بسم اللہ الرحمن الرحیم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی‌مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان:
تاثیر بارهای دینامیکی در رفتار تغییرشکل‌های پیش‌رونده لوله‌های سه‌راهی تحت فشار کربنی ساده

استادراهنما:

دکتر سید جاوید زکوی

استاد مشاور:

مهندس مسعود ابی‌ترابی

پژوهشگر:

علیرضا رحیمی

تابستان ۹۳

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب برنتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب علیرضا رحیمی دانش آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مکانیک گرایش طراحی کاربردی دانشکده فنی مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی۹۱۴۴۴۹۳۱۰۳ که در تاریخ ۹۳/۰۴/۱۱ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان تاثیر بارهای دینامیکی در رفتار تغییر شکل‌های پیش‌رونده لوله‌های سه‌راهی تحت فشار کربنی ساده دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان نامه‌ی تحصیلی خود را برعهده می‌گیرم.
۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانت‌داری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.
۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: علیرضا رحیمی

امضا

تاریخ

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی‌مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان:
تاثیر بارهای دینامیکی در رفتار تغییرشکل‌های پیش‌رونده لوله‌های سه‌راهی تحت فشار کربنی ساده

پژوهشگر:
علیرضا رحیمی

ارزیابی وتصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه بادرجه‌ی خیلی خوب

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر سید جاوید زکوی	استادیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
مهندس مسعود ابی‌ترابی	مربی	استاد مشاور	
دکتر رضا پیل افکن	استادیار	داور	

تابستان ۹۳

جناب آقای دکتر سید جاوید زکوی استاد بزرگوارم

شما روشنایی بخش تاریکی جان هستی و ظلمت اندیشه را نور می بخشی. چگونه سپاس گویم
مهربانی و لطف تو را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم
آموزی تو را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است.
آری در مقابل این همه عظمت و شکوه تو مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف

نام خانوادگی: رحیمی نام: علیرضا

عنوان پایان‌نامه: تاثیر بارهای دینامیکی در رفتار تغییرشکل‌های پیش‌رونده لوله‌های سه‌راهی تحت فشار کربنی ساده

استاد راهنما: دکتر سید جاوید زکوی
استاد مشاور: مهندس مسعود ابی‌ترابی

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: مهندسی مکانیک گرایش: :طراحی کاربردی دانشگاه: **محقق اردبیلی**
دانشکده: فنی و مهندسی تاریخ دفاع: ۹۳/۰۴/۱۱ تعداد صفحه:۵۹

چکیده:

در این تحقیق با استفاده از روش عددی و با در نظر گرفتن مدل سخت‌شوندگی سینماتیکی غیرخطی به کمک کد کامپیوتری آباکوس، مدل‌سازی سه‌راهی از جنس فولاد کربنی ساده تحت فشار داخلی و ممان‌های دینامیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. تحلیل و نتایج حاصل از روش عددی با نتایج حاصل از روش تجربی در دسترس مقایسه شده‌اند. مدل سخت‌شوندگی سینماتیکی غیرخطی برای بررسی رفتار پلاستیک لوله سه‌راهی بکار برده شده است. پارامترهای ثابت مدل سخت‌شوندگی از روی سیکل‌های پایدار شده منحنی‌های تنش-کرنش تحت کنترل تغییر شکل‌های مختلف بدست آمده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر مقدار کرنش پیش‌رونده در نزدیکی محل اتصال سه‌راهی در جهت محیطی اتفاق می‌افتد و همچنین از نتایج تجربی و عددی بدست آمده مشخص است که در ممان‌های پایین انتقال تغییر شکل‌های پیش‌رونده دارای مقدار بسیار پایین و نزدیک به صفر است، در حالی که با افزایش تنش میانگین و بالا رفتن مقدار ممان‌های اعمال شده، با فرض ثابت بودن سایر پارامترها میزان انتقال تغییر شکل‌های پیش‌رونده نیز بیشتر می‌شود. نرخ تغییر شکل‌های پیش‌رونده پیش‌بینی شده توسط روش عددی در مقایسه با نتایج تجربی فراتخمین می باشد.

