

Estimation of corroded pipeline failure pressure using various versions of ASME B31.G

Abstract

Corrosion defects always occur in carbon steel pipelines and due to their reduction in pipe wall thickness, the pipe will fail at a pressure lower than the pressure calculated by given yield strength. Therefore, one of the most important factors in controlling the integrity of pipelines, is failure due to corrosion. The burst pressure test is one of the laboratory tests that is carried out to evaluate the failure pressure of corroded pipes and is not applicable in all pipeline cases depending on its nature and its cost is very high also. Therefore, in the industry, it has been tried to introduce and use guidelines for assessing and predicting failure pressure of corroded pipelines. The most widely used references is the ASME B31.G standard. This standard is published in different versions and also different level of analysis. In this article, the burst test results of 18 sample consist of 3 different type of corrosion and their configurations are also analyzed by all versions and levels of standard ASME B31.G and the results are compared together.

Keywords: Corrosion, Pipeline integrity, ASME B31.G, Failure pressure

تخمین فشار شکست لوله‌های خورده شده فولادی با استفاده از نسخه‌های متفاوت استاندارد ASME B31.G

نویسندگان:

سید صالح موسوی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد
تاکستان، تاکستان

علی شقاقی مقدم، استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تاکستان
کارشناس خط لوله، شرکت مهندسی و ساخت تاسیسات دریایی ایران، تهران

, 09127808909shaghghi@ioec.com

سعید محمد نیا، سرپرست گروه خط لوله، شرکت مهندسی و ساخت تاسیسات دریایی ایران، تهران

چکیده:

عیوب خوردگی همواره در لوله‌های فولاد کربنی رخ می‌دهد و با توجه به کاهش ضخامت ایجاد شده، باعث شکست لوله در فشاری پایین‌تر از فشار محاسبه شده با تنش تسلیم می‌گردد. به همین دلیل یکی از مهمترین فاکتورهای کنترل یکپارچگی خطوط لوله، شکست تحت تاثیر خوردگی است. تست فشار تا شکست خطوط لوله، یکی از تست‌های آزمایشگاهی است که به منظور ارزیابی فشار شکست لوله خورده شده صورت می‌گیرد و با توجه به ماهیت آن، قابلیت اجرا جهت ارزیابی کل خط لوله را نداشته و هزینه اجرای آن نیز بسیار بالا است. بنابراین در صنعت سعی بر آن شده‌است که مراجعی جهت ارزیابی و پیش‌بینی استحکام خطوط لوله دارای خوردگی، معرفی و استفاده گردد. یکی از پرکاربردترین این مراجع، استاندارد ASME B31.G می‌باشد. نسخه‌های متفاوتی از این استاندارد شامل نسخه سال ۱۹۹۱ و ۲۰۱۲ ارائه شده‌است و همچنین سطوح ارزیابی متفاوتی نیز در این استانداردها معرفی گردیده‌است. در این مقاله سعی بر آن شده‌است که نمونه‌های تست تجربی ۱۸ قطعه شامل ۳ نوع خوردگی و با چیدمان‌های متفاوت اعم از منفرد و مجتمع، توسط نسخه‌های متفاوت استاندارد ASME B31.G و سطوح متفاوت ارائه شده در آن، تحلیل و نتایج حاصله نیز با نتایج تست‌های آزمایشگاهی صورت گرفته، مقایسه گردد.

واژه‌های کلیدی: خوردگی، یکپارچگی خطوط لوله، استاندارد ASME B31.G، فشار شکست

مقدمه:

امروزه از خطوط لوله به طور گسترده در زمینه انتقال فرآورده‌های نفت و گاز استفاده می‌گردد. شروع استفاده از خطوط فولاد کربنی به منظور انتقال سیال در صنایع نفت و گاز از سال ۱۹۳۰ میلادی می‌باشد. (کیفner^۱، ۲۰۰۱) همواره متریکال فولاد کربنی با توجه به هزینه پایین و استحکام مکانیکی بالا بهترین انتخاب در این زمینه می‌باشد. به علت تمایل لوله‌های فولاد کربنی به خوردگی (پاپاویناسام^۲، ۲۰۱۴) دیر یا زود، لوله‌های فولادی دچار خوردگی خواهند شد. خوردگی خارجی به علت نفوذ خاک مرطوب به سطح فلز در اثر عواملی از قبیل عیوب پوشش و یا تخریب‌های پوشش در طول زمان، بروز می‌یابد (بیورز^۳ و تامسون^۴، ۲۰۰۶) و خوردگی داخلی در اثر وجود آب همراه سیال‌های نفتی ایجاد می‌شود. (گارتلند^۵، جانسون^۶ و اوستتون^۷، ۲۰۰۳)

خوردگی به علت کاهش ضخامت لوله، یکی از عوامل کاهش‌دهنده استحکام خط لوله بوده و یکی از اشکال مرسوم بروز خوردگی در خطوط لوله، کاهش ضخامت غیریکنواخت در یک محدوده می‌باشد. (بیورز و تامسون، ۲۰۰۶).

با گذشت زمان، ابعاد عیوب خوردگی ایجاد شده، بزرگتر شده و به یک نقطه بیشینه می‌رسد و در این نقطه بیشینه، خط لوله دچار ترک یا پارگی می‌شود. در خطوط لوله انتقالی تحت فشار بالای سیال، این شکست می‌تواند سبب توقف تولید، تخریب تجهیزات و یا آسیب به جمعیت انسانی مجاور گردد. بنابراین می‌بایست فشار شکست به گونه‌ای مناسب و با دید مسایل متعدد پیشگیرانه محاسبه گردد تا از بروز حوادث مذکور جلوگیری بعمل آید.

