

دانشگاه پیام نور

استاتیک

(رشته مهندسی مکانیک)

دکتر امید محمدپور دکتر رضا رشیدی میبیدی

دکتر عبدالله اسکندری ثانی

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاوردهای انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام(ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

نه	پیشگفتار
۱	فصل اول. کلیات
۱	مقدمه
۳	۱-۱ دستگاه آحاد
۴	۲-۱ تبدیل دستگاه‌های آحاد
۵	خلاصه فصل
۵	مسائل نمونه
۷	فصل دوم. تعادل ذرات
۷	مقدمه
۸	۱-۲ بردارها
۸	۲-۱-۱ انواع بردارها
۹	۲-۱-۲ جمع بردارها
۱۰	۲-۲ نیروهای وارد بر یک ذره
۱۳	۳-۲ تعادل ذره در صفحه
۱۵	۴-۲ نیروها در فضا
۱۷	۵-۲ تعادل ذره در فضا
۱۸	خلاصه فصل
۱۸	مسائل نمونه
۲۹	خودآزمایی تشریحی
۴۹	فصل سوم. اجسام صلب: سیستم نیروهای هم‌ارز
۴۹	مقدمه
۵۰	۱-۳ ضرب بردارها
۵۰	۳-۱-۱ ضرب داخلی (عددی) دو بردار

۵۰	۳-۱-۲ ضرب خارجی (برداری) دو بردار
۵۲	۳-۱-۳ ضرب سه گانه مختلط سه بردار
۵۳	۳-۲ لنگر نیرو نسبت به یک نقطه
۵۵	۳-۳ لنگر نیرو نسبت به یک محور
۵۶	۳-۴ لنگر کوپل
۵۷	۳-۵ تبدیل نیروها به سیستم نیرو-کوپل هم ارز در نقطه ای دیگر
۵۹	۳-۶ تبدیل ساده تر سیستم نیروها
۶۱	خلاصه فصل
۶۲	مسائل نمونه
۶۹	خودآزمایی تشریحی
۸۹	فصل چهارم. تعادل اجسام صلب
۸۹	مقدمه
۹۰	۴-۱ نمودار جسم آزاد
۹۰	۴-۲ تعادل جسم صلب دو بعدی (صفحه ای)
۹۴	۴-۳ تعادل جسم صلب در فضا
۹۷	خلاصه فصل
۹۷	مسائل نمونه
۱۰۷	خودآزمایی تشریحی
۱۳۱	فصل پنجم. نیروهای توزیعی: مرکزوار و مرکز ثقل
۱۳۱	مقدمه
۱۳۲	۵-۱ تعیین مرکزوار خطوط، سطوح و احجام با استفاده از انتگرال گیری
۱۳۶	۵-۲ تعیین مرکزوار خطوط، سطوح و احجام با استفاده از جداول مرکزوارها
۱۳۹	۵-۲-۱ مرکزوار خطوط مرکب
۱۴۰	۵-۲-۲ مرکزوار سطوح مرکب
۱۴۱	۵-۲-۳ مرکزوار حجم های مرکب
۱۴۲	۵-۳ تعیین مرکز ثقل اجسام
۱۴۳	۵-۳-۱ بازهای گسترده وارد بر تیرها
۱۴۵	۵-۳-۲ بازهای وارد بر سطوح غوطه ور
۱۴۷	۵-۴ قضایای پاپوس - گلدینوس
۱۴۹	خلاصه فصل
۱۵۰	مسائل نمونه
۱۷۰	خودآزمایی تشریحی
۱۹۵	فصل ششم. تحلیل سازه ها
۱۹۵	مقدمه
۱۹۶	۶-۱ خرپاها

