مقـــاومـــت مصـــالـــح (۱)
ویژۀ رشتۀ مهندسی عمران

ویرایش هشتم، بر اساس سیستم S.I
(منطبق بر سرفصل‌های وزارت علوم)

قابل استفاده برای دانشجویان کارشناسی مهندسی عمران درس مقاومت مصالح (۱) و رشته‌های مهندسی مکانیک، معماری، شیمی، متـالـوژی و هوافضا و داوطلبان آزمون‌های کارشناسی ارشد و دکتری عمران و مکانیک

مؤلفین: استیون تیموشنکو، جمیز ام گر، باری ج گودنـو

مترجم: مهندس بهمن سبحانی
(دانش‌پژوه دکتری عمران – سازه)

نشرنوآور

نشرنوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۱۹۱

سرشناسه:	تیموشنکو، استیون، ۱۸۷۸ - ۱۹۷۲م.Timoshenko, Stephen
عنوان و نام پدیدآور:	مقاومت مصالح/مولفین [استیون تیموشنکو، جیمزای. گر، باری‌ج. گودنو] ؛ مترجم بهمن سبحانی.
مشخصات نشر:	تهران : نوآور، ۱۳۹۴ .
مشخصات ظاهری:	۵۶۸ ص.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۷۰-۴
وضعیت فهرست نویسی:	فیپا
یادداشت:	عنوان اصلی : Mechanics of materials.
موضوع:	مقاومت مصالح
شناسه افزوده	گر، جیمز ام.، ۱۹۲۵ - ۲۰۰۸م. Gere, James M
شناسه افزوده:	گودنو، باری ج. Goodno, Barry J.
شناسه‌افزوده:	سبحانی، بهمن، ۱۳۶۰ -، مترجم
رده‌بندی کنگره:	TA۴۰۵/ت۹م۷ ۱۳۹۴
رده‌بندی دیویی:	۱۱۲/۶۲۰
شماره کتابشناسی ملی:	۳۹۵۴۱۵۰

مقـــاومـــت مـصـــالـــح (۱)
ویرایش هشتم بر اساس سیستم S.I

مؤلفین:	استیون تیموشنکو، جیمز ام گر، باری ج گودنو
مترجم:	مهندس بهمن سبحانی
ناشر:	نوآور
شمارگان:	۱۰۰۰ نسخه
ناظر چاپ:	محمدرضا نصیرنیا
نوبت چاپ:	
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۷۰-۴
قیمت:	تومان

مرکز پخش:
نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخر رازی، خیابان شهدای ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲ ـ ۶۶۴۸۴۱۹۱، www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هرگونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل اول: کشش، فشار و برش

۱-۱ مقدمه‌ای بر مکانیک مواد
۱-۲ مروری بر استاتیک
۱-۳ تنش و کرنش نرمال (عمودی)
۱-۴ خواص مکانیکی مواد
۱-۵ الاستیسیته، پلاستیسیته و خزش
۱-۶ الاستیسیته خطی، قانون هوک و نسبت پواسون
۱-۷ تنش و کرنش برشی
۱-۸ بارها و تنش‌های مجاز
۱-۹ طراحی بارهای محوری و برش مستقیم
خلاصه و مروری بر فصل اول
مسائل فصل اول
مسائل بخش ۱-۲- مروری بر استاتیک
مسائل بخش ۱-۳- تنش و کرنش نرمال (عمودی)
مسائل بخش ۱-۴- خواص مکانیکی و دیاگرام‌های تنش و کرنش
مسائل بخش ۱-۵- الاستیسیته و پلاستیسیته
مسائل بخش ۱-۶- قانون هوک و نسبت پواسون
مسائل بخش ۱-۷- تنش و کرنش برشی
مسائل بخش ۱-۸-بارهای مجاز
مسائل بخش ۱-۹- طراحی بارهای مجاز و برش مستقیم
مسائل دوره‌ای و چهار گزینه‌ای فصل اول

فصل دوم: عضوهای تحت بار محوری (کشـــشـــی یـا فـشـــاری)

پیش‌گفتار فصل
۲-۱ مقدمه
۲-۲ تغییر طول عضوهای تحت بار محوری
۲-۳ تغییر طول میله‌های غیر یکنواخت
۲-۴ سازه‌های نامعین استاتیکی
۲-۵ تأثیرات حرارتی، خطای ساخت اعضاء سازه‌ای و پیش‌خیزها (پیش کرنش‌ها)
۲-۶ تنش بر روی سطوح مایل
۲-۷ انرژی کرنشی
۲-۸ بارهای ضربه‌ای
۲-۹ بارگذاری تکراری و خستگی
۲-۱۰ تمرکز تنش

