دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت کننده تحت اثر ترکیب بارهای محوری و جانبی

تهیه و تنظیم:

آرش معاون

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر شهابیان

پاییز ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

گواهی

گواهی می شودکه تاکنون، این پایان نامه برای احراز یک درجه علمی ارایه نشده است و تمامی مطالب بجز در مواردی که نام منبع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می باشد .

آرش معاون – دانشجو _____ تاریخ _____

دکتر فرزاد شهابیان – استاد راهنما _____ تاریخ _____

این پایان نامه که بوسیله آقای آرش معاون تدوین و به هیات داوران زیر ارایه گردیده است، بعنوان بخش پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته سازه، مورد تائید شورای تحصیلات تکمیلی گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می باشد .

دکتر فرزاد شهابیان- استاد راهنما

دکتر اصفهانی - استاد مشاور

دکتر توکلی زاده – استاد مدعو

دکتر توکلی زاده - نماینده شورای تحصیلات تکمیلی

سپاسگزاری

اکنون که به خواست خداوند، پژوهش اینجانب به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از زحمات استاد راهنمای محترم جناب آقای «دکتر فرزاد شهابیان» که کمک‌های ارزنده‌ای جهت انتخاب موضوع، گردآوری و تنظیم مطالب نمودند و همچنین استاد مشاور محترم جناب آقای « **دکتر اصفهانی** » صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت کننده تحت اثر ترکیب بارهای محوری و جانبی

چکیده

پوسته‌های استوانه‌ای نظیر مخازن و لوله‌ها، تحت اثر بارهای محوری، جانبی و یا ترکیب آن‌ها در معرض کمانش قرار می‌گیرند. به علت کم بودن ضخامت پوسته در مقایسه با سایر ابعاد آن، کمانش به عنوان یک حالت حدی برای تحلیل پوسته محسوب می‌گردد. یکی از راه‌های افزایش مقاومت کمانشی پوسته‌ها، استفاده از سخت‌کننده‌های طولی و حلقوی است. در این پژوهش، با استفاده از روش اجزای محدود (نرم افزار ANSYS)، مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر بارهای محوری، جانبی و ترکیب این نوع بارگذاری‌ها با و بدون سخت‌کننده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. پس از انجام تعداد زیادی تحلیل و رسم نمودارهای متعدد، تأثیر ابعاد و تعداد سخت‌کننده‌های طولی و حلقوی بر روی مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر بارهای محوری، جانبی و ترکیب آن‌ها تعیین گردیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در بارگذاری محوری، سخت‌کننده‌های طولی در افزایش مقاومت کمانشی تاثیر بیشتری (تا حدود ۲۵ درصد) نسبت به سخت‌کننده‌های حلقوی دارند. در بارگذاری جانبی و حالت ترکیب بارگذاری، سخت‌کننده‌های حلقوی به ترتیب به میزان ۱۰۵ و ۳۵ درصد موثرتر می‌باشند. لازم به ذکر است در هر مورد ابعاد سخت‌کننده‌ها به نحوی انتخاب شده‌اند که مصالح مصرفی برای آن‌ها یکسان شود.

واژه‌های کلیدی: پوسته‌های استوانه‌ای، مقاومت کمانشی، ترکیب بارگذاری محوری و جانبی، سخت‌کننده‌های طولی، سخت‌کننده‌های حلقوی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- مقدمه	**۱**
۱-۱- پیش‌گفتار	۱
۱-۲- تاریخچه	۲
۱-۲-۱- سامان‌دهی پایان نامه	٤
فصل دوم- تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای	**۵**
۲-۱- پیش‌گفتار	۵
۲-۲- تحلیل کمانش پوسته‌های استوانه‌ای بدون سخت‌کننده	۵
۲-۲-۱- تغییر شکل در یک جزء پوسته	٦
۲-۲-۲- معادله‌های تعادل	۸
۲-۲-۳- تحلیل کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر فشار محوری	۱۱
۲-۲-٤- تحلیل کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر فشار جانبی	۱۵
۲-۲-۵- تحلیل کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت بار محوری و فشار جانبی	۲۰
۲-۳- تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده	۲۳
۲-۳-۱- انرژی کرنشی پوسته‌های استوانه‌ای	۲۳
۲-۳-۲- انرژی کرنشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده طولی	۲٤
۲-۳-۳- انرژی کرنشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت کننده حلقوی	۲٦
۲-۳-٤- انرژی پتانسیل پوسته‌های استوانه‌ای	۲۷
۲-۳-۵- انرژی پتانسیل کل برای پوسته‌های استوانه‌ای با سخت‌کننده‌های طولی و حلقوی	۲۷
۱-۳-٦- معادله‌های مقادیر ویژه	۳۱
فصل سوم- کمانش تحت اثر بارهای محوری	**۳۵**
۳-۱- پیش‌گفتار	۳۵

