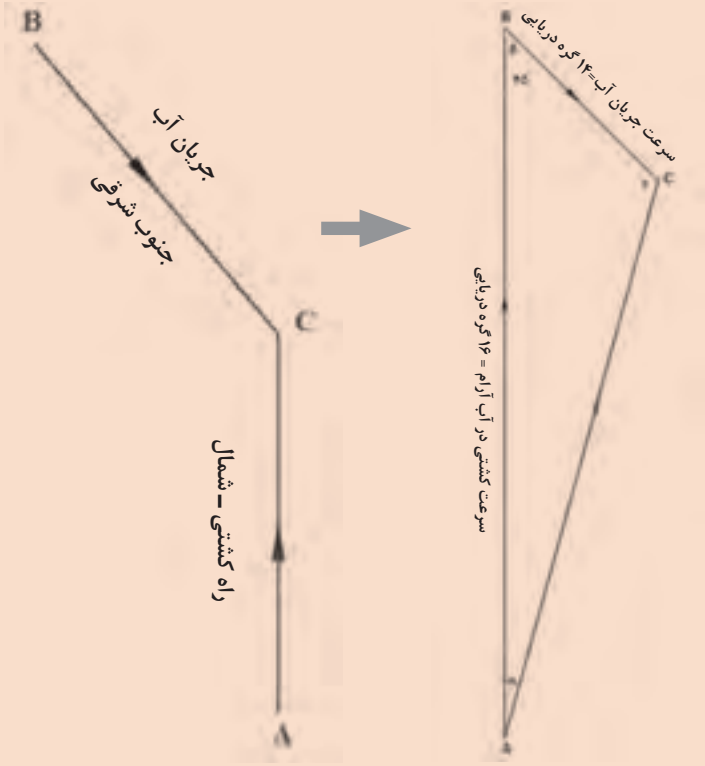
برای مثال، فردی را در نظر بگیرید که با سرعت (V) در جهت آب و یا خلاف آن با سرعت (V′) شنا کند.

جریان آب در حالت موافق، باعث افزایش سرعت فرد $(V' + V)$ می‌شود درحالی‌که اگر در حالت خلاف شنا کند حالات زیر پیش خواهد آمد:

- اگر $(V' < V)$ باشد، پس فرد با سرعت $(V' + V)$ در خلاف جهت جریان آب حرکت می‌کند.
- اگر $(V' = V)$ باشد، پس فرد ثابت در آب می‌ماند.
- اگر $(V' > V)$ باشد، پس جریان آب، فرد را با سرعت $(V' - V)$ با خود می‌برد.

مثال

یک کشتی با سرعت ۱۶ گره دریایی در جهت شمال وارد محیطی با جریان آب به‌سرعت ۴ گره دریایی به سمت جنوب شرقی (زاویهٔ 45°) می‌شود. برایند سرعت و جهت حرکت کشتی را به دست آورید.



حل:

نموداربرداری، قابل رسم است. نموداربرداری، سرعت و جهت اولیهٔ کشتی (یعنی سرعت و جهت در آب آرام) و سرعت و جهت جریان آب را که کشتی وارد آن می‌شود نشان می‌دهد.

$$(ac)^2 = (ab)^2 + (bc)^2 - 2(ab)(bc)\cos\beta = 16^2 + 4^2 - 2\times16\times4\cos45^\circ$$

$$= 256 + 16 - 90/51 = \sqrt{181/49} \Rightarrow ac = 13/47 \text{ گره دریایی}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dfrac{4}{\sin\alpha} = \dfrac{13,47}{\sin45} \Rightarrow \sin\alpha = 0/21 \\ \alpha = 12^\circ 7' \end{cases}$$

بنابراین سرعت کشتی در جریان آب و جهت حرکت آن برابر است با:

گره دریایی ۱۳/۴۷ = سرعت کشتی در جریان آب

$12^\circ 7'$ = جهت حرکت کشتی در جریان آب

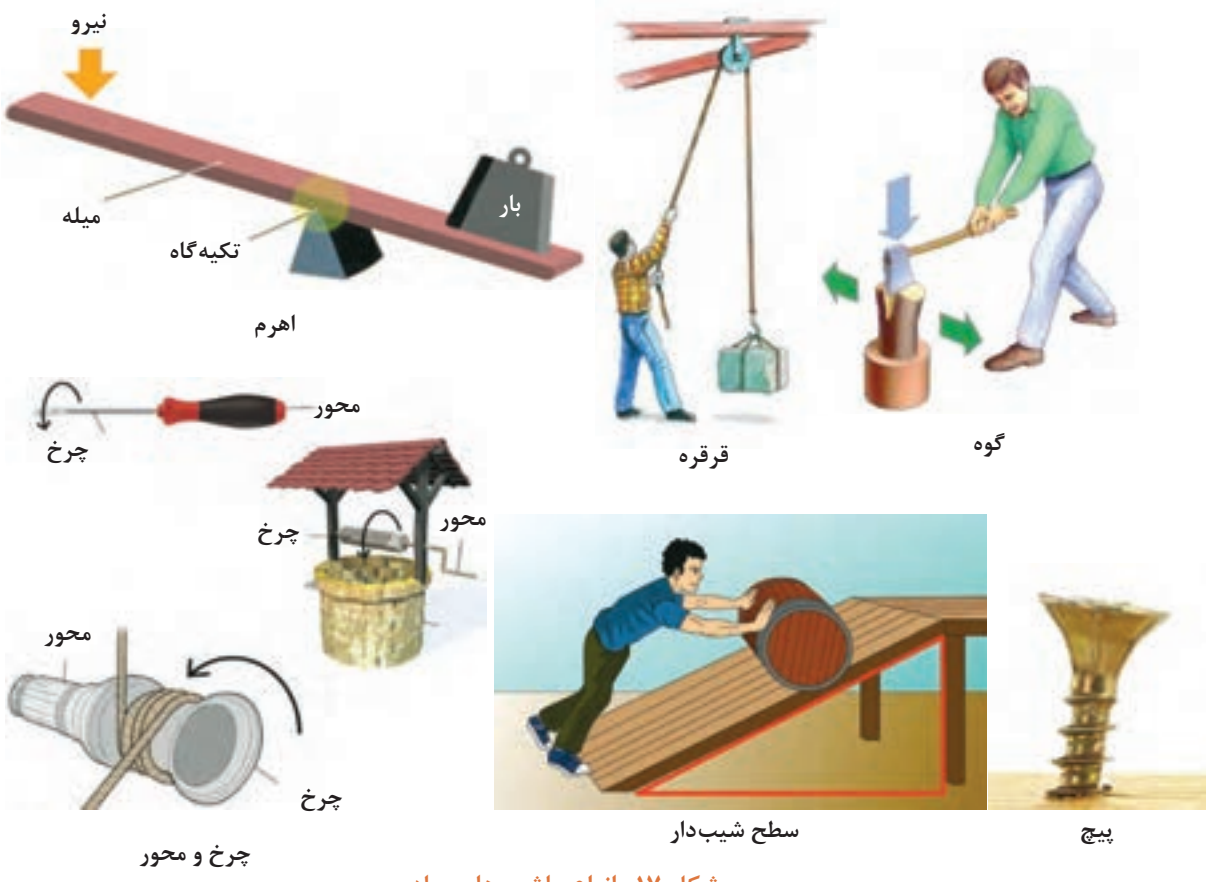
ماشین‌های جابه‌جایی و بالابر

برای اینکه جسمی جابه‌جا شود و حرکت کند باید به آن نیرو وارد کنیم. استفاده از نیروی ماهیچه‌ها برای انجام بسیاری از کارها کافی نیست و سبب خستگی می‌شود. همچنین مدت‌زمان زیادی طول می‌کشد که کار انجام شود و به همین دلیل باید از ابزارها استفاده کنیم. ابزارها موجب افزایش قدرت، سرعت، راندمان، دقت و بهره‌وری می‌شوند. ما نمی‌توانیم میخ را با دست‌خالی در یک‌تخته چوبی فروکنیم ولی با کمک چکش دستی که به‌عنوان یک ابزار ساده است انجام این فرایند امکان‌پذیر می‌شود. به‌طورکلی می‌توان ابزارها را تحت عنوان ابزارهای دستی، ابزارهای دستی برقی و ماشین‌ها طبقه‌بندی نمود.

ماشین وسیله‌ای است که به ما کمک می‌کند تا کارها را آسان‌تر انجام دهیم. ماشین‌ها به دو گروه ساده و پیچیده تقسیم می‌شوند.

