

# شبیه‌سازی سه‌بعدی و بررسی تأثیر دما در ترک‌های شبه‌بیضوی محوری و محیطی در مخازن استوانه‌ای

هادی راکی<sup>۱</sup>، جلیل جمالی<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد، شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، گروه مهندسی مکانیک

۲. استادیار، شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، گروه مهندسی مکانیک

نویسنده مسئول ایمیل: j.jamali@iau-shoushtar.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

## چکیده

در طول مدت عمر یک مخزن، ایجاد معایبی همچون ترک‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است که به دلایلی نظیر خوردگی یا بارگذاری خستگی و... به وجود می‌آیند. یکی از انواع عمده ترک‌های ایجادشده، ترک‌های شبه‌بیضوی هستند. هدف از این تحقیق، بررسی این نوع از ترک‌ها در یک مدل مخزن استوانه‌ای از جنس استیل با استاندارد ASME و تأثیرات ترمومکانیکی آن است. برای شبیه‌سازی ترک از دو نسبت  $a/c$  و  $a/t$  که معرف ابعاد ترک هستند، استفاده شده است. در اینجا برای به دست آوردن ضرایب شدت تنش از شبیه‌سازی ترک و مخزن در نرم‌افزار المان محدود ANSYS، در محیط *workbench* استفاده شده است. برای محاسبه ضرایب شدت تنش در نقاط مختلف واقع بر جبهه ترک مشخصات موضعی ایجاد شد و بر اساس کانتورهای مختلف در نودهای اطراف نوک ترک یا میزان بازشدگی در صفحه ترک مقادیر ضرایب شدت تنش را بر اساس معیار مدنظر محاسبه شد. با استفاده از مقادیر ضرایب شدت تنش به دست آمده در ابعاد مشخص مخزن و ترک و همچنین شرایط بارگذاری و جنس مخزن، نقاط بحرانی ترک مشخص شد. با توجه به نتایج به دست آمده از مراحل قبل و با کمک معادله پاریس، عمر مخزن و تعداد سیکل بارگذاری مشخص شد و در نهایت نتایج به دست آمده از ضریب شدت تنش با نتایج ضریب شدت تنش بر اثر اختلاف دمای جداره مخزن مقایسه شد.

کلمات کلیدی: مخزن تحت فشار، تخمین عمر خستگی، ترک‌های شبه‌بیضوی.

## ۱. مقدمه

خستگی یک قطعه صورت می‌گیرد. در ادامه ناحیه دوم به دامنه رشد پایدار ترک می‌پردازد و منحصراً به دلیل اهمیت تکنولوژیکی آن مطالعه می‌شود. ناحیه سوم نیز به دامنه رشد سریع ترک می‌پردازد و به صورت موردی به عنوان بخش کوچکی در تخمین عمر خستگی یک قطعه قلمداد می‌شود. اردوگان و کیبلر [۳] در زمینه تحقیقات صورت گرفته درباره محاسبه مقدار ضریب شدت تنش، به مطالعه پوسته‌های کروی و استوانه‌ای دارای ترک با طول ترک‌های بزرگ پرداخته‌اند.

سلام عبید [۱] در مطالعات خود به این موضوع اشاره می‌کند که پدیده شکست هنگامی در شرایط بارگذاری کمتر از تنش تسلیم و تنش نهایی رخ می‌دهد که یک ماده به طور متوالی تحت بارگذاری و باربرداری قرار گیرد.

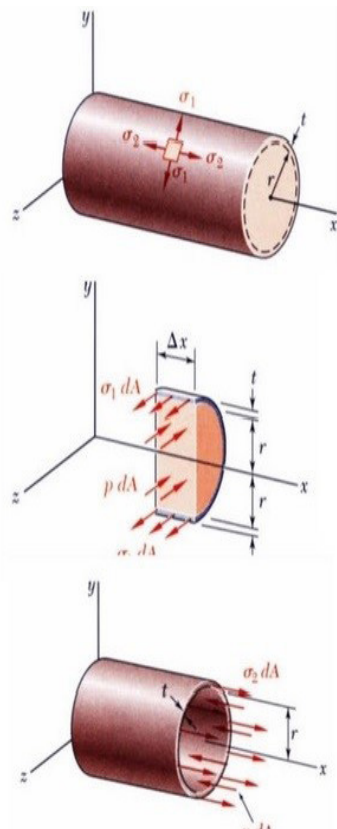
پدیده شکست با تقسیم‌بندی به سه ناحیه مشخص و جدا از هم صورت می‌پذیرد. شیگلی و بودیانسی [۲] ناحیه اول به روند پیشرفت ترک با دامنه فاکتور شدت تنش پایین می‌پردازد که به عنوان مهم‌ترین بخش در تخمین عمر



$$\sum F_z = 0$$

$$\sigma_1(2t\Delta x) = p(2r\Delta x)$$

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t}$$



شکل ۱. تنش در مخازن استوانه‌ای

### ۳. تخمین عمر خستگی

محاسبه عمر خستگی یا تعداد سیکل انجام شده از زمان ایجاد ترک تا زمان شکست و تخریب کامل مخزن را می‌توان از رابطه پاريس به دست آورد. رابطه پاريس به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{da}{dN} = C(K_{max} - K_{op})^m \quad (7)$$

$$dN = \frac{da}{C(\alpha\Delta\sigma\sqrt{\pi})^m} \quad (8)$$

$$\int_{op}^{max} dN = \int_{op}^{max} \frac{da}{C(\alpha\Delta\sigma\sqrt{\pi})^m} \quad (9)$$

$$N_{max} = \int_{op}^{max} \frac{da}{C(\alpha\Delta\sigma\sqrt{\pi})^m} \quad (10)$$

در این رابطه  $C$  و  $m$  ثوابت وابسته به جنس مخزن و  $K_{max}$  برابر با حداکثر ضریب شدت تنش و  $K_{op}$  ضریب شدت تنش نوک ترک است.

