

تئوری مقدماتی سازه‌ها

ترجمه و تألیف

محمد بدیع

استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

www.ketab.ir



دانشگاه تهران

شماره ۴۵۳

سرشناسه: بدیعی، مجید، ۱۳۲۴ - گردآورنده، مترجم

عنوان و نام پدیدآور: تئوری مقدماتی سازه‌ها / مجید بدیعی.

وضعیت ویراست: ویراست ۲.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۷.

مشخصات ظاهری: ۶۳۳ ص. : مصور، جدول.

فروست: انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ شماره ۴۵۳.

شابک: 978-602-6079-10-0

وضعیت فهرست‌ریسی: فیپا

یادداشت: چاپ قبلی: دانشگاه فنی و مهندسی، ۱۳۶۵.

یادداشت: محور اصلی: باب ۱ از برگردان کاملی از کتاب Elementary Theory of Structures نوشته Yuan-Yu Hsieh است.

موضوع: تحلیل سازه

رده بندی کنگره: ۹۱۳۹۷-۴-۶۴۵ T

رده بندی دیویی: ۶۲۴/۱۷۱

شماره کتابشناسی ملی: ۵۲۱۵۳۸۱

press.kntu.ac.ir



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: تئوری مقدماتی سازه‌ها

مؤلف: مهندس مجید بدیعی

ویراست: دوم

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: خرداد ۱۳۹۷، تهران

شمارگان: ۵۰۰ جلد

چاپ: پدیدرنگ

صحافی: گرنامی

قیمت: ۴۸۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - شماره ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

پیش گفتار

تحلیل سازه‌ها شاخه‌ای است تخصصی از علم مکانیک که در آن سازه‌های مهندسی تحت تأثیر عوامل مختلف خارجی و محیطی مانند بارگذاری، نشست و تغییر درجه حرارت چه از حیث ایستایی و چه از لحاظ تحلیل نیروها و تغییرات شکل مورد بررسی قرار می‌گیرند. این بررسی که واکنش خارجی و داخلی سازه‌ها را در برابر عوامل یاد شده در بر می‌گیرد، اساساً با در نظر گرفتن خواص هندسی و فیزیکی اجزاء سازه و بر پایه مفاهیم و اصول اولیه مکانیک نظری، مادل و تغییر شکل انجام می‌گیرد. با توجه به این نکته، یکی از عوامل بسیار موثر بر درک کامل این علم، کسب مهارت‌های لازم در مباحث ایستایی و مقاومت مصالح است، از آنجائی که علوم مزبور همگی بر پایه تحلیل‌های ریاضی استوارند، موفقیت در این امر تنها با تمرین کافی و حل مسائل متعدد میسر خواهد بود.

محور اصلی کتاب حاضر را کتاب معروف پرفسور *Yuan-Yu Fien* یعنی «تئوری مقدماتی سازه‌ها» تشکیل می‌دهد، و بر همین اساس نیز عنوان کتاب انتخاب شد، هرچند که در تدوین آن از کتاب‌های دیگری نیز استفاده گردید. ولی برای آن که روال منطقی و طبیعی بحث همچنان محفوظ بماند، این مطالب اضافه شده که در مقاومت مصالح نیز به آنها اشاره می‌شود، در فصل‌های ۱۹ و ۲۰ تحت عنوان پیوست‌هایی تنظیم گردید، و امید است که با اضافه کردن این مطالب، محتوای کتاب هرچه بیشتر با ریز مواد درس تحلیل سازه‌ها در دانشگاه‌های سراسر کشورمان منطبق شده باشد.

