

بسم الله الرحمن الرحيم

تحليل سازه‌ها

ترجمه و تالیف:
علی گلصورت پهلویانی



نیوشا نگار



نشر نیوشا نگار

تحلیل سازه‌ها

ترجمه و تألیف: علی گلصورت پهلویانی

نوبت و سال چاپ: اول - ۱۳۹۰
تیراژ: ۱۱۰۰ جلد

ناظر فنی چاپ و تولید: رامین صباح فر

طراح جلد: جواد مقدم
آماده سازی پیش از انتشار و لیتوگرافی: کارا
چاپ و صحافی: مقدم

بهاء: ۲۹۰۰۰ تومان

978-600-5919-02-8

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۹۱۹-۰۲-۸

سرشناسه	: گلصورت پهلویانی علی، ۱۳۳۹-
عنوان و نام پدید آور	: تحلیل سازه/ تألیف و ترجمه علی گلصورت پهلویانی
مشخصات نشر	: تهران، نیوشا نگار، ۱۳۹۰،
مشخصات ظاهری	: ۱۱۹۶ ص، مصور، جلد.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۵۹۱۹-۰۲-۸
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیا
یادداشت	: کتاب تألیف، گردآوری و ترجمه از منابع مختلف لاتین می‌باشد.
موضوع	: سازه، تجزیه و تحلیل
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۰: ۷۸۴/۷۸۴ TA۶۴۵
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۷۱:
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۵۱۵۷۳۶:

نشانی انتشارات: میدان انقلاب، خیابان وحید نظری، پلاک ۱۵۰ - ۰۹۱۲۳۸۳۳۳۱۸

■ محل فروش پارسین: پونک، بلوار اشرفی اصفهانی، بلوار امام حسن، مجتمع دانشگاه آزاد

نیایش طبقه همکف، ۴۴۶۰۰۱۱۱ - ۰۹۱۲۳۸۳۳۳۱۸

■ انتشارات آزاده: خیابان انقلاب، نرسیده به خیابان دانشگاه، پلاک ۱۳۳۸ - ۶۶۴۱۵۷۵۳

هرگونه کپی برداری، ضبط کامپیوتری، نمایش در سایت و ... برداشت از این کتاب به صورت کلی، جزئی و عناوین دیگر ممنوع بوده و متخلفین طبق قوانین وزارت ارشاد اسلامی و قوه قضائیه تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند

مقدمه مترجم

تمدن را مهندس می‌سازند، در راستای نیل به هدف مستمر و پویا کتابی که پیش رو دارید برای درس «تحلیل سازه» در رشته مهندسی عمران نگاشته شده است. با پیشرفت‌های روزافزون در زمینه علوم مهندسی عمران، وجود کتاب‌های مفید در این زمینه، در کنار روش‌های تحلیل کامپیوتری و برای کمک به درک روش‌های تحلیل آنها ضروری است، به‌ویژه اینکه تحلیل سازه‌ها به زبانی بیان شود که تا حد امکان از روش‌های قدیمی دور و به روش‌های کامپیوتری نزدیکتر باشد تا علاوه بر آشنا کردن دانشجوی به اصول و مبانی تحلیل، زمینه‌ساز و راهنمای او در درک مفاهیم پایه‌ای روش‌های محاسبات کامپیوتری تحلیل سازه‌ها باشد.

کتاب حاضر علاوه بر متن کامل مباحث گوناگون تحلیل سازه‌ها دارای مثال‌های متعدد حل شده و مسائل حل نشده می‌باشد به‌طوری‌که آن را می‌توان کتاب «هزار مسئله» نامید. در نگارش کتاب از هر دو سیستم واحدهای (تن-متر) و (کیپ-فوت) استفاده شده است تا با تمرکز بر مفاهیم و روش تحلیل، آشنایی با هر دو سیستم واحدها حاصل شود. در کتاب فصل‌هایی نیز در زمینه‌های کاربردی مانند مهندسی زلزله، سازه اتصالات، سازه‌های دور از ساحل، خستگی و مکانیک شکست و ... اضافه شده تا کاربرد روش‌های ارائه شده گوناگون تحلیل سازه‌ها را در عمل نشان دهند. به‌علاوه فصول نامبرده با حل مشکلات انسان در تسخیر طبیعت، مانند طراحی سکوهای نفتی، مفید بودن روش‌های تحلیل سازه را به دانشجوی به‌طور ملموس‌تری جلوه‌گر می‌سازند. در این کتاب خواهیم دید که در سازه‌های معین، واکنش‌های تکیه‌گاهی و نیروی داخلی غیر از بارگذاری فقط به هندسه سازه بستگی دارد. اما در سازه‌های نامعین واکنش‌های تکیه‌گاهی و نیروهای داخلی غیر از بارگذاری، علاوه بر هندسه سازه به مشخصات مکانیکی مقاطع اعضاء مانند سطح مقطع و ممان اینرسی نیز بستگی دارد و اگر سازه از مصالح مختلف نیز ساخته شده باشد به ضریب ارتجاعی و ضریب بواسون آنها هم وابسته است.

در تحلیل سازه‌های معین و نامعین دو شرط باید تأمین شود: ۱- شرط تعادل ایستایی ۲- شرط سازگاری هندسی تغییر شکل‌ها. در سازه‌های معین تأمین شرط تعادل ایستایی به معنای ارضای سازگاری هندسی تغییر شکل‌ها نیز هست. اما در سازه‌های نامعین بی‌نهایت جواب برای واکنش‌های تکیه‌گاهی وجود دارد که به‌ازای هر دسته جواب، شرط تعادل استاتیکی یا ایستایی تأمین می‌شود، اما فقط آن دسته از واکنش‌ها جواب واقعی مسئله است که به‌ازای آن‌ها شرط سازگاری هندسی تغییر شکل‌های سازه نیز ا قناع شود.

به‌سازه‌هایی که به‌ازای یک بارگذاری خاص دارای تغییر شکل‌های کوچک بوده و همچنین رفتار مصالح آنها در محدوده ارتجاعی خطی باشد (قانون هوک) سازه‌های با رفتار ارتجاعی خطی یا

به اختصار سازه‌های با رفتار خطی گویند. «اصل اجتماع اثر قوا» فقط در مورد این نوع سازه‌ها کاربرد دارد. یعنی تغییر شکل‌های سازه تابع خطی از نیروها بوده و تقدم و تأخر اعمال نیروها در نتیجه نهایی تأثیری ندارد.

حال اگر اثر نیروی محوری در سازه زیاد باشد یعنی در «مسائل پایداری ارتجاعی»، وجود دو شرط تغییر شکل‌های کوچک سازه و رفتار ارتجاعی خطی مصالح لازم بوده اما کافی نیستند. در این گونه مسائل تغییر شکل‌های الاستیک سازه تابع خطی از نیروهای وارده بر سازه نیست. یعنی با وجود رفتار ارتجاعی خطی مصالح، تغییرات توابع تغییر شکل سازه مثل Δ بر حسب نیروهای وارده مثل p خطی نیست و تغییر شکل ارتجاعی Δ در هر نقطه مورد نظر از سازه در حالتی که بار محوری عضو N زیاد شده و به بار بحرانی آن، N_{cr} نزدیک می‌شود Δ به صورت غیرخطی نسبت به بار p و به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. بنابراین در مسائل پایداری ارتجاعی که با افزایش بار، تغییر شکل ارتجاعی سازه به طور خطی افزایش نیافته و شدیدتر است اصل اجتماع اثر قوا صادق نخواهد بود. البته باید خاطر نشان شود اگر مقدار بار محوری N کوچک باشد، یعنی کمتر از ۱۵ درصد بار محوری بحرانی عضو، N_{cr} ، می‌توان از اصل اجتماع اثر قوا با تقریب قابل قبولی استفاده کرد. تیر ستون‌ها نمونه‌هایی از سازه‌های فوق هستند که در آنها اثر توأم نیروی محوری N و لنگر خمشی M وجود دارد و برای آنها نمی‌توان از اصل اجتماع اثر قوا استفاده کرد. نکته فوق یعنی کوچک‌تر بودن بار محوری تیر ستون از ۱۵ درصد بار بحرانی آن با استفاده از رابطه «انحنای لنگر خمشی» مبتنی بر تغییرات شکل‌های بزرگ یا تئوری درجه دوم

$$K = \frac{1}{P} = \frac{M}{EI} = \frac{d^2y/dx^2}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

قابل اثبات است. فقط در این حالت می‌توان اصل اجتماع اثر قوا را صادق دانست اما اگر نیروی محوری اعضای سازه به طور کلی زیادتر از مقدار فوق باشد و سازه با روش‌های تحلیل سازه‌های خطی متداول، آنالیز شده باشد لنگرهای خمشی واقعی بزرگ‌ترند و لازم است لنگرهای خمشی حاصل از آنالیز با ضرایب تشدید لنگر که آئین‌نامه‌های طراحی ارائه می‌کنند افزایش داده شود.

برای آموختن روش مهم «اجزا محدود» مطالعه فصول ۱۶، ۱۷ و ۱۸ این کتاب بسیار مفید است که در آنها مبانی روش اجزا محدود براساس روش «سختی کلی» و «سختی مستقیم» به طور روشن تشریح شده است. سپس می‌توان به سراغ فصل ۲۵ کتاب رفت که روش را به صورت کاربردی توضیح می‌دهد. در خاتمه اینجانب رجاء واثق دارد که ارباب فضیلت و صاحب‌نظران محترم، همکاران، اساتید، مهندسان و دانشجویان عزیز که کتاب را ملاحظه و مطالعه می‌فرمایند، از ارشاد و ادلال کریمانه خود دریغ نخواهند فرمود تا با توکل به خداوند متعال و گرداننده قلم در صورت نیاز به چاپ‌های بعدی، ارشادات مذکور مدنظر واقع شود.

فهرست مطالب

۲۳۵	خلاصه	۱۱۰	۱۰-۳ مقایسه بین سازه‌های معین و نامعین	۳	فصل ۱: مقدمه
۲۳۶	مسائل	۱۱۲	خلاصه	۳	۱-۱ نگاهی کلی به این کتاب
		۱۱۳	مسائل	۵	۲-۱ فرایند طرح: رابطه بین تحلیل و طرح
۲۴۱	فصل ۷: قوس‌ها و طاق‌ها	۱۲۳	فصل ۴: خرابی‌ها	۷	۳-۱ مقاومت و قابلیت بهره‌برداری
۲۴۱	۱-۷ مقدمه	۱۲۳	۱-۴ مقدمه	۸	۴-۱ توسعه تاریخی سیستم‌های سازه‌ای
۲۴۱	۲-۷ انواع قوس‌ها	۱۲۶	۲-۴ انواع خرابی‌ها	۱۱	۵-۱ اجزاء سازه‌ای اصلی
۲۴۴	۳-۷ قوس‌های سه مفصلی	۱۲۷	۳-۴ تحلیل خرابی‌ها	۱۱	۶-۱ پیوستن اجزاء اصلی برای تشکیل سیستم
۲۴۵	۴-۷ شکل «بندی» طاقی که بار به‌طور یکنواخت توزیع‌شده را تحمل می‌کند	۱۲۸	۴-۴ روش اتصال‌ها یا گره‌ها	۲۰	سازه‌ای پایدار
۲۵۰	خلاصه	۱۳۲	۴-۴ روش میله‌های صفر	۲۳	۷-۱ تحلیل به‌وسیله کامپیوتر
۲۵۰	مسائل	۱۳۴	۴-۴ روش مقطع‌ها	۲۴	۸-۱ تدارک محاسبات
	فصل ۸: نیروهای بار زنده:	۱۴۲	۴-۴ معین بودن و پایداری		خلاصه
۲۵۷	خطوط تأثیر سازه‌های معین	۱۴۸	۸-۲ تحلیل کامپیوتری خرابی‌ها	۲۷	فصل ۲: بارهای طراحی
۲۵۷	۱-۸ مقدمه	۱۵۱	خلاصه	۲۷	۱-۲ آیین‌نامه ساختمانی و طراحی
۲۵۷	۲-۸ خطوط تأثیر	۱۵۲	مسائل	۲۸	۲-۲ بارها
۲۵۸	۳-۸ ترسیم یک خط تأثیر	۱۶۷	فصل ۵: تیرها و قاب‌ها	۲۹	۳-۲ بارهای مرده
۲۶۶	۴-۸ اصل مولر-برسلاو	۱۶۷	۱-۵ مقدمه	۳۶	۴-۲ بارهای زنده
۲۶۹	۵-۸ کاربرد خطوط تأثیر	۱۷۲	۲-۵ گستره این فصل	۴۳	۵-۲ بارهای باد
	۶-۸ خطوط تأثیر برای شاه‌تیرهایی که سیستم‌های کف را نگه‌می‌دارند	۱۷۳	۳-۵ معادلات برش و لنگر	۵۹	۶-۲ نیروهای زلزله
۲۷۸	۷-۸ خطوط تأثیر برای خرابی‌ها	۱۸۰	۴-۵ متحنی‌های برش و لنگر	۶۳	۷-۲ بارهای دیگر
	۸-۸ بارهای زنده برای پل‌های بزرگ‌راه‌ها	۱۸۸	۵-۵ اصل اجتماع اثر قوا	۶۴	۸-۲ ترکیب‌های بار
۲۸۳	۹-۸ راه‌آهن	۲۰۱	۶-۵ رسم شکل تغییر یافته یک تیر یا قاب	۶۵	خلاصه
۲۸۶	۱-۸ روش افزایشی-کاهشی	۲۰۷	۷-۵ درجه نامعینی	۶۷	مسائل
۲۹۱	۱-۸ حداکثر مطلق لنگر بار زنده	۲۱۱	خلاصه	۷۳	فصل ۳: ایستایی سازه‌ها و واکنش‌ها
۲۹۵	۱-۸ حداکثر برش	۲۱۲	مسائل	۷۳	۱-۳ مقدمه
۲۹۶	خلاصه	۲۲۵	فصل ۶: کابل‌ها	۷۴	۲-۳ نیروها
۲۹۷	مسائل	۲۲۵	۱-۶ مقدمه	۸۱	۳-۳ تکیه‌گاه‌ها
۳۰۹	فصل ۹: خیزهای تیرها و قاب‌ها	۲۲۶	۲-۶ خصوصیات کابل‌ها	۸۵	۴-۳ مدل کردن سازه‌ها
۳۰۹	۱-۹ مقدمه	۲۲۷	۳-۶ تغییر نیروی کابلی	۸۶	۵-۳ نمودارهای بیکره آزاد جسم
۳۱۰	۲-۹ روش انتگرال‌گیری مضاعف		۴-۶ تحلیل کابلی که بارهای نقلی (عمودی) را نگه می‌دارد	۸۸	۶-۳ معادلات تعادل ایستایی
۳۱۷	۳-۹ روش سطح لنگر	۲۲۸		۹۴	۷-۳ معادلات شرط
۳۳۶	۴-۹ روش پارابول‌تثابی	۲۳۰	۵-۶ قضیه کلی کابل	۹۷	۸-۳ تأثیر واکنش‌ها بر پایداری و معین بودن سازه‌ها
		۲۳۲	۶-۶ مشخص کردن شکل «بندی» یک قوس	۱۰۶	۹-۳ طبقه‌بندی سازه‌ها

۶۱۵	۴-۱۵ تحلیل تقریبی خراباهای بیوسته	۴۷۰	۲-۱۲ شرح روش شیبافت	۳۴۰	۵-۹ روش تیر مزدوج
۶۲۱	۵-۱۵ تخمین خیزهای خراباها	۴۷۱	۳-۱۲ استخراج معادله شیبافت	۳۴۹	۶-۹ نکات طراحی برای تیرها
۶۲۳	۶-۱۵ خراباهای با اعضای قطری مضاعف	۴۷۸	۴-۱۲ تحلیل سازه‌ها به وسیله روش شیبافت	۳۵۲	خلاصه
۶۲۶	۷-۱۵ تحلیل تقریبی قاب‌های صلب چندطبقه برای بارهای نقلی	۴۹۴	۵-۱۲ تحلیل سازه‌های دارای خیز جانبی	۳۵۳	مسائل
۶۳۵	۸-۱۵ تحلیل قاب‌های مهارشده برای بارهای جانبی	۵۰۴	۶-۱۲ نامعینی سینماتیک یا جنبشی		
۶۳۸	۹-۱۵ روش پرتال	۵۰۵	خلاصه		
۶۴۶	۱۰-۱۵ روش طره‌ای	۵۰۶	مسائل		
۶۵۱	خلاصه				
۶۵۲	مسائل				

فصل ۱۰: روش‌های کار-انرژی برای محاسبه خیز

۳۶۳	۱-۱۰ مقدمه
۳۶۴	۲-۱۰ کار
۳۶۶	۳-۱۰ انرژی کرنشی
۳۶۸	۴-۱۰ محاسبه خیزها توسط روش کار-انرژی (کار واقعی)
۳۷۰	۵-۱۰ کار مجازی: خراباها
۳۸۷	۶-۱۰ کار مجازی: تیرها و قاب‌ها
۳۹۹	۷-۱۰ جمع‌بندی محدود
۴۰۱	۸-۱۰ اصل تغییر مکان‌های مجازی برنولی
۴۰۴	۹-۱۰ قانون خیزهای متقابل مکسول-بنی
۴۰۸	خلاصه
۴۰۹	مسائل

فصل ۱۳: پخش لنگر

۵۱۳	۱-۱۳ مقدمه
۵۱۴	۲-۱۳ روش پخش لنگر
۵۱۹	۳-۱۳ خلاصه روش پخش لنگر در سازه‌های بدون جابجایی گره‌ها
۵۲۰	۴-۱۳ تحلیل تیرها به وسیله پخش لنگر
۵۲۸	۵-۱۳ اصلاح محاسبات عضو
۵۴۳	۶-۱۳ تحلیل قاب‌هایی که برای خیز جانبی آزادند
۵۴۹	۷-۱۳ تحلیل قاب‌های مهاربندی نشده برای بارگذاری کلی
۵۵۴	۸-۱۳ تحلیل قاب‌های چند طبقه
۵۵۵	۹-۱۳ اعضای غیر منشوری
۵۶۶	خلاصه
۵۶۷	مسائل

فصل ۱۴: سازه‌های نامعین: خطوط تأثیر

۵۷۵	۱-۱۴ مقدمه
۵۷۶	۲-۱۴ رسم خطوط تأثیر با استفاده از پخش لنگر
۵۸۰	۳-۱۴ اصل مولر-برسلاو
۵۸۲	۴-۱۴ خطوط تأثیر کیفی برای تیرها
۵۸۴	۵-۱۴ الگوهای بارگذاری بار زنده برای به حداکثر رساندن نیروها در ساختمان‌های چند طبقه
۵۸۸	خلاصه
۵۹۸	مسائل

فصل ۱۵: تحلیل تقریبی سازه‌های نامعین

۶۰۳	۱-۱۵ مقدمه
۶۰۵	۲-۱۵ تحلیل تقریبی تیرهای بیوسته برای بار نقلی
۶۱۱	۳-۱۵ تحلیل تقریبی قاب‌های صلب برای بار نقلی

فصل ۱۱: تحلیل سازه‌های نامعین با روش انعطاف‌پذیری

۴۲۱	۱-۱۱ مقدمه
۴۲۱	۲-۱۱ مفهوم اضافه در سازه‌های نامعین
۴۲۲	۳-۱۱ مبنای روش انعطاف‌پذیری
۴۲۶	۴-۱۱ نگاهی دیگر به روش انعطاف‌پذیری (بستن فاصله‌ها)
۴۳۶	۵-۱۱ تحلیل با استفاده از رهاشدگی‌های داخلی
۴۴۳	۶-۱۱ نشست‌های تکیه‌گاهی، تغییر دما و اشتباهات ساخت
۴۴۸	۷-۱۱ تحلیل سازه‌های با چندین درجه نامعینی
۴۵۵	۸-۱۱ تیر تکیه‌گاه ارتجاعی
۴۵۸	خلاصه
۴۵۸	مسائل

فصل ۱۲: تحلیل تیرها و قاب‌های نامعین با روش شیبافت

۴۶۹	۱-۱۲ مقدمه
-----	------------

فصل ۱۶: تحلیل با روش سختی کلی

۶۵۹	۱-۱۶ مقدمه
۶۶۰	۲-۱۶ مقایسه روش‌های انعطاف‌پذیری و سختی
۶۶۵	۳-۱۶ تحلیل تیر نامعین به وسیله روش سختی کلی
۶۷۸	خلاصه
۶۷۹	مسائل

فصل ۱۷: تحلیل ماتریسی خراباها با روش سختی مستقیم

۶۸۳	۱-۱۷ مقدمه
۶۸۸	۲-۱۷ ماتریس‌های سختی عضو و سازه
۶۸۸	۳-۱۷ ساخت ماتریس سختی عضو برای میله خرابایی منفرد
۶۹۰	۴-۱۷ تشکیل ماتریس سختی سازه
۶۹۳	۵-۱۷ حل روش سختی مستقیم
۶۹۷	۶-۱۷ ماتریس سختی عضو برای میله خرابایی شیب‌دار
۷۰۹	۷-۱۷ تبدیل مختصات ماتریس سختی عضو
۷۱۰	خلاصه
۷۱۲	مسائل

فصل ۱۸: تحلیل ماتریسی تیرها و قاب‌ها با روش سختی مستقیم

۷۱۵	۱-۱۸ مقدمه
۷۱۷	۲-۱۸ ماتریس سختی سازه

۹۲۴	۲-۲۵	مبانی روش اجزاء محدود
۹۴۱	۳-۲۵	مفاهیم مدل سازی
۹۴۶	۴-۲۵	حل مسائل با روش اجزاء محدود
۹۷۰		خلاصه
۹۷۲		مسائل

فصل ۲۶: سازه های دور از ساحل

۹۷۳	۱-۲۶	مقدمه
۹۷۷	۲-۲۶	ویژگی های طراحی سازه های دور از ساحل
۹۷۸	۳-۲۶	نیروها و بارها برای طرح سازه های دور از ساحل
۹۸۴	۴-۲۶	اصول تحلیل و طراحی سکوها دریا
۹۹۰	۵-۲۶	طرح سکوی زاکتی
۹۹۱	۶-۲۶	اتصال های لوله ای
۹۹۷	۷-۲۶	روش های تحلیل و طرح اتصال ها
۱۰۰۴	۸-۲۶	طرح خستگی
۱۰۰۴		خلاصه
۱۰۰۶		مسائل

فصل ۲۷: پاسخ انفجار سازه ها

۱۰۰۷	۱-۲۷	مقدمه
۱۰۰۸	۲-۲۷	انفجار در هوا
۱۰۱۲	۳-۲۷	پاسخ سازه ها به انفجار در هوا
۱۰۱۷	۴-۲۷	انفجار زیرزمینی
۱۰۲۱	۵-۲۷	انفجار زیر آب
۱۰۲۳		خلاصه
۱۰۲۵		مسائل

فصل ۲۸: مسائل حل شده گوناگون

فصل ۲۹: پیوست ها

فصل ۳۰: پاسخ مسائل فرد

فصل ۲۱: تحلیل سازه اتصال ها

۸۳۹	۱-۲۱	مقدمه
۸۴۰	۲-۲۱	اتصال های بسته شده
۸۴۸	۳-۲۱	اتصال های جوش شده
۸۵۴		خلاصه
۸۵۵		مسائل