۱۹۸	۱-۱-۶ روش مفصل
۲۰۱	۲-۱-۶ روش مقاطع
۲۰۲	۲-۶ قاب‌ها و ماشین‌ها
۲۰۳	خلاصه فصل
۲۰۴	مسائل نمونه
۲۲۲	خودآزمایی تشریحی
۲۴۷	فصل هفتم. نیروها در تیرها و کابل‌ها
۲۴۷	مقدمه
۲۴۸	۱-۷ نیروهای داخلی در عضوها
۲۴۹	۲-۷ تیرها
۲۵۲	۳-۷ کابل‌ها
۲۵۲	۱-۳-۷ کابل‌های با بارگذاری متمرکز
۲۵۳	۲-۳-۷ کابل‌های با بارگذاری توزیعی (گسترده)
۲۵۹	خلاصه فصل
۲۶۰	مسائل نمونه
۲۷۲	خودآزمایی تشریحی
۲۸۷	فصل هشتم. اصطکاک
۲۸۷	مقدمه
۲۸۸	۱-۸ اصطکاک خشک
۲۹۳	۲-۸ اصطکاک سیال
۲۹۴	۳-۸ گوه‌ها
۲۹۴	۴-۸ پیچ‌های دنده مربعی
۲۹۷	۵-۸ تسمه‌های انعطاف‌پذیر
۲۹۹	خلاصه فصل
۳۰۰	مسائل نمونه
۳۱۰	خودآزمایی تشریحی
۳۳۱	فصل نهم. ممان‌های اینرسی
۳۳۱	مقدمه
۳۳۲	۱-۹ تعیین ممان دوم سطح با استفاده از انتگرال‌گیری
۳۳۵	۲-۹ تعیین ممان دوم سطح با استفاده از جداول
۳۳۹	۳-۹ قضیه محوره‌های موازی
۳۴۰	۴-۹ ممان‌های دوم سطوح مرکب
۳۴۱	۵-۹ حاصل ضرب اینرسی
۳۴۳	۶-۹ محوره‌های اصلی و ممان‌های اینرسی اصلی
۳۴۶	۷-۹ ممان‌های اینرسی جرم

۳۴۹	۸-۹ ممان‌های اینرسی اجسام مرکب
۳۵۲	۹-۹ ممان‌های اینرسی ورق‌های نازک همگن
۳۵۳	خلاصه فصل
۳۵۴	مسائل نمونه
۳۷۳	خودآزمایی تشریحی
۳۹۹	منابع

تقدیم به
پدرم که یاد او، بولاره در خاطر می ماند
مادرم که محبتش بی دریغ است
همسر و فرزندانم که آرامش زندگیم هستند

امید محمود

تقدیم به پدر، مادر، همسر و فرزندانم

رضاشیرینی میدی

تقدیم به مادر، کار و همسر، بانیانم که موفقیتهایم مرهون آنهاست

عبداله اسکندری ثانی

پیشگفتار

دانایی، سرآمد همه خوبی هاست و نادانی سرآمد همه بدی ها
پیامبر اکرم (ص) - بحار الأنوار
حمد و سپاس پروردگاری را سزااست که ما را به خدمتی ناچیز توفیق داد تا گامی
کوچک در راه ارتقای سطح علمی دانشجویان میهن عزیزمان برداریم. قطعاً این اثر با
عنایت حق و لطف استادانی که در گذشته بر ما منت نهاده و دلسوزانه در مسیر کسب
دانش ما را رهنمون بودند، نگاشته شده است و اگر کاستی و نقصی در آن هست،
متعلق به ماست.

هدف اصلی از نگارش این اثر تدوین اصول اساسی و کاربردی استاتیک است.
استاتیک در حیطه مکانیک کلاسیک، که در آن سرعت اجسام بسیار کمتر از سرعت نور
است، به بررسی تعادل ذرات، اجسام صلب و سازه ها می پردازد. در بسیاری از
رشته های گروه فنی و مهندسی، «استاتیک» را می توان سرآغاز ورود به حوزه دروس
مهندسی و عبور از دروس پایه دانست. به همین منظور یادگیری صحیح این درس از
اهمیت بالایی برخوردار است. لیکن با توجه به رویکرد نسبتاً جدید درس استاتیک و
کاربردی نمودن برخی از مباحث نظری فیزیک مکانیک، اغلب دانشجویان مشکلات

