

تعیین تابع وزنی برای تحلیل ضریب شدت تنش و عمر خستگی مخازن جدار ضخیم برمبنای تابع جابجایی صفحه های ترک

عباس راستگو*، کامران اژدری** و مهدی احمدی***

چکیده

تعیین ضریب شدت تنش پارامتر اصلی در طراحی مخازن است و آنچه که در مکانیک شکست خطی، کنترل کننده رفتار ترک است مقدار ضریب شدت تنش است. روش های متفاوتی برای تخمین این مقدار وجود دارد. روش تابع وزنی به عنوان یکی از روش های تخمین ضریب شدت تنش به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله تابع وزنی بر مبنای تخمین تابع جابجایی ترک با استفاده از مدل سازی در نرم افزار Ansys9 در یک هندسه خاص لوله توپ به دست آورده شده است. سپس با استفاده از تابع وزنی، ضریب شدت تنش و عمر خستگی لوله توپ در حالت وجود اتوفریتاژ با استفاده از رفتار واقعی ماده به دست آمده و با نتیجه های موجود مقایسه شده است. روش ارایه شده در این مقاله یک روش کلی بوده که برای هر هندسه مخزن با هر تعداد ترک داخلی یا خارجی و هر طول نسبی ترک قابل اعمال است.

واژه های کلیدی: مخازن جدار ضخیم، ضریب شدت تنش، تابع جا به جایی، تابع وزنی،

۱- مقدمه

همچنین با داشتن مقدار ضریب شدت تنش می توان به تخمینی از عمر قطعه دست یافت [۱]. با توجه به بالا بودن مقدار فشار در مخازن جدار ضخیم برای افزایش نسبت مقاومت به وزن و کاهش ضریب شدت تنش و افزایش عمر خستگی از فرایندی تحت عنوان اتوفریتاژ استفاده می شود. اعمال فشار داخلی و بردن لایه های داخلی به حالت پلاستیک، سبب ایجاد یک تنش پسماند فشاری، با حذف فشار اعمال شده خواهد شد. روش های متفاوتی برای به دست آوردن مقدار ضریب شدت تنش استفاده می شود. امروزه استفاده از FEM در تعیین مقدار ضریب شدت تنش به طور گسترده رواج یافته است. ولیکن نیاز به تکرار فرایند حل برای یک ترک ویژه در حل هر میدان بارگذاری اعمالی دارد که از معایب معمول این روش است. برخلاف روش FEM، استفاده از روش تابع وزنی جزء روش هایی است که می توان با استفاده از آن با دانستن تابع وزنی مربوط به هر هندسه

سیلندرهای جدار ضخیم توخالی به طور گسترده ایی در مخازن تحت فشار، در صنایع نظامی و شیمیایی استفاده می شوند. این مخازن به طور گسترده ایی در لوله های توپ مورد استفاده قرار می گیرند. ترک های اولیه روی سطوح داخلی و خارجی این لوله ها ممکن است در حین فرایند تولید یا در حین سیکل کاری روی لوله ایجاد شوند. ضریب شدت تنش ناشی از بار اعمالی ممکن است سبب گسترش یا عدم گسترش ترک شود. با بررسی مقدار ضریب شدت تنش می توان دریافت که قطعه تحت بارگذاری خواهد شکست یا نه. بنابراین، آنچه که در مکانیک شکست خطی کنترل کننده رفتار ترک است مقدار ضریب شدت تنش است.

*- استادیار، گروه مکانیک دانشگاه تهران، (نویسنده مسئول)، پست الکترونیک arastgo@ut.ac.ir
 **- کارشناس ارشد، گروه مکانیک دانشگاه تهران
 ***- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان

برای تعیین معادله‌ی ۱ از یک بارگذاری مرجع برای تعیین حالت مورد نیاز بایستی استفاده شود. یک حالت ساده، بارگذاری یکنواخت فشاری روی صفحه‌های ترک است که چنین بارگذاری در این مقاله انتخاب شده است زیرا که مثال، انتخاب شده در این شرایط قرار دارد. مطلوب ما در این مقاله تعیین ضریب شدت تنش است. در صورتی که تابع وزنی برای یک هندسه مورد نظر تعیین شود، ضریب شدت تنش برای هر سیستم بارگذاری و هندسه بیان شده از فرمول ۲ قابل محاسبه است [۳]:

$$K_I = \int_0^a \sigma(x) \cdot h(x, a) dx \quad (2)$$

$\sigma(x)$ مؤلفه تنش در اثر بارگذاری اعمالی، با حذف کردن ترک از قطعه است. این مؤلفه تنش در مخازن شامل مؤلفه تنش ناشی از فشار داخلی و فشار داخلی اعمال شده بر صفحه‌های ترک است.

تعیین تابع وزنی برای صفحه‌های ترک خورده گوناگون توسط روش‌های تحلیلی مشکل است. بنابراین، استفاده از روش‌های چون المان محدود و المان مرزی برای تعیین تابع وزنی رواج یافته است. مبنای این مقاله براساس تخمین میدان جا به جایی $U_{Ir}(x, a)$ با استفاده از نتیجه‌های به دست آمده از المان محدود استوار است. برای تعیین تابع وزنی معادله‌ی ۱ افزون بر تعیین معادله‌ی جا به جایی $U_{Ir}(x, a)$ مربوط به بارگذاری مرجع نیاز به دانستن مقدار K_{Ir} در این هندسه نیز است.

[۵] Petroski و Achenbac توابعی برای تخمین میدان جا به جایی صفحه‌های ترک در هندسه‌های متفاوت ورق و پوسته‌های ارابه کرده‌اند. آنها یک تابع تقریبی $\partial u(x, a) / \partial a$ را برای تعیین تابع وزنی مربوط به ترک‌های گوشه‌ای قرار گرفته در صفحه‌های ارابه کرده. تابع وزنی ارابه شده در این مقاله بر مبنای تعیین میدان جا به جایی $U_{Ir}(x, a)$ و استفاده از این میدان جا به جایی در تعیین مقدار K_{Ir} استوار است. میدان جا به جایی با استفاده از روش curve-fitting بر روی نتیجه‌های حاصل از المان محدود به دست می‌آید. در نهایت با استفاده از تابع جا به جایی حاصل و بدست آوردن K_{Ir} ، تابع وزنی مربوط به دست آمده است.

آنگاه در هر میدان بارگذاری اعمالی مقدار ضریب شدت تنش را به دست آورد.

روش تابع وزنی به عنوان یک روش قوی و دقیق برای نخستین بار توسط Buck (۱۹۷۰) برای تعیین ضریب‌های شدت تنش ناشی از اعمال بارگذاری‌های مکانیکی ارائه شده است. تابع وزنی بعنوان یک تابع عمومی فقط تابعی از هندسه ترک و قطعه بودن و مستقل از بارگذاری است. در صورتی که تابع وزنی برای یک حالت ساده بارگذاری به دست آید، از آن می‌توان برای محاسبه ضریب شدت تنش ناشی از هر میدان بارگذاری در همان هندسه استفاده کرد [۲].

در این مقاله با استفاده از روش المان محدود و تعیین تابع جا به جایی صفحه ترک ناشی از بارگذاری مرجع، مقدار تابع وزنی در مخزنی با هندسه معلوم به دست آورده شده است و با سایر نتیجه‌های موجود مقایسه شده است. در ادامه با استفاده از آن مقدار ضریب شدت تنش و عمر خستگی در شرایط کاری متفاوت و با فرض وجود و عدم وجود اتوفریتاژ به دست آورده می‌شود. برای مقدار میدان تنش پسماند ناشی از اتوفریتاژ از نتیجه‌های ارابه شده توسط جاهد که رفتار واقعی ماده را در نظر می‌گیرد، استفاده شده است.

