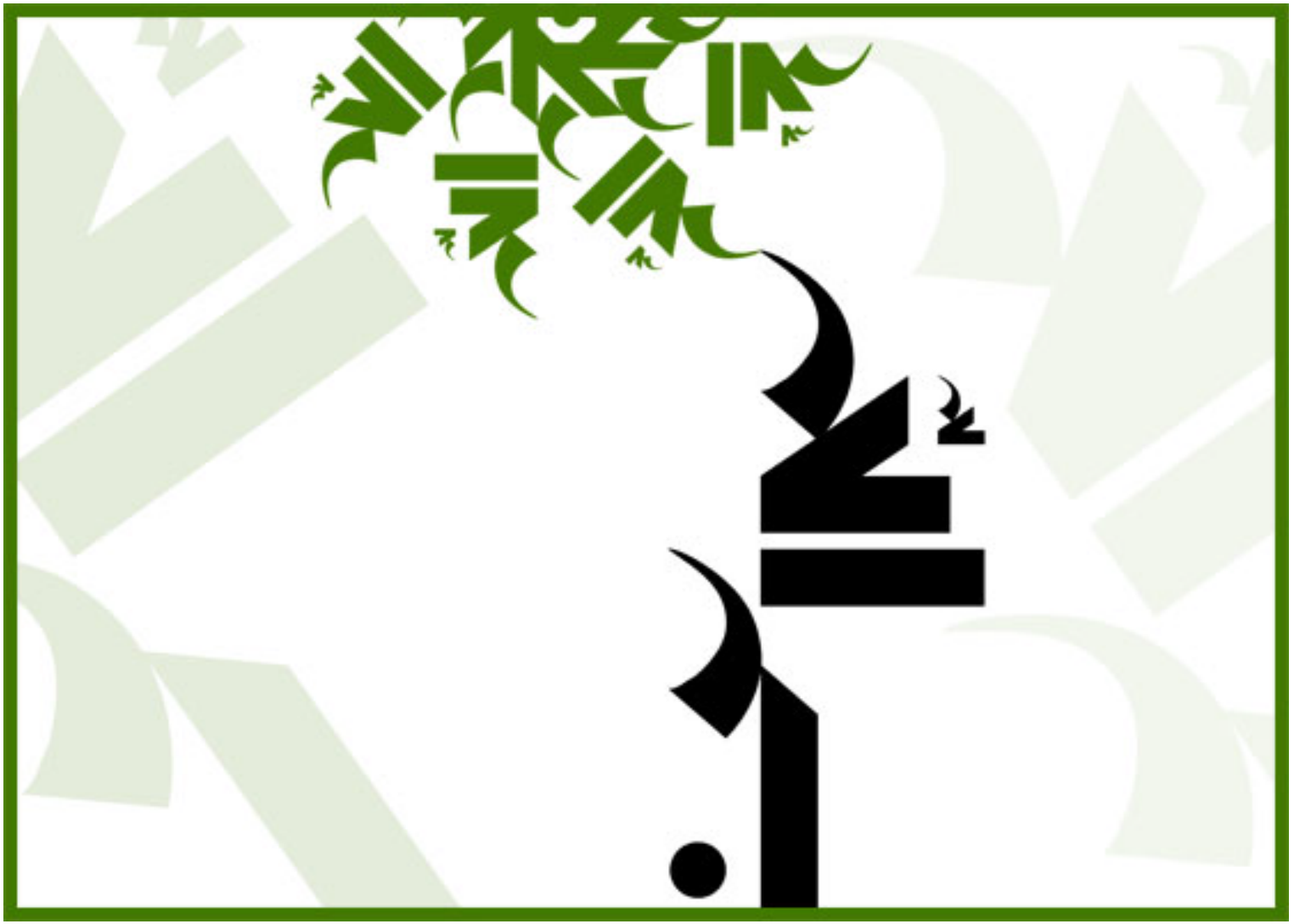

دانشکده :

مهندسی مکانیک

گروه :

طراحی کاربردی

تحلیل عددی و تجربی کمانش و پس‌کمانش

پانل‌های استوانه‌ای ترک‌دار فولادی تحت بار محوری و خارج از مرکز

دانشجو: جعفر صائمی

اساتید راهنما :

دکتر محمود شریعتی- دکتر حمیدرضا ایپک چی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار:

خرداد ۸۹

پایان نامه کارشناسی ارشد (رساله دکتری) آقای/ خانم .....