متعددی در درک مفاهیم این درس دارند. بر این اساس تلاش نمودیم تا حاصل تجارب چند ساله خود در تدریس این درس برای دانشگاه‌های مختلف را در کتابی به زبان ساده ارائه نماییم تا مطالب آن برای دانشجویان عزیز تسهیل گردد. به همین منظور با تاکید بر روش‌های حل مسائل به ذکر مثال‌ها و مسائل متنوع پرداختیم. در همین راستا از ذکر روابط غیرکاربردی خودداری شده و در عین حال بر روابط مهم تأکید بیشتری شده است. در نگارش کتاب از بهترین مراجع روز استفاده شده است. همچنین سعی شده است تا مثال‌های هر فصل به اندازه‌ای باشند تا در فهم اصول نظری کمک کنند و حتی‌الامکان کاربردی باشند.

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از زحمات اساتیدی که این اثر را داوری نموده و ما را در غنی شدن آن مساعدت نموده‌اند سپاسگزاری نماییم. به ویژه از استاد عزیزمان جناب آقای دکتر رضا احمدی که زحمت ویراستاری علمی این کتاب را برعهده داشته‌اند تشکر و قدردانی نماییم. همچنین از پرسنل محترم بخش تدوین و انتشارات دانشگاه پیام نور نیز، که عهده‌دار امور مربوط به چاپ و نشر کتاب بوده‌اند، صمیمانه متشکریم. اگر چه در تدوین این اثر کوشش فراوانی شده است، امیدواریم باز هم از اظهار لطف و محبت و نظرات سازنده اساتید و دانشجویان عزیز جهت رفع کاستی‌ها و افزایش کیفیت آن بهره‌مند باشیم.

که هستی را نمی‌بینم بقایی
کند در حق درویشان دعایی

غرض نقشی است کز ما باز ماند
مگر صاحب‌دلی روزی ز رحمت

راهنمای مطالعه کتاب

محتوای این کتاب مشتمل بر نه فصل است و برای دوره کارشناسی بسیاری از رشته‌های مهندسی قابل استفاده است. در فصل اول قوانین نیوتن بطور خلاصه معرفی شده و سپس دستگاه‌های آحاد مورد بررسی قرار گرفته اند. در فصل دوم پس از معرفی بردارها و خواص آنها، به تعادل ذرات در صفحه و فضا پرداخته شده است. در فصل سوم و چهارم نیروهای وارد بر اجسام صلب و شرایط تعادل این اجسام مورد بحث قرار گرفته است. فصل پنجم عمدتاً به بررسی مبانی ریاضی تعیین مرکز هندسی، مرکز جرم و مرکز ثقل اجسام پرداخته و نمونه‌هایی از نیروهای توزیعی بررسی شده است. موضوع تعادل انواع سازه‌ها شامل خرپاها، قابها و ماشین‌ها در فصل ششم بیان شده و مبحث تعیین نیروهای داخلی اجسام بویژه تیرها و کابل‌ها در فصل هفتم ارائه شده است. فصل هشتم به طور خلاصه به معرفی اصطکاک و انواع کاربردهای آن پرداخته است. در فصل نهم نیز تعیین ممان اینرسی سطح و جرم اجسام مورد بررسی قرار گرفته است.

برای مطالعه این کتاب به دانشجویان عزیز توصیه می‌شود در هر فصل ابتدا مطالب یک بخش را بطور کامل و دقیق مطالعه نموده و سپس سعی در حل مسائل نمونه آن بخش، که در پایان فصل آورده شده است، نمایند. در پایان پاسخ خود را با کتاب مطابقت داده و در صورت بروز اشکال مجدداً مفاهیم مربوط به آن مبحث را مطالعه نمایند. پس از پایان هر فصل نیز دانشجویان عزیز باید تلاش نمایند حداقل نیمی از سوالات خودآزمایی انتهای فصل را حل کنند. همچنین حداقل یک بار در ماه نیاز به مرور مطالب نیز وجود دارد.

