

تحليل سازه‌های معین استاتیکی

اليف:

مازیار فهم فرام

سرشناسه	: فهمی فرزام، مازیار، ۱۳۶۳-
عنوان و نام پدیدآور	: تحلیل سازه‌های معین استاتیکی/ تألیف مازیار فهمی فرزام.
مشخصات نشر	: مراغه: دانشگاه مراغه، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ض، ۴۱۶ ص.: مصور، جدول.
شابک	: 978-600-97258-9-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: تحلیل سازه
موضوع	: Structural analysis (Engineering)
شناسه افزوده	: دانشگاه مراغه
ر ه بندی کنگره	: ۱۳۹۷ ت۹۴۵/ف۹۴۵/TA۶۴۵
بندی دیویی	: ۶۳۴/۱۷۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۲۵۴۳۹۸



نام کتاب: تحلیل سازه‌های معین استاتیکی

تألیف: مازیار فهمی فرزام

نوبت و تاریخ چاپ: اول ۱۳۹۷

تعداد صفحات: ۴۱۶ صفحه وزیری

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

ناشر: دانشگاه مراغه

لیتوگرافی: چاردیز

چاپ: اعظم

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۷۲۵۸-۹-۲

قیمت: ۳۵۰۰۰ تومان

حق چاپ محفوظ است.

مقدمه مولف

در این کتاب با یک رویکرد منظم و متفاوت مفاهیم تحلیل سازه آموزش داده می‌شود تا تسلط دانش‌ریان بر مفاهیم آن بیشتر شود. یکی از مسائلی که فهم درس تحلیل سازه را دشوار می‌نماید، گستردگی مطالب آن است. بنابراین اگر نتوان برای این درس یک چهارچوب منظم و مشخصی ارائه کرد، درک آن غیرممکن و یا در بهترین حالت دشوار خواهد بود. همچنین ارائه نامنظم این درس سرعت فراموشی مطالب آن را افزایش می‌دهد.

به باور اکثر دانشجویان، تحلیل سازه بررسی دشوار است و این مسئله موجب دل‌سردی آن‌ها در یادگیری این درس مهم و جذاب می‌شود. البته کتاب‌های بسیاری در زمینه درس تحلیل سازه تالیف شده است که بسیار مفید و ارزشمند هستند. باید توجه داشت که این کتاب به عنوان جایگزینی برای این کتاب‌های ارزشمند نوشته نشده است و شاید تا مدت‌ها نتوان جایگزین برای آنها یافت اما در این کتاب تلاش شده است که با استفاده از الگوگیری از مفاهیم دقیق و عمیق این کتاب‌ها و با ارائه یک نظم متفاوت نسبت به سایر کتاب‌های موجود امکان فراگیری این درس برای دانشجویانی که تسلط کمتری به مفاهیم ریاضی دارند فراهم گردد.

در این کتاب با محدود کردن بخش عمده‌ای از فضای بحث تحلیل و حتی فضای بحث

طراحی به دو فضای اصلی و یک فضای کمکی^۱ و بنا کردن بسیاری از مفاهیم بر پایه‌ی این سه فضا، سعی می‌شود تا نگاهی جامع و ساده به مفاهیم تحلیل سازه ارائه شود تا هم فهم این درس را راحت‌تر کند و هم از فراموشی مفاهیم آن جلوگیری کند. در ادامه سه فضای اساسی که کل بحث تحلیل سازه بر مبنای آنها شکل می‌گیرد به صورت منطقی و طبق نیاز یک مهندس در هنگام طراحی یک سازه معرفی می‌شوند.

زمانی که یک مهندس تلاش می‌کند تا سازه‌ای را طراحی کند، به منظور تامین ایمنی و آسایش برای ساکنین آن سازه با سه مسئله اساسی روبروست:

۱- اعضا سازه باید مقاومت کافی داشته باشند، یعنی نیرویی که در اعضای سازه ایجاد می‌شود از نیروی تحمل توسط این اعضاء کمتر باشد.

۲- اعضای سازه باید سختی کافی داشته باشند، به عبارت دیگر باید تغییرشکلی که در اعضاء به وجود می‌آید از یک حد مشخص کمتر باشد.

۳- اعضای سازه طراحی شده به خصوص در مناطق زلزله خیز، باید شکل‌پذیری کافی داشته باشند. به عبارت دیگر سازه در هنگام زلزله نباید بتواند انرژی قابل توجهی را پیش از خرابی جذب نماید، تغییرشکل‌های بزرگی را تحمل کند و به سرعت تخریب نشود.

دو مسئله اول، دو فضای اصلی به نام‌های فضای نیروها و تغییرشکل را پدید می‌آورند و معادلات حاکم بر این دو فضا به ترتیب تعادل و سازگاری نامیده می‌شوند. از ضرب مؤلفه‌های این دو فضا در یکدیگر سومین فضای اساسی پدید می‌آید (فضای کمکی) که

^۱ باید به این نکته توجه داشت که فضاهای عنوان شده در این کتاب لزوماً به عنوان فضاهای برداری در ریاضیات نیستند، بلکه معرف فضاهای فکری هستند. البته دو فضای اصلی مطرح شده فضاهای برداری نیز می‌باشند.

فضای انرژی نامیده می‌شود و رابطه حاکم بر این فضا اصل بقای انرژی است^۱. البته همان‌طور که عنوان شد فضای سوم، فضای مستقلی نیست بلکه از ضرب مؤلفه‌های دو فضای اصلی بدست آمده است و به نوعی یک فضای کمکی محسوب می‌شود. این فضا به دلیل جایگاه ویژه‌ای که در درس تحلیل سازه دارد، در این کتاب به عنوان یک فضای جداگانه در نظر گرفته می‌شود.

علاوه بر سه فضای عنوان شده، لازم است رابطه‌ای وجود داشته باشد که بتواند عناصر موجود در فضای اصلی را به یکدیگر تبدیل کند. از آنجا که در درس تحلیل سازه رفتار مصالح خطی فرض می‌شود، این رابطه توسط قانون هوک ایجاد می‌شود. به این رابطه که ارتباطی بین دو فضای نیرو و تغییر شکل ایجاد می‌کند، در حالت کلی معادله مشخصه گفته می‌شود که فرم ساده آن به صورت $F = k\Delta$ یا $M = k\theta$ است. در این روابط M و F به ترتیب معرف نیرو و لنگر در نقاط مختلف سازه، Δ و θ به ترتیب معرف تغییر مکان و دوران در نقاط مختلف عضو و k معرف سختی عضو می‌باشد.

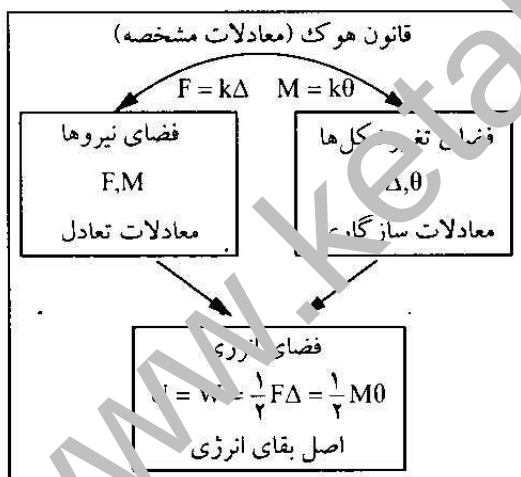
در مقطع کارشناسی از فرم کلی معادلات مشخصه استفاده نمی‌شود و به منظور سادگی، این معادلات به صورت خطی در نظر گرفته می‌شوند. یعنی همان‌طور که در رابطه بالا مشاهده می‌شود رابطه نیرو و تغییر شکل از معادله خط $(y = mx)$ پیروی می‌کند. این فرض روند محاسبات را بسیار ساده می‌کند.

برای استفاده از چنین فرضی باید دو شرط اساسی وجود داشته باشد. اول اینکه مصالح باید رفتار خطی داشته باشند و دوم اینکه هندسه باید به صورت خطی رفتار کند. در صورتی که هر یک از این دو شرط برقرار نباشد در تحلیل سازه باید به ترتیب دو مفهوم غیرخطی

^۱ این اصل به فرم‌های متفاوتی مانند اصل کار حقیقی و اصل کار مجازی مطرح می‌شود.

مصالص و غیرخطی هندسی در نظر گرفته شود. در صورتی که تغییرشکل های سازه کوچک باشند، می توان فرض کرد هر دو شرط برقرار هستند. بنابراین درس تحلیل در مقطع کارشناسی بر مبنای تغییرشکل های کوچک و با فرض رابطه خطی بین نیرو و تغییرشکل آموزش داده می شود.

با توجه به نکات فوق، فضای ذهن یک دانشجو در زمان یادگیری درس تحلیل باید به صورت شکل الف منظم شود. در این فضای فکری باید سه زیر فضای نیرو، تغییرشکل و انرژی وجود داشته باشند^۱.



شکل الف فضاهای فکری در درس تحلیل سازه

همان طور که در شکل الف مشاهده می شود، مفهوم انرژی و تغییرشکل با هم پیوندی اساسی دارند و در ادامه نشان داده می شود که انرژی با مساحت سطح زیر منحنی نیرو -

^۱ البته باید توجه داشت که در این مقدمه به کلیات درس تحلیل سازه پرداخته شده است که شامل تحلیل سازه های معین و نامعین می باشد. اما در تحلیل سازه های معین استاتیکی که هدف این کتاب است تنها معادلات تعادل استفاده می شود.

تغییر شکل برابر است. در درس تحلیل سازه از مفهوم انرژی به منظور محاسبه تغییر شکل‌ها استفاده می‌شود. البته باید توجه داشت که تغییر شکل مفهومی هندسی است، بنابراین از دو رویکرد هندسی و انرژی جهت محاسبه تغییر شکل سازه استفاده می‌شود که با نام روش‌های هندسی و انرژی شناخته می‌شوند.

بنابراین در یک نگاه کلی بحث تحلیل سازه بر مبنای سه فضای اساسی نیرو، تغییر شکل و انرژی ایجاد می‌شود. باید توجه داشت که تاکید بیش از حد بر هریک از این مفاهیم از اهمیت مفاهیم دیگر می‌کاهد. باعث آموزش نادرست مباحث تحلیل سازه می‌شود. متأسفانه در دوره کارشناسی به دلیل تمرکز بر فضای تغییر شکل و انرژی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند.

۱- در سال‌های ابتدایی مقطع کارشناسی نمرات علمی تدریس بر آموزش مفهوم نیروهاست و این مسئله منجر به نادیده گرفتن دو فضای اصلی تغییر شکل و انرژی می‌شود.

۲- معادلات تعادل همواره فرم مشخصی دارند و تشکیل آنها سخت است، اما معادلات سازگاری فرم مشخصی نداشته و در هر مسئله مخصوص آن مسئله می‌باشند، بنابراین تشخیص و تشکیل آنها می‌تواند دشوار باشد.

۳- تغییر شکل برای دانشجویان تداعی کننده تغییر مکان (Δ) است در حالی که همان میزان که محاسبه تغییر مکان در گره‌های مختلف سازه اهمیت دارد محاسبه میزان دوران گره‌های مختلف سازه (θ) نیز با اهمیت است.

در این کتاب برای جلوگیری از این مشکلات سعی شده است که با ارائه یک چارچوب کلی از درس تحلیل در ابتدای کتاب و همچنین ارائه یک نظم منطقی در بیان مفاهیم پایه‌ای، بر آموزش هر سه مفهوم به صورت یکسان تاکید شود. در روند ارائه مطالب در این کتاب،

سه فضای عنوان شده به تدریج و در فصل‌های مختلف این کتاب تبیین می‌شوند.

در فصل اول دو گروه اصلی از سازه‌ها به نام‌های معین و نامعین معرفی می‌شوند و روش محاسبه درجه نامعینی در سازه‌ها معرفی می‌شود. سپس پایداری سازه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی پایداری و محاسبه درجه نامعینی یک سازه در تعیین روش تحلیل آن سازه اهمیت قابل توجهی دارد. در صورتی که سازه‌ای ناپایدار باشد، در شرایط کلی بارگذاری آن تحلیل چنین سازه‌ای وجود ندارد. در تحلیل سازه‌های معین تنها نیاز به فضای نیروها می‌باشد و با استفاده از معادلات تعادل می‌توان چنین سازه‌هایی را تحلیل کرد. بنابراین بعد از ارائه روش تعیین پایداری و محاسبه درجه نامعینی سازه، در فصل دوم روش‌های محاسبه نیرو در سازه‌های معین معرفی می‌شوند. برای تحلیل سازه نامعین لازم است که از هر دو فضای نیرو و تغییر شکل استفاده شود، بنابراین برای اینکه بتوان سازه‌های نامعین را تحلیل نمود، در فصل سوم روش‌های محاسبه تغییر شکل‌ها در سازه‌های معین معرفی می‌شوند. به طور کلی، روش‌های محاسبه تغییر شکل سازه‌ها به دو گروه مبتنی بر هندسه و انرژی تقسیم می‌شوند. با توجه به حجم قابل توجه مطالب امکان دارد در بحث تحلیل سازه‌های نامعین در این کتاب وجود ندارد و در این کتاب تنها سازه‌های معین مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در سه فصل اول معمولاً تمرکز اصلی تحلیل تیرهای معین است. در دهانه‌های بلند استفاده از تیر غیراقتصادی است. در فصل چهارم کابل و قوس سه مفصل به عنوان گروه خاصی از سازه‌های معین مورد بررسی قرار می‌گیرند. استفاده از این دو در دهانه‌های بلند برخلاف تیر اقتصادی است و نکات خاصی در تحلیل آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرد که در فصل آخر به آن اشاره خواهد شد.

در پایان لازم است از زحمات کلیه اساتید بزرگوار و دانشجویان گرامی که در تألیف

این کتاب اینجانب را یاری نمودند تشکر کنم. از آقای دکتر محمد چرختاب بسیم عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی سهند که زحمت بازنگری کامل متن کتاب را به عهده داشته‌اند و پیشنهادات سازنده‌ای را ارائه کردند تشکر می‌کنم. همچنین از همکاران گرامی آقایان دکتر بابک علی‌نژاد و مهندس مهدی رضایی نیز به دلیل پیشنهادات ارزشمندشان سپاسگذارم. از کلیه همکاران دانشگاه مراغه که در فرآیند ویرایش و چاپ این کتاب همکاری نموده‌اند نیز کمال تشکر را دارم.

امیدوارم این کتاب بواسطه مجموعه مناسبی را در اختیار دانشجویان قرار دهد و از کلیه کسانی که این کتاب را مورد توجه قرار می‌دهند تقاضا دارم انتقادات و نقطه نظرات خود را برای اینجانب به آدرس ایمیل (M.farzam@maraghi.ac.ir) ارسال نمایند.

مازیار فهیمی فرزام

خرداد ۱۳۹۷

فهرست مطالب

۱- طبقه‌بندی سازه‌ها.....	۱
۱-۱- کلیات.....	۱
۲-۱- تعیین درجه نامعینی.....	۶
۱-۲-۱- مجهولات نیرویی.....	۸
۲-۱-۱- مولفه‌های تکیه گاهی.....	۹
۲-۱-۲- نیروهای جهول داخلی.....	۱۸
۲-۲-۱- معادلات معاد.....	۲۱
۲-۲-۱-۱- معادلات معادل کلی.....	۲۲
۲-۲-۲-۱- معادلات شرط.....	۲۳
۳-۲-۱- قاب دو بعدی.....	۳۲
۲-۳-۱- نکته‌های محاسبه درجه نامعینی قاب.....	۳۷
۴-۲-۱- تیر.....	۴۳
۵-۲-۱- خرابای دو بعدی.....	۴۶
۵-۲-۱-۱- معرفی خرابا و انواع آن.....	۴۷
۵-۲-۱-۲- درجه نامعینی خرابای دو بعدی.....	۴۹
۶-۲-۱- قاب سه بعدی.....	۵۰
۷-۲-۱- خرابای سه بعدی.....	۵۳
۳-۱- بررسی وضعیت پایداری هندسی.....	۵۴
۱-۳-۱- کنترل درجه نامعینی.....	۵۸

۵۹..... ۱-۳-۲- اعمال بار بر یک قسمت مشخص

۶۲..... ۱-۲-۳-۱- شناسایی اعضای صفر نیرویی

۷۱..... ۱-۳-۳- ساده سازی

۷۳..... ۱-۳-۳-۱- جایگزینی اعضای دو نیرویی با یک میله مستقیم

۷۴..... ۱-۲-۳-۲- ترکیب پایدار سازه‌های صلب (گسترش سازه)

۹۰..... ۱-۳-۳-۳- گسترش زمین

۹۹..... ۲- محاسبه نیروها در سازه‌های معین

۹۹..... ۱-۲-۱- کلیات

۱۰۱..... ۱-۱-۲- جهات مثبت و منفی نیروهای داخلی در تشکیل معادلات تعادل

۱۰۳..... ۲-۱-۲- جهت مثبت و منفی نیروهای خارجی

۱۰۳..... ۲-۲- تحلیل تیرها و قاب‌های معین

۱۰۴..... ۱-۲-۲- محاسبه مقدار واکنش‌های تکیه‌گاه‌ها

۱۱۵..... ۲-۲-۲- مسیر تحلیل اعضای خمشی تحت بار گسسته

۱۱۵..... ۱-۲-۲-۲- رابطه بار - برش

۱۱۷..... ۲-۲-۲-۲- رابطه برش - خمش

۱۱۸..... ۳-۲-۲-۲- رسم دیاگرام برش

۱۱۹..... ۴-۲-۲-۲- رسم دیاگرام خمش

۱۲۰..... ۳-۲-۲- تحلیل تیر معین

۱۳۱..... ۱-۳-۲-۲- تحلیل تیر تحت لنگر گسسته

۱۳۴..... ۲-۳-۲-۲- تیرهای دارای فنر

- ۱۳۶..... ۲-۲-۳- حالت‌های خاص
- ۱۳۶..... ۲-۲-۳-۱- تیر مایل
- ۱۴۲..... ۲-۲-۳-۲- بار با تابع چندجمله‌ای
- ۱۴۸..... ۲-۲-۳-۳- تیرهای دارای تیرچه
- ۱۵۰..... ۲-۲-۴- تحلیل قاب معین
- ۱۶۶..... ۲-۳-۳- میل زینت‌رپای معین دوبعدی
- ۱۶۶..... ۲-۳-۱- روش گره به گره
- ۱۷۵..... ۲-۳-۱-۱- تایلر سیمین
- ۱۷۸..... ۲-۳-۱-۲- اعضای انرژی‌ناقص
- ۱۷۹..... ۲-۳-۲- روش مقطع
- ۱۹۳..... ۳- محاسبه تغییر شکل سازه‌های معین
- ۱۹۳..... ۳-۱- کلیات
- ۱۹۵..... ۳-۲- روش‌های هندسی
- ۱۹۸..... ۳-۲-۱- روش انتگرال‌گیری متوالی
- ۲۱۲..... ۳-۲-۲- روش لنگر سطح
- ۲۱۳..... ۳-۲-۲-۱- قضیه اول لنگر سطح
- ۲۱۷..... ۳-۲-۲-۲- قضیه دوم لنگر سطح
- ۲۲۰..... ۳-۲-۲-۳- نقاط مرجع
- ۲۲۳..... ۳-۲-۳- روش تیر مزدوج
- ۲۳۹..... ۳-۳- روش‌های انرژی

- ۲۳۹..... ۱-۳-۳- محاسبه مقدار انرژی بر حسب نیرو
- ۲۴۳..... ۱-۱-۳-۳- انرژی ناشی از نیروی محوری
- ۲۴۶..... ۲-۱-۳-۳- انرژی ناشی از خمش
- ۲۴۷..... ۳-۱-۳-۳- انرژی ناشی از پیچش
- ۲۴۸..... ۴-۱-۳-۳- انرژی ناشی از برش
- ۲۵۰..... ۲-۳-۳- محاسبه انرژی بر حسب تغییر شکل
- ۲۵۰..... ۱-۲-۳-۳- انرژی پتانسیل ناشی از نیروی محوری
- ۲۵۳..... ۲-۱-۳-۳- انرژی پتانسیل یک عضو خمشی
- ۲۵۵..... ۳-۳-۳- اصل بقای انرژی
- ۲۵۶..... ۴-۳-۳- روش کار حقیقی
- ۲۶۰..... ۵-۳-۳- قضایای کاستلیانو
- ۲۶۱..... ۱-۵-۳-۳- قضیه اول کاستلیانو
- ۲۶۳..... ۲-۵-۳-۳- قضیه دوم کاستلیانو
- ۲۶۶..... ۶-۳-۳- روش کار مجازی
- ۲۷۰..... ۱-۶-۳-۳- سازه مجازی و تعیین نیروهای مجازی
- ۲۷۳..... ۲-۶-۳-۳- سازه حقیقی و تعیین تغییر شکل های حقیقی
- ۲۷۵..... ۳-۶-۳-۳- اصل کار مجازی
- ۲۹۱..... ۴-۶-۳-۳- روش مور برای محاسبه انتگرال ضرب دو تابع
- ۳۰۱..... ۵-۶-۳-۳- قضیه بتی ماکسول (اصل تقابل)
- ۳۰۹..... ۴-۳- روش حفظی

۳۱۰..... ۳-۴-۱- تیرهای معین

۳۱۷..... ۳-۴-۲- تیرهای نامعین

۳۳۹..... ۴- تحلیل کابل و قوس معین

۳۳۹..... ۴-۱- کلیات

۳۴۳..... ۴-۲- تحلیل سازه‌های کابلی

۳۴۷..... ۴-۲-۱- معادله عمومی کابل‌ها

۳۵۵..... ۴-۲-۲- تیر کششی کابل

۳۵۹..... ۴-۲-۳- بررسی شکر تعادلی کابل تحت بارهای عرضی گسترده یکنواخت

۳۶۰..... ۴-۲-۳-۱- کابل تحت بار گسترده یکنواخت در راستای طول کابل

۳۶۵..... ۴-۲-۳-۲- کابل تحت بار گسترده یکنواخت در راستای افق

۳۶۸..... ۴-۲-۳-۳- نحوه انتقال بار در پل معلق

۳۷۵..... ۴-۲-۴- محاسبه طول کابل

۳۷۹..... ۴-۲-۵- اثر حرارت بر کابل

۳۸۱..... ۴-۳- تحلیل سازه‌های قوسی

۳۸۵..... ۴-۳-۱- انواع قوس

۳۸۶..... ۴-۳-۲- تحلیل قوس سه مفصل

۳۸۹..... ۴-۳-۲-۱- قوس سهمی

۳۹۴..... ۴-۳-۲-۲- قوس دایره‌ای

۳۹۹..... مراجع