بسم الله الرحمن الرحيم

١٣٤٩٤٢-٢٠١٣٣١٦

دانشگاه تبریز
دانشکده فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی مکانیک

رساله دکترای مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

عنوان

تاثیر بارهای دینامیکی در تغییر شکل های پیش رونده مخازن تحت فشار با نسبت های ابعادی قطر به ضخامت مختلف

استاد راهنما

دکتر محمد زهساز

استاد مشاور

پروفسور محمد رضا اسلامی

پژوهشگر

سید جاوید زکوی

اسفند ۱۳۸۸

۱۳۸۹/۲/۵
مرکز اطلاعات و مدارک علمی خیابان
تبریز - مرکز

۱۳۴۹۴۲

تقدیم به

روح پاک پدر فرزانه ام مرحوم سید رضی زکوی الگوی نمونه ایمان و معرفت و

مادر مهربان و عزیزم خانم م. وهابزاده که با نهایت دلبستگی زمینه های رشد

و تعالی مرا فراهم نموده و نیز مرحوم محمد تقی وهابزاده که ضمیری پاک و سرشار از

مهر و محبت داشت

همسر ارجمندم خانم م. لطفی که با صبر و فداکاری همراه سختی ها و با عشق و

مهربانی مشوق من بوده و به دو دلبند عزیزم آیلین و ایلیا

سپاس و قدردانی فراوان از همراهی و راهنمایی های ارزنده اساتید بزرگوارم
جناب آقای پروفسور محمد زهساز و جناب آقای پروفسور محمد رضا اسلامی

نام خانوادگی: زکوی **نام:** سید جاوید

عنوان پایان‌نامه: تاثیر بارهای دینامیکی در تغییرشکل های پیش رونده مخازن تحت فشار با نسبت های ابعادی قطر به ضخامت مختلف

استاد راهنما: دکتر محمد زهساز
استاد مشاور: پروفسور دکتر محمد رضا اسلامی

مقطع تحصیلی: دکتری .Ph.D **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** طراحی کاربردی **دانشگاه:** تبریز
دانشکده: فنی و مهندسی **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** اسفند ۱۳۸۸ **تعداد صفحه:**۱۳۹

کلید واژه‌ها: تغییر شکل های پیش رونده، مخازن تحت فشار، ممان تناوبی، بارگذاری سیکلیک، کرنش سختی، المان محدود

چکیده:

هدف از این تحقیق، مطالعه و بررسی پدیده تغییرشکل های پیش رونده در مخازن تحت فشار استوانه ای با نسبت های قطر به ضخامت مختلف و با دو جنس فولاد Mild Steel و Stainless Steel به همراه ممان های سیکلیک ناشی از اثرات زلزله، مورد استفاده در نیروگاه های اتمی می باشد. . این پدیده بر اساس انتخاب مدل سخت شوندگی سینماتیکی غیرخطی و بسط آن به مدل ترکیبی مورد بررسی نظری قرار گرفته است. با استفاده از سیکل های پایدار شده به دست آمده از آزمون تجربی، مدل پلاستیسیته با داده های تجربی کالیبره شده و رفتار ماده تحت اثر بارگذاری سیکلی بهبود یافته است. تحلیل عددی و مقایسه نتایج به دست آمده از این طرح با نتایج تجربی موجود در ادبیات فن، پیش بینی پدیده تغییرشکل های پیش رونده محیطی می باشد. نتایج نشان می‌دهند که ابتدا در روشهای عددی و تجربی نرخ افزایش تغییرشکل های پیش رونده زیاد بوده و سپس با افزایش تعداد سیکل ها کاهش می‌یابند. نرخ کرنش های پیش رونده در ارتباط با اندازه فشار داخلی، ممان تناوبی و ثابت های مواد در مدل سختی می باشد. در دامنه تنش میانگین غیر صفر کم، نتایج به دست آمده از روش عددی به نتایج حاصل از مقادیر تجربی نزدیک می باشد در این حالت ابتدا پدیده تغییرشکل های پیش رونده گذرا و پس از چندین سیکل حالت پایدار ایجاد می شود. در دامنه تنش میانگین غیرصفر بزرگ، نتایج حاصل از روش عددی در مقایسه با نتایج تجربی فراتخمین می باشند که در این حالت تغییرشکل های پیش رونده قابل توجهی پیش بینی می شود. در بررسی این پدیده به علت عدم وجود تنش های حرارتی، اثرات خزش مورد نظر نبوده و ضمنا اثر فرکانس بارهای اعمالی در پدیده تغییرشکل های پیش رونده مورد نظر می باشد. به طوری که با دور شدن از فرکانس تشدید، تغییرشکل های پیش رونده کاهش می یابند. مقایسه نتایج به دست آمده با معادله ۹ در کد ASME [۱] نشان می دهد که ضریب ایمنی ۴/۵ برای شدت تنش مجاز طراحی در این معادله برای نسبت ممان های پایین (M/M_y) مناسب و برای نسبت ممان های بالا می تواند محافظه کارانه باشد.

