

مطالعه موردی: به کارگیری چندین مدل ترمودینامیکی در مقایسه روش‌های تعیین اندازه شیرهای اطمینان فشار در یک سکوی فراساحلی تولید نفت

کاوه سلیمانی دیلمانی*

کارشناس ارشد مهندسی فرایند، کارشناس فرایند و محاسبات هیدرولیک خط لوله، شرکت بین‌المللی پیمانکاری عمومی ایران،

تهران، ایران

دریافت: ۹۲/۸/۱۱ پذیرش: ۹۲/۱۲/۵

چکیده

امروزه اهمیت تجهیزات پرکاربرد فراهم‌کننده ایمنی، به خصوص در صنایع فراساحلی، حائز اهمیت بسیار است. مقاله حاضر با هدف بررسی روش‌های موجود تعیین اندازه شیرهای ایمنی، به عنوان یکی از تجهیزات ایمنی پرکاربرد، با به کارگیری مدل‌های ترمودینامیکی مشهور و مقایسه این روش‌ها و همچنین، نقش این مدل‌ها در پیش‌بینی مشخصات سیال در هنگام عبور از شیرهای ایمنی تهیه شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که برخی از مدل‌های ترمودینامیکی قادر به پیش‌بینی مشخصات نقطه بحرانی سیال نیست و به همین دلیل، برای تعیین اندازه شیرهای ایمنی، با استفاده از روش فشار بحرانی کاربرد نخواهند داشت. همچنین این نتیجه حاصل شد، در موردی که مدل ترمودینامیکی قابل استفاده باشد، بین دو روش استفاده از فشار بحرانی و دانسیته ثابت، تفاوتی در قطر اوریفیس شیر ایمنی وجود ندارد، اما استفاده از ابزار Depressurizing در نرم‌افزار هایسیس نتایج کاملاً متفاوتی ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: شیر ایمنی، روش‌های تعیین اندازه شیر ایمنی، ایمنی فرایند، تجهیزات ایمنی

مقدمه

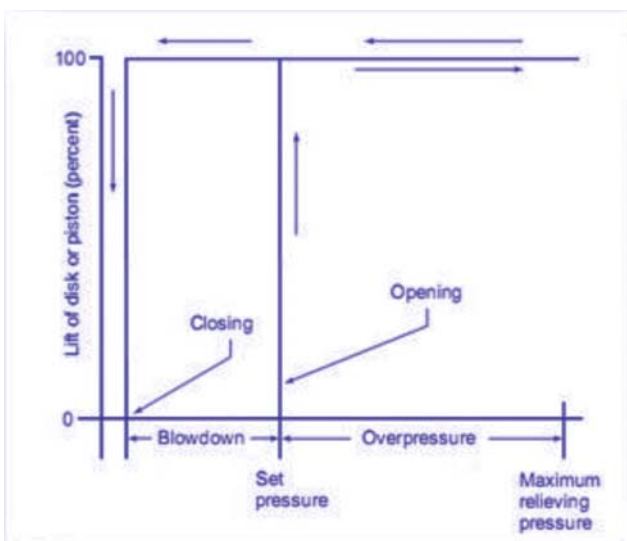
صدر الویت‌های استانداردهای مربوط به این زمینه است. شیرهای ایمنی^۱ یکی از تجهیزاتی است که برای فراهم کردن ایمنی در فرایندها در صنعت نفت و گاز استفاده می‌شود و به نوعی در هر واحد عملیاتی از جمله سکوهای استخراج، تولید، پتروشیمی‌ها و پالایشگاه‌ها به کار گرفته می‌شود. تعیین اندازه درست و به اندازه این تجهیز از دو نظر حائز اهمیت است. از یک سو، در صورتی که قطر اوریفیس مربوط به شیر ایمنی کوچک‌تر از مقدار موردنیاز سایز شود، به طور حتم قادر به تأمین ایمنی

یکی از مسائلی که امروزه در صنعت نفت و گاز در ایران از اهمیت بیش‌تری نسبت به گذشته برخوردار شده و توجه بسیاری از مسئولین و کارشناسان را بیش از پیش جلب کرده بحث ایمنی در فرایندهاست. به خصوص در صنایع فراساحلی و روی سکوهای نفت و گاز، این مسئله از اهمیت فوق‌العاده بیش‌تری برخوردار است. همچنان کاهش مخاطرات، صدمات (جانی و مالی) و به حداقل رساندن آزاد شدن هیدروکربن‌ها در