فشار شکست، بیشینه فشاری است که لوله می‌تواند قبل از شکست تحمل کند. فاکتورهای مورد نیاز در محاسبه فشار شکست کیفیت متریکال، ضخامت لوله، گرما و غیره می‌باشد. عیوب خوردگی به دو صورت منفرد و مجتمع^۸ مشاهده می‌شود. معمولاً فشار شکست در عیوب مجتمع کمتر از هنگامی است که این عیوب به صورت منفرد وجود داشته باشند. این کاهش بیشتر استحکام به دلیل برهم کنش عیوب مجاور است.

فشار شکست با انجام آزمایش فشار تا شکست کامل لوله در آزمایشگاه بدست می‌آید. کاربر خط لوله با انجام تست شکست، از سلامت سیستم و یکپارچگی ساختاری لوله خورده شده اطمینان می‌یابد. بهر حال تست شکست دارای محدودیت‌هایی از قبیل عدم امکان انجام تست جهت کلیه لوله‌های خط لوله، هزینه اجرایی زیاد و مسایل پیچیدگی زیاد دستورالعمل اجرایی قبل و بعد از تست می‌باشد. (کاروپانان^۹، عبدالوهاب^{۱۰}، پاتیل^{۱۱} و زاہری^{۱۲}، ۲۰۱۲)

- 1 Kiefner
- 2 Papavinasam
- 3 Beavers
- 4 Thompson
- 5 Gartland
- 6 Johnsen
- 7 Ovstetun
- 8 Colony
- 9 Karuppanan
- 10 Abdul Wahab
- 11 Patil
- 12 Zahari

با توجه به محدودیت‌های موجود انجام تست فشار، در استانداردهای متعدد و دستورالعمل‌های متعدد روش‌هایی جهت انجام تخمین فشار شکست ارائه شده است. این استانداردها با در نظر گرفتن فاکتورهای متفاوت نتایج متفاوتی در فشار شکست نهایی ارائه می‌دهند. این خطا همچنین بعلت سطوح مختلف محاسباتی در استانداردهای فوق می‌باشد. در این مقاله سعی بر آن است نتایج تست‌های شکست ارائه شده تحت عنوان دو مقاله با کوشش بنجامین^{۱۳}، فریر^{۱۴}، ویرا^{۱۵} و کنها^{۱۶} (۲۰۱۶)، توسط نسخه‌های متفاوت استاندارد ASME B31.G و همچنین سطوح مختلف ارزیابی ارائه شده در آن، مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج با هم مقایسه گردد. بدین ترتیب میزان خطای محاسبات فوق با نتایج تست‌های آزمایشگاهی مشخص خواهد شد. همچنین اثر برهمکنش عیوب در این مقاله بررسی خواهد گردید.

مبانی نظری پژوهش:

در مطالعات و تحقیق‌های مهندسی صورت گرفته، روش‌های ارزیابی نظری برای لوله‌های دارای خوردگی که برای محاسبه و تخمین فشار این لوله‌ها استفاده می‌گردد، در طول چند سال اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها در استاندارد ASME تحت عنوان استاندارد ASME B31.G منتشر شده است. سال ۱۹۸۴ اولین نسخه این استاندارد تحت عنوان دستورالعمل محاسبه استحکام باقیمانده لوله‌های خورده شده منتشر گردید. این مدرک روش‌های آسان محاسبه بر اساس ارزیابی‌ها و تست‌های انجام شده را در اختیار کاربر خط لوله قرار داده و استفاده از این مدرک، فشار ایمن بهره‌برداری در نواحی خورده شده را به کاربر می‌دهد. در تعدادی از ویرایش‌های اولیه ارائه شده از این مدرک، تغییرات جزئی در محاسبات صورت گرفت و سعی بر کاهش خطای محاسبات بود اما در چارچوب کلی محاسبات تغییری داده نشد. در ادامه، دستورالعمل‌های دیگری در زمینه محاسبات فشار شکست لوله خورده شده تهیه گردید. با تایید این روش‌ها و ضمن همکاری بین ارگان‌های تهیه کننده، ساختار کلی این مدرک در سال ۲۰۰۹ تغییر یافته و در چارچوب مشخص شده همگام با سایر دستورالعمل‌های استاندارد شده، قرار گرفت. نسخه سال ۲۰۱۲ این استاندارد در تاریخ ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۲، توسط انجمن استانداردهای ملی آمریکا (ANSI) تایید گردید.

روش محاسباتی استاندارد ASME B31.G نسخه ۱۹۹۱

در این استاندارد به منظور محاسبه حداکثر فشار مجاز از روش زیر استفاده شده است. ابتدا کمیت A طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$(1) A = 0.893 \frac{Lm}{\sqrt{D \times t}}$$

Lm: مقدار طول اندازه گیری شده

D: قطر اسمی لوله

t: ضخامت اسمی لوله

چنانچه مقدار $A \leq 4$ است، از فرمول زیر برای محاسبه P' استفاده می‌گردد:

¹³ Benjamin

¹⁴ Freire

¹⁵ Vieira

¹⁶ Cunha

$$(2) P' = 1.1 \times P \times \left[\frac{1 - \left(\frac{2}{3} \times \frac{d}{t}\right)}{1 - \left(\frac{2}{3} \times \frac{d}{t\sqrt{A^2+1}}\right)} \right]$$

