بسم الله الرحمن الرحيم

٢٩٩٠٩

۱۳۷۸ /۸/ ۲۰

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مکانیک - طراحی کاربردی

آنالیز کمانش صفحات محافظ شیاردار به روش اجزاء محدود

سید هادی هاشمی اسفیدواجانی

استاد راهنما:

دکتر مجید میرزایی

- 5999

تابستان ۷۸

۲۶۶۰۹

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای سید هادی هاشمی پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان آنالیز ـ المان محدود صفحات محافظ شیاردار در تاریخ ۷۸/۶/۱۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی مکانیک با گرایش طراحی کاربردی پیشنهاد می‌کنند. ۱۰ ـ ۶

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر میرزائی	
۲ـ استاد مشاور :	آقای دکتر میرزائی	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر بهروش	
	آقای دکتر سهراب‌پور	
۴ـ مدیر گروه :	آقای دکتر مقدم	
(یا نمایندهٔ گروه تخصصی)		

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان‌نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

بسمه تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ ..... است که در سال ..... در دانشکدهٔ ..... دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... ، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب [illegible] دانشجوی رشته [illegible] مقطع [illegible] تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: [illegible]

تاریخ و امضا: ۸۶/۶/۱۲

هوالمستعان

ساقیا لطف نمودی قدحت پُر مِی باد که به‌تدبیر تو تشویش خُمار آخر شد

آن پریشانی شبهای دراز و غم دل همه در سایه گیسوی نگار آخر شد

تقدیم به حضرت حق؛

که نعمت بودن را ارزانی داشت

تقدیم به معلم؛

که چگونه زیستن و پویا شدن را آموخت

تقدیم به شهید؛

که هدف و راز زیستن شد

تقدیم به دوست؛

که همراه و مشوق پویایی شد

تقدیم به عشق؛

که محرک و مرکب زیستن و پویایی شد

تشکر و قدردانی:

با تقدیم شایسته‌ترین احترامات خدمت

استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مجید میرزایی

که در انجام این پایان‌نامه مرا یاری رساندند.

چکیده :

مخازن تحت فشار و مخازن انتقال و نگهداری ذرات قابل اشتعال، به‌دلیل بروز حوادث غیرقابل پیش‌بینی با خطر ایجاد موج فشاری ناشی از مسدود شدن حرکت سیال و یا احتراق ذرات مواجه هستند. در این مخازن معمولاً سعی می‌شود با استفاده از شیرهای اطمینان و یا صفحات محافظ ایمنی مخزن را تأمین نمود. صفحات محافظ براساس شرایط کاری مخزن انتخاب می‌شوند. معیار اصلی این انتخاب حالت تنش حاکم برصفحه محافظ است که براین اساس صفحات محافظ به دو نوع تقسیم می‌شوند: یکی صفحه محافظ باحالت عمومی تنش کششی و دیگری صفحه محافظ باکمانش معکوس. رفتار حاکم بر صفحات محافظ معکوس، که دراین پایان نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد، رفتار کمانش غیرخطی است که این رفتار براساس هندسه سازه ونحوه بارگذاری می‌تواند دو پدیده snap-through و bifurcation رابهمراه داشته باشد که سازه درطی این دو پدیده به‌ترتیب دارای رفتاری متقارن و نامتقارن می‌باشد. در رفتار کمانشی غیرخطی دو عامل روی رفتار سازه تأثیر می‌گذارد که یکی ضریب هندسی عمق و دیگری نقص هندسی درسازه می‌باشد.

دراین پایان نامه کمانش غیرخطی الاستیک-پلاستیک صفحه محافظ کمانش معکوس با دو شیار عمود برهم در سطح داخلی و در جهت نصف‌النهاری با استفاده ازروش المان محدود تحلیل و مورد بررسی قرارگرفته است. باتوجه به هندسه صفحه محافظ و نوع شیار بوجود آمده و وجود تقارن مرکزی از المان چهار وجهی ۱۰ گرهی برای مدل المان محدود استفاده شده است. از آنجا که رفتار کمانشی غیرخطی دارای تغییر شکلهای بزرگ بوده از فرمولاسیون بهنگام شده لاگرانژبه منظور به وقت کردن هندسه، و جهت بار اعمالی پس از هر همگرائی نمو نیرو استفاده شده است. در نهایت با در نظرگرفتن معیار طراحی برای این صفحات نظیر فشاری بودن تنشها تا قبل ازکمانش (به‌منظور جلوگیری از پدیده خستگی) و پاره شدن صفحه درحین کمانش از محل شیار ایجاد شده، اقدام به تعیین هندسه سازه و مقدار عمق و طول شیار شده است.

