





# استاتیک کاربردی

برای دانشجویان معماری و مهندسی عمران

به انضمام معرفی آثار برجسته معماری جهان

تالیف

دکتر محمود گلابچی



شماره مسلسل ۹۶۸۴

شماره انتشار ۲۸۰۴

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: گلابچی، محمود، ۱۳۳۶-
عنوان و نام پدیدآور	: استاتیک کاربردی برای دانشجویان معماری و مهندسی عمران به انضمام معرفی آثار برجسته معماری جهان/ تألیف محمود گلابچی.
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۵.
مشخصات ظاهری	: ۵۰۸ ص: جدول، مصور، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره ۲۸۰۴.
شابک	: 978-964-03-5441-4
وضعیت فهرست‌نویسی	: فایا
یادداشت	: ص.ع. به انگلیسی: M. Golabchi. Applied Statics.
یادداشت	: چاپ هفتم.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۴۷۸ - ۴۷۹.
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: استاتیک-- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: استاتیک-- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات.
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۷ الف۸گ/ TA۳۵۱
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۰۳۰۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۵-۳۹۸۸۸ م

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

عنوان: استاتیک کاربردی برای دانشجویان رشته‌های معماری و مهندسی عمران به انضمام معرفی آثار برجسته معماری جهان

تالیف: دکتر محمود گلابچی

نوبت چاپ: هفتم

تاریخ انتشار: ۱۳۹۷

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

ISBN:978-964-03-5441-4



9 789640 354414

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلف است»

بها: ۷۲۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press @ ut. ac. ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

# فهرست مطالب

مقدمه ..... الف

## فصل اول: استاتیک نقطه مادی

- ۱ - اهداف آموزشی.....
- ۱-۱ - تعریف نیرو..... ۲
- ۲-۱ - تعریف نقطه مادی..... ۲
- ۳-۱ - واحد نیرو در سیستم بین المللی آحاد..... ۲
- ۴-۱ - نمایش یک نیرو..... ۲
- ۵-۱ - نقطه مادی تحت تاثیر یک نیرو..... ۳
- ۶-۱ - برآیند دو نیرو واقع در یک راستا..... ۳
- ۷-۱ - نقطه مادی تحت تاثیر دو نیرو..... ۴
- ۸-۱ - قضیه اساسی استاتیک..... ۴
- ۹-۱ - اصل انتقال نیرو در یک صفحه..... ۵
- ۱۰-۱ - تجزیه یک نیرو به دو مؤلفه..... ۶
- ۱۱-۱ - نقطه مادی تحت تاثیر چند نیرو..... ۷
- ۱۲-۱ - بررسی تعادل نقطه مادی تحت تاثیر یک نیرو..... ۸
- ۱۳-۱ - نقطه مادی در حال تعادل تحت تاثیر دو نیرو  $F_1$  و  $F_2$ ..... ۸
- ۱۴-۱ - تعادل نقطه مادی تحت تاثیر چند نیرو..... ۸
- ۱۵-۱ - تعادل نقطه مادی تحت تاثیر سه نیرو..... ۱۰

۱۵ گنبد سلطانیه.....

۱۷ پل آلامیلو.....

## فصل دوم: گفتاری در مورد تعادل

- ۱۹ - اهداف آموزشی.....
- ۱-۲ - نیروهای محوری..... ۲۰
- ۲-۲ - تعادل میله تحت تاثیر دو نیروی محوری  $F_1$  و  $F_2$ ..... ۲۰
- ۳-۲ - سیم و کابل های تحت کشش..... ۲۲
- ۴-۲ - سطح شیبدار..... ۲۴

۳۳ فرودگاه دنور.....

۳۵ برج ایفل.....