۲- نظریه‌ی تعیین تابع وزنی

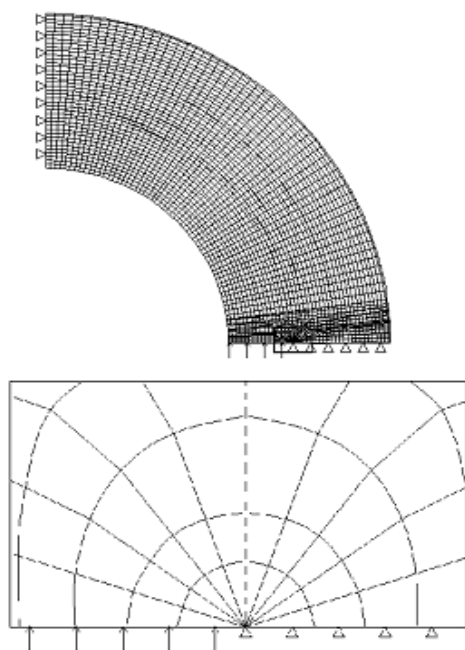
در صورتی که ضریب شدت تنش $K_{Ir}(a)$ و میدان جا به جایی $U_{Ir}(x, a)$ برای مخزنی که تحت بارگذاری متقارن (که تحت عنوان حالت مرجع شناخته می‌شود) معین باشد تابع وزنی مربوط به مد I به صورت زیر تعیین می‌شود [۳].

$$h_I(x, a) = \frac{E'}{K_{Ir}(a)} \cdot \frac{\partial U_{Ir}(x, a)}{\partial a} \quad (1)$$

که $E' = E$ (تنش صفحه‌ای) و $E' = E / (1 - \nu^2)$ (کرنش صفحه‌ای) که E مدول الاستیسیته و ν ضریب پواسون است.

همان گونه که عنوان شد در صورتی که تابع وزنی مربوط به یک قطعه ترک خورده معین باشد به طور مستقیم می‌توان با استفاده از آن ضریب شدت تنش ناشی از هر نیروی سطحی (Surface Loading) و بدنه‌ای (body Loading) را تعیین کرد.

داخلی ایجاد شده در مخازن جدار ضخیم می توان دریافت که خطرناک ترین حالت تعداد ترک ها، وجود دو ترک متقارن سرتاسری نسبت به محور مخزن در جدار داخلی این گونه از مخازن است [۶ و ۷] با توجه به فرض وجود دو ترک سرتاسری متقارن داخلی، مدل سازی یک چهارم مخزن در نرم افزار مورد استفاده (Ansys9) کافی است. مدل سازی در حالت بارگذاری مرجع با فرض تنش صفحه‌ای و استفاده از المان *plane82* و المان گذاری سینگولار در نوک ترک انجام شده است. در شکل ۱ مدل ایجاد شده در نرم افزار و بارگذاری مرجع اعمالی نشان داده شده است.



شکل ۱ مدل المان محدود با بارگذاری مرجع در

$$a/t = 0.4$$

بارگذاری مرجع اعمالی به صورت بار فشاری (شرایط مثال) $\sigma(x) = 1 \text{ Mpa}$ روی صفحه ترک وارد شده است. با انجام مدل سازی مقطع مخزن و اعمال بار فشاری مرجع، جا به جایی در نسبت طول ترک های متفاوت به دست آورده شده است. مقدار طول ترک نهایی بر اساس مقدار ضریب شدت تنش بحرانی تعیین می شود. ولیکن در طراحی مقدار طول ترک مجاز را به صورت $a_f = \min(0.25t, a_c)$ [8] نیز تعریف می کنند. از این روی مقدار محدوده بررسی تا ترک هایی با طول حداکثر ۰٫۳ ضخامت در این مقاله انتخاب شده است. البته لازم به ذکر است که با توجه به بالا بودن فشار در مخازن جدار ضخیم به طور

۳- تعیین جا به جایی صفحه ترک

برای تعیین تابع وزنی معادله‌ی ۲ لازم است که تابع جا به جایی صفحه‌ی ترک تعیین شود. مسأله اصلی تعیین تابعی است که روی مقدارهای جا به جایی بدست آمده از المان محدود فیت شود. برای بارگذاری مد I، جابجایی در نزدیک نوک ترک به صورت زیر قابل بیان است [۵].

