



# استاتیک، مقاومت مصالح و تحلیل سازه‌ها

ویژه‌آزمون‌های نظام مهندسی

عمران اجرا، نظارت و محاسبات

به همراه کلید واژه

ویرایش جدید



مؤلفین: مهندس حمیدرضا روانشادنی  
مهندس هومان بابااحمدی میلانی  
مهندس سینا اختاری



سرشناسه:  
عنوان و نام پدیدآور:  
وضعیت ویراست:  
مشخصات نشر:  
مشخصات ظاهری:  
شابک:  
وضعیت فهرست نویسی:  
یادداشت:  
موضوع:  
موضوع:  
موضوع:  
موضوع:  
موضوع:  
شناسه افزوده:  
شناسه افزوده:  
رده بندی کنگره:  
رده بندی دیویی:  
شماره کتابشناسی ملی:  
اطلاعات رکورد کتابشناسی:

روانشادینا، حمیدرضا، ۱۳۶۳ -  
استاتیک، مقاومت مصالح و تحلیل سازه‌ها؛ ویژه آزمون‌های نظام مهندسی عمران، اجراء، نظارت و محاسبات/  
مؤلفین حمیدرضا روانشادینا، هومان باباحمدی میلانی، سینا اخطاری.  
ویراست ۹.  
تهران: نوآور  
ص. ۲۵۲  
۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۵۵۶-۹  
فیبا  
چاپ دهم.  
مهندسی -- آزمون‌ها -- *Engineering -- Examinations*  
تحلیل سازه -- راهنمای آموزشی (عالی) -- *(Higher -- Study and teaching (Engineering) -- Structural analysis (Engineering)*  
تحلیل سازه -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)  
*(Higher) -- Problems, exercises, etc. (Engineering) -- Structural analysis (Engineering)*  
مقاومت مصالح -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی) -- *(Higher -- Strength of materials -- Problems, exercises, etc (Higher*  
استاتیک -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی) -- *(Higher) -- Statics -- Problems, exercises, etc.*  
باباحمدی میلانی، هومان، ۱۳۶۴ -  
اخطاری، سینا، ۱۳۶۶ -  
۶۴۵۷۸  
۱۷۱۰۷۶/۶۲۴  
۷۵۳۸۲۲۸  
فیبا

## استاتیک، مقاومت مصالح و تحلیل سازه‌ها

مؤلفین: مهندس حمیدرضا روانشادینا - مهندس هومان باباحمدی میلانی -



نشر نوآور

مهندس سینا اخطاری

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۵۵۶-۹

مرکز بخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخر رازی، خیابان شهدای  
ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸،  
طبقه اول، واحد ۳ تلفن: ۹۲ - ۶۶۴۸۴۱۹۱، [www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com)

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و  
مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصرأ متعلق به نشر  
نوآور می‌باشد. لذا هرگونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از  
قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، 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.

@Noavarpub



صفحه رسمی انتشارات نوآور در شبکه‌های اجتماعی

## فهرست مطالب

۹	مقدمه.....
۱۱	فصل اول / استاتیک و مقاومت مصالح.....
۱۱	۱-۱ مقدمه.....
۱۱	۲-۱ نیرو.....
۱۱	۳-۱ بردار.....
۱۲	۱-۳-۱ جمع ترسیمی بردارها.....
۱۲	۲-۳-۱ تجزیه بردار به مولفه‌های آن.....
۱۲	۳-۳-۱ جمع تحلیلی دو بردار.....
۱۳	۴-۳-۱ ضرب داخلی و بردار.....
۱۳	۵-۳-۱ ضرب خارجی دو بردار.....
۱۳	۴-۱ ایستایی یک جسم صلب.....
۱۳	۱-۴-۱ جهت قراردادی نیروها.....
۱۳	۲-۴-۱ انواع نیرو و نقطه اثر.....
۱۴	۳-۴-۱ گشتاور یک نیرو.....
۱۵	۴-۴-۱ جایجایی نیروها.....
۱۵	۵-۴-۱ گشتاور کوپل.....
۱۵	۵-۱ معادله تعادل.....
۱۶	۶-۱ عضو دو نیرویی.....
۱۶	۱-۶-۱ عضو سه نیرویی و بیشتر.....
۱۶	۷-۱ قیود و تکیه‌گاه‌های دو بعدی.....
۱۸	۸-۱ نمودار جسم آزاد.....
۱۸	۹-۱ روش حل مسائل تعادل جسم صلب.....
۲۰	۱۰-۱ خرپا.....
۲۰	۱-۱۰-۱ معین - نامعین.....
۲۰	۲-۱۰-۱ معینی یا نامعینی خرپا.....
۲۱	۳-۱۰-۱ تحلیل خرپا.....
۲۱	۴-۱۰-۱ تحلیل خرپا به روش مفصل.....
۲۳	۵-۱۰-۱ تحلیل خرپا به روش مقطع.....
۲۴	۶-۱۰-۱ تشخیص اعضا صفر نیروئی.....
۲۶	۱۱-۱ مرکز سطح.....
۳۲	۱۲-۱ لنگر اول سطح یا ممان استاتیک.....
۳۴	۱۳-۱ لنگر دوم سطح یا ممان اینرسی.....
۳۷	۱-۱۳-۱ حاصلضرب اینرسی.....
۳۸	۲-۱۳-۱ ممان اینرسی قطبی.....
۳۸	۳-۱۳-۱ قضیه محورهای موازی.....
۳۹	۴-۱۳-۱ ممان اینرسی مقاطع پر کاربرد.....
۴۰	۱۴-۱ شعاع ژیراسیون.....
۴۰	۱۵-۱ نیروهای داخلی و ترسیم نمودارهای آنها.....
۴۰	۱۶-۱ نیروهای خارجی وارد شده به تیر.....
۴۱	۲-۱۶-۱ نیروهای داخلی.....