۲-۱۱ رفتار غیر خطی
۲-۱۲ تحلیل الاستوپلاستیک
خلاصه و مروری بر فصل دوم
مسائل فصل دوم
مسائل بخش ۲-۲- تغییر طول عضوهای تحت بار محوری.
مسائل بخش ۲-۳- تغییر طول میله‌های غیر یکنواخت.
مسائل بخش ۲-۴- سازه‌های نامعین استاتیکی
مسائل بخش ۲-۵- تأثیرات حرارتی
مسائل بخش ۲-۶- تنش در سطوح مایل
مسائل بخش ۲-۷- انرژی کرنشی
مسائل بخش ۲-۸- بارگذاری ضربه‌ای
مسائل بخش ۲-۱۰- تمرکز تنش
مسائل بخش ۲-۱۱- رفتار غیر خطی (تغییر طول میله ها)
مسائل بخش ۲-۱۲- تحلیل الاستو پلاستیک
مسائل دوره‌ای و چهار گزینه‌ای فصل دوم

فصل سوم: پیچش
پیش گفتار فصل
۳-۱ مقدّمه
۳-۲ تغییر شکلهای پیچشی میله‌های مدوّر
۳-۳ میله‌های مدوّر با مصالح الاستیک خطی
۳-۴ پیچش غیر یکنواخت
۳-۵ تنش و کرنش در برش خالص
۳-۶ رابطه بین مدول الاستیسیته E و G
۳-۷ انتقال قدرت توسط شفت‌های مدوّر
۳-۸ عضوهای پیچشی نامعین استاتیکی
۳-۹ انرژی کرنشی در پیچش و برش خالص
۳-۱۰ پیچش در شفت‌های منشوری غیر مدوّر
۳-۱۱ لوله‌های جدار نازک
۳-۱۲ تمرکز تنش در پیچش
خلاصه و مروری بر فصل سوم
مسائل فصل سوم
مسائل بخش ۳-۲- تغییر شکل‌های پیچشی
مسائل بخش ۳-۳- میله‌ها و لوله‌های مدور
مسائل بخش ۳-۴- پیچش غیر یکنواخت
مسائل بخش ۳-۵- برش خالص
مسائل بخش ۳-۷- انتقال قدرت
مسائل بخش ۳-۸- عضوهای پیچش نامعین استاتیکی
مسائل بخش ۳-۹- انرژی کرنشی در پیچش

مسائل بخش ۳-۱۱- لوله‌های جدار نازک
مسائل بخش ۳-۱۲- تمرکز تنش در پیچش
مسائل دوره‌ای و چهار گزینه‌ای فصل سوم

فصل چهارم: نیروهای برشی و لنگرهای خمشی
پیش گفتار فصل
۴-۱ مقدمه
۴-۲ انواع تیرها، نیروها و عکس‌العمل ها
۴-۳ نیروهای برشی و لنگرهای خمشی
۴-۴ رابطه بین بارها، نیروهای برشی و لنگرهای خمشی
۴-۵ نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی
خلاصه و مروری بر فصل چهارم
مسائل فصل چهارم
مسائل بخش ۴-۳- نیروهای برشی و لنگرهای خمشی
مسائل بخش ۴-۵- نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی
مسائل دوره‌ای و چهار گزینه‌ای فصل چهارم

فصل پنجم: تنش در تیرها (مباحث پایه)
پیش گفتار فصل
۵-۱ مقدمه
۵-۲ خمش خالص و خمش غیر یکنواخت
۵-۳ انحناء تیر
۵-۴ کرنش‌های طولی در تیرها
۵-۵ تنش عمودی در تیرها (مصالح الاستیک خطی)
۵-۶ طراحی تیرها بر اساس تنش‌های خمشی
۵-۷ تیرهای غیر منشوری
۵-۸ تنش برشی در تیرهای دارای مقطع مستطیلی
۵-۹ تنش‌های برشی در تیرهای با مقطع دایره‌ای
۵-۱۰ تنش‌های برشی در جان تیرهای بالدار
۵-۱۱ تیرهای چند تکه‌ای و جریان برش
۵-۱۲ تیر تحت اثر بارهای محوری
۵-۱۳ تمرکز تنش در خمش
خلاصه و مروری بر فصل پنجم
مسائل فصل پنجم
مسائل بخش ۵-۴-کرنش‌های طولی در تیرها
مسائل بخش ۵-۵- تنش‌های عمودی (نرمال) در تیرها
مسائل بخش ۵-۶- طراحی تیرها
مسائل بخش ۵-۷- تیرهای غیر منشوری
مسائل بخش ۵-۸- تنش‌های برشی در تیرهای مستطیلی
مسائل بخش ۵-۹- تنش‌های برشی در تیرهای دایره‌ای