$$u(x, a) = \frac{4k}{E'} \left(\frac{a-x}{2\pi} \right)^{0.5} \quad (3)$$

مقدار ضریب شدت تنش k به صورت $k = \sigma \sqrt{\pi a} f(a/L)$ قابل بیان است. F یک تابع بدون بُعد برحسب طول ترک a و بعد مشخصه L است. (در مخازن استوانه ای بُعد مشخصه را با t نشان می دهند.) یک تقریب مناسب برای بیان معادله جا به جایی به صورت یک سری قابل بیان است که جمله اول آن بصورت $C_1(a)(a-x)^{0.5}$ می باشد. ترم های دیگر این سری بصورتی است که مقادیر آنها با نزدیک شدن به نوک ترک به سمت صفر میل می کند.

$$u(x, a) = \sum_{n=0} C_n(a) \frac{1}{2^{1+n}} (a-x)^{\frac{1}{2}+n} \quad (4)$$

Petroski و Achenbac برای به دست آوردن معادله جا به جایی از دو ترم اول این سری برای به دست آوردن تابع جا به جایی مورد نظر به صورت زیر استفاده کردند.

$$u(x, a) = c_1 \left(\frac{a}{t} \right) a^{\frac{1}{2}} (a-x)^{\frac{1}{2}} + c_2 \left(\frac{a}{t} \right) a^{\frac{1}{2}} (a-x)^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

خطای ناشی از حذف بقیه جمله ها بر روی مقدارهای به دست آمده از تابع ۵ نسبت به مقدارهای واقعی ناچیز است. این در حالی است که مقدار خطای ناشی از حذف این جمله ها روی مقدار ضریب شدت تنش به دست آمده کمتر از خطای ایجاد شده روی مقدار جا به جایی می باشد.

با استفاده از فرم معادله جابجایی ارائه شده توسط Petroski و Achenback و مقادیر جابجایی بدست آمده برای هندسه مخزن و طول ترک ها مختلف انتخاب شده می توان معادلات جابجایی مورد نیاز را به دست آورد.

روش ارایه شده در این مقاله برای به دست آوردن مقدار ضریب شدت و عمر خستگی مخزنی با شعاع داخلی $R_i = 78.41 \text{ mm}$ و $R_o = 147.41 \text{ mm}$ مورد استفاده قرار گرفته است. حل صورت گرفته تنها بر مبنای اعداد بیان شده در بالا استوار است. لازم به ذکر است که روش کلی این چنین است و برای هر هندسه مورد نیاز قابل اعمال است. با بررسی ضریب های شدت تنش ناشی از ترک های

با استفاده از معادله‌ی ۷ و قرار دهی توابع جا به جایی به دست آمده در هر نسبت طول ترک می توان مقدار ضریب شدت تنش K_{Ir} را به دست آورد. با قراردادی تابع های جا به جایی به دست آمده، مقدار ضریب های شدت تنش K_{Ir} مربوط به هر طول نسبی ترک به صورت مقادیر ارایه شده در جدول ۲ بدست خواهد آمد.

جدول ۲. ضریب های شدت تنش در بارگذاری مرجع در

نسبت طول ترک های متفاوت

a/t %	$K_{Ir} (Pa.m^{0.5})$
0.1	9554.9
0.2	13675
0.5	21808
1	30873
2	43414
4	60342
5	66818
8	81957
10	89670
15	103710
20	112600
30	120180

۵- تعیین تابع وزنی

مقدار ضریب شدت تنش به دست آمده با حل انتگرال معادله‌ی ۶ به صورت تابعی برحسب طول ترک a خواهد بود که به صورت فرم کلی $K_{Ir} = f(a)$ قابل نمایش است. با قرار دهی فرم کلی ضریب شدت تنش و تابع جا به جایی معادله‌ی ۵ در معادله‌ی ۱ تابع وزنی حاصل به فرم کلی ارایه شده در معادله‌ی ۸ قابل بیان است:

$$h\left(\frac{a}{t}\right).a^{0.5} = E\left(1-\frac{x}{a}\right)^{0.5} + F\left(1-\frac{x}{a}\right)^{1.5} + G\left(1-\frac{x}{a}\right)^{-0.5} \quad (۸)$$

ضریب های E و F و G با قرار دهی تابع های جا به جایی و ضریب شدت تنش حاصل از بارگذاری مرجع در هر کدام از طول ترکهای نسبی عنوان شده در معادله‌ی ۱ قابل به دست آوردن است. در جدول ۳ مقادیرهای E و F ، G به دست آمده برای هر یک از طول ترکهای نسبی استفاده بیان شده است.