تحت عنوان:

تحلیل عددی و تجربی کمانش و پس‌کمانش پانل‌های استوانه‌ای ترک‌دار فولادی تحت بار محوری و خارج از مرکز

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیم به:

پدر و مادر و همسرم

به پاس نثار مهربانی ها، تحمل رنجها، همراهی بی دریغ و صبوری های بی حساب

بر خود بایسته می دانم که از راهنمایی‌ها، دلگرمی های بزرگوارانی سپاس بگزارم که نگارنده را در انجام این دفتر رهنمون ساختند.

استاد بزرگوار و دانا، **جناب آقای دکتر محمود شریعتی** که همواره مشوق و راهنمای کارها بوده اند که گامی به پیش باشند.

استاد توانا **جناب آقای دکتر حمیدرضا ایپک چی** که با شور و شوق تمام می آموزد و با دقت تمام آموخته‌ها را می‌خواند.

دوست فرهیخته **جناب آقای مهدی صدیقی** که از سر دوستی، نگارنده را از پیشنهادها و راهنمائیهای خود بهره مند ساخت.

همچنین لازم است تا سپاسگزاری خود را از تمامی اساتید بزرگوار و دوستان عزیزم که در انجام این پایان نامه مرا یاری نمودند ابراز دارم.

جعفر صائمی
saemijafar@yahoo.com
خرداد ماه ۱۳۸۹

تعهد نامه

اینجانب ..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته .....

دانشکده .....دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه / رساله .....

..... تحت راهنمایی ..... متعهد می شوم :

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصلت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه/رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچگونه مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آمدن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه/رساله رعایت می‌گردد .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه/رساله ،در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه/رساله ،در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا از آن استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم افزارها و تجهیزات شاخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و این مطلب باشد به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر منبع مجاز نمی باشد .

- متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیرشده پایان نامه/رساله وجود داشته باشد .

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

مقالات ژورنالی (ISI):

1- M. Shariati, M.Sedigh**, Jafar Saemi**, H.R.Eipakchi, "An experimental study on buckling and post-buckling behavior of cylindrical panels with clamped and simply supported ends", **Indian Journal of Engineering and Material Sciences**, Vol.17, April 2010, pp.86-90.

2- M. Shariati, M.Sedigh**, Jafar Saemi**, H.R.Eipakchi, "Experimental study on ultimate strength of CK20 steel cylindrical panels subjected to compressive axial load". accepted , **Archive of Civil and Mechanical Engineering.**

3- M. Shariati, M.Sedigh**, Jafar Saemi**, H.R.Eipakchi, "Experimental and numerical studies on buckling of cylindrical panels subjected to compressive axial load". **Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering**, answered to rivesed paper.

4- M. Shariati, M.Sedigh**, Jafar Saemi**, H.R.Eipakchi, "Numerica analysis and experimental study on buckling of thin cylindrical panels". **Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering**, answered to rivesed paper.

5- M. Shariati, M.Sedigh**, Jafar Saemi**, H.R.Eipakchi, "Experimental and numerical studies on buckling of cracked cylindrical shells under combined loading". **Mechanika**, answered to rivesed paper.

6- M. Shariati, **Jafar Saemi**, M.Sedigh**,** , H.R.Eipakchi, "Study on buckling of cracked cylindrical panel under axial load". Under review.

