



مطالعه آزمایشگاهی مشخصه‌های مؤثر بر اختلاف فشار تنظیمی عملگرهای ربع‌گرد خطوط لوله انتقال گاز

مهدی محمودی، مفید گرجی بندپی*

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۶ مهر ۱۳۹۵
بازنگری: ۱۶ اسفند ۱۳۹۵
پذیرش: ۱۹ اسفند ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۲۵ اسفند ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

نرخ افت فشار
قطر اوریفیس
فشار اولیه عملکردی
شکست خط لوله گاز
تنظیم عملگر شیر

چکیده: عملگرهای دارای سیستم تشخیص شکست خط لوله در مناطقی با عدم دسترسی به شبکه سراسری برق، دارای شرایط صعب العبور و یا با هدف نیاز به ایجاد شرایط پدافند غیر عامل و یا حفاظت از اکوسیستم‌هایی همچون رودخانه و جنگل روی شیرهای خطوط انتقال نفت و گاز نصب می‌گردند. در این مقاله، اثر مشخصه‌های قطر اوریفیس موجود در سیستم تشخیص شکست خط لوله، فشار اولیه خط لوله و نرخ افت فشار ناشی از شکست یا نشتی در خط بر اختلاف فشار تنظیمی عملگر از طریق ۸۱ آزمایش با گاز نیتروژن بررسی شد. اختلاف فشار تنظیمی عملگر با افزایش نرخ افت فشار یا کاهش قطر اوریفیس و یا کاهش فشار اولیه خط لوله، افزایش می‌یابد. مقدار زمان دستیابی به اختلاف فشار معین شده عملگر، تنها به اندازه قطر اوریفیس بستگی دارد و مستقل از فشار اولیه خط لوله و نرخ افت فشار است. این زمان با افزایش قطر اوریفیس، کاهش می‌یابد. دیاگرام اختلاف فشار بر حسب نرخ افت فشار برای مقادیر مختلف فشار اولیه خط لوله و قطر اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط، ارائه شده است. با افزودن ضریب اطمینان ۱۰ درصدی می‌توان از مقادیر این دیاگرام به عنوان مبنای تنظیم این نوع عملگرها در سرتاسر خطوط انتقال گاز استفاده نمود.

۱- مقدمه

از عملگرهای^۱ دارای سیستم تشخیص شکست خط به منظور عملکرد خودکار، کنترل از راه دور و یا تغییر وضعیت (باز یا بسته نمودن) شیرهای بزرگ جهت جلوگیری از خروج گاز در خطوط انتقال نفت یا گاز طبیعی به هنگام وقوع شکست یا نشتی استفاده می‌شود. از منابع تأمین انرژی مورد نیاز این عملگرهای نصبی روی شیرهای ربع‌گرد در خطوط انتقال می‌توان به مخازن تحت فشار هوا، نیتروژن، روغن هیدرولیک و یا فشار عملکردی خط لوله اشاره کرد. از دیدگاه مکانیزم عملکردی، عملگرها به دو دسته خطی و دورانی تقسیم می‌شوند. عملگرهای خطی برای کنترل شیر (برای مثال شیرهای دوازده‌ای^۲ و بشقابی^۳)، نیروی خطی تولید می‌نمایند. عملگرهای دورانی بر روی شیرهای دورانی (برای مثال شیرهای تویی^۴ و پروانه‌ای^۵) نصب می‌گردند که به واسطه چرخش کنترل می‌شوند. عملگرهای دورانی به دو دسته‌ی چند دور چرخش^۶ و دوران ناقص^۷ (ربع‌گرد^۸) تقسیم می‌گردند.

عملگر یوک شیاردار^۹ (شکل ۱) از پرکاربردترین عملگرهای ربع‌گرد در خطوط انتقال نفت و گاز می‌باشد [۱].

اجزای مهم عملگر یوک شیاردار شامل (۱) فنر، (۲) راهنمای فنر، (۳) میله راهنما، (۴) سیلندر، (۵) استاپر، (۶) فلنج اتصال به شیر، (۷) یوک، (۸) محافظ فنر، (۹) نگهدارنده فنر و (۱۰) لغزنده می‌باشد که در شکل ۱ آمده است. یوک وظیفی همچون تبدیل نیروی محرکه خطی به دورانی و تولید گشتاور متناسب با کورس حرکتی مورد نیاز شیر دورانی بر عهده دارد [۲]. اغلب فشار عملکردی مورد نیاز عملگر در خطوط انتقال گاز به طور مستقیم از خط لوله و در خطوط انتقال نفت از مخازن مجزای تحت فشار نیتروژن تأمین می‌شود. از طریق لوله‌های ارتباطی (شکل ۲) با ورود گاز پر فشار به مخازن روغن عملگر (شماره ۸ از شکل ۳)، روغن تحت فشار وارد سیلندر شده (شماره ۴ از شکل ۱) و تغییر وضعیت میله راهنما را به همراه دارد. حرکت خطی لغزنده (شماره ۱۰ از شکل ۱) موجود در شیر یوک همراه با میله راهنما سبب تولید حرکت دورانی به سبب چرخش یوک می‌شود. در نتیجه چرخش ساقه شیر^{۱۰} و تغییر وضعیت شیر به وقوع می‌پیوندد.