- ۴۱-۱۶-۳ جهت‌های قراردادی در ترسیم نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی ..... ۴۱
- ۴۲-۱۶-۴ عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی ..... ۴۲
- ۴۲-۱۷-۱ محاسبه نیروهای برشی و لنگر خمشی ..... ۴۲
- ۴۳-۱۷-۱ رسم نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی ..... ۴۳
- ۴۳-۱۷-۲ روابط میان نیروی بار، نیروی برشی و لنگر خمشی ..... ۴۳
- ۴۶-۱۸-۱ مقاومت مصالح ..... ۴۶
- ۴۷-۱۸-۱ تنش عمودی ..... ۴۷
- ۴۷-۱۸-۲ تنش برشی  $\tau$  (متوسط) ..... ۴۷
- ۴۸-۱۸-۳ تنش برشی در بین‌های اتصال ..... ۴۸
- ۴۸-۱۸-۴ تنش حرارتی ..... ۴۸
- ۴۹-۱۸-۵ کرنش ..... ۴۹
- ۵۱-۱۸-۶ پیچش ..... ۵۱
- ۵۱-۱۸-۷ تنش خمشی در تیرها ..... ۵۱

### فصل دوم / مبانی، مفاهیم و کلیات تحلیل سازه ..... ۵۳

- ۵۳-۱-۲ سازه و تحلیل سازه ..... ۵۳
- ۵۳-۲-۲ معرفی انواع اعضای سازه‌ای ..... ۵۳
- ۵۳-۲-۱-۲ معرفی عضو دو نیرویی (محوری) ..... ۵۳
- ۵۴-۲-۲-۲ تعریف تیر ..... ۵۴
- ۵۴-۲-۲-۳ تعریف ستون ..... ۵۴
- ۵۴-۲-۲-۴ تعریف قاب ..... ۵۴
- ۵۴-۳-۲ انواع قیدها و اتصالات سازه‌ای ..... ۵۴
- ۵۴-۳-۲-۱ تعریف قید سازه‌ای ..... ۵۴
- ۵۵-۳-۱-۲-۶ قید کامل، صلب، گیردار، فیکس ..... ۵۵
- ۵۶-۴-۲ انواع تکیه‌گاه‌ها و شرایط تکیه‌گاهی ..... ۵۶
- ۵۶-۴-۲-۱ تکیه‌گاه ساده ..... ۵۶
- ۵۶-۴-۲-۲ تکیه‌گاه غلتکی ..... ۵۶
- ۵۷-۴-۲-۳ تکیه‌گاه گیردار ..... ۵۷
- ۵۷-۴-۲-۴ تکیه‌گاه لغزنده گیردار ..... ۵۷
- ۵۷-۴-۲-۵ تکیه‌گاه رابط یا میله‌ای ..... ۵۷
- ۵۸-۵-۲ معرفی انواع فنرها ..... ۵۸
- ۵۸-۶-۲ انواع نیروهای وارد بر سازه‌ها ..... ۵۸
- ۵۸-۷-۲ مفاهیم تعادل، پایداری و ناپایداری در سازه‌ها ..... ۵۸
- ۵۸-۷-۲-۱ تعادل ..... ۵۸
- ۵۸-۷-۲-۱-۱ عضو دو نیروئی ..... ۵۸
- ۵۹-۷-۲-۲ عضو سه نیرویی ..... ۵۹
- ۵۹-۷-۲-۲ پایداری ..... ۵۹
- ۵۹-۷-۲-۱-۲ ناپایداری ایستایی ..... ۵۹
- ۵۹-۷-۲-۲-۲ ناپایداری هندسی داخلی ..... ۵۹
- ۶۰-۷-۲-۳-۲ ناپایداری هندسی خارجی ..... ۶۰
- ۶۰-۷-۲-۳-۳ الگوهای پایداری در سازه‌ها ..... ۶۰