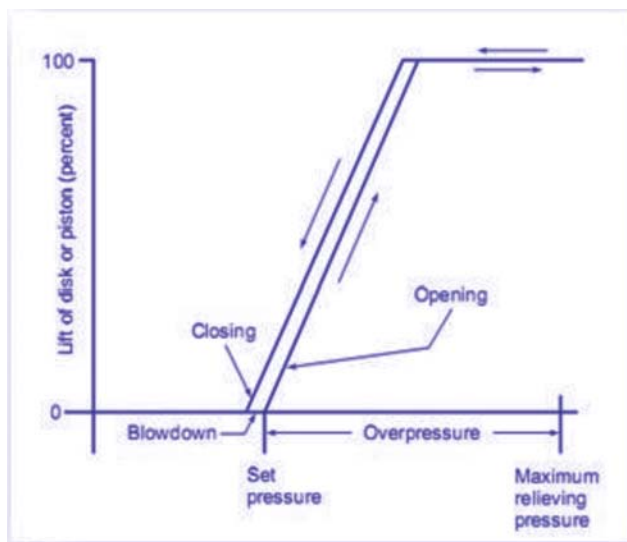
* k.soleimani@igc-ir.com

1. Pressure Safety Valve (PSV)

می‌کند. شیر ایمنی تا فشاری تحت عنوان فشار رهایی (تخلیه) باز شده و دوباره مسیر عکس را پیموده و در هنگام بسته شدن تا فشاری حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد پایین‌تر از فشار تنظیم می‌رسد. در شکل‌های (۱) و (۲) نحوه عملکرد نشان داده شده است. شیرهای ایمنی که در صنعت استفاده می‌شود دارای انواعی متفاوتی است: شیرهای ایمنی معمولی، متعادل^۱ و پیلوت. انتخاب نوع مناسب شیر ایمنی براساس معیارهای زیر است:



شکل ۱: نحوه باز و بسته شدن شیرهای ایمنی به صورت ناگهانی



شکل ۲: نحوه باز و بسته شدن شیرهای ایمنی به صورت تدریجی

لازم در واحد نبوده و مشکلات متعددی از جمله انفجار ایجاد خواهد کرد که می‌تواند صدمات جانی و مالی جبران‌ناپذیری داشته باشد. از نظر دیگر، اگر قطر اوریفیس مربوط بزرگ‌تر از میزان موردنیاز باشد می‌تواند علاوه بر بروز پدیده 'chatter' در شیر ایمنی، باعث افزایش هزینه شود.

مقاله حاضر با هدف مقایسه تعدادی از مدل‌های ترمودینامیکی در پیش‌بینی مشخصات سیال و مقایسه سه روش معمول، برای تعیین اندازه قطر اوریفیس شیر ایمنی در صنعت، با استفاده از مدل‌های مذکور تهیه شده است.

مفاهیم اولیه شیرهای ایمنی و تخلیه فشار

سامانه‌های تخلیه فشار^۲ در واحدها و سکوها به منظور ایجاد عملیات ایمن تجهیزات و فرایند در نظر گرفته می‌شوند. طراحی این سامانه‌ها براساس سه منشأ اصلی رهایی هیدروکربن‌هاست:

- تخلیه هیدروکربن‌ها ناشی از شرایط عملیاتی عادی واحد، مانند راه‌اندازی و عملکرد نامناسب یک تجهیز

- تخلیه هیدروکربن‌ها ناشی از باز شدن شیرهای ایمنی
- تخلیه هیدروکربن‌ها ناشی از باز شدن شیرهای تخلیه

ناگهانی^۳ (در زمان وقوع آتش)

مطابق با استاندارد API-14C، تمام تجهیزاتی که با هیدروکربن سروکار دارند، باید دارای دو سطح ایمنی برای حفاظت در مقابل افزایش فشار باشند. معمولاً حفاظت اولیه با استفاده از سنسورهای اخطاردهنده فشار خیلی بالا^۴ مهیا می‌شود و برای حفاظت ثانویه از شیرهای ایمنی استفاده می‌شود.

نحوه عملکرد شیرهای ایمنی بدین صورت است که در یک فشار مشخص تنظیم می‌شود و زمانی که فشار خط اصلی یا تجهیز - که شیر ایمنی روی آن نصب است - به هر دلیلی، از جمله بسته شدن جلوی جریان اصلی یا وقوع آتش بالا رود و به فشار تنظیم^۵ برسد، شیر ایمنی بر حسب نوع آن به صورت ناگهانی^۶ یا به صورت تدریجی^۷ باز شده و سیال را تخلیه

۱. این پدیده به معنی باز و بسته شدن سریع شیر ایمنی است که باعث لرزش بیش از اندازه شیر شده که خود باعث بروز جابه‌جایی شیر از محل خود و آسیب به بدنه شیر می‌شود.

2. Pressure Relief

3. BlowDown Valve (BDV)

4. Pressure Alarm High high

5. Set point Pressure

6. Pop-Action

7. Modulating-Action

8. Balanced

• داده‌ها و شرایط عملیاتی

اطلاعات مخزن استفاده شده در این تحقیق مربوط به یکی از سکوهایی واقع در میادین نفتی خلیج فارس است. این سکو، به منظور استخراج و ارسال روزانه ۱۲۰۰۰ بشکه نفت خام به وسیله هشت چاه عملیاتی، به عنوان یک سکوی هوشمند و بی‌نیاز از حضور اپراتور^۳ طراحی شده است. نفت استخراج شده توسط خط لوله زیر دریایی به قطر ۱۰ اینچ، برای جداسازی اولیه، به سکوی مادر ارسال می‌شود. در ضمن، از آنجایی که مخازن نفتی این میدان دارای فشارهای پایینی است، برای بهبود و ازدیاد برداشت نفت خام، از روش گازرانی^۴ در این سکو استفاده می‌شود. بر مبنای حالت عملیاتی گازرانی، طراحی این سکو به اتمام رسیده است و بنابراین، در این تحقیق نیز از داده‌های حالت گازرانی استفاده شده است. مطالعه حاضر روی یکی از شیرهای ایمنی نصب شده روی چند راهه^۵ مربوط به خط تولید صورت گرفته شده است.