ماشین‌های ساده

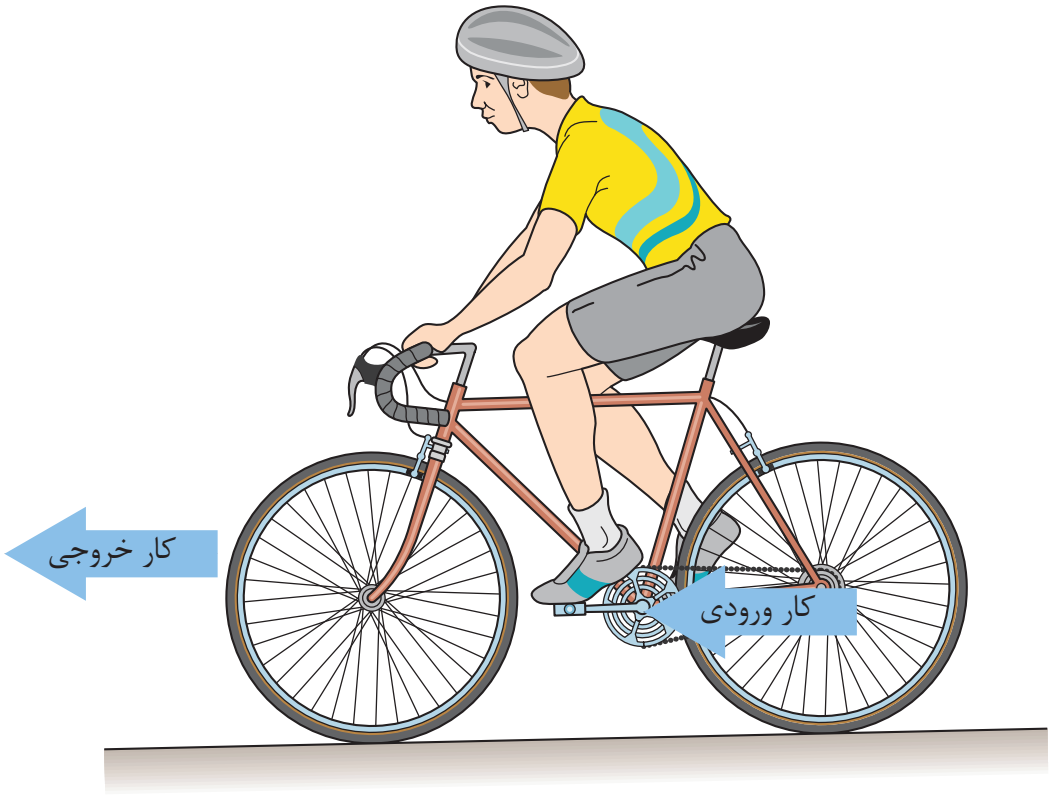
ماشین‌های ساده گروهی از ماشین‌ها هستند که پایه و اساس ساخت ماشین‌های دیگر را تشکیل می‌دهند. ماشین‌های ساده در شش نوع **اهرم، قرقره، چرخ محور، سطح شیب‌دار، گوه و پیچ** دسته‌بندی می‌شوند. (شکل ۱۷)



شکل ۱۷ــ انواع ماشین‌های ساده

ماشین‌های مرکب یا پیچیده

گاهی دو یا چند ماشین ساده باهم ترکیب می‌شوند و ماشین جدیدی را به‌وجود می‌آورند به چنین ماشین‌هایی، ماشین‌های مرکب یا پیچیده می‌گویند. این ماشین‌ها تغییر شکل یافتهٔ ماشین ساده یا ترکیبی از چند ماشین ساده با یکدیگر هستند. مثلاً در ساخت دوچرخه از ماشین‌های ساده‌ای مانند: اهرم، چرخ و محور، پیچ و مهره، چرخ‌دنده و... استفاده می‌شود تا بتواند کار نیروی ماهیچه‌ای (کار ورودی) ما را تبدیل به انرژی جنبشی کند به‌طوری‌که دوچرخه به ما امکان حرکت سریع‌تر و جابه‌جایی بیشتری (کار خروجی) را می‌دهد.



اهرم

اهرم، میلهٔ بلند و محکمی است که نقطه‌ای از آن بر چیزی تکیه داده می‌شود، تا با کمک آن بتوان چیزهای سنگین را آسان‌تر جابه‌جا کرد.

مطابق شکل (۱۸) اهرم از قسمت‌های مختلفی تشکیل‌شده است که عبارت‌اند از:

۱ **تکیه‌گاه:** تکیه‌گاه ممکن است بین دو قسمت دیگر قرار گیرد. به‌طورکلی در وسایل مختلف محل تکیه‌گاه تغییر می‌کند.

۲ **نیروی محرک ($\mathbf{E}$):** نیرویی که به اهرم وارد می‌کنیم.

۳ **نیروی مقاوم ($\mathbf{R}$):** نیرویی که اهرم بر جسم وارد می‌کند.

۴ **بازوی محرک ($\mathbf{L_E}$):** فاصلهٔ نقطه اثر نیروی محرک تا تکیه‌گاه را بازوی محرک می‌گویند.

۵ **بازوی مقاوم ($\mathbf{L_R}$):** فاصلهٔ نقطه اثر نیروی مقاوم تا تکیه‌گاه را بازوی مقاوم می‌گویند.

شکل ۱۸ــ قسمت‌های مختلف اهرم

در شکل (۱۸) مقدار کار انجام‌شده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$W = E \times L_E = R \times L_R$$

مثال

میله‌ای به طول ۲ متر را به‌عنوان دیلم به کار می‌بریم، طول بازوی مقاوم چند سانتی‌متر باشد تا نیروی ما ۷ برابر شود؟

$$W = E \times L_E = R \times L_R \quad \frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R} = ۷ \rightarrow L_E = ۷L_R$$

$$L_E + L_R = ۲m \rightarrow ۸L_R = ۲m \rightarrow L_R = ۲۵۰cm$$

اهرم‌ها برحسب ساختمان (تکیه‌گاه، نیروی مقاوم، نیروی محرک) آنها به سه دسته تقسیم می‌شوند.

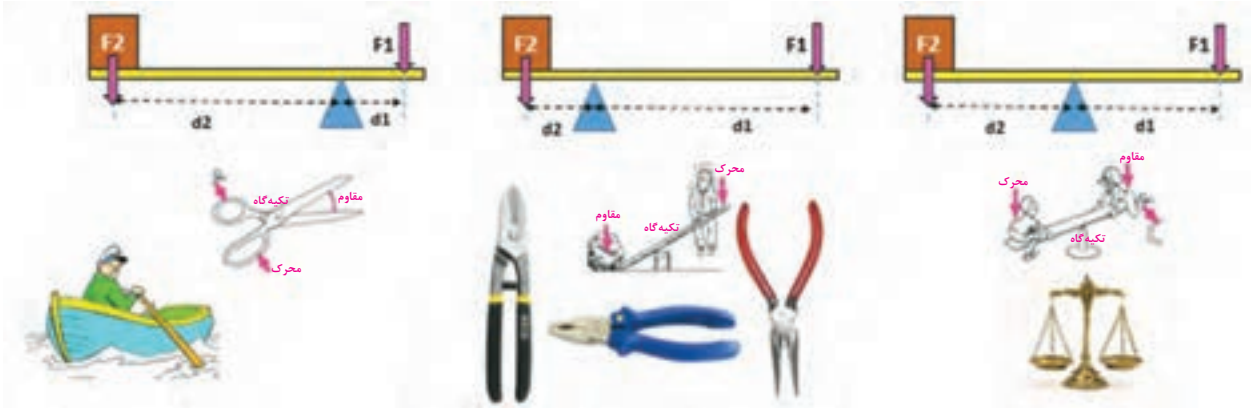
اهرم نوع اول: در اهرم نوع اول، تکیه‌گاه بین نیروی محرک و مقاوم قرار دارد. اهرم نوع اول باعث تغییر جهت می‌شود. با توجه به محل قرارگیری تکیه‌گاه و اینکه به کدام نیرو نزدیک‌تر باشد، این نوع اهرم خود به

سه دسته تقسیم می‌شود: (شکل ۱۹)

۱ یا تکیه‌گاه به نیروی محرک نزدیک‌تر است یعنی بازوی مقاوم بازوی محرک است مثل قیچی خیاطی

