بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعال

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای نواب کریمیان پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تحلیل رفتار مخزن فلز - کامپوزیت تحت فشار متناوب داخلی** در تاریخ ۱۳۹۳/۷/۳۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	*نام و نام خانوادگی*	*رتبه علمی*	*امضا*
استاد راهنما	**دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف مقدس**	**استاد**	
استاد مشاور	**دکتر مجید میرزائی**	**دانشیار**	
استاد ناظر	**دکتر اکبر علی بیگلو**	**دانشیار**	
استاد ناظر	**دکتر علی اصغر جعفری**	**استاد**	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	**دکتر اکبر علی بیگلو**	**دانشیار**	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مکانیک است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر سید محمد حسین [illegible] و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر سید حمید میرزایی و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر [illegible] از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند 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 ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب دواب کریمیان دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: دواب کریمیان

تاریخ و امضا: ۹۳/۱۱/۱۳

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب سوسن اسکریمان دانشجوی رشته مدیریت کلاسیک ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۱ مقطع ارشد دانشکده کلاسیک متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضاء

تاریخ: ۹۳/۱۱/۱۲

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

تحلیل رفتار مخزن فلز – کامپوزیت تحت‌فشار متناوب داخلی

نواب کریمیان

استاد راهنما:

دکتر غلام‌حسین رحیمی

استاد مشاور:

دکتر مجید میرزائی

پاییز ۱۳۹۳

تقدیم به دو وجود آسمانی پدر و مادر عزیزم که هرچه دارم به برکت وجود آن‌هاست.

تقدیم به همسر مهربانم که در تمام لحظات همراه و مایه دلگرمی‌ام بوده است.

بدین‌وسیله از زحمات دو استاد گران‌قدر جناب آقای دکتر رحیمی و جناب آقای دکتر میرزائی که مرا در هرچه بهتر شدن این پایان‌نامه یاری کردند و از کار در حضور ایشان مطالب بسیاری آموختم، تشکر و قدردانی می‌کنم.

همچنین از تمامی اساتید دانشکده مکانیک به‌خصوص جناب آقایان دکتر بیگلو، دکتر قضاوی و دکتر لیاقت که با صبر و حوصله فراوان و با دانش و رفتار خود، هم مباحث علمی و هم مباحث اخلاقی را به من یاد داده‌اند، کمال تشکر را دارم.

کریمیان-پاییز ۹۳

چکیده

عمر مخازن فلز-کامپوزیت تحت بار متناوب به دو قسمت جوانه‌زنی ترک و رشد ترک در لاینر فلزی تقسیم می‌شود. در این‌گونه مخازن به خاطر تحمل بیشتر قسمت کامپوزیتی مخزن در برابر خستگی، حساسیت بیشتر لاینر فلزی به خستگی و نتایج تست‌های تجربی انجام‌شده، رشد ترک در لاینر باعث خرابی مخزن می‌شود و با در نظر گرفتن عمر لاینر، تحت بار متناوب می‌توان به عمر نهایی مخزن رسید.

در تحقیق حاضر ابتدا عمر جوانه‌زنی ترک محاسبه‌شده است. سپس برای محاسبه رشد ترک در لاینر، با محاسبه جابه‌جایی و تنش‌های لاینر تحت بار وارده، بار معادلی را برای لاینر به دست آورده‌ایم به‌نحوی‌که لاینر به‌تنهایی تحت این بار در نظر گرفته‌شده است، سپس با مدل کردن شش ترک با ابعاد مختلف عمر مخزن را برای رشد این ترک‌ها تا ترک بحرانی به دست آورده‌ایم و بعد از ساخت مخزن، یکی از ترک‌های مدل شده را در سطح داخلی مخزن ماشین‌کاری کرده و طبق استاندارد تحت سیکل خستگی قرار داده‌ایم.