در جدول (۲) برخی از داده‌های عملیاتی مورد نیاز گزارش می‌شود. داده‌های عملیاتی نرمال نیز در جدول (۳) آمده است. شایسته ذکر است، برای چندراهه شیر ایمنی از نوع معمولی در نظر گرفته شده است که براساس وقوع آتش سبزی می‌شود. از آنجایی که شیر ایمنی برای وقوع آتش سبزی شده است، میزان فشار تخلیه ۲۱ درصد بیش‌تر از فشار تنظیم است. بنابراین فشار تخلیه برابر با ۲۱۰ بار است.

• فشار متقابل^۱

مقدار عددی فشار متقابل ناشی از باز شدن شیر ایمنی در شبکه فلر^۲ (فشاری مخالف در جهت جریان اصلی) در انتخاب نوع شیر ایمنی بسیار حائز اهمیت است. زمانی که میزان کل فشار متقابل از مقدار افزایش فشار مجاز بیش‌تر شود، ظرفیت شیر ایمنی به شدت کاهش می‌یابد. جدول (۱) میزان فشار متقابل مجاز هر نوع شیر ایمنی را که در انتخاب آن مؤثر است، نشان می‌دهد.

• میزان تمیزی سیال

برای سیالاتی که در اصطلاح کثیف است از نوع پیلوت استفاده نمی‌شود. به این دلیل که احتمال گرفتگی در شیر به دلیل تشکیل واکس یا هیدرات وجود دارد.

• فضا، اندازه و وزن

معمولاً برای سایزهای پایین (کوچکتر از ۳ اینچ و کلاس ۳۰۰) از نوع معمولی و بالانس استفاده می‌شود. نوع پیلوت برای سرویس‌های با فشار و ظرفیت بالا و سیال تمیز استفاده می‌شود و نسبت به دو نوع دیگر دارای وزن و قیمت بیش‌تری است.

• محکمی نشیمن گاه

شیرهای ایمنی پیلوت در مقایسه با دو نوع دیگر نشتی کمتری داشته و مقاومت بیش‌تری دارند.

جدول ۱: فشار متقابل مجاز شیرهای ایمنی

شیر ایمنی قابل استفاده	معیار فشار متقابل
معمولی، بالانس و پیلوت	فشار متقابل کوچکتر مساوی ۱۰ درصد فشار تنظیم
بالانس و پیلوت	فشار متقابل کوچکتر مساوی ۳۰ درصد فشار تنظیم
پیلوت	فشار متقابل کوچکتر مساوی ۵۰ درصد فشار تنظیم

1. Back pressure

2. Built up backpressure

3. Unmanned and Smart Platform

4. Gas-lift

5. Manifold

مدل‌های ترمودینامیکی منتخب در این تحقیق

انتخاب مدل ترمودینامیکی مناسب یکی از پارامترهای مهم در موفقیت یک شبیه‌سازی است. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، همچون هایسیس و اسپن-پلاس، امکان استفاده را از مدل‌های متفاوت فراهم آورده‌اند. شایسته ذکر است، در این مطالعه از نرم‌افزار هایسیس ۷/۱ برای شبیه‌سازی استفاده شده است. جدول ۲: ترکیب درصد جریان منیفلد تولید براساس درصد مولی

نام ترکیب	ترکیب درصد مولی
N ₂	0.000919
H ₂ S	0.006407
CO ₂	0.010595
C ₁	0.297567
C ₂	0.031931
C ₃	0.023877
iC ₄	0.003229
NC ₄	0.009062
iC ₅	0.003058
NC ₅	0.004245
C ₆ OR C ₆₊	0.000074
C ₇ OR C ₇₊	0.075053
H ₂ O	0.533971

در این تحقیق مدل‌های ترمودینامیکی به گونه‌ای انتخاب شده است تا مقایسه‌ای بین مدل‌های معادلات حالت^۱ و مدل‌های اکتیویته در پیش‌بینی خواص سیال، برای تعیین اندازه شیر اطمینان، فراهم شود. معادلات حالت برای ترکیبات هیدروکربنی در بازه وسیعی از شرایط عملیاتی مناسب است، اما کاربرد آن‌ها مربوط به سامانه‌های غیرقطبی است، در مقابل، برای سامانه‌های شیمیایی غیر ایده‌آل یا قطبی، می‌توان از سامانه‌های دوگانه استفاده کرد. در این حالت، از یک معادله حالت برای پیش‌بینی ضریب فوگاسیته فاز بخار و از یک مدل اکتیویته برای تعیین ضریب فعالیت فاز مایع استفاده می‌شود. در این تحقیق، مدل‌های ترمودینامیکی برگزیده عبارت است از: PR/SRK/BWR/NRTL-PR/UNIQUAC-PR. آنجایی که در منابع مختلف، برای شبیه‌سازی فرایندهای مربوط به نفت و گاز، استفاده از معادلات حالت پیشنهاد شده است، در مقاله حاضر نیز، مقایسه‌ای بین سه دسته از معادله‌های مذکور و دو دسته از معادله‌های اکتیویته صورت گرفته است تا در ارتباط با صحت یا عدم صحت این مسئله، درباره تعیین اندازه شیرهای اطمینان، مطالعه صورت گیرد. مدل PR^۲ از معادلات حالت مربوط به گازهای غیرایده‌آل است. این مدل یکی از بهترین و معروف‌ترین مدل‌ها در پیش‌بینی رفتار فازی هیدروکربن‌ها و به خصوص گاز-میعانات است. مدل PR نسبت به مدل SRK^۳ شرایط و مشخصات اطراف نقطه بحرانی را بهتر پیش‌بینی می‌کند. مدل SRK نیز همچون مدل PR که هر دو از