مسائل بخش ۵-۱۰- تنش‌های برشی در جان تیرهای بالدار
مسائل بخش ۵-۱۱- تیرهای چند تکه‌ای
مسائل بخش ۵-۱۲- تیرها تحت بارهای محوری
- بارهای محوری خارج از محور
مسائل بخش ۵-۱۳- تمرکز تنش
مسائل دوره‌ای و چهار گزینه‌ای فصل پنجم

پیوست‌ها

پیوستA: سیستم آحاد و ضرایب تبدیل
پیوستB: تبدیل واحدها
پیوستC: فرمول‌های ریاضی
پیوستD: خصوصیات سطوح تخت
پیوستE: خواص پروفیل‌های ساختمانی
پیوستF: مشخصات الوارهای چوبی سازه‌ای
پیوستH: خصوصیات مواد و مصالح

پاسخ مسائل

فصل اول
فصل دوم
فصل سوم
فصل چهارم
فصل پنجم

منابع و ماخذ

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

پیشگفتار

علم مکانیک مواد یا مقاومت مصالح، به عنوان یکی از علوم پایهٔ مهندسی در واحدهای درسی رشته‌های مهندسی عمران، مکانیک، هوافضا، متالوژی و همچنین مهندسی شیمی مطرح شده است و این خود گویای اهمیت ویژه آن است.

مکانیک جامدات (مقاومت مصالح) از اصلی‌ترین دروس رشته مهندسی عمران (و تا حد زیادی در رشته مهندسی مکانیک) می‌باشد. زیرا دانشجویان بدون تسلط بر آن قادر به فهم دروس طراحی سازه‌های فولادی و بتنی که از مفاهیم اصلی درس مقاومت مصالح در دوره کارشناسی است، نخواهند بود. همچنین در دوره تحصیلات تکمیلی دروسی نظیر تئوری الاستیسیته و پلاستیسیته، تئوری پایداری سازه‌ها، مقاومت مصالح پیشرفته و تئوری صفحات و پوسته‌ها نیازمند درک صحیحی از درس مقاومت مصالح می‌باشد. از ویژگیهای مهم این درس که باعث جلب توجه دانشجویان می‌شود، قطعیت‌های موجود در آن، ارتباط تنگاتنگ آن با ریاضیات، و تطابق عالی با نتایج آزمایشگاهی حاصل از تئوری می‌باشد، که این خود مهر تاییدی بر صحت تئوری‌های این علم است.

کتاب حاضر ترجمه و با کمی اضافات، از نسخه ویرایش هشتم کتاب مقاومت مصالح، نوشته استاتید دانشگاه استانفورد (James M. Gere و Barry J. Goodno) می‌باشد. ویرایش اول این کتاب، توسط Stephan P. Timoshenko و James M. Gere در سال ۱۹۷۲ میلادی بر اساس سیستم واحد USCS نوشته شد. ویرایش هشتم آن در سال ۲۰۱۳ توسط James M. Gere و Barry J. Goodno بر اساس سیستم واحد بین‌المللی (SI) تألیف شده و در سال ۲۰۱۴ به بازارهای کتب تخصصی مهندسی، راه پیدا کرده است. قدمت بیش از ۴۰ ساله در چاپ این کتاب، نشان دهنده اهمیت موضوع مبحث مقاومت مصالح، و نیز بیانگر مطرح بودن نویسندگان کتاب می‌باشد.

یکی از ویژگی‌های این کتاب، منطبق بودن آن بر سر فصل‌های وزارت علوم، تحقیقات و فن آوری می‌باشد. کتاب لاتین مقاومت مصالح شامل ۱۲ فصل بوده، که مترجم با توجه به سر فصل‌های درس مقاومت مصالح (۱)، ۵ فصل آن را در این مجلد، و مابقی فصول را در جلد دوم با عنوان مقاومت مصالح (۲) که در آینده نزدیک به چاپ خواهد رسید، ترجمه نموده است.

از ویژگی‌های دیگر کتاب حاضر این است که در ابتدای هر فصل مطالبی با عنوان پیش گفتار فصل آمده است اشاره‌ای مختصر به مطالبی که در آن فصل قرار است ارائه گردد، می‌پردازد.