کلیدواژه : صفحات محافظ ،کمانش غیرخطی، المان محدود غیرخطی،

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول: صفحات محافظ و کاربرد آنها ۳

مقدمه ۴

(۱-۱) معرفی صفحات محافظ ۵

(۱-۲) تاریخچه استفاده از صفحات محافظ ۵

(۱-۳) تفاوتهای شیر اطمینان و دیسک محافظ ۷

(۱-۴) دلایل استفاده از صفحات محافظ ۸

(۱-۵) طرق مختلف نصب صفحات مناسب ۹

(۱-۶) انواع صفحات محافظ از لحاظ مکانیزم تحمل بار ۱۱

(۱-۷) ساخت صفحه محافظ کمانش معکوس ۱۲

(۱-۸) انواع صفحات کمانش معکوس ۱۳

(۱-۹) طرحی دیگر از صفحات کمانش معکوس ۱۴

فصل دوم: بررسی کمانش غیر خطی و مشخصه‌های رفتاری آن ۱۵

مقدمه ۱۶

(۲-۱) تعریف کمانش و مشخصه‌های رفتاری آن در پوسته‌ها ۱۶

(۲-۲) بررسی روابط تحلیلی ۲۰

فصل سوم: تحلیل اجزاء محدود ۲۴

مقدمه ۲۵

(۳-۱) تئوری و روابط کلی حاکمه ۲۶
(۳-۲) مسائل غیرخطی مادی ۳۰
(۳-۳) مسائل غیرخطی هندسی ۳۲
(۳-۴) روشهای عددی حل مسائل غیرخطی ۳۴
(۳-۴-۱) تکنیکهای کنترل ۳۴
(۳-۴-۲) روشهای حل تکراری ۳۷
(۳-۴-۳) تمهیدات پایانی ۳۹
(۳-۵) کمانش غیرخطی ۴۰

فصل چهارم: تحلیل اجزاء محدود صفحه محافظ شیاردار ۴۳
مقدمه ۴۴
(۴-۱) طرح مسئله مورد نظر ۴۴
(۴-۲) مقایسه بین نرم‌افزار Cosmos با سایر نرم‌افزارها ۴۶
(۴-۲-۱) مرحله پیش پردازش ۴۷
(۴-۲-۲) مرحلهٔ پردازش ۴۸
(۴-۲-۳) مرحله پس پردازش ۵۰
(۴-۳) تحلیل الاستیک - پلاستیک صفحهٔ محافظ شیاردار ۵۴
(۴-۳-۱) مدل سازی مسئله به روش المان محدود ۵۶
(۴-۳-۲) المان چهار وجهی ۶۰
(۴-۳-۳) آنالیز المان محدود صفحه محافظ ۶۱

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری ۶۸
مراجع و مآخذ ۷۲

فهرست علائم و نمادها:

کار انجام شده خارجی	W_e :	تغییر مکان گرهی	a :
تنش تسلیم	$Y_{(\kappa)}$:	بردار نیروی جسمی	b:
زاویه دهانه پوسته کروی	α :	تابع شکل کرنش	B :
زاویه حامل شیار	β :	ماتریس الاستیسیته	D :
کرنش	ε :	مدول یانگ	E :
کرنش اولیه	ε_0 :	تانسور کرنش گرین - لاگرانژ	E_{ij}
پارامتر سختی	κ :	عمق شیار	f :
ضریب هندسی عمق	λ :	ماتریس نیروی وارده بر المان	F^e :
ثابت تناسب	$d\lambda$:	بردار بار نقطه‌ای	f_p :
تابع پتانسیل	π :	ارتفاع پوسته کروی از رأس تاسطح پایه	H :
تنش	σ :	ماتریس سختی المان	K^e :
تنش اولیه	σ_0 :	اپراتور دیفرانسیلی	L :
ضریب پواسون	ν :	تابع شکل	N :
مجموع نیروی داخلی و خارجی	Ψ :	بار بحرانی درکمانش غیرخطی	P_{cr} :
		شعاع پوسته کروی	R :
		بردار نیروهای داخلی	{R} :
		بردار نیروی سطحی	s :
		سطح المان	S^e :
		ضخامت پوسته کروی	t :
		تابع تغییر مکان	u :
		انرژی کرنشی	u_i :
		حجم المان	V^e :

مقدمه:

در پایداری سازه‌ها از جمله پدیده‌های که بسیار بروز می‌نماید، پدیده کمانش می‌باشد. در اغلب کاربردهای مهندسی سعی می‌شود که از بروز چنین پدیده‌ای جلوگیری شود، بدین صورت که بار اعمال شده بر سازه بایستی کمتر از بار بحرانی کمانش باشد چراکه وقوع این پدیده اغلب همراه با وامانده شدن سازه می‌باشد. بنابراین سعی می‌شود که با بکار بردن ضریب اطمینان مناسب از وقوع چنین پدیده‌ای اجتناب نمود. بررسی رفتار کمانشی یک سازه، در دو محدوده می‌توان بیان شود:

۱- کمانش خطی[۱] ۲- کمانش غیر خطی[۲]

آنچه در کمانش خطی مورد نظر است محاسبه بار برای یک سازه الاستیک خطی ایده‌آل[۳] است. در این تحلیل رفتار بعد از کمانش[۴] دیگر قابل پیش‌بینی نیست. در تحلیل کمانش غیرخطی به تحلیل استاتیکی غیرخطی یک سازه واقعی پرداخته می‌شود که رفتار پس از کمانش نیز قابل پیش‌بینی است. بنابراین تحلیل واقعی کمانش یک سازه، همان تحیل غیرخطی است. از جمله سازه‌هایی که در این تحلیل مورد بررسی قرار می‌گیرند، پوسته‌های کروی کم عمق[۵] تحت فشار خارجی ثابت و شرایط مرزی کاملاً درگیر می‌باشند.

اینگونه سازه‌ها در مخازن تحت فشار به‌عنوان صفحات محافظ[۶] برای تأمین ایمنی مخزن بکار برده می‌شوند عملکرد این صفحات محافظ بدین گونه است که فشار شدید ناشی از انفجار در مخزن به سمت خارج پوسته کروی (قسمت محدب شکل) وارد شده، و صفحه پس از رسیدن فشار مخزن به فشار نهایی، کمانش کرده و تحت شرایط معینی، پاره می‌شود و ایمنی مخزن را تأمین می‌کند. این صفحات به‌لحاظ نوع عملکرد و از نظر نحوهٔ استقرار اشکال گوناگونی دارند. در هر حال مشخصه کلی رفتاری این صفحات، تحت کمانش غیرخطی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بحث کمانش غیرخطی پوسته کروی کم عمق با شرایط مرزی و بارگذاری فوق‌الذکر ابتدا در سال ۱۹۴۶ توسط Feodosiev ارائه شده و پس از آن، بررسی کمانش متقارن اینگونه سازه‌ها توسط Budionsky ، Weinitschke و Thurston ادامه یافت. اما نتایج تئوری و آزمایشی (تجربه‌ای) نسبتاً

1- Linear Buckling.
2- Nonlinear Buckling.
3- Ideal Linear Elastic Structure.
4- Post - Buckling.
5- Shallow Spherical Cap.
6- Rupture Discs.

