

مبانی پایداری سازه‌ها

مؤلفین:

دکتر مریم عابدی

دکتر بهرام شکری

www.ketab.ir

توسعه روزافزون دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی کشور، باعث انتشار کتب و سایر منابع علمی به زبان فارسی را برآورد. کسانی که به امر پژوهش، تدریس یا تحصیل در سطح آموزش عالی اشتغال دارند، مبرهن می‌سازد از طرفی کمبود کتب علمی به زبان فارسی از سالها پیش در سطح دانشگاهها احساس و با گسترش مستمر دانشگاهها و افزایش تعداد دانشجویان این کمبود ملموس‌تر می‌شود. دانشگاه صنعتی سهند برای ایفای بخشی از رسالت خود و جلب جزیی از این نقیصه و ارتقاء کیفی و کمی سطح علمی دانشجویان عزیز در صدد است یک سری کتابهای علمی را به صورت تالیف یا ترجمه چاپ و منتشر کند و در اختیار دانش‌پژوهان قرار دهد. با توجه به این خدمت ناقابل گامی در جهت رفع قسمتی از نیازهای علمی کشور عزیز اسلامی ایران و مورد قبول درگاه حق تعالی قرار گیرد. در خاتمه امید است با دریافت پیشنهادها، نقاط قوتها و انتقادهای کلیه خوانندگان و صاحب‌نظران محترم، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند در خدمت اعتلای فرهنگ اسلامی و استقلال سازندگی کشور مؤید به تائیدات خداوندی باشد.

با آرزوی توفیق الهی

دانشگاه صنعتی سهند

عابدی، کریم. ۱۳۳۸-
 مبنای پایداری سازه‌ها/ تألیف کریم عابدی و بهزاد شکسته‌بند. - تبریز:
 دانشگاه صنعتی سهند، ۱۳۹۴.
 ط، ۹۹۳ ص.. مصور، جدول، نمودار. - (انتشارات دانشگاه صنعتی سهند؛
 ۱۳۹۴ ۲م/ع ۶۵۶ TA
 شابک: ۹۷۸۹۶۴۶۲۱۹۷۵۵
 کتابنامه در آخر هر فصل.
 ۱. پایداری سازه‌ها. الف. شکسته‌بند، بهزاد ۱۳۵۷ ب. عنوان، ج. دانشگاه
 صنعتی سهند.
 شماره کتابشناسی ملی ۳۷۱۴۲۸۹



مبنای پایداری سازه‌ها

مبنای پایداری سازه‌ها

تألیف: کریم عابدی و بهزاد شکسته‌بند

زیر نظر معاونت پژوهشی و فناوری

چاپ اول: تبریز، ۱۳۹۴

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

تعداد صفحه: ۹۹۳

قطع: وزیری

لیتوگرافی: نگین فیلم

چاپ: پرنیان

ISBN: 978-964-6219-755

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۲۱۹-۷۵۵

قیمت: ۵۰۰،۰۰۰ ریال

تبریز - شهر جدید سهند - دانشگاه صنعتی سهند - انتشارات

کد پستی ۱۱۱۱۱-۵۳۳۱۸ ص.پ. ۱۹۹۶/۵۱۳۳۵

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه - کلیات و مبانی

۱	۱.۱ مقدمه
۶	۲.۱ برخی نمونه‌های ناپایداری سازه‌ای
۱۶	۳.۱ پایداری یا ناپایداری سازه‌ها
۱۷	۱.۳.۱ طبقه‌بندی نیروها و سیستم‌ها
۲۱	۲.۳.۱ مفاهیم پایداری
۲۵	۳.۳.۱ روش‌های اساسی بررسی پایداری سازه‌ها و معیارهای حاصل از آنها
۲۵	۱.۳.۳.۱ روش تعادل
۲۹	۲.۳.۳.۱ روش انرژی
۳۲	۳.۳.۳.۱ روش ارتعاشی
۳۶	۴.۳.۱ رفتار غیرخطی سخت شونده و نرم شونده
۵۲	۴.۱ جمع‌بندی
۵۳	مراجع
۵۴	مسائل فصل اول

فصل دوم: رده‌بندی پدیده‌های ناپایداری سازه‌ها

۵۵	۱.۲ مقدمه
----	-----------------

۵۹	۲.۲ تعمیم روش‌های بررسی پایداری برای سیستم‌های N درجه آزادی
۶۰	۱.۲.۲ روش دینامیکی
۶۳	۲.۲.۲ روش انرژی
۶۶	۳.۲ نقاط بحرانی بر روی مسیرهای تعادل
۷۶	۴.۲ روش‌های اختلال و تقریبی
۷۹	۵.۲ تأثیر ناکاملی روی رفتار ناپایداری سیستم‌های سازه‌ای
۹۰	۶.۲ ناپایداری نقطه حدی
۹۶	۱.۶.۲ رسد چند مثال دیگر در مورد ناپایداری نقطه حدی
۱۱۵	۲.۶.۲ نمونه‌های عملی از سازه‌های دارای رفتار ناپایداری حدی
۱۲۱	۷.۲ ناپایداری نقطه دوشاخگی
۱۲۲	۱.۷.۲ دوشاخگی متقارن پایدار
۱۲۳	۱.۱.۷.۲ مدل آزمایشگاهی
۱۶۶	۲.۱.۷.۲ نمونه‌های عملی از سازه‌های دارای دوشاخگی متقارن پایدار
۱۷۱	۲.۷.۲ دوشاخگی متقارن ناپایدار
۱۷۱	۱.۲.۷.۲ مدل آزمایشگاهی
۲۱۵	۲.۲.۷.۲ نمونه‌های عملی از سازه‌های دارای دوشاخگی متقارن ناپایدار
۲۱۹	۳.۷.۲ دوشاخگی نامتقارن
۲۲۰	۱.۳.۷.۲ مدل آزمایشگاهی
۲۳۵	۲.۳.۷.۲ نمونه‌های عملی از سازه‌های دارای دوشاخگی نامتقارن
۲۳۷	۸.۲ کوپل بارهای بحرانی برای حالت دوشاخگی مرکب
۲۴۹	۹.۲ ارزیابی آزمایش‌های کمانشی با نمودار <i>Southwell</i>
۲۵۳	۱۰.۲ پدیده‌های ناپایداری با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح
۲۵۳	۱.۱۰.۲ رفتار غیرخطی الاستیک فنرها
۲۶۳	۲.۱۰.۲ رفتار غیرخطی الاستوپلاستیک فنرها
۲۷۱	۱۱.۲ جمع‌بندی
۲۷۷	مراجع
۲۷۸	مسائل فصل دوم

۲۹۱	کمانش الاستیک ستون‌ها
۲۹۲	۱.۲.۲ معادلات دیفرانسیل حاکم بر کمانش تیر-ستون‌ها
۲۹۷	۲.۲.۳ تحلیل کمانش خطی ستون‌ها
۲۹۸	۱.۲.۲.۳ ستون دو سر مفصل (ستون Euler)
۳۰۱	۱.۱.۲.۲.۳ معادلات دیفرانسیل با مرتبه کاهش یافته برای ستون دو سر مفصل
۳۰۳	۲.۲.۲.۳ ستون دو سر گیردار
۳۰۶	۱.۲.۲.۲.۳ معادلات دیفرانسیل با مرتبه کاهش یافته برای ستون دو سر گیردار
۳۰۸	۳.۱.۲.۳ ستون یک سر گیردار و یک سر آزاد
	۱.۲.۲.۱.۳ معادلات دیفرانسیل با مرتبه کاهش یافته برای ستون یک سر گیردار
۳۱۰	و یک سر آزاد
۳۱۲	۴.۲.۲.۳ ستون یک سر مفصلی و یک سر گیردار
	۱.۴.۲.۲.۳ معادلات دیفرانسیل با مرتبه کاهش یافته برای ستون یک سر گیردار
۳۱۳	و یک سر مفصلی
۳۱۵	۵.۲.۲.۳ ستون یک سر گیردار و یک سر هدایت شده
	۱.۵.۲.۲.۳ معادلات دیفرانسیل با مرتبه کاهش یافته برای ستون یک سر گیردار
۳۱۶	و یک سر هدایت شده
۳۱۸	۶.۲.۲.۳ ستون یک سر مفصلی و یک سر هدایت شده
	۱.۶.۲.۲.۳ معادلات دیفرانسیل با مرتبه کاهش یافته برای ستون یک سر مفصلی
۳۱۹	و یک سر هدایت شده
۳۲۰	۳.۲.۳ ضریب طول موثر و منحنی طراحی ستون
۳۲۳	۴.۲.۳ تأثیر ناکاملی‌ها بر رفتار کمانشی ستون‌ها
۳۲۴	۱.۴.۲.۳ ستون با انحنای اولیه کوچک
۳۳۱	۲.۴.۲.۳ ستون با بار خارج از مرکز
۳۳۴	۳.۴.۲.۳ ستون با بار توزیع شده
۳۳۵	۵.۲.۳ تحلیل کمانش ستون‌ها با فرض تغییر شکل‌های بزرگ
۳۴۳	۶.۲.۳ فرمول‌های طراحی ستون‌ها
۳۴۵	۷.۲.۳ ثابت نماندن راستای نیروهای وارده (حالت ناپایستار)
۳۵۰	۸.۲.۳ اثر تغییر شکل‌های برشی بر رفتار کمانشی ستون‌ها
۳۵۴	۹.۲.۳ استفاده از روش دینامیکی برای تحلیل کمانشی ستون‌ها
۳۵۸	۱۰.۲.۳ تحلیل کمانش ستون‌های با تکیه‌گاه‌های الاستیک

- ۱۰۲.۲.۲ پایداری یک ستون یک سر مفصل - یک سر تکیه‌گاه الاستیک ۳۵۸
- ۲۰۲.۲.۲ پایداری یک ستون با تکیه‌گاه‌های الاستیک در هر دو انتها ۳۶۱
- ۲۰۲.۱۰.۲.۳ اثر قیدهای انتهایی بر بار بحرانی ستون‌ها در قاب‌های بدون حرکت جانبی ۳۶۵
- ۲۰۲.۱۰.۲.۳ اثر قیدهای انتهایی بر بار بحرانی ستون‌ها در قاب‌های با حرکت جانبی ۳۶۸
- ۱۱.۲.۲ بررسی چند مثال در مورد کمناش ستون‌ها ۳۷۰
- ۱۲.۲.۲ ایستایی ستون‌ها بر روی فونداسیون‌های الاستیک ۳۸۸
- ۳.۳ کمناش - ایرالاستیک ستون‌ها ۳۹۴
- ۱.۲.۲ تئوری مدول کاهش یافته ۳۹۶
- ۲.۲.۲ تئوری مدول کاهش یافته ۴۰۲
- ۳.۲.۲ تئوری Shanley برای کمناش ایرالاستیک ستون‌ها ۴۰۷
- ۴.۲.۲ مثالی برای تشریح مفاهیم مدول معکوس و مدول کاهش یافته ۴۱۴
- ۵.۲.۲ مقاومت کمناشی ستون‌های الاستیک ۴۱۸
- ۶.۲.۲ مقاومت کمناشی ستون‌های فولادی ۴۲۱
- ۱.۶.۲.۲ تأثیر تنش‌های پسماند روی مقاومت کمناش ستون‌های فولادی ۴۲۲
- ۷.۲.۲ اثر انحنای اولیه و خروج از مرکزیت بارگذاری بر روی مقاومت کمناشی ستون‌های غیرالاستیک ۴۳۰
- ۱.۷.۲.۲ رابطه ممان - انحناء - فشار برای مقاطع مستطیلی ۴۳۱
- ۲.۷.۲.۲ حداکثر مقاومت یک ستون با ناکاملی اولیه هندسی و بارگذاری ۴۳۸
- ۸.۲.۲ منحنی‌ها و فرمول‌های طراحی ستون‌های فولادی ۴۴۴
- ۲.۳ تیر - ستون‌ها ۴۵۱
- ۱.۴.۲ رفتار الاستیک تیر - ستون‌ها ۴۵۴
- ۱.۱.۴.۲ معادلات دیفرانسیل حاکم بر رفتار تیر - ستون‌ها ۴۵۴
- ۲.۱.۴.۲ تیر - ستون با بار متمرکز جانبی ۴۵۷
- ۳.۱.۴.۲ تیر - ستون با ممان‌های انتهایی ۴۶۳
- ۱.۳.۱.۴.۲ مفهوم ممان خمشی معادل ۴۶۶
- ۲.۳.۱.۴.۲ محاسبه ممان خمشی حداکثر ۴۶۸
- ۴.۱.۴.۲ اصل جمع آثار در تیر - ستون‌ها ۴۶۹
- ۵.۱.۴.۲ روابط اندرکنش تیر - ستون‌ها ۴۷۰

.....	۶.۱.۴.۳ معادلات سه ممانی برای تیر- ستون ها	۴۸۲
.....	۷.۱.۴.۳ معادلات شیب- افت برای تیر- ستون ها	۴۸۴
.....	۸.۱.۴.۳ تیر- ستون های دارای قیدهای الاستیک	۵۰۰
.....	۲.۴.۳ رفتار غیرالاستیک تیر- ستون ها	۵۰۱
.....	۱.۲.۴.۳ روابط تقریبی ممان- انحناء- نیروی فشاری برای مقاطع مستطیلی	۵۰۵
.....	۲.۲.۴.۳ معادلات اندرکنش طراحی	۵۱۱
.....	۲.۴.۳ طراحی تیر- ستون ها	۵۱۶
.....	۵.۳ جمع بندی	۵۲۲
.....	مراجع	۵۲۸
.....	مسائل فصل دوم	۵۲۹

فصل چهارم: کمانش قاب ها

.....	۱.۴ مقدمه	۵۴۱
.....	۲.۴ مدل های مکانیکی توصیف کننده انواع ناپایداری قاب ها	۵۴۳
.....	۱.۲.۴ مدل دوشاخگی	۵۴۴
.....	۲.۲.۴ مدل حدی	۵۴۷
.....	۳.۴ کمانش الاستیک قاب ها	۵۴۸
.....	۱.۳.۴ تعیین بار بحرانی قاب ها با استفاده از روش معادلات- تفریق- انسپل	۵۴۸
.....	۱.۱.۳.۴ قاب بدون حرکت جانبی	۵۴۸
.....	۲.۱.۳.۴ قاب با حرکت جانبی	۵۵۲
.....	۲.۲.۴ تعیین بار بحرانی قاب ها با استفاده از روش معادلات شیب- افت	۵۵۷
.....	۱.۲.۳.۴ قاب بدون حرکت جانبی	۵۵۷
.....	۲.۲.۳.۴ قاب با حرکت جانبی	۵۶۳
.....	۳.۳.۴ تعیین بار بحرانی قاب ها با استفاده از روش ماتریس سختی	۵۶۸
.....	۱.۳.۳.۴ فرمول بندی ماتریس سختی اعضا	۵۶۸
.....	۲.۳.۳.۴ تشکیل ماتریس سختی قاب	۵۷۳
.....	۴.۳.۴ اثر قیدهای تکیه گاهی بر بار بحرانی قاب ها با استفاده از روش شیب- افت	۵۸۰
.....	۵.۳.۴ تعیین بار بحرانی قاب ها با تقلیل مسأله به ستون های با قیدهای انتهایی	۵۸۲
.....	۴.۴ تعیین بار کمانشی قاب های بزرگ منظم	۵۹۳
.....	۱.۴.۴ بار بحرانی ستون های میانی در قاب های بدون حرکت جانبی	۵۹۴

۵۹۵	۲.۴.۴ بار بحرانی ستون‌های میانی در قاب‌های با حرکت جانبی
۵۹۷	۳.۴.۴ بار بحرانی قاب‌های دارای دیوار برشی
۵۹۸	۴.۴.۴ بار بحرانی ستون‌های کناری
۶۰۰	۵.۴ مقاومت پس‌بحرانی خرپاهای نامعین
۶۰۲	۶.۴ تحلیل غیرخطی قاب‌ها
۶۰۵	۱.۶.۴ بار خرابی پلاستیک
۶۰۵	۱.۱.۶.۴ مفصل پلاستیک
۶۰۸	۱.۶.۴ تعیین بار خرابی پلاستیک
۶۱۱	۳.۱.۱.۴ تعیین بار خرابی الاستوپلاستیک
۶۱۹	۴.۱.۶.۴ تعیین رفتار پس‌بحرانی قاب‌ها
۶۲۷	۷.۴ ملاحظات طراحی قاب‌ها
۶۳۴	۸.۴ جمع‌بندی
۶۳۵	مراجع
۶۳۶	مسائل فصل چهارم

فصل پنجم: کماتش پیچشی - جانبی

۶۴۱	۱.۵ مقدمه
۶۴۳	۲.۵ مبانی مسائل پیچش تیرها
۶۴۳	۱.۲.۵ عضو تحت ممان پیچشی خالص
۶۵۰	۲.۲.۵ تابیدگی مقاطع / شکل و بال پهن
۶۵۵	۳.۵ کماتش پیچشی - جانبی تیرهای با اتصال مفصلی تحت اثر ممان خالص
۶۵۶	۱.۳.۵ تیرهای نازک شبه‌نواری
۶۶۰	۲.۳.۵ تصحیح مربوط به اثر <i>Vlasov</i> در کماتش پیچشی - جانبی تیرها
۶۶۴	۴.۵ پارامترهای موثر بر کماتش پیچشی - جانبی تیرهای / شکل
۶۶۴	۱.۴.۵ تأثیر شرایط مرزی بر روی ممان کماتش پیچشی - جانبی تیرهای / شکل
۶۶۷	۲.۴.۵ تأثیر شرایط بارگذاری روی ممان کماتش پیچشی - جانبی تیرهای / شکل
۶۸۹	۳.۴.۵ تأثیر ناکاملی هندسی بر کماتش پیچشی - جانبی تیرها
۶۹۳	۵.۵ کماتش پیچشی - جانبی مقاطع دارای یک محور تقارن
۷۰۲	۶.۵ کماتش پیچشی ستون‌ها و کماتش پیچشی - خمشی تیرستون‌ها
۷۰۸	۷.۵ کماتش غیرالاستیک پیچشی - جانبی

۷۱۳	۸.۵ منحنی طراحی برای مقابله با کمانش پیچشی - جانبی تیرها
۷۱۴	۱.۸.۵ ملاحظات طراحی بر مبنای روش ASD
۷۱۷	۲.۸.۵ ملاحظات طراحی بر مبنای روش LRFD
۷۲۰	۹.۵ جمع‌بندی
۷۲۲	مراجع
۷۲۳	مسائل فصل پنجم

فصل ششم: کمانش قوس‌ها و رینگ‌ها

۷۲۷	۱.۶ مقدمه
۷۳۰	۲.۶ پایداری قوس‌ها
۷۳۱	۱.۲.۶ قوس‌های دایروی تحت بار بارگذاری شعاعی
۷۴۱	۲.۲.۶ قوس‌های دایروی تحت بار گزیده یکنواخت در امتداد دهانه
۷۴۳	۳.۲.۶ قوس غیردایروی تحت بار گزیده یکنواخت در امتداد دهانه
۷۴۳	۱.۳.۲.۶ قوس سهموی
۷۴۹	۲.۳.۲.۶ قوس زنجیری
۷۵۰	۴.۲.۶ فروجهش قوس‌های کم‌عمق
۷۵۱	۱.۴.۲.۶ قوس‌های سینوسی
۷۵۵	۲.۴.۲.۶ قوس‌های با اشکال دیگر (غیرسینوسی)
۷۵۷	۳.۴.۲.۶ در نظر گرفتن تغییر شکل برشی قوس‌ها
۷۵۹	۵.۲.۶ کمانش قوس‌های با مقاطع جدارنازک و مقاطع باز
۷۶۶	۶.۲.۶ کمانش پیچشی - جانبی قوس‌ها
۷۶۹	۱.۶.۲.۶ قوس دایروی تحت اثر ممان خمشی خالص
۷۷۲	۲.۶.۲.۶ قوس دایروی تحت اثر بار گسترده یکنواخت شعاعی
۷۷۳	۳.۶ پایداری رینگ‌ها
۷۷۷	۴.۶ جمع‌بندی
۷۷۸	مراجع
۷۷۹	مسائل فصل ششم

فصل هفتم: کمانش صفحات

۷۸۳	۱.۷ مقدمه
۷۸۵	۲.۷ مبانی تئوری خمش صفحات
۷۸۶	۱.۲.۷ روابط تنش‌ها و کرنش‌ها
۷۸۸	۲.۲.۷ روابط ممان - انحناء
۷۹۰	۳.۲.۷ تعادل نیروها و ممان‌های موثر بر عناصر صفحه‌ای
۷۹۱	۳.۷ معادله دیرانسیل حاکم بر کمانش صفحات
۷۹۲	۴.۷ شرایط مرزی - صفحات
۷۹۵	۵.۷ کمانش صفحات تحت اثر بارهای درون صفحه‌ای
	۱.۵.۷ صفحه تخت با تکیه‌گاه‌های ساده در چهار لبه و بارگذاری فشاری
۷۹۵	در یک راستا
	۲.۵.۷ صفحه تخت با تکیه‌گاه‌های ساده در چهار لبه و بارگذاری فشاری
۸۰۲	در هر دو راستا
	۳.۵.۷ صفحه تخت با تکیه‌گاه‌های خرد در چهار لبه و بارگذاری فشاری
۸۰۷	در یک راستا
	۴.۵.۷ صفحه تخت با تکیه‌گاه‌های ساده در دوبله موازی و بارگذاری فشاری
۸۱۱	بر همان لبه‌ها و با شرایط مختلف تکیه‌گاهی
	۵.۵.۷ صفحه تخت با تکیه‌گاه‌های ساده در دوبله موازی و بارگذاری فشاری
۸۲۰	بر لبه‌های دیگر
۸۲۴	۶.۷ کمانش صفحات تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری
۸۲۴	۱.۶.۷ کمانش صفحه مستطیلی در برش
	۲.۶.۷ صفحه تخت با تکیه‌گاه‌های ساده تحت اثر نیروهای گسترده فشاری
۸۲۷	غیریکنواخت
۸۳۲	۷.۷ کمانش صفحات تقویت شده
۸۳۲	۱.۷.۷ صفحات تقویت شده توسط سخت کننده‌های طولی
۸۳۹	۲.۷.۷ صفحات تقویت شده توسط سخت کننده‌های عرضی
۸۴۳	۳.۷.۷ صفحات تقویت شده توسط سخت کننده‌های طولی و عرضی
۸۴۸	۸.۷ مقاومت پس‌کمانشی صفحات مستطیلی
۸۵۷	۹.۷ کمانش غیرارتجاعی صفحات
۸۵۹	۱۰.۷ مقاومت نهایی صفحات کمانش یافته

۱۱.۷	جمع‌بندی	۸۶۱
	مراجع	۸۶۳
	مسائل فصل هفتم	۸۶۴

فصل هشتم: کمانش پوسته‌ها

۱.۸	مقدمه	۸۶۷
۲.۸	مبانی نظریه خمش پوسته‌ها	۸۶۸
۱.۲.۸	رابط تنش‌ها و کرنش‌ها	۸۶۹
۲.۲.۸	انرژی کرنشی	۸۷۱
۳.۸	معادلات دیفرانسیل حاکم بر رفتار پوسته‌های استوانه‌ای	۸۷۱
۱.۳.۸	پوسته‌های استوانه‌ای در حالت کلی	۸۷۱
۲.۳.۸	پوسته‌های استوانه‌ای مدور تحت بارگذاری متقارن	۸۷۵
۴.۸	نظریه کمانش خطی‌سازی شده پوسته‌های استوانه‌ای	۸۷۷
۱.۴.۸	کمانش متقارن یک پوسته استوانه‌ای تحت اثر فشار یکنواخت محوری	۸۸۱
۵.۸	کمانش پوسته‌های استوانه‌ای در شرایط بارگذاری مختلف	۸۹۲
۱.۵.۸	کمانش یک پوسته استوانه‌ای تحت اثر فشار جانبی یکنواخت	۸۹۲
۲.۵.۸	کمانش یک پوسته استوانه‌ای تحت اثر پیچش	۸۹۵
۳.۵.۸	کمانش یک پوسته استوانه‌ای تحت اثر بارگذاری مرکب	۹۰۰
۶.۸	کمانش یک پوسته استوانه‌ای تحت اثر شرایط مرزی مختلف	۹۰۲
۷.۸	کمانش پانل‌های استوانه‌ای مدور	۹۰۵
۱.۷.۸	کمانش پانل‌های استوانه‌ای مدور تحت اثر فشار محوری	۹۰۵
۲.۷.۸	کمانش پانل‌های استوانه‌ای مدور تحت اثر بارگذاری مرکب فشار محوری و برش	۹۰۸
۸.۸	کمانش سقف‌های پوسته استوانه‌ای بتنی	۹۱۰
۹.۸	کمانش پوسته‌های مخروطی	۹۱۲
۱۰.۸	کمانش متقارن پوسته‌های کروی	۹۱۵
۱۱.۸	تحلیل غیرخطی کمانش پوسته‌ها و حساسیت به ناکاملی‌ها	۹۲۳
۱.۱۱.۸	معادلات تغییر شکل‌های بزرگ در کمانش پوسته‌های استوانه‌ای	۹۲۵
۲.۱۱.۸	رفتار پس‌کمانشی پانل‌های استوانه‌ای	۹۲۹

۹۳۲		۱۲.۸ مودهای کمانشی و اندرکنش آن‌ها
۹۳۴		۱۳.۸ جمع‌بندی
۹۳۵		مراجع
۹۳۶		مسائل فصل هشتم
۹۳۹		واژه‌نامه
۹۵۹		فهرست موضوعی

پیشگفتار مؤلفین

بسم الله الرحمن الرحيم

اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ أَتَنَسَّاهُمْ يَلْمُ بِالْقَلَمِ (علق ۳ و ۴)

بخوان قرآن را و پروردگار تو کریم‌ترین کریمان عالم است. آن خدایی که بشر را علم و نوشتن به قلم آموخت.

سپاس بی‌کران خداوند متعال را که توفیق عنایت فرمود تا با تألیف این کتاب، خدمتی هر چند ناچیز در زمینه دانش و قلم انجام داده شود.

کتاب حاضر مجموعه‌ای جامع جهت آشنایی با مبانی پایداری سازه‌ها است. پایداری سازه‌ها از مهمترین دروس مهندسی سازه است که بحث اصلی آن کمانش سازه‌ها می‌باشد. کمانش پدیده‌ای است که طی آن حالت تعادل سازه از یک حالت ناپایدار به یک حالت پایدار منتقل می‌شود و در این انتقال حالت، دچار تغییر شکل‌های قابل توجه می‌شود. کمانش، اغلب در مورد ستون‌ها بحث می‌شود، ولی دیگر سازه‌ها نظیر تیرها، تیر-ستون‌ها، قاب‌ها، قوس‌ها، صفحات و پوسته‌ها نیز دچار کمانش می‌شوند.

پارامترهای زیادی در طراحی سیستم‌های سازه‌ای تأثیر دارند. خواص مصالح، اندرکنش بین

بارهای خارجی، پاسخ سازه، اثرات دینامیکی و حرارتی، عملکرد، هزینه و سهولت نگهداری سیستم مسائلی هستند که باید در طراحی کارآمد سیستم‌های سازه‌ای بزرگ و پیچیده در نظر گرفته شوند؛ به گونه‌ای که اقتصادی‌ترین، ایمن‌ترین، سبک‌ترین و بهترین سازه یا به بیانی دیگر، یک سازه بهینه حاصل شود. در این راستا می‌توان به سیستم‌های سازه‌ای سبک و جدار نازک اشاره کرد که وجود مصالح با مقاومت بالا، ملاحظات اقتصادی، نیاز به سیستم‌های پیچیده و ظریف سازه‌ای، پیشرفت روش‌های طراحی و ابداع روش‌های نوین، ارتقای سطح تکنولوژی ساخت، پیشرفت روش‌های بهینه‌یابی و ابداع مصالح نوین، گرایش به این سیستم‌های بهینه را تسریع کرده‌اند. در کنار مزایای این نوع سازه‌ها، یستی به مشکلات آنها نیز اشاره کرد که نیاز به تخصص ویژه در تحلیل و طراحی، دشواری‌های ساخت، در معرض صدمات فیزیکی بودن و از همه مهم‌تر احتمال وقوع ناپایداری‌های سازه‌ای از جمله آنها هستند. اساساً در مکانیک سازه‌ای، معیار پایداری یکی از ملاحظات اساسی طراحی است. به گونه‌ای که در سازه‌های لاغر و سبک وزن نظیر ستون‌های لاغر، صفحات و پوسته‌های نازک، پدیده ناپایداری اصلی‌ترین ملاحظه طراحی است. بنابراین آشنایی دانشجویان رشته مهندسی سازه و مهندسی سازه‌ها با مبانی پایداری سازه‌ها، امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری می‌باشد.

در کشور ما نیز، با توجه به اهمیت تحلیل پایداری سازه‌ها جهت طراحی اقتصادی و ایمن آنها مؤلفین بر آن شدند که با توجه به تجربیات و مطالعات خود در این زمینه، کتابی درخور را به نگارش در آورند.

اهداف اصلی کتاب حاضر عبارت‌اند از:

- ارائه مبانی پایداری سازه‌ها؛
- تشریح ناپایداری‌ها و خرابی‌هایی که وقوع آنها در انواع متنوعی از سازه‌ها محتمل است؛
- تاکید خاص بر تشریح پدیده کمانش ستون‌ها، تیر-ستون‌ها، قاب‌ها، قوس‌ها، صفحات و پوسته‌ها؛

در ضمن برخی از ویژگی‌های این کتاب عبارت‌اند از:

- این کتاب شامل نتایج آخرین و جدیدترین پژوهش‌ها در زمینه تحلیل پایداری سازه‌ها بوده؛
- به گونه‌ای که مراجع مورد استفاده در انتهای هر فصل آورده شده است؛

▪ مسائل و تمرین‌های متنوعی در مورد تمامی روش‌های تحلیل خرابی سازه‌ها با تأکید بر جنبه‌های عملی آنها و نیز تشریح کامل این روش‌ها ارائه شده‌اند؛

• کتاب شامل مبانی پایداری سازه‌ها است، از این‌رو برای دانشجویان دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری و نیز برای مهندسين طراح و پژوهشگران ارجمند می‌تواند سودمند باشد. این کتاب در هشت فصل تدوین شده است. در فصل اول، به عنوان مقدمه به کلیات و مبانی پایداری سازه‌ها اشاره شده و برخی نمونه‌های ناپایداری سازه‌ها آورده شده‌اند. همچنین مفاهیم پایداری، روش‌های اساسی بررسی پایداری سازه‌ها و معیارهای حاصل از آنها مورد بحث قرار گرفته‌اند.

در فصل دوم، رده‌بندی پدیده‌های ناپایداری در سازه‌ها پرداخته شده است. در ابتدا، تعمیم روش‌های بررسی پایداری برای سیستم‌های N درجه آزادی، روش‌های اختلال و تقریبی و تأثیر ناکاملی روی رفتار ناپایداری سیستم‌های سازه‌ای مورد بحث قرار گرفته و رده‌های مختلف پدیده ناپایداری در سازه‌ها شامل ناپایداری نقطه - سی، و ناپایداری نقطه دوشاخگی تشریح شده، سپس به پدیده‌های ناپایداری با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح اشاره شده است.

فصل سوم، در مورد کمناش ستون‌ها و تیر-ستون‌ها می‌باشد. در این فصل، ابتدا کمناش الاستیک ستون‌ها تبیین شده که شامل مباحث معادلات دینامیک حاکم بر کمناش تیر-ستون‌ها، تحلیل کمناش خطی ستون‌ها، ضریب طول موثر و منحنی ارجحی ستون، تأثیر ناکاملی‌ها بر رفتار کمناشی ستون‌ها، تحلیل کمناش ستون‌ها با فرض تغییرشکل‌های بزرگ، اثر تغییرشکل‌های برشی بر رفتار کمناشی ستون‌ها، تحلیل کمناش ستون‌های با تکیه‌گاه‌های الاستیک و ناپایداری ستون‌ها بر روی فونداسیون‌های الاستیک می‌باشد. سپس کمناش غیرالاستیک ستون‌ها تشریح گردیده که شامل مباحث تئوری‌های مدول کاهش یافته، مدول مماسی و مدل Shanley برای کمناش غیرالاستیک ستون‌ها، اثر انحنای اولیه و خروج از مرکزیت بارگذاری روی مقاومت کمناشی ستون‌های غیرالاستیک است. در ادامه، رفتار ناپایداری الاستیک و غیرالاستیک تیر-ستون‌ها مورد بحث قرار گرفته است.

فصل چهارم، در مورد کمناش قاب‌ها می‌باشد. در این فصل، مدل‌های مکانیکی توصیف‌کننده انواع ناپایداری قاب‌ها، کمناش الاستیک قاب‌ها و تعیین بار کمناشی قاب‌های بزرگ منظم تشریح شده‌اند. در ادامه، مقاومت پس‌بحرانی خرابی‌های نامعین، تحلیل غیرخطی قاب‌ها و ملاحظات

طراحی در قاب‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

فصل پنجم، در مورد کمانش پیچشی و جانبی می‌باشد. در این فصل، ابتدا مبانی مسائل پیچش تیرها ارائه شده، سپس کمانش پیچشی - جانبی تیرهای با اتصال مفصلی تحت اثر ممان خالص، پارامترهای مؤثر بر کمانش پیچشی - جانبی تیرهای ۱ شکل، کمانش پیچشی - جانبی مقاطع دارای یک محور تقارن، کمانش پیچشی ستون‌ها و کمانش پیچشی - خمشی تیر - ستون‌ها و کمانش غیرالاستیک پیچشی - جانبی تشریح شده و در ادامه، منحنی طراحی برای مقابله با کمانش پیچشی - جانبی تیرها ارائه شده است.

فصل ششم، در مورد کمانش قوس‌ها و رینگ‌ها می‌باشد. در این فصل، ابتدا پایداری قوس‌ها تبیین شده که شامل بحث آیس‌های دایروی تحت اثر بارگذاری شعاعی و بارهای گسترده یکنواخت در امتداد دهانه و قوس‌های غیردایروی تحت بار گسترده یکنواخت در امتداد دهانه، فروجهش قوس‌های کم عمق که شش‌فرس‌های با مقاطع جدارنازک و مقاطع باز و کمانش پیچشی - جانبی قوس‌ها می‌باشد. سپس مانشر رینگ‌ها تشریح گردیده است.

فصل هفتم، در مورد کمانش صفحات می‌باشد. در این فصل، ابتدا در مورد مبانی نظریه خمش صفحات بحث شده و سپس به معادله دیفرانسیل حاکم بر کمانش صفحات، شرایط مرزی صفحات، کمانش صفحات تحت اثر بارهای درون صفحه‌ای، کمانش صفحات تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری و کمانش صفحات تقویت شده پرداخته شده است. در ادامه، مقاومت پس کمانشی صفحات مستطیلی، کمانش غیرارتنجایی صفحات و مقاومت نهایی صفحات کمانش یافته مورد بحث قرار گرفته است.

فصل هشتم، در مورد کمانش پوسته‌ها می‌باشد. در این فصل، در ابتدا، مبانی نظریه خمش پوسته‌ها تشریح شده و سپس معادلات دیفرانسیل حاکم بر رفتار پوسته‌های استوانه‌ای، نظریه کمانش خطی سازی شده پوسته‌های استوانه‌ای، کمانش پوسته‌های استوانه‌ای در شرایط بارگذاری مختلف و تحت اثر شرایط مرزی مختلف مورد بحث قرار گرفته‌اند. در ادامه، به کمانش پانل‌های استوانه‌ای مدور، کمانش سقف‌های پوسته استوانه‌ای بتنی، کمانش پوسته‌های مخروطی، کمانش متقارن پوسته‌های کرووی و تحلیل غیرخطی کمانش پوسته‌ها و حساسیت به ناکاملی‌ها اشاره شده است.

در مورد کتاب حاضر، ذکر دو نکته زیر ضروری است:

- در تنظیم این اثر سعی شده است که هم از مباحث کلاسیک و هم از مباحث نوین در بحث

پایداری استفاده شود. البته مؤلفین اثر حاضر، قصد تالیف کتاب دیگری را تحت عنوان "مباحث پیشرفته در پایداری سازه‌ها" دارند که شامل کاربرد روش عناصر محدود در تحلیل ناپایداری سازه‌ها، ناپایداری سیستم‌های ناپایستار، ناپایداری دینامیکی، خرابی پیشرونده در سازه‌ها، روش‌های مطالعات آزمایشگاهی روی رفتار ناپایداری سازه‌ها، روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر ناپایداری، ناکاملی‌های هندسی و رابطه آن با ظرفیت پس‌کمانشی سازه‌ها و سایر یافته‌های جدید خواهد بود.

• در برخی فصول، به عنوان نمونه و مثال، به ضوابط طراحی آیین‌نامه AISC در مقابل کمانش که در سازه‌های فولادی رخ می‌دهد اشاره شده است. بدیهی است که این ضوابط اختصاص به سازه‌های فولادی ندارند و در خصوص ضوابط طراحی سایر سازه‌ها (مثلاً سازه‌های بتن آرمه) در حال کمانش، باید به آیین‌نامه‌های مربوط مراجعه شود.

از آنجا که روش‌های تحلیل پایداری سازه‌ها رابطه تنگاتنگی با ریاضیات داشته و واژه‌های ریاضی بسیار زیادی در ارائه این روش‌ها به کار رفته است، از این رو در انتخاب واژه‌های معادل فارسی از کتاب "واژه‌نامه ریاضی و آمار" به واسطه انجمن ریاضی ایران با همکاری گروه ریاضی و آمار مرکز نشر دانشگاهی تدوین گردیده، استفاده شده است.

مؤلفین کتاب حاضر تمامی کوشش و دقت خود را در غنی کردن محتوای مطالب ارائه شده مبذول داشته‌اند. با این حال با کمال فروتنی آماده درنظر نگذاشته‌اند که نظرات و راهنمایی‌های پژوهشگران، اساتید، دانشجویان و مهندسين طراح ارجمند می‌باشند.

اگرچه تلاش فراوانی به عمل آمده تا تألیفی شیوا و عاری از اشکالات گردد، با وجود این از اساتید گرامی و دانشجویان عزیز صمیمانه استدعا داریم در صورت برخورد با هرگونه اشتباه تایپی و نیز هرگونه نکته نظری در خصوص نگارش ادبی متن با ناشر و یا مؤلفین در میان بگذارند تا انشاءالله در چاپ‌های بعدی لحاظ گردد.

در اینجا لازم است از آقای دکتر حسین شوکتی که در طی نگارش این کتاب، همواره مؤلفین را از راهنمایی‌ها و نکته‌نظرات مفید، مؤثر و ارزنده خویش بهره‌مند ساختند، تشکر نماییم. از آقایان دکتر محمدرضا چناقلو، دکتر بهزاد رافعی و دکتر محمدعلی برخوردار نیز که موجب غنای این اثر گردیدند، تشکر صمیمانه خود را ابراز می‌داریم. همچنین از راهنمایی‌های گرانبهای جناب آقای دکتر نقدعلی چوپانی که ویراستاری این کتاب را با دقت و حوصله فراوان انجام دادند، تشکر

می‌نماییم.

مسئلاً انتشار کتاب حاضر نیاز به کمک و همکاری دوستان و همکارانی داشته و دارد که کمک‌های بی‌شائبه آنان در خور کمال تشکر است. سرانجام آنکه مراتب سپاسگزاری خود را از کلیه دست‌اندرکاران دانشگاه صنعتی سهند تبریز ابراز می‌داریم.

رَبَّنَا تَقَبَّلْ مِنَّا إِنَّكَ أَنْتَ السَّمِيعُ الْعَلِيمُ

بار الها: این خدمت ناچیز را از ما بپذیر که تویی شنوای دانا

کریم عابدی، بهزاد شکسته بند

زمستان ۱۳۹۳

www.ketab.ir