از ویژگی‌های مهم این کتاب می‌توان روند منطقی و بیان ساده، ارائه و حل مسائل

متنوع و به کارگیری سیستم واحدهای متریک (SI) را در آن برشمرد. از دیگر خصوصیات جالب کتاب آن است که اکثر روش‌های تحلیلی در انتهای فصل مربوطه در قالب روابط ماتریسی نیز نمایش داده شده‌اند و پس از این معرفی تدریجی نقش ماتریس‌ها در سراسر کتاب، سرانجام در فصل‌های ۱۵ تا ۱۷ تحلیل ماتریسی سازه‌ها به روش‌های نیرو و جابجائی و نیز روش مستقیم سختی به ساده‌ترین وجه ممکن مطرح شده است. در این رابطه بایستی متذکر شد که روش‌های مزبور همراه با بهره‌برداری از قدرت عملکرد سریع کامپیوترها تحول و دگرگونی عظیمی را در چند دهه اخیر در امر تحلیل و طراحی سازه‌ها و سایر سیستم‌های مهندسی به وجود آورده است.

بیراست اول این کتاب، با استقبال قابل توجهی روبرو شد، به طوری که به چاپ دوازدهم رسید. در این ویراست جدید، کتاب به طور کامل مورد تجدید نظر قرار گرفت و علاوه بر اصلاحات به عمل آمده در سراسر کتاب و حذف و اضافه‌های لازم، یک فصل کامل درباره روش مستقیم (ماتریسی) سختی بر کتاب افزوده شد تا با سرفصل‌های روز درس تحلیل سازه‌ها در دانشگاه‌های سراسر کشور مطابقت یابد.

امید است که کتاب حاضر بتواند تا حد امکان نه تنها نیاز دانشجویان را در ارتباط با درس تحلیل سازه‌ها برطرف سازد، بلکه بتواند عنوان کتاب مرجعی مفید مورد استفاده مهندسان عمران و سازه نیز قرار گرفته به این نحو بتواند به صورت گامی هرچند کوچک در جهت غنای علمی و فنی سرزمین عزیزمان کمک‌مهر واقع گردد.

در اینجا لازم است که از دانشگاه صنعتی شریف، نصیر طوسی که امکانات چاپ این کتاب را فراهم نموده است، تشکر نمایم. همچنین خانم مریم ریاضتی که حروفچینی کتاب را انجام دادند، قدردانی می‌شود.

مجید بدیعی

فهرست مطالب

۱ کلیات

۱	۱-۱	سازه‌های مهندسی
۲	۲-۱	هدف و صورت سازه‌ها
۵	۳-۱	تقسیم‌بندی تئوریک سازه‌ها
۷	۴-۱	سازه‌های حقیقی و سازه‌های ایده‌آل
۷	۵-۱	وسعت این کتاب

۲ پایداری و معینی سازه‌ها

۹	۱-۲	معادلات تعادل ایستائی مربوط به یک مجموعه نیروهای واقع در یک صفحه
۱۳	۲-۲	عکس‌العمل‌های تکیه‌گاه‌ها
۱۷	۳-۲	نیروهای داخلی در مقطعی بریده شده از یک سازه
۱۹	۴-۲	معادلات وضعیت یا احداث
	۵-۲	پایداری و معینی یک سازه نسبت به تکیه‌گاه‌ها،
۲۰		هنگامی که سازه به صورت یک جسم یکپارچه در نظر گرفته می‌شود
۲۵	۶-۲	پایداری و معینی کلی سازه‌ها
۳۸		مسائل

۴۰	تیرهای معین	۳
۴۰	کلیات	۱-۳
۴۱	تحلیل تیرهای معین	۲-۳
۵۴	اصل کار مجازی و تحلیل تیرها	۳-۳
۶۴	روابط بین بار، نیروی برشی و گشتاور خمشی	۴-۳
۷۰	مثال‌های عددی	۵-۳
۷۵	مسائل	
۷۸	خرپاهای معین	۴
۷۸	کلیات	۱-۴
۸۲	تحلیل خرپاهای ساده: روش مفصل و روش مقطع	۲-۴
۹۰	تحلیل خرپاهای مرکب: روش مختلط	۳-۴
۹۳	تحلیل خرپاهای بغرنج: روش ایگزینی عضو	۴-۴
۹۸	یک روش کلی برای تحلیل خرپاهای معین	۵-۴
۱۰۱	توصیف کلی سیستم‌های خرپائی پل و شیروانی	۶-۴
۱۰۴	انواع متداول خرپاهای پل و شیروانی	۷-۴
۱۰۷	مسائل	
۱۱۲	قاب‌ها و سازه‌های مرکب معین	۵
۱۱۲	اتصال صلب	۱-۵
۱۱۳	تحلیل قاب‌های معین	۲-۵
۱۲۱	تحلیل سازه‌های مرکب معین	۳-۵
۱۲۵	تحلیل تقریبی سازه‌های نامعین	۴-۵
۱۲۹	مسائل	