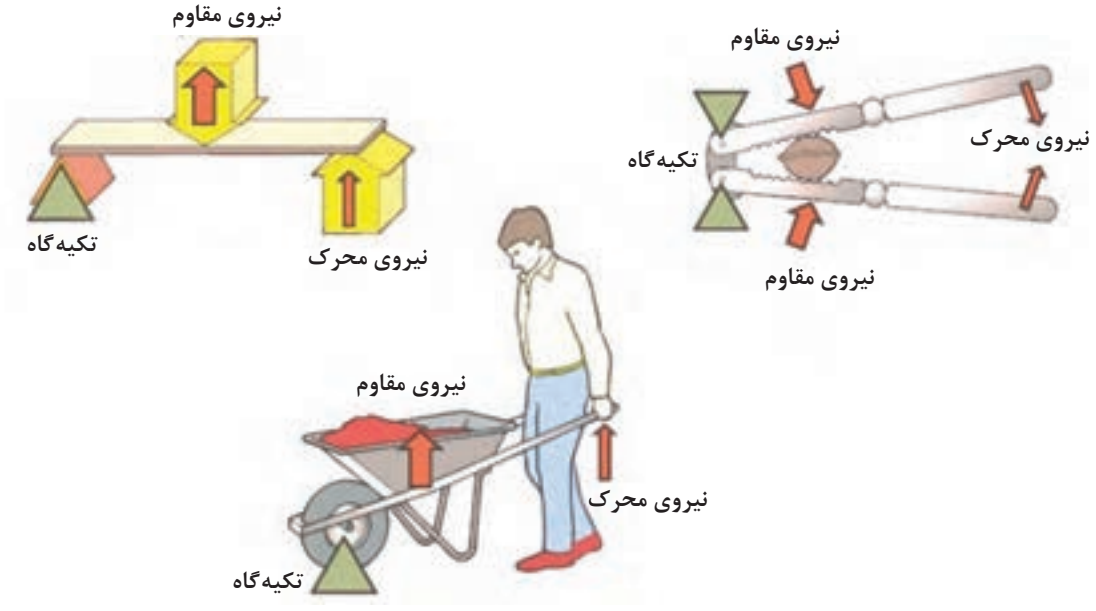
۲ یا تکیه‌گاه به نیروی مقاوم نزدیک‌تر است یعنی بازوی مقاوم بازوی محرک است مثل دیلم

۳ یا تکیه‌گاه به فاصله برابر از نیروی محرک و مقاوم است یعنی بازوی مقاوم = بازوی محرک است مثل الاکلنگ



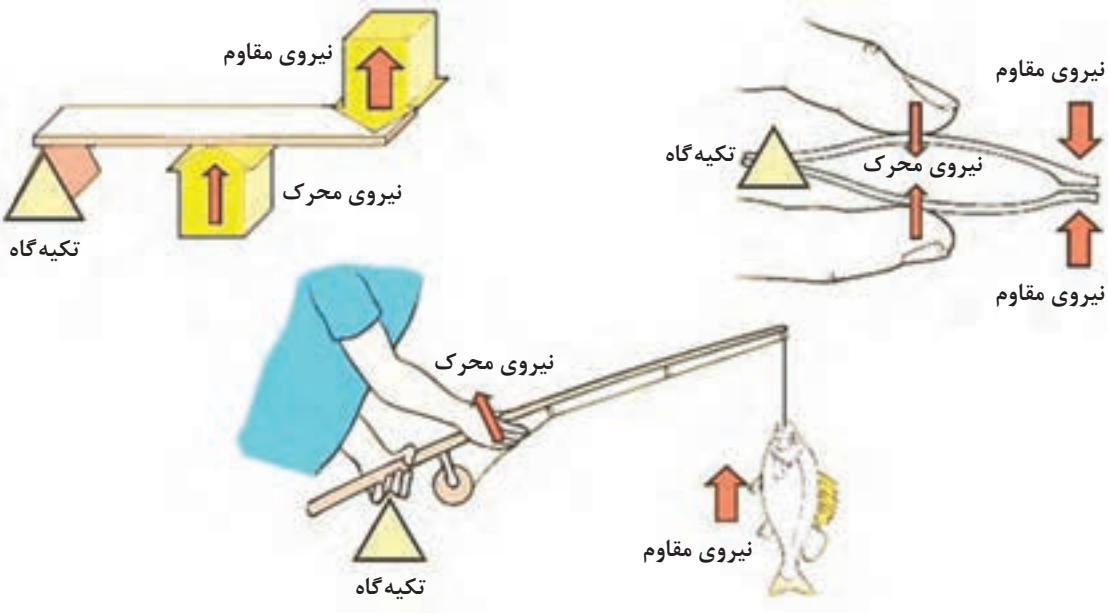
شکل ۱۹ـ انواع اهرم نوع اول

اهرم نوع دوم: در اهرم نوع دوم، نیروی مقاوم بین تکیه‌گاه و نیروی محرک قرار دارد. در این حالت، بازوی محرک بزرگ‌تر از بازوی مقاوم است. اهرم نوع دوم باعث افزایش نیرو می‌شود. (شکل ۲۰)



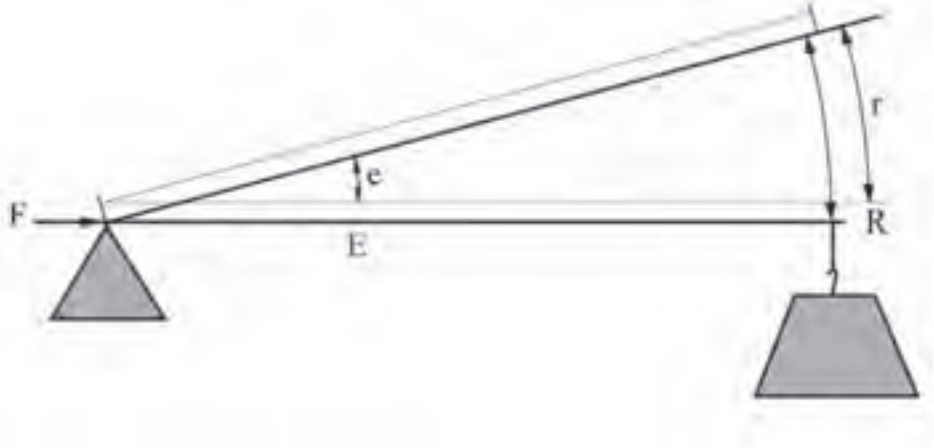
شکل ۲۰ـ انواع اهرم نوع دوم

اهرم نوع سوم: در اهرم نوع سوم، نیروی محرک بین تکیه‌گاه و نیروی مقاوم است. در این حالت، بازوی مقاوم بزرگ‌تر از بازوی محرک است. اهرم نوع سوم، سرعت و مسافت اثر نیرو را افزایش می‌دهد. (شکل ۲۱)



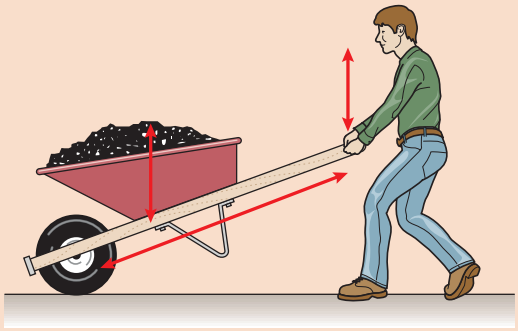
شکل ۲۱ــ انواع اهرم نوع سوم

در این نوع اهرم، سرعت حرکت بار زیاد است بنابراین نیروی کارگر باید بیشتر باشد. همان‌طور که در شکل روبه‌رو ملاحظه می‌شود نقطهٔ اتکا در محل نگه‌داشتن دسته قلاب ماهیگیری با دست چپ صیاد قرار دارد. نیروی مقاوم (بار) که ماهی صید شده است در انتهای اهرم است و نیروی کارگر که به‌وسیلهٔ دست راست صیاد وارد می‌شود بین نقطه اتکا و بار قرارگرفته است. همچنان که مشاهده می‌شود، نیروی محرک در فاصلهٔ نزدیک‌تری از تکیه‌گاه قرار دارد؛ پس باید مقدار آن از نیروی مقاوم بیشتر باشد. در شکل روبرو مشاهده می‌شود که همچنان که نیروی E فاصله e را طی می‌کند. ملاحظه می‌شود نیروی مقاوم (بار) R فاصله r را می‌پیماید. مقدار r بزرگ‌تر از e است پس سرعت حرکت R باید بزرگ‌تر از E باشد چون R نسبت به E در مدت‌زمان یکسان، مسافت بیشتری را طی می‌کند. این پدیده عیناً در مورد صیاد و ماهی به وجود می‌آید.