کلید واژه‌ها: سه‌راهی، فولاد کربنی ساده، کرنش پیش‌رونده، مدل سخت‌شوندگی، ممان دینامیکی

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل اول: مفاهیم اساسی

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تغییرشکل‌های پیش‌رونده ۵
۱-۳- الاستیک شیک‌دان ۵
۱-۴- پلاستیک شیک‌دان ۵

فصل دوم: پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- مروری برمطالعات گذشته ۸
۲-۲-۱- تحقیقات موروتن ۸
۲-۲-۲- بررسی‌های لوباردو در ارتباط با کرنش‌های پیش‌رونده ۸
۲-۲-۳- تحقیقات جیائو و چن ۹
۲-۲-۴- تحقیقات یاهیهوای، مفات و موروتن (یاهیهوای و همکارانش، ۱۹۹۵) ۹

فصل سوم: قوانین سختی

۳-۱- معادلات ارتجاعی ۱۳
۳-۲- توابع ارتجاعی کرنش ۱۵
۳-۳- معیار تسلیم و رفتار تنش–کرنش مواد ۱۶
۳-۳-۱- معیار ترسکا ۱۶
۳-۳-۲- معیار ون میسز ۱۷
۳-۴- قانون جریان ۱۹
۳-۵- قانون سخت‌شوندگی ۲۰

۳-۵-۱- سخت شوندگی ایزوتروپیک ناشی از کرنش پلاستیک ۲۱
۳-۵-۲- سخت‌شوندگی ایزوتروپیک ناشی از کار ۲۲
۳-۵-۳- سخت‌شوندگی سینماتیک ۲۲
۳-۵-۴- سخت‌شوندگی ترکیبی ۲۳
۳-۵-۵- پلاستیسیته با سخت‌شوندگی ایزوتروپیک در فضای انحرافی ۲۳
۳-۶- مدل‌های پلاستیسیته ۲۴
۳-۶-۱- مدل‌های سخت شونده کوپل شده ۲۶
۳-۶-۲- مدل سخت‌شوندگی خطی ۲۷
۳-۶-۳- مدل سخت‌شوندگی سینماتیک غیرخطی ۲۸
۳-۶-۴- مدل شابوشی ۲۹
۳-۶-۵- مدل اهنو و ونگ ۲۹
۳-۶-۶- مدل باری و حسن ۳۰
۳-۶-۷- مدل چن و همکارانش ۳۱
۳-۶-۸- مدل عبدالکریم و اهنو ۳۱

فصل چهارم: مواد و روش آزمون

۴-۱- مقدمه ۳۳
۴-۲- روش انجام تست‌های تجربی ۳۳
۴-۳- روش المان محدود ۳۹
۴-۴- نرم افزارهای اجزا محدود ۴۰
۴-۵- مدل سازی نمونه‌های تحت آزمون ۴۰
۴-۶ - بدست آوردن ضرایب سخت‌شوندگی نمونه‌های تست شونده ۴۲
۴-۷- تعیین ضرایب ثابت ماده با استفاده از روش سیکل پایدار ۴۲
۴-۸- اندازه گیری گشتاورها ۴۳
۴-۹- بارگذاری ۴۴
۴-۱۰- فرآیند تست لیورپول ۴۴
۴-۱۱- قطعه استاندارد سه راهی ۴۵

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و بحث در نتایج

۵-۱- بررسی نتایج تجربی و عددی ۴۷
۵-۲- نتیجه‌گیری ۵۶
۵-۳- پیشنهادات برای ادامه انجام کار..... ۵۷
منابع و مآخذ ۵۸

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول ۴-۱: حداقل و حداکثر استحکام تسلیم و نهایی فولاد کربن ساده ۳۶