P: بیشترین مقدار بین حداکثر فشار مجاز بهره برداری^{۱۷} و یا P محاسبه شده در زیر:

$$(3) P = 2 \times S \times t \times F \times T / D$$

S: حداقل مقدار مشخص شده تنش تسلیم

t: ضخامت اسمی لوله

F: ضریب طراحی بر اساس کد طراحی مربوطه شامل ASME B31.4, ASME B31.8, و یا ASME B31.11

T: ضریب کاهش دمای بر اساس کد طراحی B31 مربوطه

D: قطر اسمی لوله

چنانچه مقدار $A > 4$ است، از فرمول زیر برای محاسبه P' استفاده می‌گردد:

$$(4) P' = 1.1 \times P \times \left(1 - \frac{d}{t}\right)$$

روش محاسباتی استاندارد ASME B31.G نسخه ۲۰۱۲

در این استاندارد چهار سطح ارزیابی از سطح صفر تا سطح ۳، جهت تحلیل ناحیه خورده شده خطوط لوله استفاده می‌گردد و در هر یک از سطوح ارزیابی روشی جهت محاسبه استحکام شکست ارائه شده است. با محاسبه استحکام شکست می‌توان نسبت به محاسبه فشار بر اساس فرمول اصلی طراحی لوله اقدام کرد. در سطح صفر این استاندارد، استحکام محاسبه نمی‌گردد و تنها بر اساس ابعاد عیب، عیب مذکور تحلیل و ارزیابی می‌شود.

ارزیابی سطح یک:

ابتدا فاکتور Z از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$(5) Z = \frac{L^2}{(D \times t)}$$

L: طول خوردگی

D: قطر خارجی اسمی

t: ضخامت لوله

سپس به منظور محاسبه استحکام شکست از دو روش زیر استفاده می‌شود:

روش پایه^{۱۸} ASME B31.G:

فاکتور افزایشی تنش بالجینگ^{۱۹} (M) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$(6) M = (1 + 0.8 \times Z)^{1/2}$$

¹⁷ Maximum allowable operating pressure- MAOP

¹⁸ Original

¹⁹ Bulging

استحکام شکست برای مقادیر $Z \leq 20$,

$$(7) SF = S FLOW \times \left[\frac{1 - 2/3(d/t)}{1 - 2/3(d/t)/M} \right]$$

d: عمق خوردگی

و برای مقادیر $Z > 20$,

$$(8) SF = S FLOW \times (1 - d/t)$$

لازم به ذکر است در این استاندارد مقادیر متفاوتی برای S Flow تعریف شده است که از این مقادیر مقدار زیر با توجه به مشترک بودن با مقدار مشخص شده در نسخه‌های قبلی این استاندارد و به منظور سهولت در مقایسه نتایج بین نسخه‌های متفاوت، انتخاب شده و به کار رفته است.

$$(9) S FLOW = 1.1 \times SMYS$$

روش بهینه^{۲۰} ASME B31.G:

کمیت M، برای مقادیر $Z \leq 50$,

$$(10) M = (1 + 0.6275 Z - 0.003375 Z^2)$$

و برای مقادیر $Z > 50$,

$$(11) M = 0.032 Z + 3.3$$

استحکام شکست در این روش از معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$(12) SF = S FLOW \left[\frac{1 - 0.85(d/t)}{1 - 0.85(d/t)/M} \right]$$

ارزیابی سطح ۲:

این سطح ارزیابی تحت عنوان ارزیابی سطح موثر نامگذاری شده است و فشار شکست در این روش از طریق محاسبه و تخمین سطح خوردگی به دست می‌آید.

$$(13) SF = S FLOW \left[\frac{1 - A/A_0}{1 - (A/A_0)/M} \right]$$

A: سطح مقطع خوردگی در صفحه فرضی در راستای طول

A₀: سطح اولیه مقطع فلز در ناحیه خوردگی

لازم به ذکر است در این استانداردها، عیوبی که به فاصله سه برابر ضخامت اسمی لوله از یکدیگر فاصله داشته باشند منفرد در نظر گرفته شده و به طور جداگانه بررسی می‌شوند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مقاله نتایج تست‌های آزمایشگاهی انجام شده به کوشش بنجامین و همکاران (۲۰۱۶) توسط نسخه‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۱۲ استاندارد ASME B31.G تحلیل و ارزیابی می‌گردد. نتایج تست‌های آزمایشگاهی فوق در قالب دو مقاله منتشر گردیده است. در این مقاله از داده‌ها و نتایج تست آزمایشگاهی انجام شده با کوشش بنجامین و همکاران (۲۰۱۶) استفاده شده است. در مقاله مذکور ۳ نوع عیب با مشخصات مندرج در جدول ۲ در نظر گرفته شده و از طریق سایش روی ۱۸ قطعه از ۵ لوله با قطر خارجی

²⁰ Modified

۴۵۷,۶ میلیمتر (۱۸ اینچ) با متریال API 5L X70 و ضخامت اسمی ۷,۹ میلیمتر ایجاد شده است. مشخصات مکانیکی حاصل از انجام تست آزمایشگاهی لوله‌ها در جدول ۱ ارایه شده و کلیه ۱۸ قطعه مورد تست فشار آزمایشگاهی قرار گرفته است. تعداد عیوب در هر قطعه در جدول ۳ ذکر گردیده است. مشخصات هر قطعه به صورت تفکیکی و با ذکر فشار شکست آزمایشگاهی در جدول ۴ ارایه شده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی لوله‌های به کار رفته