مقدار اختلاف فشار تنظیمی عملگر با توجه به شرایط عملکردی و موقعیت مکانی آن در خط لوله، با اهمیت‌ترین پارامتر تنظیمی عملگر

- 1 Actuators
- 2 Gate valve
- 3 Globe valve
- 4 Ball valve
- 5 Butter fly valve
- 6 Multi-turn
- 7 Partial-turn
- 8 Quarter-turn

9 Scotch-Yoke

10 Stem

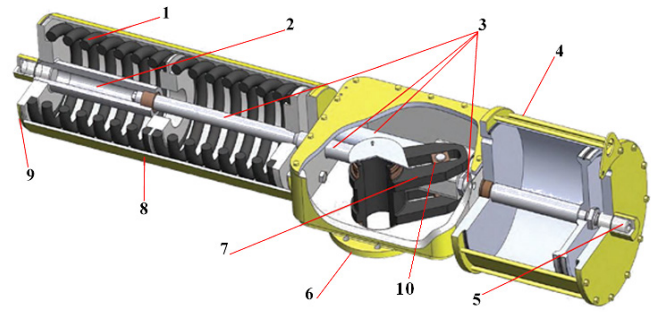


Fig. 1. Scotch-Yoke quarter turn actuator

شکل ۱: عملگر ربع گرد یوک شیاردار [۱]

حالت یک بعدی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که نرخ افت فشار با افزایش دبی عبوری سیال و یا فشار عملکردی خط، افزایش می‌یابد. تعیین مقدار اختلاف فشار تنظیمی عملگر بازتاب کننده دقت و عملکرد مکانیکی در کمترین زمان ممکن می‌باشد. مطالعات معدودی در زمینه تشخیص نشی [۹-۶] و یا شکست [۱۳-۱۰] در خطوط انتقال گاز انجام شده است. با این وجود تعداد بسیار اندکی مقاله در زمینه تعیین مقدار نرخ افت فشار تنظیمی عملگر وجود دارد [۱۴].

مقدار اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی^۲ (شکل ۲) به هنگام وقوع نشی در خط لوله با زمان متغیر است و در یک زمان خاص دارای یک مقدار بیشینه (اکسترمم) می‌باشد. اختلاف فشار تنظیمی عملگر برابر با حاصل ضرب این اکسترمم در یک ضریب ایمنی است. با رسیدن سوئیچ به این اختلاف فشار تنظیمی، دیافراگم به سمت راست حرکت کرده و با تغییر وضعیت شیر نیوماتیکی ۳/۲ (شکل ۲)، فرآیند بسته شدن شیر آغاز می‌گردد. این اختلاف فشار طرفین سوئیچ به پارامترهای متعددی از قبیل فشار اولیه عملکردی و نرخ افت فشار خط لوله و قطر اوریفیس سیستم تشخیص شکست خط وابسته است.

برخی از مشکلات عملگرهای دارای سیستم تشخیص شکست خط نصب شده بر خطوط انتقال نفت و گاز در کشور ایران در ادامه به اختصار شرح داده شده است. عملگر ۳۶ اینچ خطوط لوله صادراتی شرکت نفت جنوب در رامهرمز توسط شرکتی در ایالات متحده آمریکا طراحی و ساخته شده است که دانش اعمال تغییرات در سیستم تشخیص شکست خط این عملگر در دست نیست. برای تغییر بر اساس طراحی جدید و تغییرات در خطوط لوله موجود، نیاز به تغییر اختلاف فشار تنظیمی عملگر بر ۰/۸ کیلوپاسکال بر ثانیه احساس شد ولی دیگرام اختلاف فشار تنظیمی بر حسب نرخ افت فشار برای این عملگر موجود نیست. این مشکل برای اکثر عملگرهای شیرهای خطوط لوله انتقال گاز و نفت وجود دارد. با به دست آوردن دیگرام مذکور برای محدوده وسیعی از فشارهای اولیه عملکردی و نرخ‌های افت فشار خط لوله و قطرهای اوریفیس مختلف می‌توان این مشکل را مرتفع نمود. از دیگرام ذکر شده می‌توان به عنوان مبنای تنظیم سیستم تشخیص شکست خط در عملگرها استفاده نمود. با توجه به اهمیت فوق‌العاده حفاظت از محیط زیست شامل جنگل‌ها، زمین‌های حاصل خیز، منابع آب زیر زمینی، رودخانه‌ها و دریا در مسیر خط ۳۲ اینچ انتقال نفت خام نکا-ری به طول ۲۱۵ کیلومتر، این عملگرها با هدف حفاظت و جلوگیری از نشت مواد نفتی در طبیعت در هنگام ترکیدگی لوله نصب شده است. خطوط لوله ۱۸ اینچ (انتقال گاز ترش از مرکز تفکیک تنگ بیجار به پالایشگاه ایلام)، ۶ اینچ (انتقال میعانات گازی از مرکز تفکیک تنگ بیجار به پالایشگاه ایلام) و ۸ اینچ (گاز شیرین ارسالی از پالایشگاه گاز ایلام به مرکز تفکیک تنگ بیجار) را می‌توان به عنوان مواردی دیگر نام برد.

