

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا و استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

....., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات خارجی

.....، گروه دانشکده، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مقالات داخلی



پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان:

بررسی کمانش پوسته‌های استوانه‌ای شکل تحت بار پیچشی

استاد راهنما:

دکتر رحمن سیفی

نگارش:

مجید شمس‌کندری



دانشگاه بوعلی سینا
مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

کمانش پوسته‌های استوانه‌ای شکل تحت بار پیچشی

نام نویسنده: مجید شمس کندی

نام استاد/اساتید راهنما: دکتر رحمن سیفی

نام استاد /اساتید مشاور: -

دانشکده: مهندسی

گروه آموزشی: مکانیک

رشته تحصیلی: مکانیک

گرایش تحصیلی: طراحی کاربردی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۹۰/۴/۵

تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۷/۸

تعداد صفحات: ۸۶

چکیده:

بیشتر پوسته‌ها تحت بار فشاری دچار کمانش می‌شوند، مخصوصاً هنگامی که ضخامت پوسته در مقایسه با ابعاد دیگر پوسته به اندازه کافی کوچک باشد. پدیده‌ی کمانش در شکست سازه‌های جدار نازک مثل پوسته‌ها یک پدیده شناخته شده است و بایستی با دقت در تشخیص امنیت و ایمنی سازه مورد بررسی قرار گیرد. در پنل‌های استوانه‌ای نازک که با پیچش مواجه‌اند، نیز امکان ایجاد کمانش وجود دارد. در این تحقیق به بررسی تأثیر عوامل مختلف در ممان کمانش به صورت عملی و عددی پرداخته شد. عواملی مثل ضخامت، طول، قطرپنل وجود عیوب‌هایی مانند ترک، تأثیر طول، موقعیت، راستای ترک بر نیروی کمانش پرداخته، تحقیقات موجود در این زمینه محدود بوده و عمدتاً این تحقیقات منحصر به بررسی رفتار در محدوده خطی می‌شود و همچنین حساسیت زیاد پوسته‌ها نسبت به نواقص در طول بارگذاری، شناخت این رفتار از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. برای این منظور مدل‌هایی با استفاده از روش اجزا محدود از پوسته استوانه‌ای شکل ساخته شده و توسط برنامه Abaqus آنالیز شده است. برای چندین نمونه تست تجربی کمانش به کمک فیکسچر ساخته شده برای تبدیل نیروی محوری به پیچشی انجام شد و نتایج حاصل با نتایج عددی مقایسه شد. تطابق بسیار خوبی بین نتایج حاصل از تحلیل عددی و نتایج تجربی وجود دارد. در پایان به کمک نتایج تجربی و عددی بدست آمده، درباره میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ذکر شده بر روی رفتار کمانش پوسته‌های استوانه‌ای ترک دار و پنل‌های ترک‌دار بحث شده است. همچنین نتایج روش تحلیلی برای حالت بدون ترک استوانه کامل مقایسه و ارزیابی گردیده است. تأثیر موقعیت ترک بر روی پنل‌ها دارای اهمیت است و همچنین تأثیر کم ترک‌های با طول متوسط واقع در وسط پنل به صورت ترک سطحی در حالی که وجود ترک در این موقعیت در پوسته‌های استوانه‌ای کامل بیشترین تأثیر را روی کمانش پوسته دارد. همچنین نسبت قطر به طول پنل در نیروی کمانش بسیار موثر است که با افزایش این نسبت نیروی کمانش کاهش می‌یابد.

کلمه‌های کلیدی: کمانش، پنل استوانه‌ای شکل، بار پیچشی، ترک

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

تقدیر و تشکر

ستایش خدا را بر آنچه ارزانی داشت. سپاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید قدرتی که در مقایسه با سایر موجودات باعث شده است که انسان هرگز به امکانات موجود خود اکتفا نکند. مکاتب الهی انسان را موجودی کمال طلب و پویا می دانند که جهت گیری او به سوی خالقش می باشد. از جمله راه های تقرب به خداوند مهربان علم است. علمی که زیبایی عقل است. علمی که دریای بیکران آن هر ذره نشانی از آفریدگار است و هر چه علم انسان افزون گردد، تقریبش بیشتر می شود.