۶۱	۲-۷-۳-۱- مفصل موهومی .....
۶۲	۲-۸-۱- پایداری نسبی (اتصال دو سازه، سه سازه) .....
۶۲	۲-۸-۱- انواع اتصال دو جسم بهم .....
۶۲	۲-۸-۱-۱- اتصال دو جسم توسط سه میله غیر هم‌رس و غیر موازی .....
۶۳	۲-۸-۱-۲- اتصال دو جسم توسط یک میله و یک مفصل .....
۶۳	۲-۸-۲- انواع اتصال سه جسم متصل .....
۶۳	۲-۸-۲-۱- اتصال سه جسم توسط سه مفصل .....
۶۴	۲-۸-۲-۲- اتصال سه جسم توسط شش عضو دو نیروئی .....
۷۰	<b>فصل سوم / معین و نامعین بودن سازه‌ها</b> .....
۷۰	۳-۱- درجه نامعینی سازه‌ها .....
۷۰	۳-۲- تعیین درجه نامعینی در قاب‌ها .....
۷۱	۳-۲-۱- روش شمارش معادلات و مجهولات .....
۷۱	۳-۲-۱-۱- معادلات شرط .....
۷۳	۳-۲-۲- روش شمارش حلقه‌ها و کادرهای بسته .....
۷۵	۳-۲-۳- روش تبدیل قاب به شاخه‌های معین .....
۷۶	۳-۳- تعیین درجه نامعینی در تیرهای سراسری .....
۷۶	۳-۴- تعیین درجه نامعینی در خرپاها .....
۷۷	۳-۵- تعیین درجه نامعینی در سازه‌های دارای کابل .....
۷۷	۳-۶- تعیین درجه نامعینی در سازه‌های دارای فنرهای انتقالی، و فنرهای دورانی .....
۷۹	<b>فصل چهارم / تحلیل سازه‌های معین</b> .....
۷۹	پیش‌نیازهای فصل چهارم .....
۷۹	۴-۱- مقدمه .....
۸۰	۴-۲- راهنمای انتخاب روش برای تحلیل سازه‌های معین .....
۸۰	۴-۲-۱- راهنمای روش‌های انرژی برای تحلیل سازه‌های معین .....
۸۰	۴-۲-۲- راهنمای روش تیر مزدوج .....
۸۰	۴-۲-۳- راهنمای روش لنگر سطح .....
۸۰	۴-۲-۴- راهنمای روابط تیرهای پایه .....
۸۱	۴-۳- یادآوری از استاتیک .....
۸۱	۴-۳-۱- تعریف نیروی برشی .....
۸۱	۴-۳-۲- تعریف نیروی محوری .....
۸۱	۴-۳-۳- تعریف لنگر خمشی .....
۸۲	۴-۳-۴- نمودار تغییرات نیروی برشی و لنگر خمشی (روش جمع زدن) .....
۸۳	۴-۳-۴-۱- ترسیم نمودار تغییرات نیروی برشی با استفاده از روش جمع زدن .....
۸۳	۴-۳-۴-۲- ترسیم نمودار لنگر خمشی به روش جمع زدن .....
۸۵	۴-۳-۴-۳- مثال‌هایی برای ترسیم نمودار برش و لنگر خمشی در سازه‌های معین .....
۹۵	۴-۴- تعیین تغییر شکل‌های سازه معین .....
۹۶	۴-۵- روش کار مجازی "بار واحد" برای تحلیل سازه‌های معین .....
۹۷	۴-۵-۱- گام‌های روش کار مجازی برای تحلیل سازه معین .....
۹۷	۴-۵-۲- محاسبه تغییر شکل سازه معین در صورتیکه نشست تکیه‌گاهی، تغییر دما یا خطای ساخت وجود داشته باشد .....
۱۰۱	داشته باشد .....



- ۱۰۳-۳-۵-۴- رابطه کار مجازی برای تحلیل خرپاهای معین.....
- ۱۰۶-۶-۳- روش کار حقیقی - انرژی برای تحلیل سازه‌های معین.....
- ۱۰۷-۱-۶-۴- قضیه کاستیگلیانو.....
- ۱۱۰-۲-۶-۴- انرژی کرنشی داخلی تحت بارهای محوری.....
- ۱۱۰-۳-۶-۴- انرژی کرنشی داخلی تحت خمش خالص.....
- ۱۱۱-۴-۶-۴- انرژی کرنشی داخلی بر اثر تلاش برشی.....
- ۱۱۱-۵-۶-۴- انرژی کرنشی در تیر بر اثر نیروی برشی.....
- ۱۱۱-۶-۶-۴- انرژی کرنشی در میله بر اثر گشتاور پیچشی.....
- ۱۱۱-۷-۶-۴- تعیین تغییر شکل تیر و قابها به روش انرژی.....
- ۱۱۲-۱-۷-۶-۴- تعیین تغییر شکل تیرهای خمیده.....
- ۱۱۳-۷-۴- روش تیر مزدوج برای تحلیل سازه‌های معین.....
- ۱۱۴-۱-۷-۴- گام‌های روش تیر مزدوج.....
- ۱۱۴-۲-۷-۴- چند نکته مهم در روش تیر مزدوج.....
- ۱۱۷-۸-۴- روش لنگر سطح.....
- ۱۱۷-۱-۸-۴- مراحل روش لنگر سطح.....
- ۱۱۷-۲-۸-۴- چند نکته مهم در روش لنگر سطح.....
- ۱۱۸-۹-۴- استفاده از روابط تیرهای پایه برای تحلیل سازه‌های معین.....
- ۱۲۵-۱۰-۴- تحلیل خرپاهای معین.....
- ۱۲۶-۱-۱۰-۴- روش مفصل برای تحلیل خرپای معین.....
- ۱۲۷-۲-۱۰-۴- روش مقطع برای تحلیل خرپاهای معین.....
- ۱۳۰- تست‌های فصل چهارم آزمون نظام مهندسی سال‌های گذشته.....