عملگر یوک شیاردار بسیار اندک مورد بررسی قرار داده شده است. از

می‌باشد. باز یا بسته بودن شیر به واسطه این پارامتر تعیین می‌گردد. عدم تعیین صحیح این مقدار سبب بسته شدن اشتباه شیر یا عدم عملکرد در زمان مورد نیاز می‌شود. مقدار پارامتر اختلاف فشار تنظیمی در واقع، وقوع یا عدم وقوع شکست یا نشی در خط لوله را بررسی می‌نماید. در تمام عملگرهای نصب شده در نقاط مختلف سرتاسر خط جریان، نمی‌توان از یک سری مقادیر از قبل تعیین شده به عنوان میزان اختلاف فشار تنظیمی عملگر استفاده نمود زیرا ممکن است عملگر به اشتباه در شرایط عملکردی نرمال خط، فرمان بسته شدن شیر را صادر نماید و یا در صورت وقوع شکست در خط لوله، اقدامی جهت بستن شیر توسط عملگر انجام نشود. در کشورهای مختلف در سراسر نقاط جهان از جمله چین [۴-۳]، تعیین مقدار اختلاف فشار تنظیمی عملگرها اغلب بر اساس نتایج آزمایش‌ها و یا پیش‌بینی بر مبنای مقادیر به دست آمده از جریان پایدار سیال گاز در طول زمان‌های طولانی برای شرایط حاکم بر موقعیت عملگر نصب شده، انجام می‌گیرد. برای تنظیم عملگر نیاز به آگاهی از نرخ تغییرات افت فشار نرمال (مربوط به هندسه عملگر و سیستم لوله‌کشی خطوط انتقال و میزان دبی شاخه‌های مصرفی یا تزریقی به خط) و افت فشار غیرنرمال (مربوط به وقوع شکست یا نشی در خط) وجود دارد. تنها با کمک روابط اساسی و عمومی در مکانیک سیالات قابل رسم نمی‌باشد. افت فشار نرمال شامل افت فشار اصطکاکی در خط لوله و اتصالات آن از قبیل زانویی و ونتوری و ... می‌باشد که نباید سبب عمل نمودن عملگر شود. در این مقاله منظور از نرخ افت فشار در واقع همان نرخ افت فشار غیرنرمال است. اختلاف فشار تنظیمی عملگر به پارامترهای هندسی خط لوله همچون قطر و طول آن، پارامترهای هندسی عملگر مانند قطر اوریفیس و شرایط عملکردی خط لوله مثل فشار و دبی سیال عبوری و نرخ افت فشار وابسته است. این وابستگی‌ها سبب پیچیدگی تعیین مقدار مناسب و صحیح برای عملگر نصب شده در خط می‌گردد. با توجه به نصب متوالی عملگرها در طول خط لوله، تعیین فاصله حداقلی دو عملگر متوالی جهت عدم تأثیرپذیری از یکدیگر به هنگام بسته شدن، بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید. ژو و همکاران [۵] ۱۲ عدد از خطوط انتقال گاز چین به منظور ارزیابی تعیین مقدار مربوط به پارامتر اختلاف فشار عملگرهای نصب شده به صورت متوالی در خط لوله را به کمک نرم‌افزار پایپ لاین استودیو^۱ در

2 Differential Pressure Switch

1 PipelineStudio 3.2.7.5

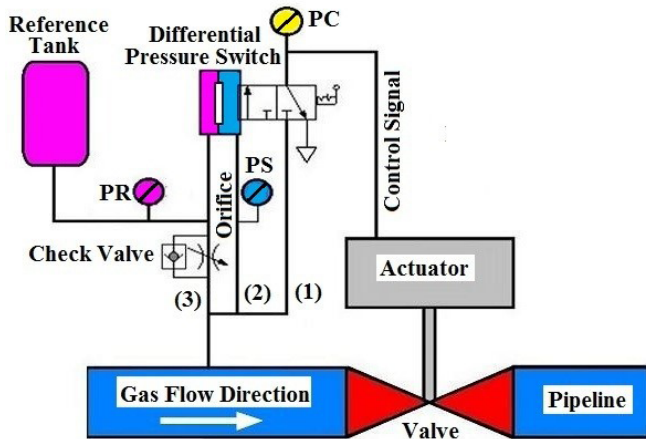


Fig. 2. Schematic of pipeline rupture detection system in actuator

شکل ۲: طرح‌واره سیستم تشخیص شکست خط عملگر

مخزن نمی‌باشد.

اگر شکستی در خط لوله به وقوع بپیوندد، سبب ایجاد افت فشار در خط لوله شده و فشار در سمت شیر دیافراگمی نیز به دلیل ارتباط مستقیم و بدون واسطه، با خط لوله به طور یکسان و همزمان با خط لوله تغییر می‌کند ولی فشار در سمت چپ شیر دیافراگمی باید از مجموعه‌ای شامل اوریفیس و شیر یک‌طرفه عبور نماید و چون شیر یک طرفه اجازه گذر سیال را نمی‌دهد، به اجبار سیال گازی باید از اوریفیس عبور کرده و این موضوع سبب تغییر نرخ افت فشار در طرفین شیر دیافراگمی می‌شود. پایین‌تر بودن فشار در سمت راست شیر دیافراگمی (شکل ۲)، سبب حرکت دیافراگم به سمت راست شده و تغییر وضعیت شیر ۳/۲ نیوماتیکی را به همراه دارد. با باز نمودن مسیر ۱ (شکل ۲)، در واقع سیگنالی را به عملگر می‌فرستد. این سیگنال فشاری، به مخزن عملگر وارد شده و سبب اعمال فشار موجود در مسیر ۱ به سیال روغن موجود در مخازن (شکل ۳) می‌شود. روغن پر فشار به درون سیلندر وارد شده و سبب حرکت میله راهنما می‌شود. به دلیل اتصال لغزنده به میله راهنما، لغزنده در شیر یوک حرکت کرده و دوران یوک و در نتیجه دوران ساقه شیر را به همراه دارد که در نهایت سبب چرخش شیر می‌شود.

۲-۲- شرح آزمایش

شکست در خط لوله سبب افزایش سرعت گاز و در نتیجه افزایش افت فشار در عبور سیال از شیر می‌شود ولی نمی‌توان از تغییرات سرعت به عنوان سیگنالی برای عملکرد سیستم تشخیص شکست خط لوله استفاده نمود. برای مثال، مقدار افت فشار برای حالت باز شیر بسیار ناچیز است. اگر یک مخزن مرجع به همراه مجموعه‌ای شامل اوریفیس و شیر یک‌طرفه را به کمک لوله‌های رابط به خط لوله متصل نماییم (شکل ۲)، به صورت آنی فشار در مخزن مرجع با فشار خط لوله برابر می‌شود. در حالت قبل از وقوع شکست در خط لوله، سیال موجود در مسیر (۳) از شکل ۲، مسیر شیر یک‌طرفه را به دلیل افت فشار کمتر به جای مسیر اوریفیس دار انتخاب می‌کند. پس از آن سیال وارد مخزن مرجع شده و ورود سیال تا جایی ادامه پیدا می‌کند که