جدول ۳ ضریب های E و F و G تابع وزنی در طول

ترک های متفاوت

a/t %	E	F	G
0.1	0.72942	0.70824	0.048749
0.2	0.66927	0.74064	0.049783

معمول مقدار طول ترک بحرانی کمتر از این مقدار است. با استفاده از روش curve-fitting و فرم کلی معادله‌ی ۶ تابع های جا به جایی مربوط به هر طول نسبی ترک در هنگام اعمال بارگذاری مرجع به دست آمده است. مقادیرهای C_1 و C_2 مربوط به تابع جا به جایی هر کدام از طول ترک های نسبی انتخاب شده در جدول ۱ نشان داده شده است. خطای ناشی از فیت نمودن فرم کلی معادله (۶) بر روی نتیجه های موجود به طور معمول کمتر از ۱٪ است.

جدول ۱. مقادیرهای C_1 و C_2 بر حسب مقدار a/t در

مخزن مورد بررسی در بارگذاری مرجع

a/t %	C_1	C_2
0.1	1.49E-05	-9.61E-07
0.2	1.49E-05	-9.65E-07
0.5	1.50E-05	-1.08E-06
1	1.49E-05	-1.12E-06
2	1.49E-05	-1.18E-06
4	1.48E-05	-1.29E-06
6	1.48E-05	-1.41E-06
8	1.49E-05	-1.49E-06
10	1.51E-05	-1.58E-06
15	1.58E-05	-1.84E-06
20	1.66E-05	-1.87E-06
30	1.86E-05	-1.64E-06

۴- تعیین ضریب شدت تنش در حالت بارگذاری

مرجع

از روش ارایه شده در زیر برای به دست آوردن ضریب شدت تنش ناشی از بارگذاری مرجع در طول نسبی ترک های متفاوت استفاده شده است. با قراردادن معادله‌ی ۱ در معادله‌ی ۲ خواهیم داشت.

$$K_I = \frac{E'}{K_{Ir}} \int_0^a \sigma(x) \frac{\partial u_{Ir}(x,a)}{\partial a} dx \quad (۶)$$

با توجه به اینکه در حالت بارگذاری مرجع مقدار $K_I = K_{Ir}$ (خود سازگاری) و قراردادی مقدار بارگذاری مرجع $\sigma(x) = 1Mpa$ در معادله (۶) مقدار ضریب شدت تنش در حالت بارگذاری مرجع با استفاده از تابع جا به جایی به صورت معادله‌ی ۷ بیان می شود:

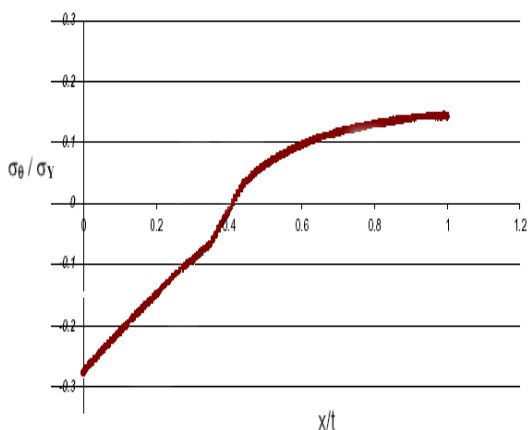
(۷)

$$K_{Ir}^2 = 1^6 E' \int_0^a \frac{\partial}{\partial a} \left[c_1 \left(\frac{a}{t}\right) a^{0.5} (a-x)^{0.5} + c_2 \left(\frac{a}{t}\right) a^{-0.5} (a-x)^{1.5} \right] dx$$