۳-۲- تحلیل کمانشی در نرم افزار ANSYS ۳۵
۳-۲-۱- مشخصات جزء انتخابی ۳۶
۳-۲-۲- مدل‌سازی و شبکه‌بندی ۳۷
۳-۲-۳- تحلیل استاتیکی سازه ۳۷
۳-۲-٤- تحلیل کمانشی سازه ۳۷
۳-۲-۵- یافتن مقاومت کمانشی ۳۷
۳-۳- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای بدون سخت‌کننده ۳۸
۳-۳-۱- مشخصات کلی پوسته‌های استوانه‌ای ۳۸
۳-۳-۲- نتایج تحلیل کمانشی و صحت‌سنجی آن‌ها ۳۹
۳-٤- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده طولی ٤۱
۳-٤-۱- صحت سنجی ٤۲
۳-٤-۲- اثر تعداد و ابعاد سخت‌کننده‌های طولی ٤۲
۳-٤-۳- اثر نسبت ابعاد پوسته‌های استوانه‌ای ٤٦
۳-۵- مشخصات پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی ٤۷
۳-۵-۱- صحت سنجی ٤۸
۳-۵-۲- اثر تعداد و ابعاد سخت‌کننده‌های حلقوی ٤۹
۳-۵-۳- اثر نسبت ابعاد پوسته‌های استوانه‌ای ۵۳
۳-٦- تعیین سخت‌کننده مناسب ۵۷
فصل چهارم- کمانش تحت اثر بارهای جانبی ٦۰
٤-۱- پیش‌گفتار ٦۰
٤-۲- مشخصات پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر بارهای جانبی ٦۰
٤-۳- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر بارگذاری یکنواخت جانبی ٦۱
٤-۳-۱- صحت سنجی ٦۱
٤-۳-۲- نتایج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای بدون سخت‌کننده ٦۱
٤-۳-۲- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده طولی ٦٤
٤-۳-٤- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی ۷۳
٤-۳-۵- تعیین سخت‌کننده مناسب ۷۸

٤-٤- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر بارگذاری هیدرواستاتیکی ٨٠
٤-٤-١- صحت سنجی ٨٠
٤-٤-٢- نتایج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای بدون سخت‌کننده ٨٠
٤-٤-٣- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده طولی ٨٢
٤-٤-٤- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی ٩٠
٤-٤-٥- تعیین سخت‌کننده مناسب ٩٥
فصل پنجم- کمانش تحت اثر ترکیب بارهای محوری و جانبی **٩٧**
٥-١- پیش‌گفتار ٩٧
٥-٢- مشخصات پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر بارگذاری محوری و جانبی ٩٧
٥-٣- مقاومت کمانشی تحت اثر ترکیب بارگذاری محوری و یکنواخت جانبی ٩٨
٥-٣-١- صحت سنجی ٩٨
٥-٣-٢- نتایج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای بدون سخت‌کننده ٩٩
٥-٣-٣- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده طولی ١٠٤
٥-٣-٤- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی ١١١
٥-٣-٥- تعیین سخت‌کننده مناسب ١١٦
٥-٣- مقاومت کمانشی تحت اثر ترکیب بارگذاری محوری و هیدرواستاتیکی ١١٧
٥-٤-١- صحت سنجی ١١٧
٥-٤-٢- نتایج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای بدون سخت‌کننده ١٢٠
٥-٤-٣- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده طولی ١٢١
٥-٤-٤- پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی ١٢٥
٥-٤-٥- تعیین سخت‌کننده مناسب ١٢٧
فصل ششم- نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای ادامه پژوهش **١٢٩**
٦-١- پیش‌گفتار ١٢٩
٦-٢- نتایج ١٢٩
٦-٢-١- بارگذاری محوری ١٢٩
٦-٢-١- بارگذاری جانبی ١٣١