- (۴) فرانسيسكو سزاري [۴] مخازن استوانه‌ای تحت فشار داخلی را بررسی کرد که دارای ترک‌های سطحی و زیرسطحی هستند. او بر اساس قوانین ASME نحوه توزیع تنش‌های محیطی را بر مدل مدنظر خود اعمال کرد و با استفاده از روش‌های تحلیلی به بررسی ضرایب شدت تنش در شرایط بارگذاری مدنظر خود پرداخت.

K. Nasri and M. Zenasni [۵] بررسی رشد ترک خستگی را برای مواد پوشش داده شده بررسی کرد. در این تحقیق، زاویه رشد ترک، سرعت رشد آن و همچنین وجود بیش از یک ترک در نظر گرفته شد.

H. pathak و همکارانش [۶] به بررسی رشد ترک خستگی تحت بارگذاری ترموالاستیک که بارگذاری حرارتی آن با دامنه ثابت و از روش بدون مش گلرکین استفاده کرد.

پرداختن به موضوع مکانیک شکست در مخازن دارای ترک، موضوعات بسیاری از مطالعات اخیر بوده است. با توجه به نبود منبعی کامل و جامع در خصوص بررسی توزیع ضرایب شدت تنش ترک‌های محوری و محیطی در مخازن استوانه‌ای تحت بارگذاری حرارتی مکانیکی، انجام این تحقیق و به دست آوردن تغییر رفتار ترک در ابعاد مختلف ترک و مخزن ضروری است.

### ۲. توزیع تنش در مخازن تحت فشار استوانه‌ای

به دلیل فشارهای وارد شده از جانب سیال نگهدارنده در یک تانکر جدارنازک، مانند تانکر ذخیره سوخت یا مخازن ذخیره بخار آب، نیروهایی بر سطح داخلی مخزن اعمال می‌شود که این نیروها سبب ایجاد تنش در جداره مخزن می‌شود. این تنش‌ها در مخازن استوانه‌ای شکل به دو دسته محوری و محیطی تقسیم می‌شوند. (شکل ۱)

#### ۱.۲. تنش‌های یکنواخت طولی

این تنش‌ها در راستای محور استوانه، بر جداره تانکر اعمال می‌شوند و مطابق روابط زیر خواهند بود: (جدول ۱)

$$\sum F_x = 0 \quad (1)$$

$$\sigma_2(2\pi r t) = p(\pi r^2) \quad (2)$$

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} \quad (3)$$

#### ۲.۲. تنش‌های یکنواخت عرضی

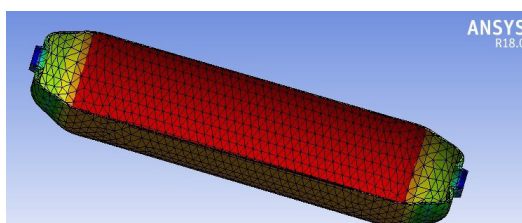
شکل روبه‌رو یک مقطع عرضی از یک تانکر را نشان می‌دهد و تنش‌های اعمالی بر سطح مقطع عرضی آن به شکل زیر است:

#### ۴. شبیه‌سازی مخزن استوانه‌ای تحت فشار

شبیه‌سازی مخازن صنعتی و مهندسی قبل از فرایند تولید و ساخت، مهم‌ترین بخش از طراحی یک مخزن تلقی می‌شود. در این مرحله طراحان و مهندسان با کمک گرفتن از شبیه‌سازی، سعی در شناخت معایب احتمالی و بررسی

جدول ۱. مشخصات و خصوصیات مکانیکی مخزن

| ضریب پواسون        | استحکام کششی تسلیم<br>M Pascal | مدول الاستیسیته<br>G Pascal | ضخامت مخزن<br>Mm                | شعاع داخلی<br>M       |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| ۰,۳                | ۲۵۰                            | ۲۰۰                         | ۲۰                              | ۰,۲۴۶                 |
| چگالی مخزن<br>g/cm | دمای کاری<br>°C                | فشار کاری<br>M Pascal       | استحکام کششی بیشینه<br>M Pascal | ضریب بالک<br>G Pascal |
| ۷,۸۵               | ۲۲                             | ۲۰                          | ۴۶۰                             | ۱۱۶۶                  |