بنده ضمن ارادت و خضوع در برابر تمامی مربیان و معلمان دوران زندگی خود، از تلاش های صادقانه و راهنمایی استاد فرزانه جناب آقای دکتر رحمن سیفی، استاد راهنمای گرانقدر این پروژه تشکر می نمایم، زحمات ایشان را اجر می نهم که اسوه بنده در تلاش، صبر و دقت هستند، امیدوارم در بقیه مراحل زندگی از کمک های ایشان بهره مند گردم.

همچنین از اساتید محترم دکتر علوی نیا و دکتر محمودی که زحمت بررسی این پایان نامه را کشیده اند کمال تشکر را دارم.

در پایان از همه عزیزانی که در مراحل مختلف تهیه، تدوین و چاپ پایان نامه از همفکری و همکاری و راهنمایی آن ها برخوردار بوده ام، سپاسگزاری نموده و موفقیت روز افزونشان را آرزومندم.

مجید شمس کندی - پاییز ۱۳۹۲

فهرست مطالب

۱-۱	مقدمه	۳
۲-۱	کمانش چیست؟	۴
۳-۱	مسیرهای بحرانی و حالت های بحرانی	۶
۲	فصل دوم پیشینه پژوهش	۱۱
۱-۲	مقدمه	۱۲
۲-۲	پیشینه پژوهش	۱۳
۳	فصل سوم بررسی تئوری های موجود و آزمایش	
۳-۱	کمانش پوسته ها	۱۹
۳-۱-۱	تئوری دائل	۲۰
۲-۱-۳	تئوری تیموشنکو	۲۱
۳-۱-۳	تئوری یانگ	۲۱
۲-۳	آزمایش	۲۲
۱-۲-۳	دستگاه آزمایش	۲۲
۲-۲-۳	فیکسچر	۲۳
۳-۲-۳	شرح قسمت های مختلف فیکسچر	۲۳
۴-۲-۳	نمونه های آزمایش	۲۶
۴	فصل چهارم شبیه سازی	
۱-۴	مقدمه	۲۹
۲-۴	کمانش و ترک در نرم افزار ABAQUS:	۳۰
۱-۲-۴	استفاده از مقادیر ویژه (step : buckle)	۳۰
۲-۲-۴	استفاده از روش اصلاح شده Riks (step : static, Riks)	۳۲
۲-۳-۴	استفاده از حل مسائل غیرخطی (step : static, General)	۳۵
۳-۴	انتخاب المان محدود	۳۶
۴-۴	مدلسازی نمونه	۳۷
۵-۴	شبیه سازی کمانش یک استوانه ای ترک دار تحت بار پیچشی با نرم افزار ABAQUS	۳۷
۱-۵-۴	تاثیر اندازه ی المان	۴۳
۲-۵-۴	بررسی تاثیر قطر بر نیروی کمانش استوانه	۴۴
۳-۵-۴	بررسی تاثیر طول استوانه	۴۶
۴-۵-۴	بررسی تاثیر ضخامت استوانه	۴۷
۵-۵-۴	بررسی تاثیر موقعیت ترک	۴۹
۶-۵-۴	بررسی تاثیر جنس نمونه	۵۰

۷-۵-۴	بررسی تأثیر زاویه ی ترک بر نیروی کمانش نمونه های استوانه ای ترکدار تحت بارگذاری ممان پیچشی	۵۳
۶-۴	بررسی کمانش پنل های استوانه ای شکل تحت بار پیچشی	۵۴
۱-۶-۴	بررسی تأثیر ضخامت بر پوسته های استوانه ای شکل	۵۸
۲-۶-۴	بررسی تأثیر طول پنل	۶۲
۳-۶-۴	بررسی تأثیر موقعیت ترک	۶۵
۴-۶-۴	بررسی تأثیر قطر بر نیروی کمانش استوانه	۶۶
۵-۶-۴	بررسی تأثیر زاویه ترک بر نیروی کمانش پنل	۶۹
۵ فصل پنجم نتایج		
۱-۵	مقدمه	۷۵
۲-۵	بررسی فرمول های تئوری و عددی	۷۵
۳-۵	مقایسه ی نتایج آزمایش های عملی و شبیه سازی	۷۶
۴-۵	نتایج	۸۱
۱-۴-۵	کمانش نمونه های استوانه ای بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی	۸۱
۲-۴-۵	کمانش نمونه های استوانه ای ترکدار تحت بارگذاری پیچشی	۸۱
۳-۴-۵	کمانش پوسته های استوانه ای شکل بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی	۸۱
۴-۴-۵	کمانش پوسته های استوانه ای شکل ترکدار تحت بارگذاری پیچشی	۸۲
۸۰	مراجع	