مثال

اگر نیروی ملوان بر دسته‌های فرغون برابر ۲۲۰ نیوتون و در فاصلهٔ ۱/۲متری از نقطهٔ اتکا (چرخ فرغون) باشد و فاصلهٔ مرکز ثقل نیروی بار از نقطهٔ اتکا برابر ۰/۳ متر باشد، مقدار نیروی مقاوم (بار) که به‌وسیلهٔ ملوان قابل بلند کردن است چقدر است؟



$E \times L_E = R \times L_R$

$۲۲۰ \times ۱/۲ = R \times ۰/۳$

$R = ۸۸۰N$

چنانچه فاصلهٔ مرکز ثقل بار از چرخ فرغون ۰٫۴متر شود، اندازهٔ نیروی کارگر چقدر باید باشد؟

$E \times L_E = R \times L_R$

$E \times ۱/۲ = ۸۸۰ \times ۰/۴$

$E = ۲۹۳/۳N$

بنابراین، در صورت افزایش فاصلهٔ بار از نقطهٔ اتکا، نیروی کارگر نیز باید افزایش یابد.

بهرهٔ مکانیکی

ملاحظه شد که در اهرم‌های نوع اول و دوم مقدار بار، بزرگ‌تر از مقدار نیروی کارگر می‌شود. افزایش نیروها در اهرم نوع اول و دوم به بهرهٔ مکانیکی مثبت موسوم است. اهرم نوع سوم بهرهٔ مکانیکی مثبت ندارد ولی می‌تواند سرعت یا مسافت جابه‌جایی را افزایش دهد. در اهرم نوع سوم نیروی کارگر بیشتر از نیروی مقاوم (بار) است. بهره مکانیکی به‌صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{بهره مکانیکی} = \frac{\text{بار}}{\text{نیروی کارگر}} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{بازوی محرک}}{\text{بازوی مقاوم}} \rightarrow ME = \frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R}$$

مثال

در مثال قبل بهره مکانیکی را حساب کنید.

قسمت ۱: $ME = \frac{R}{E} = \frac{۸۸۰}{۲۲۰} = ۴$

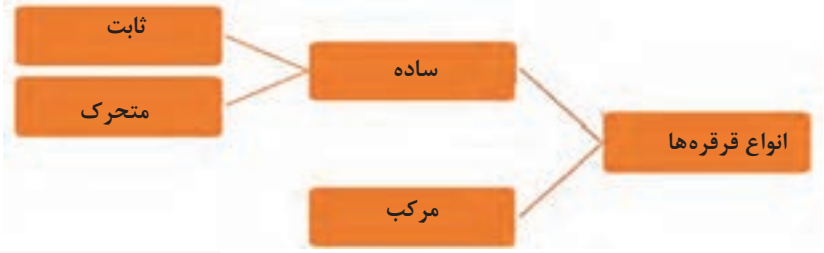
قسمت ۲: $ME = \frac{R}{E} = \frac{۸۸۰}{۲۲۹/۳} = ۳$

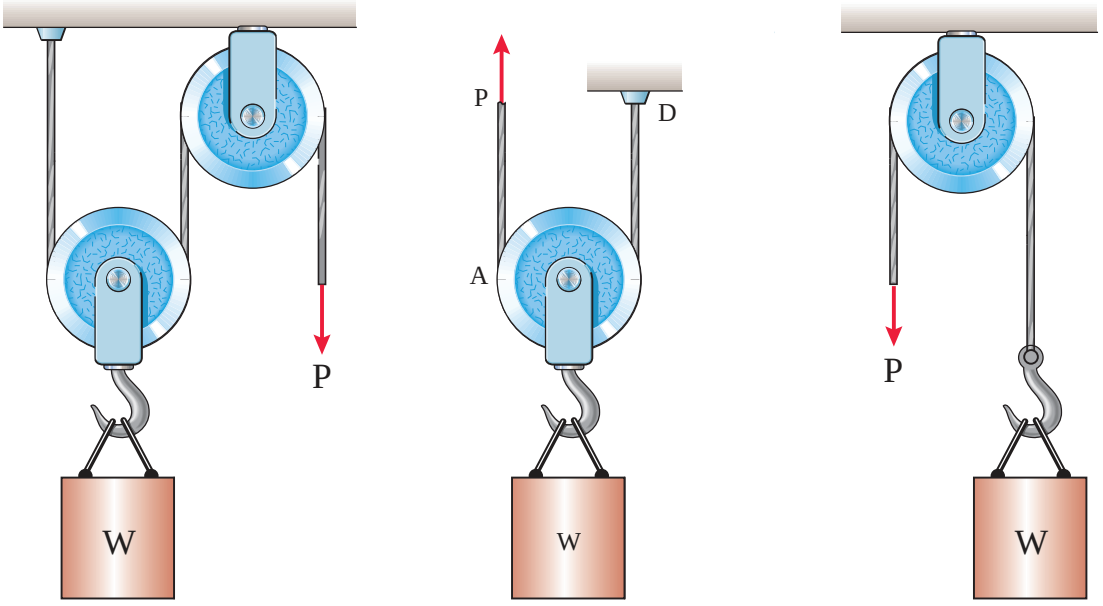
قرقره و طناب

قرقره، چرخی است که به دور یک محور می‌چرخد و عموماً شیاری دارد که ریسمان در آن جای می‌گیرد. شکل (۲۲) نحوه استفاده از قرقره برای کشیدن اجسام را نشان می‌دهد.

شکل ۲۲ـ استفاده از ترکیب چندین قرقره برای کشیدن اجسام

قرقره‌ها را معمولاً به دودسته تقسیم می‌کنند: (شکل ۲۳)





ب ـ قرقرهٔ مرکب

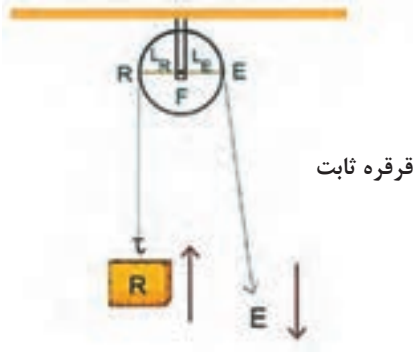
ب ـ قرقرهٔ متحرک

الف ـ قرقرهٔ ثابت

شکل ۲۳ـ انواع قرقره

قرقره ثابت: به قرقره‌ای که قلاب آن درجایی ثابت شده و قرقره حول محور خود می‌چرخد، قرقره ثابت می‌گوییم (شکل ۲۴). بهره مکانیکی این قرقره همواره برابر با یک است و از راه تغییر جهت نیرو به ما کمک می‌کند. این قرقره نظیر اهرم نوع اول حالت اول است.

$$ME = \frac{L_E}{L_R} = ۱ \qquad \text{یا} \qquad ME = \frac{R}{E} = ۱$$

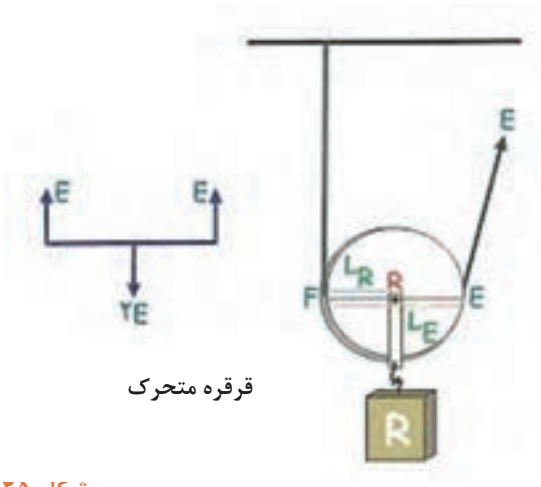


قرقره ثابت

شکل ۲۴ـ قرقره ثابت

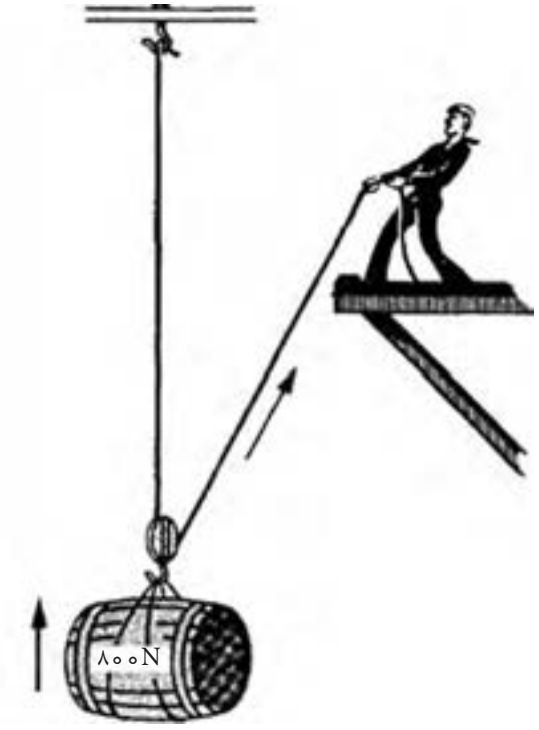
قرقرهٔ متحرک: این قرقره آزادانه روی ریسمان (طناب) جابه‌جا می‌شود و از راه افزایش نیرو به ما کمک می‌کند. بهرهٔ مکانیکی کامل این قرقره برابر با ۲ است. مطابق شکل (۲۵) بازوی محرک (قطر چرخ) همواره دو برابر بازوی مقاوم (شعاع چرخ) است. قرقره متحرک مانند اهرم نوع دوم است، با این تفاوت که بهرهٔ مکانیکی اهرم (با تغییر دادن محل نیروی مقاوم) قابل‌تغییر است درحالی‌که بهرهٔ مکانیکی این قرقره تغییر نمی‌کند و برابر با ۲ است.