لوله	استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	استحکام نهایی (مگاپاسکال)	انرژی تست ضربه ۲/۳ ضخامت قطعه (ژول)	انرژی تست ضربه ضخامت کامل قطعه (ژول)
۱	۶۶۲	۷۷۳	۷۱,۵	۱۰۷,۳
۲	۶۳۹	۷۳۲	۸۲,۰	۱۲۳,۰
۳	۶۵۴	۷۴۸	۵۳,۵	۸۰,۳
۴	۶۵۲	۷۳۹	۴۷,۵	۷۱,۳
۵	۵۸۰	۷۲۸	۵۵,۹	۸۳,۹

جدول ۲- مشخصات اسمی عیوب ایجاد شده

عیب	عمق (میلیمتر)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	شعاع انحنا	نسبت عمق به ضخامت
۱	۳,۲	۶۰	۳۰	۲,۵	۰,۴
۲	۴,۸	۳۰	۳۰	۳,۸	۰,۶
۳	۴,۸	۳۰	۹۰	۳,۸	۰,۶

جدول ۳- تعداد عیوب در نظر گرفته شده در هر قطعه

قطعه	تعداد عیب نوع ۱	تعداد عیب نوع ۲	تعداد عیب نوع ۳	تعداد کل عیوب
قطعه ۱۳	۱	-	-	۱
قطعه ۱۴	-	۱	-	۱
قطعه ۱۵	۲	۱	-	۳
قطعه ۱۶	۲	۲	-	۴
قطعه ۱۷	۳	۲	-	۵
قطعه ۱۸	۴	۱	-	۵
قطعه ۱۹	۵	۱	-	۶
قطعه ۲۰	۵	۱	-	۶
قطعه ۲۱	۶	۱	-	۷
قطعه ۲۲	۶	۲	-	۸
قطعه ۲۳	۶	۲	-	۸
قطعه ۲۴	۷	۲	-	۹
قطعه ۲۵	۵	۴	-	۹
قطعه ۲۶	۵	۴	-	۹

۱۰	-	۲	۸	قطعه ۲۷
۲	۱	-	۱	قطعه ۲۸
۳	۱	-	۲	قطعه ۲۹
۵	۲	-	۳	قطعه ۳۰

بنجامین و همکاران (۲۰۱۶) برای کلیه قطعات، تصاویر قبل و بعد از شکست و همچنین نمای بالا و مجاور قطعه ارائه نموده‌اند. برای نمونه، تصاویر قبل و بعد از شکست و نمای بالا و مجاور قطعه شماره ۱۶ در شکل‌های شماره ۳ تا ۶ ارائه شده است.

جدول ۴- مشخصات قطعات مورد تست آزمایشگاهی و فشار شکست بدست آمده

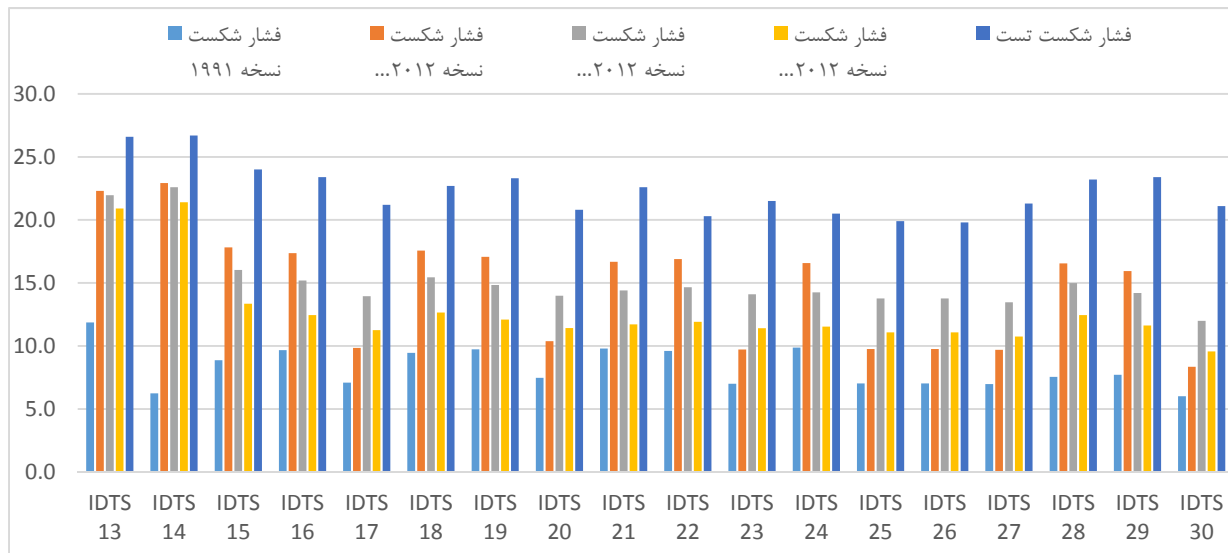
قطعه	ضخامت (میلیمتر)	قطر خارجی (میلیمتر)	تنش تسلیم (مگاپاسکال)	عمق بیشینه (میلیمتر)	طول خوردگی (میلیمتر)	عرض خوردگی (میلیمتر)	d/t	فشار شکست تست (مگاپاسکال)
قطعه ۱۳	۷٫۹	۴۵۷٫۳	۶۳۹	۳٫۰۷	۶۰	۳۰	۰٫۳۹	۲۶٫۶
قطعه ۱۴	۷٫۹	۴۵۷٫۳	۶۳۹	۴٫۸	۳۰	۳۰	۰٫۶۱	۲۶٫۷
قطعه ۱۵	۷٫۹	۴۵۷٫۳	۶۳۹	۴٫۷۶	۱۳۰	۱۱۰	۰٫۶۰	۲۴
قطعه ۱۶	۷٫۹۱	۴۵۷٫۳	۶۶۲	۴٫۷۹	۱۹۰	۷۰	۰٫۶۱	۲۳٫۴
قطعه ۱۷	۷٫۹۱	۴۵۷٫۳	۶۶۲	۴٫۸۲	۳۲۰	۶۰	۰٫۶۱	۲۱٫۲
قطعه ۱۸	۷٫۹۱	۴۵۷٫۳	۶۶۲	۴٫۸۳	۱۷۰	۱۱۰	۰٫۶۱	۲۲٫۷
قطعه ۱۹	۷٫۹۱	۴۵۷٫۳	۶۶۲	۴٫۸۲	۲۱۰	۱۲۰	۰٫۶۱	۲۳٫۳
قطعه ۲۰	۷٫۹۴	۴۵۷٫۳	۶۵۴	۴٫۶۴	۴۳۰	۸۰	۰٫۵۸	۲۰٫۸
قطعه ۲۱	۷٫۹۴	۴۵۷٫۳	۶۵۴	۴٫۸۳	۲۴۰	۱۱۰	۰٫۶۱	۲۲٫۶
قطعه ۲۲	۷٫۹۴	۴۵۷٫۳	۶۵۴	۴٫۸۶	۲۱۰	۱۴۰	۰٫۶۱	۲۰٫۳
قطعه ۲۳	۷٫۹۴	۴۵۷٫۳	۶۵۴	۴٫۸۵	۲۷۰	۱۳۰	۰٫۶۱	۲۱٫۵
قطعه ۲۴	۸٫۰۱	۴۵۷٫۳	۶۵۲	۴٫۹	۲۶۰	۱۲۰	۰٫۶۱	۲۰٫۵
قطعه ۲۵	۸٫۰۱	۴۵۷٫۳	۶۵۲	۴٫۹	۳۴۰	۱۳۰	۰٫۶۱	۱۹٫۹
قطعه ۲۶	۸٫۰۱	۴۵۷٫۳	۶۵۲	۴٫۹	۳۴۰	۹۰	۰٫۶۱	۱۹٫۸
قطعه ۲۷	۸٫۰۱	۴۵۷٫۳	۶۵۲	۴٫۹۲	۴۲۰	۱۲۰	۰٫۶۱	۲۱٫۳
قطعه ۲۸	۷٫۹۲	۴۵۷٫۳	۵۸۰	۴٫۹	۱۱۰	۹۰	۰٫۶۲	۲۳٫۲
قطعه ۲۹	۷٫۹۲	۴۵۷٫۳	۵۸۰	۴٫۹۵	۱۳۰	۱۷۰	۰٫۶۳	۲۳٫۴
قطعه ۳۰	۷٫۹۲	۴۵۷٫۳	۵۸۰	۴٫۹۳	۳۲۰	۱۲۰	۰٫۶۲	۲۱٫۱