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ مخزن های تخریب شده در اثر گردباد کروایکس (۱۹۸۹) ۵
- شکل ۱-۲ یک مخزن کمانش کرده ۵
- شکل ۱-۳ نمایش نقاط انشعاب و بار بحرانی در نمودار بار در حسب جابجایی ۶
- شکل ۱-۴ سه نوع اساسی نقاط انشعاب ۸
- شکل ۱-۳ Santam 150KN ۲۲
- شکل ۲-۳ نمای کلی فیکسچر ۲۳
- شکل ۳-۳ نمایش نحوه ی انتقال نیرو ۲۴
- شکل ۳-۴ اجزای فیکسچر ۲۵
- شکل ۱-۴ منحنی نیرو-تغییر مکان، تحلیل کمانش خطی ۳۱
- شکل ۲-۴ پاسخ ناپایدار با بار متناسب ۳۳
- شکل ۳-۴ منحنی نیرو-تغییر مکان تحلیل کمانش غیر خطی ۳۵
- شکل ۴-۴ المان بندی ترک ۳۸
- شکل ۴-۵ طرح واره برای گشتاور وقید ها ۳۹
- شکل ۴-۶ کمانش استوانه بدون ترک ۴۰
- شکل ۴-۷ مود های کمانش پوسته استوانه ای ترکدار (دو مود اول کمانش موضعی را نشان می دهد). ۴۱
- شکل ۴-۸ نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۲
- شکل ۴-۹ بررسی تاثیر اندازه ی المان در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۴
- شکل ۴-۱۰ بررسی تاثیر قطر استوانه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۵
- شکل ۴-۱۱ بررسی تاثیر طول استوانه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۷
- شکل ۴-۱۲ شکل بررسی تاثیر ضخامت استوانه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۸
- شکل ۴-۱۳ نمایش موقعیت ترک ۴۹
- شکل ۴-۱۴ بررسی تاثیر موقعیت ترک در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۵۰
- شکل ۴-۱۵ شکل منحنی تنش-کرنش (الف) آلومینیوم، (ب) فولاد و (ج) Fe85-Cu15 ۵۱
- شکل ۴-۱۶ شکل بررسی تاثیر جنس نمونه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۵۳

شکل ۴-۱۷ منحنی نسبت نیروی کمانش نسبت به زوایای ترک برای نمونه های استوانه ای ترکدار دارای طول های ترک متفاوت تحت بارگذاری ممان پیچشی ۵۴

شکل ۴-۱۸: طرح واره قطاع ها ۵۵

شکل ۴-۱۹ ترک های مرکزی (روی سطح پوسته) ۵۶

شکل ۴-۲۰ ترک های کناری ۵۷

شکل ۴-۲۱ شکل مود های کمانش برای پنل ساده، پنل با ترک مرکزی، پنل با ترک کناری ۵۷

شکل ۴-۲۲ بررسی ۳ مود اول نیروی کمانش برای G مختلف ۵۸

شکل ۴-۲۳ شکل بررسی تاثیر ضخامت پنل G180 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک کناری در موقعیت $L0/L=0.75$ تحت بارگذاری پیچشی ۶۰

شکل ۴-۲۴ شکل بررسی تاثیر ضخامت پنل G330 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک مرکزی در موقعیت $L0/L=0.5$ تحت بارگذاری پیچشی ۶۱

شکل ۴-۲۵ شکل بررسی تاثیر طول پنل G180 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک کناری در موقعیت $L0/L=0.75$ تحت بارگذاری پیچشی ۶۳

شکل ۴-۲۶ شکل بررسی تاثیر طول پنل G330 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک کناری در موقعیت $L0/L=0.5$ تحت بارگذاری پیچشی ۶۴