$$ME = \frac{L_E}{L_R} = \frac{D}{r} = ۲ \qquad \text{یا} \qquad ME = \frac{R}{E} = \frac{۲E}{E} = ۲$$



قرقره متحرک

شکل ۲۵ـ قرقره متحرک



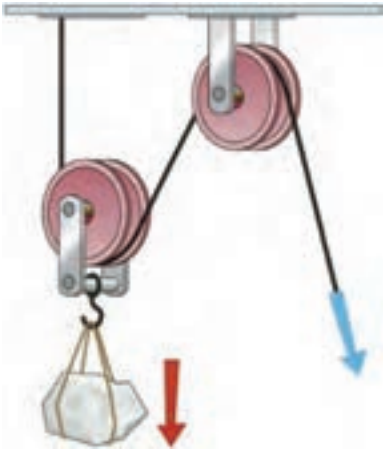
در شکل روبه‌رو یک انتهای طناب از سقف آویزان است و انتهای دیگرش در دست فرد است. بشکه‌ای به وزن ۸۰۰ نیوتون به‌وسیلهٔ قرقره و طناب تحمل می‌شود. با کشیدن طناب، قرقره و بشکه باهم بالا می‌آیند. با توجه به اینکه وزن بشکه ۸۰۰ نیوتون است، هر نیمه از طناب به همراه قرقره ۴۰۰ نیوتون از بار را تحمل می‌کند.

بهرهٔ مکانیکی برابر است با:

$$ME = \frac{R}{E} = \frac{۸۰۰}{۴۰۰} = ۲$$

دستگاه قرقره مرکب

برای دستیابی به بهره‌های مکانیکی بالاتری می‌توان دو یا چند قرقره ثابت و متحرک را باهم ترکیب کرد و یک قرقره مرکب به وجود آورد. (شکل ۲۶)



شکل۲۶ـ ترکیب دو قرقره برای افزایش بهره مکانیکی

در این حالت، قرقره‌ها را به شکل‌های مختلفی با یکدیگر ترکیب می‌کنیم. برای به دست آوردن بهره مکانیکی کامل این دستگاه‌ها، به‌صورت زیر عمل می‌شود:

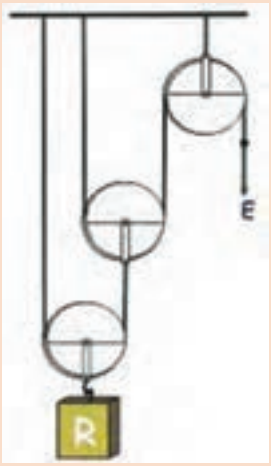
۱ ابتدا نیروی کشش نخ (T) را که همان نیروی موردنیاز برای جابه‌جایی بار (E) می‌باشد، با استفاده از قوانین تعادل مشخص می‌کنیم.

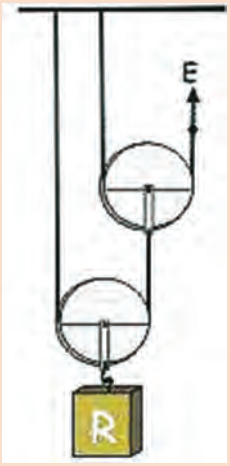
۲ پس با استفاده از فرمول، بهرهٔ مکانیکی را به‌دست می‌آوریم.

$$\text{بهرهٔ مکانیکی} = \frac{\text{بار}}{\text{نیروی کارگر}}$$

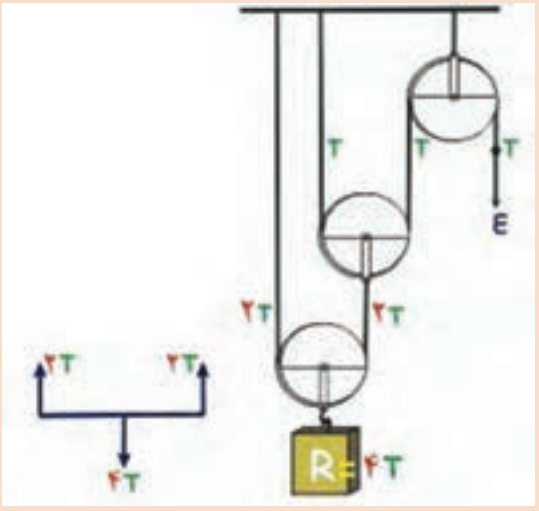
مثال

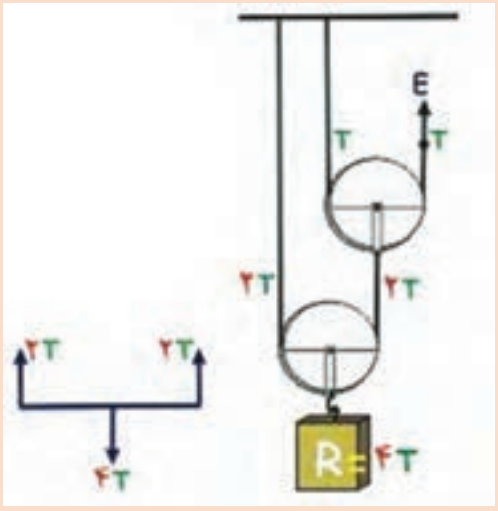
در دو دستگاه زیر مقدار بهره مکانیکی را به دست آورید.





برای به دست آوردن بهرهٔ مکانیکی باید رابطهٔ بین نیروی E را با مقدار بار R به دست آوریم. اگر مقدار نیروی E را برابر مقدار T بگیریم پس داریم:





درنتیجه بهرهٔ مکانیکی برای دو دستگاه بالا برابر است با:

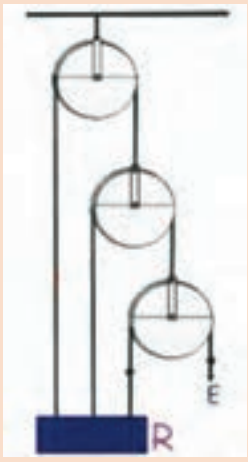
$$ME = \frac{R}{E} = \frac{۴T}{T} = ۴$$

توجه

وجود قرقرهٔ ثابت در بهرهٔ مکانیکی کامل دستگاه بالا هیچ تأثیری ندارد ولی چون کشیدن ریسمان به سمت پایین آسان‌تر از کشیدن به سمت بالاست، گاهی برای آسان‌تر شدن کار از قرقره ثابت استفاده می‌شود.

تمرین

در دستگاه روبه‌رو بهرهٔ مکانیکی را به دست آورید.



اکنون آنچه را که در مورد قرقره و طناب آموختیم به‌طور خلاصه در ادامه می‌آوریم تا به‌طور عملی، در کشتی قابل استفاده باشد.

- تنها مزیت قرقرهٔ ثابت تک شیار، تغییر در جهت کشیدن طناب است و بهرهٔ مکانیکی آن برابر عدد یک است.
- در قرقرهٔ متحرک تک شیار، بهرهٔ مکانیکی برابر ۲ است.
- مجموعهٔ قرقره و طناب را می‌توان به‌صورت‌های مختلفی با ترکیب قرقره‌های تک شیاره، دو شیاره و سه شیاره و بهره مکانیکی بزرگ‌تر استفاده نمود.
- تعداد بخش‌های طناب که از یک قرقرهٔ متحرک می‌گذرند مشخص‌کنندهٔ تقریبی بهرهٔ مکانیکی آن هستند.
- اگر انتهای طناب به یک قرقرهٔ متحرک محکم شود بهرهٔ مکانیکی به‌اندازهٔ عدد یک افزایش می‌یابد.

راندمان ماشین

تاکنون آموختیم که مجموعهٔ قرقره و طناب درواقع نوعی ماشین بالابر است. ماشین بالابر، مکانیزمی برای جابه‌جایی بار در امتداد قائم و امتداد افقی و یا هر دو است.

