



# مقاومت مصالِح

مؤلف:

محمد جواد شفیعی

محمد مهدی نژادی

سرشناسه : شفیعی، محمدجواد، ۱۳۶۷.  
 عنوان و نام پدیدآور : مقاومت مصالح/مؤلف محمدجواد شفیعی، محمد مهدی نژادی؛  
 مشخصات نشر : تهران: سازمان بسیج دانشجویی، ۱۳۹۱.  
 مشخصات ظاهری : ۱۸۳ص، : مصور، جدول، نمودار ۲۲×۲۹ س.م.  
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۸۲۹۰-۸۱-۳  
 وضعیت فهرست‌نویسی : فیا  
 موضوع : مقاومت مصالح  
 شناسه سروده : مهدی نژادی، محمد، ۱۳۶۷  
 شناسه افزوده : سازمان بسیج دانشجویی  
 رده‌بندی کنگره : ۱۳۹۱ م ۷ ۷ ش / TA ۴۰۵  
 ردیف دیوید : ۶۲۰/۲  
 شماره کتابخانه ملی : ۲۹۹۴۱۷۱

نام کتاب : مقاومت مصالح  
 مؤلفان : محمدجواد شفیعی، محمد مهدی نژادی  
 ناشر : سازمان بسیج دانشجویی با همکاری مرکز خدمات آموزشی نصیر  
 نوبت چاپ : اول  
 سال و محل نشر : تهران، ۱۳۹۱  
 مدیر تألیف : علی مختاری  
 ناظر فنی چاپ : علی مختاری  
 حروفچینی و صفحه‌آرایی : علی اکبر هدایتی، الیاس مهدی‌پور  
 تیراژ : ۱۰۰۰ جلد  
 قیمت : ۱۳۰۰۰ تومان  
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۸۲۹۰-۸۱-۳

هرگونه چاپ و تکثیر از این اثر ممنوع و به موجب بند ۵ ماده ۲ قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و نشریه قانونی دارد.  
 نشانی: خیابان شریعتی، نرسیده به پل سید خندان، دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز خدمات  
 آموزشی نصیر تلفن: ۸۸۴۶۶۴۷۸۰-۸۸۴۶۶۹۳۵

«مرکز خدمات آموزشی نصیر» وابسته به بسیج دانشجویی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، اولین مرکز آموزشی در حیطه‌ی آمادگی آزمون‌های کارشناسی ارشد در کشور است که از شروع فعالیت‌های آن قریب به بیست سال می‌گذرد. این مرکز که در سال ۱۳۸۱ توسط دانشجویان بسیجی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی راه‌اندازی شد در طی این سال‌ها همواره در حال رشد، بی‌نی و تعالی بوده است و علاوه بر توسعه حیطه فعالیت‌ها و گسترش کمی مخاطبان، کیفیت آموزش و سطح علمی آن همواره روند رو به رشدی را داشته است. با توجه به این‌که این مرکز زیرمجموعه بسیج دانشجویی می‌باشد، اصلی‌ترین هدف خود را خدمت‌رسانی، ارتقاء علمی دانشجویان قرار داده است و از این جهت شاخص‌ترین مرکز آموزشی در میان مؤسسات مشابه است. این حقیقت فراتر از یک شعار می‌باشد؛ این رو همواره به‌عنوان مرکزی خوش‌نام و موفق در میان اساتید و دانشجویان محترم مطرح بوده است. به‌علاوه این مسئولین و کارکنان این مرکز خود نیز اغلب از دانشجویان دانشگاه‌های تهران هستند؛ بیشترین ارتباط را با دانشجویان مخاطب دارند و همواره با نظرات آنان استفاده می‌کنند. در زیر نکاتی برای آشنایی بیشتر شما مخاطب گرامی با این مرکز ذکر می‌شود:

۱) استفاده از اساتید مجرب و طایر اول دانشگاه‌های تهران که به‌لحاظ علمی جزو سرآمدترین اساتید کشور می‌باشند؛ از اصلی‌ترین نقاط قوت این مرکز است. تقاد ما این است که به این هدف مقدس و والا و این موفقیت هرگز نائل نمی‌شدیم مگر با مساعدت و تکریم و همکاری صادقانه اساتید گران‌قدر که در این راه، تمامی پتانسیل و انگیزه‌ی خود را سرلوحه‌ی فعالیت‌های مرکز قرار دادند.

۲) رویکرد ما همواره افزایش سطح کیفی فعالیت‌ها در عین ارائه آن با کمترین هزینه می‌باشد که با تحقق آن هدف اصلی ما که خدمت‌رسانی و ارتقاء هرچه بیشتر علمی دانشجویان این مرکز و بوم کنار عدالت آموزشی می‌باشد محقق می‌شود.