چکیده

هدف از این تحقیق، مطالعه و بررسی پدیده تغییرشکل های پیش رونده در مخازن تحت فشار استوانه ای با نسبت های قطر به ضخامت مختلف و با دو جنس فولاد Mild Steel و Stainless Steel به همراه ممان های سیکلیک ناشی از اثرات زلزله، مورد استفاده در نیروگاه های اتمی می باشد. این پدیده بر اساس انتخاب مدل سخت شوندگی سینماتیکی غیرخطی و بسط آن به مدل ترکیبی مورد بررسی نظری قرار گرفته است. با استفاده از سیکل های پایدار شده به دست آمده از آزمون تجربی، مدل پلاستیسیته با داده های تجربی کالیبره شده و رفتار ماده تحت اثر بارگذاری سیکلی بهبود یافته است. تحلیل عددی و مقایسه نتایج به دست آمده از این طرح با نتایج تجربی موجود در ادبیات فن، پیش بینی تغییرشکل های پیش رونده محیطی می باشد. نتایج نشان می‌دهند که ابتدا در روشهای عددی و تجربی نرخ افزایش تغییرشکل های پیش رونده زیاد بوده و سپس با افزایش تعداد سیکل ها کاهش می‌یابند. نرخ کرنش های پیش رونده در ارتباط با اندازه فشار داخلی، ممان تناوبی و ثابت های مواد در مدل سختی می باشد. در دامنه تنش میانگین غیر صفر اندک، نتایج به دست آمده از روش عددی به نتایج حاصل از مقادیر تجربی نزدیک می باشد در این حالت ابتدا پدیده تغییرشکل های پیش رونده گذرا و پس از چندین سیکل حالت پایدار ایجاد می شود. در دامنه تنش میانگین غیرصفر بزرگ، نتایج حاصل از روش عددی در مقایسه با نتایج تجربی فراتخمین می باشند که در این حالت تغییرشکل های پیش رونده قابل توجهی پیش بینی می شود. در بررسی این پدیده به علت عدم وجود تنش های حرارتی، اثرات خزش مورد نظر نبوده و ضمنا اثر فرکانس بارهای اعمالی در پدیده تغییرشکل های پیش رونده مورد نظر می باشد به طوری که با دور شدن از فرکانس تشدید، تغییرشکل های پیش رونده کاهش می یابند. مقایسه نتایج به دست آمده با معادله ۹ در کد ASME [۱] نشان می دهد که ضریب ایمنی ۴/۵ برای شدت تنش مجاز طراحی در این معادله برای نسبت ممان های پایین (M / M_y) مناسب و برای نسبت ممان های بالا می تواند محافظه کارانه باشد.

فهرست علائم

اندیس های تنش اولیه	B_1 و B_2
ضرایب مشخصه مواد در مدل سینماتیکی	C و γ
اندیس تنش های ثانویه	C_2
قطر خارجی لوله یا سیلندر	D_o
مدول الاستیسیته	E
تابع سطح پتانسیل	F
تابع پله ای	H
ممان اینرسی	I
تغییرناپذیر های تانسور با اثر تنش	J_2 و J_3
تابع معلوم(تسلیم)	K
کل ممان اولیه ناشی از بارهای مکانیکی و بارهای زلزله	M
ممان ناشی از بارهای مکانیکی	M_A
ممان ناشی از بارهای دینامیکی(مشابه اثرات زلزله)	M_S
فشار طراحی	P_D
مقدار مجانب متناظر با یک ناحیه سیکل پایدار	Q
حداکثر تغییر در اندازه سطح تسلیم	Q_∞
ضرایب مشخصه مواد در مدل ایزوتروپیکی	Q و b
متغیر سختی ایزوتروپیک	R
تنش مجاز طراحی	S_m
استحکام تسلیم	S_y
متغییرهای داخلی	V_k
ضریب تصحیح	Y
نرخ تغییر اندازه سطح تسلیم به ازای افزایش کرنش پلاستیک	b