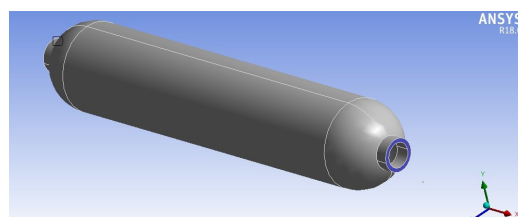
شکل ۳. توزیع تنش در مدل شبیه‌سازی شده

در اینجا شبیه‌سازی با کمک نرم‌افزار المان محدود ANSYS و در محیط Workbench انجام خواهد شد. در ابتدا مخزن مدنظر با مشخصات گفته شده مدل‌سازی می‌شود و پس از آن، در مدل ترک ایجاد می‌شود. سپس مدل مخزن دارای ترک در نرم‌افزار المان محدود انسیس از نظر ضرایب شدت تنش در مود اول (مود بازشوندگی) تحلیل و بررسی می‌شود و نتایج به دست آمده برای ترک‌های محوری و شعاعی به صورت نمودارهای جداگانه برای هر ابعاد منحصر به فرد ترک رسم و نشان داده خواهد شد. با بررسی نتایج مراحل گفته شده، به تفاوت ترک‌های محوری و محیطی در یک مخزن پی خواهیم برد و در پایان به تأثیر دما خواهیم پرداخت. تکیه‌گاه از نوع فلنج از انواع متداول تکیه‌ها در تجهیزات مهندسی برای جلوگیری از جابه‌جایی و حرکت تجهیز بر اثر نیروهای خارجی است. شکل ۲ مدل یک مخزن استوانه‌ای با فشار داخلی و تکیه‌گاه فلنجی در دو انتهای آن را نشان می‌دهد.

انتخاب نوع المان و اندازه المان‌ها بسیار حائز اهمیت است. تعداد المان‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شود که در کوتاه‌ترین زمان، کمترین خطا را داشته باشد. با توجه به نتایج تحلیل اجزای محدود در (جدول ۲)، المان‌های Tetrahed و به اندازه ۰,۰۱۸ متر انتخاب شد. به دلیل هم‌گرایی در نتایج به دست آمده از اندازه‌های کوچک‌ترین، این اندازه مش مناسب و مقدار ماکزیمم تنش وان میسر برابر با ۲۴۲ مگاپاسکال است.

جدول ۲. آنالیز انتخاب تعداد و اندازه المان‌ها

| Size mesh (M) | Elements (110e+3) | Stress (Pa) |
|---------------|-------------------|-------------|
| 0.8           | 2                 | 3.09E+08    |
| 0.6           | 1.6               | 3.07E+08    |
| 0.4           | 2.3               | 3.14E+08    |
| 0.2           | 1                 | 2.94E+08    |
| 0.08          | 4.6               | 2.53E+08    |
| 0.06          | 8.3               | 2.48E+08    |
| 0.04          | 18.7              | 2.44E+08    |
| 0.02          | 86                | 2.43E+08    |
| 0.018         | 143               | 2.42E+08    |
| 0.016         | 222               | 2.42E+08    |
| 0.014         | 305               | 2.42E+08    |
| 0.012         | 423               | 2.42E+08    |

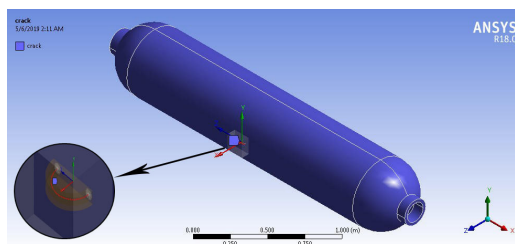


شکل ۲. مدل شبیه‌سازی شده مخزن استوانه‌ای

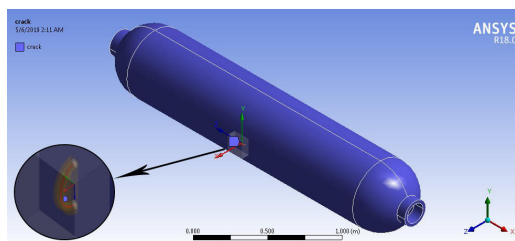
تنش در مخازن تحت فشار هنگامی که مخزن فاقد ترک باشد، از پارامترهای مهم تحلیل در فرایند طراحی است. مادامی که ترک ایجاد نشده باشد، مقادیر تنش را در هر نقطه از مخزن می‌توان محاسبه کرد. (شکل ۳) چگونگی توزیع تنش در مدل نشان داده شده در (شکل ۲) را بر حسب معیار von-mises نشان می‌دهد.

## ۵. شبیه‌سازی ترک در مخزن استوانه‌ای

با ایجاد ترک در مخزن، مخزن دچار ناپیوستگی‌های سازه‌ای می‌شود. به دلیل وجود شدت گرادین تنش در اطراف ترک، مدل‌سازی و انتخاب نوع المان در اطراف این ناحیه باید با دقت بسیار زیادی صورت پذیرد. به واسطه وجود ترک و افزایش ضریب شدت تنش در پیرامون آن، شاهد نقاط بحرانی در جبهه ترک خواهیم بود. (شکل ۴ و ۵) نمونه‌هایی از ترک محوری و محیطی در مخزن استوانه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۴. شبیه‌سازی ترک محوری در مخزن استوانه‌ای



شکل ۵. شبیه‌سازی ترک محیطی در مخزن استوانه‌ای

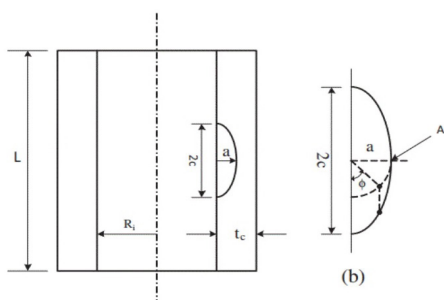
به دلیل افزایش تراکم تنش در اطراف ترک و کوچک بودن ابعاد ترک، المان‌های این ناحیه باید کوچک‌تر از نواحی دیگر انتخاب شوند. به همین منظور یک ناحیه کروی از المان‌ها به اندازه  $0.05$  و با شعاع  $0.1$  متر در اطراف ترک انتخاب شد.