۳) با توجه به برگزاری ۲۰ سال کلاس‌های آموزشی و ۱۰ سال آزمون‌های آزمایشی، تجربه‌ی گران‌بهای اندوخته‌ایم که یکی از عوامل اصلی موفقیت روزافزون ما است. این تجربیات را سایر مؤسسات نیز در پاره‌ای از موارد از آن استفاده کرده و الگو گرفته‌اند، همواره مرکز خدمات آموزشی نصیر را در جایگاه پیشروترین مؤسسه آموزشی کارشناسی ارشد قرار داده است.

۴) با توجه به اهداف مذکور هزینه خدمات ارائه شده کمترین مقدار را در میان مؤسسات مشابه دارا می‌باشد، که این اختلاف عمیق بعضاً باعث تعجب و ایجاد سؤال برای مخاطبانی که تجربه با این مرکز آشنا شده‌اند ولی پس از آشنایی بیشتر با این مجموعه پاسخ سؤال خود را دریافت نموده‌اند.

با عطف به سابقه درخشان این مرکز در طی این سال‌ها و ضعف موجود در زمینه‌ی کتاب‌های کارشناسی ارشد به لحاظ کیفی، این مجموعه تصمیم گرفت که در این زمینه نیز وارد شده و افتخاری دیگر به افتخارات خود بیفزاید. «مجموعه کتاب‌های کارشناسی ارشد نصیر» که از این پس به تدریج در اختیار علاقمندان قرار خواهد گرفت، مجموعه‌ای بی‌نظیر با رویکردی نوین و ویژگی‌های منحصر به فرد به‌طوری که داوطلبان بعد از مراجعه به آن نیازی به استفاده از منابع دیگر نخواهند داشت. نظر به همکاری دانشجویان و نخبگان گران‌قدری که با خود کوله‌باری از تجربه ارزشمند علمی و بسیج دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی را دارند و رعایت بالاترین کیفیت در صفحه‌آرایی و چاپ، دانشجویان عزیز لذت واقعی یادگیری را خواهند چشید.

در پایان اجر معنوی فعالیت‌های این مرکز را به شهدای دفاع مقدس، این شمع‌های همیشه فروزان بشریت که با مقاومت مردانه خود حماسه‌ای جاوید آفریدند، تقدیم می‌کنیم.

## پیش‌گفتار

همانطور که می‌دانیم درس مقاومت مصالح یکی از دروس تعیین کننده آزمون کارشناسی ارشد رشته‌هایی همچون مهندسی مکانیک و عمران می‌باشد، بنابراین سرمایه‌گذاری و مطالعه عمیق این درس به تمام دانشجویان دوره کارشناسی که خواهان ورود به دانشگاه‌های برتر در دوره کارشناسی ارشد می‌باشند، توصیه می‌شود.

این کتاب به عنوان یک کتاب کمک درسی برای درس‌های مقاومت مصالح ۱ و ۲ رشته‌های مهندسی مکانیک و عمران نوشته شده و در این مجموعه سعی شده است که مطالب مهم و نکات کلیدی مثال‌های جامع کتاب‌های مرجع و پرکاربردی همچون **Johnston, Popov, Ogural, Hibbeler** و جزوات دانشگاهی دانشگاه‌های برتر تهران استفاده شود بطوریکه مطالب اضافی و سردرگم کننده حذف شده و تست‌های مهم بصورت خلاصه و مفید همراه با مثال‌های فراوان آورده شده است؛ طوریکه دانشجویان علاقه‌مند وقتی فصلی از این درس را می‌خوانند به مثال‌هایی از کتاب‌های مرجع و تست‌های سال‌های گذشته کنکور دسترسی پیدا کرده و با روش حل و نکات مهم آن آشنا می‌شوند که این باعث درک عمیق و بهتر موضوع می‌شود. همچنین ابتدا توصیه می‌شود اگر دانشجویان در بعضی از مطالب احساس نیاز به توضیح بیشتر می‌کنند حتماً به کتاب‌های مرجع رجوع کنند و سعی کنند تا با موضوع به‌طور کامل آشنا شوند زیرا که این نکات توانسته تا حدی مطالب دشوار این کتاب را پیش‌پا نیشتاده و طبیعی است تا با توجه به عمیق و مفهومی شدن سؤالات درس مقاومت مصالح طی سال‌های اخیر بسیاری از سؤالات حل تمرین‌های بسیار برای موفق بودن در حل سؤالات این درس در کنکور سراسری بسیار ضروری می‌باشد.