جدول ۴-۲: تنش نهایی و تنش حد الاستیک میانگین ۳۷

جدول ۴-۳: ابعاد و مشخصات سه راهی‌های تحت آزمون..... ۳۸

جدول ۴-۴: جزئیات شرایط بارگذاری در تست‌های تجربی ۳۸

جدول ۵-۱: نتایج شبیه‌سازی BMS1 در آباکوس ۵۰

جدول ۵-۲: نتایج شبیه‌سازی BMS2 در آباکوس ۵۰

جدول ۵-۳: نتایج شبیه‌سازی BMS3 در آباکوس..... ۵۱

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل۳-۱: نمایی از معیار تسلیم دوبعدی ترسکا ۱۷
شکل۳-۲: سطح تسلیم در نظریه ون میسز ۱۸
شکل۳-۳: نمایش هندسی سطح تسلیم و مسیرهای بارگذاری و باربرداری ۱۹
شکل۳-۴: نمایی از جریان پلاستیک حاصله از معیار تسلیم ون میسز ۲۰
شکل۳-۵: نمایی از سخت شوندگی سینماتیکی ۲۱
شکل۳-۶: نمایی از سخت شوندگی ایزوتروپیکی ۲۱
شکل۳-۷: نمایش سخت شوندگی سینماتیک تک محوره ۲۲
شکل۳-۸: نمایش سخت شوندگی ترکیبی در صفحه انحرافی ۲۳
شکل۳-۹: رابطه تنش-کرنش تک محوره در مدل سخت شوندگی پراگر ۳۷
شکل۴-۱: نحوه انجام تست سه‌راهی ۳۳
شکل۴-۲: محل اتصال وزنه های اعمال گشتاوز و گیج‌های اندازه گیری ۳۴
شکل۴-۳: محل‌های گیج‌های کرنش برای انداره گیری گشتاور ۳۵
شکل۴-۴: دو نمونه گشتاور اعمالی در تست سه راهی ۳۶
شکل۴-۵: نمونه ای از نتایج بدست آمده از تست کشش ساده فولاد کربن ساده ۳۷
شکل۴-۶: نمودار تنش کرنش (نمونه منطبق بر نمونه‌های حاصل از نتایج تجربی) ۳۹
شکل۴-۷: مدل لوله سه‌راهی با مقطع لوله داده شده ۴۰
شکل۴-۸: مدل سه بعدی لوله سه راهی در آباکوس ۴۲
شکل۴-۹: نمونه ای از گشتاور ایجاد شده در کار عددی ۴۴
شکل۴-۱۰: نمونه استاندارد سه راهیASME ۴۵
شکل۵-۱: کرنش‌های پیش‌رونده بدست آمده از نتایج تجربی برحسب گشتاور ۴۹
شکل۵-۲: کرنش‌های پیش‌رونده بدست آمده از روش عددی برحسب گشتاور ۵۱
شکل۵-۳: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج تجربی و عددی برای نمونه BMS1 ..... ۵۲
شکل۵-۴: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج تجربی و عددی برای نمونه BMS2 ..... ۵۲

شکل۵-۵: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج تجربی و عددی برای نمونهBMS3 ..... ۵۳
شکل۵-۶: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج تجربی و عددی برای نمونهBMS1 برحسب $\frac{M}{M_1}$ ۵۳
شکل۵-۷: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج تجربی و عددی برای نمونهBMS2 برحسب$\frac{M}{M_1}$ ۵۴
شکل۵-۸: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج تجربی و عددی برای نمونهBMS3 برحسب $\frac{M}{M_1}$ ۵۴
شکل۵-۹: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج تجربی برای نمونه‌ها برحسب $\frac{M}{M_1}$ ۵۵
شکل۵-۱۰: کرنش‌های پیش رونده بدست آمده از نتایج عددی برای نمونه‌ها برحسب$\frac{M}{M_1}$ ۵۵
شکل۵-۱۱: تغییرشکل‌های پیش رونده در ممان ۳۴۹۵ از نمونه BMS1 برحسب کرنش‌های پیش رونده..... ۵۶

فهرست علائم اختصاری

مفهوم یا توضیح	علامت اختصاری
ممان ناشی از وزن	M_g
تنش	σ
کرنش	ε
ممان‌های اعمال شده	M
کرنش پیش رونده طی یک سیکل در جهت محیطی	ε_θ^R
تنش محیطی ناشی از فشار	σ_θ
دامنه کرنش دینامیکی وارد شده	ε_θ
تنش تسلیم	σ_y
مدول الاستیسیته	E
قطر متوسط سه راهی	d_m
قطر متوسط ساقه لوله	D_m
ضرایب تنش اولیه	B_1, B_2
شدت تنش طراحی کد ASME	S_m
شدت تنش مجاز در دمای طراحی	S_h
ضرایب تنش	α, γ
ضخامت لوله	t
مدول برشی ارتجاعی	G
ضریب پواسون	ν
ضریب لامه	λ
کرنش متوسط	ε_m

σ_m	تنش متوسط
e_{ij}	تانسور با اثر کرنش
S_{ij}	تانسور با اثر تنش
h	شیب منحنی کرنش پلاستیک
$d\lambda$	ضریب افزایش
K	اندازه سطح تسلیم اولیه
R	پارامتر سخت شوندگی ایزوتروپیک
j_2	فاصله ون میسز در فضای تنش انحرافی
X	تنش برگشتی (بک استرس)
C,γ	ضرایب سخت شوندگی ماده در مدل سخت شوندگی سینماتیکی
H	تابع پله وزنی (ماژول ماده)
Q	حداکثر اندازه سطح تسلیم
b	نرخ تغییر سطح تسلیم
D	قطر خارجی ساقه لوله
d	قطر خارجی سه راهی
Z	مدول انتخابی لوله
S_y	مقدار استحکام تسلیم در دمای محیط
S_{ut}	مقدار استحکام نهایی ماده
B_{2r},C_{2r},K_{2r}	اندیس های تنش
S	تنش اسمی
$\varepsilon^{\bullet p}$	نرخ شدت کرنش پلاستیک
f	فرکانس
R_{sat}	تنش نهایی در سخت شوندگی ایزوتروپیک

m	مشخصه ماده در نرخ سخت شوندگی
σ_ϕ	تنش محوری
P_d	فشار طراحی
P	فشار داخلی
P_y	فشار تسلیم
M_y	ممان تسلیم
$[K]$	ماتریس سختی المان
$\{U\}$	بردار جابجایی گرهی
$\{R\}$	بردار نیروهای خارجی وارده بر المان
σ^s	سطح تسلیم پایدار شده
$\Delta\varepsilon^{pl}$	محدوده کرنش پلاستیک
ρ	چگالی
D_o	قطر خارجی
D_{in}	قطر داخلی
h	ارتفاع سه‌راهی
r	شعاع جوش سه‌راهی
l	طول ساقه لوله

فصل اول:

مفاهیم اساسی

۱-۱- مقدمه

تئوری‌های الاستیسیته و پلاستیسیته، مکانیک تغییرشکل برای بررسی رفتار جامدات مهندسی به کار می‌رود. هر دو تئوری، که برای فلزات و آلیاژها به کار می‌روند، مبتنی بر مطالعات آزمایشی بین تنش و کرنش در یک توده چند بلوری[۱] تحت شرایط بارگذاری ساده هستند. بنابراین آنها ماهیتی پدیده‌گونه در مقیاس میکروسکوپی دارند و با این حال بسیار کم به سازه فلز وابسته هستند. به هر حال، مهندسی که هدف اصلی‌اش طراحی و ساخت است، باید از محدودیت‌های این تئوری‌ها کاملا آگاه باشد و همچنین باید در مورد سازه فلزات اطلاعاتی داشته باشد. سازه‌های زیادی در معرض بارهای سیکلی پیچیده‌ای قرار دارند. در یک بارگذاری سیکلیک با کنترل تنش، یک انباشتگی سیکلیک پلاستیک رخ می‌دهد که این پدیده اثری کاملا طبیعی است و کرنش پلاستیکی جمع شونده در طی این شرایط و تغییر شکل سیکلیک آن، تغییر شکل‌های پیش‌رونده[۲] نامیده می‌شود..

اولین تلاشها برای بررسی تغییرشکل‌های پیش‌رونده در سال ۱۹۶۱توسط ادموند وبیر[۳] انجام شده است. آنها تعداد محدودی از حالت‌های انباشت کرنش را طی آزمایشات تجربی بررسی کردند، بصورتیکه اکثر آزمایشات تجربی انجام گرفته شده توسط این افراد با کنترل دامنه کرنش بوده و بارگذاری‌های کشش، فشار در قالب چرخه‌های کاملا معکوس شونده اعمال می‌شد، به طوریکه یک دامنه‌ی کرنش ثابت انتخاب می‌شد و نمونه تحت بارگذاری محوری معکوس شونده قرار می‌گرفت، البته در این حالت به واسطه محدود بودن دامنه کرنش، بعد از چند سیکل بارگذاری حلقه‌های تنش،کرنش روی همدیگر منطبق می‌شدند، بنابراین امکان بررسی انتقال تغییرشکل‌های پیش‌رونده بعد از کرنش محدود شده میسر نبود. در حالی که اگر تنش و کرنش مقدار مناسبی داشته باشند در نتیجه این امکان پیش می‌آید که برای هر مرتبه اعمال کرنش تکراری یک افزایش غیرقابل برگشت در تغییر شکل ایجاد می‌شود که سیکل به سیکل این تغییر شکل بیشتر می‌شود. هر چند که به طور عمومی از تئوری ون مایسز[۴] بیشتر استفاده می‌شود و دقت بالاتری دارد اما در آزمایشات مذکور از تئوری ترسکا استفاده شده است، زیرا هم کار