## ۶. صحت‌سنجی

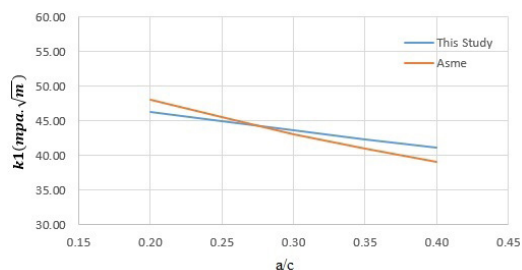
برای صحت‌سنجی ضرایب شدت تنش یک مدل استاندارد که در بخش سوم کد ASME است که شامل مخزنی تحت فشار داخلی و تکیه‌گاه ثابت استفاده شده است. نیم‌محور کوچک ترک نیم‌بیضی مرکزی (a) برابر  $25$  میلی‌متر است. در (شکل ۶) شماتیک مدل استاندارد را مشاهده می‌کنید.

برای صحت‌سنجی مخزن مورد بررسی در این تحقیق با مدل استاندارد گفته‌شده، به‌ازای نسبت ابعاد مختلف (a/c) برای ترک حداکثر ضریب شدت تنش در عمق ترک که در (شکل ۶) به‌صورت نقطه A نشان داده شده، به دست آمده

است و با مقادیر ارائه‌شده در مرجع استاندارد مقایسه می‌شود که در (شکل ۷) نشان داده شده است.



شکل ۶. شماتیک مدل استاندارد



شکل ۷. مقایسه ضریب شدت تنش در این تحقیق با مرجع استاندارد

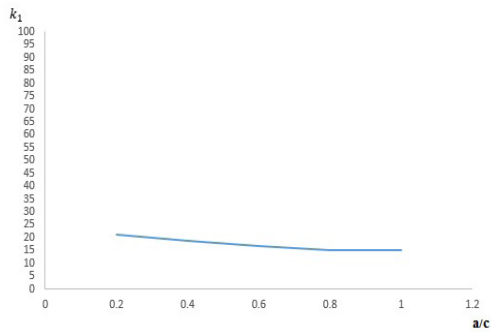
همان گونه که در (شکل ۷) مشاهده می‌کنید، نتایج حاضر و مرجع استاندارد به یکدیگر نزدیک هستند.

## ۷. نتایج و بحث

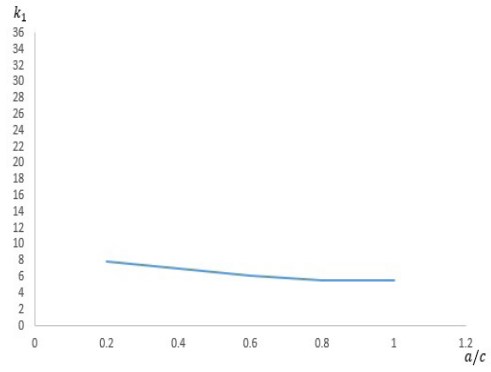
### ۱.۷. ضرایب شدت تنش در نسبت ابعاد مختلف ترک

در ادامه ماکزیمم ضرایب شدت تنش در ابعاد مختلف ترک نشان داده شده است. تمام مقادیر ضریب شدت تنش بر واحد  $\text{MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$  هستند.

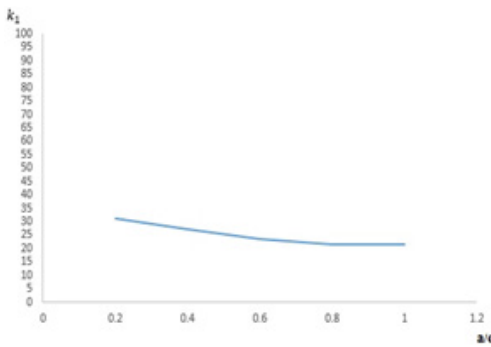
نمودارهای ضرایب شدت تنش در حالت‌های مختلف ابعاد ترک محوری و محیطی نشان داده شد. همان گونه که مشاهده می‌شود، در یک عمق ثابت ترک، با افزایش نسبت a/c، ضریب شدت تنش نیز کاهش می‌یابد. می‌توان این‌گونه نیز بیان کرد که ترک‌های بیضی‌شکل از ضرایب شدت تنش بیشتری نسبت به حالت دایره‌ای شکل برخوردار هستند. ترک‌های محیطی در مقایسه با ترک‌های محوری از ضرایب شدت تنش کوچک‌تری در مد اول برخوردارند. به همین سبب می‌توان انتظار داشت که عمر خستگی این نوع ترک‌ها، نسبت به ترک‌های محوری نیز افزایش داشته باشد.