۶ خطوط تأثیر برای سازه‌های معین ۱۳۲

- ۱-۶ مفهوم خط تأثیر ۱۳۲
- ۲-۶ کاربرد خط تأثیر ۱۳۷
- ۳-۶ خطوط تأثیر برای تیرهای معین ۱۳۹
- ۴-۶ ترسیم خطوط تأثیر تیرها با استفاده از کار مجازی ۱۴۵
- ۵-۶ سیستم تیر و تیر کف ۱۵۳
- ۶-۶ خطوط تأثیر برای شاهتیرهای با سیستم کف ۱۵۶
- ۷-۶ خط تأثیر برای خراباهای معین پل ۱۵۹
- مسائل ۱۶۷

۷ بارهای متمرکز در حال حرکت:

۱۷۱ ملاک‌هایی برای تعیین ضریب حداکثر

- ۱-۷ کلیات ۱۷۱
- ۲-۷ ملاک مربوط به تعیین مقدار حداکثر تابعی با نمودار خط تأثیر  ۱۷۲
- ۳-۷ ملاک مربوط به تعیین مقدار حداکثر تابعی با نمودار خط تأثیر  ۱۷۳
- ۴-۷ ملاک مربوط به تعیین مقدار حداکثر تابعی با نمودار خط تأثیر  ۱۷۸
- ۵-۷ ملاک مربوط به تعیین مقدار حداکثر تابعی با نمودار خط تأثیر  ۱۸۲
- ۶-۷ حداکثر گشتاور خمشی مطلق ۱۸۳
- مسائل ۱۸۶

۸ تغییرات شکل ارتجاعی سازه‌ها ۱۸۹

- ۱-۸ کلیات ۱۸۹
- ۲-۸ انحناء خط ارتجاعی ۱۹۰

۱۹۳	کار خارجی و کار داخلی	۳-۸
۱۹۶	روش کار مجازی (یا روش بار واحد)	۴-۸
۲۱۳	قضیه کاستیلیانو	۵-۸
۲۲۲	روش تیر مزدوج	۶-۸
۲۳۲	مسائل	

۹ تحلیل سازه‌های نامعین به روش تغییرات شکل سازگار

۲۳۷	کلیات	۱-۹
۲۴۱	تحلیل تیرهای نامعین با استفاده از روش تغییرات شکل سازگار	۲-۹
۲۵۳	تحلیل قاب‌های نامعین به روش تغییرات شکل سازگار	۳-۹
۲۵۵	تحلیل خرپاهای نامعین به روش تغییرات شکل سازگار	۴-۹
۲۶۴	مسائل	

۱۰ تحلیل سازه‌های نامعین با استفاده از روش حداقل کار

۲۶۸	کلیات	۱-۱۰
۲۶۹	تحلیل تیرهای نامعین به روش حداقل کار	۲-۱۰
۲۷۷	تحلیل قاب‌های نامعین با استفاده از روش حداقل کار	۳-۱۰
۲۸۲	تحلیل خرپاهای نامعین به روش حداقل کار	۴-۱۰
۲۸۵	تحلیل سازه‌های مرکب نامعین به روش حداقل کار	۵-۱۰
۲۸۹	مسائل	

۱۱ خطوط تأثیر مربوط به سازه‌های نامعین

۲۹۱	قانون تغییر مکان‌های متقابل ماکسول	۱-۱۱
۲۹۲	قانون بتی	۲-۱۱

- ۱۱-۳ خطوط تأثیر به صورت منحنی تغییر شکل سازه‌ها: اصل مولر-برسلاو ۲۹۴
- ۱۱-۴ ترسیم خطوط تأثیر ۲۹۷
- ۱۱-۵ مثال‌های عددی ۳۰۱
- ۱۱-۶ خط تأثیر برای سازه‌های با درجه نامعینی بالا ۳۱۰
- مسائل ۳۱۲

۱۲ تحلیل تیرها و قاب‌های نامعین به روش شیب-افت ۳۱۴

- ۱۲-۱ کلیات ۳۱۴
- ۱۲-۲ معادلات اصلی شیب-افت ۳۱۵
- ۱۲-۳ مراحل تحلیل به روش شیب-افت ۳۲۰
- ۱۲-۴ تحلیل تیرهای نامعین به روش شیب-افت ۳۲۶
- ۱۲-۵ تحلیل قاب‌های نامعین با درجه نامعینی یک با استفاده از روش شیب-افت ۳۳۱
- ۱۲-۶ تحلیل قاب‌های نامعین دارای یک درجه آزادی انتقال نقاط اتصال به روش شیب-افت ۳۳۴
- ۱۲-۷ تحلیل قاب‌های نامعین دارای دو درجه آزادی انتقال نقاط اتصال به روش شیب-افت ۳۴۱
- ۱۲-۸ تحلیل قاب‌های نامعین دارای چندین درجه آزادی انتقال نقاط اتصال با استفاده از روش شیب-افت ۳۴۸
- ۱۲-۹ فرمول‌بندی روش شیب-افت به طریق ماتریسی ۳۵۰
- مسائل ۳۵۶

۱۳ مقدمه‌ای بر روش پخش لنگر: ۳۶۲

پخش لنگر بدون انتقال نقاط اتصال

- ۱۳-۱ کلیات ۳۶۲
- ۱۳-۲ گشتاور گیرداری ۳۶۴
- ۱۳-۳ سختی، ضریب پخش، و توزیع گشتاور خارجی وارد بر یک اتصال ۳۶۵

- ۳۶۸ ۴-۱۳ ضریب انتقال و گشتاور انتقالی
- ۳۷۱ ۵-۱۳ مراحل بستن و باز کردن: یک اتصال
- ۳۷۶ ۶-۱۳ مراحل بستن و باز کردن: دو یا چند اتصال
- ۳۸۲ ۷-۱۳ سختی تعدیل یافته
- ۳۸۸ ۸-۱۳ انجام عملیات پخش لنگر با استفاده از ماتریس‌ها
- ۳۹۲ مسائل

۱۴ پخش لنگر با انتقال نقاط اتصال

- ۳۹۵ ۱-۱۴ کلیات
- ۳۹۹ ۲-۱۴ گشتاو گیر دای ناشی از انتقال اتصالات
- ۴۰۱ ۳-۱۴ تحلیل قاب‌های نامعین با یک درجه آزادی
- انتقال نقاط اتصال به روش پخش لنگر
- ۴۱۰ ۴-۱۴ تحلیل قاب‌های نامعین شامل دو درجه آزادی انتقال
- نقاط اتصال با استفاده از روش پخش لنگر
- ۴۱۹ ۵-۱۴ تحلیل قاب‌های نامعین شامل چندین درجه آزادی انتقال
- نقاط اتصال با استفاده از روش پخش لنگر
- ۴۲۱ ۶-۱۴ ترسیم خطوط تأثیر با استفاده از روش پخش لنگر
- ۴۲۴ ۷-۱۴ تعیین تنش‌های ثانویه در خرپاها با استفاده از روش پخش لنگر
- ۴۲۷ مسائل

۱۵ روش ماتریسی نیرو

- ۴۳۰ ۱-۱۵ کلیات
- ۴۳۱ ۲-۱۵ مفاهیم اصلی سازه‌ها
- ۴۳۴ ۳-۱۵ تعادل، ماتریس تبدیل نیرو

۴۳۵	۴-۱۵ سازگاری
۴۳۶	۵-۱۵ رابطه نیرو- جابجائی، ضریب انعطاف‌پذیری، ماتریس انعطاف‌پذیری
۴۴۳	۶-۱۵ تحلیل سازه‌های معین به روش نیرو
۴۴۹	۷-۱۵ تحلیل سازه‌های نامعین به روش نیرو
۴۵۷	۸-۱۵ تحلیل در ارتباط با بارهای گسترده
۴۶۴	۹-۱۵ راجع به مفهوم سازه اولیه
۴۶۹	مسائل

۱۶ روش ماتریسی جابجائی

۴۷۴	۱-۱۶ کلیات
۴۷۵	۲-۱۶ سازگاری، ماتریس تبدیل جابجائی
۴۷۷	۳-۱۶ رابطه نیرو- جابجائی، ضریب انعطاف، ماتریس سختی
۴۸۲	۴-۱۶ تعادل
۴۸۲	۵-۱۶ تحلیل سازه‌ها با استفاده از روش جابجائی
۴۹۷	۶-۱۶ استفاده از ماتریس سختی تعدیل یافته عضو
۵۰۴	۷-۱۶ فرمول‌بندی کلی روش جابجائی
۵۰۸	۸-۱۶ مقایسه بین روش نیرو و روش جابجائی
۵۱۱	مسائل

۱۷ روش مستقیم سختی

۵۱۵	۱-۱۷ کلیات
۵۱۶	۲-۱۷ ماتریس سختی جزء در دستگاه مختصات موضعی
۵۱۸	۳-۱۷ تبدیل دورانی یک دستگاه مختصات
۵۲۲	۴-۱۷ ماتریس سختی جزء در دستگاه مختصات کلی

- ۵۲۴ ۵-۱۷ یک حالت خاص: ماتریس سختی جزء برای یک عضو خرپا
- ۵۲۶ ۶-۱۷ ماتریس سختی سازه
- ۵۲۸ ۷-۱۷ مراحل روش مستقیم سختی در تحلیل سازه‌ها
- ۵۳۰ ۸-۱۷ مثال‌های نمونه
- ۵۴۱ ۹-۱۷ برنامه کامپیوتری *VISTA* برای تحلیل سازه‌های از نوع
- ۵۴۳ تیر و قاب، خرپا و سازه مرکب با عضوهای منشوری و غیرمنشوری
- مسائل

۱۸ تحلیل در ارتباط با عضوهای غیرمنشوری

- ۵۴۷ ۱-۱۸ کلیات
- ۵۴۸ ۲-۱۸ نیروهای تیر
- ۵۵۰ ۳-۱۸ ماتریس انعطاف پذیری دورانی یک تیر
- ۵۵۲ ۴-۱۸ ماتریس سختی دورانی یک تیر
- ۵۵۳ ۵-۱۸ معادلات تعمیم یافته شیب-افت
- ۵۵۵ ۶-۱۸ ضریب سختی و انتقال برای پخش لنگر
- ۵۵۸ ۷-۱۸ گشتاورگرداری ناشی از انتقال نقطه اتصال
- ۵۵۹ ۸-۱۸ سختی تعدیل یافته برای پخش لنگر
- ۵۶۳ ۹-۱۸ یک روش عددی
- ۵۶۸ مسائل

۱۹ پیوست ۱: تعیین تغییر شکل تیرها و قاب‌های معین

به روش لنگر سطح

- ۵۷۰ ۱-۱۹ قضایای لنگر سطح
- ۵۷۲ ۲-۱۹ کاربرد روش لنگر سطح در تعیین تغییر مکان و دوران تیرها

۳-۱۹ کاربرد روش لنگر سطح در تعیین تغییر مکان و دوران قاب‌ها
مسائل
۵۷۵
۵۷۹

۲۰ پیوست ۲: تحلیل تیرهای سراسری
با استفاده از قضیه سه لنگری
۵۸۲

۲۰-۱ معادله سه لنگری
۲۰-۲ کاربرد معادله سه لنگری برای تحلیل تیرهای نامعین
مسائل
۵۸۲
۵۸۵
۶۰۱

پیوست ۳: خواص هندسی سطوح
۶۰۳

پیوست ۴: گشتاورهای گیرداری
۶۰۴

پیوست ۵: مقادیر $\int_0^L mM \, dx$ و مثال‌های مربوطه
۶۰۶

پاسخ به مسائل انتخابی
۶۰۹