#### فصل پنجم / تحلیل سازه‌های نامعین..... ۱۴۲

- ۱۴۲-۱-۵- پیش نیازهای فصل ۵.....
- ۱۴۲-۲-۵- خلاصه تحلیل سازه‌های نامعین.....
- ۱۴۲-۳-۵- راهنمای انتخاب روش تحلیل سازه‌های نامعین.....
- ۱۴۲-۱-۳-۵- راهنمای استفاده از روش نیرو (نرمی).....
- ۱۴۳-۲-۳-۵- راهنمای استفاده از روش تغییر مکان (سختی).....
- ۱۴۳-۳-۳-۵- راهنمای استفاده از روش معادل‌سازی با فنر.....
- ۱۴۳-۴-۳-۵- راهنمای استفاده از روش تحلیل تقریبی.....
- ۱۴۴-۴-۵- روش سازگاری تغییر شکل‌ها برای تحلیل سازه‌های نامعین.....
- ۱۵۱-۵-۵- روش معادل‌سازی با فنر برای تحلیل سازه‌های نامعین.....
- ۱۵۱-۱-۵-۵- معرفی انواع فنر و نحوه معادل‌سازی یک عضو با فنر.....
- ۱۵۲-۱-۱-۵-۵- سختی فنرهای خطی، معادل با اعضاء تحت نیروی محوری.....
- ۱۵۳-۲-۱-۵-۵- سختی فنرهای خطی، معادل با اعضاء تحت خمش.....
- ۱۵۴-۳-۱-۵-۵- سختی فنرهای دورانی، معادل با اعضاء تحت پیچش.....
- ۱۵۵-۴-۱-۵-۵- فنرهای موازی.....
- ۱۵۶-۵-۱-۵-۵- فنرهای سری.....
- ۱۵۹-۶-۵- روش شیب افت.....
- ۱۶۰-۱-۶-۵- درجه آزادی.....
- ۱۶۰-۱-۶-۵- درجه آزادی انتقالی (DI).....

۱۶۰	..... ۵-۶-۱-۱-۱- چند نکته در محاسبه درجه آزادی انتقالی
۱۶۲	..... ۵-۶-۱-۲- درجه آزادی چرخشی ( $D2$ )
۱۶۳	..... ۵-۶-۱-۳- نکات درجه‌ی آزادی
۱۶۳	..... ۵-۶-۲- مجهولات، قراردادهای و روابط روش شیب افت
۱۶۳	..... ۵-۶-۲-۱- قرارداد علامت شیب‌ها و دوران‌ها در روش شیب‌افت
۱۶۴	..... ۵-۶-۲-۲- روابط شیب افت
۱۶۹	..... ۵-۷- روش توزیع لنگر
۱۷۰	..... ۵-۷-۱- تعاریف و اصطلاحات مربوط به روش توزیع لنگر
۱۷۰	..... ۵-۷-۱-۱- سختی دورانی ( $k'$ )
۱۷۰	..... ۵-۷-۱-۱- جدول مقادیر سختی دورانی
۱۷۱	..... ۵-۷-۲- ضریب انتقال لنگر عضو ( $C$ )
۱۷۱	..... ۵-۷-۳- ضریب توزیع لنگر ( $D$ )
۱۷۱	..... ۵-۷-۱-۳- جدول ضرایب انتقال
۱۷۲	..... ۵-۷-۴- لنگرهای گیرداری $F.E.M.$
۱۷۲	..... ۵-۷-۲- مراحل تحلیل سازه به روش توزیع لنگر
۱۷۴	..... ۵-۸- روش پرتال
۱۷۶	..... ۵-۹- تعاریف تقارن و پادمتقارن
۱۷۶	..... ۵-۹-۱- نمونه‌هایی از بارگذاری متقارن
۱۷۷	..... ۵-۹-۲- نمونه‌هایی از بارگذاری پادمتقارن
۱۷۷	..... ۵-۹-۳- سازه متقارن - بار متقارن
۱۷۸	..... ۵-۹-۴- سازه متقارن - بار پاد متقارن
۱۷۸	..... ۵-۹-۵- سازه پادمتقارن - بار متقارن
۱۷۹	..... ۵-۹-۶- سازه پادمتقارن - بار پادمتقارن
۱۸۳	..... تست‌های فصل پنجم آزمون نظام مهندسی سال‌های گذشته
۲۰۳	..... فصل ششم / خط تأثیر
۲۰۳	..... ۶-۱- خط تأثیر چیست؟
۲۰۴	..... ۶-۲- روش مولر - برسلاو
۲۰۵	..... ۶-۲-۱- خط تأثیر لنگر خمشی
۲۰۵	..... ۶-۲-۲- خط تأثیر نیروی برشی در عضو
۲۰۵	..... ۶-۳- خط تأثیر در سازه‌های نامعین
۲۱۰	..... ۶-۴- کاربرد خط تأثیر
۲۱۲	..... تست‌های فصل ششم آزمون نظام مهندسی سال‌های گذشته
۲۵۲	..... کلید واژه
۲۵۲	..... منابع و مآخذ

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 هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی دی اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور بصورت فایل ورد یا پی دی اف و موارد اینچنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات که مسئولیت اداره سایت این انتشارات را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هر گونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر شرعی حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت ارشاد و نیز سایر مراجع قانونی اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار گرفته و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که کتابفروشی اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، افست و غیره از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و موزعین محترم، از طریق وزارت ارشاد، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

**خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه**

**غیر اصل کتاب شرعاً حرام است.**

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق مراتب را از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱-۲ و ۰۹۱۰۲۹۹۱۰۸۹ (تلگرام انتشارات) و یا از طریق ایمیل [info@noavarpub.com](mailto:info@noavarpub.com) و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت [www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com) به این انتشارات ابلاغ نمایید تا از تضييع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید. و نیز به عنوان تشکر و قدردانی از کتب انتشارات نوآور هدیه دریافت نمایید.