برای به دست آوردن عمر جوانه‌زنی ترک از رهیافت خستگی بر اساس کرنش، روش اصلاح‌شده مورو، با در نظر گرفتن نسبت تنش، استفاده‌شده و عمر رشد ترک از دو روش عددی و تحلیلی-تقریبی محاسبه‌شده است. برای به دست آوردن عمر مخزن تا نشتی از روش عددی، از مجموعه نرم‌افزاری المان مرزی OSM&FRANC3D&BES استفاده‌شده است. برای حل تحلیلی-تقریبی از روابط و ضرایب موجود برای به دست آوردن ضریب شدت تنش در جبهه ترک نیم بیضوی استفاده‌شده است و سپس با استفاده از معادله پاریس و معادله واکر که نسبت تنش را برای محاسبه عمر دخیل می‌کند، عمر رشد ترک به دست آورده شده است که نتایج دو روش عددی و تحلیلی توافق قابل قبولی باهم داشتند. درنهایت نتایج عمر به‌دست‌آمده از روش عددی را با نتیجه تست تجربی مقایسه کردیم که توافق خوبی باهم داشتند.

کلمات کلیدی

مخزن فلز کامپوزیت-خستگی-رشد ترک-ترک نیم بیضوی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تعریف مخازن تحت فشار ۳
۱-۲-۱- انواع مخازن CNG ۴
۱-۲-۱-۱- مخازن نوع I ۴
۱-۲-۱-۲- مخازن نوع II ۴
۱-۲-۱-۳- مخازن نوع III ۵
۱-۲-۱-۴- مخازن نوع IV ۷
۱-۳- عمر خستگی ۸
۱-۳-۱- رهیافت خستگی بر اساس کرنش ۸
۱-۳-۲- رهیافت خستگی بر اساس مکانیک شکست ۹
۱-۳-۲-۱- تست خستگی و عمر کاری مخازن CNG نوع سوم (بر اساس ISO 11439) ۱۱
۱-۳-۲-۲- مود های شکست ۱۱
۱-۴- مروری بر مقالات ۱۲

فصل ۲- مبانی نظری ۱۶
۲-۱- مقدمه ۱۷
۲-۲- رهیافت خستگی بر اساس کرنش ۱۸
۲-۲-۱- منحنی‌های کرنش بر حسب عمر ۱۸
۲-۲-۲- معادلات و تست‌های کرنش- عمر ۱۸
۲-۲-۳- تأثیرات تنش میانگین ۲۱
۲-۲-۳-۱- تست‌های تنش میانگین ۲۲
۲-۲-۳-۲-معادله تنش میانگین مورو (Morrow) ۲۲
۲-۲-۳-۳-رهیافت اصلاح‌شده مورو ۲۵
۲-۳- ترک خستگی و معیارهای بررسی رشد آن ۲۶
۲-۳-۱- معیار انرژی برای رشد ترک ۲۶