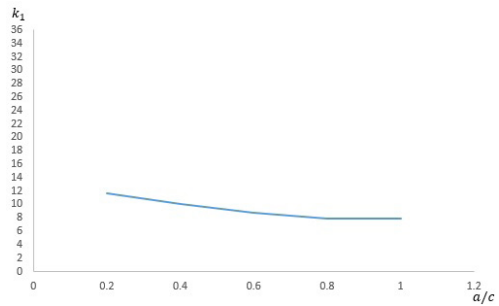
نمودار ۲. ضریب شدت تنش ترک محوری در نسبت  $a/t = 0.1$



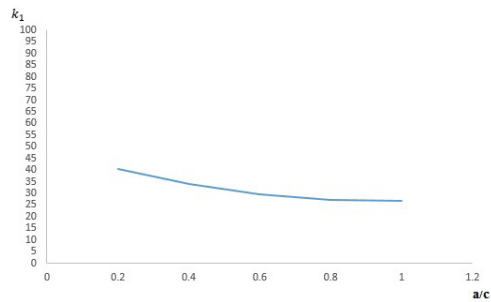
نمودار ۱. ضریب شدت تنش ترک محیطی در نسبت  $a/t = 0.1$



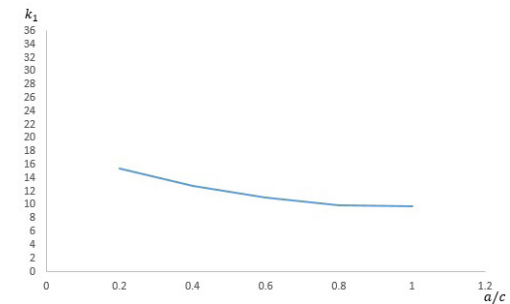
نمودار ۴. ضریب شدت تنش ترک محوری در نسبت  $a/t = 0.2$



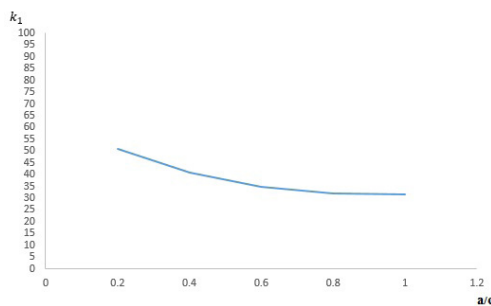
نمودار ۳. ضریب شدت تنش ترک محیطی در نسبت  $a/t = 0.2$



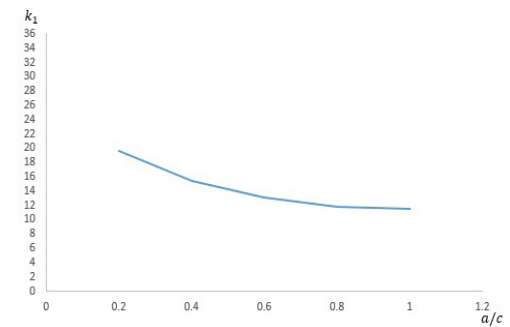
نمودار ۶. ضریب شدت تنش ترک محوری در نسبت  $a/t = 0.3$



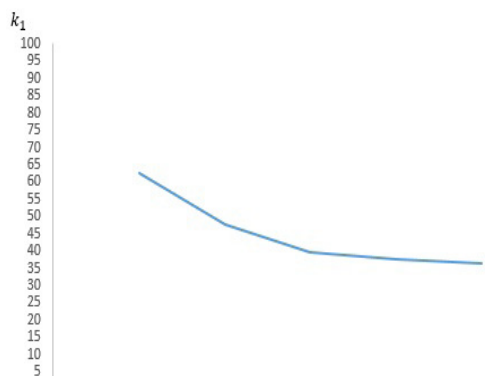
نمودار ۵. ضریب شدت تنش ترک محیطی در نسبت  $a/t = 0.3$



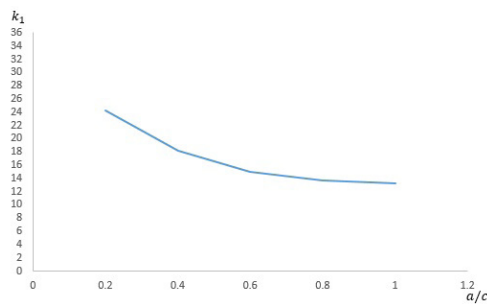
نمودار ۸. ضریب شدت تنش ترک محوری در نسبت  $a/t = 0.4$



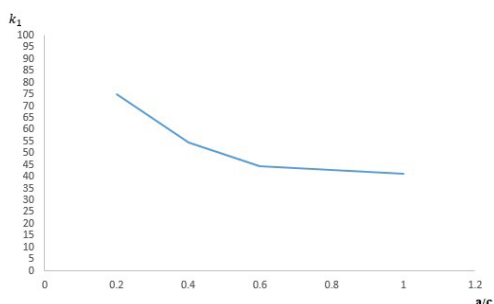
نمودار ۷. ضریب شدت تنش ترک محیطی در نسبت  $a/t = 0.4$