بازده یا راندمان ماشین‌های ساده از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\text{بازده یا راندمان ماشین} = \frac{\text{انرژی یا کار مفید گرفته شده از ماشین}}{\text{کل انرژی داده شده به ماشین}} \times ۱۰۰$$

طبق قانون پایستگی انرژی، انرژی از بین نمی‌رود بلکه از نوعی به نوع دیگر و از صورتی به‌صورت دیگر تبدیل می‌شود. بنابراین مقدار انرژی داده‌شده به یک ماشین همیشه با مقدار انرژی گرفته‌شده از آن برابر است:

(انرژی گرفته‌شده از ماشین = انرژی داده‌شده به ماشین)

توجه داشته باشید که مقدار انرژی داده‌شده به ماشین، صرف انجام کار مورد نظر ما می‌شود که به آن کار مفید می‌گوییم. بقیهٔ انرژی به‌صورت‌های مختلف مثلاً به‌صورت گرمای ناشی از اصطکاک هدر می‌رود. که به آن «انرژی تلف‌شده» یا «کار غیرمفید» می‌گویند.

پس درنتیجه:

(کار مفید + کار غیرمفید = کل کار انجام‌شده)

روابط موجود برای کار ورودی و کار مفید به شرح زیر است:

$E \times A$ = تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر × نیروی کارگر = کار ورودی یا کل کار

$R \times a$ = تغییر مکان بار × نیروی بار = کار مفید

نسبت «تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر» به «تغییر مکان بار»، به نسبتِ سرعت یا به اختصار V.R موسوم است. اندازهٔ نسبت سرعت برای هر ماشین خاص، ثابت است و بستگی به طراحی آن ماشین دارد. نسبت سرعت، با انجام آزمایش به دست می‌آید اما می‌توان رابطه زیر را برای آن معرفی کرد.

$$\text{نسبت سرعت (v.r)} = \frac{\text{تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر}}{\text{تغییر مکان بار}} = \frac{A}{a}$$

همان‌طور که در بالا اشاره شد، بازده ماشین، با نسبت کار مفید انجام‌شده به کار ورودی داده‌شده به ماشین برابر است.

درنتیجه داریم:

$$\text{بازده} = (\text{بهرهٔ مکانیکی}) \times \left(\frac{۱}{\text{نسبت سرعت}}\right)_{(v.r)} \rightarrow \text{نسبت سرعت} = \frac{\text{کار مفید}}{\text{کار ورودی}} = \frac{R \times a}{E \times A} = \left(\frac{R}{E}\right) \times \left(\frac{a}{A}\right) \rightarrow$$

$$\text{بازده ماشین} = \frac{M.E}{v.r} \times ۱۰۰$$

چنان‌چه اصطکاک نادیده گرفته شود یا وجود نداشته باشد، کار مفید باکار ورودی برابر خواهد بود و درنتیجه، راندمان آن ماشین صددرصد یا مساوی عدد یک است.

مثال

مجموعه قرقره و طناب مطابق شکل زیر باری به وزن ۴۰۵ نیوتون را به فاصله یک متر بالا می‌کشد. اگر نیروی کارگر مساوی ۹۰ نیوتون باشد راندمان مجموعه چقدر است؟

حل:

با توجه به اینکه بار به‌وسیله پنج بخش از طناب تحمل می‌شود؛ بنابراین فاصلهٔ طی شده به‌وسیلهٔ نیروی کارگر برابر ۵ متر و فاصله طی شده به‌وسیلهٔ بار مساوی یک متر است.

$$\text{v. r. (نسبت سرعت)} = \frac{۵}{۱} = ۵$$

$$\text{(M. E) بهرهٔ مکانیکی} = \frac{۴۰۵}{۹۰} = ۴/۵$$

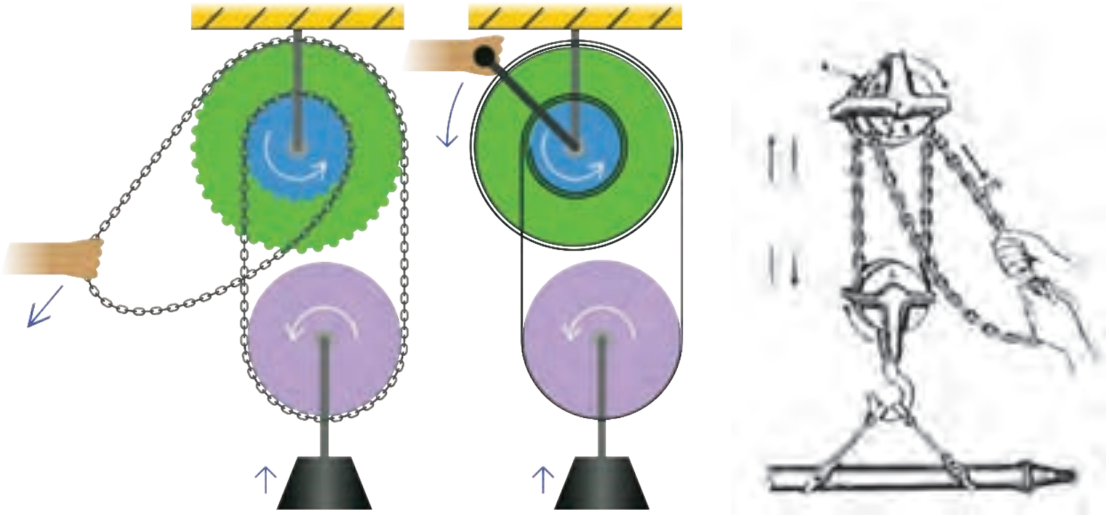
$$\text{راندمان} = \frac{M.E.}{v.r.} \times ۱۰۰$$

$$\text{راندمان} = \frac{۴/۵}{۵} \times ۱۰۰$$

$$\text{راندمان} = ۹۰٪$$

قرقره زنجیری

قرقرهٔ زنجیری که قرقرهٔ اختلافی نیز نامیده می‌شود معمولاً از سقف موتورخانهٔ کشتی و یا کارگاه ساحلی به‌وسیلهٔ روروک آویزان است و برای جابه‌جایی عمودی و افقی اجسام و بارهای سنگین استفاده می‌شود. قرقرهٔ مزبور در شکل (۲۷) نشان داده شده است. ماشین شامل دو قرقرهٔ متحدالمرکز به‌عنوان قرقرهٔ ثابت و یک قرقرهٔ تک شیارهٔ متحرک است. هر دو قرقرهٔ فوقانی هم‌زمان باهم می‌چرخند.



شکل ۲۷ـ قرقره زنجیری

وقتی نیروی کارگر بر زنجیر وارد می‌شود یک‌سوی قرقرهٔ متحرک به‌طرف قرقرهٔ بزرگ کشیده می‌شود ولی سوی دیگر آن با چرخیدن قرقرهٔ کوچک پایین می‌آید. درنتیجه، جابه‌جایی قرقره رو به بالا خواهد بود.
اگر D و d به ترتیب قطر قرقرهٔ بزرگ و قرقرهٔ کوچک باشند، پس با یک دور چرخش کامل قرقرهٔ ثابت داریم:

$$\text{تغییر مکان بار} = \frac{(\pi D - \pi d)}{۲}$$

$$\text{نسبت سرعت (v.r.)} = \frac{\text{تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر}}{\text{تغییر مکان بار}}$$

$$\text{نسبت سرعت (v.r.)} = \frac{\pi D}{\frac{۱}{۲}(\pi D - \pi d)}$$

$$(\text{v.r.}) = \frac{۲\pi D}{(\pi D - \pi d)} = \frac{۲\pi(۲R)}{۲\pi R - ۲\pi r} = \frac{۲R}{R - r}$$

رابطه بالا نسبت سرعت را در یک قرقرهٔ زنجیری نشان می‌دهد. در این رابطه، R شعاع قرقرهٔ بزرگ و r شعاع قرقرهٔ کوچک است.