همچنین در انتهای فصل و قبل از شروع مسائل، بخشی با عنوان خلاصه و مروری بر فصل ارائه شده است که بیانگر نکات بر جسته و مطالب مهم و کلیدی آن فصل می‌باشد..
در این مجلد، بیش از ۶۰ مثال حل شده با توضیحات کافی، و نیز بیش از ۵۸۰ مسأله به عنوان تکلیف به دانشجویان واگذار شده، تا در بحث‌های کلاسی از آن استفاده کنند. البته، در هر فصل این کتاب سعی شده که از مثال‌های عملی و کاربردی مقاومت مصالح در حوزه‌های مهندسی عمران و مکانیک استفاده گردد.
ویژگی‌مهم دیگر کتاب مقاومت مصالح (۱)، مسائلی به صورت چهار گزینه‌ای در انتهای هر فصل مطرح شده، تا دانشجویان و خوانندگان بتوانند در زمینه حل مسائل چهار گزینه‌ای مهارت خود را افزایش دهند.
از مشخصه‌های بارز کتاب حاضر، ارائه پاسخ مسائل پایانی هر فصل در انتهای کتاب در بخش پاسخ به مسائل می‌باشد.
مطالب ارائه شده در این مجلد عبارتند از: تحلیل و طراحی سازه‌های کششی، فشاری، خمشی، آشنایی با مفاهیم اولیه مانند: تنش، کرنش، رفتار الاستیک و غیر الاستیک و انرژی کرنشی. از دیگر موضوعات قابل توجه می‌توان تمرکز تنش و پیچش را نام برد. موضوعات تخصصی‌تری از قبیل تأثیرات حرارتی، خطاهای ساخت، پیش کرنش‌ها و پیچش مقاطع غیر دایره‌ای نیز مورد بحث قرار گرفته است.
مترجم بر خود لازم می‌داند که از مدیریت محترم انتشارات نوآور جناب آقای علیرضا نصیرنیا و همکاران محترمشان، و نیز از زحمات فراوان سرکار خانم مهندس عفت اسماعیل‌زاده شهری (کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه) که ویراستاری فنی این مجموعه را به عهده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشد.
در نهایت، با وجود سعی و تلاش فراوان، مترجم بر این باور است که نوشته کنونی ممکن است دارای اشکالات و کاستی‌هایی باشد، لذا از اساتید، دانشجویان و خوانندگان محترم تقاضا می‌شود، جهت هرچه بهتر شدن این مجموعه، نظرات، انتقادات و پیشنهادات خود را از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره ۲- ۶۶۴۸۴۱۹۱ ۰۲۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایید.

بهمن سبحانی

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول

کشش، فشار و برش

۱-۱ مقدمه‌ای بر مکانیک مواد

مکانیک مواد شاخه‌ای از مکانیک کاربردی است که رفتار اجسام جامد را تحت اثر انواع مختلف بارگذاری مورد بررسی قرار می‌دهد. مقاومت مصالح یا مکانیک اجسام شکل‌پذیر نامهای دیگری هستند که به این زمینه مطالعاتی اطلاق می‌گردند. اجسام جامدی که در این کتاب مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از: میله‌ها در کشش یا فشار، شفت‌ها در پیچش، تیرها در خمش، ستون‌ها در فشار.

هدف اصلی در مکانیک مواد، یافتن تنش، کرنش و تغییر مکان در سازه‌ها و اجزاء آنها بر اثر نیروهای وارده می‌باشد. اگر ما بتوانیم این کمیتها را به ازای نیروهای مختلف از جمله نیروهایی که موجب گسیختگی می‌گردند پیدا کنیم، آنگاه تصویر کاملی از رفتار مکانیکی این سازه‌ها بدست خواهیم آورد.

درک رفتار مکانیکی در طراحی ایمن انواع مختلف سازه‌ها از قبیل هواپیماها، آنتن‌ها، ساختمان‌ها، پلها، ماشین‌ها و موتورها، یا کشتی‌ها و فضاپیماها یک نیاز اساسی و مهم است، به همین دلیل است که مکانیک مواد یکی از دروس اصلی در بسیاری از رشته‌های مهندسی است. البته استاتیک و دینامیک نیز از دروس مهم و اساسی می‌باشند، اما این دروس نخست با حرکات ذرات و اجسام صلب و نیروهای وابسته به آنها سروکار دارند، در حالی که، بیشتر مسائل مطرح شده در مقاومت مصالح به بررسی نیروهای داخلی و خارجی وارد بر یک جسم شکل‌پذیر می‌پردازد. بنابراین باید نیروهای وارد برجسم و شرایط تکیه‌گاه‌های آن مشخص شوند، سپس با استفاده از اصول اولیه معادلات استاتیکی (شرایط استاتیکی معین برقرار باشد) نیروهای عکس‌العمل در تکیه‌گاه‌ها و نیروهای داخلی اعضا یا اجزای جسم را بدست آورد. البته نمودار جسم آزاد نیروهای متمرکز برای فرآیند تحلیل استاتیکی لازم و ضروری می‌باشد.