برای افزایش نسبت مقاومت به وزن و کاهش مقدار ضریب شدت تنش ترک های ایجاد شده روی سطوح داخلی لوله از فرایند اتوفریتاژ برای ایجاد تنش پسماند فشاری بر روی سطوح داخلی استفاده می شود. میزان اتوفریتاژ لوله های مخازن جدار ضخیم براساس رابطه ای محاسبه می شود که به عنوان درصد اتوفریتاژ شناخته می شود و به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$\text{درصد اتوفریتاژ} = \frac{(\rho - R_i)}{(R_o - R_i)} \quad (11)$$

ρ شعاع مزر لایه الاستیک - پلاستیک لوله در اثر اتوفریتاژ است. برای تعیین مقدار تنش پسماند ناشی از اتوفریتاژ مقدار تنش پسماند بر اساس مقدار تنش پسماند ارایه شده توسط جاهد به دست آورده شده است. مقدار درصد اتوفریتاژ فرض شده در این بررسی ۵۰٪ است. مقدار تنش پسماند در میان جداره مخزن در شکل ۲ ارایه شده است.



شکل ۲ مقدار تنش پسماند مماسی در میان مخزن ۵۰٪ اتوفریتاژ شده [8]

در ادامه با فرض وجود فشار داخلی $P = 385 \text{ MPa}$ میدان تنش ذکر شده در شکل ۳ مقدار تنش در حالت وجود و عدم وجود اتوفریتاژ عنوان شده است. همان گونه که دیده می شود انجام اتوفریتاژ سبب کاهش بسیار زیادی در مقدار ضریب شدت تنش می شود. مقدار ضریب شدت تنش به دست آمده با فرض عدم وجود اتوفریتاژ در مقایسه با مقدار به دست آمده به وسیله روش ارایه شده توسط Parker [4] حداکثر ۲٪ خطا دارد که این خود گویای دقت روش ارائه شده در به دست آوردن مقدار ضریب شدت تنش است.

0.5	0.61589	0.76939	0.052354
1	0.58899	0.78388	0.055514
2	0.56997	0.79412	0.060131
4	0.55652	0.80137	0.06676
5	0.55309	0.80321	0.069441
8	0.54701	0.80649	0.076166
1۰	0.54458	0.8078	0.079939
15	0.54081	0.80983	0.087881
2۰	0.53857	0.81104	0.094417
3۰	0.5359	0.81247	0.10482

با توجه به این که مقدارهای E و F و G در این قسمت فقط تابعی از طول ترک هستند. می توان تابعی برحسب طول نسبی ترک a/t از آنها گذرانید. با استفاده از روش curve-fitting تابع های به دست آمده در این حالت به صورت زیر قابل نمایش هستند. مقدارهای E و F و G را می توان به صورت تابع هایی بر حسب مقدار a/t نشان داد:

$$E = 6.48E - 05(810.30 + (a/t)^{-0.5}) \quad (9-1)$$

$$F = -3.50E - 4(-235.52 + (a/t)^{-0.5}) \quad (9-2)$$

$$G = 70.29E - 4(1.01 + (a/t)^{-0.5}) \quad (9-3)$$

با استفاده از تابع های ضریب های ارایه شده در بالا و جای گذاری آنها در معادله ۸ و همچنین داشتن تابع میدان تنش در میان جداره مخزن با استفاده از انتگرال گیری معادله ۲ می توان ضریب شدت تنش مربوط به هر طول ترک a را به دست آورد.

۶- میدان تنش

با توجه به فرمول ۲ برای به دست آوردن ضریب شدت تنش ناشی از یک بارگذاری با استفاده از تابع وزنی نیاز به دانستن میدان تنش در محل ترک در عدم وجود ترک است. در صورتی که تنها میدان بارگذاری اعمالی ناشی از فشار داخلی باشد مقدار تنش استفاده شده در معادله ۲ به صورت زیر خواهد بود [5]:

$$\sigma(x) = \frac{PR_0^2}{R_0^2 - R_i^2} \left(1 + \frac{(R_i + X)^2}{R_0^2} \right) + P \quad (10)$$

که قسمت اول معادله بالا مربوط به تنش مماسی مربوط به فشار داخلی و قسمت دوم P مربوط به فشار وارد شده بر صفحه های ترک است.