جدول ۳: داده‌ها و شرایط عملیاتی

مقدار	کمیت
۳۳ بار	فشار
۶۹/۲ درجه سانتی‌گراد	دما
۰/۳۶۷۳	ترکیب درصد بخار
۱/۰۴۸	C _p /C _v
۳۷/۸۷	وزن مولکولی
۰/۹۲۷۰	ضریب Z

1. EOS

2. Peng-Robinson

3. Soave-Redlich-Kwong

ایمنی با شرایط مشخص، به وسیله سه روش متفاوت، برای پیش‌بینی حالت سیال (از نقطه‌نظر فاز) در زمان تخلیه تحلیل شده و بعد از آن که حالت سیال در زمان تخلیه مشخص شد، روش‌های سایزین اشاره‌شده در استاندارد API-520 برای به دست آوردن دبی تخلیه و قطر شیر ایمنی استفاده شده است. همچنین، همراه با آن نتایج این روش‌ها توسط مدل‌های متفاوت ترمودینامیکی اشاره‌شده در بخش قبلی مقایسه شده است.

روش‌های بررسی‌شده در این تحقیق روش‌های استفاده‌شده در صنعت و پروژه‌های متفاوت نفت و گاز است که این روش‌ها عبارت است از: روش استفاده از فشار بحرانی، روش دانسیته ثابت، روش استفاده از Depressurizing-HYSYS.

روش استفاده از فشار بحرانی

روش استفاده از فشار بحرانی که در حقیقت روش پیشنهادی شرکت Worley در رویه مربوط به محاسبات تخلیه فشار است، براساس تشخیص فاز سیال در هنگام تخلیه، با استفاده از تحلیل ترمودینامیکی، با کمک فشار و دمای بحرانی است. براساس این دستورالعمل، سه حالت برای سیال در زمان تخلیه محتمل است:

• اگر $P_r < 0.9P_c$ باشد سیال در زیر حالت بحرانی قرار دارد (در منطقه دو فازی)

در این حالت و در هنگام وقوع آتش‌سوزی، مایع در حال جوشیدن وجود دارد. به همین دلیل، گاهی در صنعت نیز به این حالت تعیین اندازه روش liquid vaporization می‌گویند. گرمای ناشی از آتش باعث تبخیر فاز مایع شده و تا زمانی ادامه دارد که مایع کاملاً تبخیر شود که مقدار آن از رابطه ارائه‌شده در API-520 به دست می‌آید:

$$Q = 21000FA^{0.82} \quad (1)$$

که در آن Q مقدار کل گرمای جذب‌شده توسط سطح خیس برحسب Btu/hr ، A کل سطح خیس در معرض آتش برحسب فوت مربع و F ضریب محیطی است که برابر یک در

معادلات حالت درجه سه هستند، تمامی شرایط ترمودینامیکی و تعادل را مستقیم حساب میکند. مدل BWR¹ از مدل‌های غیر درجه سه است که بعد از مدل ویریا توسعه پیدا کرده است. این مدل که شباهت بسیاری به مدل ویریا نیز دارد، قادر است فوگاسیته فاز مایع را در دانسیته‌های بالا و دماهای پایین به خوبی پیش‌بینی کند.

مدل‌های منتخب بعدی مدل‌های اکتیویته است. مدل NRTL در حقیقت توسعه‌یافته مدل اصلی ویلسون است. مدل NRTL برای مخلوط‌های به شدت غیرایده‌آل، نسبت به مدل ون لار و ویلسون، نتایج بسیار بهتری ارائه می‌دهد. مدل UNIQUAC نسبت به سایر مدل‌های اکتیویته دارای پیچیدگی و جزئیات بیشتری است که این مدل نتایج قابل قبولی برای تعادلات بخار-مایع، مایع-مایع و بخار-مایع-مایع ارائه می‌دهد. این مدل در طیف وسیعی از ترکیبات دارای آب، انواع الکل‌ها، آمین‌ها، اترها و هیدروکربن‌ها قابل به کارگیری است.

در این تحقیق، ضرایب دوتایی مربوط به معادلات اکتیویته براساس تعادلات VLE توسط نرم‌افزار هایسیس پیش‌بینی شده است.