دلایل آن، نبود داده‌های آزمایشگاهی معتبر و مناسب در این زمینه به دلیل هزینه بالای آزمایش‌های مورد نیاز، انحصاری شدن ساخت عملگرهای یوک شیردار با سرمایه‌گذاری تنها چند شرکت در دنیا، طراحی‌های استراتژیک و حساس و نیز نقش پدافندی غیرعامل این نوع از عملگرها است. در این مقاله، اثر فشار اولیه عملکردی و نرخ افت فشار خط لوله و قطر اوریفیس بر اختلاف فشار تنظیمی عملگر به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. برای این منظور ۳ مورد فشار اولیه عملکردی، ۲۰ مورد نرخ افت و ۳ مورد قطر اوریفیس مختلف انتخاب شد (جدول ۱). در مجموع ۸۱ عدد آزمایش انجام شد. در هر آزمایش به مدت ۱۸۰ ثانیه، یک سه‌گانه منحصر به فرد از پارامترهای ذکر شده، مطالعه گردید. هر آزمایش به دلیل بررسی خطاهای احتمالی در اندازه‌گیری به تعداد ۳ مرتبه تکرار شده است. برای جلوگیری از ایجاد خطرات احتمالی گاز طبیعی در این آزمایش از گاز نیتروژن استفاده شده است. در انتها، دیاگرام اختلاف فشار تنظیمی عملگر بر حسب نرخ افت فشار برای مقادیر مختلف فشارهای اولیه عملکردی و قطر اوریفیس ارائه شده است (شکل ۱۳). در واقع، شکل ۱۳ بیانگر نقاط بیشینه در منحنی‌های موجود در شکل‌های ۴ تا ۱۲ می‌باشد. می‌توان با استفاده از این دیاگرام، با انتخاب و نصب قطر اوریفیس مناسب به تنظیم مجدد عملگرها در شرایط عملکردی مختلف خطوط لوله اقدام کرد. تغییرات در شرایط عملکردی خطوط لوله اغلب با تغییر دبی‌های ورودی یا خروجی انشعابات متصل به خط لوله، افزودن انشعابات جدید به خط لوله اصلی یا تغییر در میزان مصرف یا تولید گاز عبوری رخ می‌دهد.

۲- بستر آزمایشگاهی

۲-۱- طراحی آزمایش

طرح‌واره‌ای از بستر طراحی شده جهت آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است. فشار سیال گازی از طریق لوله ارتباطی به مجموعه عملگر منتقل شده و به سه شاخه تقسیم می‌گردد. یک مسیر آن به سمت شیر نیوماتیکی نرمال بسته ۳/۲ می‌رود. به دلیل بسته بودن این شیر، سیال پر فشار در مسیر ۱ (شکل ۲) در حالت انتظار می‌ماند. سیال پر فشار در مسیر ۳ (شکل ۲) با عبور از مجموعه‌ای شامل اوریفیس و شیر یک‌طرفه به دو شاخه تقسیم می‌گردد. یک شاخه از آن به سمت چپ در شیر دیافراگمی^۱ و شاخه دیگر این مسیر به سمت مخزن مرجع^۲ می‌رود. فشار مسیرهای ۲ و ۳ (شکل ۲) به ترتیب PS و PR در هر لحظه از طریق انتقال‌دهنده فشار^۳ قابل اندازه‌گیری و ثبت در رایانه است. اگر سیال خط لوله مایع باشد، مخزن مرجع، مخزن تحت فشار دیافراگمی است. در پشت این دیافراگم، فتری تعبیه شده که فشار سیال سبب جمع شدن فتر گردیده و در نتیجه، مخزن از سیال مایع (اغلب، روغن هیدرولیک) پر می‌شود. در هنگام نصب بر روی خطوط لوله انتقال گاز به دلیل قابلیت تراکم‌پذیری سیال گازی، نیازی به تعبیه دیافراگم و فتر در