ضریب شدت تنش ناشی از اتوفریتاژ

انتگرال ارایه شده در معادله‌ی ۱۲ (فرمول پاریس) می‌توان عمر خستگی قطعه را به دست آورد.

$$N = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{c(\Delta k)^n} \quad (12)$$

طول ترک های اولیه موجود در سطح و a_f طول نهایی ترک (ترک بحرانی) که برابر با طول ترکی اختیار می‌شود که مقدار ضریب شدت تنش در آن به مقدار ضریب شدت تنش بحرانی قطعه K_{IC} رسیده باشد. ویژگی های فولاد عنوان شده مطابق با فولاد استفاده شده توسط جاهد است. خواص این فولاد به صورت زیر است [8]:

$$n = 2.8 \quad c = 2.41 \times 10^{-11} m/cycle$$

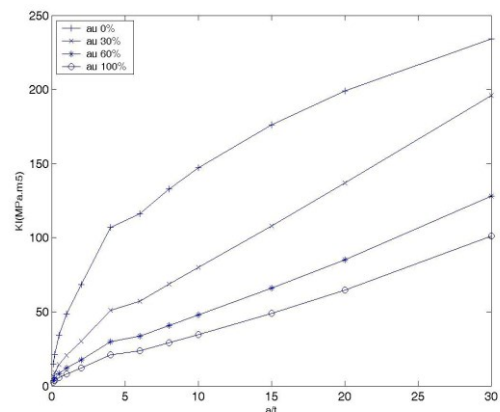
$$K_{IC} = 85.5 Mpa\sqrt{m} \quad S_y = 880 Mpa$$

در حالت عنوان شده با توجه به صفر یا منفی (در حالت اعمال اتوفریتاژ) بودن تنش در حالت عدم اعمال فشار داخلی ($K_{min} = 0$)، $\Delta K = K_{max}$ می‌شود.

با استفاده از تابع وزنی ارایه شده معادله‌ی ۹ و قرار دهی توابع تنش ناشی از فشار داخلی و تنش پسماند ناشی از اتوفریتاژ، ضریب شدت تنش بر حسب طول ترک به دست خواهد آمد. با قرار دهی ضریب شدت تنش حاصل بر حسب طول ترک در معادله‌ی ۱۲ و انتخاب طول ترک اولیه $a_i = 0.1mm$ (به طور معمول طول ترک های اولیه بین $1mm$ تا $2mm$ انتخاب می‌شوند) و طول ترک نهایی (طول ترکی که در آن $K_{max} = K_{IC}$) و عمر خستگی در فشار کاری $P = 385MPa$ به دست خواهد آمد. تعداد سیکل کاری به دست آمده در این حالت ۲۳۵۸۵ سیکل است که در مقایسه با عمر ۲۳۸۷۹ سیکل به دست آمده توسط جاهد [8] تنها کمی تفاوت دارد. که این بیانگر دقت این روش در به دست آوردن ضریب های شدت تنش و عمر خستگی مخازن است.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله روشی کلی برای به دست آوردن تابع وزنی مورد نیاز برای هر هندسه مخزن بر مبنای استفاده از فرم تابع جا به جایی صفحه های ترک در یک بارگذاری مرجع ارایه شده است. در ادامه روش بالا برای به دست آوردن



شکل ۳ مقدار ضریب های شدت تنش به دست آمده به وسیله تابع وزنی ارایه شده در مخزن مورد بررسی در درصد اتوفریتاژهای متفاوت

جدول ۴ مقدار ضریب شدت تنش در طول ترک های با فرض وجود و عدم وجود اتوفریتاژ در حالت اعمال فشار داخلی $P = 385MPa$

a/t %	autofrettage0%	autofrettage50%
0.1	3.15E6	5.44E5
0.2	4.51E6	7.79E5
0.5	7.20E6	1.24E6
1	1.02E7	1.76E6
2	1.43E7	2.47E6
4	1.99E7	3.44E6
5	2.21E7	3.816E6
8	2.70E7	4.67E6
10	2.96E7	5.11E6
15	3.42E7	5.92E6
20	3.72E7	6.42E6
30	3.97E7	6.85E6