مقالات کنفرانسی:

۱- محمود شریعتی، **جعفر صائمی**، مهدی صدیقی، حمیدرضا ایپک‌چی "بررسی استحکام نهایی پوسته‌های ترک‌دار با مقطع مربعی تحت بار پیچشی " نهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، بهمن ۱۳۸۸، صفحه ۹۶-۹۵

۲- محمود شریعتی، **جعفر صائمی** ، مهدی صدیقی "بررسی عددی استحکام نهایی پانلهای استوانه ای ترک دار" نهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، بهمن ۱۳۸۸،صفحه ۱۰۵-۱۰۶

۳- محمود شریعتی، **جعفر صائمی** ، مهدی صدیقی "کمانش و پس کمانش استوانه های ترک دار تحت بار پیچشی " نهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، بهمن ۱۳۸۸،صفحه ۱۶۵-۱۶۶

۴- محمود شریعتی، **جعفر صائمی** ، مهدی صدیقی، حمید رضا ایپک چی "بررسی عددی و تجربی کمانش پانل‌های استوانه‌ای ترک‌دار" نهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، بهمن ۱۳۸۸، پذیرفته شده به صورت پوستر

۵- محمود شریعتی، مهدی صدیقی، **جعفر صائمی**، حمیدرضا ایپک‌چی "بررسی عددی و تجربی کمانش و پس کمانش پانل‌های استوانه‌ای با تکیه‌گاه‌های ساده و گیردار "هجدهمین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک کنفرانس- تهران، دانشگاه صنعتی شریف ، اردیبهشت ۱۳۸۹،صفحه ۲۱۹

۶- محمود شریعتی، مهدی صدیقی، **جعفر صائمی**، حمیدرضا ایپک‌چی "تحلیل عددی و تجربی کمانش پوسته‌های استوانه‌ای ترک‌دار تحت بار خارج از مرکز "هجدهمین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک کنفرانس- تهران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ۱۳۸۹،صفحه ۲۲

چکیده

بررسی اثر وجود ترک بر روی ظرفیت تحمل بار و رفتار کمانش پانلهای استوانه‌ای دارای اهمیت بوده و در طراحی اینگونه سازه‌ها باید در نظر گرفته شود. در این پایان نامه پانلهای استوانه‌ای جدار نازک با طولهای مختلف حاوی ترک به کمک روش المان محدود و تجربی مورد تحلیل قرار گرفته و اثر موقعیت ترک، نسبت طول ترک به محیط آن، زاویه ترک و نسبت طول به قطر پانل بر روی رفتار کمانش و پس کمانش پانلهای استوانه‌ای ترک‌دار مورد تحلیل قرار گرفته است. برای چندین نمونه، تست تجربی کمانش به کمک دستگاه سرو هیدرولیک INSTRON 8802 انجام شد و نتایج حاصل با نتایج عددی مقایسه گردید. تطابق بسیار خوبی بین نتایج حاصل از تحلیل عددی و نتایج تجربی وجود دارد. در پایان به کمک نتایج تجربی و عددی بدست آمده، تأثیر هر کدام از پارامترهای ذکر شده بر روی رفتار کمانش و پس کمانش پانلهای استوانه‌ای ترک‌دار بررسی شده است.

واژگان کلیدی: پانل‌های استوانه‌ای ترک‌دار، کمانش و پس‌کمانش، روش المان محدود، روش تجربی.

فهرست مطالب

۱- مقدمه ای در مورد پانل وکاربرد آن ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- کاربرد پوسته‌ها..... ۲