شکل ۴-۲۷ شکل بررسی تاثیر موقعیت ترک در پنل G180 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک کناری تحت بارگذاری پیچشی ۶۶

شکل ۴-۲۸ بررسی تاثیر قطر در نیروی کمانش پنل های G180 در موقعیت $L0/L=0.75$ تحت بارگذاری پیچشی ۶۷

شکل ۴-۲۹ بررسی تاثیر قطر در نیروی کمانش پنل های G330 در موقعیت $L0/L=0$ تحت بارگذاری پیچشی ۶۹

شکل ۴-۳۰ بررسی تاثیر زاویه ترک در نیروی کمانش پنل های G330-T1- D50-L200 در موقعیت $L0/L=0.75$ تحت بارگذاری پیچشی ۷۰

شکل ۴-۳۱ نتایج حاصل در بررسی تاثیر زاویه در نیروی کمانش پنل های G330 با ترک مرکزی در موقعیت $L0/L=0.5$ تحت بارگذاری پیچشی ۷۲

شکل ۵-۱ نمودارهای نیرو-جابجایی به دست آمده از پیچش نمونه های الف) **G254-D60-L301-T0.8** و ب) **G87-L301-D60-T0.8** ۷۷

شکل ۵-۲ مقایسه ی هندسه ی پوسته ی G180-D60-L301-T0.8 در حالت بدون ترک و دارای ترک مرکزی میلی متر $a=62$ ۷۹

شکل ۵-۳ مقایسه ی هندسه ی نهایی پوسته ی ترکدار G354-D60-L301-T0.8 با ترک کناری $a=20$ mm پس از پیچش در آزمایش های تجربی و شبیه سازی ۸۰

شکل ۵-۴ مقایسه ی هندسه ی نهایی پوسته ی G354-D60-L301-T0.8 پس از پیچش در آزمایش های تجربی و شبیه سازی برای مود دوم کمانش ۸۰

فهرست جداول

- جدول ۱-۴ جدول مشخصات عمومی نمونه ها..... ۳۹
- جدول ۲-۴ نتایج حاصل برای ۳ مود اول کمانش در بارگذاری پیچشی ۴۲
- جدول ۳-۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر اندازه ی المان در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۳
- جدول ۴-۴ مقدار نیروی کمانش استوانه ی بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای قطر های متفاوت استوانه ۴۴
- جدول ۵-۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر قطر استوانه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۵
- جدول ۶-۴ مقدار نیروی کمانش استوانه ی بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای طول های متفاوت استوانه ۴۶
- جدول ۷-۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر طول استوانه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۶
- جدول ۸-۴ مقدار نیروی کمانش استوانه ی بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای ضخامت های متفاوت استوانه ۴۷
- جدول ۹-۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر ضخامت استوانه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۴۸
- جدول ۱۰-۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر موقعیت ترک در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۵۰
- جدول ۱۱-۴ جدول مشخصات فیزیکی برای نمونه های با جنس های متفاوت ۵۲
- جدول ۱۲-۴ جدول نتایج حاصل در بررسی تاثیر جنس نمونه در نیروی کمانش استوانه ی ترکدار با ترک محیطی تحت بارگذاری پیچشی ۵۲
- جدول ۱۳-۴ بررسی ۳ مود اول نیروی کمانش برای G های مختلف ۵۸
- جدول ۱۴-۴ مقدار نیروی کمانش پنل G180 بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای ضخامت های متفاوت ۵۹
- جدول ۱۵-۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر ضخامت پنل G180 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک کناری در موقعیت $L0/L=0.75$ تحت بارگذاری پیچشی ۵۹
- جدول ۱۶-۴ مقدار نیروی کمانش پنل G330 بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای ضخامت های متفاوت ۶۱
- جدول ۱۷-۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر ضخامت پنل G330 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک مرکزی در موقعیت $L0/L=0.5$ تحت بارگذاری پیچشی ۶۱