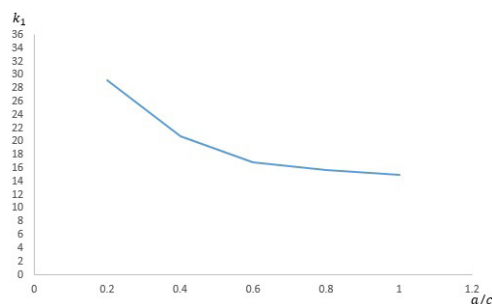
نمودار ۱۰. ضریب شدت تنش ترک محوری در نسبت  $a/t = 0.5$



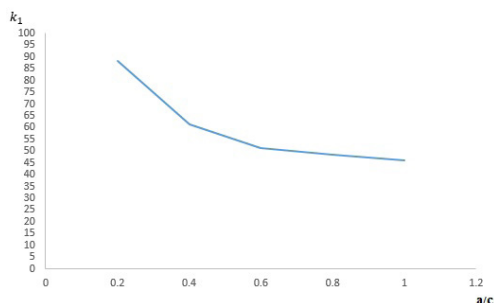
نمودار ۹. ضریب شدت تنش ترک محیطی در نسبت  $a/t = 0.5$



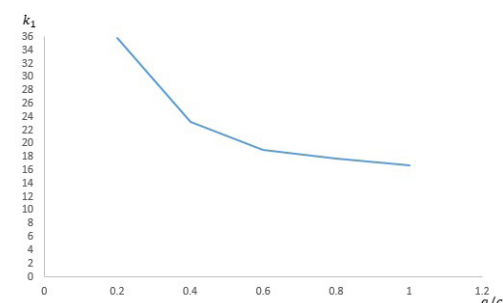
نمودار ۱۲. ضریب شدت تنش ترک محوری در نسبت  $a/t = 0.6$



نمودار ۱۱. ضریب شدت تنش ترک محیطی در نسبت  $a/t = 0.6$



نمودار ۱۴. ضریب شدت تنش ترک محوری در نسبت  $a/t = 0.7$



نمودار ۱۳. ضریب شدت تنش ترک محیطی در نسبت  $a/t = 0.7$

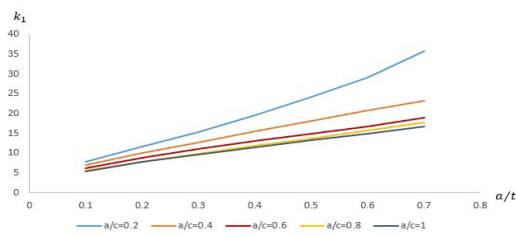
## ۲.۷. پیش‌بینی رشد ترک

بعد از گذشت چندین سیکل بارگذاری به حالت بحرانی و در نهایت شکست می‌رسد. تخمین عمر مخزن در هنگام ایجاد ترک، مهم‌ترین مراحل تحلیل و طراحی یک مخزن است. هنگامی که ترک ایجاد می‌شود، به دلیل سیکل بارگذاری رشد می‌کند. در مراحل اولیه رشد ترک، تعداد سیکل‌های سپری شده به نسبت مراحل بعدی رشد ترک بیشتر هستند؛ بدین صورت که تعداد سیکل‌هایی که لازم است تا نسبت  $a/t$  از ۰٫۱ به ۰٫۲ برسد، در مقایسه با نسبت  $a/t$  از ۰٫۲ به ۰٫۳ بیشتر خواهد بود.

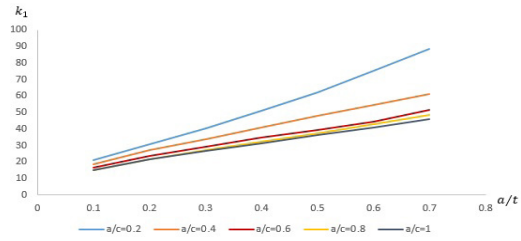
با ایجاد ترک در جداره مخزن، به واسطه فشار داخلی ای که سیال درون مخزن به آن وارد می‌سازد، ترک رشد پیدا می‌کند. با رشد ترک، نیم‌محور کوچک آن افزایش می‌یابد و با افزایش عمق ترک، مقادیر ضریب شدت تنش نیز افزایش خواهند یافت. نمودار ۱۵ و ۱۶، نموداری از رشد ترک محوری و محیطی را نشان می‌دهد.

## ۸. عمر خستگی در مخزن دارای ترک

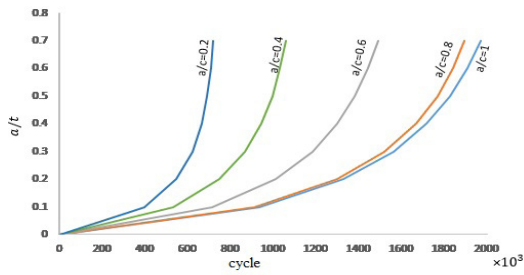
هر مخزن دارای ترک، با صرف‌نظر از طول اولیه ترک،