اما برخود لازم می‌دانیم تا مراتب تشکر و قدردانی ما از استاد عزیزمان جناب آقای دکتر محمد شریعیات که ما را در هنگام تألیف این کتاب راهنمایی کردند به‌جا آوریم و همچنین از زحمات دوست عزیزمان جناب آقای مهندس آرشد نعمتی حیاتی که زحمت ویرایش این مجموعه را بر عهده گرفتند تشکر می‌کنیم.

امیدواریم دانشجویان و اساتید ارجمند هرگونه کوتاه‌انگیزی که از دید مؤلفان پنهان مانده را یادآوری کنند تا این کتاب در چاپ‌های بعدی غنی‌تر و پربارتر به دست مخاطبان خود برسد. همچنین دانشجویان عزیز می‌توانند هرگونه سؤالی راجع به این درس را از طریق پست الکترونیک با ما در میان بگذارند تا ان‌شاءالله پاسخ‌گویی آن‌ها بتوانیم کمکی در روند پیشرفت شما عزیزان داشته باشیم.

محمد بهاد شفیعی - محمد مهدی نژادی

Mj\_shafiei@mech.sharif.ir

Mm.nejadi@mail.kntu.ac.ir

## فهرست:

|    |                                                       |
|----|-------------------------------------------------------|
| ۱  | فصل اول (تنش (Stress))                                |
| ۱  | تنش عمودی (Normal Stress)                             |
| ۲  | تعریف توزیع یکنواخت تنش                               |
| ۴  | تنش برشی (Shear Stress)                               |
| ۷  | تنش تماسی یا تنش لهدگی                                |
| ۷  | تنش محوری بر اثر حرکت دورانی                          |
| ۹  | فصل دوم (کرنش)                                        |
| ۹  | کرنش عمومی                                            |
| ۹  | کرنش برشی                                             |
| ۱۰ | قانون هوک، مدول کشسانی                                |
| ۱۰ | تغییر شکل عضوها در انبساط محوری                       |
| ۱۴ | کرنش حرارتی                                           |
| ۱۵ | تانسور تنش                                            |
| ۱۶ | ضریب پواسون                                           |
| ۱۶ | تعمیم قانون هوک برای ایزوتروپی خطی                    |
| ۱۸ | انبساط حجمی، مدول حجمی                                |
| ۱۹ | کرنش سطحی                                             |
| ۲۰ | مسائل مربوط به کرنش تحت تأثیر وزن خاص                 |
| ۲۱ | فصل سوم (پیچش)                                        |
| ۲۱ | ۱.۳ تغییر شکل در میله‌ی دایروی                        |
| ۲۲ | خاصیت مهم میله‌های دایروی:                            |
| ۲۲ | ۲.۳ کرنش برشی در میله‌ی دایروی                        |
| ۲۳ | تنش برشی در میله‌ی دایروی - ناحیه‌ی الاستیک           |
| ۲۵ | زاویه پیچش میله‌ی دایروی - ناحیه‌ی الاستیک            |
| ۳۰ | میله‌های نامعین استاتیکی                              |
| ۳۱ | میله‌های انتقال‌دهنده‌ی قدرت                          |
| ۳۲ | پیچش مقاطع جدار نازک                                  |
| ۳۲ | مقاطع جدار نازک باز                                   |
| ۳۳ | مقاطع جدار نازک بسته                                  |
| ۳۶ | پیچش در ناحیه‌ی پلاستیک در میله‌ی دایروی              |
| ۳۹ | فصل چهارم (خمش)                                       |
| ۳۹ | عضو متقارن در خمش خالص                                |
| ۳۹ | تغییر شکل در یک عضو متقارن در خمش خالص                |
| ۴۰ | تنش و تغییر شکل در ناحیه‌ی الاستیک                    |
| ۴۱ | مدول الاستیک مقطع (مقاومت به خمش)                     |
| ۴۲ | شعاع محور خنثی و رابطه‌ی آن با گشتاور خمشی            |
| ۴۶ | خمش اعضای مرکب (ساخته شده از چند ماده)                |
| ۵۰ | تیرهای بتونی مسلح                                     |
| ۵۱ | تغییر شکل پلاستیک                                     |
| ۵۱ | عضوهای ساخته شده از مواد الاستوپلاستیک - مقطع مستطیلی |