---

۱ Polycrystalline aggregate
۲ Ratchting
۳ Edmunds & Beer
۴ VonMisses

کردن با آن ساده است و هم نتایج امن‌تری در اختیار می‌گذارد. در آزمایشات مذکور بسیاری از پارامترها مثل کرنش سختی واثر بوشینگر برای آنالیز حذف شده است که در حالت عملی نمی‌توان از آنها صرف نظر کرد. بصورتیکه کرنش سختی می‌تواند سختی ماده را افزایش دهد که این ویژگی در مقابل انتقال تغییر شکل‌های پیش‌رونده خود عامل خطا می‌باشد.

در کاربردهای علمی معمولا بارهای اعمال شده بر سازه در طول زمان با تغییرات قابل ملاحظه‌ای در دامنه و نحوه بارگذاری همراه می‌باشد. در پاسخ به این دسته از بارگذاری‌ها ایجاد تغییر شکل‌های الاستیک و یا پلاستیک و یا هر دو در سازه امکان پذیر است. عملا در هر نوع تغییر شکل‌های الاستیک و یا پلاستیک مقاومت سازه در برابر این نوع بارگذاری‌ها، کمتر از بارگذاری ثابت می‌باشد.

در مورد پاسخ الاستیک سازه در بارگذاری‌های متغیر، میزان کاهش مقاومت در خستگی و شکست بررسی می‌گردد. اما در بارگذاری‌های متغیر چنانچه سازه وارد ناحیه پلاستیک شود، در اثر خاصیت سخت‌شوندگی[۱] و یا نرم‌شوندگی[۲] تغییر شکل‌های پلاستیک رفتارهای متفاوتی وجود خواهد داشت. در این حالت ممکن است مقدار موثر این تغییر شکل‌ها در هر سیکل بارگذاری افزایش یافته و یا اینکه در یک سیکل کامل، افزایش مقدار موثر این تغییر شکل‌ها صفر شود، همچنین ممکن است مقدار این تغییر شکل‌ها پس از تکرار چند سیکل بارگذاری ثابت بماند. یکی از رفتارهای ناشناخته مواد در بارگذاری‌های دوره‌ای[۳]، انتقال تغییر شکل‌های پیش‌رونده است. بدین منظور در سال‌های اخیر کوشش‌های زیادی در جهت فهم مکانیزم تغییر شکل‌های پیش‌رونده انجام گرفته است. زیرا مشخص است که طراحی در منطقه الاستیک خالص سازه هم اتلاف مواد را به دنبال دارد و هم غیر عملی است. بعضی وقت‌ها تغییر شکل‌های غیر الاستیک تکراری به قطعات وارده در نهایت منجر به شکست سازه و یا خستگی قطعه بعد از سیکل کم (پلاستیسیته متناوب) به همراه تغییر شکل و باعث فروپاشی قطعه می‌شود. بنابراین بایستی قطعه را طوری طراحی کرد که تغییر شکل پیش‌رونده رخ ندهد. یا اگر رخ داد مقدار انباشت کرنش کمتر از حد مجاز مورد انتظار در عمرکاری قطعات باشد. در بسیاری از کاربردهای مواد، ساختار و اجزا بایستی مقاومت در برابر بارهای سیکلیک را داشته باشد. از جمله این سازه‌ها می‌توان

---

[۱] Hardeninig
[۲] Softening
[۳] Cyclic loading

به سازه‌های دریایی، رادیواکتیوی، صنایع پتروشیمی، مخازن تحت فشار و سازه‌هایی که در مقابل تغییرات آب و هوایی قرار دارند مثل دکل‌ها اشاره کرد.