۲-۳-۲- معیار تنش و پارامتر ضریب شدت تنش ۲۷
۲-۳-۳- ترک‌های بیضوی ۳۶
۲-۳-۳-۱-معیار نشت قبل از شکست مخزن تحت فشار ۴۰
فصل ۳- معرفی مسأله و حل ۴۳
۳-۱- مقدمه ۴۴
۳-۲- مسأله، هدف و استراتژی کلی حل ۴۴
۳-۳- شرایط مرزی (هندسی و طبیعی) ۴۶
۳-۴- محاسبه عمر جوانه زنی ترک با رهیافت خستگی بر اساس کرنش ۴۷
۳-۵- محاسبه عمر رشد ترک با نرم‌افزار FRANC3D ۴۹
۳-۵-۱- تحلیل استاتیکی المان محدود ABAQUS ۴۹
۳-۵-۱-۱- مدل کردن مخزن ۴۹
۳-۵-۱-۲-خواص مکانیکی مواد ۵۰
۳-۵-۱-۳-المان بندی مدل ۵۳
۳-۵-۱-۴-نتایج تحلیل عددی استاتیک ۵۳
۳-۵-۲- مدل‌سازی رشد ترک در جداره مخزن به روش المان مرزی ۵۴
۳-۵-۲-۱- روش المان مرزی ۵۴
۳-۵-۲-۲- معرفی نرم‌افزارهای OSM & FRANC3D/BES ۵۵
۳-۵-۲-۳- مدل‌سازی هندسی و شرایط مرزی ۵۶
۳-۵-۲-۴- هندسه و ابعاد ترک ۵۶
۳-۵-۲-۵- میدان تنش اطراف ترک ۵۷
۳-۵-۲-۶- محاسبه ضریب شدت تنش ۵۸
۳-۵-۲-۷- رشد ترک و تغییرات ضریب شدت تنش ۶۰
۳-۵-۲-۸- محاسبه عمر خستگی ۶۱
۳-۶- محاسبه رشد ترک به صورت تحلیلی تقریبی ۶۳
فصل ۴- طراحی، ساخت و آزمایش مخزن فلز-کامپوزیت و بررسی نتایج ۶۹
۴-۱- مقدمه ۷۰
۴-۲- خواص آلیاژ لاینر ۷۱
۴-۳- ساخت لاینر و تست استاتیک: ۷۳
۴-۴- رشته پیچی و تست استاتیک مخزن فلز-کامپوزیت ۷۴
۴-۵- تست خستگی مخزن ۷۵
۴-۵-۱- انجام آزمایش ۷۵
۴-۵-۲- مقایسه نتایج عددی و تجربی ۷۸
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۲

۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۲
۵-۲- پیشنهادها ۸۳

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ضخامت	t
عمق ترک	a
طول ترک	c
عمق ترک بحرانی	a_c
عمق اولیه ترک	a_i
ضرایب پاریس	C, n
نسبت تنش	R
دامنه کرنش، کرنش پلاستیک و کرنش پلاستیک	$\varepsilon_a, \varepsilon_{pa}, \varepsilon_{ea}$
دامنه و میانگین تنش	σ_a, σ_m
تنش کاملاً معکوس شونده معادل	σ_{ar}
میانگین، دامنه، مینیمم و ماکسیمم فشار	$P_m, P_a, P_{min}, P_{max}$
مدول الاستیسیته و ضریب پواسون	E, ν
عمر تا ترک برداشتن	N_f
عمر رشد ترک	N
ثوابت وابسته به جنس	$b, c, \varepsilon_f, \sigma_f$
تنش وارده، تنش نهایی و تنش تسلیم	$\sigma, \sigma_u, \sigma_y$
ضربی شدت تنش و ضریب شدت تنش بحرانی	K, K_c
فاصله و زاویه از نوک ترک	r, θ
میدان تنش اطراف ترک	$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$
شعاع منطقه پلاستیک	r_p
زاویه در ترک بیضوی	φ
ثابت وابسته به طول، عمق و زاویه در ترک بیضوی	Φ
پارامتر شکل ترک	Q
ضریب کوبایاشی	M_k
طول ترک بحرانی	C_c

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول(۲-۱): خواص مکانیکی مواد..... ۳۴
جدول(۳-۱):ثوابت خستگی..... ۴۶
جدول(۳-۲):خواص مکانیکی مواد.... ..... ۴۹
جدول(۳-۳): خواص ماده S-glass..... ۵۰
جدول(۳-۴): ترک‌های مدل شده..... ۵۶
جدول(۳-۵): عمر به‌دست‌آمده برای شش ترک با حل عددی..... ۶۲
جدول(۳-۶): اختلاف عمرهای شش ترک مدل شده در دو حالت عددی و تحلیلی..... ۶۶
جدول(۴-۱): نتایج تست کشش و مقایسه آن‌ها با آلومینیوم ۶۰۶۳..... ۷۳
جدول(۴-۲). خواص کربن-اپوکسی استفاده‌شده..... ۷۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۱-۱): مخزن نوع I ۵
شکل(۱-۲): مخزن نوع II ۵
شکل(۱-۳): مخزن نوع III ۶
شکل(۱-۴): مخزن نوع IV ۷
شکل(۱-۵): مودهای شکست ۱۲
شکل(۲-۱): نمونه تست خستگی ۱۸
شکل(۲-۲): منحنی‌های کرنش الاستیک، پلاستیک و کل برحسب عمر ۱۸
شکل(۲-۳): منحنی‌های کرنش برحسب عمر برای فولاد ۱۹
شکل(۲-۴): تأثیر تنش میانگین روی منحنی کرنش-عمر یک فولاد آلیاژی ۲۰
شکل(۲-۵): داده‌های تنش میانگین برحسب N مطابق معادله مورو ۲۴
شکل(۲-۶): خانواده منحنی‌های کرنش-عمر در رهیافت اصلاح‌شده مورو ۲۴
شکل(۲-۷): صفحه نامحدود با ترک میانی ۲۶
شکل(۲-۸): میدان تنش در نوک ترک ۲۷
شکل(۲-۹): تنش ارتجاعی σ_y در نوک ترک ۲۷
شکل(۲-۱۰): چقرمگی ترک سه ماده استحکام بالا ۳۴
شکل(۲-۱۱): ترک نیم بیضوی ۳۶
شکل(۲-۱۲): ضریب تصحیح کوباياشی ۳۸
شکل(۲-۱۳): نحوه رشد ترک نیم بیضوی ۴۵
شکل(۳-۱): تنش روی لاینر در ۱۴۰ بار ۴۷
شکل(۳-۲): کرنش روی لاینر در ۱۴۰ بار ۴۸
شکل(۳-۳): تنش روی لاینر در ۱۶۰ بار ۴۸
شکل(۳-۴): قید وارده به قطاع مدل شده از مخزن ۴۹
شکل(۳-۵): الگوریتم بسته نرم‌افزاری OSM&FRANC3D&BES ۵۵
شکل(۳-۶): مش زنی اطراف ترک ۵۶
شکل(۳-۷): ابعاد هندسی ترک ۵۶
شکل(۳-۸): میدان تنش اطراف ترک(FRANC3D) ۵۷

شکل(۳-۹): میدان تنش اطراف ترک(ABAQUS)..... ۵۷
شکل(۳-۱۰): ضریب شدت تنش در طول ترک با عمق $a = 1mm$..... ۵۸
شکل(۳-۱۱): ضریب شدت تنش در طول ترک با عمق $a = 2mm$..... ۵۸
شکل(۳-۱۲): ضریب شدت تنش در طول ترک با عمق $a = 0.75mm$..... ۵۹
شکل(۳-۱۳): افزایش حداکثر ضریب شدت تنش با رشد ترک..... ۶۰
شکل(۳-۱۴): رشد ترک در جهت طول و عمق..... ۶۱
شکل(۳-۱۵): تعداد سیکل‌های لازم برای رشد ترک $a = 1mm$..... ۶۲
شکل(۴-۱). اندازه نمونه‌ها با توجه به شعاع لوله..... ۷۱
شکل(۴-۲). قسمتی از لوله که برای نمونه‌های کشش از لاینر بریده‌شده بود..... ۷۱
شکل(۴-۳). نمونه‌ای که باید از لوله بریده شود..... ۷۲
شکل(۴-۴). لوله بعد از بریدن نمونه‌ها..... ۷۲
شکل(۴-۵). نمونه در حال تست کشش..... ۷۲
شکل(۴-۶). نتایج تنش-کرنش نمونه ۳ تست کشش..... ۷۲
جدول(۴-۱). نتایج تست کشش و مقایسه آن‌ها با آلومینیوم ۶۰۶۳..... ۷۳
شکل(۴-۷). دو قطعه آلومینیومی بسته‌شده به دو انتهای لاینر..... ۷۴
شکل(۴-۸). لاینر بعد از اتصال و جوش قطعه آلومینیومی ساخته‌شده..... ۷۴
شکل(۴-۹). مخزن فلز-کامپوزیت(لاینر بعد از رشته پیچی)..... ۷۵
شکل(۴-۱۰). نمودار حداکثر فشار در طول کل سیکل‌های تست..... ۷۶
شکل(۴-۱۱). نمودار حداقل فشار در طول کل سیکل‌های تست..... ۷۶
شکل(۴-۱۲). مخزن در محفظه تست خستگی روی دو تکیه‌گاه ساخته‌شده..... ۷۷
شکل(۴-۱۳). مخزن در محفظه تست..... ۷۷
شکل(۴-۱۴). نتیجه تست خستگی، تعداد سیکل تحمل شده در هر ساعت تا نشتی..... ۷۸

فصل ۱– مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه سازه‌های جدار نازک کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف از قبیل حمل‌ونقل، نفت، هوافضا و ... دارند. مخازن تحت‌فشار جدار نازک نیز در گروه سازه‌های جدار نازک قرار می‌گیرند و از کاربرد آن‌ها می‌توان به مخازن CNG و مخازن ذخیره اکسیژن در بیمارستان‌ها اشاره کرد. طراحی مخازن تحت‌فشار به دلیل لزوم کارکرد مطمئن آن‌ها و حفظ جان انسان‌ها از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است و سعی می‌شود طراحی به‌گونه‌ای انجام شود که ازکارافتادگی به شکل ایمنی رخ دهد (پدیده "نشت قبل از شکست"[1]).

کاربرد وسیع فلزات در قرن ۱۹ موجب حوادث فراوان و قربانیان زیادی گردید. حوادثی که در طی دویست سال اخیر اتفاق افتاده است توسط اندرسون[2] [1] به رشته تحریر درآمده است. بعضی از این حوادث یقیناً به خاطر طراحی ضعیف و نادرست بوده‌اند. اما به‌تدریج مشخص گردید که بعضی از معایب اولیه موجود در مواد موجب پیدایش ترک و سپس شکست می‌گردد، که مخازن تحت‌فشار نیز از این قضیه مستثنا نیستند. این ترک‌ها در حالتی که سازه تحت باربرداری و بارگذاری مداوم باشد سرعت رشد بیشتری پیدا می‌کنند و درنهایت باعث شکست و خرابی سازه می‌شوند. به‌خصوص مخازن تحت‌فشار سی ان جی[3] که به خاطر بارگذاری سیکلیک[4] و اینکه در طول دوران استفاده بارها پر و خالی می‌شوند برای رشد ترک زمینه مساعدی را دارند. طراحی و تحلیل این مخازن باید با در نظر گرفتن این ترک‌ها و رشد آن‌ها در طول

---

[1] Leak-Before-Break

[2] Anderson

[3] CNG

[4] Cyclic

استفاده از مخزن صورت گیرد. عمر مخازن CNG را می‌توان از مجموع تعداد سیکل‌های لازم برای رشد ترک خستگی و تعداد سیکل‌های لازم برای جوانه زنی ترک به دست آورد. برای به دست آوردن تعداد سیکل‌های لازم جهت رشد ترک خستگی از تئوری مکانیک شکست و برای به دست آوردن عمر جوانه‌زنی ترک از رهیافت خستگی بر اساس کرنش استفاده می‌شود.

این فصل را با تعریفی از مخازن تحت‌فشار و معرفی مختصری از انواع مخازن CNG به‌خصوص مخزن CNG نوع III شروع کردیم، سپس مقدمه‌ای از عمر خستگی بر اساس دو رهیافت مجزای کرنش-عمر و مکانیک شکست آورده شد که در فصل بعد هر دو رهیافت به تفسیر توضیح داده شدند. فصل را با مروری بر مقالات و کارهای گذشته در زمینه مخازن CNG و خستگی این نوع مخازن به اتمام رساندیم.