٦-٢-٢- ترکیب بارگذاری محوری و جانبی ۱۳۲
٦-٣- پیشنهاد برای ادامه پژوهش ۱۳۳
مراجع ۱۳٤

فهرست شکل‌ها

شکل **صفحه**

شکل (۲-۱)- نمایش یک جزء پوسته ۷

شکل (۲-۲)- مشخصات هندسی پوسته ۹

شکل (۲-۳)- مشخصات پوسته استوانه‌ای تحت اثر بار محوری ۱۰

شکل (۲-٤)- ضرایب کمانش برای پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر فشار محوری ۱۵

شکل (۲-۵)- پوسته‌ی استوانه‌ای تحت اثر فشار جانبی ۱٦

شکل (۲-٦)- تاثیر اثر طول پوسته استوانه بر بار بحرانی ۱۹

شکل (۲-۷)- پوسته‌های استوانه‌ای دو سر مفصل تحت بار محوری و فشار جانبی ۲۰

شکل (۲-۸)- بار بحرانی پوسته استوانه تحت اثر فشارجانبی و فشار محوری ۲۲

شکل (۲-۹)- مشخصات هندسی سخت‌کننده‌های طولی ۲۵

شکل (۲-۱۰)- مشخصات هندسی سخت‌کننده‌های حلقوی ۲٦

شکل (۲-۱۱)- پوسته استوانه‌ای تحت اثر انواع بارگذاری‌ها ۲۷

شکل (۳-۱)- جزء های خطی و غیرخطی از نوع درجه دوم ۳٦

شکل (۳-۲)- شکل هندسی جزء shell 281 ۳٦

شکل (۳-۳)- مشخصات هندسی پوسته‌ی استوانه‌ای ۳۸

شکل (۳-٤)- مدل‌سازی پوسته‌ی استوانه‌ای در نرم افزار ANSYS ۳۹

شکل (۳-۵)- تغییر شکل مد اول کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر بار محوری با نسبت‌های $L/R=1$ و $L/R=3$ ٤۰

شکل (۳-٦)- مشخصات هندسی پوسته‌ی استوانه‌ای دارای سخت‌کننده‌های طولی ٤۱

شکل (۳-۷)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1$, $R/t=100$, $t_s/t=1$) ٤۳

شکل (۳-۸)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1$, $R/t=100$, $d_s=12$cm) ٤٤

شکل (۳-۹)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی ($L/R=1$, $R/t=100$) ٤۵

شکل (۳-۱۰)- تاثیر افزایش نسبت R/t و L/R در میزان مقاومت کمانشی (d_s=12cm , t_s/t=2) ٤٧
شکل (۳-۱۱)- مشخصات هندسی پوسته‌ی استوانه‌ای دارای سخت کننده‌های حلقوی ٤٨
شکل (۳-۱۲)- اثر تعداد سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی (R/t=100, L/R =1, t_s/t=1) ٥٠
شکل (۳-۱۳)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, $\sum d_r/L$=0.4) ٥١
شکل (۳-۱٤)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی (L/R =1, R/t=100) ٥٣
شکل (۳-۱٥)- نتایج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی (R/t=100 , t_r/t=1) ٥٥
شکل (۳-۱٦)- نتایج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی (R/t=150 , t_r/t=1) ٥٥
شکل (۳-۱۷)- نتایج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی (R/t=200 , t_r/t=1) ٥٦
شکل (۳-۱۸)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی محوری (R/t=100) ٥٨
شکل (۳-۱۹)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی محوری (R/t=150) ٥٩
شکل (۳-۲۰)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی محوری (R/t=200) ٥٩
شکل (٤-۱)- (الف)- پوسته‌ی استوانه‌ای تحت اثر بارگذاری یکنواخت جانبی
(ب) - پوسته‌ی استوانه‌ای تحت اثر بارگذاری هیدرواستاتیکی ٦١
شکل (٤-۲)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای با ابعاد مختلف تحت اثر بارگذاری یکنواخت جانبی ٦٢
شکل (٤-۳)- تغییر شکل طولی و محیطی مد اول کمانش پوسته استوانه‌ای با نسبت L/R=1, R/t=100 ٦٣
شکل (٤-٤)- تغییر شکل طولی و محیطی مد اول کمانش پوسته استوانه‌ای با نسبت L/R=3, R/t=100 ٦٣