هدف کلی کتاب

هدف اصلی از نگارش این اثر تدوین اصول اساسی و کاربردی استاتیک است. در واقع پس از مطالعه دقیق این کتاب و حل مسائل آن، باید دانشجو بتواند مسائل معین استاتیکی را تحلیل کرده و نیروهای خارجی وارد بر اجسام ایستا و همچنین نیروهای داخلی یک نقطه از جسم ساکن را محاسبه نماید.

فصل اول

کلیات

هدف کلی

هدف از این فصل، آموزش و یادآوری مفاهیم اولیه فیزیک، انواع دستگاه‌های آحاد و نحوه تبدیل واحدها است.

هدف‌های یادگیری

پس از این فصل خواننده باید قادر به درک مفاهیم زیر باشد:

- انواع دستگاه‌های آحاد،

- روش تبدیل دستگاه‌های آحاد.

مقدمه

علم مکانیک به عنوان علم توصیف و پیش‌بینی سکون یا حرکت اجسام تحت تأثیر نیروها تعریف شده و شامل سه زیرشاخه است: «مکانیک اجسام صلب»، «مکانیک اجسام انعطاف‌پذیر» و «مکانیک سیالات». مکانیک اجسام صلب به دو گروه استاتیکی (مربوط به اجسام ساکن) و دینامیک (مربوط به اجسام در حال حرکت) تقسیم می‌شود. در این شاخه از علم مکانیک، فرض می‌شود که اجسام کاملاً صلب‌اند. اگرچه سازه‌ها و ماشین‌های واقعی هیچ‌گاه کاملاً صلب نیستند و تحت بارگذاری‌های وارد شده تغییرشکل می‌دهند، لیکن این تغییر شکل‌ها معمولاً کوچک بوده و شرایط تعادل یا حرکت سازه را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند. البته هنگامی که مقاومت سازه در برابر

شکست یا تخریب مورد بررسی قرار می‌گیرد، این تغییر شکل‌ها دارای اهمیت خواهند بود که در حیطه مقاومت مصالح مطالعه شده که بخشی از شاخه مکانیک اجسام انعطاف‌پذیر به شمار می‌روند.

حوزه مکانیک سیالات به دو گروه سیالات تراکم‌ناپذیر و سیالات تراکم‌پذیر تقسیم می‌شود. به عنوان نمونه یک زیرشاخه مهم از حوزه سیالات تراکم‌ناپذیر، علم هیدرولیک است.

اگرچه تاریخچه علم مکانیک به زمان ارسطو^۱ (۳۲۲-۳۸۴ سال قبل از میلاد) و ارشمیدس^۲ (۲۱۲-۲۸۷ سال قبل از میلاد) برمی‌گردد، لیکن نیوتن^۳ (۱۶۴۲-۱۷۲۷) اصول اساسی آن را پایه‌ریزی نمود. این اصول بعداً توسط اویلر^۴، دالامبر^۵، همیلتون^۶ و لاگرانژ^۷ توسعه یافت. اگرچه اعتبار این یافته‌ها توسط نظریه نسبیت اینشتین^۸ (۱۹۰۵) برای اجسام با سرعت بسیار زیاد دچار خدشه شد، اما کماکان امروزه مکانیک نیوتنی به عنوان پایه علوم مهندسی به شمار می‌رود. قوانین اصلی نیوتن که برای ذرات بیان شد، به صورت زیر می‌باشند:

قانون اول: اگر براینده نیروهای وارد بر ذره‌ای صفر باشد، ذره حالت خود را حفظ می‌کند؛ یعنی اگر ساکن باشد ساکن خواهد ماند و اگر ابتدا در حرکت باشد، با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه خواهد داد.