جدول ۴-۱۸ مقدار نیروی کمانش پنل G180 بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای طول های متفاوت پنل.....	۶۲
جدول ۴-۱۹ نتایج حاصل در بررسی تاثیر طول پنل G180 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک کناری در موقعیت $L0/L=0.75$ تحت بارگذاری پیچشی.....	۶۲
جدول ۴-۲۰ جدول مقدار نیروی کمانش پنل G330 بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای طول های متفاوت پنل.....	۶۴
جدول ۴-۲۱ نتایج حاصل در بررسی تاثیر طول پنل G330 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک مرکزی در موقعیت $L0/L=0.5$ تحت بارگذاری پیچشی.....	۶۴
جدول ۴-۲۲ نتایج حاصل در بررسی تاثیر موقعیت ترک در پنل G180 در نیروی کمانش پنل ترکدار با ترک کناری تحت بارگذاری پیچشی.....	۶۵
جدول ۴-۲۳ مقدار نیروی کمانش پنل بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای قطر های متفاوت PS-T1-L400-G180.....	۶۶
جدول ۴-۲۴ نتایج حاصل در بررسی تاثیر قطر در نیروی کمانش پنل های G180 در موقعیت $L0/L=0.75$ تحت بارگذاری پیچشی.....	۶۷
جدول ۴-۲۵ مقدار نیروی کمانش پنل بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی برای قطر های متفاوت PS-T0.5-L400-G330.....	۶۸
جدول ۴-۲۶ نتایج حاصل در بررسی تاثیر قطر در نیروی کمانش پنل های G330 در موقعیت $L0/L=0.5$ تحت بارگذاری پیچشی.....	۶۸
جدول ۴-۲۷ مقدار نیروی کمانش پنل بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی PS-T1-L200-G330.....	۷۰
جدول ۴-۲۸ نتایج حاصل در بررسی تاثیر زاویه ترک در نیروی کمانش پنل های G330-T1-D50-L200 در موقعیت $L0/L=0.75$ برای ترک کناری تحت بارگذاری پیچشی.....	۷۰
جدول ۴-۲۹ مقدار نیروی کمانش پنل بدون ترک تحت بارگذاری پیچشی PS-T0.5-L200-G330.....	۷۱
جدول ۴-۳۰ نتایج حاصل در بررسی تاثیر زاویه در نیروی کمانش پنل های G330 با ترک مرکزی در موقعیت $L0/L=0.5$ تحت بارگذاری پیچشی.....	۷۱
جدول ۵-۱ مقایسه نتایج حاصل از تئوری با نتایج المان محدود در حالت بدون ترک.....	۷۵
جدول ۵-۲ مقایسه نتایج به دست آمده از آزمایش های عملی و شبیه سازی اجزای محدود.....	۷۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

کمانش یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌ها در مکانیک جامدات می باشد. این پدیده سازه‌هایی را تهدید می کند که بسیار نازک هستند و تحت نیروی فشاری و یا در حوزه تنش‌های فشاری واقعند. سازه‌هایی مانند ستون‌ها، ورق‌ها و پوسته‌ها سازه‌های رایجی هستند که کاربردهای بسیار زیادی در صنایع مختلف دارند و مهم‌ترین حالت خرابی آن‌ها زمانی که تحت نیروی فشاری هستند، پدیده کمانش است.

اساساً تحلیل کمانش یکی از زیر بخش‌های مکانیک غیرخطی به شمار می رود تا مکانیک خطی اما نامناسب بودن نسبی معادلات دیفرانسیل غیرخطی طی سال‌ها منجر به توسعه سودمند روش‌های تحلیل خطی براساس تقریب‌های نامعین شده است. به عنوان یک نتیجه، بسیاری از تحلیل‌گران تجربی سازه، تئوری پایداری الاستیک را به عنوان یک مبنای مناسب برای تحلیل‌ها قرار داده‌اند که فقط بطور حاشیه‌ای به تحلیل تنش و تغییر مکان معمولی وابسته هستند. نقش تحلیل پایداری به عنوان یک راهبرد ویژه از تحلیل غیرخطی و عمومی سازه‌ها در کاربردهای پیشرفته آشکار است. تغییر شکل سازه در طول کمانش و پس از آن زیاد است و به این علت مسایل غیرخطی از اهمیت خاصی برخوردار است و یکی از دلایل اصلی غیرخطی شدن معادلات دیفرانسیل حاکم بر سازه حین کمانش و پس از آن به شمار می رود. در این حالت عبارتهای مرتبه دومی که در تحلیل تنش کرنش معمولی حذف می شوند. از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده و گاهی حذف این عبارات باعث به وجود آمدن خطای زیادی در پیش بینی رفتار سازه شده و یا حتی ممکن است رفتار نادرستی از سازه ترسیم شود. در طیف وسیعی از موضوعات مورد مطالعه در مکانیک، نیروهای وارد در صفحه به جابجایی‌های درون صفحه منجر می شود. با این وجود در مواقعی که کمانش رخ می دهد، بارگذاری‌های درون صفحه به جابجایی‌های خارج از صفحه منجر می شود.