کلیه قطعات فوق با در نظر گرفتن مشخصات عیوب، مطابق با استاندارد ASME B31.G نسخه سال ۱۹۹۱ و سطوح ارزیابی مختلف نسخه سال ۲۰۱۲ مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج محاسبات صورت گرفته در جدول ۵ و نمودار شکل ۱ ارائه شده است.

همچنین خطای محاسبات صورت گرفته بر مبنای فشار شکست تست، نیز محاسبه و نتایج مذکور در جدول ۶ و نمودار شکل ۲ مشخص شده است.

جدول ۵- نتایج محاسبات فشار شکست (بر حسب مگاپاسکال) بر اساس نسخه‌های متفاوت استاندارد ASME B31.G

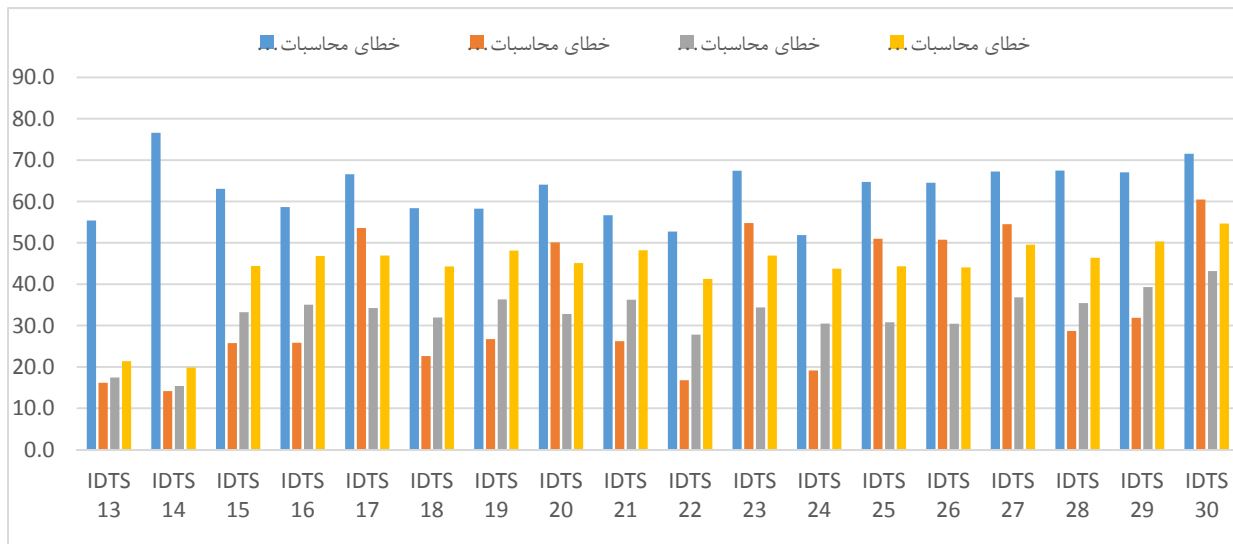
فشار شکست نسخه ۲۰۱۲ سطح دو- روش سطح موثر (مگاپاسکال)	فشار شکست نسخه ۲۰۱۲ سطح یک- روش بهینه (مگاپاسکال)	فشار شکست نسخه ۲۰۱۲ سطح یک- روش پایه (مگاپاسکال)	فشار شکست نسخه ۱۹۹۱ (مگاپاسکال)	فشار شکست تست (مگاپاسکال)	قطعه
۲۰,۹	۲۲,۰	۲۲,۳	۱۱,۹	۲۶,۶	قطعه ۱۳
۲۱,۴	۲۲,۶	۲۲,۹	۶,۲	۲۶,۷	قطعه ۱۴
۱۳,۳	۱۶,۰	۱۷,۸	۸,۹	۲۴	قطعه ۱۵
۱۲,۵	۱۵,۲	۱۷,۴	۹,۷	۲۳,۴	قطعه ۱۶
۱۱,۳	۱۳,۹	۹,۸	۷,۱	۲۱,۲	قطعه ۱۷
۱۲,۷	۱۵,۴	۱۷,۶	۹,۵	۲۲,۷	قطعه ۱۸
۱۲,۱	۱۴,۸	۱۷,۱	۹,۷	۲۳,۳	قطعه ۱۹
۱۱,۴	۱۴,۰	۱۰,۴	۷,۵	۲۰,۸	قطعه ۲۰
۱۱,۷	۱۴,۴	۱۶,۷	۹,۸	۲۲,۶	قطعه ۲۱
۱۱,۹	۱۴,۷	۱۶,۹	۹,۶	۲۰,۳	قطعه ۲۲
۱۱,۴	۱۴,۱	۹,۷	۷,۰	۲۱,۵	قطعه ۲۳
۱۱,۵	۱۴,۳	۱۶,۶	۹,۹	۲۰,۵	قطعه ۲۴
۱۱,۱	۱۳,۸	۹,۸	۷,۰	۱۹,۹	قطعه ۲۵
۱۱,۱	۱۳,۸	۹,۸	۷,۰	۱۹,۸	قطعه ۲۶
۱۰,۷	۱۳,۵	۹,۷	۷,۰	۲۱,۳	قطعه ۲۷
۱۲,۴	۱۵,۰	۱۶,۵	۷,۵	۲۳,۲	قطعه ۲۸
۱۱,۶	۱۴,۲	۱۵,۹	۷,۷	۲۳,۴	قطعه ۲۹
۹,۶	۱۲,۰	۸,۳	۶,۰	۲۱,۱	قطعه ۳۰