متفاوتی را دریافت کردند. چراکه در تئوریهای این افراد وجود نقص هندسی در سازه در نظر گرفته نشده بود. بعدها در سال حدود (۱۹۶۷) Koiter با استفاده از تحلیل Asymptotic وجود نقص هندسی را در سازه اعمال کرده و نتایج قابل قبولی را به‌دست آورد. با پدید آمدن علم اجزاء محدود (۱۹۷۸-۱۹۶۵) و کاربرد آن در علوم مهندسی مکانیک و با بهره‌گیری از کامپیوتر، تحلیل چنین سازه‌هایی به‌سهولت انجام پذیرفت. امروزه با بکارگیری از نرم‌افزارهای اجزاء محدود در تحلیل واقعی سازه‌ها پرداخته می‌شود و نتایج مناسبی را هم (در مقایسه با نتایج تجربی) به‌دست می‌دهد. اخیراً با استفاده از نرم‌افزار LUSAS به تحلیل اجزاء محدود اینگونه پوسته‌ها، که به‌عنوان صفحات محافظ در مخازن تحت فشار بکار برده می‌شوند، با داشتن نقص هندسی به‌صورت یک شیار محیطی در داخل پوسته کروی، پرداخته شده است.

در این نگارش در فصل اول به کاربرد عملی سازه پوسته کروی کم عمق با شرایط مرزی و بارگذاری معین شده که به‌عنوان یک صفحه محافظ در مخازن تحت فشار بکار گرفته می‌شوند، پرداخته می‌شود. صفحات محافظ انواع گوناگونی از نظر نحوهٔ استقرار، عملکرد و شرایط هندسی می‌توانند داشته باشند که ضمن مروری بر انواع آنها سعی می‌کنیم عملکرد این صفحات را با توجه به شرایط که مطلوب نظر هستند (از نظر رفتاری) بررسی کنیم. در فصل دوم به مشخصات رفتاری کمانش پوسته‌ها پرداخته می‌شود و روابط تحلیلی موجود مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل سوم کاربرد علم اجزاء محدود در زمینه کمانش غیرخطی پوسته‌ها بررسی می‌شود رفتار غیرخطی را در دو محدودهٔ تغییر شکلهای بزرگ و غیرخطی بودن خواص مادی درنظر می‌گیریم و روابط موجود را استخراج می‌نماییم و شرایط به‌وجود آمدن کمانش را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهیم و روشهای عددی برای حل اینگونه مسائل را مطرح می‌نماییم. در فصل چهارم به آنالیز صفحه محافظ شیاردار می‌پردازیم شیارهایی که در سطح داخلی آن ایجاد شده که بتواند به‌عنوان یک نقص هندسی در شرایط عملکرد مورد نظر، به‌خوبی عمل نماید. در این فصل ابتدا به ارزیابی نرم‌افزار COSMOS نسبت به سایر نرم‌افزارها پرداخته و سپس به تحلیل و مدل‌سازی صفحه محافظ مطلوب می‌پردازیم. تحلیل واقعی چنین صفحه‌ای به‌صورت الاستیک پلاستیک می‌باشد. در فصل پنجم به بحث و نتیجه‌گیری از نتایج به‌دست آمده از فصل چهارم می‌پردازیم.

فصل اول:

صفحات محافظ و کاربرد آنها

مقدمه:

ایمنی مخازن تحت فشار در برابر افزایش فشار مبحثی به قدمت خود مخازن تحت فشار می‌باشد، که برحسب چگونگی و عامل ایجادکنندهٔ فشار اضافی، از وسایل مناسب ایمنی استفاده می‌شود. راههای گوناگونی برای محافظت مخازن در برابر افزایش فشار ناگهانی پیشنهاد شده است. یکی از روشهای مناسب و ارزان، استفاده از صفحات محافظ است که از دههٔ ۱۹۳۰ مورد توجه قرار گرفت. این نوع از صفحات به اشکال مختلفی نظیر گنبدی یا تخت تهیه شده بودند و فشار به قسمت مقعر آنان وارد می‌شد. با این نوع از صفحات امکان بالابردن فشار کاری مخزن بیش از ۷۵٪ فشار پارگی صفحات، ممکن نبود. با پیشرفت صنایع و نیاز به ایمنی مخازن به همراه عمر مناسب صفحات و قابلیت افزایش فشار مخزن به فشارهای نزدیکتر تا فشار پارگی صفحهٔ محافظ، در دههٔ ۱۹۶۰ نوع صفحهٔ کمانش معکوس به‌وجود آمد. در این نوع از صفحات، فشار به سمت محدب صفحه وارد شده و صفحه پس از رسیدن فشار مخزن به فشار نهایی، کمانش کرده و با تمهید شرایطی پاره و یا از جایگاه خود به بیرون پرتاب می‌شود و در نهایت ایمنی مخزن را تأمین می‌نماید. از مزایای صفحات کمانش معکوس مقاومت در برابر خستگی و افزایش فشار کاری تا حدود ۹۰٪ پارگی فشار صفحه را می‌توان نام برد. با توجه به نحوهٔ استقرار و عملکرد صفحات کمانش معکوس اشکال مختلفی از این صفحات می‌توانند وجود داشته باشند که از جمله صفحه کمانش معکوس با تیغهٔ برنده برای پارگی و یا صفحه کمانش معکوس با ایجاد شیارهایی برای پارگی می‌باشند. تحلیل صفحه کمانش معکوس با ایجاد شیار محیطی با استفاده از نرم‌افزار LUSAS قبلاً انجام شده و در مرجع [۸] گزارش شده است.

در این فصل به معرفی صفحات محافظ و دلایل استفاده از آنها پرداخته و مسایل مربوط به طراحی آنها را مورد بررسی قرار می‌دهیم و سپس به طرح جدیدی از صفحات کمانش معکوس با شیارهای عمود بر هم در سطح داخلی و در جهت نصف‌النهاری پوسته کروی می‌پردازیم.

(۱-۱) معرفی صفحات محافظ:

صفحات محافظ مخازن تحت فشار در شروع پیدایش با این تعریف معرفی شدند که تاکنون معتبر مانده است: "***صفحه محافظ مخازن تحت فشار قطعه‌ای است که برای پارگی تحت شرایط معین و تعریف شده‌ای طراحی می‌شود و به این طریق مخزن از فشار اضافی محافظت می‌شود.***" [۱]

این صفحات معمولاً در افزایش فشارهای ناگهانی نظیر انفجار در مخازن استفاده می‌شوند و در صنایع شیمیایی نگهداری و انتقال پودرها، صنایع هوایی و بسیاری دیگر کاربرد دارند. اساس کار این صفحات بدین گونه است که به هنگام افزایش فشار، صفحه پاره شده و یا از امکان خود بیرون می‌پرد. استفاده از این وسایل از دهه ۱۹۳۰ معمول شد. مواد مختلفی مثل فلزات، گرافیت، پلاستیک و در بعضی موارد خاص کاغذ در ساخت این صفحات به‌کارگرفته می‌شود. این صفحات روی سطح تخلیه قرارگرفته و به‌هنگام افزایش فشار بیش از حد طراحی شده، فشار مخزن را به فشار اتمسفر کاهش می‌دهند. اشکال و طرحهای مختلفی از این صفحات در انواع صنایع بکارگرفته می‌شوند. استاندارد BS۲۹۱۵ در مورد دیسکهای محافظ مخازن تحت فشار اولین بار در سال ۱۹۵۷ در مورد شکل گنبدی ماده که فلزی بود، چاپ شد. در این استاندارد نیازمندیهای طراحی و ساخت و آزمایش این نوع دیسک بخصوص آمده است. به‌منظور به‌هنگام کردن این استاندارد در سالهای ۱۹۷۴ و ۱۹۸۴ بازنگریهایی انجام شد.

(۱-۲) تاریخچه استفاده از صفحات محافظ:

مهندسی مکانیک درکارهای طراحی با مسائلی روبرو می‌شود که هدف اصلی آن، اطمینان از عدم واماندگی قطعات در شرایط کاری است. اما در مورد صفحات محافظ، مسئله اینست که صفحه در محدودهٔ فشار پارگی معین، با درنظرگرفتن شرایط محیطی نظیر دما، پاره شده و تخلیه لازم صورت پذیرد. در انگلستان در سال ۱۹۳۰ استفاده صفحات محافظ در صنایع شیمیایی مورد توجه قرارگرفت.