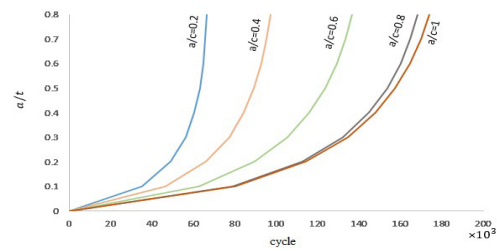
نمودار ۱۶. تحلیل رشد ترک محیطی



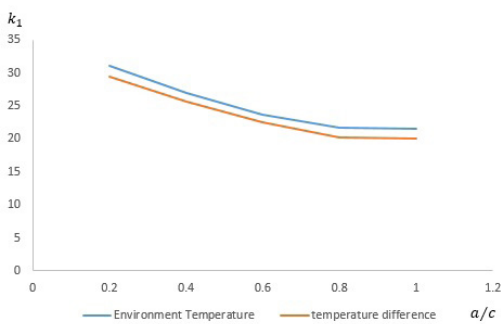
نمودار ۱۵. تحلیل رشد ترک محوری



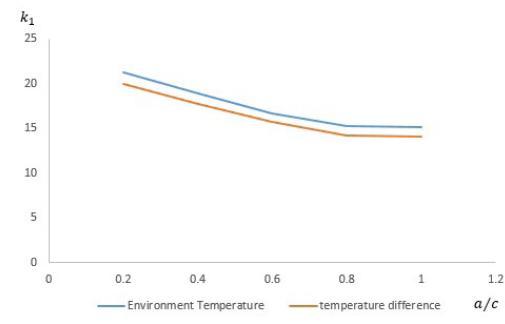
نمودار ۱۸. تخمین عمر خستگی ترک محیطی



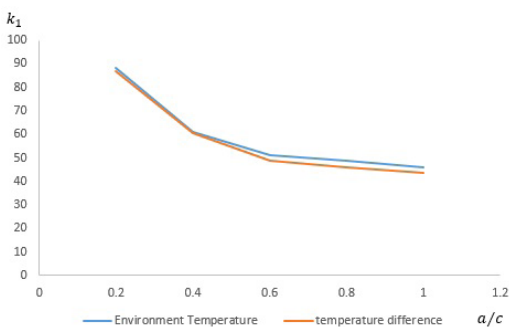
نمودار ۱۷. تخمین عمر خستگی ترک محوری



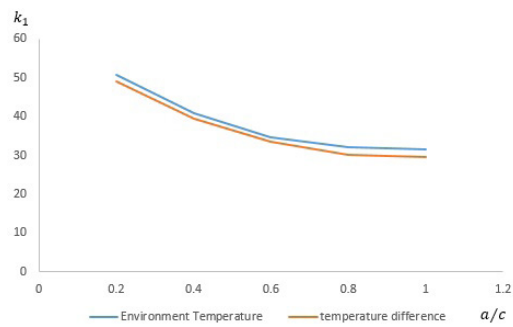
نمودار ۲۰. مقایسه ترمومکانیکی در نسبت  $a/t=0.2$



نمودار ۱۹. مقایسه ترمومکانیکی در نسبت  $a/t=0.1$



نمودار ۲۲. مقایسه ترمومکانیکی در نسبت  $a/t=0.7$



نمودار ۲۱. مقایسه ترمومکانیکی در نسبت  $a/t=0.4$



## ۹. تأثیر دما

رشد ترک، میزان رشد کمتر است و در مراحل بعد افزایش می‌یابد؛ به طوری که وقتی ترک ۵۰ درصد اندازه اولیه خود رشد می‌کند، میزان رشد آن افزایش چشمگیری پیدا خواهد کرد و با تعداد سیکل کمتر شاهد رشد بیشتر ترک خواهیم بود. پیشنهاد می‌شود بعد از رشد ترک بیش از ۵۰ درصد، از اقدامات پیشگیرانه همانند استفاده از پوسته یا وصله در ناحیه ترک استفاده شود تا از شکست در این ناحیه جلوگیری کنیم.

## ۱۱. منابع

- [1]. Salam, I., Abid, M., and Malik, M.A., "Crack Growth Prediction in A Thick Cylinder Under Fatigue Loading – an FEA", International Journal of Pressure Applications Engineering & Development, Vol. 3., pp. 51-55, (2007).
- [2]. Shigley, J.E., Mischke, C.R. and Budynas, R.G., "Mechanical Engineering Design 7th ed", McGraw-Hill Companies, New York, (2004).
- [3]. Erdogan, F., and Sih, G.C., "On the crack extension in plates under plane loading and transverse shear", Journal of basic engineering, 85(4), pp. 519-525, (1963).
- [4]. Cesari, F., "A simple procedure to evaluate the stress intensity factor in internally pressurized cylinders", International journal of pressure vessels and piping, 21(1), pp. 49-65, (1985).
- [5]. Nasri, K., and Zenasni, M., "Fatigue crack growth simulation in coated materials using X-FEM", Comptes Rendus Mécanique, 345(4), pp. 271-280, (2017).
- [6]. Pathak, H., Singh, A., and Singh, I. V. , " Numerical simulation of 3D thermo-elastic fatigue crack growth problems using coupled FE-EFG approach ", Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 98(3), pp. 295-312, (2017).
- [7]. structural steel fatigue data at zero mean stress, ASME BPV code, section 8, div 2, Table 5-110.1, (1998).

اغلب وجود سیال‌های گرم یا سرد درون مخزن، باعث اختلاف دمای میان جداره داخلی و بیرونی آن می‌شود. در این تحقیق، به اختلاف دما در جداره داخلی و بیرونی مخزن می‌پردازیم. دمای ۲۸۰ و ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای جداره داخلی و بیرونی مدل انتخاب شده است. با مقایسه نتایج ضریب شدت تنش یک ترک محوری از این گام و نتایج قبلی از همین ابعاد ترک، به تأثیر اختلاف دمای مخزن بر ضرایب شدت تنش پی خواهیم برد.