شکل ۱- نمودار مقایسه فشار شکست تست و روش‌های متفاوت محاسبه شده

جدول ۶- نتایج خطای محاسبات فشار شکست بر اساس نسخه‌های متفاوت استاندارد ASME B31.G

خطای محاسبات نسخه ۲۰۱۲ سطح دو- روش سطح موثر	خطای محاسبات نسخه ۲۰۱۲ سطح یک- روش بهینه	خطای محاسبات نسخه ۲۰۱۲ سطح یک- روش پایه	خطای محاسبات نسخه ۱۹۹۱	فشار شکست تست	قطعه
۲۱,۴	۱۷,۴	۱۶,۱	۵۵,۴	۲۶,۶	قطعه ۱۳
۱۹,۸	۱۵,۴	۱۴,۱	۷۶,۶	۲۶,۷	قطعه ۱۴
۴۴,۴	۳۳,۲	۲۵,۸	۶۳,۰	۲۴	قطعه ۱۵
۴۶,۸	۳۵,۱	۲۵,۸	۵۸,۷	۲۳,۴	قطعه ۱۶
۴۶,۹	۳۴,۲	۵۳,۶	۶۶,۶	۲۱,۲	قطعه ۱۷
۴۴,۳	۳۲,۰	۲۲,۶	۵۸,۴	۲۲,۷	قطعه ۱۸
۴۸,۱	۳۶,۳	۲۶,۷	۵۸,۳	۲۳,۳	قطعه ۱۹
۴۵,۱	۳۲,۸	۵۰,۱	۶۴,۱	۲۰,۸	قطعه ۲۰
۴۸,۲	۳۶,۲	۲۶,۲	۵۶,۷	۲۲,۶	قطعه ۲۱
۴۱,۳	۲۷,۸	۱۶,۸	۵۲,۷	۲۰,۳	قطعه ۲۲
۴۶,۹	۳۴,۴	۵۴,۸	۶۷,۴	۲۱,۵	قطعه ۲۳
۴۳,۷	۳۰,۵	۱۹,۱	۵۱,۹	۲۰,۵	قطعه ۲۴
۴۴,۳	۳۰,۸	۵۱,۰	۶۴,۷	۱۹,۹	قطعه ۲۵
۴۴,۱	۳۰,۴	۵۰,۷	۶۴,۵	۱۹,۸	قطعه ۲۶
۴۹,۶	۳۶,۸	۵۴,۵	۶۷,۲	۲۱,۳	قطعه ۲۷
۴۶,۴	۳۵,۴	۲۸,۷	۶۷,۵	۲۳,۲	قطعه ۲۸
۵۰,۳	۳۹,۳	۳۱,۹	۶۷,۱	۲۳,۴	قطعه ۲۹
۵۴,۷	۴۳,۲	۶۰,۵	۷۱,۵	۲۱,۱	قطعه ۳۰



شکل ۲- نمودار مقایسه خطای فشار شکست‌های محاسبه شده به روش‌های متفاوت

نتیجه گیری

با بررسی میزان خطای رخ داده مشخص می‌شود که در حدود ۶۰ درصد قطعات، میزان خطای محاسبات فشار شکست توسط نسخه سال ۲۰۱۲ و روش پایه کمتر از سایر روش‌های این نسخه و همچنین نسخه سال ۱۹۹۱ می‌باشد و در سایر قطعات نیز خطای محاسبات فشار شکست توسط نسخه سال ۲۰۱۲ و روش بهینه شده این نسخه، کمترین خطا را دارد.