۱-۳- بررسی روشهای مختلف حل مسئله کمانش پانل‌ها..... ۴

۱- ۴- مروری برتحقیقات انجام شده ۵

۱-۵-جمع بندی..... ۱۳

۲- تحلیل عددی پانل استوانه‌ای ترک‌دار ۱۴

۲-۱- مقدمه..... ۱۵

۲-۲- معرفی نرم افزار ABAQUS/CAE..... ۱۶

۲- ۳- مدل سازی و ابعاد نمونه‌ها..... ۱۸

۲-۴- نامگذاری نمونه‌ها..... ۱۹

۲-۵- خواص مکانیکی ماده..... ۱۹

۲-۶- شرایط مرزی نمونه ۲۰

۲-۷- المان بندی نمونه ها ۲۲

۲-۸- تعیین نوع تحلیل..... ۲۳

۲-۸-۱- تحلیل Buckle..... ۲۳

۲-۸-۲- تحلیل Static, Riks..... ۲۴

۲-۹- نتایج تحلیل عددی پانل‌های استوانه‌ای بدون ترک تحت بار فشاری محوری..... ۲۵

۲-۹-۱- نتایج تحلیل عددی پانل‌های استوانه‌ای از جنس فولاد Ck20 ..... ۲۵

۲-۹-۲- نتایج تحلیل عددی پانل‌های استوانه‌ای از جنس فولاد St37..... ۲۶

۲-۱۰- نتایج تحلیل عددی پانل‌های استوانه‌ای دارای ترک تحت بار فشاری محوری..... ۲۷

۲-۱۰-۱- بررسی تأثیر تغییر موقعیت ترک بر روی رفتار کمانش پانل‌های استوانه‌ای..... ۲۸

۲-۱۰-۲- بررسی تأثیر تغییر طول ترک بر روی رفتار کمانش پانل‌های استوانه‌ای..... ۳۵

۲-۱۰-۳- بررسی تأثیر تغییر زاویه ترک بر روی رفتار کمانش پانل‌های استوانه‌ای..... ۳۸

۲-۱۱- نتایج تحلیل عددی پانل‌های استوانه‌ای ترک دار تحت بار خارج از مرکز ۴۱
۲-۱۲- اثر طول پانل بر بار بحرانی کمانش ۴۵
۲-۱۳- اثر زاویه پانل بر بار بحرانی کمانش ۴۵
۲-۱۴- جمع بندی ۴۶
۳- تحلیل تجربی پانل استوانه‌ای ترک‌دار ۴۷
۳-۱- مقدمه ۴۸
۳-۲- نتایج تست کشش ۴۸
۳-۳- نتایج تحلیل تجربی کمانش پانل‌های استوانه‌ای ۴۹
۳-۴- نتایج تحلیل تجربی پانل‌های استوانه‌ای بدون ترک تحت بار محوری ۵۰
۳-۴-۱- نتایج تحلیل تجربی پانل‌های استوانه‌ای از جنس فولاد Ck20 ۵۱
۳-۴-۲- نتایج تحلیل تجربی پانل‌های استوانه‌ای از جنس فولاد St37 ۵۲
۳-۵- نتایج تحلیل تجربی پانل استوانه‌ای ترک دار تحت بار محوری ۵۳
۳-۵-۱- بررسی تأثیر تغییر موقعیت ترک بر روی رفتار کمانش پانل‌های استوانه ای ۵۳
۳-۵-۲- بررسی تأثیر تغییر طول ترک بر روی رفتار کمانش پانل‌های استوانه ای ۵۴
۳-۵-۳- بررسی تأثیر زاویه ترک بر روی رفتار کمانش پانل‌های استوانه ای ۵۷
۳-۶- نتایج تحلیل تجربی پانل‌های استوانه‌ای دارای ترک تحت بار خارج از مرکز ۵۸
۳-۷- جمع بندی ۶۲
۴- مقایسه نتایج تحلیل عددی و روش تجربی ۶۳
۴-۱- مقدمه ۶۴
۴-۲- مقایسه نتایج عددی و تجربی مربوط به تحلیل موقعیت ترک ۶۴
۴- ۳- مقایسه نتایج عددی و تجربی مربوط به تحلیل زوایای ترک و طول ترک در پانل ۶۶
۴- ۴- مقایسه منحنی‌های بار- جابجایی، حاصل از تحلیل‌های عددی و تجربی ۶۷
۴-۵- جمع بندی ۸۰
۵- نتایج و پیشنهادها ۸۱
۵-۱- مقدمه ۸۲

۵-۲- نتایج ۸۲
۵-۳- پیشنهادات ۸۴
مراجع ۸۶

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱-نمونه‌هایی از سازه‌های پوسته‌ای ۳