dp	نمو کرنش پلاستیک پیش رونده
f	تابع بارگذاری
f_Y	تابع معیار تسلیم
$g'(\sigma)^{-1}$	تابع ضریب مماسی منحنی سختی
h	مدول سختی
m,n	ثابت های مواد درمعادله Swift
p	کرنش پیش رونده
r	شعاع دایره تسلیم
t	ضخامت
w_p	کار پلاستیک تلف شده
$\Delta\varepsilon_p$	محدوده کرنش پلاستیک
$\Delta\varepsilon_i^p$	محدوده کرنش های پلاستیک طولی
Γ	تابع سختی
Ψ	انرژی آزاد ویژه
α	متغییر سختی سینماتیکی
δ	نمو کرنش پیش رونده در هر سیکل
ε	کرنش کل
ε^e	کرنش الاستیک
ε_θ^R	کرنش پیش رونده محیطی
ε^p	کرنش پلاستیک معادل
$\dot{\varepsilon}^p$	نرخ کرنش پلاستیک معادل
ε_ϕ	دامنه کرنش دینامیکی
$\dot{\lambda}$	ضریب پلاستیسیته
ρ	چگالی جرمی
$\overline{\sigma}$	تنش معادل درمعادله Swift
$\overline{\sigma}_{\exp}$	تنش معادل تجربی
σ_{eq}	تنش معادل

تنش هیدرواستاتیکی	$\sigma_H = Tr(\sigma)/3$
تنش در روی سطح حدی	σ_L
تنش حداکثر در سیکل اول	$\sigma_{\max 0}$
تنش حداکثر در سیکل پایدار شده	$\sigma_{\max s}$
تنش فشاری	σ_P
تنش حرارتی	σ_t
تنش تسلیم	σ_y
سطح تسلیم به ازای کرنش پلاستیک صفر	$\sigma\|_0$
تنش تسلیم جاری (اندازه سطح تسلیم در هر لحظه)	σ^0
تنش محیطی ناشی از فشار	σ_θ
دامنه تنش محوری ناشی از ممان خمشی متناوب	σ_ϕ

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	
فهرست علائم	
فصل اول – مفاهیم اساسی	**۱**
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ حالت های واماندگی و طبقه بندی تنش	۵
۱-۳ کدASME Boiler and Pressure Vessels Code	۷
فصل دوم – پیشینه تحقیق	**۱۱**
۲-۱ مقدمه	۱۱
۲-۲ اثرات بارگذاری تناوبی	۱۴
۲-۳ سطوح تسلیم و نظریه های سختی کرنش	۲۴
فصل سوم – روابط حاکم بر کرنش سختی	**۳۰**
۳-۱ فرمول بندی قوانین تشکیل دهنده عمومی	۳۰
۳-۲ قوانین جریان ویژه	۴۰
فصل چهارم – روش تجربی	**۶۸**
۴-۱ مقدمه	۶۸
۴-۲ انجام روش تجربی	۶۹
فصل پنجم – روش تحلیلی	**۷۵**
۵-۱ روش Beaney	۷۵
فصل ششم – روش عددی	**۷۹**