در مقاومت مصالح با بررسی تنش‌ها و کرنش‌های داخلی اجسام واقعی، یعنی اجسامی که دارای ابعاد معین بوده، و تحت اثر نیروها تغییر شکل می‌دهند، یک گام جلوتر پیش می‌رویم. برای تعیین تنش و کرنش، خواص فیزیکی مواد و نیز قوانین نظری و مفاهیم بسیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعدا در مقاومت مصالح خواهیم دید که، با استفاده از تغییر شکل‌های ضروری و اضافی و تغییر شکل‌های جسم، می‌توان در حل مسائل نامعین استاتیکی اقدام نمود (فقط با استفاده از قوانین تعادل استاتیکی نمی‌توان مسائل مربوط به سازه‌های نامعین استاتیکی را حل نمود).

بررسی‌های نظری و نتایج تجربی به طور یکسان در مکانیک مواد نقش ایفا می‌کنند. این نظریه‌ها، اغلب برای استخراج فرمول‌ها و معادلات موردنیاز برای پیش‌بینی رفتار مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما نمی‌توان این معادلات را در طراحی واقعی به کار گرفت، مگر آنکه خواص فیزیکی مواد معلوم باشند. این خواص را می‌توان از آزمایش‌هایی که در آزمایشگاه انجام می‌گیرند، بدست آورد. به علاوه در

بسیاری از مسائل عملی، تحلیل‌های نظری به تنهایی پاسخگو نیستند، و در چنین مواردی باید از آزمایشات تجربی بهره گرفت.

تاریخچه پیشرفت مکانیک مواد، آمیخته‌ای است جذاب از تئوری و آزمایش. در تعدادی از موارد تئوری راه به نتایج سودمند گشوده و در موارد دیگر آزمایش این امر را به انجام می‌رساند. مشاهیری چون لئوناردو داوینچی (۱۴۵۲-۱۵۱۹) و گالیله (۱۵۶۴-۱۶۴۲) آزمایشاتی برای تعیین مقاومت سیمها، میله‌ها و تیرها انجام دادند، هر چند مانند آیین‌نامه‌های امروزی، نظریه‌های کافی برای نتایج تجربی خود ارائه نکردند. بر عکس، ریاضیدانان معروفی نظیر اویلر (۱۷۰۷-۱۷۸۳) نظریه‌های ریاضی ستون‌ها را ارائه دادند و باربحرانی یک ستون را در سال ۱۷۴۴، سالها قبل از آنکه مدارک تجربی برای اثبات درستی نظریه‌های ارائه شده وجود داشته باشد، محاسبه نمودند. نتایج اویلر، بدلیل فقدان روشهای آزمایشی مناسب برای حمایت نظریه‌های وی، بیش از یک قرن بدون استفاده باقی ماند، هر چند که امروزه این نظریه‌ها اساس طراحی و تحلیل اکثر ستونها هستند.

مسائل مربوط به مقاومت مصالح

در مطالعه مکانیک مواد، تلاش در دو بخش صرف می‌گردد. ابتدا درک روش منطقی بدست آوردن مفاهیم، و دوم بکارگیری این مفاهیم در موارد عملی. بخش اول با مطالعه روش استخراج معادلات، بحث‌ها و مثال‌هایی که در هر فصل ارائه می‌گردد صورت می‌پذیرد و بخش دوم با حل مسائل داده شده در انتهای هر فصل انجام می‌گیرد. برخی از مسائل داده شده عددی و پاره‌ای دیگر پارامتری می‌باشند.

یکی از مزیت‌های مسائل عددی آن است که مقادیر همه کمیتها در هر مرحله از محاسبات معلوم است و لذا این فرصت وجود دارد که بتوان منطقی یا غیر منطقی بودن این مقادیر را در هر مرحله تشخیص داد. مزیت اصلی مسائل پارامتریک آن است که از حل آنها فرمول‌های کلی بدست می‌آیند. یک فرمول، متغیّرهایی را که بر روی نتایج نهایی تأثیر می‌گذارند نشان می‌دهد. برای مثال یک کمیت ممکن است از محاسبات حذف شود، امری که در یک راه حل عددی آشکار نخواهد شد. همچنین راه حل پارامتریک نحوه تأثیر هر متغیّر را در جواب مسأله نشان می‌دهد، مانند هنگامی که یک متغیّر در صورت و متغیّر دیگری در مخرج کسر ظاهر می‌شوند. علاوه بر اینها راه حل پارامتریک امکان بررسی مسأله را از نظر ابعادی در هر مرحله فراهم می‌آورد و بالاخره مهمترین دلیل انتخاب راه حل پارامتریک بدست آوردن معادله‌ای است که بتوان از آن برای مسائل گوناگون استفاده نمود. بر عکس راه حل عددی را تنها برای یک مجموعه از شرایط می‌توان بکار برد. از آنجایی که یک مهندس باید بر هر دو راه حل مسلط باشد مخلوطی از مسائل عددی و پارامتریک در سراسر این کتاب عرضه گردیده است.