شکل ۱-۲- مختصات هندسی پانل تحت بار فشاری محوری وشرط مرزی یک لبه آزاد..... ۶

شکل ۱-۳-مشخصات هندسی پانل و نمای از شرایط مرزی..... ۷

شکل ۱-۴- دستگاه سروهیدرولیکی MTS ۷

شکل ۱-۵-پانل مورد آزمایش قبل و بعد از بارگذاری..... ۸

شکل ۱-۶-نمودار بار–جابجائی مرکز پانل (نقطه A) و لبه مرزی (نقطهB) ۸

شکل ۱-۷-مقایسه عددی و آزمایشگاهی جابجائی خارج از محور نقطه مرکزی پانل (نقطه A) تحت بار محوری..... ۹

شکل ۱-۸- پانل استوانه ای با ترک محیطی تحت کشش..... ۱۲

شکل ۱-۹- شکل مدهای پانل تحت کشش..... ۱۲

شکل ۲-۱- هندسه کلی پانل استوانه ای ترک دار..... ۱۸

شکل ۲-۲- نمودار تنش- کرنش برای فولاد Ck20..... ۱۹

شکل ۲-۳- نمودار تنش- کرنش برای فولاد St37..... ۲۰

شکل۲-۴-شرایط مرزی نمونه..... ۲۱

شکل۲-۵-شرایط مرزی نمونه برای ایجاد بارگذاری خارج مرکز..... ۲۱

شکل۲-۶- نحوه مش بندی نوک ترک..... ۲۲

شکل۲-۷- سه شکل مد کمانش برای نمونه $L150-\theta90^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۲۴

شکل۲-۸- سه شکل مد کمانش برای نمونه $L150-\theta90^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.5-C0.33$ ۲۴

شکل ۲-۹- نمودار بار- جابجائی برای طول های مختلف پانل استوانه‌ای با زاویه مرکزی $\theta90^{\circ}$ از جنس فولاد Ck20..... ۲۵

شکل ۲-۱۰- نمودار بار- جابجائی برای زاویه‌های مختلف پانل‌های استوانه‌ای برای طول100 از جنس فولاد Ck20..... ۲۶

شکل ۲-۱۱- نمودار بار- جابجائی برای طول های مختلف پانل استوانه‌ای با زاویه مرکزی $\theta90^{\circ}$از جنس فولاد St37..... ۲۶

شکل ۲-۱۲- نمودار بار- جابجائی برای زاویه‌های مختلف پانل‌های استوانه‌ای برای طول100از جنس فولاد St37..... ۲۷

شکل۲-۱۳- منحنی‌های بار– موقعیت ترک $D42-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۲۹

شکل۲-۱۴- منحنی‌های بار – موقعیت ترک $D42-\theta120^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۲۹

شکل۲-۱۵- منحنی‌های بار- جابجایی، کانتورهای تنش ون میزز برای نمونه $L150-\theta120^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.7-C0.5$ ۳۲

شکل۲-۱۶- منحنی‌های بار- جابجایی، کانتورهای تنش ون میزز برای نمونه $L150-\theta120^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.7-C0.33$ .. ۳۳

شکل۲-۱۷- منحنی‌های بار- جابجایی، کانتورهای تنش ون میزز برای نمونه $L150-\theta120^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.7-C0.25$ .. ۳۴