- 1 Differential Pressure Switch
- 2 Reference Tank
- 3 Pressure Transmitter

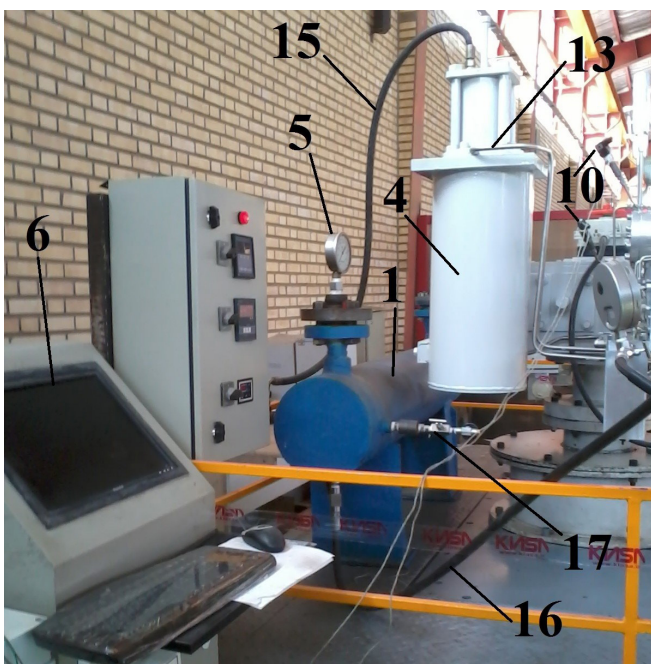
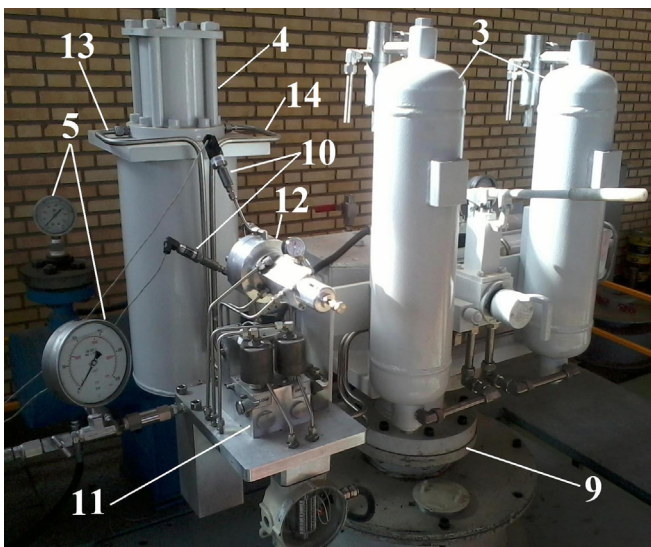
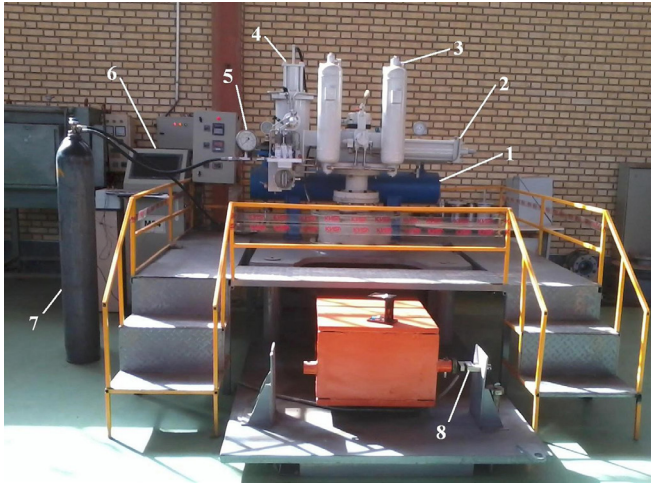


Fig. 3. Experimental setup

شکل ۳: بستر آزمایشگاهی مورد مطالعه

مقدار فشار مخزن مرجع به مقدار فشار خط لوله برسد. در هنگام شکست خط لوله، امکان عبور سیال موجود در مخزن مرجع از مسیر شیر یک‌طرفه وجود ندارد و تنها سیال از مسیر اوریفیس‌دار عبور خواهد کرد. این موضوع سبب ایجاد یک نرخ افت فشار جدید در مجموعه خواهد شد که از نرخ افت فشار ناشی از شکست در خط لوله کمتر خواهد بود. با وقوع شکست یا نشستی بزرگ در خط لوله، فشار خط لوله کمتر از فشار در مخزن مرجع خواهد بود. این اختلاف فشار به صورت مکانیکی و مداوم از طریق یک شیر دیافراگمی حس خواهد شد. لحظه‌ای که این اختلاف فشار در طرفین شیر دیافراگمی نیرویی بیشتر از نیروی ناشی از بار اعمالی فنر (نیروی ناشی از اختلاف فشار تنظیمی عملگر) تولید نماید، تغییر وضعیت شیر نیوماتیکی $3/2$ (شکل ۲) به وقوع می‌پیوندد. این تغییر وضعیت سبب ورود سیال پر فشار به مخازن روغن عملگر شده و سبب بسته شدن شیر ربع‌گرد نصب شده روی خط لوله گاز می‌گردد.

تجهیزات و بستر آزمایشگاهی در شکل ۳ نشان داده شده است. بستر آزمایشگاهی (شکل ۳) شامل (۱) شبیه‌ساز خط لوله (مخزن تحت فشار)، (۲) مجموعه سیلندر و پیستون، (۳) مخازن روغن عملگر (۲ عدد)، (۴) مخزن مرجع، (۵) فشارسنج، (۶) رایانه، (۷) کپسول نیتروژن، (۸) نیروسنج، (۹) فلنج شیر، (۱۰) انتقال‌دهنده فشار، (۱۱) مجموعه قطر اوریفیس، (۱۲) شیر دیافراگمی، (۱۳) لوله رابط ورود سیال خط لوله به مجموعه اوریفیس و شیر یک‌طرفه، (۱۴) لوله رابط ورود سیال به مخزن مرجع از مجموعه اوریفیس و شیر یک‌طرفه، (۱۵) لوله انعطاف‌پذیر ورود سیال از خط لوله به مجموعه سیستم تشخیص شکست خط، (۱۶) لوله انعطاف‌پذیر تزریق گاز نیتروژن از کپسول به شبیه‌ساز خط لوله و (۱۷) شیر مدرج جهت اعمال نرخ افت فشار به شبیه‌ساز خط لوله می‌باشد. به جای سیال گاز پر فشار در خط لوله از گاز نیتروژن فشرده در آزمایش استفاده گردید.

در این بستر آزمایشگاهی از یک لوله دو سر بسته به عنوان مخزن تحت فشار به عنوان شبیه‌ساز خط لوله استفاده شده است که توسط یک کپسول نیتروژن به فشار مورد نظر (فشار اولیه خط لوله در این مقاله؛ $5/3$ و $5/7$ مگاپاسکال) می‌رسد و با یک شیر اطمینان وضعیت حد بالای فشار آن کنترل می‌شود. پس از رسیدن شبیه‌ساز خط لوله به فشار اولیه مورد نظر، با بستن شیر موجود بر لوله انعطاف‌پذیر (شماره ۱۶ در شکل ۳) رابط بین کپسول نیتروژن و شبیه‌ساز خط لوله، کپسول نیتروژن از مدار تست آزمایشگاهی خارج می‌گردد. لازم به ذکر است که سیال نیتروژن پر فشار به واسطه لوله انعطاف‌پذیر (شماره ۱۵ در شکل ۳) از خط لوله به مجموعه سیستم تشخیص شکست خط وارد شده و پس از آن از طریق لوله رابط (شماره ۱۳ در شکل ۳) به سمت مجموعه اوریفیس و شیر یک‌طرفه (مسیر ۳ در شکل ۲) هدایت می‌گردد. در این وضعیت شبیه‌ساز خط لوله و سیستم تشخیص شکست خط دارای فشار ثابت و یکسان برابر با فشار اولیه خط لوله می‌باشند.