همان‌طور که اشاره شد، زمانی که از مدل‌های اکتیویته استفاده می‌شود، برای پیش‌بینی مشخصات فاز بخار، لازم است معادله حالت برای فاز بخار انتخاب شود. در این تحقیق از معادله حالت PR بدین منظور استفاده شده است.

روش‌های تعیین اندازه شیرهای ایمنی

برای سایز کردن شیرهای ایمنی در صنعت روش‌های متفاوتی وجود دارد. هدف اصلی از سایز کردن این شیرها به دست آوردن قطر مناسب و کافی، به منظور تخلیه سیال با دبی مشخص در زمان اضطراری است. برحسب فاز سیال در زمان تخلیه (رهایبی)، روش‌ها و فرمول‌های متفاوتی برای سایز کردن شیر ایمنی در منابع وجود دارد.

در مقاله حاضر، سه روش متفاوت سایز کردن شیرهای ایمنی بررسی شده است. در حقیقت، در این تحقیق یک شیر

حرف لاتین نشان داده می‌شود و بیانگر یک سطح استاندارد است که سازندگان براساس آنها اوریفیس مربوط به شیرهای ایمنی را می‌سازند. در نهایت، میزان دبی جرمی عبوری از این سطح استاندارد انتخاب شده به عنوان دبی جرمی اسمی^۴ محاسبه می‌شود.

• اگر $0.9P_c < P_r < 1.1P_c$ سیال نزدیک به حالت بحرانی است

نحوه محاسبه در این حالت نیز مانند حالت اول است، با این تفاوت که مطابق پیشنهاد دستورالعمل Worley، میزان گرمای نهان تبخیر برابر 50 Btu/lb در نظر گرفته می‌شود.

• اگر $P_r > 1.1P_c$ سیال فوق بحرانی است

برای تعیین اندازه در این حالت از روش زیر (API-520) استفاده می‌شود:

مقدار سطح موردنیاز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{\dot{F}A}{\sqrt{P_r}} \quad (۴)$$

$$\dot{F} = \frac{0.1406 (T_w - T_r)^{1.25}}{CK_d T_r^{0.6506}} \quad (۵)$$

که در آن \dot{A} سطح در معرض آتش برحسب فوت مربع، و T_w دمای دیواره لوله برحسب درجه رانکین است. در حالت مذکور، مقدار دمای تخلیه از روش دیگری و با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T_r = \frac{P_r}{P_{\text{Operating}}} T_{\text{Operating}} \quad (۶)$$

و در نهایت، میزان دبی جرمی موردنیاز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W = 0.1406 \sqrt{MP_r} \left(A' \frac{(T_w - T_r)^{1.25}}{T_r^{1.1506}} \right) \quad (۷)$$

برای محاسبه دبی جرمی اسمی از روابط (۲) یا (۳) استفاده می‌شود.

روش استفاده از HYSYS-Depressurizing

ابزار HYSYS-Depressurizing یکی از پارامترهای محاسبات دینامیکی و با ارزش نرم‌افزار هایسیس است که معمولاً در محاسبه پارامترهای تخلیه ناگهانی مربوط به

نظر گرفته می‌شود. مبنای انتخاب عدد یک، براساس جدول D۳، صفحه ۵۵ استاندارد API است. با داشتن مقدار گرمای نهان تبخیر در شرایط تخلیه می‌توان میزان جرمی از مایع که بر اثر حرارت دریافت شده به بخار تبدیل می‌شود، محاسبه کرد. برای محاسبه میزان گرمای نهان تبخیر در دما و فشار تخلیه، لازم است این مقادیر محاسبه شود. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شده بود، فشار تخلیه برابر 210 بار و دمای طراحی در این روش با قراردادن vapor fraction برابر صفر در فشار تخلیه به دست می‌آید. روش‌های متفاوتی برای به دست آوردن گرمای نهان تبخیر وجود دارد، اما در این مطالعه این کمیت براساس پیش‌بینی نرم‌افزار هایسیس به دست آمده است.

با داشتن میزان دبی جرمی موردنیاز، سطح لازم (مورد نیاز^۱) از یکی از روابط زیر، برحسب این که جریان بخار از اوریفیس بحرانی یا زیر بحرانی باشد، قابل محاسبه خواهد بود؛

(۲) سطح موردنیاز در جریان بحرانی گاز

$$A = \frac{13160 \times W}{CK_d P_r K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}}$$

(۳) سطح موردنیاز در جریان زیر بحرانی گاز

$$A = \frac{17.9 \times W}{F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{TZ}{MP_r (P_r - P_{\text{back pressure}})}}$$