شکل۲-۱۸- منحنی‌های بار- جابجایی پانل ترک دار برای طول ترک های مختلف**a**) $L100-\theta90^{\circ}-\alpha90^{\circ}-C0.5$ ،
$L150-\theta120^{\circ}-\alpha45^{\circ}-C0.5$ **(b** ۳۶
شکل۲-۱۹- منحنی‌های بار – جابجایی پانل ترک دار برای زاویه ترک های مختلف**a)** $L150-\theta120^{\circ}-\lambda0.5$ ،
$L150-\theta120^{\circ}-\lambda0.5$ **b** ۳۹
شکل۲-۲۰- منحنی‌های بار – جابجایی پانل ترک دار برای زاویه ترک های مختلف **a)** $L100-\theta90^{\circ}-\lambda0.7$ ،
$L250-\theta180^{\circ}-\lambda0.5$ **(b** ۴۰
شکل۲-۲۱- شرایط بار گذاری خارج از مرکز ۴۱
شکل۲-۲۲- منحنی‌های بار- جابجایی، برای نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha0^{\circ}-\lambda0.5$ ۴۲
شکل۲-۲۳- منحنی‌های بار- جابجایی، برای نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5$ ۴۳
شکل۲-۲۴- منحنی‌های بار - جابجایی، برای نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.5$ ۴۴
شکل۲-۲۵- منحنی‌های بار- جابجایی، برای سه طول مختلف از نمونه $\theta180^{\circ}-\alpha0^{\circ}-\lambda0.4$ ۴۵
شکل۲-۲۶- منحنی‌های بار - جابجایی، برای سه زاویه مختلف از نمونه $L100-\alpha0^{\circ}-\lambda0.3$ ۴۶
شکل۲-۲۷- منحنی‌های بار- جابجایی، برای سه زاویه مختلف از نمونه $L250-\alpha90^{\circ}-\lambda0.4$ ۴۶
شکل ۳-۱- فیکسچر مورد استفاده در آزمایش برای اعمال بار محوری**a)** تکیه گاه ساده، **b)** تکیه گاه گیردار ۵۰
شکل ۳-۲- فیکسچر مورد استفاده در آزمایش برای اعمال بار خارج از مرکز ۵۰
شکل ۳-۳- نمودار بار- جابجائی برای طول های مختلف پانل استوانه‌ای با زاویه مرکزی $\theta90^{\circ}$ از جنس فولاد **Ck20** ۵۱
شکل ۳-۴- نمودار بار- جابجائی برای زاویه‌های مختلف پانل‌های استوانه‌ای برای طول **100** از جنس فولاد **Ck20** ۵۱
شکل ۳-۵- نمودار بار- جابجائی برای طول های مختلف پانل استوانه‌ای با زاویه مرکزی $\theta90^{\circ}$از جنس فولاد **St37** ۵۲
شکل ۳-۶- نمودار بار- جابجائی برای زاویه‌های مختلف پانل‌های استوانه‌ای برای طول **100** از جنس فولاد **St37** ۵۲
شکل ۳-۷- تعدادی از نمونه های آزمایش با دستگاه **INSTRON** ۵۳
شکل ۳-۸- منحنی های بار- جابجایی برای پانل ترک دار با ترک در موقعیت های مختلف ۵۴
شکل۳-۹- منحنی های بار- جابجایی برای طول ترک های مختلف نمونه $D42-L100-\theta90^{\circ}-\alpha90^{\circ}-C0.5$ ۵۵
شکل۳-۱۰- منحنی های بار- جابجایی برای طول ترک های مختلف نمونه $D42-L100-\theta90^{\circ}-\alpha0^{\circ}-C0.5$ ۵۵
شکل۳-۱۱- منحنی های بار- جابجایی برای طول ترک های مختلف نمونه $D42-L100-\theta90^{\circ}-\alpha45^{\circ}-C0.5$ ۵۶
شکل۳-۱۲- مراحل کمانش نمونه $D42-L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۵۶
شکل۳-۱۳- منحنی های بار- جابجایی برای زاویه ترک های مختلف نمونه $D42-L100-\theta90^{\circ}-\lambda0.7-C0.5$ ۵۷
شکل۳-۱۴- منحنی های بار- جابجایی برای زاویه ترک های مختلف نمونه $D42-L250-\theta180^{\circ}-\lambda0.4-C0.5$ ۵۸
شکل۳-۱۵- منحنی های بار- جابجایی برای زاویه ترک های مختلف نمونه $D42-L150-\theta180^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۵۹