با افزایش بار، سازه با هندسه اولیه خود مقاومت می کند تا اینکه کمانش رخ دهد و بعد از آن

سازه به دنبال یافتن نقطه تعادل جدید ناپایدار می شود و شکل هندسی اولیه خود را از دست می دهد. برای تشریح این پدیده مفاهیم اساسی مسیرهای تعادلی و حالت‌های بحرانی (نقاط انشعاب و نقاط حدی)، معیار حداقل انرژی پتانسیل و معیار تعادل در مجاورت از دست دادن پایداری در نزدیکی نقطه تعادل مطرح شده است. به علت وجود نقص در کاربردهای عملی (انحراف هندسی از شکل کامل، خروج از مرکزیت بارها، تغییرات محلی خواص و غیره)، بار بحرانی تجربی ۱۰ تا ۲۰ درصد کمتر از مقادیر تئوری است. دلیل اختلاف بین نتایج تئوری و تجربی زمانی موضوع جدی بحث‌ها بود اما اکنون در مورد دلیل این اختلاف اتفاق نظر عمومی وجود دارد و آن وجود نواقص اولیه است [۱].

۱-۲ کمانش چیست؟

یک سیستم سازه‌ای به وسیله سازه‌ها و بارهایی که به آن اعمال می شود تشکیل می شود. دو ویژگی وجود دارد که باعث می شود سازه در برابر این بارها مقاومت کند.

- مواد سازنده

- شکل هندسی

هر سازه به شکل خاصی طراحی می شود و از آن انتظار می رود که این شکل در طول سرویس دهی ثابت بماند. برای مثال، یک مخزن که به شکل دایره‌ای و سقف مخروطی ساخته شده است، انتظار می رود در اثر بارهایی که در طراحی در نظر گرفته شده اند به همین شکل باقی بماند. نمونه ای از تخریب مخزن ها در شکل ۱-۱ آمده است.



شکل ۱-۱ مخزن های تخریب شده در اثر گردباد کروایکس (۱۹۸۹) [۲]

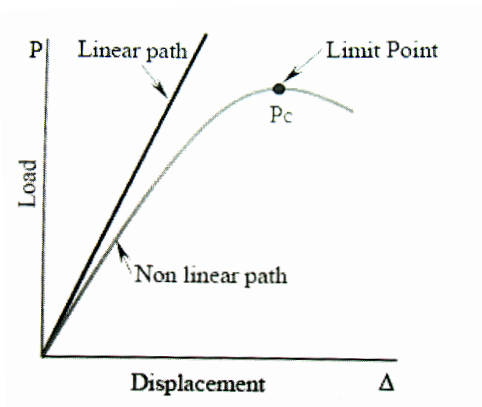
کمانش فرآیندی است که سازه نمی تواند با هندسه اصلی اولیه خود مقاومت کند، بنابراین تغییر شکل می دهد به منظور اینکه ترکیب و شکل تعادل جدید پیدا کند. این یک فرآیند ناخوشایند (از نقطه نظر و دیدگاه مهندسی) است و برای مقادیر بار معین رخ می دهد. نتیجه کمانش اساساً هندسی است. جابجایی های خیلی زیاد در سازه وجود دارد که باعث تغییرات شکل شدید می شود.