موفقیت در آزمون نظام مهندسی در گرو بررسی دقیق منابع آزمون و انتخاب کتب مناسب است، در این آزمون حدود ۱۰٪ سؤالات مربوطه به درس تحلیل سازه‌ها می‌باشد. بدیهی است که حل مسائل تحلیل سازه نیازمند تسلط کافی بر استاتیک می‌باشد، لذا در این کتاب سعی شده مفاهیم کلی و پایه‌ای شامل معرفی انواع تکیه‌گاهها و شناخت رفتار اعضاء شرح داده شده تا از رجوع به کتب استاتیک بی‌نیاز شوید. فصل اول این کتاب بصورت اختصاصی برای یادآوری استاتیک و مقاومت مصالح نوشتار شده است. لازم به ذکر است که سوالی از این فصل بصورت مستقیم در آزمون نظام مهندسی مطرح نمی‌شود و اگر تسلط نسبی بر موضوع دارید مطالعه این فصل ضروری نیست و مطالب مهم این فصل فراخور نیاز در فصول بعدی بصورت گزیده ارائه شده است.

در فصل دوم مفاهیم کلی و چگونگی تعیین پایداری سازه ارائه شده و در فصل سوم نحوه محاسبه درجه نامعینی سازه مشخص شده است. در صورتیکه سازه بررسی شده در فصل سوم از نوع معین باشد، برای تحلیل آن بایستی از روشها تحلیل شرح داده شده در فصل چهارم و در صورتی که سازه نامعین باشد بایستی از روشهای تحلیل سازه فصل پنجم استفاده گردد.

انتخاب روش تحلیل مناسب یکی از مهم‌ترین مراحل در تحلیل یک سازه می‌باشد. در ابتدای فصول ۴ و ۵ برای بارگذاری‌های مختلف و با توجه به مجهولات مسئله، پیشنهادهاتی جهت انتخاب روش تحلیل سازه به شرح تفصیلی آن روش و مثال‌های حل شده مراجعه نموده و مجهولات مسئله محاسبه می‌گردد. امید است رویکرد تألیف این کتاب، کمک شایانی به یادآوری مفاهیم پایه‌ای و انتخاب روش مناسب تحلیل سازه ارائه نماید.

در اینجا لازم است از زحمات مهندسین گرامی عالیجنابان حسن فراهانی، سینا نجفیان، امیر ناصری دهکردی و بخصوص محقق جوان دکتر نصرآ... علی‌نژاد از دانشگاه فلوریدا که با ویراستاری فنی ما را در ارائه این کتاب یاری نمودند، تشکر نمائیم.

از خوانندگان محترم تقاضا می‌شود انتقادات، پیشنهادات و نقطه نظرات خود را در مورد این کتاب به آدرس [noavar33@yahoo.com](mailto:noavar33@yahoo.com) ارسال نمایید.

## تقدیم

پدر و مادر  
به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار

دکتر مهدی روانشادنیا  
استادی که از تقسیم داشته‌ها و یافته‌هایش، بیمی ندارد

## فصل اول

# استاتیک و مقاومت مصالح

مطالعه این فصل برای مهندسان و عزیزانی که مفاهیم اولیه تعادل، ایستایی و مقاومت مصالح را به یاد دارند الزامی نیست و از این فصل سوالی بصورت مستقیم در آزمون نظام مهندسی ساختمان مطرح نمی شود.

در این فصل مفاهیم مورد نیاز و ضروری از مباحث استاتیک و مقاومت مصالح تشریح شده است و در فصول دیگر این کتاب بر حسب کاربرد، بصورت نکته و یادآوری از این فصل نقل شده است.

### ۱-۱ مقدمه:

استاتیک به بررسی تعادل اجسام صلب تخت نیروهای خارجی وارده می پردازد و در مورد تلاش های ایجاد شده در داخل مقطع جسم بحث نمی کند. در مقاومت مصالح خواهیم دید که بعد از آنکه نیروهای خارجی وارد به جسم از استاتیک مشخص شد، این نیروها چه تلاش هایی در داخل جسم صلب ایجاد می کنند. پس در استاتیک تنها ایستایی و تعادل جسم صلب تحت نیروهای خارجی بررسی می شود. در ابتدا به معرفی پارامترهای موثر در آموزش استاتیک (مانند نیرو و بردار) پرداخته و سپس معادلات تعادل را بررسی و مفاهیم پایداری و روش های حل مسئله را مرور می کنیم.