فصل ۲۲: پایداری سازه ها

۸۵۷	۱-۲۲	مقدمه
۸۵۸	۲-۲۲	مدل اساسی کماتش
۸۶۱	۳-۲۲	بار کماتشی اولیه
۸۶۴	۴-۲۲	ستون بلند
۸۶۷	۵-۲۲	ستون متوسط
۸۶۹	۶-۲۲	فرمول سکانت برای ستون های با بارگذاری بیرون محور
۸۷۱		خلاصه
۸۷۲		مسائل

فصل ۲۳: لرزش سازه ها

۸۷۳	۱-۲۳	مقدمه
۸۷۶	۲-۲۳	تئوری لرزش
۸۸۰	۳-۲۳	تحریک همساز یا هارمونیک
۸۸۵	۴-۲۳	تحریک ضربانی و ضربه ای
۸۸۸	۵-۲۳	تحریک تکیه گاهی
۸۸۹		خلاصه
۸۹۰		مسائل

فصل ۲۴: سازه های تحت تحریک زلزله

۸۹۱	۱-۲۴	مقدمه
۸۹۴	۲-۲۴	تحلیل برای نیروها
۸۹۶	۳-۲۴	پاسخ سازه ها
۹۰۵	۴-۲۴	ویژگی های طراحی
۹۱۵		خلاصه
۹۱۸		مسائل

فصل ۲۵: روش اجزاء محدود

۹۱۹	۱-۲۵	مقدمه
-----	------	-------

۳-۱۸ ماتریس سختی دورانی (2 × 2)

۷۱۸		برای یک عضو خمشی
۷۱۸	۴-۱۸	ماتریس سختی (4 × 4)
۷۲۹		عضو خمشی در مختصات محلی
۷۳۹	۵-۱۸	ماتریس سختی (6 × 6)
۷۳۹		عضو خمشی - محوری در مختصات محلی
۷۴۸	۶-۱۸	ماتریس سختی 6 × 6
۷۴۸		عضو در مختصات اصلی
۷۵۰	۷-۱۸	ایجاد ماتریس سختی سازه - روش سختی مستقیم
۷۵۲		خلاصه
۷۵۴		مسائل

فصل ۱۹: سازه های جدار نازک و پیچش

۷۵۷	۱-۱۹	مقدمه
۷۵۸	۲-۱۹	تنش ها در استوانه جدار نازک
۷۷۰	۳-۱۹	پیچش
۷۷۶	۴-۱۹	اعضا یا تیرهای غیردایره ای جدار نازک
۷۸۲	۵-۱۹	تنش های برشی خمشی در تیرهای جدار نازک
۷۸۴	۶-۱۹	مرکز برش
۷۹۰	۷-۱۹	پیچش در مقطع غیردایره ای جدار نازک
۷۹۴	۸-۱۹	پیچش در مقاطع باز جدار نازک غیردایره ای
۷۹۷		خلاصه
۷۹۷		مسائل

فصل ۲۰: خستگی و شکست

۷۹۹	۱-۲۰	مقدمه
۸۰۰	۲-۲۰	بارگذاری دوره ای یا سیکلی - اصطلاحات
۸۰۴	۳-۲۰	رفتار خستگی
۸۰۶	۴-۲۰	عوامل موثر بر خستگی
۸۱۱	۵-۲۰	خستگی و تمرکز تنش
۸۱۸	۶-۲۰	روش های طرح
۸۲۸	۷-۲۰	مکانیک شکست
۸۳۳	۸-۲۰	طراحی مناسب مهندسی
۸۳۵		خلاصه
۷۳۷		مسائل

پل بروکلین که به عنوان هشتمین مورد از عجایب هشتگانه جهان از آن نام برده می شود در سال ۱۸۸۳ ساخته شده است. طول دهانه میانی آن که در حدود 480m است، 45m بالاتر از سطح آب رودخانه قرار دارد. طراحی آن براساس محاسبات و بیشتر متکی بر قضاوت های مهندسی بوده به همین دلیل در حدود سه برابر بار طراحی استاندارد پل ها مقاومت دارد. پایه های برج مانند میانی پل از مصالح بتایی بوده متکی بر پی صندوقه ای به ابعاد 30m در 55m هستند.