برای حل مسائل عددی باید از یک سیستم آحاد مشخص استفاده نمود. با توجه به کارهای رایج مهندسی در این کتاب دو سیستم آحاد بین‌المللی (SI) مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم واحد S.I در پیوست A مورد بحث قرار گرفته‌اند. در این پیوست، جداول سودمند بسیاری داده شده اند.

همه مسائل در انتهای فصول قرار داده شده‌اند و شماره هر مسأله بخشی را که به آن تعلق دارد مشخص می‌سازد.

اصول حل مسائل به طور مفصل در پیوست B مورد بحث قرار گرفته‌اند.در این پیوست، علاوه بر یک فهرست از روشهای مهندسی، بخش‌هایی نیز در مورد همگنی ابعاد و ارقام مهم گنجانیده شده است. دو موضوع اخیر از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند، زیرا هر معادله باید از لحاظ ابعادی همگن و هر

نتیجه با جواب عددی باید با تعداد مناسبی از ارقام مهم بیان گردد. در این کتاب، جوابهای عددی معمولاً برای اعدادی که اولین رقم آنها ۲ تا ۹ می‌باشد با سه رقم مهم و برای اعدادی که رقم اول آنها ۱ است با چهار رقم مهم نمایش داده می‌شود.
مقادیر عددی متوسط اغلب به سبب جلوگیری از کاهش دقت عددی ناشی از گرد کردن اعداد با رقم‌های بیشتری ثبت می‌شوند.

۱-۲ مروری بر استاتیک

شرط لازم برای بحث در خصوص استاتیک این است که معادلات تعادل برای اجسام صلبی که تحت نیروهای مختلف قرار می‌گیرند، باید یک تکیه‌گاه برای آنها ایجاد گردد، یا اینکه جسم در حالت سکون و پایدار باقی بماند. در نتیجه جسم صلب تحت نیروهای استاتیکی نمی‌تواند حرکت صلبی داشته باشد.
با ترسیم نمودار جسم آزاد همه قسمت‌های جسم یا قسمت‌های مهم و کلیدی، و با استفاده از معادلات تعادل، می‌توان نیروهای عکس‌العمل و لنگرهای داخلی و خارجی را در نقاط بحرانی بدست آورد. در این قسمت از کتاب، اصول اساسی معادلات تعادل استاتیکی یادآوری خواهد شد. سپس با استفاده از آنها به حل مثال‌های سازه‌ای (سازه‌های دوبعدی و سه بعدی) با استفاده از کمیت‌های برداری و عددی (به عنوان مثال سرعت هم یک کمیت برداری است و هم یک کمیت عددی (اسکالر). البته در اینجا مقدار سرعت صفر در نظر گرفته می‌شود) می‌پردازیم. بیشتر مسائل مقاومت مصالح در مرحله اول نیازمند تحلیل استاتیکی هستند، به گونه‌ای که در ابتدا باید همه نیروهای وارد بر جسم و تغییر شکل آنها شناخته شوند. بعد از بدست آمدن نیروها داخلی و خارجی مربوط به جسم، می‌توانیم به بررسی مسائل مربوط به تنش ها، کرنش‌ها و تغییر مکان میله‌ها، شفت‌ها، تیرها و ستون‌ها که در فصول بعدی مطرح می‌شوند، بپردازیم.

معادلات تعادل

زمانیکه برآیند نیرو R و لنگر M وارد بر جسم صلب یا تغییر مکان جسم در حال تعادل باشند، در این صورت مقادیر آنها برابر صفر است. البته مجموع لنگرها ممکن است نسبت به یک نقطه اختیاری در نظر گرفته شود. در نتیجه معادلات تعادل را می‌توان مطابق فرمول زیر به صورت برداری نیز بیان نمود:

$$\vec{R} = \sum \vec{F} = 0 \qquad (۱-۱)$$

$$\vec{M} = \sum \vec{M} = \sum (\vec{r} \times \vec{F}) = \vec{0} \qquad (۱-۲)$$

در اینجا بردار $\vec{F}$ یکی از نیروهای وارد بر جسم است. $\vec{r}$ بردار تغییر مکان می‌باشد و برابر است با فاصلهٔ بردار نیرو $\vec{F}$ تا نقطه‌ای که باعث ایجاد لنگر می‌شود. البته، اغلب نوشتن معادلات تعادل به صورت اسکالر یا عددی در سیستم مختصات دکارتی به صورت دو بعدی (x, y) یا سه بعدی (x, y, z) راحت‌تر می‌باشد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0 \qquad \sum M_z = 0 \qquad (۱-۳)$$

معادله (۱-۳) را می‌توان برای مسائل دو بعدی و قطبی استفاده نمود. اما برای حالت سه بعدی نیاز به سه نیرو و سه لنگر می‌باشد لذا داریم:

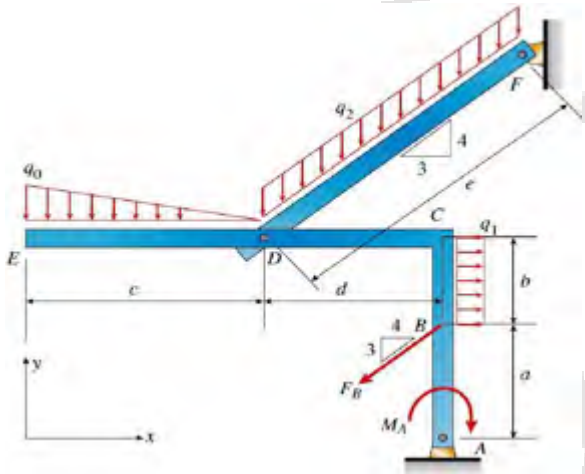
$$\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0 \qquad \sum F_z = 0 \qquad (۱-۴)$$

$$\sum M_x = 0 \qquad \sum M_y = 0 \qquad \sum M_z = 0 \qquad (۱-۵)$$

اگر تعداد نیروهای مجهول با تعداد معادلات تعادل برابر باشند، در این صورت با این تعداد معادلات می‌توان عکس‌العمل‌ها و نیروهای مجهول داخلی جسم را محاسبه نمود. این حالت اصطلاحا استاتیکی معین گفته می‌شود (در این حالت جسم پایدار و در حالت ایستایی قرار دارد). حال اگر در یک جسم یا سازه‌ای، مجبور به اضافه کردن تعدادی تکیه‌گاه اضافی باشیم، در این صورت سازه نامعین استاتیکی بوده و با استفاده از قوانین معادلات تعادل استاتیکی نمی‌توان آن را حل نمود. برای سازه‌های نامعین استاتیکی باید تغییر مکان‌های سازه بررسی گردد، که این مطلب در ادامه فصل بیان می‌شود.

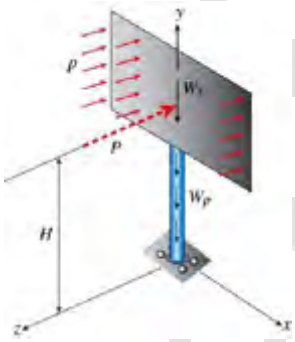
نیروهای وارده بر سازه یا جسم

بارهای خارجی وارده بر یک سازه یا یک جسم، ممکن است به صورت نیروها و لنگرهای متمرکز یا گسترده باشند. به عنوان مثال، در شکل ۱-۱ نیروی $F_B(N)$ به صورت یک بار نقطه‌ای یا متمرکز در نقطه B بر جسم وارد می‌شود. در حالیکه لنگر M_A در نقطه A به صورت متمرکز یا زوج نیرو وارد می‌شود.



شکل ۱-۱: قاب سازه‌ای مسطح (دو بعدی).

بارهای گسترده ممکن است که به صورت یکنواخت باشند مانند بار $q.(N/m)$ که بر ضلع BC به صورت یکنواخت وارد می‌شود. یا اینکه به صورت متغیّر بوده و فقط در یک جهت دارای مقدار بار می‌باشند. مانند بارهای شیبدار $q_1(N/m)$ و $q_2(N/m)$ که در جهت y بر ضلع ED و DF وارد می‌شوند. بارهای سطحی یا فشارهای سطحی $p(N/m^2)$ مانند فشار باد وارد بر تابلوی شکل ۱-۲ معمولاً بر تمامی قسمت‌های طراحی شده یک جسم تأثیر می‌گذارد. نیروهای حجمی $w(N/m^3)$ مانند نیروهای حجمی توزیع شده مربوط به وزن تابلو و پایه آن مطابق شکل ۱-۲ را می‌توان به صورت بار متمرکز در مرکز ثقل تابلو (W_s) یا پایه (W_p) وارد نمود. در واقع، زمانیکه از معادلات تعادل استاتیکی (۱-۱) تا (۱-۵) جهت حل مسائل سازه‌ای خیلی فراوان استفاده گردد، می‌توان بارهای گسترده (خطی، سطحی و حجمی) را به صورت بارهای معادل (متمرکز) استاتیکی در مرکز ثقل بار گسترده جایگزین نمود.