شکل (٤-٥)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, t_s/t=1) ٦٦

شکل (٤-٦)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=150, t_s/t=1) ٦٦

شکل (٤-٧)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=200, t_s/t=1) ٦٧

شکل (٤-٨)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, d_s=12cm) ٦٨

شکل (٤-٩)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=150, d_s=12cm) ٦٩

شکل (٤-١٠)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=200, d_s=12cm) ٧٠

شکل (٤-١١)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در مقاومت کمانشی (L/R=1) ٧٢

شکل (٤-١٢)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در مقاومت کمانشی (L/R=2) ٧٢

شکل (٤-١٣)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در مقاومت کمانشی (L/R=3) ٧٣

شکل (٤-١٤)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ثابت (R/t=100, L/R =1 , t_r/t=1) ٧٥

شکل (٤-١٥)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ثابت (L/R =1, R/t=100, $\sum d_r/L$=0.4) ٧٥

شکل (٤-١٦)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در مقاومت کمانشی (R/t=100) ٧٦

شکل (٤-١٧)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در مقاومت کمانشی (R/t=150) ٧٧

شکل (٤-١٨)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در مقاومت کمانشی (R/t=200) ٧٧

شکل (٤-١٩)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی یکنواخت جانبی (R/t=100) ٧٩
شکل (٤-٢٠)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی یکنواخت جانبی (R/t=150) ٧٩
شکل (٤-٢١)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی یکنواخت جانبی (R/t=200) ٧٩
شکل (٤-٢٢)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای با ابعاد مختلف تحت اثر بارگذاری هیدرواستاتیکی ٨١
شکل (٤-٢٣)- تغییر شکل طولی و محیطی مد اول کمانش پوسته استوانه‌ای با نسبت L/R=1, R/t=100 ٨١
شکل (٤-٢٤)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, t_s/t=1) ٨٣
شکل (٤-٢٥)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=150, t_s/t=1) ٨٣
شکل (٤-٢٦)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=200, t_s/t=1) ٨٤
شکل (٤-٢٧)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, d_s=12cm) ٨٥
شکل (٤-٢٨)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=150, d_s=12cm) ٨٦
شکل (٤-٢٩)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=200, d_s=12cm) ٨٧
شکل (٤-٣٠)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در مقاومت کمانشی (L/R=1) ٨٩
شکل (٤-٣١)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در مقاومت کمانشی (L/R=2) ٨٩
شکل (٤-٣٢)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در مقاومت کمانشی (L/R=3) ٩٠

شکل (٤-٣٣)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ثابت (R/t=100, L/R =1, t_s/t=1) ٩٢

شکل (٤-٣٤)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ثابت (L/R =1, R/t=100, $\sum d_r/L$=0.4) ٩٢

شکل (٤-٣٥)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در مقاومت کمانشی (R/t=100) ٩٣

شکل (٤-٣٦)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در مقاومت کمانشی (R/t=150) ٩٤

شکل (٤-٣٧)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در مقاومت کمانشی (R/t=200) ٩٤

شکل (٤-٣٨)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی هیدرواستاتیکی (R/t=100) ٩٦

شکل (٤-٣٩)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی هیدرواستاتیکی (R/t=150) ٩٦

شکل (٤-٤٠)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی هیدرواستاتیکی (R/t=200) ٩٦

شکل (٥-١)- (الف)- پوسته‌ی استوانه‌ای تحت اثر ترکیب بارگذاری محوری و یکنواخت جانبی (ب) - پوسته‌ی استوانه‌ای تحت اثر ترکیب بارگذاری محوری و هیدرواستاتیکی ٩٨

شکل (٥-٢)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی با نسبت‌های متفاوت L/R (R/t=100) ١٠٠

شکل (٥-٣)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی با نسبت‌های متفاوت L/R (R/t=100) ١٠٠

شکل (٥-٤)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی با نسبت‌های متفاوت R/t (L/R =1) ١٠١

شکل (٥-٥)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی با نسبت‌های متفاوت R/t (L/R =1) ١٠٢

شکل (٥-٦)- تغییر شکل مد اول کمانش پوسته‌های استوانه‌ای با نسبت‌های L/R=1 و L/R=3 ١٠٤