قانون دوم: اگر نیروی وارد بر یک ذره صفر نباشد، ذره شتابی متناسب با نیرو و در جهت آن خواهد داشت. این قانون به صورت زیر قابل بیان است.

$$a = \frac{F}{m} \quad (1-1)$$

قانون سوم: نیروی عمل و عکس العمل بین دو جسم که با هم تماس دارند، اندازه برابر، خط اثر یکسان و جهت مخالف دارند.

1. Aristotle
2. Archimedes
3. Newton
4. Euler
5. d'Alembert
6. Hamilton
7. Lagrange
8. Einstein

۱-۱ دستگاه آحاد

آحاد طول، زمان، جرم و نیرو آحاد سینتیکی نامیده می‌شوند. با توجه به اینکه بین این آحاد معادله (۱-۱) برقرار است، فقط سه تا از این آحاد را می‌توان به‌طور مستقل انتخاب کرد که به آن‌ها آحاد اصلی می‌گویند. واحد چهارم که واحد فرعی نامیده می‌شود، از معادله (۱-۱) تعیین می‌شود.

از میان دستگاه‌های آحاد، دستگاه آحاد بین المللی (SI) و دستگاه آحاد انگلیسی (US) دارای بیشترین کاربرد هستند. در دستگاه SI ، طول، زمان و جرم آحاد اصلی‌اند و در دستگاه US ، آحاد طول، زمان و نیرو آحاد اصلی هستند. جدول ۱-۱ به معرفی چند کمیت مهم در این دو دستگاه پرداخته است.

جدول ۱-۱. کمیت‌های مهم در دو دستگاه آحاد SI و US

کمیت	واحد SI	واحد US
طول	متر (m)	فوت (ft)
زمان	ثانیه (s)	ثانیه (s)
جرم	کیلوگرم (kg)	اسلاگ ($slug$)
نیرو	نیوتن (N)	پاوند (lb)
مساحت	مترمربع (m^2)	فوت‌مربع (ft^2)
حجم	مترمکعب (m^3)	فوت‌مکعب (ft^3)
سرعت	متر بر ثانیه (m/s)	فوت بر ثانیه (ft/s)
شتاب	متر بر مجذور ثانیه (m/s^2)	فوت بر مجذور ثانیه (ft/s^2)
انرژی	ژول (J)	فوت-پاوند ($ft \cdot lb$)
توان	وات (W)	فوت-پاوند بر ثانیه ($ft \cdot lb/s$)
لنگر نیرو	نیوتن-متر ($N \cdot m$)	پاوند-فوت ($lb \cdot ft$)
فشار یا تنش	پاسکال (Pa)	پاوند بر فوت‌مربع (lb/ft^2)
ضربه	نیوتن-ثانیه ($N \cdot s$)	پاوند-ثانیه ($lb \cdot s$)
تکانه	نیوتن-ثانیه ($N \cdot s$)	پاوند-ثانیه ($lb \cdot s$)

مضارب واحدهای داده شده در جدول ۱-۱ ممکن است به وسیله پیشندهایی

که در جدول ۱-۲ بیان شده‌اند، ارائه شوند. به‌عنوان مثال

$$12.3 \text{ km} = 12.3 \times 10^3 \text{ m}$$

$$250 \text{ MPa} = 250 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$50 \mu s = 50 \times 10^{-6} s$$

جدول ۱-۲. پیشوندهای دستگاه *SI*

علامت اختصاری	پیشوند	عامل ضرب شونده	علامت اختصاری	پیشوند	عامل ضرب شونده
<i>d</i>	دسی	10^{-1}	T	ترا	10^{12}
<i>c</i>	سانتی	10^{-2}	<i>G</i>	گیگا	10^9
<i>m</i>	میلی	10^{-3}	<i>M</i>	مگا	10^6
μ	میکرو	10^{-6}	<i>k</i>	کیلو	10^3
<i>n</i>	نانو	10^{-9}	<i>h</i>	هکتو	10^2
<i>p</i>	پیکو	10^{-12}	<i>da</i>	دکا	10^1
<i>f</i>	فمتو	10^{-15}			
<i>a</i>	آتو	10^{-18}			

۲-۱ تبدیل دستگاه‌های آحاد

برای تبدیل مقدار عددی یک کمیت از یک دستگاه آحاد به دستگاه آحاد دیگر کافی است روابط تبدیل آحاد اصلی را که در جدول ۱-۳ آورده شده است، به خاطر سپرد.