## فصل سوم: اصطکاک لغزشی

۳۷	اهداف آموزشی
۳۸	۱-۳ مقدمه
۳۸	۲-۳ قوانین اصطکاک
۳۸	۳-۳ آزمایش اصطکاک
۳۹	۴-۳ تعریف ضریب اصطکاک
۴۹	مرکز تحقیقات پت سنتر
۵۱	گنبد تاکوما

## فصل چهارم: استاتیک اجسام تحت تاثیر نیروهای واقع در یک صفحه

۵۲	اهداف آموزشی
۵۳	۱-۴ قانون انتقال نیرو
۵۳	۲-۴ جسم تحت تاثیر یک نیرو
۵۳	۳-۴ نیروی خارجی
۵۳	۴-۴ نیروی داخلی
۵۳	۵-۴ جسم تحت تاثیر دو نیروی غیر موازی
۵۳	۶-۴ راستای ظاهری برآیند دو نیرو
۵۴	۷-۴ راستای حقیقی برآیند دو نیرو
۵۴	۸-۴ جسم تحت تاثیر دو نیروی موازی و هم جهت
۵۶	۹-۴ جسم تحت تاثیر دو نیروی موازی و مختلف جهت
۵۷	۱۰-۴ جسم تحت تاثیر چند نیرو
۵۸	۱۱-۴ گشتاور نیرو
۵۹	۱۲-۴ کوپل یا زوج نیرو
۶۰	۱۳-۴ شرایط تعادل اجسام
۶۰	۱۴-۴ اهرم
۷۸	استادیوم نیگاتا
۸۰	کلیسای ارتدکس بشارت

## فصل پنجم: تعادل اجسام تحت تاثیر بیش از سه نیرو

۸۲	اهداف آموزشی
۸۳	۱-۵ بررسی یک جسم تحت تاثیر چند نیروی واقع در یک صفحه

۹۹.....	مرکز جان هنکاک
۱۰۲.....	استادیوم فوتبال سیدنی

### فصل ششم: تعادل میله های سنگین

۱۰۳.....	- اهداف آموزشی
۱۰۴.....	۱-۶- میله های سنگین
۱۰۴.....	۲-۶- بررسی یک میله سنگین با اتصالات مفصلی
۱۱۸.....	پروژه احیای لنگرگاه قدیمی ژنوا (بیگو)
۱۲۰.....	ساختمان رنو در انگلستان

### فصل هفتم: خریاها

۱۲۲.....	- اهداف آموزشی
۱۲۳.....	۱-۷- تعریف نیروهای داخلی
۱۲۳.....	۲-۷- خریاها
۱۲۳.....	۳-۷- تحقیق پایداری و معین بودن خریاها از نظر داخلی
۱۲۴.....	۴-۷- نیروهای داخلی خریا
۱۴۶.....	۵-۷- خریای پایدار و معین از نظر داخلی و خارجی
۱۵۲.....	۶-۷- روش مقاطع برای محاسبه نیروهای داخلی اعضای یک خریا
۱۵۵.....	مرکز فرهنگی ژرژ پمپیدو
۱۵۷.....	بخش الحاقی موزه لوور

### فصل هشتم: بردارها

۱۵۹.....	- اهداف آموزشی
۱۶۰.....	۱-۸- کمیت های عددی (اسکالر)
۱۶۰.....	۲-۸- کمیت های برداری
۱۶۰.....	۳-۸- نمایش تصویری یک بردار
۱۶۰.....	۴-۸- نمایش نوشتاری یک بردار
۱۶۰.....	۵-۸- بردارهای مساوی (همسنگ)
۱۶۱.....	۶-۸- بردارهای متقابل
۱۶۱.....	۷-۸- حاصلضرب یک عدد در یک بردار
۱۶۲.....	۸-۸- جمع بردارها
۱۶۳.....	۹-۸- تفریق بردارها

۱۶۳	۱۰-۸- قانون متوازی الاضلاع
۱۶۳	۱۱-۸- جمع برداری چند بردار
۱۶۴	۱۲-۸- قوانین جبر بردارها
۱۶۹	۱۳-۸- مؤلفه های یک بردار
۱۷۰	۱۴-۸- تجزیه یک بردار در صفحه به دو مؤلفه در مختصات دکارتی
۱۷۳	۱۵-۸- تجزیه یک بردار در فضا
۱۷۷	۱۶-۸- ضرب عددی دو بردار
۱۸۰	۱۷-۸- ضرب برداری دو بردار (ضرب خارجی دو بردار)
۱۸۲	تالار کنفرانس کرسگ
۱۸۴	سالن ورزشی پلازتو دلو اسپرت