## ۱۰. نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک مدل مخزن استوانه‌ای سه‌بعدی که دارای ترک در دو حالت محوری و محیطی است، تحت تأثیر بارگذاری ترمومکانیکی بررسی شد و نتایج آن به صورت زیر بیان می‌شود:

۱. نتایج ضرایب شدت تنش به دست آمده از تحلیل نرم‌افزار المان محدود، نشان می‌دهد ماکزیمم ضرایب شدت تنش در مد اول در ترک‌هایی که به حالت محوری هستند، بیشتر از حالت محیطی است. این امر ناشی از تنش‌های طولی و شعاعی است که پیش‌تر بیان شد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، به سبب زیادبودن مقادیر ضرایب شدت تنش در ترک‌های محوری نسبت به ترک‌های محیطی، طول عمر خستگی در ترک‌های محوری نیز کمتر است.
۲. نتایج نشان داد در هنگام ایجاد ترک در مخزن، طول اولیه ترک تأثیر زیادی در عمر خستگی آن دارد و هر اندازه طول اولیه ترک کوچک‌تر باشد، عمر خستگی افزایش بیشتری خواهد یافت.
۳. با افزایش طول ترک در یک عمق ثابت (با کاهش نسبت  $a/c$ ) همان‌گونه که در نتایج مشاهده می‌شود، این امر موجب افزایش ضریب شدت تنش می‌شود.
۴. بررسی تأثیر اختلاف دما در مخزن هنگامی که دمای جداره داخلی بیشتر از جداره بیرونی است، باعث کاهش ضرایب شدت تنش می‌شود. مشاهده شد با انتخاب دمای داخلی و بیرونی به ترتیب ۲۸۰ و ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد، مقادیر ضرایب شدت تنش در ابعاد مختلف ترک کاهش یافت.
۵. در نهایت می‌توان گفت فشارهای داخلی مخزن بر جداره آن موجب انتشار و رشد ترک می‌شود. در مراحل اولیه





- [8]. Kirthan, L.J., Hegde, R., Suresh, B.S. and Kumar, R.G. , “Computational analysis of fatigue crack growth based on stress intensity factor approach in axial flow compressor blades”, *Procedia Materials Science*, 5, pp. 387-397, (2014).
- [9]. Murtaza, U. T and Hyder, M. J. , “ The effects of thermal stresses on the elliptical surface cracks in PWR reactor pressure vessel”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 75, pp. 124-136, (2015).
- [10]. Meriem-Benziane, M., Abdul-Wahab, S.A., Zahloul, H., Babazian, B., Hadj-Meliani, M. and Pluvinage, M., “Finite Element Analysis of the Integrity of An API X65 Pipeline With a Longitudinal Crack Repaired With Single-And Double-Bonded Composites”, *Journal of Composite Part B: Engineering*, Vol. 77, pp. 431-439, (2015).
- [11]. Pathak, H., Singh, A., and Singh, I. V., “Numerical simulation of 3D thermo-elastic fatigue crack growth problems using coupled FE-EFG approach”, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98(3), pp. 95-312, (2017).
- [12]. Shahani, A. R and Habibi, S. E. , “ Stress intensity factors in a hollow cylinder containing a circumferential semi-elliptical crack subjected to combined loading”, *International journal of Fatigue*, 29(1), pp. 128-140, (2007).

# Three-Dimensional Simulation and the Effect of Temperature on Axial and Peripheral Quasielliptical Cracks in Cylindrical Tanks

Hadi Raki<sup>1</sup>, Jalil Jamali<sup>2\*</sup>

1. M.Sc., Mechanical Engineering Department, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran  
2. Assistant Professor, Mechanical Department, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

Corresponding Author, Email: [jjamali@iau-shoushtar.ac.ir](mailto:jjamali@iau-shoushtar.ac.ir)

## Abstract

*During the life of a reservoir, defects such as cracks are inevitable due to reasons such as corrosion or fatigue loading, and so on. One of the most common types of cracks is the half-elliptic cracks. The purpose of this study is to investigate this type of cracks in the ASME standard steel cylinder tank model and its thermomechanical effects. In order to simulate the cracks, two  $a/c$  and  $a/t$  ratios representing the dimensions of the cracks are used. Here, in order to obtain stress intensity coefficients from the crack and tank simulation in the ANSYS finite element software, the workbench environment has been used. In order to calculate the stress intensity coefficients, it was necessary to create local coordinates in different points on the crack front and calculate the stress intensity coefficients based on the different contours in the nodes around the crack tip or the crack opening in the crack front, based on the desired criterion. Regarding to the values of the stress intensity coefficients obtained from the specific dimensions of cracks in the reservoir, as well as the loading conditions and the shape of the reservoir, we can determine the criticality of the crack. According to the results obtained from the previous steps and with the help of the Paris equation, the reservoir life and the number of loading cycles were determined. Finally, the results of the stress coefficient were compared with the results of the stress intensity factor due to the difference in the temperature of the reservoir wall.*

**Keywords:** Pressure vessel, fatigue life assessment, half-elliptic cracks.