جدول ۱-۳. تبدیل کمیت‌های اصلی در دو دستگاه آحاد *SI* و *US*

واحد معادل <i>SI</i>	واحد <i>US</i>	کمیت
0.3048 m	1 ft	طول
25.4 mm	1 in	طول
14.59 kg	1 slug	جرم
0.4536 kg	1 lb. m	جرم
4.448 N	1 lb	نیرو
1 s	1 s	زمان

کلیات ۵

تذکر: برای تبدیل واحدها، کافی است کسرهای واحد را طوری ضرب کنیم که پس از ساده‌سازی واحدها، به واحد مورد نظر برسیم. به عنوان نمونه کسرهای $\frac{14.59 \text{ kg}}{1 \text{ slug}}$ و $\frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lb}}$ ، $\frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}}$ ، $\frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}}$ کسرهای واحد هستند.

خلاصه فصل

در این فصل قوانین اول تا سوم نیوتن بیان شد و ارتباط کمیت‌های مورد نیاز در این قوانین توضیح داده شد. کمیت‌های اصلی که در درس استاتیک با آن‌ها سروکار خواهیم داشت (شامل جرم، طول و زمان) بر حسب واحدهای اصلی و فرعی بیان شده و نحوه تبدیل کمیت‌های فرعی دیگری که از این سه کمیت اصلی نشأت می‌گیرند در دو دستگاه بین‌المللی و انگلیسی تشریح شد.

مسائل نمونه

۱. ۱۰۰ ژول معادل چند فوت-پاوند است؟

حل:

$$100 \text{ J} = 100 \text{ N.m} \times \frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} = 73.76 \text{ ft.lb}$$

۲. ۱۰۰ نیوتن-ثانیه معادل چند پاوند-ثانیه است؟

حل:

$$100 \text{ N.s} = 100 \text{ N.s} \times \frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}} = 22.48 \text{ lb.s}$$

۳. ۵۰ پاوند اینچ معادل چند نیوتن متر است؟

حل:

$$50 \text{ lb.in} = 50 \text{ lb.in} \times \frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lb}} \times \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 5.64896 \text{ N.m}$$

۴. ۸۰ پاوند بر فوت مربع معادل چند پاسکال است؟

حل:

$$80 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} = 80 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \times \frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lb}} \times \frac{(1 \text{ ft})^2}{(0.3048 \text{ m})^2} = 3830.23 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 3830.23 \text{ Pa}$$

فصل دوم

تبادل ذرات

هدف کلی

هدف از این فصل، بررسی شرایط تبادل یک ذره در صفحه و فضا است.

هدف‌های یادگیری

پس از این فصل خواننده باید قادر به درک مفاهیم زیر باشد.

- بردارها و اعمال روی آنها.
- نیروهای وارد بر ذرات، تعیین برآیند و تجزیه آنها به مؤلفه‌ها.
- روابط تبادل ذره در صفحه.
- روابط تبادل ذره در فضا.

مقدمه

در این فصل به بررسی تبادل یک ذره تحت تأثیر نیروهای وارد بر آن پرداخته شده است. به همین منظور، نیروهای وارد بر ذره را با یک تک‌نیروی هم‌ارز، که به آن برآیند نیروها می‌گویند، جایگزین می‌کنیم. لازم به ذکر است، ذره در اینجا بیانگر یک جسم

کوچک نیست، بلکه جسمی است که اندازه و شکل آن تأثیری در حل مسئله ندارد و می‌توان فرض کرد که تمام نیروهای وارد بر جسم، بر یک نقطه از جسم اثر می‌گذارند.