### فصل نهم: دستگاه نیروهای فضایی

۱۸۶	- اهداف آموزش
۱۸۷	۱-۹- گشتاور یک نیرو
۱۸۷	۲-۹- قضیه وارینیون
۱۸۸	۳-۹- حالت کلی گشتاور (در دستگاه مختصات سه بعدی)
۱۸۹	۴-۹- حاصل ضرب مختلط عددی
۱۹۶	۵-۹- کوپل یا زوج نیرو
۱۹۸	۶-۹- کوپل نیروهای واقع در صفحات غیرموازی
۲۰۲	کلیسای آتلانتیدا
۲۰۴	مجموعه خانه آبشار

### فصل دهم: تعیین مرکز ثقل

۲۰۶	- اهداف آموزشی
۲۰۷	۱-۱۰- تعریف مرکز ثقل
۲۰۷	۲-۱۰- تعیین مرکز ثقل یک جسم
۲۲۴	۳-۱۰- تعیین مرکز ثقل یک کمان با وزن ثابت در واحد طول
۲۲۴	۴-۱۰- محاسبه طول منحنی (کمان)
۲۲۶	۵-۱۰- قضیه اول پاپس و گولدین
۲۲۸	۶-۱۰- قضیه دوم پاپس و گولدین
۲۳۰	مسجد امام اصفهان



۲۳۲	موزه کیمبال
-----	-------------

### فصل یازدهم: گشتاور اینرسی و گشتاور دوم سطح

۲۳۴	- اهداف آموزشی
۲۳۵	۱-۱۱- تعریف گشتاور اینرسی (لنگر ماند)
۲۳۵	۲-۱۱- قضیه محورهای موازی
۲۳۶	۳-۱۱- قضیه محورهای متعامد
۲۴۶	۴-۱۱- گشتاور دوم سطح
۲۴۷	۵-۱۱- قضیه محورهای موازی گشتاور دوم سطح
۲۴۷	۶-۱۱- قضیه محورهای متعامد گشتاور دوم سطح

۲۵۰	موزه گوگنهایم بیلباو
۲۵۲	ساختمان اپرای سیدنی

### فصل دوازدهم: نیروی برشی و گشتاور خمشی

۲۵۴	- اهداف آموزشی
۲۵۵	۱-۱۲- تعریف تیر
۲۵۵	۲-۱۲- تعریف تیر طره ای یا گیردار
۲۵۵	۳-۱۲- تیرهای ساده
۲۵۶	۴-۱۲- تیرهای آویخته
۲۵۶	۵-۱۲- تیرهای معین
۲۵۶	۶-۱۲- تیرهای نامعین
۲۵۶	۷-۱۲- اقسام بارگذاری تیرها
۲۵۷	۸-۱۲- نیروها و گشتاورهای داخلی
۲۵۷	۹-۱۲- گشتاور مقاوم و نیروی برشی مقاوم
۲۵۸	۱۰-۱۲- گشتاور خمشی
۲۵۸	۱۱-۱۲- نیروی برشی
۲۵۸	۱۲-۱۲- انتخاب علامت
۲۵۹	۱۳-۱۲- رابطه بین نیروی برشی و گشتاور خمشی

۲۸۰	مسجد ایاصوفیه
-----	---------------

۲۸۲	ترمینال فرودگاه TWA
-----	---------------------

## فصل سیزدهم: قاب ها

۲۸۴	اهداف آموزشی
۲۸۵	۱-۱۳ قاب ها
۲۸۵	۲-۱۳ انواع تکیه‌گاه‌ها در قاب‌ها
۲۸۵	۳-۱۳ قاب‌های معین از نظر استاتیکی
۳۰۴	۴-۱۳ اتصال اعضا در قاب‌ها
۳۰۸	۵-۱۳ قاب‌های مرکب
۳۰۹	شهر فرهنگ گالیسیا
۳۱۱	مرکز تجارت جهانی