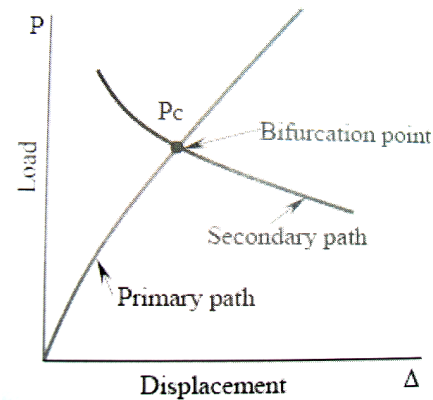
شکل ۲-۱ یک مخزن کمانش کرده [۲]

کمانش تنها مربوط به سازه ها نبوده، بلکه به سیستمی از سازه ها نیز مرتبط می شود. به

منظور تجسم فرآیند کمانش لازم است که نمودارهای بار بر حسب جابجایی را همانطور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است ترسیم کرد. در اینجا حالت های تعادل سازه به عنوان عبارت هایی از نیروی به کار برده شده (P) و جابجایی (Δ) بدست آمده رسم شده است.



ب



الف

شکل ۳-۱ نمایش نقاط انشعاب و بار بحرانی در نمودار بار در حسب جابجایی [۲]

در قسمت بعد در مورد نمودارهای فوق توضیح داده شده است.

۳-۱ مسیرهای بحرانی و حالت های بحرانی

ترتیب نقاط تعادل در نمودارهای $P-\Delta$ که در شکل ۴-۱ نشان داده شده اند به عنوان مسیرهای تعادلی شناخته می شوند. مسیر تعادلی که از شکل و ترکیب بدون بار ظاهر می شود به عنوان مسیر اساسی، یا مسیر مقدماتی، همچنین به عنوان مسیر قبل از کمانش نامگذاری می شود. این مسیر ممکن است خطی (یا تقریباً خطی) و یا غیرخطی باشد و به سیستم سازه ای وابسته است.

سطح باری که در آن تغییر شکل وجود دارد، بار کمانش و هندسه پدیدار شده را کمانش

نامند.

رفتار تا خوردگی (جهش سریع) درکمانش^۱، مسیر اصلی غیرخطی است و در بار حداکثر رخ می دهد، جایی که مماس بر مسیر افقی است. این حالت نقطه حدی نامیده می شود (۱-۳ الف). تغییر شکل به روش غیرطبیعی و شدید رخ می دهد.

کمانش در نقطه انشعاب^۲، مسیر اصلی ممکن است خطی باشد و با یک مسیر تعادلی دیگر متقاطع باشد، که در شروع فرآیند بارگذاری ارائه نشده است (۱-۳ ب) حالتی که دو مسیر نقطه تقاطع دارند، نقطه تقاطع نقطه انشعاب خوانده می شوند.

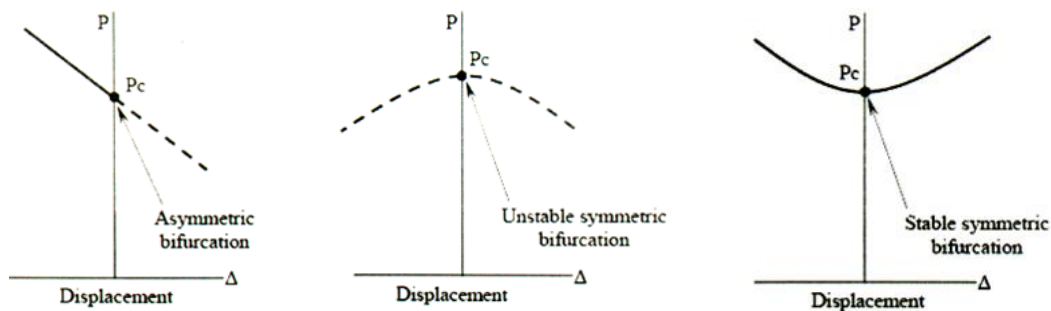
کمانش وابسته به حالت های تعادل است که پایداری نامیده می شود یک حالت پایدار تعادل حالتی است که اگر یک اغتشاش کوچک به سیستم وارد شود در همان سطح بار، سپس سیستم ارتعاش می کند اما بعد از مدتی به حالت اصلی برمی گردد. اگر سیستم به حالت اولیه خود برنگردد و به سمت حالت جدیدی حرکت کند، شاید خیلی دورتر از سیستم اولیه، سپس سیستم اولیه حالت ناپایداری دارد. در نقاط بحرانی پایداری از حالت پایدار به نا پایدار تغییر می کند. فرآیندی که بعد از کمانش رخ می دهد را فراکمانش (پس کمانش) می نامند.