جدول ۱: متغیرهای مطالعه آزمایشگاهی

Table 1. Experimental study variables

| مقادیر انتخابی | پارامترها |
|--|---------------------------|
| ۳/۵، ۵، ۷/۵ | فشار اولیه عملکردی MPa |
| ۱، ۱/۱، ۱/۵، ۱/۷، ۲/۳، ۲/۸، ۳/۲، ۳/۳، ۳/۵، ۳/۷ | نرخ افت فشار kPa/s |
| ۰/۵، ۱، ۱/۵ | قطر اوریفیس، mm |

جدول ۲: لیست تجهیزات اندازه‌گیری

Table 2. List of measuring equipments

| تجهیز | سازنده و مدل | عدم قطعیت |
|----------------|---------------------|-----------|
| ترانسومتر فشار | OMEGA, PX01C1100G5T | ±۰/۰۵٪ |
| نیروسنج | IMADA, LU-2000N | ±۰/۵٪ |
| فشارسنج | WIKA, Type-332.54 | ±۰/۲۵٪ |

یک مقدار بیشینه رسیده و پس از آن کاهش می‌یابد که در واقع بیانگر رفتار ذاتی مجموعه اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط عملگر می‌باشد. این اختلاف فشار در طرفین شیر دیافراگمی تابعی از نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله، قطر اوریفیس و فشار اولیه خط لوله است.

نتایج مطالعه آزمایشگاهی افت فشار را تا ۱۸۰ ثانیه پس از ایجاد شکست یا نشتی در خط لوله بررسی می‌نماید. برای قطر اوریفیس‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌متر موجود در سیستم تشخیص شکست خط عملگر شیر ربع‌گرد نصب شده بر خط لوله انتقال گاز در مطالعه آزمایشگاهی حاضر، تغییرات اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی با زمان برای فشار اولیه خط لوله ۳/۵ مگاپاسکال در شکل‌های ۴ تا ۶، برای فشار اولیه خط لوله ۵ مگاپاسکال در شکل‌های ۷ تا ۹ و برای فشار اولیه خط لوله ۷/۵ مگاپاسکال در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شده است. هر عملگر با توجه به فشار اولیه خط لوله‌ای که بر روی آن نصب می‌گردد و قطر اوریفیس انتخابی برای سیستم تشخیص شکست خط آن که در واقع قلب عملگر است، در محدوده خاصی از نرخ‌های افت فشار ممکن‌الوقوع به هنگام وقوع شکست خط لوله عمل می‌نماید. با افزایش قطر اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط و ثابت ماندن فشار اولیه خط لوله، هرچه نرخ افت فشار بیشتر شود، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی افزایش می‌یابد. برای یک قطر اوریفیس مشخص، زمان مورد نیاز برای رسیدن به اختلاف فشار تنظیمی عملگر برای تمامی نرخ‌های افت فشار خط لوله یکسان بوده و تنها به اندازه قطر اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط وابسته است. در واقع تنها مشخصه مؤثر در زمان وقوع اختلاف فشار تنظیمی عملگر، قطر اوریفیس است و مشخصه‌هایی دیگر همچون نرخ افت فشار و فشار اولیه خط لوله در مقدار این زمان اثری ندارند.

با ثابت بودن قطر اوریفیس و فشار اولیه خط لوله، تنها متغیر مورد

برای ایجاد نرخ افت فشار ناشی از شکست خط به واسطه خروج سیال از شبیه‌ساز خط لوله، شیر مدرجی بر روی آن نصب گردیده است (شماره ۱۷ در شکل ۳). با تنظیم میزان دبی خروجی سیال نیتروژن موجود در شبیه‌ساز خط لوله با کمک این شیر مدرج، می‌توان نرخ افت فشار میانگین مورد نظر را به خط لوله اعمال نمود. پس از آن، انتقال دهنده‌های فشار (شماره ۱۰ در شکل ۳) با گذر زمان در هر ۱۰ ثانیه، فشار مسیرهای ۲ و ۳ (شکل ۲) در طرفین شیر دیافراگمی را به رایانه (شماره ۶ در شکل ۳) ارسال و ثبت می‌نمایند.