مثال

قطر قرقره‌های بزرگ و کوچک در یک قرقرهٔ زنجیری به ترتیب ۱۲۰ و ۱۱۰ میلی‌متر است. برای بالا بردن باری به مقدار ۲/۴ کیلو نیوتون، نیروی کارگری به مقدار ۲۵۰ نیوتون لازم است. نسبت سرعت، بهرهٔ مکانیکی و راندمان را تعیین کنید. همچنین مقدار نیروی کارگر را که برای جبران اصطکاک مصرف می‌شود، محاسبه کنید.

$$v.r. = \frac{۲D}{D-d} = \frac{۲\times ۱۲۰}{۱۲۰-۱۱۰} = ۲۴$$

$$M.A. = \frac{R}{E} = \frac{۲۴۰۰}{۲۵۰} = ۹/۶$$

$$\text{راندمان} = \frac{M.A.}{v.r.} = \frac{۹/۶}{۲۴} = ۰/۴ \quad \text{یا} \quad ۴۰٪$$

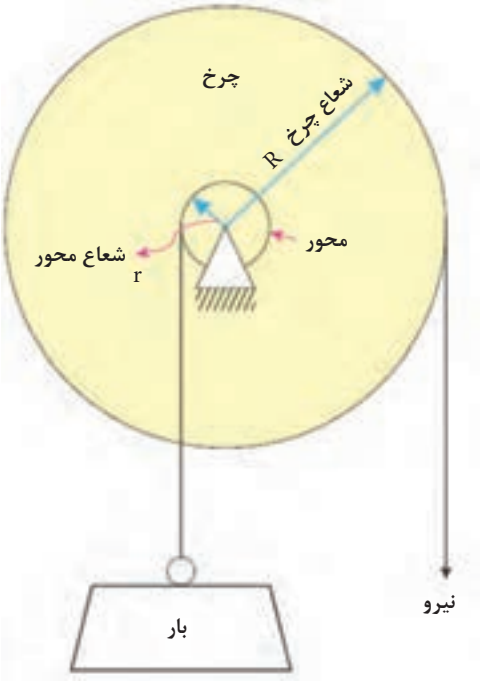
$$\text{نیروی کارگر مطلوب} = \frac{R}{v.r.} = \frac{۲۴۰۰}{۲۴} = ۱۰۰ \text{ نیوتون}$$

نیروی کارگر مطلوب - نیروی کارگر حقیقی = نیروی کارگر مصرف شده برای اصطکاک

=۲۵۰-۱۰۰=۱۵۰ نیوتون

چرخ و محور

این ماشین شامل یک قرقرهٔ تک شیاره به همراه یک محور است. یک سر طناب یا سیمی که قلاب بار از آن آویزان می‌شود، به محور متصل و محکم شده و به دور آن می‌پیچد. یک سر دیگر طناب یا سیمی که نیروی کارگر آن را می‌کشد، به دور قرقره می‌پیچد. این ماشین در شکل (۲۸) نشان داده‌شده است.



شکل ۲۸ـ چرخ و محور

طناب بار و طناب نیروی کارگر در دو جهت مخالف به دور محور و قرقره پیچیده می‌شوند. با اعمال نیروی کارگر قرقره می‌چرخد و طناب به‌طرف کارگر کشیده می‌شود. هم‌زمان طناب بار در جهت مخالف به دور محور می‌پیچد و بار بالا می‌رود.

درصورتی‌که D و R به ترتیب قطر و شعاع قرقره و d و r قطر و شعاع محور باشند و با فرض اینکه نیروی کارگر، قرقره و محور را یک دور کامل بچرخاند می‌توان نوشت:

$$\text{نسبت سرعت (r.v.)} = \frac{\text{تغییر مکان به‌وسیله نیروی کارگر}}{\text{تغییر مکان بار}} = \frac{\text{طول محیط قرقره}}{\text{طول محیط محور}}$$

از نسبت بالا می‌توان نتیجه گرفت:

$$(\text{v.r.}) = \frac{\pi D}{\pi d} = \frac{D}{d} = \frac{R}{r}$$

دقت کنید درصورتی‌که ضخامت طناب در مسئله ذکر شود باید ضخامت آن را به قطر مؤثر افزود.

البته ممکن است به‌جای طناب کارگر از یک دسته به‌عنوان اهرم استفاده شود که این سامانه در چر خ چاه دیده می‌شود. شکل مثال بعد نیز نوعی ماشین چرخ و محور (چرخ چاه) را نشان می‌دهد که نیروی کارگر به‌جای وارد شدن به طناب به یک دسته وارد می‌شود.

مثال

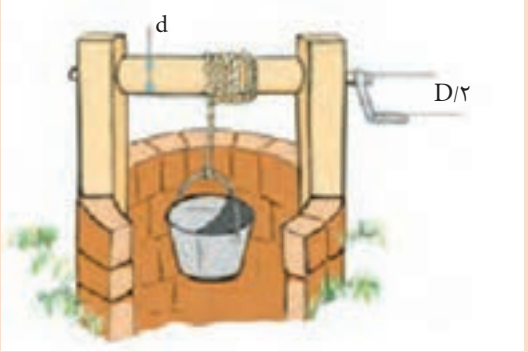
در یک ماشین چرخ و محور، قطر قرقره و محور به ترتیب ۲۲۰ و ۴۰ میلی‌متر است. قطر طناب‌های بار و نیروی کارگر به ترتیب ۱۰ و ۵ میلی‌متر است. درصورتی‌که راندمان ماشین ۰/۹۲ باشد مقدار نیروی کارگر برای بالا بردن باری به مقدار ۴۰۰ نیوتون را محاسبه کنید.

قطر طناب نیروی کارگر + قطر قرقره = قطر مؤثر قرقره

میلی‌متر ۵۰=۱۰+۴۰=

قطر طناب بار + قطر محور = قطر مؤثر محور

میلی‌متر ۵۰=۱۰+۴۰=



$$\text{نسبت سرعت (v.r.)} = \frac{D}{d} = \frac{۲۲۵}{۵۰} = ۴/۵$$

$$\text{بهره مکانیکی (M.A.)} = \text{راندمان ماشین} \times \text{v.r.}$$

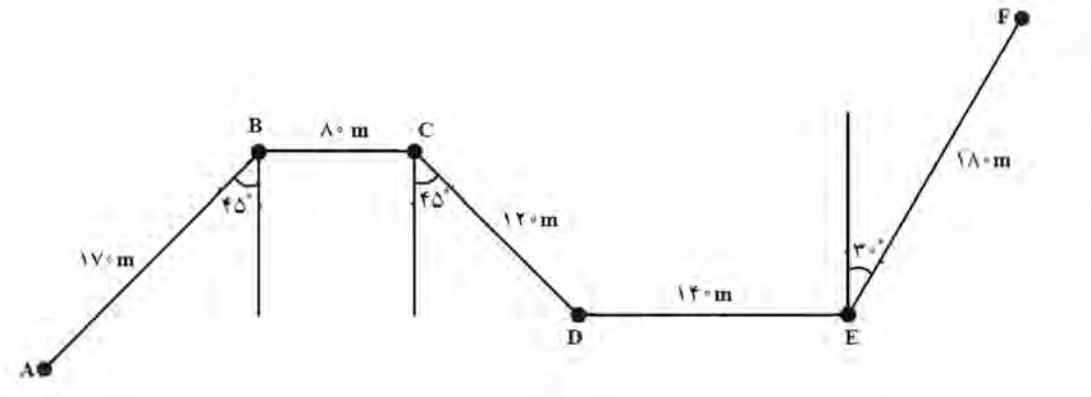
$$= ۰/۹۲ \times ۴/۵$$

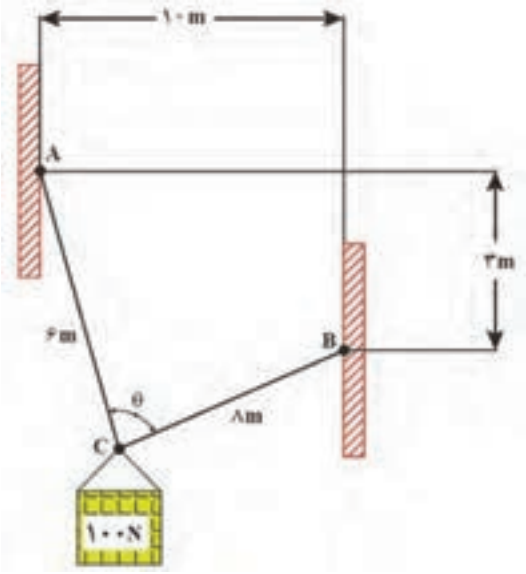
$$= ۴/۱۴$$

$$\text{نیروی کارگر} = E = \frac{R}{M.E} = \frac{۴۰۰N}{۴/۱۴} = ۹۶/۶۱N$$

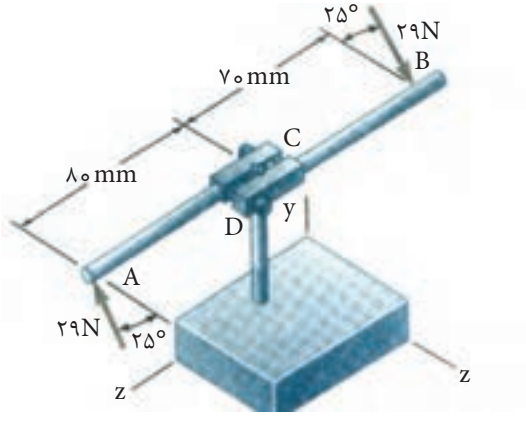
ارزشیابی

۱ـ یک قایق مسیر زیگزاگ را از نقطه A تا F را می‌پیمایید با توجه به جمع برداری، فاصله مستقیم بین دو نقطه A تا D و A تا F را رسم کرده و اندازهٔ آن را تعیین کنید.