۱-۲ بردارها

به‌طور کلی کمیت‌های فیزیکی را می‌توان به دو گروه اصلی طبقه‌بندی کرد^۱:

۱. کمیت‌های اسکالر (عددی): این کمیت‌ها فقط با دانستن مقدار آن‌ها، به‌طور کامل تعریف می‌شوند (مانند جرم، حجم، انرژی و...).

۲. کمیت‌های برداری: این کمیت‌ها علاوه بر مقدار، نیازمند جهت هستند (مانند نیرو، سرعت، شتاب و...). این کمیت‌ها طبق قانون متوازی‌الاضلاع جمع می‌شوند.

تذکر: در این کتاب، کمیت‌های برداری با حروف پررنگ و کمیت‌های عددی با حروف کم رنگ نمایش داده می‌شوند.

۱-۱-۲ انواع بردارها

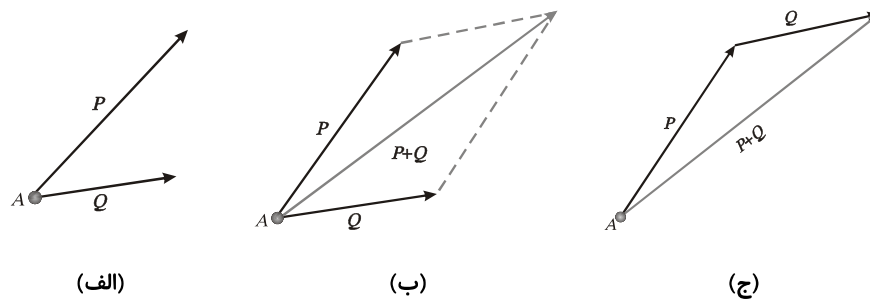
- بردارهای ثابت: نقطه اثر مشخصی دارند (مانند نیروی وارد بر یک ذره).
 - بردارهای آزاد: نقطه اثر مشخصی نداشته و می‌توانند آزادانه در فضا حرکت کنند (مانند کوپل).
 - بردارهای لغزان: می‌توانند در امتداد خط اثر خود بلغزند (مانند نیروهای وارد بر جسم صلب).
- بردار قرینه: بردار قرینه یک بردار مانند P ، برداری است هم‌اندازه و هم‌راستای P ولی در جهت مخالف P .

۱. البته کمیت‌های دیگری مانند تانسورها نیز هستند که موضوع بحث این کتاب نیست.

۲-۱-۲ جمع بردارها

جمع بردارها از قوانین معمولی جبری پیروی نمی‌کنند. برای یافتن جمع دو بردار P و Q می‌توان به صورت زیر عمل نمود که به آن قانون متوازی‌الاضلاع می‌گویند.

ابتدا هر دو بردار را از نقطه‌ای مانند A رسم کرده (شکل ۱-۲. الف) و سپس متوازی‌الاضلاعی با اضلاع P و Q می‌سازیم. مطابق شکل (۱-۲. ب) قطر متوازی‌الاضلاع که ابتدای آن منطبق بر نقطه A است، برابر حاصل جمع دو بردار P و Q است.



شکل ۱-۲. قانون متوازی‌الاضلاع و مثلث برای جمع دو بردار

همچنین برای جمع دو بردار می‌توان از قاعده مثلث نیز استفاده کرد. در این حالت مطابق شکل (۱-۲. ج) بردار Q را از انتهای بردار P رسم می‌کنیم. در این حالت ضلع دیگر مثلث که ابتدای P را به انتهای Q متصل می‌کند، بیانگر جمع دو بردار P و Q است.

با توجه به اینکه متوازی‌الاضلاع رسم شده به ترتیب انتخاب دو بردار بستگی ندارد، می‌توان نتیجه گرفت که جمع دو بردار خاصیت جابه‌جایی دارد. یعنی:

$$P + Q = Q + P \quad (۱-۲)$$

تفریق یک بردار از بردار دیگر همان جمع بردار اول با قرینه بردار دوم است (شکل ۲-۲).

به عبارت دیگر

$$P - Q = P + (-Q) \quad (۲-۲)$$