## فصل چهاردهم: سازه‌ها با اتصالات مفصلی (سیستم نیروها در صفحه)

۳۱۳	اهداف آموزشی
۳۱۴	۱-۱۴ اتصال مفصلی
۳۳۴	ایوان مدائن
۳۳۶	فرودگاه استانستد

## فصل پانزدهم: اصطکاک و ماشین‌ها

۳۳۸	اهداف آموزشی
۳۳۹	۱-۱۵ یادآوری
۳۳۹	۲-۱۵ ضریب اصطکاک غلطشی
۳۴۵	۳-۱۵ اصطکاک در ماشین‌ها
۳۴۵	الف - گوه‌ها
۳۴۷	ب - پیچ‌ها
۳۴۹	ج - یاتاقان
۳۵۰	د- دیسک و اصطکاک قطبی
۳۵۸	ه - اصطکاک تسمه
۳۶۰	مدرسه آوکادو
۳۶۱	غرفه آمریکا، اکسپو ۷۰

**فصل شانزدهم: تعادل اجسام در فضا**

۳۶۳	اهداف آموزشی
۳۶۴	۱-۱۶ - دستگاه های مکانیکی
۳۶۴	۲-۱۶ - اتصالات دستگاه های مکانیکی (ترسیمه آزاد)
۳۷۱	۳-۱۶ - شرایط تعادل
۳۷۴	۴-۱۶ - شرایط معین و نامعین بودن دستگاه
۳۸۴	۵-۱۶ - تعریف برآیند پیچ گشتی وار
۳۸۹	استادیوم المپیک توکیو
۳۹۰	موزه سلطنتی جنگ

**فصل هفدهم: کار مجازی و کاربردهای آن**

۳۹۲	اهداف آموزشی
۳۹۳	۱-۱۷ - روش کار مجازی
۳۹۳	۲-۱۷ - کار انجام شده توسط یک نیرو
۳۹۴	۳-۱۷ - کار انجام شده توسط کوپل نیرو
۳۹۵	۴-۱۷ - تعریف کار مجازی و تعادل نقطه مادی
۳۹۶	۵-۱۷ - شرط تعادل اجسام در روش کار مجازی
۳۹۷	۶-۱۷ - دستگاه های مکانیکی ایده آل اجسام صلب
۳۹۸	۷-۱۷ - نیروی فعال و نیروی غیرفعال
۴۱۰	ترمینال فرودگاه بین المللی هامبورگ
۴۱۲	کارخانه کاغذسازی بورگو

**فصل هجدهم: مسایل تکمیلی**

۴۶۷	ساختمان کرایسلر
۴۶۹	سازه های کششی و غشایی

۴۷۲	پیوست
۴۷۸	فهرست منابع
۴۸۰	واژه نامه
۴۸۹	نمایه (فهرست موضوعی)
۴۹۳	اسامی ساختمان ها و اشخاص



## مقدمه

استاتیک و مقاومت مصالح، از دروس عمومی رشته‌های مهندسی و از جمله رشته‌های معماری و مهندسی عمران است که تاریخچه آن با شروع مهندسی در جهان آغاز می‌شود. نخستین متون ثبت‌شده در تاریخ در زمینه‌های استاتیک، مقاومت مصالح و دینامیک به ارشمیدس (۲۱۲ تا ۳۷۸ ق.م) نسبت داده می‌شود، آن گاه که ارشمیدس اصول اهرم‌ها و قانون شناوری اجسام را مطرح ساخت. در دوره‌های تاریخی بعد پیشرفت‌های قابل توجهی در این زمینه‌ها توسط دانشمندان بزرگی مانند داینچی، دالامبر، لاگرانژ، اولر، لاپلاس و دیگران تحقق یافت. گالیله (۱۵۶۴ تا ۱۶۴۲ م) با انجام آزمایش‌هایی در زمینه سقوط آزاد اجسام و نیوتن (۱۶۴۲ تا ۱۷۲۷ م) با بیان دقیق قوانین حرکت و قانون جاذبه، خدمات ارزشمندی به علم مکانیک نمودند. پیشرفت‌های بعدی در زمینه تئوری‌های طراحی سازه، قوانین پایداری سازه‌ها، ارتعاشات دینامیکی، ... و ارائه تئوری نسبت تاثیر این علم را در زندگی انسان بیش از پیش افزایش داد، به نحوی که امروزه تمامی پیشرفت‌های علمی و کاربردهای تخصصی در زمینه‌های مهندسی بر پایه اصول و قوانین این علم استوار شده است.