با بررسی نوع عیوب نیز نمی‌توان به الگوی مناسبی جهت تخمین روش بهتر پی برد اما مشخص است که خطای محاسباتی روش پایه در نسخه سال ۲۰۱۲ برای عیوب منفرد در حدود ۱۵ درصد است که اختلاف کمتری در مقایسه با سایر روش‌ها و نسخه سال ۱۹۹۱ نشان می‌دهد. همچنین می‌توان ادعا کرد با بیشتر شدن تعداد عیوب با عمق بالاتر، روش بهینه شده در نسخه سال ۲۰۱۲ خطای نسبتاً کمتری در مقایسه با سایر روش‌ها و نسخه سال ۱۹۹۱ ارائه می‌دهد.

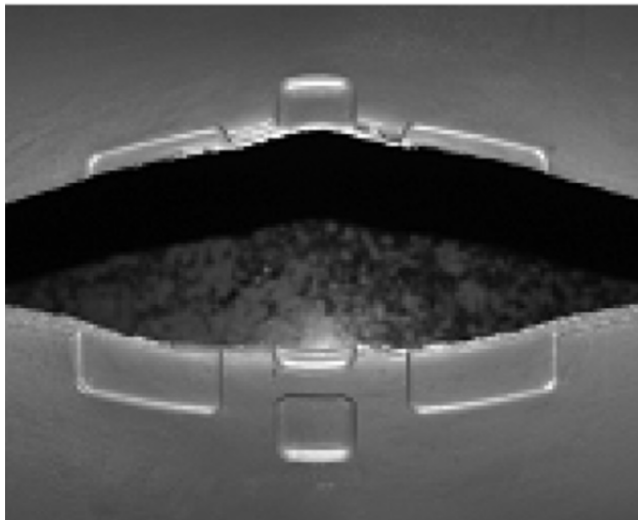
با بررسی نتایج محاسبات، مشخص است که فشار شکست محاسبه شده در کلیه نسخه‌های استاندارد ASME B31.G همواره کمتر از فشار شکست واقعی است. دلیل اصلی این مساله در طراحی بر پایه تنش تسلیم است. این نوع طراحی با در نظر گرفتن ضریب طراحی در استاندارد ASME B31.4 که در بالاترین حالت ۰٫۷۲ درصد تنش تسلیم است، محدوده وسیعی را به عنوان خطای طراحی ایجاد می‌کند. همچنین در این استاندارد، برهم کنش عیوب مجاور به خوبی لحاظ نمی‌گردد و تنها از ابعاد بیشینیه عیوب جهت محاسبات استفاده می‌گردد. این امر نیز می‌تواند یکی از دلایل اصلی خطای نسبتاً زیاد محاسبات صورت گرفته باشد. در این استاندارد محدوده پلاستیک ماده و نحوه رفتار ماده در آن محدوده و همچنین پیچیدگی‌های مرحله گلوبی شدن در نظر گرفته نمی‌شود. لازم به ذکر است در این استاندارد، تنها یک نیروی حلقوی ایجاد شده در لوله به عنوان یک مقطع استوانه‌ای در نظر گرفته شده و صرف نظر کردن از نیروی محوری ایجاد شده در لوله، خطای محاسبات زیادی در مقایسه با نتایج واقعی ایجاد می‌کند. لازم به ذکر است در تئوری شکست که نزدیک‌تر به مقادیر واقعی است، مطابق با معیارهای فون مایز و یا ترسکا، کلیه مولفه‌های تنش ایجاد شده در نظر گرفته می‌شود.

در صنعت، خطاهای گسترده‌ای ناشی از دستگاه‌های سنجش و نیروی انسانی و همچنین ساخت لوله، متریال، نصب و بهره برداری وجود دارد. این امر می‌تواند سبب احتمال شکست لوله در فشارهایی پایین‌تر از شرایط شکست آزمایشگاهی می‌گردد بنابراین

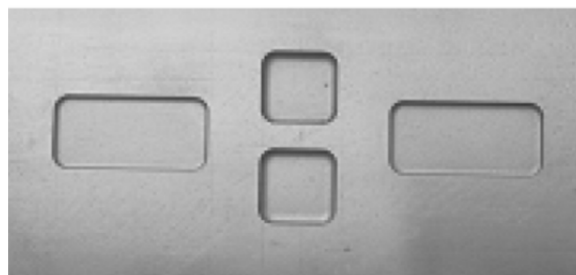


خطای محاسباتی زیاد در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی، ضریب اطمینان کارکردی لوله را بالا برده و سبب کاهش احتمال بروز حادثه صورت خواهد شد. این امر استفاده روزافزون از این استاندارد را توجیه می‌کند.