بعضی سازه ها ممکن است دارای ظرفیت بار بیشتر از رفتار کمانش را داشته باشند که در این صورت این سازه می تواند تغییر شکل خود را تعدیل کرده و در برابر بار های اضافی بعد از کمانش مقاومت کنند، بنابراین مسیر تعادل فراکمانش ممکن است پایدار باشد، مابقی سازه ها حالت های تعادل فرا کمانش پایدار نداشته، بنابراین بار بحرانی حداکثر بار سازه است.

کویتر^۳ در سال ۱۹۴۵ نشان داد که حالت های بحرانی انشعاب یکی از انواعی که در ادامه آمده

است ممکن است باشد. (شکل ۱-۴)

1 Snap buckling
2 Bifurcation buckling
3 Koiter



ج

ب

الف

شکل ۴-۱ سه نوع اساسی نقاط انشعاب [۱]

- حالت انشعاب متقارن پایدار

مسیر فراکمانش (گاهی اوقات مسیر ثانویه نامیده می شود) در نقطه بحرانی دارای مماس افقی بوده و پایدار است، بنابراین سازه با افزایش بار، بار بیشتری را می تواند تحمل کند. (شکل الف) (۴-۱) این رفتار را در بعضی از پوسته ها یافت شود.

- انشعاب متقارن نا پایدار

مسیر کمانش در نقطه بحرانی دارای مماس افقی بوده، اما مسیر انرژی ناپایدار است، بنابراین سازه نمی تواند افزایش بار بیشتری را تحمل کند. (شکل ب) (۴-۱)

- انشعاب نا متقارن

مسیر فراکمانش در نقطه بحرانی دارای مماس غیر افقی بوده و مسیر از یک سمت پایدار و از سمت دیگر ناپایدار است که وابسته به جابجایی ها است. (شکل ج) (۴-۱) بنابراین سازه تنها در شاخه پایدار افزایش بار بیشتری را می تواند تحمل کند. این رفتار در قاب ها پیدا می شود [۱].

نمونه رفتارهای شکل ۴-۱ هر وقت که یک حالت بحرانی مجزا وجود داشته باشد، همچنین یک

نقطه بحرانی مجزا نامیده می شود، رخ می دهد. این به این معنی است که حالت بحرانی فقط به یک مود کمانش وابسته است.

دو یا تعداد بیشتری انطباق (یا تقریباً منطبق) حالت های بحرانی ممکن است یک کوپل مود ها را باعث شود تا یک مسیر تعادلی جدید را تشکیل دهند، که از نقاط مجزای تعادل متفاوت است. همه حالت های منطبق کوپل نبوده و به چندین شیوه ممکن است کوپل شوند. در بیشتر موارد در حالت بحرانی سازه مود بحرانی دارد، و همین که سازه مسیر تعادلی فرا بحرانی را ادامه می دهد، مود جابجایی ها تغییر می کند. این حالت پرش مود (جهش مود) نامیده می شود.

در این تحقیق به بررسی نیروی کمانش بر پوسته های ترکدار و بدون ترک تحت با پیچشی پرداخته شده است. در فصل دوم به بررسی پیشینه تحقیقات و بیان دیدگاه و نظرات مشابه پرداخته و در فصل سوم، روش های تحلیلی درباره ی کمانش استوانه ای بدون ترک مطرح شده است. همچنین در پایان فصل به بررسی نتایج این روش ها با مقادیر عددی پرداخته شده است. و همچنین توضیحاتی در رابطه ویژگی دستگاه آزمایش و نحوه ی آماده سازی فیکسچر، پوسته ها و ابعاد و اندازه های آنها پرداخته شده است.

فصل چهارم شامل بررسی تأثیر ضخامت، طول، قطر، موقعیت ترک، طول ترک و زاویه ی ترک بر استوانه های بدون ترک و ترکدار و همچنین پوسته های استوانه ای (پنل) بدون ترک و ترکدار می باشد.

در فصل پنجم به مقایسه نتایج تجربی و تئوری، نتایج تجربی و عددی پرداخته شده است. در نهایت تحلیل نتایج به دست آمده ارائه شده است.