۶-۱ مقدمه ۷۹

۶-۲ مدل سازی نمونه ها با استفاده از روش المان محدود ۸۰

۶-۳ انتخاب المان ۸۳

۶-۴ استفاده از مدل سختی ترکیبی ۸۵

۶-۵ کالیبره سازی داده های تجربی ۸۹

فصل هفتم –بحث و نتایج **۹۴**

۷-۱ بررسی نتایج ۹۴

۷-۲ مقایسه نتایج با کد ASME ۱۲۸

۷-۳ نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۰

واژه نامه ۱۳۲

پیوست ۱۳۳

مراجع ۱۳۵

چکیده انگلیسی ۱۳۹

فصل اول

مفاهیم اساسی

۱-۱ مقدمه

مطالعه اجزا خطوط لوله و مخازن تحت فشار که تحت تاثیر ممان های تناوبی مشابه اثرات زلزله قرار می گیرند، در صنایع امروزی که حاوی سیستم های انتقال مایعات و گازها هستند نظیر صنایع شیمیایی، پتروشیمی، نیروگاه های اتمی تولید برق که در آنها سیالات در حال انتقال و جابجایی هستند و ممکن است باعث از بین رفتن سیستم و در نتیجه از بین رفتن سیال شوند، بسیار مهم است.

طراحی خطوط لوله و مخازن تحت فشار و سایر تجهیزات نیروگاه های اتمی براساس کد استاندارد ASME Boiler and Pressure Vessels Code [۱] صورت می پذیرد. بر اساس این کد طبقه بندی های مختلفی از تنش ها جهت طراحی خطوط لوله و مخازن تحت فشار ارائه شده که شامل تنش های اولیه، تنش های ثانویه و تنش های حداکثر می باشند. بارگذاری های تناوبی روی سازه ها منجر به رفتار Shakedown و یا پدیده تغییرشکل های پیش رونده در سازه می گردد. داشتن اطلاعات کاملی از محدوده Shakedown جهت جلوگیری از پدیده تغییرشکل های پیش رونده و به منظور پیشگیری از تخریب سیستم امری ضروری می باشد. ارتباط رفتار Shakedown و یا تغییرشکل های پیش رونده در سازه با مدل سختی فرض شده امری مهم می باشد. از این رو برای بررسی رفتار بارهای تناوبی در سازه ها از مدل های مختلف سخت شوندگی نظیر ایزوتروپیک، سینماتیک ویا ترکیبی از آنها استفاده می شود.

بررسی پدیده تغییرشکل های پیش رونده حرارتی توسط Bree [۲] برای مخازن تحت فشار داخلی و تنش های حرارتی ارائه شده که برای تنش های فشاری پایدار و تنش های حرارتی تناوبی مقدار انباشت کرنش پیش رونده در هر سیکل به صورت رابطه بسته ای ارائه شده که برای ترکیبات متفاوت تنش ها رفتار متفاوت مواد را بررسی نموده است. دیاگرام های Bree [۲] نشان دهنده مرزهای مجزا این نوع از رفتار کرنش ها می باشد. همچنین، به طور تقریبی پدیده تغییرشکل های پیش رونده مکانیکی توسط Beaney [۳] ارائه شده که مقدار تغییرشکل های پیش رونده محیطی را به صورت رابطه بسته ای ارائه نموده است. در دهه های اخیر کار های زیادی برای انجام تطبیق نتایج تجربی با نتایج تحلیلی و عددی صورت گرفته است با وجود پیشرفت های بسیار به دست آمده در زمینه پلاستیسیته هنوز این پدیده از شاخه های ناشناخته علم پلاستیسیته به شمار می آید.

با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این تحقیق مطالعه و بررسی پدیده تغییرشکل های پیش رونده شامل شروع، روند آن و در نهایت تعداد سیکل های لازم جهت واماندگی و یا تخریب قطعه در مخازن تحت فشار استوانه ای و تحت اثر بارهای تناوبی می باشد. برای این منظور مخازن تحت فشار استوانه ای از دو جنس فولادیMild Steel و Stainless Steel که مورد استفاده در نیروگاه های اتمی می باشند، در نظرگرفته شده است. در بررسی این پدیده، مخازن استوانه ای تحت فشار داخل با نسبت قطر به ضخامتهای مختلف انتخاب و در حضورممان های تناوبی مشابه اثرات زلزله تحت بررسی قرار گرفته است. مدل های مختلفی جهت توصیف سخت شدن ماده در اثر بارهای سیکلیک ارائه شده که این امر به مولفه ایزوتروپیکی و سینماتیکی سخت شدن استوار بوده است. مدل های سخت شوندگی پس از ارائه اولین مدل سینماتیکی خطی توسط Prager [۴] رو به گسترش نهاده و مدل های مختلف برای این امر به وجود آمده است. ارائه جملات غیر خطی و به عبارتی جمله غیرخطیDynamic recovery term در مدل مذکور توسط Armstrong-Frederick [۵] اولین بار پایه گذاری شد تا نرخ افزایش کرنش سختی نیز در

این مدل اعمال گردد. انتخاب مدل ایزوتروپیکی– سینماتیکی غیر خطی برای هدف حاضر بیشتر تاکید بر ارائه ویژگی های مذکور این دو مولفه می باشد که علاوه بر پوشش انبساط سطح تسلیم شامل انتقال سطح تسلیم نیز می باشد. البته به علت پیچیدگی های این ترکیب، با وجود اهمیت به کارگیری آن از این جنبه کم استفاده شده است. انتخاب این مدل مستلزم داشتن سیکل های پایدار از آزمون سیکلیک می باشد تا علاوه بر بررسی انتقال سطح تسلیم، به واسطه وجود مولفه ایزوتروپیکی انبساط آن نیز مورد بررسی قرار گیرد تا تصویری واقعی از نحوه سخت شدن در ماده ارائه شود. همچنین انجام آزمون های سیکلیک نیز به علت محدودیت های خاص خود کمتر مورد توجه بوده و عمدتا از نیم سیکل از آزمون یک بعدی کشش و یا فشار به علت سهولت دستیابی به آن برای این منظور استفاده می شود. در مطالعه حاضر با استفاده از سیکل های پایدار شده آزمون یک بعدی کشش و فشار، مدل ترکیبی تعریف و رفتار های ماده تحت اثر بارگذاری سیکلیک بهبود یافته است. برای این منظور با استفاده از دستگاه پیشرفته سرو هیدرولیک اینسترون 8502 با کنترل دیجیتال CPU سیکل های پایدار شده متناظر با دامنه های کرنش متفاوت برای قطعات مورد آزمایش به دست آمده است. قطعات مورد آزمایش در آزمون های سیکلیک تحت اثر بارگذاری تناوبی کشش–فشار، مشابه با جنس قطعات مورد آزمایش در ادبیات فن (جدول ۴-۲) انتخاب شده است. برای این منظور قطعات به تعداد لازم تهیه و با انجام آزمون های کشش و نیز انجام عملیات حرارتی آنیلینگ در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد، نهایتا به قطعات مورد آزمایش در جدول ۴-۲ دسترسی حاصل شده است. دقت محاسبات تنش و میدان کرنش تحت بارگذاری سیکلیک به سهم نسبی مدل های سختی ایزوتروپیک وسینماتیک در پاسخ تشکیل دهنده وابسته می باشد. از این رو خیلی مهم است که مدل پلاستیسیته به طور دقیق با داده های تجربی کالیبره شده وسهم هر یک از این مولفه های سختی در پاسخ کلی مواد معلوم شود. کالیبره نمودن داده های تجربی با ظرافت و دقت خاصی انجام پذیرفته که تازگی خاص خود را دارد. ضرایب مشخصه مواد در مدل سینماتیکی C و γ و ضرایب مشخصه مواد در

مدل ایزوتروپیکی Q و b می باشد. با استفاده از این ضرایب ثابت مواد به دست آمده از کالیبره کردن حاضر، مدل ترکیبی تعریف شده و تحلیل عددی با استفاده از کد کامپیوتری ABAQUS [۶] منجر به نتایج خاصی در رفتار های مواد شده که قابل توجه می باشد. در آزمون با کنترل تنش غیر متقارن پدیده تغییرشکل های پیش رونده در جهت تنش میانگین پیش بینی می گردد. عموما برای تنش میانگین کم، کرنش پیش رونده گذرا به پایداری (کرنش پیش رونده صفر) می رسد. در حالی که در تنش میانگین بالا افزایش در کرنش پیش رونده مشاهده می شود. مولفه سختی سینماتیکی غیر خطی در عدم حضور مولفه ایزوتروپیکی، کرنش پیش رونده ثابتی را پیش بینی می کند. پیش بینی پدیده تغییرشکل های پیش رونده با افزودن مولفه ایزوتروپیکی در مطالعه حاضر بهبود یافته است. در این حالت با کاهش کرنش پیش رونده مقدار آن ثابت می شود. در بررسی این پدیده به علت عدم وجود تنش های حرارتی، اثرات خزش مورد نظر نبوده است.

اثرات فرکانس بر تغییرشکل های پیش رونده نیز مورد بررسی قرار گرفته و با انتخاب فرکانس های مختلف در ممان ثابت، ملاحظه می شود که با دورشدن از فرکانس تشدید مقدار کرنش محیطی کاهش می یابد به طوری که بیشترین مقدار کرنش محیطی در نزدیکی فرکانس تشدید (تقریباHz ۵) روی می دهد. همچنین در فرکانس ثابت، افزایش ممان دینامیکی باعث افزایش میزان کرنش محیطی می گردد. به طوری که در فرکانس تشدید با افزایش ممان دینامیکی مقدار کرنش محیطی به شدت افزایش می یابد. در حالی که در فرکانس دورتر از فرکانس تشدید تاثیر افزایش ممان دینامیکی در افزایش میزان کرنش محیطی اندک می باشد.

طراحی اجزاء خطوط لوله نیروگاه های هسته ای از نوع اول، تحت بارهای دینامیکی با استفاده از کد ASME [۱] مربوط به مخازن تحت فشار و بر اساس مجموعه ای از معادلات ارائه شده در بخش سوم،

قسمت اول زیر شاخه NB انجام می گیرد. قوانین طراحی ارائه شده در کد که برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ معرفی شد، بر اساس بارهای استاتیکی پایه گذاری و در آن بارهای دینامیکی به عنوان بارهای اولیه در نظر گرفته شده و برای جلوگیری از گسیختگی ناشی از فشار و گسیختگی استاتیکی تعریف شده بود. بنابراین، کد مورد نظر برای طراحی سیستم های تحت بارهای زلزله و یا هر نوع بار دینامیکی متداول در نیروگاه های هسته ای، بسیار محافظه کارانه عمل می نمود. در کد مورد نظر، معیار واماندگی لوله رسیدن به حد پلاستیک بوده است. تحقیقات ارائه شده توسط Tagarat وهمکارانش [۷] در سال ۱۹۸۸ نشان داد که واماندگی خطوط لوله تحت بارگذاری های دینامیکی به علت گسیختگی پلاستیکی نبوده و در اثر خستگی و یا ترکیبی از خستگی به همراه تغییرشکل های پیش رونده می باشد. از این رو، ویرایش معادلات این کد بر اساس تحقیقات ارائه شده توسط Tagarat و همکارانش [۸] و Barens و همکارانش [۹] و با استفاده از ضرایب اطمینان انجام پذیرفته است. در معادله ۹ کد ASME [۱] برای محاسبه بارهای دینامیکی بر روی سازه محدوده ای به صورت سه برابر تنش مجاز طراحی $(3S_m)$ تعریف شده که در ابتدا ضریب ۱ و هم اکنون ضریب ۱/۵ برای تنش مجاز طراحی در نظر گرفته شده است. مقایسه نتایج به دست آمده با معادله ۹ کد نشان می دهد که ضریب ایمنی ۴/۵ برای شدت تنش مجاز طراحی در این معادله برای نسبت ممان های بالا محافظه کارانه و برای نسبت ممان های پایین مناسب می‌باشد.

۱-۲ حالت های واماندگی و طبقه بندی تنش ها

بر اساس کد ASME [۱] مربوط به مخازن تحت فشار واماندگی سازه ها در اثر حالت های متفاوتی از معیارهای واماندگی به وجود می آید. معیارهای واماندگی مبتنی بر محدوده های الاستیسیته یا پلاستیسیته بوده و ممکن است پس از یک زمان قابل توجهی ایجاد شود. مطابق این امر، حالت های مختلف واماندگی عبارتند از: ۱- تغییرشکل الاستیک بیش از اندازه؛ ۲- تغییرشکل های پلاستیک بیش از اندازه؛۳- شکست

ترد؛ ۴- تنش گسیختگی و تغییرشکل خزش؛۵- ناپایداری پلاستیک، متلاشی شدن نموی؛ ۶- کرنش های زیاد تحت خستگی با دور کم؛ ۷- تنش خوردگی و ۸- خستگی ناشی از خوردگی.

به عنوان نتایجی از حالت های شکست، پنج طبقه بندی متفاوت برای تنش ها به وسیله کد مذبور تعریف شده است. این طبقه بندی تنش ها، پاسخی برای حالت های شکست بوده که عبارتند از:

الف) تنش های اولیه موضعی، غشایی و خمشی

مطابق کد ASME [۱]، تنش های اولیه پارامترهای ناشی از بارهای خارجی اعمال شده نظیر بارهای مکانیکی، فشار، وزن و بارهای زلزله می باشند. در حقیقت، تنش های اولیه تنش های خود محدودکننده نیستند. مطابق تعریف Eslami و همکارانش[۱۰] تنش اولیه تنش کنترل شده با بار می باشد.

ب) تنش های ثانویه

تنش های ثانویه نظیر تنش های حرارتی و تنش هایی که ناشی از تغییرات جزئی پایه ها می باشند، ناشی از محدود نمودن تغییرشکل ها بوده و برخلاف تنش اولیه، خود محدودکننده بوده و منجر به پایداری سیستم می شوند. مطابق تعریف Eslami و همکارانش [۱۰] تنش ثانویه یک تنش کنترل شده با تغییرشکل می باشد.کد ASME عموم تنش های حرارتی را به صورت تنش های ثانویه تعریف می کند، ولی تنش های حرارتی می تواند دارای طبیعت تنش های اولیه نیز باشد[۱۰,۱۱].

ج) تنش های حداکثر

این تنش ها، بیشترین تنش موجود در یک منطقه بوده و به صورت موضعی به وجود می آیند. تنش های به وجود آمده در اطراف یک شکاف و یا ترک، نمونه ای از این نوع تنش ها می باشد. این تنش ها منجر به شکست و یا از بین رفتن قطعه می شوند.

ASME Boiler and Pressure Vessels Code ۳-۱

کد ASME [۱] مربوط به مخازن تحت فشار در حال حاضر دارای ۱۱ بخش بوده و هر بخش نیز از چندین قسمت و هر قسمت از زیر شاخه های مختلف تشکیل شده است که در برگیرنده قوانین علمی جهت طراحی، تعیین جنس مواد، ساخت، نصب و بازرسی بویلرها و مخازن تحت فشار می باشند. بخش سوم این کد در مورد قوانین مربوط به طراحی و اجزای خطوط لوله و مخازن نیروگاه های هسته ای است که از یک زیر شاخه عمومی NCA و نیز سه قسمت تشکیل شده است.

قسمت اول از بخش سوم این کد، که مربوط به اجزا نیروگاه های هسته ای است، به ۷ زیر شاخه تقسیم شده و با حرف N نمایش داده می شوند که شامل مفاهیم مطمئن طراحی و اجرا بوده و به صورت زیر بیان می شوند:

زیر شاخه NCA : ملزومات عمومی بوده که برای کاربران شاخه های مختلف قسمت ۱ و ۲ از بخش سوم اجباری است. زیر شاخه NCA شامل همه ملزومات عمومی برای سازندگان، نصابان، سازندگان مواد، تهیه کنندگان و صاحبان نیروگاه های هسته ای به انظمام ملزومات عمومی جهت کنترل کیفیت و بیمه نیروگاه و وظایف مربوط به بازرسی و نگه داری می باشد.

زیر شاخه NB : مخصوص اجزا نوع ۱

زیر شاخه NC : مخصوص اجزا نوع ۲

زیر شاخه ND : مخصوص اجزا نوع ۳

زیر شاخه NE : مخصوص اجزا نوع MC (نگه دارنده های فلزی)

زیر شاخه NF : مخصوص اجزا تکیه گاهی

زیر شاخه NG : مخصوص هسته سازه های تکیه گاهی

زیر شاخه NH : مخصوص اجزا نوع ۱ در دستگاه های بالابرنده دما

پیوست

قسمت دوم از بخش سوم این کد، ملزومات طراحی و اجرای مخازن راکتور و نگه دارنده های بتنی است که شامل زیر شاخه های زیر بوده و با حرف C نمایش داده می شوند.