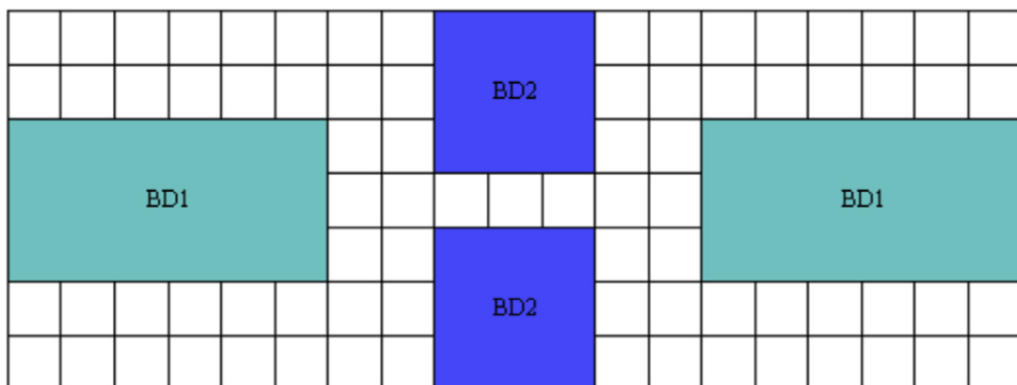
با بررسی فرمول‌های ارایه شده در این استانداردها به منظور محاسبه فشار شکست، مشاهده می‌شود که در کلیه این استانداردها، طول خوردگی به طور معکوس در محاسبه فشار موثر بوده و بیشترین عمق خوردگی اندازه‌گیری شده نیز در محاسبات در نظر گرفته می‌شود. با نظر گرفتن عیوب به صورت مجتمع درحالی که در کلیه قطعات مشخص شده، فاصله عیوب مجاور کمتر از سه برابر ضخامت اسمی است (حدود ۲۴ میلیمتر)، طول عیوب با در نظر گرفتن بیشترین عمق اندازه‌گیری شده، بیشتر از حالتی است که عیوب به صورت منفرد در نظر گرفته می‌شوند و این امر با توجه به نسبت عکس طول خوردگی و فشار شکست در کلیه فرمول‌های ارایه شده، سبب کاهش فشار شکست محاسبه شده می‌شود. در ادامه تحقیق‌ها در این زمینه می‌توان اثر برهمکنش عیوب را به طور مفصل بررسی کرده و نتایج را با نتایج تست آزمایشگاهی مقایسه نمود.



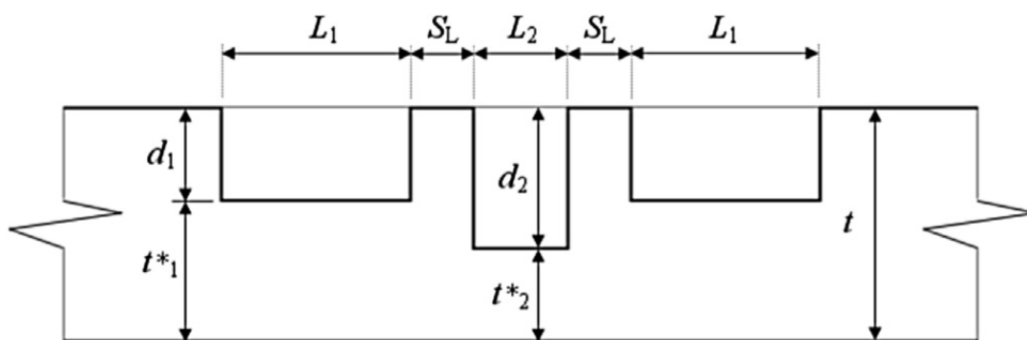
شکل ۴- تصویر قطعه شماره ۱۶ بعد از شکست



شکل ۳- تصویر قطعه شماره ۱۶ قبل از شکست



شکل ۵- نمای بالای قطعه شماره ۱۶



شکل ۶- نمای مجاور قطعه شماره ۱۶

مراجع:

- ASME, B31.G.** (2012). "Manual for determining the remaining strength of corroded pipeline". New York, USA: Author
- ASME, B31.G.** (1991). "Manual for determining the remaining strength of corroded pipeline". New York, USA: Author
- Beavers, JA, Thompson, NG. (2006). "External corrosion of oil and natural gas pipelines". **ASM international**. [ASM Handbook]. Corrosion: Environments and Industries. Vol. 13C.
- Benjamin, A, C. Freire, J, L, F. Vieira, R, D. Cunha, D, J, S. (2016). "Interaction of corrosion defects in pipelines e Part 1: Fundamentals". **International Journal Pressure Vessels and Pipe**. Vol. 144. Pp. 56 - 62.
- Benjamin, A, C. Freire, J, L, F. Vieira, R, D. Cunha, D, J, S. (2016). "Interaction of corrosion defects in pipelines e Part 2: MTI JIP Database of corroded pipe tests". **International Journal Pressure Vessels and Pipe**. Vol. 145. Pp. 41 - 59.
- Karuppanan, S. Abdul Wahab, A. Patil, S. Zahari, M, A. (2012). "Estimation of Burst Pressure of Corroded Pipeline using Finite Element Analysis (FEA)". **Advanced Materials Research**. Vol. 879. Pp. 191-198
- Kiefner, JF. Trench, CJ. (2001). "Oil pipeline characteristics and risk factors: illustrations from the decade of construction". **American petroleum institute**. [API-Standard organization], Pipeline committee
- Gartland, PO. Johnsen, R. Ovstetun, I. (2003). "Application of internal corrosion modeling in the risk assessment of pipelines". **Proceedings of the NACE International Conference CORROSION**. Pp 2003
- Papavinasam, S. (2014). "Corrosion control in the oil and gas industry". London, UK: **Gulf Professional Publishing**, Elsevier.