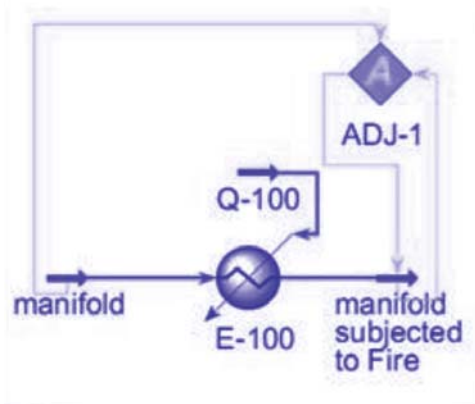
در روابط بالا، W میزان دبی جرمی موردنیاز برحسب kg/hr ؛ K_d ضریب مؤثر تخلیه که مقدار آن برابر با 0.975 است؛ K_b ضریب اصلاح فشار متقابل است که فقط برای شیرهای اطمینان از نوع بالانس قابل استفاده است و در انواع دیگر برابر یک در نظر گرفته می‌شود؛ K_c ضریب اصلاح نصب دیسک پاره‌شونده^۲ است و زمانی که این تجهیز نصب نیست برابر یک است؛ C ضریب ثابت حاصل از نسبت C_p/C_v است؛ F_2 ضریب جریان زیر بحرانی؛ M جرم مولکولی و Z ضریب تراکم‌پذیری است.

پس از محاسبه سطح مقطع موردنیاز، با استفاده از استاندارد API-526، نزدیک‌ترین عدد سطح محاسبه شده به عنوان سطح اوریفیس انتخاب می‌شود^۳. این سطوح با یک

1. Effective Area
2. Rupture Disc

3. Selected Area
4. Rated Capacity

فازی سیال در زمان تخلیه نیز به دست می‌آید. سپس، با توجه به اینکه سیال در زمان تخلیه در چه وضعیتی قرار دارد، از یکی از روش‌های اشاره‌شده در بخش قبلی، برای تعیین اندازه شیر ایمنی، استفاده می‌شود.



شکل ۳: نحوه محاسبه دمای تخلیه با استفاده از روش دانسیته ثابت

بحث و نتیجه‌گیری

برای سه روش مذکور، نتایج مربوط به تعیین اندازه شیرهای ایمنی با استفاده از مدل‌های ترمودینامیکی منتخب مقایسه و در جدول‌های (۴) تا (۸) نشان داده شده است.

با توجه به مقادیر به دست آمده از پیش‌بینی کمیت‌های متفاوت توسط مدل‌های ترمودینامیکی منتخب و همچنین، سه روش استفاده‌شده در سبایز کردن شیر ایمنی، نتایج زیر به دست می‌آید:

- برای ترکیب ارائه‌شده در این مطالعه، مدل‌های اکتیویته و همچنین مدل BWR - که ساختاری شبیه مدل ویریال دارد - قادر به پیش‌بینی شرایط بحرانی نیست. بنابراین، برای تعیین اندازه شیر ایمنی، روش اول برای این دسته از معادلات قابل به‌کارگیری نیست، چراکه حالت سیال در لحظه تخلیه مشخص نیست. در نتیجه، در صورتی که از معادلات اکتیویته استفاده شود، باید از روش دیگری برای سبایز کردن شیر ایمنی استفاده کرد. به عبارت دیگر، استفاده از این روش تنها زمانی میسر است که مدل ترمودینامیکی انتخاب شده قادر به پیش‌بینی شرایط بحرانی باشد.

- یکی از نتایج مهم حاصل از این مطالعه این است که نوع

BDV‌ها کاربرد فراوان و تعیین‌کننده‌ای دارد و به ندرت برای محاسبه و سبایز شیرهای ایمنی استفاده می‌شود. اما در برخی از پروژه‌های انجام‌شده در صنعت نفت و گاز نیز، برای محاسبه پارامترهای مربوط به شیرهای ایمنی، از این روش استفاده شده است.

در این روش ابزار depressurizing بدین ترتیب تکمیل می‌شود که این ورودی‌ها به نرم‌افزار داده می‌شود: حجم سیال به دام‌افتاده، میزان کل گرما (براساس رابطه (۱))، انتقال حرارت با محیط و پارامترهای شیر تخلیه. همچنین، در این تحقیق مقادیر فشار تنظیم، تخلیه و نهایی به عنوان اطلاعات ورودی به نرم‌افزار در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه لوله بررسی‌شده بعد از مدت ۱۲ دقیقه به دمای ترکیدن می‌رسد، بنابراین، زمان تخلیه نیز در این روش ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. آنچه که به عنوان خروجی از شبیه‌سازی دینامیک نرم‌افزار استخراج می‌شود قطر اوریفیس و دبی جرمی است. در این تحقیق، قطر اوریفیس معادل کوچکترین سبایز (نوع D)، به عنوان حدس اولیه، در نظر گرفته شده است.

روش دانسیته ثابت

این روش بر این اصل استوار است که از هنگامی که حجم مشخصی از سیال داخل لوله‌ها بر اثر بسته شدن SDV‌ها به دام می‌افتد و تا زمانی که بر اثر وقوع آتش فشار آن بالا می‌رود، دانسیته کل ترکیب ثابت می‌ماند. بدیهی است، دانسیته هر فاز بر اثر تغییر رفتار ترمودینامیکی ناشی از وقوع گرما تغییر می‌کند و انتقال جرم بین دو فاز ادامه دارد تا به نقطه تخلیه برسد. اما به دلیل اینکه حجم کل ثابت است، دانسیته کل نیز ثابت خواهد ماند (شرایط یک سامانه بسته).