۲-۳- شرایط تست و عدم قطعیت تجهیزات اندازه‌گیری

پارامتر فشار اولیه عملکردی خط لوله مقادیر ۳/۵، ۵ و ۷/۵ مگاپاسکال، پارامتر نرخ افت فشار خط لوله مقادیر ۱، ۱/۱، ۱/۵، ۱/۷، ۲/۳، ۲/۸، ۳/۲، ۳/۳، ۳/۵، ۳/۷، ۴، ۴/۳، ۵، ۵/۲، ۵/۳، ۵/۵، ۵/۸، ۶/۷، ۷/۳ کیلوپاسکال بر ثانیه و پارامتر قطر اوریفیس مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌متر را شامل می‌شوند. در هر آزمایش یک ترکیب سه‌گانه متفاوت از پارامترهای قطر اوریفیس، نرخ افت فشار شکست خط و فشار اولیه خط لوله انتخاب می‌گردد. با توجه به تعداد متغیرها در جدول ۱، تعداد آزمایش‌ها ۸۱ عدد بود. در واقع، هر آزمایش به تعداد ۳ مرتبه تکرار شد و میانگین داده‌های به دست آمده (معادله ۱) به همراه انحراف میانگین^۱ (معادله ۲) برای آن مقدار میانگین محاسبه گردید که در شکل‌های ۴ تا ۱۲ ارائه شده است. در این شکل‌ها، اختلاف فشار تنظیمی عملگر بر حسب زمان برای ثبت داده‌ها در مدت زمان اجرای هر آزمایش در ۱۸۰ ثانیه ترسیم شده است. در نهایت، مقدار بیشینه در هر یک از منحنی‌های موجود در شکل‌های ۴ تا ۱۲ به عنوان مقدار تنظیمی اختلاف فشار عملگر در شکل ۱۳ ارائه شده است. این مقادیر بیشینه به تعداد ۲۷ عدد می‌باشند. تجهیزات اندازه‌گیری در جدول ۲ لیست شده است. با وجود دقت بسیار بالای تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده در این آزمایش طبق جدول ۲، کالیبراسیون انجام شد.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$d_i = x_i - \bar{X}; \sum_{i=1}^n d_i = 0 \quad (2)$$

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + \dots + |d_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i|$$

۳- بحث بر نتایج

۳-۱- داده‌های آزمایشگاهی

با وقوع نشتی در خط لوله و کاهش فشار آن، فشار در مخزن مرجع به دلیل وجود اوریفیس با یک تأخیر زمانی و نیز نرخ متفاوت کاهش می‌یابد. اختلاف میان این فشار طرفین شیر دیافراگمی با گذر زمان افزایش یافته تا به

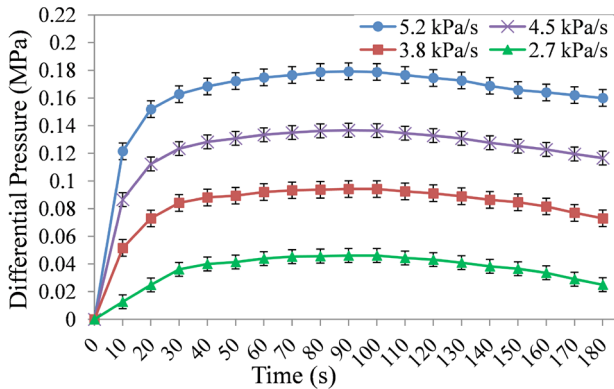


Fig. 5. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 3.5 MPa initial pressure and 1 mm orifice diameter

شکل ۵: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۳/۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۱ میلیمتر

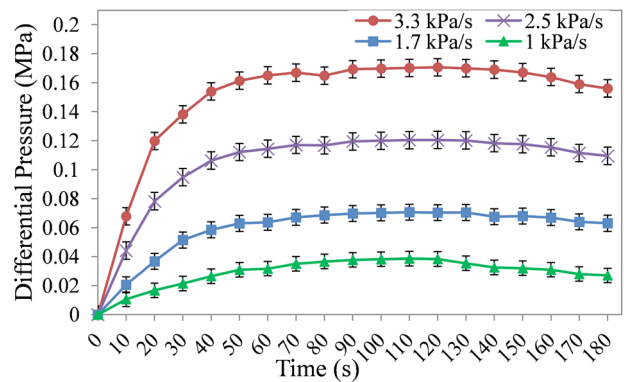


Fig. 4. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 3.5 MPa initial pressure and 0.5 mm orifice diameter

شکل ۴: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۳/۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۰/۵ میلیمتر

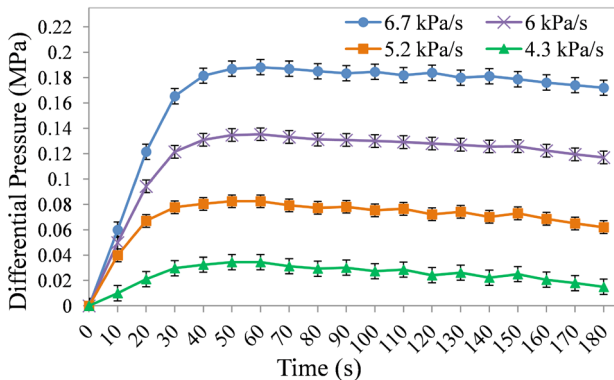


Fig. 6. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 3.5 MPa initial pressure and 1.5 mm orifice diameter

شکل ۶: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۳/۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۱/۵ میلیمتر

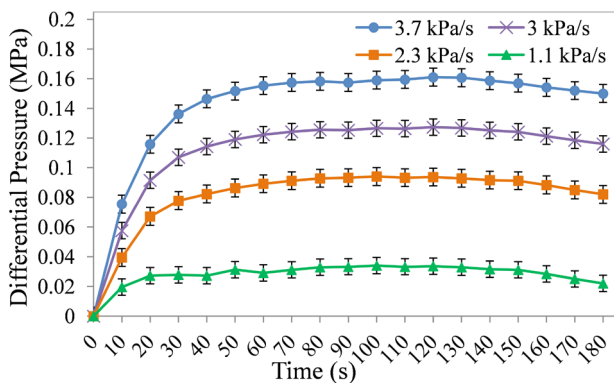


Fig. 7. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 5 MPa initial pressure and 0.5 mm orifice diameter

شکل ۷: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۰/۵ میلیمتر.