زیر شاخه CB : مخازن راکتور بتنی

زیر شاخه CC : نگه دارنده های بتنی

پیوست

قسمت اول بخش سوم این کد، متفاوت از سایر بخش های کد بوده و شامل مفاهیم لازم برای تحلیل کامل تنش در مخازن نوع ۱، ۲، ۳ و MC می باشد.

اجزاء نوع ۱ : شامل مخازن و مدار اولیه راکتور و متشکل از مایع سرد کننده هسته می باشد که از هسته و رادیواکتیویته جدا نمی باشد.

اجزاء نوع ۲ : اجزایی هستند که بخشی از مرز سرد کننده-راکتور نیستند لکن برای دور نمودن گرما از مرز فشاری سردکننده-راکتور به کار برده می شوند.

اجزاء نوع ۳ : اجزاء نگه دارنده اجزاء نوع ۲ بوده لکن به عنوان بخشی از این اجزاء محسوب نمی شوند.

اجزاء نوع MC : شامل نگه دارنده های مخازن می باشند.

بخش هشتم این کد در ارتباط با مخازن تحت فشار بوده که شامل ۳ قسمت می باشد. قسمت سوم این بخش در ارتباط با قوانین لازم برای ایجاد مخازن تحت فشار بالا می باشد.

طراحی اجزاء خطوط لوله نیروگاه های هسته ای از نوع اول، تحت بارهای دینامیکی با استفاده از کد ASME [۱] مربوط به مخازن تحت فشار و بر اساس مجموعه ای از معادلات ارائه شده در بخش سوم، قسمت اول زیر شاخه NB انجام می گیرد. قوانین طراحی ارائه شده در کد که برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ معرفی شد، به طور عمدی محافظه کارانه بود زیرا اطلاعات در زمینه چگونگی بارهای دینامیکی معکوس شونده در اثر عواملی از قبیل زمین لرزه کم و مکانیزم شکست تحت چنین بارهایی کاملا شناخته شده نبود. در معادله ۹ کد مورد نظر برای محاسبه بارهای دینامیکی بر روی سازه محدوده ای به صورت $3S_m$ تعریف شده که این مقدار متناظر با دو برابر استحکام تسلیم $2S_y$ می باشد:

$$B_1 P_D D_0 / 2t + B_2 M D_0 / 2I \le \min(2S_y \ or \ 3S_m) \qquad (۱-۱)$$

به طور ی که B_1 و B_2 اندیس های تنش اولیه، D_0 قطر خارجی لوله، I ممان اینرسی ، t ضخامت لوله، $M = M_A + M_S$ اندازه کل ممان اولیه ناشی از بارهای مکانیکی و بارهای زلزله ، P_D فشار طراحی، S_y استحکام تسلیم و S_m تنش مجاز طراحی می باشد.

این کد که بر اساس بارهای استاتیکی پایه گذاری و در آن بارهای دینامیکی (ثانویه) به عنوان بارهای اولیه در نظر گرفته شده، برای جلوگیری از گسیختگی ناشی از فشار و گسیختگی استاتیکی تعریف شده بود. از این رو، کد مورد نظر برای طراحی سیستم های تحت بارهای زلزله و یا هر نوع بار دینامیکی متداول در نیروگاه.های هسته ای، بسیار محافظه کارانه عمل می نمود. به طوری که برای جلوگیری از تغییر مکان های بسیار زیاد در لوله ها استفاده از تکیه گاه های *snubbers* نیز به دلیل نیاز به تعداد بسیار زیاد آنها و سنگینی و نهایتا هزینه آنها امری صحیح نبوده و وجود این تکیه گاه ها نیز ممکن است باعث ایجاد فشار و نهایتا تمرکز تنش و یا تنش های حرارتی در لوله ها شده و باعث افزایش پتانسیل برای خستگی و نهایتا از بین رفتن سیستم شود. در کد مورد نظر، معیار واماندگی لوله رسیدن به حد پلاستیک بوده است. تحقیقات ارائه شده توسط Tagarat وهمکارانش [۷] در سال ۱۹۸۸ نشان داد که شکست خطوط لوله تحت