### ۱-۲ نیرو:


اثر یک جسم بر جسم دیگر را نیرو می نامند. نیرو کمیتی برداری است که دارای جهت، راستا و نقطه اثر است. واحد نیرو در SI نیوتن بوده و با  $N$  نمایش داده می شود. در مسائل اغلب با  $KN$  روبرو می شویم که معادل ۱۰۰۰ نیوتن است.

### ۱-۳ بردار:

یک بردار دارای یک کمیت عددی همواره مثبت به نام اندازه بردار و یک بردار یکه با اندازه واحد در همان راستا و دارای علامت مثبت و یا منفی است که نشان دهنده جهت بردار بوده فلذا علامت منفی معرف جهت معکوس در بردار است نه کمیت عددی آن. (در ادامه خواهید دید که این علامت مثبت و منفی بطور قراردادی معرف نیروهای کششی و فشاری

وارد بر جسم صلب خواهد بود)

راستای بردار  
پیکان جهت بردار



راستای بردار  
پیکان جهت بردار

در استاتیک جهت تحلیل نیروهای وارد به یک جسم از بردارها و قوانین حاکم بر آن استفاده می‌کنیم، فلذا ابتدا لازم است مطالبی از قوانین بردارها برای شما یادآوری شود.

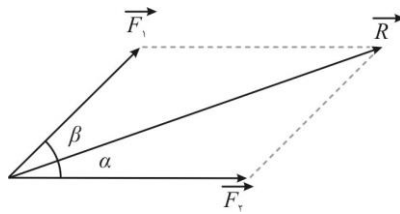
### ۱-۳-۱ جمع ترسیمی بردارها:

بردار برآیند یا جمع دو بردار، برداری است که با راستای دو بردار تشکیل متوازی الاضلاعی می‌دهد که این بردار برآیند قطر آن متوازی الاضلاع بوده و بین زوایای آنها رابطه زیر همواره برقرار است. دقت کنید که با ترسیم این ۲ نیرو از روش دم به سر به نصف متوازی الاضلاع می‌رسیم که تشکیل یک مثلث را می‌دهد که داریم:

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta$$

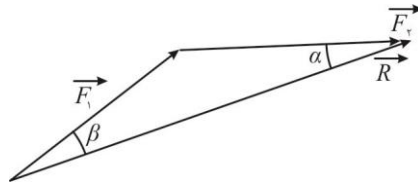
$$(\theta = \alpha + \beta)$$

قانون کسینوس‌ها برای بدست آوردن اندازه اضلاع:



$$\frac{R}{\sin \theta} = \frac{F_1}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin \beta}$$

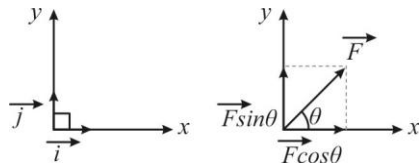
قانون سینوس‌ها در یک مثلث:



### ۱-۳-۲ تجزیه بردار به مولفه‌های آن:

یک بردار را می‌توان به دو یا چند بردار تجزیه کرد که در نهایت برآیند همه آنها مساوی بردار اصلی باشد. به این عمل جایگزینی تجزیه بردار به مولفه‌های آن گفته می‌شود. از میان حالت‌های مختلف حالت پرکاربرد آن در مهندسی تجزیه بردار به مولفه‌های متعامد آن در دستگاه کارترین است بصورت زیر:

$$\vec{F} = \vec{F}_{xi} + \vec{F}_{yj} = (F \cos \theta)\vec{i} + (F \sin \theta)\vec{j}$$



همواره میان یک بردار با مولفه‌های متعامد آن، رابطه زیر برقرار است:

$$\|\vec{F}\| = \sqrt{\|\vec{F}_{xi}\|^2 + \|\vec{F}_{yj}\|^2}$$

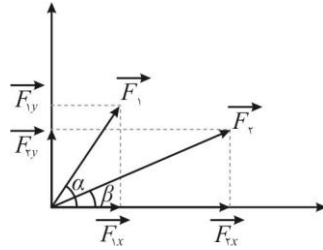
### ۱-۳-۳ جمع تحلیلی دو بردار:

برای بدست آوردن جمع دو یا چند بردار نیرو می‌توان با تجزیه آنها بر محورهای متعامد و از طریق روابط زیر مولفه‌های متعامد بردار جمع را بدست آورد.



$$\sum f_x = F_x \cos \alpha + F_y \sin \alpha$$

$$\sum f_y = F_y \cos \alpha + F_x \sin \alpha$$



### ۱-۳-۴ ضرب داخلی و بردار:

حاصل ضرب داخلی دو بردار، برابر است با حاصلضرب اندازه‌های آنها در کسینوس زاویه بین آنها. این حاصلضرب کمیتی اسکالر (عددی) است.