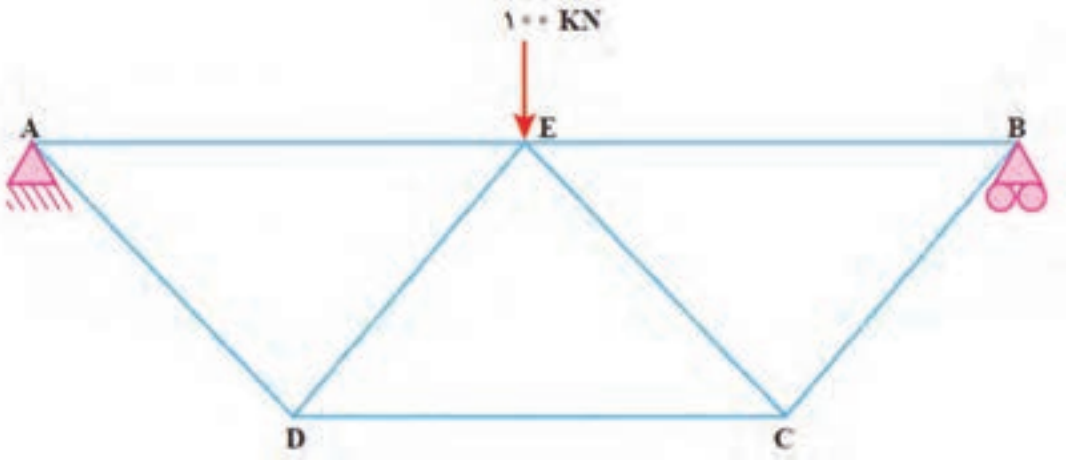


۲ـ وزنه ۱۰۰ N، مطابق شکل زیر از کابل‌های AC و BC آویزان شده است. مقدار نیرو را در این دو طناب به‌دست آورید.



۳ـ مکانیکی با اعمال نیروی افقی نشان داده شده بر دسته قلاویز، در حال قلاویز کردن سوراخی است. برآیند نیروها و گشتاور اعمالی به قلاویز چه مقدار خواهد بود:

۴ـ در سازهٔ شکل زیر کلیه عضوهای مورّب دارای زاویه ۴۵ درجه با عضو مجاورخود هستند. باری به اندازهٔ ۱۰۰KN در وسط سازه قرار دارد. نیروهای موجود در عضوها را رسم و اندازه‌گیری کنید و اندازهٔ نیروها و ماهیت آنها (کششی یا فشاری) را در یک جدول بنویسید.

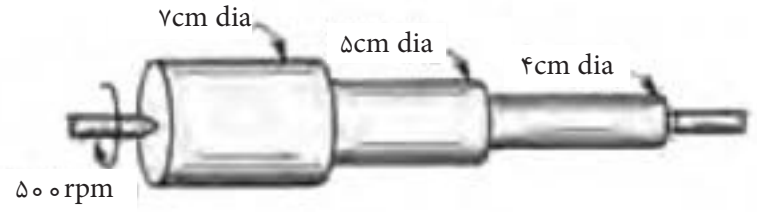


۵ـ میله پله‌دار شکل زیر با سرعت ۶۰۰RPM در یک دستگاه تراش می‌چرخد. تندی خطی یک نقطه را برحسب متر بر ثانیه در موارد زیر محاسبه کنید:

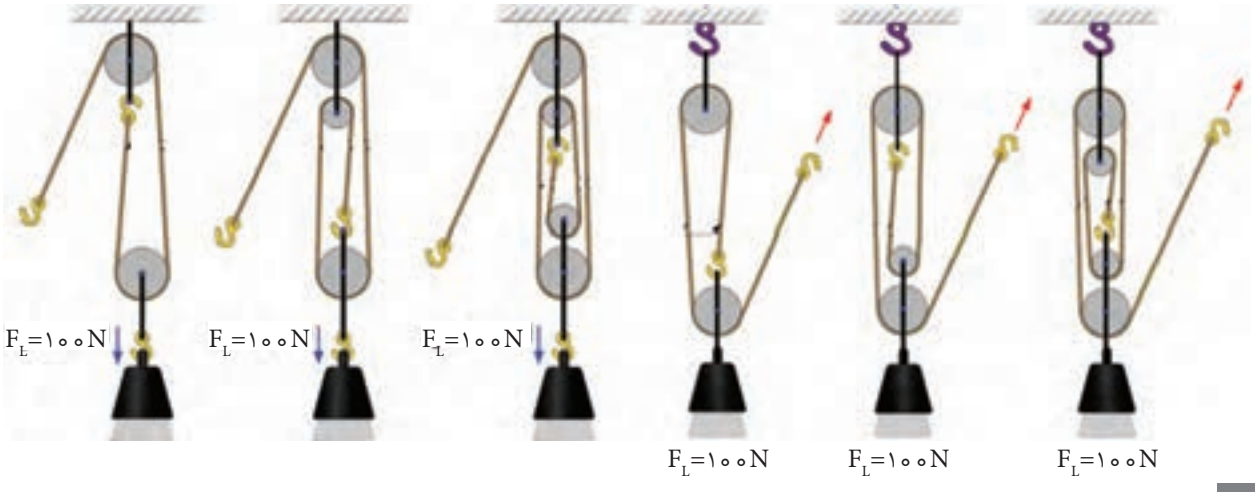
۱ـ نقطه‌ای روی قسمتی که قطر آن ۷ سانتی‌متر است.

۲ـ نقطه‌ای روی قسمتی که قطر آن ۵ سانتی‌متر است.

۳ـ نقطه‌ای روی قسمتی که قطر آن ۴ سانتی‌متر است.



۶ـ ترکیب‌های مختلفی از انواع قرقره در شکل زیر نشان داده شده است، بهرهٔ مکانیکی آنها را محاسبه کنید.



۷ـ در یک ماشین بالابر نوع چرخ و محور دوپله‌ای از دسته اهرم به طول ۲۴۰ میلی‌متر به جای قرقره کارگر استفاده می‌شود. قطر محورهای دوپله‌ای به ترتیب ۱۱۰ و ۸۰ میلی‌متر است. برای بالا بردن باری به مقدار ۱/۱۲ کیلو نیوتون به نیروی کارگر معادل ۸۰ نیوتون نیاز است. نسبت تندی، بهره مکانیکی و راندمان ماشین را تعیین کنید.

۸ـ قطر قرقره کوچک یک مجموعه قرقره زنجیری (اختلافی) ۱۳۰ میلی‌متر است. برای بالا بردن باری به مقدار ۵۶۰ نیوتون نیروی کارگر به مقدار ۵۰ نیوتون لازم است. در صورتی که راندمان ماشین ۴۰ درصد باشد. قطر قرقره بزرگ چقدر است؟

ارزشیابی پودمان استاتیک و دینامیک کاربردی

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
استاتیک و دینامیک کاربردی	توانایی تحلیل نیروها در مسائل استاتیکی و دینامیکی	محاسبهٔ نیروها در اجزای مختلف در حالت استاتیکی و دینامیکی و محاسبهٔ نیروها در ماشین‌های مکانیکی	بالاتر از حد انتظار	۱ـ تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزاء خرپا ۲ـ تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی توانایی تحلیل همه شاخص‌ها را داشته باشد	۳
			در حد انتظار	۱ـتحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزاء خرپا ۲ـ تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی توانایی تحلیل ۲مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
	توانایی تحلیل نیروها در ماشین‌های ساده مکانیکی و به دست آوردن راندمان در این ماشین‌ها		پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزاء خرپا ۲ ـتحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی توانایی تحلیل ۱مورد از شاخص‌ها را داشته باشد	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

شرح کار: ۱ـ تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزای خرپا ۲ـ تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی
استاندارد عملکرد: در این پودمان انتظار داریم هنرجویان بتوانند نیروهای ایجادشده در خرپا و ماشین‌های سادهٔ مکانیکی را محاسبه کرده و راندمان را در این ماشین‌ها به‌دست آورند **شاخص‌ها:** ۱ـ توانایی تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزای خرپا ۲ـ توانایی تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ توانایی تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی
شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات: **شرایط:** کلاس مجهز به پرده نگار **ابزار و تجهیزات:** یک دستگاه رایانه و یک دستگاه پرده نگار

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزای خرپا		
۲	تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی		
۳	تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی		
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ اخلاق حرفه‌ای	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.