شکل۳-۱۶- منحنی های بار- جابجایی برای زاویه ترک های مختلف نمونه $D42-L150-\theta120^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۶۰
شکل۳-۱۷- منحنی های بار- جابجایی برای زاویه ترک های مختلف نمونه $D42-L150-\theta90^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۶۱
شکل۳-۱۸- منحنی های بار- جابجایی برای زاویه پانل‌های مختلف نمونه $D42-L150-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۶۲
شکل۴-۱- مقایسه منحنی‌های بار - جابجایی تجربی و عددی برای نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۶۵
شکل۴-۲- مقایسه منحنی‌های بار - جابجایی تجربی و عددی برای نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.33$ .. ۶۵
شکل۴-۳- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L250-\theta90^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.4-C0.5$ .. ۶۸
شکل۴-۴- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L250-\theta180^{\circ}-\alpha0^{\circ}-\lambda0.3-C0.5$ ۶۹
شکل۴-۵- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L150-\theta120^{\circ}-\alpha0^{\circ}-\lambda0.4-C0.5$ ۷۰
شکل۴-۶- منحنی‌های بار- جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.33$ ۷۱
شکل۴-۷- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۷۲
شکل۴-۸- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.25$ ۷۳
شکل۴-۹- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L100-\theta180^{\circ}-\alpha0^{\circ}-\lambda0.3-C0.5$ ۷۴
شکل۴-۱۰- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L100-\theta120^{\circ}-\alpha0^{\circ}-\lambda0.4-C0.5$ ۷۵
شکل۴-۱۱- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L100-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۷۶
شکل۴-۱۲- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha45^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۷۷
شکل۴-۱۳- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha90^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ ۷۸
شکل۴-۱۴- منحنی‌های بار - جابجایی و تصاویر تغییر شکل یافته نمونه $L150-\theta180^{\circ}-\alpha0^{\circ}-\lambda0.5-C0.5$ .. ۷۹

فهرست جداول

جدول۲- ۱- نتایج تحلیل های عددی..... ۳۷

جدول ۳- ۱- مشخصات هندسی و مکانیکی هر دو نمونهSt37 وCk20 ..... ۴۸

جدول ۴- ۱- نتایج تحلیل های عددی و تجربی مربوط به موقعیت ترک..... ۶۴

جدول ۴-۲- نتایج تحلیل های عددی و تجربی همراه با درصد اختلاف..... ۶۶

فصل اول

مقدمه ای در مورد پانل ها
و کاربرد آن

۱-۱- مقدمه

ورقها و پانل‌ها سازه‌هایی هستند که شکل اولیه آنها به ترتیب تخت و خمیده می‌باشد و ضخامت آنها نسبت به دو بعد دیگر بسیار کوچکتر است. معیاری که برای تعریف یک ورق یا پانل نازک بکار برده می‌شود؛ این است که باید نسبت ضخامت به طول ضلع کوچکتر ورق کمتر از ۰/۰۵ باشد. این نسبت در مواردی به کمتر از ۰/۱ نیز می‌رسد.

۱-۲- کاربرد پوسته‌ها

امروزه پوسته‌ها و ورقها بخش اعظمی از سازه‌های صنایع مختلف را به خود اختصاص داده‌اند. پوسته‌ها به دلیل وزن کم و مقاومت زیاد کاربرد وسیعی در صنایع دارند. این خواص ناشی از طبیعت هندسی پوسته است. سازه‌های پوسته‌ای از نظر تحمل بارهای فشاری و ضربه‌ای از بهترین سازه‌ها محسوب می‌شوند و به همین دلیل در طبیعت نیز پوشش اندام گیاهان و جانوران، ماهیت پوسته‌ای دارد. با درک ویژگی‌های مهم سازه‌های پوسته‌ای از جمله قدرت تحمل بار، استحکام بالا و راحتی ساخت، مهندسین همواره از سازه‌های پوسته‌ای در طراحی و ساخت سازه‌های مختلف استفاده می‌کنند. از کاربردهای پوسته‌ها می‌توان در سازه‌های هوایی برای بدنه هواپیماها، روکش بال و دم هواپیما، بدنه موشک و غیره اشاره کرد. استفاده از ورقها و پوسته‌ها در صنایع دیگر نظیر خودرو سازی، شناور سازی، مخازن نفت و گاز در صنایع پتروشیمی، خطوط لوله، مخازن نگهداری مایعات و سیلوهای انبار دانه‌های نباتات و غلات، مخازن تحت فشار، سرپوشها یا کله‌گیها و غیره رایج است (شکل(۱-۱)). پانل‌های استوانه‌ای نیز در سازه‌هایی مانند بدنه موشکها، بالگردها، هواپیماها، پایه سکوهای دریایی، کندانسور و دودکش نیروگاهها و تجهیزات ورزشی استفاده فراوان دارند.