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \|\vec{A}\| \|\vec{B}\| \cos \theta$$

### ۱-۳-۵ ضرب خارجی دو بردار:

حاصل ضرب خارجی دو بردار، کمیتی برداری است که اندازه آن برابر است با حاصلضرب اندازه‌های آن دو بردار در سینوس زاویه بین آنها. راستای این حاصلضرب عمود بر صفحه ۲ بردار است و جهت آن از قانون دست راست تعیین می‌گردد.

$$\|\vec{C}\| = \|\vec{A}\| \|\vec{B}\| \sin \theta$$

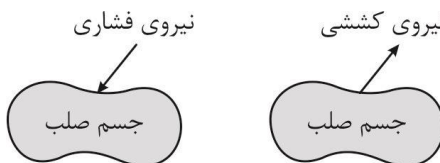
❖ همانطور که مشخص است چنانچه ۲ بردار برهم عمود باشند سینوس زاویه بین آنها مساوی یک بوده و تنها با ضرب اندازه‌های ۲ بردار می‌توان حاصلضرب را محاسبه نمود. این نکته در محاسبه سریع گشتاور بسیار کاربرد دارد.

### ۱-۴-۴ ایستایی یک جسم صلب:

یک جسم صلب در تعادل است چنانچه برآیند نیروها و اثرات آنها (گشتاورهای وارده) برابر با صفر باشد. در ادامه به بررسی چگونگی ایجاد این تعادل می‌پردازیم به خاطر داشته باشید چنانچه یک جسم صلب در تعادل باشد تک تک اعضای آن نیز در تعادل است.

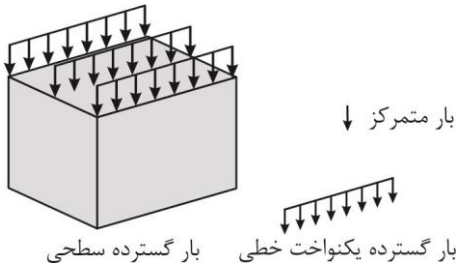
### ۱-۴-۱ جهت قراردادی نیروها:

در بررسی تعادل اجسام صلب، جهت نیروها یا به سمت جسم است که آن را فشاری می‌نامیم و بطور قراردادی منفی در نظر می‌گیریم و یا به سمت خارج از جسم است که آن را کششی و مثبت فرض می‌کنیم. بصورت یک روش کلی نیروهایی که مقادیر آنها مجهول می‌باشند، ابتدا مثبت فرض کرده و چنانچه بعد از محاسبه مقدار آنها منفی بدست آمد باید جهت بردار نیرو را عکس کرده و آن نیرو را فشاری (به سمت جسم) در نظر بگیریم.



### ۱-۴-۲ انواع نیرو و نقطه اثر:

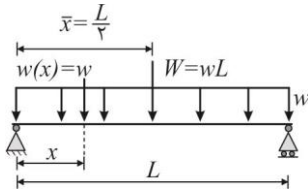
نیروها می‌توانند بصورت منفرد (نقطه‌ای) و یا گسترده خطی (ثابت یا متغیر) به جسم اثر کنند، نیروهای منفرد بصورت تک بردار در نظر گرفته می‌شوند و نقطه اثر آنها دقیقاً محل فرود آنها بر جسم



است. مجموعه‌ای از نیروهای منفرد می‌توانند بصورت دسته‌ای و یا اصطلاحاً گسترده به جسم اثر کنند. همانگونه که عنوان شد، بار گسترده مجموعه بی‌شمار بار نقطه‌ای است که تشکیل سطحی از اثر را می‌دهند. یک طول معین از این سطح اثر برابر است با بار گسترده خطی.

برای حل مسائل تعادل در استاتیک، بار گسترده خارجی وارد شده به جسم، باید با بار نقطه‌ای معادل آن بار گسترده جایگزین و در محاسبات اعمال شود. این بار نقطه‌ای دقیقاً دارای اثر مشابه بار گسترده بر جسم بوده و هم جهت با آن است. مقدار این نیرو برابر با مساحت بارگسترده بوده و نقطه اثر آن در مرکز سطح بار گسترده قرار داده شده و دقیقاً همان تاثیر بار گسترده را بر جسم خواهد داشت.

در انتهای این فصل بطور کامل به مفهوم مرکز سطح آشنا خواهید شد

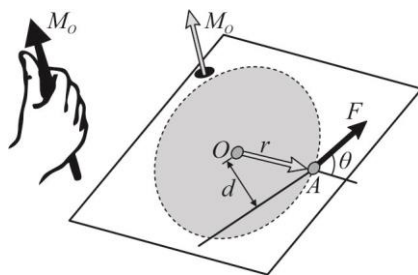


### ۱-۴-۳ گشتاور یک نیرو:

نیرو در هر راستایی که به جسم صلب دو بعدی وارد شود (در صفحه) وارد شود جسم را در همان جهت به حرکت در می‌آورد (قانون نیوتون) و اگر بنا باشد که جسم دارای قید باشد (مثلاً به تکیه‌گاهی متصل گردد) آنگاه این نیرو چنانچه در راستای آن قید نباشد سبب چرخش آن جسم حول آن نقطه می‌شود که به این پدیده لنگر یا گشتاور گفته می‌شود.

❖ از آنجا که نیرو کمیته برداری است لذا گشتاور یک نیرو حول یک نقطه نیز کمیته برداری بوده و با مجموع گشتاور تک تک مولفه‌های آن نیرو حول آن نقطه برابر است.