شکل ۱-۲: فشار باد بر تابلو

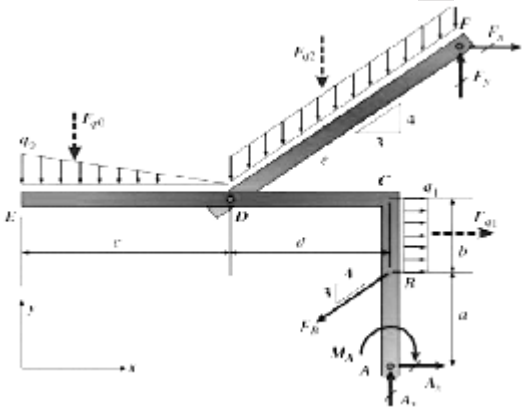
نمودار جسم آزاد (FDB[1])

نمودار جسم آزاد یک جسم، قسمت مهم و ضروری جهت تحلیل استاتیکی نیروهای یا تغییر مکان جسم صلب می‌باشد. برای حل درست و صحیح تعادل یک جسم، باید تمامی نیروها و مولفه‌های

۱-Free-Body Diagrams

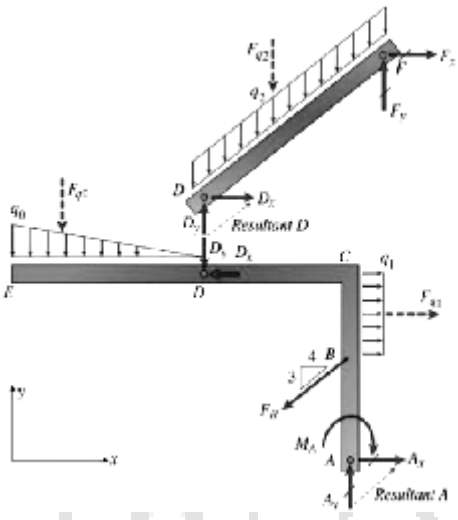
نیرویی وارد بر جسم را به صورت نمودار جسم آزاد نشان داد. این نیروها شامل نیروها و لنگرهای وارده، نیروها و لنگرهای مربوط به عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی و نیروهای مربوط بـه اتصـالات اجـزای مختلـف جسم می‌باشد. به عنوان مثال، نمودار جسم آزاد همه اعضای قاب سازه‌ای مسطح مربوط به شـکل۱-۳، بر اساس بار معادل استاتیکی (متمرکز) و بارهای وارده متمرکـز در شـکل ۱-۳-الـف نشـان داده شـده است. برای حل با استفاده از معادله تعادل، بارهـای گسـترده .q، q_1 و q_2 بارهـای معـادل اسـتاتیکی یـا متمرکز در محل مرکز ثقل بار گسترده به صورت .F_q ، F_{q_1} و F_{q_2} ارائه شده است.

در مرحله بعدی اعضا قاب سازه‌ای مسطح مطابق شکل ۱-۳-ب از هـم جـدا شـمی کنـیم و نمـودار جسـم آزاد قسمت‌های مختلـف آن را بـه صـورت مجـزا بـه گونه‌ای ترسـیم مـی‌کنـیم کـه در محـل اتصـال مفصلی (پین) نیروهای آن نیز نمایـان شـود کـه ایـن عمـل در نقطـه $D(D_x, D_y)$ نمـایش داده شده است. در هر دو شکل نمودارهای جسـم آزاد نیروهای عکس‌العمل در تکیه‌گاه مفصـلی A بـه صورت A_x و A_y و در تکیـه‌گـاه مفصـلی F بـه صورت F_x و F_y به خوبی نشان داده شده اسـت. اگر عکس‌العمـل نیروهـای بـین دو عضـو EDC و DF در نقطه Dدر قاب سـازه‌ای مـدنظر باشـد، باید در محل اتصال این دو عضو، نیروهای منتقل شده به دو المان را تعیین شوند.



شکل ۱-۳-الف: نمودار جسم آزاد قاب سازه ای مسطح تحت نیروهای متمرکز و معادل.

قاب سـازه‌ای مسـطح شـکل ۱-۱ در مثـال ۱-۲ همـین فصـل، مقـادیر نیروهـای عکـس‌العمـل تکیه‌گاهی در نقاط A و F، همچنین نقطه اتصـال مفصلی اعضا در نقطـه D بـا اسـتفاده از معـادلات تعادل (۱-۱) تـا (۱-۳) تحلیـل و تعیـین خواهـد شد. نمودارهای جسم آزاد موجـود در شـکل‌هـای ۱-۳-الف و ۱-۳-ب، قسمت‌های مهم فرآیند حل مسأله هستند. برای حل مسائل استاتیکی مربـوط به عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی از علائـم قـراردادی استفاده می‌شود. مـثلاً بـرای نیروهـا وارده جهـت مثبت محور مختصاتی، مثبت در نظر گرفته شـده و برای لنگرها از قانون دست راسـت بـرای تعیـین جهت مثبت آن استفاده می‌شود.



شکل ۱-۳-ب: نموداجسم آزاد قاب سازه ای مسطح در دو عضو EDC و DF در نقطه D.