شکل ۱-۱-نمونه‌هایی از سازه‌های پوسته ها

این سازه‌ها ممکن است تحت بارهای محوری فشاری قرار گرفته و دچار کمانش شوند. به علاوه، این اجزا اغلب در بعضی قسمتها ناپیوستگی‌هایی مانند گشودگی‌ها دارند که این ناپیوستگی‌ها می‌توانند در پایداری سازه ها تأثیرگذار باشند. برای طراحی یک پانل استوانه‌ای تحت بار فشاری لازم است باری که پانل تحت آن بار کمانش می‌کند، محاسبه شود. کمانش به مفهوم تغییر شکل ناگهانی سازه در برابر بار وارده به آن است. این بار غالباً به صورت فشاری به سازه اعمال می‌گردد. اگرچه برای محاسبه بار کمانش پوسته استوانه‌ای تحقیقات متعددی انجام شده است، ولی تاکنون رابطه دقیقی برای محاسبه بار بحرانی کمانش ارائه نشده است و روابط موجود با کمک فرضیات ساده کننده حاصل شده‌اند. همچنین به علت پیچیدگی معادلات و شرایط مرزی حاکم بر پوسته‌های استوانه‌ای دارای گشودگی، تاکنون رابطه دقیقی برای بار کمانش این پوسته‌ها ارائه نشده است و تحقیقات انجام شده در این زمینه محدود به روشهای عددی و تجربی هستند. در ادامه مروری بر کارهای صورت گرفته در این زمینه، ارائه خواهد شد.

۱-۳- بررسی روشهای مختلف حل مسئله کمانش پانل‌ها

استفاده بسیار وسیع از ورقها و پانل‌ها به عنوان المانهای سازه‌ای باعث شده است کـه تحقیقـات دیرینـه و بسیار وسیعی پیرامون آنها انجام شود. تحقیقات به یکی از سه روش زیر استوار هستند:

۱ - بررسی تحلیلی سازه‌ها

۲ - بررسی عددی سازه‌ها

۳ - بررسی تجربی سازه‌ها

امروزه سه روش فوق رایج بوده و گاهی از هر سه روش برای انجام یک تحقیق استفاده مـی‌شـود. حـل تحلیلی سازه‌ها، روشی است که بر یک یا چند اصل فیزیکی استوار است؛ که توسط روشهای ریاضی توسعه داده شده‌اند. این روش حل عمدتاً برای مسائل و سازه‌های با هندسه‌های سـاده و بارگـذاری‌هـا و شـرایط مرزی متقارن جوابهای دقیقی ارائه می دهد و حل بسیاری از مسائل ساده در کتابهای منتشر شده موجود است. از روشهای تحلیلی سازه‌ها می توان به تحلیل تنش یک مخـزن اسـتوانه‌ای تحـت فـشار داخلـی یـا خارجی و یا یک ورق تحت کشش که یک سوراخ در آن ایجاد شده است اشاره نمود. در روش تحلیلی اگر اندکی مسئله از لحاظ هندسه، بارگذاری یا شرایط مرزی پیچیده شود دست یافتن به جواب دقیـق بـسیار دشوار و حتی غیر ممکن می‌گردد. در مواردی نیز جوابهای تقریبی برای حل تحلیلی سازه‌ها بدست مـی-آید. شاید دلیل تقریبی بودن این جوابها فرضهای ساده کننده‌ای باشد که برای حل معادلات بکار رفته‌اند. عدم توانایی در حل معادلات دیفرانسیلی که از حل‌های تحلیلی حاصل می‌شـوند، از مهمتـرین مـشکلات انجام حل تحلیلی می‌باشد.

حل عددی سازه‌ها نیز روش دیگری است که امروزه توسط برنامه‌های قدرتمند المان محـدود بـه بـازار صنعت آمده است. این روش بسیار ارزان قیمت و مقرون به صرفه است و همواره می‌توان از آن بهـره بـرد.