به منظور استفاده از این روش، باید از ابزار Adjust نرم‌افزار هایسیس استفاده شود. بدین ترتیب که شرایط ورودی بر اساس شرایط نرمال عملیاتی تنظیم می‌شود. دمای خروجی (دمای تخلیه) به گونه‌ای به دست می‌آید که توسط ابزار Adjust دانسیته کل ثابت بماند (شکل ۳). در این حالت فشار نیز در فشار تخلیه تنظیم می‌شود. با این روش، علاوه بر دما، حالت

1. Blow Down Valve

2. Shut Down Valve

معمولاً شرکت‌های مشاور و طراح معتبر کم‌تر از این روش برای محاسبات شیرهای ایمنی استفاده می‌کنند.

- اگرچه نتایج به دست آمده نهایی برای معادلات حالت درجه سه در قبال سطح موردنیاز و نوع اوریفیس برای دو روش اول و سوم یکسان است، اما در مقادیر برخی از کمیت‌ها نیز دارای اختلاف‌هایی است که قابل تأمل و بحث است. قضاوت در مورد این که دقیقاً کدام روش دمای تخلیه (T_p) را به درستی و دقیق محاسبه می‌کند نیازمند بررسی دینامیک روند تغییر رفتار سیال از لحظه شروع وقوع آتش تا لحظه شروع تخلیه است. این کار با به کارگیری روابط و معادلات مربوطه میسر است.

به علاوه، برای روش اول، میزان حرارت در واحد زمان با استفاده از رابطه پیشنهادی توسط API-520 محاسبه می‌شود (رابطه (۱))، اما در روش سوم این کمیت توسط هایسیس پیش‌بینی می‌شود که به لحاظ مقدار عددی بسیار بزرگ‌تر از مقدار پیش‌بینی شده توسط روش اول است. این مسئله می‌تواند یک علت برای بالاتر بودن دمای تخلیه در روش سوم باشد.

سطح اوریفیس شیر ایمنی در تمامی مدل‌های ترمودینامیکی منتخب و با استفاده از روش سوم یکسان به دست آمده است. این نتیجه در مورد مطالعه حاضر نشان می‌دهد، استفاده از مدل‌های ترمودینامیکی مختلف (معادلات حالت و اکتیویته)، حداقل در تعیین سطح لازم برای شیر ایمنی، با استفاده از روش دانسیته ثابت نقش چندانی ندارد، اگرچه تفاوت‌هایی بین کمیت‌های موجود در محاسبات در روش‌های متفاوت وجود دارد.

- روش دوم که استفاده از ابزار Depressurizing نرم‌افزار هایسیس است، نتایج کاملاً متفاوتی ارائه می‌دهد. این مسئله نشان می‌دهد که این روش چندان نتایج قابل اعتمادی ارائه نداده و اندازه بزرگ‌تر از مقدار موردنیاز را برای شیر ایمنی پیش‌بینی می‌کند. این در حالی است که مقدار دبی جرمی پیش‌بینی شده در این روش، از دو روش دیگر، بسیار کم‌تر است. در ضمن، استفاده از این روش دمای تخلیه را مشخص نمی‌کند. شاید به همین دلیل است که در صنعت استفاده از این روش برای تعیین اندازه شیرهای ایمنی مرسوم نیست و

جدول ۴: نتایج مدل PR

مقدار	واحد	کمیت	
314.4	bar	Pc	شرایط بحرانی
354	C	Tc	
365.8	C	Tr	نتایج استفاده از روش اول
1626	kJ/kg	گرمای نهان تبخیر	
698.9	Btu/lb		
1.238	-	Cp/Cv	
0.894	-	Z	
37.88	-	MW	
115	J/gmolK	ظرفیت حرارتی	
167.5	kg/m ³	دانسیته	
0.0125	in ²	سطح مورد نیاز-A	
D	-	نوع اوریفیس	
9241.2	kg/hr	دبی جرمی نامی	
0.17	in ²	سطح مورد نیاز-A	نتایج استفاده از روش دوم
E	-	نوع اوریفیس	
494.5	kg/hr	دبی جرمی نامی	
556.7	C	Tr	نتایج استفاده از روش سوم
1	-	کسر بخار در دمای تخلیه	
1.131	-	Cp/CV	
115.3	kg/m ³	دانسیته	
1.005	-	Z	
0.00118	in ²	سطح مورد نیاز-A	
D	-	نوع اوریفیس	
33452	Kg/hr	دبی جرمی نامی	

جدول ۵: نتایج مدل SRK

	کمیت	واحد	مقدار
شرایط بحرانی	Pc	bar	314.4
	Tc	C	354
نتایج استفاده از روش اول	Tr	C	369.2
	گرمای نهان تبخیر	kJ/kg Btu/lb	1649 708.8
	Cp/Cv	-	1.241
	Z	-	0.9214
	MW	-	37.88
	ظرفیت حرارتی	J/gmolK	116.1
	دانسیته	kg/m ³	161.6
	سطح مورد نیاز-A	in ²	0.01258
	نوع اوریفیس	-	D
	دبی جرمی نامی	kg/hr	9076.1
نتایج استفاده از روش دوم	سطح مورد نیاز-A	in ²	0.162
	نوع اوریفیس	-	E
	دبی جرمی نامی	kg/hr	451.8
نتایج استفاده از روش سوم	Tr	C	551.2
	کسر بخار در دمای تخلیه	-	1
	Cp/CV	-	1.133
	دانسیته	kg/m ³	113.7
	Z	-	1.026
	سطح مورد نیاز-A	in ²	0.00143
	نوع اوریفیس	-	D
	دبی جرمی نامی	Kg/hr	32961