|     |                                                            |
|-----|------------------------------------------------------------|
| ۵۳  | بارگذاری محوری غیرمرکزی در یک صفحه تقارن - ناحیه‌ی الاستیک |
| ۵۷  | فصل پنجم (برش)                                             |
| ۵۹  | تنش برشی در تیر با مقاطع گوناگون                           |
| ۶۱  | رسم جریان برش در مقاطع جدار نازک                           |
| ۶۴  | بارگذاری نامتقارن عضوهای جدار نازک                         |
| ۶۷  | فصل ششم (تبدیل تنش)                                        |
| ۶۸  | تنش‌های اصلی، تنش برشی ماکزیمم                             |
| ۷۰  | تبدیل کرنش                                                 |
| ۷۱  | کرنش‌های اصلی                                              |
| ۷۴  | تنش در مفاصل تحت فشار جدار نازک                            |
| ۷۷  | فصل هفتم (خیز تیرها)                                       |
| ۷۷  | تغییر مکان تیرها                                           |
| ۷۷  | روش انرژی در تیرها                                         |
| ۸۰  | قضایای گشتا - سطح                                          |
| ۸۲  | روش جمع آثار                                               |
| ۸۴  | کاربرد توابع تکینگی در محاسبه خیز و جابجایی تیرها          |
| ۹۳  | فصل هشتم (روش‌های انرژی)                                   |
| ۹۳  | چگالی انرژی کرنش                                           |
| ۹۸  | قضیه‌ی بتی ماکسول                                          |
| ۹۸  | قضیه‌ی کار - انرژی                                         |
| ۱۰۱ | قضیه‌ی کاستیگلیانو                                         |
| ۱۰۱ | تغییر مکان در تیرها با استفاده از قضیه‌ی کاستیگلیانو       |
| ۱۰۲ | تغییر مکان خرپاها                                          |
| ۱۰۲ | تغییر مکان تیرها با استفاده از روش بار واحد                |
| ۱۰۹ | بارگذاری ضربه‌ای                                           |
| ۱۱۳ | فصل نهم (کمانش)                                            |
| ۱۲۳ | بارگذاری خارج از مرکز                                      |
| ۱۲۵ | آزمون سراسری                                               |
| ۱۲۵ | مکانیک ۱۳۸۶                                                |
| ۱۲۸ | مکانیک ۱۳۸۷                                                |
| ۱۳۰ | مکانیک ۱۳۸۸                                                |
| ۱۳۱ | مکانیک ۱۳۸۹                                                |
| ۱۳۳ | مکانیک ۱۳۹۰                                                |
| ۱۳۴ | عمران ۱۳۸۷                                                 |
| ۱۳۹ | عمران ۱۳۸۸                                                 |
| ۱۴۴ | عمران ۱۳۸۹                                                 |
| ۱۴۶ | عمران ۱۳۹۰                                                 |
| ۱۵۳ | پاسخنامه                                                   |
| ۱۵۳ | مکانیک ۱۳۸۶                                                |
| ۱۵۵ | مکانیک ۱۳۸۷                                                |

|     |             |
|-----|-------------|
| ۱۵۶ | مکانیک ۱۳۸۸ |
| ۱۵۸ | مکانیک ۱۳۸۹ |
| ۱۶۰ | مکانیک ۱۳۹۰ |
| ۱۶۲ | عمران ۱۳۸۷  |
| ۱۷۱ | عمران ۱۳۸۸  |
| ۱۷۷ | عمران ۱۳۸۹  |
| ۱۸۰ | عمران ۱۳۹۰  |

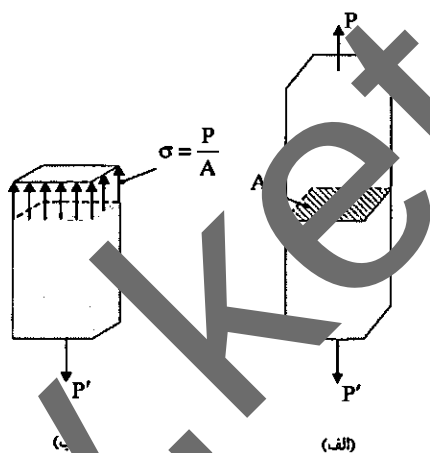
www.ketab.ir

## فصل اول

### تنش (Stress)

تنش: شدت نیروها توزیع شده روی یک مقطع بر واحد سطح تنش نامیده می شود که کمیتی برداری می باشد.

$$\text{تنش} = \frac{P}{A}$$



- واحدها
۱. سیستم SI :  $\frac{N}{m^2}$  یا Pa
  ۲. سیستم انگلیسی:  $\frac{lb}{in^2}$  یا PSI (هر KIPS برابر ۱۰۰۰ PSI است)
  ۳. سیستم mks :  $\frac{kg}{cm^2}$

### تنش عمودی (Normal Stress)

نسبت نیروی عمود بر سطح به آن سطح مقطع تنش عمودی یا نرمال نام دارد و با حرف یونانی  $\sigma$  (sigma) نمایش داده می شود. تنش در هر نقطه را به این صورت تعریف می کنیم: نقطه ی Q را روی جسم فرض نموده، سطح بسیار کوچکی  $\Delta A$  را در نظر می گیریم که نیروی بسیار کوچکی برابر  $\Delta F$  به آن وارد می شود. مقدار تنش برابر خواهد بود: