دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

پاسخ الاستوپلاستیک مخازن استوانه ای تحت فشار داخلی سیکلی

از

شیوا ترابی خداشهری

استادان راهنما

دکتر ابوالفضل درویزه

دکتر منصور درویزه

تیر ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی

گروه مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

پاسخ الاستوپلاستیک مخازن استوانه ای تحت فشار داخلی سیکلی

از

شیوا ترابی خداشهری

استادان راهنما

دکتر ابوالفضل درویزه

دکتر منصور درویزه

استاد مشاور

دکتر رضا انصاری

تیر ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم . والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چراکه این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند و آموزگارانی که برایم زندگی ، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

تشکر و قدردانی

در آغاز لازم می دانم از زحمات کلیه کسانی که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند کمال تشکر را بنمایم.

هم چنین از زحمات اساتید محترم راهنما آقایان دکترابوالفضل درویزه و دکتر منصور درویزه و استاد مشاور ارجمند جناب آقای دکتر رضا انصاری و دوستانی که در انجام این رساله با راهنمایی‌های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ج
فهرست شکل‌ها ..... ح
فهرست علائم ..... ذ
چکیده فارسی ..... ز
چکیده انگلیسی ..... س

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ مرروری بر تحقیقات گذشته ۲
۱-۳ معرفی رساله حاضر ۳

فصل دوم: تحلیل الاستیک و فرمول بندی اجزاء محدود

۲-۱ مقدمه ۷
۲-۲ الاستیسیته ۷
۲-۳ قانون عمومی هوک ۷
۲-۴ معادلات تعادل در مختصات استوانه ای ۹
۲-۵ کرنشها بر حسب تغییر مکان در مختصات استوانه ای ۱۱
۲-۶ معادله توافق یا سازگاری در مختصات استوانه ای ۱۳
۲-۷ حل الاستیک سیلندر جداره ضخیم با استفاده از روش تحلیلی ۱۴
۲-۸ روش حل فیزیکی مسائل ۱۵
۲-۹ روش المان محدود ۱۶
۲-۹-۱ مزایای روش المان محدود ۱۶
۲-۹-۲ فرمول بندی المان محدود برای مواد با رفتار الاستیک ۱۷
۲-۹-۳ فرمول بندی المان محدود در حالت تقارن محوری و الاستیک ۱۸
۲-۱۰ نحوه ی مش بندی سیلندر جداره ضخیم در المان محدود ۲۳

فصل سوم: تحلیل الاستو پلاستیک مخازن جداره ضخیم

۳-۱ مقدمه ۲۶
۳-۲ تحلیل الاستو پلاستیک با استفاده از تئوری تغییر شکل کلی هنکی ۲۷
۳-۳ تعیین پارامترهای موثر ماده ۲۷
۳-۳-۱ ماده پلاستیک کامل ۲۹
۳-۳-۲ ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی ۲۹
۳-۳-۳-ماده با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی ۳۰
۳-۴ روش تکرار برای حل معادلات ۳۱
۳-۵ معیار تسلیم ۳۲
۳-۵-۱ معیار تسلیم ترسکا ۳۳

۳-۵-۲ معیار تسلیم ون میزز ۳۳
۳-۶ تنش موثر ۳۴
۳-۷ اثر بوشینگر ۳۵
۳-۸ سخت شوندگی کرنشی ۳۵
۳-۸-۱ مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک ۳۶
۳-۸-۲ مدل سخت شوندگی سینماتیک ۳۶
۳-۹ فرآیند باربرداری از سیلندر جداره ضخیم..... ۳۷
۳-۱۰ فرآیند انوفریتژ برای بهبود توزیع تنشها در سیلندر ها ۳۹
۳-۱۱ تحلیل الاستو پلاستیک سیلندر ساخته شده از مواد هدفمند ۳۹
۳-۱۲ تحلیل الاستو پلاستیک با استفاده از تئوری نمو کرنش ۴۱
۳-۱۳ معادلات لوی –میزز ۴۱
۳-۱۴ معادلات پرانتل- روس ۴۲
۳-۱۵ رابطه ی تنش –کرنش برای مواد با رفتار الاستیک- پلاستیک ۴۴
۳-۱۶ رابطه ی بین کرنشهای پلاستیک و نهایی..... ۴۴
۳-۱۷ فرمول بندی الاستو پلاستیک مخازن جداره ضخیم به صورت بی بعد ۴۸
۳-۱۷-۱ سیلندر جداره ضخیم..... ۴۸
۳-۱۷-۲ کره جداره ضخیم..... ۵۰
۳-۱۸ روش حل عددی با استفاده از نمو کرنش ۵۲

فصل چهارم: نتایج

۴-۱ مسئله ۱: تحلیل الاستیک سیلندر جداره ضخیم تحت بار استاتیکی ۵۴
۴-۲ مسئله ۲ : تحلیل الاستوپلاستیک سیلندر جداره ضخیم تحت بار استاتیکی ۵۵
۴-۲-۱ ماده پلاستیک کامل ۵۵
۴-۲-۲ ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی ۶۰
۴-۲-۳ ماده با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی ۶۴
۴-۲-۳-۱ تحلیل الاستوپلاستیک سیلندر جداره ضخیم ۶۴
۴-۲-۳-۲ تحلیل الاستوپلاستیک کره ی جداره ضخیم..... ۶۸
۴-۳ مسئله ۳ : بررسی فشار اتوفریتژ در سیلندرهای جداره ضخیم ۶۸
۴-۴ مسئله ۴ : تحلیل الاستوپلاستیک سیلندر جداره ضخیم با مواد هدفمند ۷۱
۴-۵ مسئله ۵ : تحلیل الاستو پلاستیک سیلندر جداره ضخیم تحت بار سیکلی ۷۷

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری ۸۴
۵-۲ پیشنهاداتی جهت ادامه ی کار ۸۶
مراجع و مآخذ ۸۷

فهرست جدول‌ها **صفحه**

جدول ۴-۱: خواص مکانیکی ماده مورد نظر در تحلیل الاستیک..... ۵۴
جدول ۴-۲: خواص مکانیکی ماده مورد نظر در تحلیل الاستوپلاستیک ماده پلاستیک کامل..... ۵۶
جدول ۴-۳: ترکیب آلیاژ آلومینیوم بر حسب درصد..... ۶۱
جدول ۴-۴: خواص مکانیکی ماده دارای سخت شوندگی کرنشی خطی..... ۶۱
جدول ۴-۵: خواص مکانیکی ماده دارای سخت شوندگی کرنشی غیر خطی..... ۶۵
جدول ۴-۶: مقایسه نتایج حاصل از فشار اتوفریتژ با مرجع [۹]..... ۷۰
جدول ۴-۷: تاثیر فشار اتوفریتژ در بیشترین مقدار تنش موثر..... ۷۱
جدول ۴-۸: خواص مکانیکی در مواد هدفمند مورد بررسی..... ۷۲

فهرست شکل‌ها **صفحه**

شکل ۲-۱: المان استوانه ای و تعادل آن در جهات مختلف ۹
شکل ۲-۲: تغییر شکل در یک المان استوانه ای ۱۱
شکل ۲-۳: مسئله با تقارن محوری ۱۸
شکل ۲-۴: المان حجمی در مختصات استوانه ای ۱۹
شکل ۲-۵: تغییر شکل یک المان در مختصات استوانه ای ۲۰
شکل ۲-۶: نمایش یک المان مثلثی در جسم با تقارن محوری ۲۱
شکل ۲-۷: بارگسترده اعمال شده بر یک لینک ۲۳
شکل ۲-۸: مش بندی سیلندر برای تحلیل المان محدود ۲۳
شکل ۳-۱: نمودار تنش کرنش برای ماده با رفتار پلاستیک کامل ۲۹
شکل۳-۲: نمودار تنش کرنش برای با ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی..... ۳۰
شکل۳-۳: نمودار تنش کرنش برای ماده با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی..... ۳۰
شکل ۳-۴: فرآیند تکراری برای محاسبه پارامتر موثر ماده ۳۱
شکل۳-۵: معیار های ون میزز و ترسکا ۳۴
شکل ۳-۶: نمودار تنش –تغییر شکل نسبی در حالت بارگذاری محوری ۳۵
شکل۳-۷ : نمایش مدل سخت شوندگی کرنشی ایزوتروپیک ۳۶
شکل ۳-۸ : نمایش مدل سخت شوندگی سینماتیک..... ۳۷
شکل ۳-۹ : نمودار تنش- کرنش در بارگذاری و باربرداری..... ۳۸
شکل ۳- ۱۰ :رابطه ی بین ε_{et} ، σ_e و $\Delta\varepsilon_p$..... ۴۷
شکل ۴-۱: توزیع تنش های بی بعد در راستای ضخامت در تحلیل الاستیک سیلندر تحت فشار ۵۵
شکل ۴-۲: توزیع پارامترهای موثر ماده در راستای ضخامت در ماده پلاستیک کامل..... ۵۶
شکل۴-۳: نحوه ی مش بندی در نرم افزار انسیس..... ۵۷
شکل ۴-۴: نمایش تنش موثر در راستای ضخامت در ماده پلاستیک کامل در نرم افزار انسیس به صورت کانتوری..... ۵۷
شکل ۴-۵: توزیع تنش های بی بعد در حالت الاستو پلاستیک در ماده پلاستیک کامل تحت بار استاتیکی..... ۵۸
شکل ۴-۶: توزیع تنش های بی بعد در حالت الاستو پلاستیک در ماده پلاستیک کامل با استفاده از تئوری نموی..... ۵۸
شکل ۴-۷: توزیع تنش موثر به کرنش موثر بی بعد در ماده پلاستیک کامل با استفاده از روش نموی..... ۵۹
شکل ۴-۸: توزیع تنش موثر به کرنش موثر بی بعد در ماده پلاستیک با استفاده از تئوری جابجایی کلی هنکی ۵۹
شکل ۴-۹: همگرایی روش خواص مادی متغیر در ماده پلاستیک کامل..... ۵۹
شکل ۴-۱۰: توزیع تنش های پسماند بی بعد در ماده پلاستیک کامل..... ۶۰
شکل ۴-۱۱: تنش موثر در راستای ضخامت در ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی در نرم افزار انسیس ۶۱
شکل ۴-۱۲: توزیع تنش های بی بعد در راستای ضخامت در ماده با سخت شوندگی خطی در حالت الاستوپلاستیک.... ۶۲
شکل ۴-۱۳: توزیع تنش های بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی با استفاده از تئوری نموی..... ۶۲
شکل ۴-۱۴: توزیع تنش موثر به کرنش موثر بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی با روش خواص مادی متغیر..... ۶۳
شکل ۴-۱۵:توزیع تنش موثر به کرنش موثر بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی با استفاده از تئوری نموی. ۶۳
شکل ۴-۱۶: همگرایی روش خواص مادی متغیر در ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی ۶۳
شکل ۴-۱۷: تنش های بی بعد پسماند در ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی با مدل سخت شوندگی سینماتیک..... ۶۴
شکل ۴-۱۸ :تنش های بی بعد پسماند در ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی با مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک..... ۶۴

شکل ۴-۱۹: تنش موثر در راستای ضخامت در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی در نرم افزار انسیس..... ۶۵
شکل ۴-۲۰: تنش موثر به کرنش موثر بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی با استفاده از روش خواص مادی متغیر..... ۶۶
شکل۴-۲۱: توزیع تنش موثر به کرنش موثر بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی با استفاده از تئوری نموی..... ۶۶
شکل ۴-۲۲: همگرایی روش خواص مادی متغیر در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی..... ۶۶
شکل ۴-۲۳: الف) توزیع تنش شعاعی بی بعد ، ب) توزیع تنش محیطی بی بعد ، ج) توزیع تنش محوری بی بعد ، د) توزیع تنش موثر بی بعد. در سیلندر جداره ضخیم با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی تحت فشار های داخلی $P/\sigma_y = 1\ ,1.4\ ,1.6$..... ۶۷
شکل ۴-۲۴: توزیع تش های بی بعد الاستوپلاستیک در کره ی جداره ضخیم تحت فشار داخلی..... ۶۸
شکل ۴-۲۵: توزیع تنش موثر بی بعد به کرنش موثر بی بعد در کره ی جداره ضخیم تحت فشار داخلی..... ۶۸
شکل ۴-۲۶: توزیع تنش موثر بیشینه به ازای فشارهای اتوفریتژ متفاوت..... ۶۹
شکل ۴-۲۷: توزیع تنش موثر بیشینه به ازای مرزهای الاستوپلاستیک مختلف..... ۶۹
شکل ۴-۲۸: توزیع تنش موثر بهینه در راستای ضخامت در ماده پلاستیک کامل و ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی..... ۷۰
شکل ۴-۲۹: الف) توزیع تنش تسلیم و مدول الاستیسیته بی بعد در ماده هدفمند (۱) .ب)توزیع تنش تسلیم و مدول الاستیسیته بی بعد در مواد هدفمند (۲) و(۳) ۷۲
شکل ۴-۳۰: الف) توزیع تنش های بی بعد در ماده هدفمند پلاستیک کامل(۱) با استفاده از روش خواص مادی متغیر، ب)توزیع تنش های بی بعد در ماده هدفمند پلاستیک کامل(۲) با استفاده از روش خواص مادی متغیر..... ۷۳
شکل ۴-۳۱: الف) توزیع تنش های بی بعد در ماده پلاستیک کامل (۱) در مرجع[۱۴] ، ب)توزیع تنش های بی بعد در ماده پلاستیک کامل (۲) در مرجع [۱۴]..... ۷۳
شکل ۴-۳۲: الف) توزیع کرنش های پلاستیک در ماده هدفمند پلاستیک کامل(۱) با استفاده از روش خواص مادی متغیر ، ب)توزیع کرنش های پلاستیک در ماده هدفمند پلاستیک (۲) با استفاده از روش خواص مادی متغیر..... ۷۴
شکل ۴-۳۳: الف) توزیع کرنش های پلاستیک در ماده پلاستیک کامل (۱) از مرجع[۱۴] ، ب)توزیع کرنش های پلاستیک در ماده پلاستیک کامل (۲) از مرجع [۱۹]..... ۷۴
شکل ۴-۳۴: توزیع تنش های باقیمانده در ماده هدفمند پلاستیک کامل(۱) با استفاده از روش خواص مادی متغیر ، ب)توزیع تنش های باقیمانده در ماده هدفمند پلاستیک کامل (۲) با استفاده از روش خواص مادی متغیر..... ۷۵
شکل ۴-۳۵: الف) توزیع تنش های بی بعد در ماده هدفمند با سخت شوندگی کرنشی خطی ، ب)توزیع کرنش های پلاستیک در ماده هدفمند با سخت شوندگی کرنشی خطی ، ج)توزیع تنش های پسماند در ماده هدفمند با سخت شوندگی کرنشی خطی..... ۷۶
شکل ۴-۳۶: توزیع فشار داخلی بی بعد نسبت به زمان..... ۷۷
شکل ۴-۳۷: توزیع تنش شعاعی بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی نسبت به زمان در بارگذاری فشاری سیکلی..... ۷۸
شکل ۴-۳۸: توزیع تنش محیطی بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی نسبت به زمان در بارگذاری سیکلی..... ۷۸
شکل ۴-۳۹: توزیع تنش های محوری بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیر خطی تحت بارگذاری سیکلی فشاری..... ۷۹
شکل ۴-۴۰: توزیع تنش موثر بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی تحت فشار داخلی سیکلی..... ۷۹
شکل ۴-۴۱ : توزیع کرنش های شعاعی در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی تحت فشار داخلی سیکلی..... ۸۰
شکل۴-۴۲: توزیع کرنش های محیطی در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی تحت فشار داخلی سیکلی..... ۸۰

شکل ۴-۴۳ :توزیع تنش موثر بی بعد به کرنش موثر بی بعد در ماده با سخت شوندگی کرنشی تحت بارگذاری سیکلی ۸۱
شکل ۴-۴۴ :توزیع تنش موثر بی بعد به کرنش موثر بی بعد با در نظر گرفتن خواص نا همسانگردی در بارگذاری سیکلی..... ۸۲
شکل ۴-۴۵ :توزیع تنش پسماند شعاعی در سیکلهای مختلف در ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی ۸۲

فهرست علائم اختصاری

توضیح	علائم اختصاری
ماتریس کرنش - جابجایی	B
عدد بوشینگر	BEF
ماتریس تنش- کرنش	D
ماتریس تنش – کرنش موثر	D_e
مدول یانگ	E
مدول یانگ موثر	E_e
مدول پلاستیسیته	E_T
ماتریس نیرو	F
ماتریس سفتی	K
سخت شوندگی کرنشی	n
دامنه فشار	P_a
فشار داخلی	p_{in}
فشار داخلی بی بعد	$\bar{P}_{in}$
فشار موثر میانگین	P_{m}
شعاع داخلی	r_i
شعاع خارجی	r_o
تنش شعاعی بی بعد	S_r
تنش محیطی بی بعد	S_θ
تنش محوری بی بعد	S_z
جابجایی در راستای r	u
جابجایی در راستای θ	v
جابجایی در راستای z	w
تنش موثر	$\overline{\sigma}$
مولفه های تنش انحرافی	σ'_{ij}
تنش هیدرو استاتیک	σ_m
تنش تسلیم	σ_y
کرنش شعاعی	ε_{r}
کرنش محیطی	ε_θ
کرنش محوری	ε_{z}
کرنش شعاعی بی بعد	ϵ_{r}
کرنش محیطی بی بعد	ϵ_{θ}
کرنش محوری بی بعد	ϵ_{z}
کرنش هیدرواستاتیک	ε_m
کرنش شعاعی پلاستیک	ε_r^p
کرنش محیطی پلاستیک	ε_θ^p
کرنش محوری پلاستیک	ε_z^p

کرنش شعاعی پلاستیک بی بعد	ϵ_r^p
کرنش محیطی پلاستیک بی بعد	$\epsilon_\theta^{\mathrm{p}}$
کرنش محوری پلاستیک بی بعد	ϵ_z^p
ضریب پواسون	ϑ
ضریب پواسون موثر	ϑ_{e}

چکیده

پاسخ الاستو پلاستیک مخازن استوانه ای تحت فشار داخلی سیکلی

شیوا ترابی خداشهری

در این رساله تحلیل الاستو پلاستیک سیلندر جداره ضخیم بسیار طویلی تحت فشار داخلی با سه ماده پلاستیک کامل ، ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی و غیرخطی در نظر گرفته شده است. از روش المان محدود درحالت الاستیک و تعمیم آن به حالت پلاستیک با استفاده از روش خواص مادی متغیر در هر دو حالت بارگذاری و باربرداری استفاده شده است. فشار اتوفریتژ و مرز الاستو پلاستیک بهینه سیلندر دارای سخت شوندگی کرنشی در حالت کرنش صفحه ای مورد مطالعه قرار گرفته است. تحلیل الاستوپلاستیک یک سیلندرجداره ضخیم طویل با مواد هدفمند در حالت کرنش صفحه ای و تحت فشار داخلی صورت گرفته است. در حالت باربرداری از تئوری سخت شوندگی کرنشی سینماتیک استفاده شده و تحلیل الاستو پلاستیک سیلندر تحت بارگذاری فشاری سیکلی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار انسیس ، تئوری نموی و نتایج موجود در مراجع مختلف مقایسه شده است که تعامل نزدیکی بین آنها برقرار است.

واژه‌های کلیدی: مخازن تحت فشار ، فشار داخلی ، بارگذاری سیکلی ، رفتار الاستوپلاستیک.

Abstract

Elasto plastic response of cylindrical pressure vessels subjected to cyclic loading

Shiva Torabi Khodashahri

In this thesis elasto plastic analysis of thick walled cylinder under internal pressure with three kinds of material , perfectly plastic, linear strain hardening and nonlinear are investigated. Inelastic solution of cylinder is determined through its elastic solution via FEM with variable material properties method during loading and unloading. The optimum autofrettage pressure and the optimum radius of the elastic–plastic boundary of strain-hardening cylinders in plane strain have been studied. Elastoplastic analysis of a long thick walled cylinder under internal pressure with functionally graded material that can be assumed plane strain condition is considered.Kinematic hardening model are used for unloading behavior and elasto plastic analysis of cylinder under cyclic internal pressure are considered. At the end, these results are compared with ANSYS , incremental theory and results in different articles that used analytical method. It has been observed that this method have good agreement with them.

Keywords: Pressure Vessels, Internal Pressure, Cyclic Loading, Elasto plastic Behavior.

فصل اول:

پیشگفتار

۱-۱ - مقدمه

تحلیل سیلندرهای جداره ضخیم تحت فشار داخلی و یا خارجی یکی از موضوعات بسیار مهم مهندسی می باشد، زیرا کاربرد فراوانی در تجهیزات هسته ای، بویلر ها، صنایع نظامی، صنایع شیمیایی و همینطور در انتقال و ذخیره سیالات و گازها دارد. در اکثر این موارد طراحی برای ناحیه الاستیک انجام می گیرد، اما در مخازن تحت فشار بالا احتمال اینکه مخازن وارد حالت پلاستیک شوند بالا است، لذا بررسی این موضوع حائز اهمیت می باشد. از طرفی بسیاری از محققین در تلاشند تا ظرفیت مجاز فشار را برای مخازن پیش بینی نمایند، برای استفاده بهتر از مواد و ماکزیمم کردن ظرفیت کاری مخازن روش های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که یکی از مهمترین آنها فرایند اتوفریتژ[1] می باشد.

استفاده از مواد هدفمند نیز در ساخت مخازن تحت فشار باعث صرف جویی در مصرف مواد و هزینه کمتر جهت ساخت خواهد شد. معمولا مخازن تحت فشار با مواد هدفمند به منظور مینیمم کردن جرم و ظرفیت تحمل فشار بالا طراحی می شوند.

۱-۲ - مروری بر تحقیقات گذشته

در چند سال اخیر تحقیقات زیادی چه بصورت تحلیلی و چه به صورت تجربی روی مخازن جداره ضخیم تحت فشارهای داخلی و خارجی، پیچش و گرادیان دما و یا حالت ترکیبی این بارگذاریها انجام شده است .

رفتار الاستیک سیلندر جداره ضخیم تحت فشار داخلی توسط تیموشنکو [۱] مورد بررسی قرار گرفته است. مندلسون [۲] تحلیل الاستو پلاستیک مخازن تحت فشار را به صورت کاملا تحلیلی با استفاده از معیار ترسکا و ساده سازی های خاصی ارایه داده است. Gao [۳] تحلیل الاستوپلاستیک سیلندر با سخت شوندگی کرنشی تحت فشارداخلی و جاهد [۴] تحلیل الاستوپلاستیک دیسک در حالت تنش صفحه ای تحت فشار داخلی و گرادیان دما انجام داده اند .

استفاده از روش ES-FEM[2] در تحلیل الاستو پلاستیک دیسک تحت فشار داخلی توسط Cui [۵] ارائه شده است. Blazinski [۶] فرآیند اتوفریتژ را برای سیلندری که دارای ماده الاستو پلاستیک کامل[3] می باشد مطالعه نموده است. مجذوبی [۷] با استفاده از نرم افزار المان محدود[4] Ansys فرآیند اتوفریتژ را برای سیلندری در حالت کرنش صفحه ای بررسی کرده است. کارگرنوین [۸] این روش را برای مخازن کروی جداره ضخیم با مواد دارای سخت شوندگی کرنشی و بدون

1-Autofrettage Process
2-Edge_Smooth Finite Element Method
3-Perfectly Plastic Material
4-Finite Element Method(FEM)

سخت شوندگی کرنشی بکار برده است. در بیشتر این تحقیقات فرآیند باربرداری در حالت الاستیک در نظر گرفته شده است. حجتی [۹] فشار اتوفریتژ سیلندر جداره ضخیم را با استفاده از روش تحلیلی و همینطور با استفاده از نرم افزار انسیس بدست آورده است. حل تحلیلی دقیق سیلندر جداره ضخیم تحت فشار داخلی با استفاده از معیار ترسکا و همینطور بدست آوردن فشار اتوفریتژ بهینه توسط دریجانی [۱۰] صورت گرفته است .

Chen [۱۲-۱۱] توزیع تنش سیلندرهای FGM تحت فشار داخلی و بیرونی درحالت الاستیک و همینطور توزیع تنش در کره های توخالی ساخته شده از مواد هدفمند در حالت الاستیک را مورد بررسی قرار داده است. راه حل هایی برای تنش و تغییر مکان مخازن تحت فشار کروی و استوانه ای FGM که تنها در معرض فشار داخلی قرار دارند، با استفاده از تئوری تغییر شکل های بی نهایت کوچک الاستیسیته به دست آمد[۱۳] . تحلیل الاستو پلاستیک سیلندر جداره ضخیم با مواد هدفمند تحت فشار داخلی در ماده الاستو پلاستیک کامل با استفاده از روش تحلیلی توسط Eraslana [۱۴] ارائه شده است.

با این وجود ، اکثر کارهای فوق به تحلیل الاستو پلاستیک مخازن تحت فشار با تقریب منحنی تنش کرنش به حالت خطی پرداخته اند. همینطور در حالت باربرداری فقط تغییر شکل الاستیک در نظر گرفته شده است.از طرفی دیگر تحلیل باربرداری در سیلندر تحت فشار با مواد هدفمند بسیار کم بوده است. تعداد بسیار محدودی از کارها مربوط به تحلیل الاستو پلاستیک مخازن تحت بار گذاری سیکلی می باشند.

۱-۳- معرفی رساله حاضر

در این پایان نامه ، در ابتدا با استفاده از تئوری تغییر شکل کلی هنکی[۱] و تئوری نموی[۲] تحلیل الاستو پلاستیک سیلندر جداره ضخیم طویلی تحت فشار داخلی انجام شده است. در حالتی که از تئوری تغییر شکل کلی هنکی استفاده شده است، ابتدا با استفاده از روش المان محدود مسئله به صورت الاستیک حل شده است سپس با استفاده از روش تصویر کردن با کرنش ثابت ، به عبارت دیگر روش تکراری مبتنی بر تصویر کرنش کنترل شده[۳] ، این تحلیل به حالت الاستو پلاستیک تعمیم داده شده است. در حالتی که از تئوری نموی استفاده شده در ابتدا با در نظر گرفتن تنشها و کرنشهای اعمال شده ، معادله کلی حاکم بر مسئله استخراج می شود و سپس روابط مربوط به تنش و کرنش محاسبه می شوند. فرآیند بار برداری[۴] از سیلندری که دچار

1-Hencky 's Total Deformation Theory
2-Incremental
3-Strain Controlled Projection
4-Unloaing

تغییر شکل پلاستیک شده متفاوت از باربرداری از سیلندر در حالت الاستیک است، زیرا مقادیری از تنش های پسماند[1] در حالت پلاستیک باقی می ماند . مواد مورد بررسی ماده الاستو پلاستیک کامل، ماده با سخت شوندگی کرنشی خطی[2] و ماده با سخت شوندگی کرنشی غیرخطی[3] می باشند. از معیار تسلیم ون میزز برای یافتن مرز تغییر شکل پلاستیک استفاده شده است.

در حالت باربرداری از دو مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک[4] و سینماتیک[5] استفاده شده است. اکنون با بدست آوردن تنشهای پسماند می توان مسئله را تحت بارگذاری سیکلی حل نمود. نتایج حاصل شده در قالب چندین مثال ارائه می شود و با مقایسه نتایج حاصله با نتایج موجود در سایر منابع و همینطور نرم افزار Ansys [۱۵] از صحت نتایج ، اطمینان حاصل می شود.

فصل دوم :

در این فصل به تحلیل الاستیک مخازن جداره ضخیم با استفاده از روش تحلیلی و روش المان محدود پرداخته می شود. برای روش تحلیلی معادلات تعادل ، روابط بین تنش ها و کرنش های حاکم بر مسئله و معادله سازگاری در حالت الاستیک بدست می آیند.

فصل سوم:

در این فصل به تحلیل الاستو پلاستیک مخازن جداره ضخیم پرداخته می شود. از دو روش برای تحلیل الاستو پلاستیک استفاده می شود، در قسمت اول برای تحلیل پلاستیک از تئوری جابجایی کلی هنکی استفاده شده است و پارامتر های موثر ماده به عنوان تابعی از تنش و خصوصیات ماده در یک فرآیند تکراری بدست می آیند. برای تشخیص مرز ناحیه الاستو پلاستیک از تابع تسلیم ون میزز استفاده می شود. برای فرآیند باربرداری از دو مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک و سینماتیک استفاده شده است و تنشهای پسماند ناشی از باربرداری با استفاده از این دو مدل مقایسه شده است. از طرف دیگر فرآیند اتوفریتژ برای افزایش قدرت تحمل مخازن تحت فشار در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل الاستو پلاستیک

1-Residual Stresses
2-Linear Strain Hardening Material
3-Nonlinear Strain Hardening Material
4- Isotropic Hardening Model
5- Kinematic Hardening Model

سیلندر جداره ضخیم با مواد هدفمند تحت فشار داخلی در دو حالت بارگذاری و باربرداری انجام پذیرفته است. در نهایت نیز تحلیل الاستو پلاستیک سیلندر جداره ضخیم تحت بارگذاری سیکلی مورد بررسی قرار گرفته است.

در روش دوم از تئوری سیلان[1] در پلاستیسته برای تحلیل الاستو پلاستیک استفاده شده است. در ابتدا با توجه به معادلات تعادل و سازگاری و همینطور شرایط مرزی توزیع تنشها محاسبه شده و با توجه به روابط بین تنش و کرنش ، توزیع کرنش ها محاسبه می شوند. در این قسمت تحلیل الاستو پلاستیک سیلندرهای جداره ضخیم و همینطور کره های جداره ضخیم تحت فشار داخلی به صورت نموی صورت گرفته است.

فصل چهارم:

در این فصل به ارائه نتایج به دست آمده از روش های ذکر شده در فصول قبل پرداخته می شود. نتایج به دست آمده با روش نموی و روش جایجایی کلی هنکی با نتایج حاصل از نرم افزار Ansys و همینطور منابع موجود مقایسه شده و دقت و بازدهی روش ارائه شده مورد بررسی قرار می گیرد.

فصل پنجم:

در فصل پنجم به نتیجه گیری های حاصل از انجام این رساله پرداخته شده و در انتها نیز پیشنهاداتی برای ادامه ی کار داده می شود.

1-Flow Theory