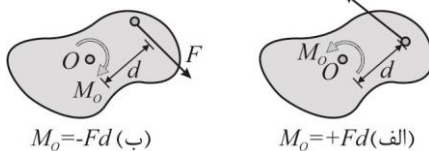
❖ چنانچه راستای نیرو با نقطه لنگرگیری ما در یک راستا باشد بازوی لنگر صفر بوده فلذا گشتاور صفر می‌شود. با استفاده از این نکته و نکته قبل برای تسریع در محاسبات می‌توان نیروها را به



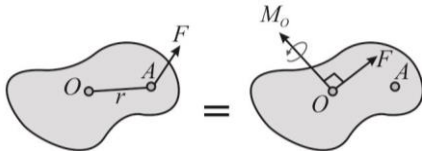
گونه‌ای تجزیه نمود که گشتاور یک مولفه آن صفر شده و گشتاور مولفه دیگر باقی بماند.

❖ همانطور که در ضرب خارجی بردارها گفته شد، گشتاور نیز حاصل ضرب خارجی دو بردار است. فلذا راستای آن عمود بر صفحه جسم صلب جسم بوده و جهت آن از قانون دست راست تعیین می‌شود.

❖ از ضرب برداری بخاطر دارید که در صورتی که زاویه بین ۲ بردار ۹۰ درجه باشد سینوس برابر یک شده و محاسبات برداری ساده می‌شوند پس داریم



۴-۴-۱ جابجایی نیروها:

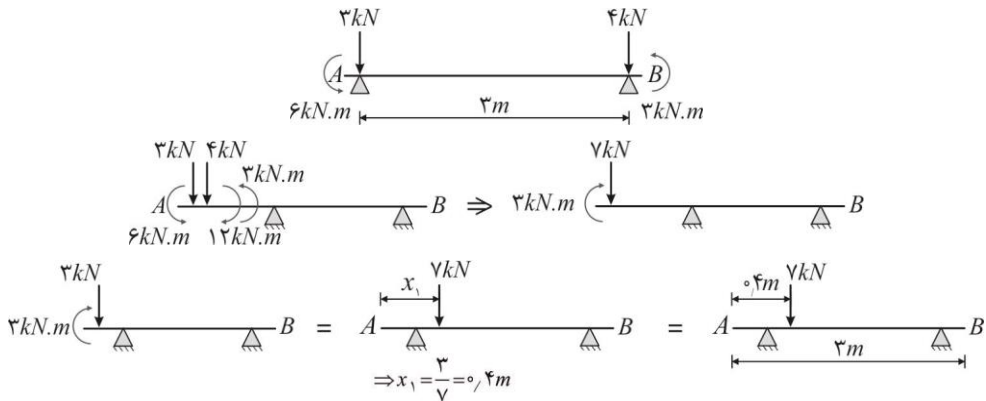


یک نیرو را نمی‌توان از نقطه اثر آن به نقطه‌ای دیگر منتقل کرد مگر آنکه خود نیرو را به همراه اثر آن نیرو یعنی گشتاور آن در نقطه جدید را باهم منتقل کنیم.

**مثال:** در تیر زیر نیروها و کوپل‌های وارد شده را با یک نیرو و کوپل در نقطه A جایگزین کنید. سپس سیستم معادل نیرو و کوپل نقطه A را با یک تک نیرو جایگزین کنید.

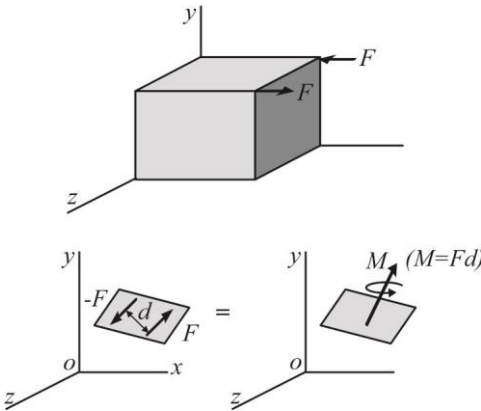
**حل:** با استفاده از جابجایی و جایگزین کردن نیروی ۴ کیلونیوتن به نقطه A با یک نیرو و یک کوپل داریم:

همچنین همانطور که گفته شده کوپل مستقل از نقطه اثر بوده و در هنگام برآیند گیری قابل جابجایی است پس با فرض بودن خمش پاد ساعتگرد برای کلیه نیروها و کوپل‌ها داریم:



۵-۴-۱ گشتاور کوپل:

همانطور که دیدید هنگام جابجایی یک نیرو به نقطه جدید، علاوه بر نیرو، گشتاور نیرو نسبت به آن



نقطه نیز باید منتقل شود. پس گشتاور تابعی از نقطه مورد نظر لنگرگیری است، چرا که نیرو باید در فاصله میان این دو ضرب شود. اما یک حالت خاص وجود دارد که گشتاور مستقل از نقطه می‌شود و آن زمانی است که ۲ نیرو هم اندازه و هم راستا اما خلاف جهت هم به یک جسم اثر کند که به آن کوپل نیرو میگویند. در این حالت برآیند ۲ نیرو صفر شده و گشتاور هر دو نیرو نسبت به هر نقطه دلخواه برابر است با حاصلضرب مقدار این نیروها در فاصله بین آن دو.

۵-۱ معادله تعادل:

برای آنکه یک جسم صلب در تعادل باشد باید مجموع نیروهای وارد به آن جسم و اثرات آنها در هر