شکل (۵-۷)- اثر تعداد سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=100, t_s/t=1) ۱۰۵
شکل (۵-۸)- اثر تعداد سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=150, t_s/t=1) ۱۰۶
شکل (۵-۹)- اثر تعداد سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=200, t_s/t=1) ۱۰۶
شکل (۵-۱۰)- اثرافزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=100, d_s=12cm) ۱۰۸
شکل (۵-۱۱)- اثرافزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=150, d_s=12cm) ۱۰۸
شکل (۵-۱۲)- اثرافزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=200, d_s=12cm) ۱۰۹
شکل (۵-۱۳)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =3, R/t=100) ۱۱۰
شکل (۵-۱۴)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=200) ۱۱۰
شکل (۵-۱۵)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =2, R/t=200) ۱۱۱
شکل (۵-۱۶)- اثر تعداد سخت‌کننده‌ها در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=100, t_r/t=1, $\sum d_r/L$=0.3) ۱۱۳
شکل (۵-۱۷)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =3, R/t=100) ۱۱۴
شکل (۵-۱۸)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و یکنواخت جانبی نسبی (L/R =1, R/t=200) ۱۱۴
شکل (۵-۱۹)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در نمودار اندرکنش (R/t=100, L/R=2) ۱۱۶

شکل (۵-۲۰)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در نمودار اندرکنش (R/t=150, L/R=2) ۱۱۶
شکل (۵-۲۱)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در نمودار اندرکنش (R/t=200, L/R=2) ۱۱۷
شکل (۵-۲۲)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی با نسبت‌های متفاوت L/R (R/t=100) ۱۱۹
شکل (۵-۲۳)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی با نسبت‌های متفاوت L/R (R/t=100) ۱۲۰
شکل (۵-۲۴)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی با نسبت‌های متفاوت R/t (L/R =1) ۱۲۰
شکل (۵-۲۵)- نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی با نسبت‌های متفاوت R/t (L/R =1) ۱۲۱
شکل (۵-۲۶)- اثر تعداد سخت‌کننده‌های طولی در مقایسه با عرض آن‌ها در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی (L/R =1, R/t=100, t_s/t=1) ۱۲۲
شکل (۵-۲۷)- اثر تعداد سخت‌کننده‌های طولی در مقایسه با عرض آن‌ها در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی (L/R =1, R/t=200, t_s/t=1) ۱۲۲
شکل (۵-۲۸)- اثرافزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی (L/R =1, R/t=100, d_s=12cm) ۱۲۳
شکل (۵-۲۹)- اثرافزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی (L/R =1, R/t=200, d_s=12cm) ۱۲۳
شکل (۵-۳۰)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی (L/R =1, R/t=200) ۱۲۴
شکل (۵-۳۱)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی (L/R =2, R/t=200) ۱۲۵
شکل (۵-۳۲)- اثر تعداد سخت‌کننده‌ها در نمودار اندرکنش مقاومت کمانشی محوری و هیدرواستاتیکی نسبی (L/R =1, R/t=100, t_r/t=1, $\sum d_r/L$=0.3) ۱۲۶
شکل (۵-۳۳)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در نمودار اندرکنش (R/t=100, L/R=2) ۱۲۸

فهرست جدول‌ها

جدول **صفحه**

جدول(۳-۱)- مشخصات هندسی پوسته‌های استوانه‌ای مورد بررسی ۳۸

جدول(۳-۲)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای با ابعاد مختلف ٤۰

جدول (۳-۳)- مقایسه‌ی بار بحرانی بدست آمده با مقدار ارایه شده در مرجع [۲۲] ٤۲

جدول (۳-٤)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, t_s/t=1) ٤۲

جدول (۳-۵)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1 , R/t=100 , d_s=12cm) ٤٤

جدول (۳-٦)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی با مشخصات (L/R =1, R/t=100) ٤۵

جدول (۳-۷)- تاثیر افزایش نسبت R/t و L/R در میزان مقاومت کمانشی (d_s=12cm, t_s/t=2) ٤٦

جدول (۳-۸)- مقایسه‌ی بار بحرانی بدست آمده با مقدار ارایه شده در مرجع [۲۲] ٤۸

جدول (۳-۹)- نتایج تحلیل مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای با سخت‌کننده حلقوی با مشخصات (R/t=100, L/R =1, t_r/t=1) ٤۹