۷- تخمین عمر خستگی

با توجه به معادله‌ی ۱۲، با داشتن خواص ماده (c, n) و تغییرهای ضریب شدت تنش در طول ترکهای مختلف می‌توان عمر خستگی قطعه را محاسبه کرد. با استفاده از

پاریس به دست آورده شده است. روش ارایه شده در این مقاله یک روش کلی بوده که برای هر هندسه مخزن با هر تعداد ترک داخلی یا خارجی و هر طول نسبی ترک قابل اعمال است. تابع ارایه شده در این مقاله مربوط به یک هندسه مخزن است، که با مدل سازی و به دست آوردن تابع وزنی در هندسه های متفاوت مخزن و ترک می توان به تابع وزنی کلی برای هندسه های متفاوت مخزن دست یافت.

تابع وزنی در یک هندسه خاص مخزن اتوفریتاژ شده و اتوفریتاژ نشده با تعداد معینی ترک داخلی (دو ترک متقارن) استفاده شده است. مقایسه نتیجه های ضریب شدت تنش حاصل از روش ارائه با نتیجه های ارایه شده در مقاله [4] Parker بیانگر دقت بالای این روش در به دست آوردن ضریب شدت تنش است. در این مقاله عمر

خستگی مخزن مورد مطالعه با استفاده از ضریب شدت تنش به دست آمده از تابع وزنی و استفاده از فرمول

۹- مراجع

- [1] Kendall, D. P., A Simple Fracture Mechanics Based Method for Fatigue Life Prediction in Thick-Walled Cylinders. Transactions of ASME, Vol. 108, NOVEMBER, pp. 490-494, 1986.
- [2] Ma, C.C., Huange, J. I. and Tsai, C.H., weight function and stress intensity for axial crack in hollow cylinders, ASTM J. Pressure Vessel Technology, Vol. 116, NOVEMBER, pp 423-430, 1994.
- [3] Glinka, G., Shen, G., Universal features of weight functions for cracks in mode I. Engineering Fracture Mechanics ,Volume 40, Pages 1135-1146, 1991.
- [4] Parker, A. P., Tan, C. L, Stress Intensity Factor for Internal Straight and Curve-Fronted Cracks in Thick Cylinders, Gun Tube Conference, Cranfield Univ, 2005.
- [5] Petroski HJ, Achenbach JD Computation of the weight function from a stress intensity factor. Engng Fract Mech; 10:257-266, 1978.
- [6] Banks-Sills, L., and Eliasi, R. Fatigue life analysis of a cannon barrel. Eng. Failure Analysis 6, pp 371-385, 1999.
- [7] Levy, C., Perl, M., and Ma, Q., The Influence of Multiple Axial Erosions on the Fatigue Life of Autofrettaged Pressurized Cylinders. ASTM J. Pressure Vessel Technology, AUGUST, pp 293-297, Vol. 123, 2001.
- [8] Jahed, H., Farshi, B., Hosseini, H., Lifle Prediction Of Autofrettaged Tube Using Actualmaterial Behavior, ASTM J. Pressure Vessel Technology.

فهرست علائم

$\sigma_{\theta\theta}$ تنش	E مدول الاستیسیته
K_I ضریب شدت تنش در مد I بارگذاری	ν ضریب پواسون
$K_{I,r}$ ضریب شدت تنش مد I در هنگام بارگذاری	R_i شعاع داخلی مخزن
مرجع	R_o شعاع خارجی مخزن
K_{min} حداقل ضریب شدت تنش در یک دوره بارگذاری	ρ شعاع پلاستیک ناشی از اتوفریتاژ
K_{max} حداکثر ضریب شدت تنش در یک دوره ارگذاری	t ضخامت مخزن
ΔK دامنه ضریب شدت تنش در یک دوره بارگذاری	a طول ترک در راستای شعاع مخزن
	a_i طول ترک اولیه
	a_f طول ترک نهایی
	U جا به جایی در راستای عمود بر ترک (محور y)