کتاب "استاتیک کاربردی برای دانشجویان رشته‌های معماری و مهندسی عمران" شامل مباحث اساسی در علم استاتیک است که با هدف درک رفتار سازه‌ها و فراگیری حسی و کاربردی اصول محاسبه و طراحی ساختمان‌ها تدوین شده است و از این نظر می‌تواند به منزله کتاب درسی در رشته‌های معماری و مهندسی عمران تدریس شود.

گرچه در زمینه استاتیک و مقاومت مصالح کتاب‌های متعددی به زبان‌های مختلف نوشته شده، اما در بیشتر آنها پس از بیان مفاهیم کلی، به ذکر نمونه‌ها و مثال‌هایی خاص اکتفا شده است که برای درک عمیق مفاهیم توسط دانشجویان به ویژه دانشجویان معماری و شناخت کاربردهای عملی مطالب کافی نمی‌باشد. از ویژگی‌های کتاب حاضر پرداختن به کاربردهای عملی هر مبحث پس از بیان اصول و مبانی آن با روشی نوین است. در هر فصل تعدادی مثال حل شده که هرکدام یکی از موارد استفاده اصول بیان شده را در مهندسی ساختمان و معماری مورد توجه قرار می‌دهد تا ضمن توجه عمیق دانشجویان به ابعاد و جنبه‌های مختلف اصول مذکور و کاربردهای آن، یادگیری مطالب به نحو دقیق‌تری میسر شود و آمادگی کافی برای فراگیری مباحث بعدی در زمینه انجام طراحی ساختمان‌ها و حل مسائل مختلف و پیچیده مهندسی فراهم گردد.

کتاب حاضر حاصل سال‌های متمادی مطالعه، تحقیق و تدریس دروس استاتیک، مقاومت مصالح، طراحی سازه‌های فولادی و سازه‌های بتنی در رشته معماری و سال‌ها تجربه عملی در طراحی پروژه‌های ساختمانی و به‌کارگیری تئوری‌ها و اصول مورد بحث در این علوم است. یکی از مهم‌ترین اهداف تالیف این کتاب ارائه مجموعه‌ای کامل و جامع از مباحث مورد نیاز رشته‌های مهندسی به‌ویژه رشته معماری و احتراز از بیان مطالب غیرضروری و غیر مفید بوده است.

در پایان هرفصل تعدادی از آثار برجسته معماری جهان که هر یک نشانه‌ای از کاربرد صحیح اصول طراحی سازه در شکل‌گیری یک اثر معماری می‌باشد، مختصراً معرفی گردیده است.

برای تالیف این مجموعه، کلیه کتاب‌ها، منابع و مراجع موجود در این زمینه به زبان‌های مختلف مورد بررسی دقیق قرار گرفته‌اند و مطالب منابع مختلف مورد ارزیابی و انتقاد - و نه پذیرش مطلق آنچه نگاشته اند- واقع شده و این راهی است که برای شکوفایی استعدادها و خلاقیت اندیشه‌های بارور ناگزیر از پیمودن آنیم و قبل از همه راهی است پیش روی مولفان و محققان متعهدی که تولید علم و ارتقای دانش مهندسی کشور آرمان و آرزوی قلبی آنهاست.

در پایان لازم است از مسئولان و کارکنان محترم مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران که با علاقه‌مندی بسیار امکان انتشار این کتاب را فراهم ساختند، تشکر و قدردانی نمایم.

**محمود گلابچی**

**دانشیار دانشکده معماری، دانشگاه تهران**