۱-۲- تعریف مخازن تحت فشار

مهم‌ترین استانداردی که برای طراحی مخازن تحت فشار موجود است استاندارد ASME SECTION VIII است، که طبق این استاندارد می‌توان به مخازنی که فشاری طراحی داخل آن بیشتر از 15Psi و کمتر از 3000Psi باشد مخزن تحت فشار گفت. این استاندارد اولین بار توسط انجمن مهندسین آمریکا تدوین شد و هر چهار سال یک بار تصحیح و بازنگری می‌شود. این مخازن انواع مختلف کروی، استوانه‌ای و.... دارند، که برای طراحی هر کدام استانداردهای لازم ارائه‌شده است. برای طراحی مخازن از این طریق باید فشار طراحی، دمای طراحی و ... مشخص باشد[2].

۱-۲-۱- انواع مخازن CNG

به‌طورکلی مخازن CNG به شکل استوانه‌های یکپارچه و بدون درز می‌باشند که ابتدا و انتهای آن‌ها با قسمت‌های بیضوی شکل که سرپوش[1] نام دارند بسته می‌شوند. طبق استاندارد Iso11439 که در آن در مورد مخازن ساخته و نصب‌شده بر روی وسایل نقلیه و چگونگی نصب تجهیزات مخازن بر آن‌ها توضیح داده می‌شود، مخازن CNG به چهار نوع کلی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

- نوع اول: مخازن کاملاً فلزی
- نوع دوم: مخازن با آستری فلزی و الیاف کامپوزیتی رشته پیچی شده به دور قسمت استوانه‌ای
- نوع سوم: مخازن با آستری فلزی و الیاف کامپوزیتی رشته پیچی شده به دور کل مخزن
- نوع چهارم: مخازن کاملاً کامپوزیتی

۱-۲-۱-۱- مخازن نوع I

مخازن نوع اول(شکل ۱-۱) از جنس آلومینیوم یا فولاد و بدون درز ساخته می‌شوند. روش تولید این مخازن با استفاده از روش اسپینینگ[2] یا کشش عمیق می‌باشد. وزن این مخازن نسبت به دیگر نمونه‌ها بیشتر و نسبت جرم به حجم آن‌ها بین 1.2 تا 1.5 کیلوگرم بر لیتر می‌باشد.

۱-۲-۱-۲- مخازن نوع II

مخازن نوع دوم (شکل ۱-۲) دارای آستری از جنس فولاد یا آلومینیوم بدون درز هستند و قسمت استوانه‌ای این آستری، توسط الیاف شیشه، آرامید، کربن یا

[1] Dome

[2] Spinning

مخلـوطی از آن‌هـا کـه آغشـته بـه رزیـن اسـت به‌صـورت محیطـی پیچیـده شـده اسـت. سـاختار کـامپوزیتی ایـن مخـازن، ایـن امکـان را بـه وجـود مـی‌آورد کـه بتـوان از ضـخامت قسمت فلزی کاست و درنتیجـه مخـزن سـبک‌تری بـه دسـت آورد. نسـبت جـرم بـه حجـم آن‌ها بـین 0.7 تـا 1.4 کیلـوگرم بـر لیتـر مـی‌باشـد. ایـن مخـازن از سـال ۱۹۸۰ مـیلادی ساخته می‌شوند.

شکل (۱-۱). مخزن نوع I

شکل (۱-۲). مخزن نوعII

۱-۲-۱-۳- مخازن نوع III

مخـازن نـوع سـوم (شـکل ۱-۳) ایـن مخـازن دارای یک‌لایـه آسـتری از جـنس فـولاد یـا آلومینیوم بدون درز بوده و تمام ایـن لایـه داخلـی توسـط الیـاف شیشـه، آرامیـد، کـربن یـا مخلوطی از آن‌ها که آغشته به رزیـن اسـت، در راسـتای محیطـی و محـوری پیچیـده شـده است.