جدول (۳-۱۰)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, $\sum d_r/L$=0.4) ۵۱

جدول (۳-۱۱)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی با مشخصات (L/R =1, R/t=100) ۵۲

جدول (۳-۱۲)- نتلیج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی (R/t=100 , t_r/t=1) ۵۳

جدول (۳-۱۳)- نتلیج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی (R/t=150, t_r/t=1) ۵٤

جدول (۳-۱٤)- نتلیج تحلیل کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای دارای سخت‌کننده حلقوی (R/t=200 , t_r/t=1) ۵٤

جدول (۳-۱۵)- تاثیر افزایش نسبت L/R در میزان مقاومت کمانشی ($\sum d_r/L$=0.4, t_r/t=1) ۵۷

جدول (۳-۱۶)- تاثیر افزایش نسبت R/t در میزان مقاومت کمانشی($L/R=1, \sum d_r/L=0.4, t_r/t=1$) ۵۷
جدول (۳-۱۷)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی و طولی در میزان مقاومت کمانشی محوری ۵۸
جدول (٤-۱)- مقایسه‌ی بار بحرانی بدست آمده با مقدار ارایه شده در مرجع [۲۸] ٦۱
جدول(٤-۲)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای با ابعاد مختلف تحت اثر بارگذاری یکنواخت جانبی ٦۲
جدول (٤-۳)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1, R/t=100, t_s/t=1$) ٦٤
جدول (٤-٤)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1, R/t=150, t_s/t=1$) ٦٥
جدول (٤-۵)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1, R/t=200, t_s/t=1$) ٦٥
جدول (٤-٦)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1, R/t=100, d_s=12\text{cm}$) ٦۸
جدول (٤-۷)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1, R/t=150, d_s=12\text{cm}$) ٦۹
جدول (٤-۸)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1, R/t=200, d_s=12\text{cm}$) ۷۰
جدول (٤-۹)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی ۷۱
جدول (٤-۱۰)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ثابت ($L/R=1, R/t=100, t_r/t=1$) ۷٤
جدول (٤-۱۱)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ($L/R=1, R/t=100, \sum d_r/L=0.4$) ۷٤
جدول (٤-۱۲)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی ۷٦
جدول (٤-۱۳)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی وطولی در میزان مقاومت کمانشی تحت اثر بارگذاری یکنواخت جانبی ۷۸
جدول (٤-۱٤)- مقایسه‌ی بار بحرانی بدست آمده با مقدار ارایه شده در مرجع [۵] ۸۰

جدول(٤-١٥)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای با ابعاد مختلف تحت اثر بارگذاری هیدرواستاتیکی ٨٠
جدول (٤-١٦)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1 , t_s/t=1) ٨٢
جدول (٤-١٧)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, d_s=12cm) ٨٥
جدول (٤-١٨)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=150, d_s=12cm) ٨٦
جدول (٤-١٩)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=200, d_s=12cm) ٨٧
جدول (٤-٢٠)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های طولی در میزان مقاومت کمانشی ٨٨
جدول (٤-٢١)- اثر افزایش عرض سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات ثابت (L/R =1, R/t=100, t_r/t=1) ٩١
جدول (٤-٢٢)- اثر افزایش ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی به ازای تعداد سخت‌کننده‌های متفاوت با مشخصات (L/R =1, R/t=100, $\sum d_r/L$=0.4) ٩١
جدول (٤-٢٣)- مقایسه تاثیر افزایش عرض و ضخامت سخت‌کننده‌های حلقوی در میزان مقاومت کمانشی ٩٣
جدول (٤-٢٤)- مقایسه تاثیر سخت‌کننده‌های حلقوی وطولی در میزان مقاومت کمانشی تحت اثر بارگذاری هیدرواستاتیکی ٩٥
جدول (٥-١)- مقایسه‌ی بار بحرانی بدست آمده با مقدار ارایه شده در مرجع [٥] ٩٨
جدول (٥-٢)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر ترکیب بار محوری و فشار یکنواخت جانبی (R/t=100) ٩٩
جدول (٥-٣)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر ترکیب بار محوری و فشار یکنواخت جانبی (R/t=150) ١٠١
جدول (٥-٤)- مقاومت کمانشی پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثر ترکیب بار محوری و فشار یکنواخت جانبی (R/t=200) ١٠٢