بررسی این سازه‌ها تحت بارگذاری‌های سیکلیک (نمونه‌ای از بارگذاری‌های سیکلیک موجود در طبیعت، زلزله است) نیازمند ابزاری قوی است که نموهای تانسور انتقال مرکز سطح تسلیم یا تانسور برگشتی و مقادیر کل آن‌را برآورد کنند و بتوانند تابع تسلیم را در هر مرحله از بارگذاری‌ها ارزیابی نموده و سپس نمودار تنش کرنش موثر را برای بارگذاری‌های یکنواخت رسم نمایند، که در این راستا تاثیر مقادیر متوسط و دامنه بارگذاری‌ها بر رشد یا توقف کرنش‌های پلاستیک بسیار مهم است.

بطورکلی بارگذاری اعمال شده بر روی سازه‌ها را می‌توان به دو دسته بارگذاری سیکلی و یکنواخت[۱] تقسیم بندی نمود. منظور از بارگذاری یکنواخت بارگذاری است که در آن بار وارد شده بر سازه بصورت تدریجی افزایش یافته و باربرداری از روی سازه انجام نمی‌گیرد. اما منظور از بارگذاری سیکلی بارگذاری است که در آن بارگذاری بصورت تکراری انجام شود. به این معنی که ابتدا بار بر روی سازه قرار داده شده و سپس بار اعمال شده برداشته شده و این عمل مرتبا تکرار می‌شود. لازم به ذکر است که این نوع بارگذاری را نباید با مسئله خستگی مقایسه کرد. زیرا در بارگذاری سیکلی تعداد سیکل‌ها معمولا بسیار کم است، در صورتیکه در بحث خستگی تعداد سیکل‌ها بسیار بیشتر است. وقتی که یک ماده پلاستیک کامل تحت ترکیبی از بارهای سیکلی و ثابت قرار بگیرد، ابتدا یک پاسخ گذرا از خود نشان می‌دهد و سپس به حالت پایدار می‌رسد. پاسخ پایدار با مکانیزم جمع‌شدگی کرنش پلاستیک مشخص می‌گردد. با توجه به اینکه رفتار پلاستیک مواد تابع موارد مختلفی مانند خصوصیات ماده، میزان نرخ بارگذاری، وضعیت حلقه پایدار اولیه است، تاکنون چندین مدل ریاضی مختلف برای پیش‌بینی رفتار پلاستیک مواد ارائه شده است، تا بتوانند رفتارهای الاستیک کامل، الاستیک شیک‌دان[۲]، پلاستیک شیک‌دان و فروپاشی افزایشی(تغییرشکل‌های پیش‌رونده) را مورد پیش‌بینی قرار دهند.

[۱] Monotonic loading
[۲] Elastic Shakedown

۱-۲- تغییرشکل‌های پیش‌رونده

تغییر شکل‌های پیش‌رونده در واقع پدیده‌ای است که منجر به کاهش عمر سازه‌ای به وسیله از دست دادن خاصیت شکل‌پذیری آنها طی انباشتگی سیکل به سیکل کرنش پلاستیک می‌شود که این انباشتگی کرنش می‌تواند ناشی از تغییرات متناوب دما و یا بار باشد. که انتقال تغییر شکل‌های پیش‌رونده را می‌توان در قالب تغییر شکل‌های پیش‌رونده حرارتی و تغییر شکل‌های پیش‌رونده مکانیکی بررسی کرد.

۱-۳- الاستیک شیک‌دان

در این حالت جسم در نقطه الاستیک قرار گرفته است. بنابراین کرنش پلاستیک صفر می باشد. در این حالت کرنش‌ها هرگز رشد نمی‌کنند. این وضعیت را الاستیک شیک‌دان می نامند.

۱-۴- پلاستیک شیک‌دان

در این حالت پس از آنکه جریان پلاستیک رخ داد، پس از چند سیکل افزایش کرنش پلاستیک صفر گشته و در حقیقت در یک سیکل میزان کرنش پلاستیک افزوده شده با میزان کرنش کاهش یافته، خنثی می‌شود. در این حالت، مجموع کرنش‌ها ثابت می‌ماند. این وضعیت را پلاستیسیته متناوب یا پلاستیک شیک‌دان[۱] می‌نامند.

[۱] Plastice shakedown