جدول ۶: نتایج مدل BWR

	کمیت	واحد	مقدار
شرایط بحرانی	Pc	bar	نامعلوم
	Tc	C	نامعلوم
نتایج استفاده از روش اول	Tr	C	-
	گرمای نهان تبخیر	kJ/kg Btu/lb	-
	Cp/Cv	-	-
	Z	-	-
	MW	-	-
	ظرفیت حرارتی	J/gmolK	-
	دانسیته	kg/m ³	-
	سطح مورد نیاز-A	in ²	-
	نوع اوریفیس	-	-
	دبی جرمی نامی	kg/hr	-
نتایج استفاده از روش دوم	سطح مورد نیاز-A	in ²	0.17
	نوع اوریفیس	-	E
	دبی جرمی نامی	kg/hr	392.6
نتایج استفاده از روش سوم	Tr	C	505.3
	کسر بخار در دمای تخلیه	-	1
	Cp/CV	-	1.172
	دانسیته	kg/m ³	129.1
	Z	-	0.9565
	سطح مورد نیاز-A	in ²	0.00426
	نوع اوریفیس	-	D
	دبی جرمی نامی	Kg/hr	30767

جدول ۷: نتایج مدل NRTL-PR

مقدار	واحد	کمیت
نامعلوم	bar	Pc
نامعلوم	C	Tc
-	C	Tr
-	kJ/kg Btu/lb	گرمای نهان تبخیر
-	-	Cp/Cv
-	-	Z
-	-	MW
-	J/gmolK	ظرفیت حرارتی
-	kg/m ³	دانسیته
-	in ²	سطح مورد نیاز-A
-	-	نوع اوریفیس
-	kg/hr	دبی جرمی نابی
0.17	in ²	سطح مورد نیاز-A
E	-	نوع اوریفیس
455.8	kg/hr	دبی جرمی نابی
560.2	C	Tr
1	-	کسر بخار در دمای تخلیه
1.157	-	Cp/CV
120.3	kg/m ³	دانسیته
0.9585	-	Z
0.00114	in ²	سطح مورد نیاز-A
D	-	نوع اوریفیس
31144	Kg/hr	دبی جرمی نابی

جدول ۸: نتایج مدل UNIQUAC-PR

مقدار	واحد	کمیت
نامعلوم	bar	Pc
نامعلوم	C	Tc
-	C	Tr
-	kJ/kg Btu/lb	گرمای نهان تبخیر
-	-	Cp/Cv
-	-	Z
-	-	MW
-	J/gmolK	ظرفیت حرارتی
-	kg/m ³	دانسیته
-	in ²	سطح مورد نیاز-A
-	-	نوع اوریفیس
-	kg/hr	دبی جرمی نابی
0.14	in ²	سطح مورد نیاز-A
E	-	نوع اوریفیس
3889	kg/hr	دبی جرمی نابی
560.2	C	Tr
1	-	کسر بخار در دمای تخلیه
1.157	-	Cp/CV
120.3	kg/m ³	دانسیته
0.9585	-	Z
0.00114	in ²	سطح مورد نیاز-A
D	-	نوع اوریفیس
31144	Kg/hr	دبی جرمی نابی

فهرست علائم اختصاری

T_w : دمای دیواره لوله	A: کل سطح خیس
T_r : دمای تخلیه	Q: مقدار کل گرمای جذب شده توسط سطح خیس
P_r : فشار تخلیه	K_d : ضریب مؤثر تخلیه
P_c : فشار بحرانی	K_b : ضریب اصلاح فشار متقابل
W: میزان دبی جرمی	K_e : ضریب اصلاح نصب دیسک پاره شونده
Z: ضریب تراکم پذیری	M: جرم مولکولی

منابع

1. API Recommended Practice 520, "Sizing, Selection and Installation of Pressure Relieving Devices in Refineries", Seventh Edition, 2000.
2. API Recommended Practice 521, "Pressure Relieving and Depressurizing System", Fifth Edition, 2007.
3. API Standard 526, "Flanged Steel Pressure Relief Valves", Fifth Edition, 2002.
4. Worley Offshore Design Guide, WS-DG-PR-007, "Relief and Blowdown Calculations", 2003.
5. Worley Offshore Design Guide, WS-DG-PR-020, "Flare, Relief, Blowdown & Vent System Design", 2003.
6. J.M. Smith, H.C. Van Ness, M.M. Abbott, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", Mc Graw Hill Sixth Edition, 2001.
7. J.M. Prausnitz, R.N. Lichtenthaler, "Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria", Prentice-Hall International Series, Second Edition, 1986.