بررسی نرخ افت فشار خط لوله است. هر چه نرخ افت فشار خط لوله بیشتر باشد، جرم بیشتری از سیال گاز درون خط لوله به اتمسفر تخلیه می‌شود. در لحظه اولیه، قبل از شکست خط لوله، فشار سیال در تمامی نقاط سیستم تشخیص شکست خط برابر با فشار اولیه خط لوله است. طبق شکل ۲ در لحظه شکست خط لوله، فشار در سمتی از شیر دیافراگمی که به طور مستقیم به خط لوله متصل است (سمت راست شیر دیافراگمی)، با نرخ افت فشار خط لوله برابر است اما در سمت چپ شیر دیافراگمی به دلیل عبور سیال از درون اوریفیس، نرخ افت فشار ایجاد شده با نرخ افت فشار خط لوله متفاوت است. پس از ایجاد شکست در خط لوله، دبی جرمی سیال خروجی از خط لوله \dot{m}_{PL} همواره بزرگتر مساوی دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع است $\dot{m}_{ACC} \leq \dot{m}_{PL}$. هر چه نرخ افت فشار خط لوله بیشتر باشد، دبی جرمی خروجی سیال از خط لوله بیشتر است که در واقع تفاوت مقدارهای \dot{m}_{PL} و \dot{m}_{ACC} بیشتر می‌شود و در نتیجه، اختلاف فشار بیشتری بین طرفین دیافراگم ایجاد می‌شود.

این اختلاف فشار تا یک مقدار بیشینه افزایش می‌یابد و پس از آن به دلیل کاهش جرم سیال در مخزن مرجع، فشار مخزن کاهش یافته و به فشار خط لوله نزدیک می‌گردد. در واقع، مقدار نرخ افت فشار در مخزن مرجع به مقدار نرخ افت فشار خط لوله میل پیدا می‌کند.

با کاهش قطر اوریفیس و ثابت ماندن نرخ افت فشار خط لوله، اختلاف فشار بین مخزن مرجع و خط لوله (اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی) افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با کاهش قطر اوریفیس، زمان دستیابی به اختلاف فشار تنظیمی عملگر نیز افزایش می‌یابد، به طوری که مطابق با نتایج آزمایشگاهی برای قطر اوریفیس ۰/۵ میلی‌متری زمان وقوع اختلاف فشار تنظیمی عملگر ۱۲۳ ثانیه (شکل‌های ۴، ۷ و ۱۰)، برای قطر اوریفیس ۱ میلی‌متری این زمان ۹۸ ثانیه (شکل‌های ۵، ۸ و ۱۱) و برای قطر اوریفیس ۱/۵ میلی‌متری ۵۳ ثانیه است (شکل‌های ۶، ۹ و ۱۲).

با ثابت بودن نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله و نیز فشار اولیه خط لوله، تنها متغیر مورد بررسی قطر اوریفیس موجود در سیستم تشخیص

شکست خط است. هر چه قطر اوریفیس بزرگ‌تر باشد، جرم بیشتری از سیال درون مخزن مرجع تخلیه می‌شود. قبل از شکست خط لوله در لحظه اولیه، فشار سیال در تمامی نقاط سیستم تشخیص شکست خط برابر با فشار

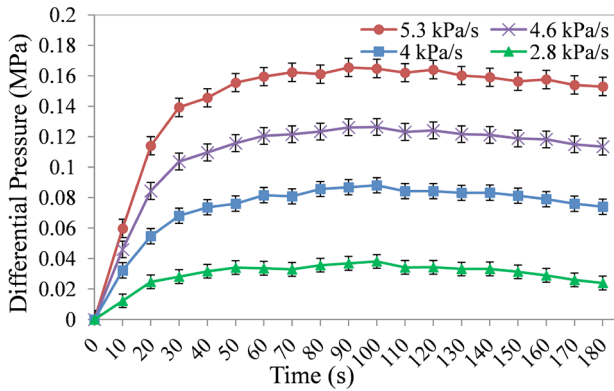


Fig. 8. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 5 MPa initial pressure and 1 mm orifice diameter

شکل ۸: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۱ میلیمتر

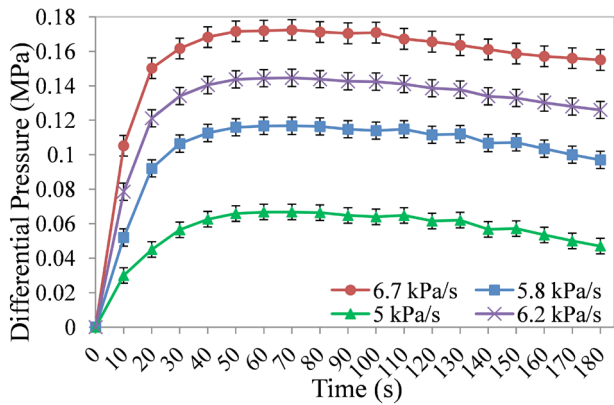


Fig. 9. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 5 MPa initial pressure and 1.5 mm orifice diameter

شکل ۹: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۱/۵ میلیمتر

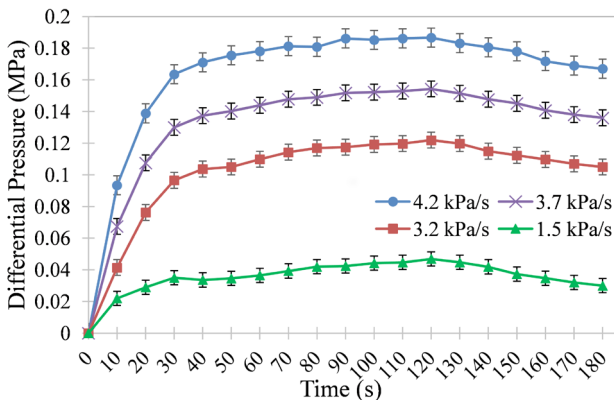


Fig. 10. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 7.5 MPa initial pressure and 0.5 mm orifice diameter

شکل ۱۰: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۷/۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۰/۵ میلیمتر.

فشار خط لوله کاربرد دارد. برای مثال اگر قطر اوریفیس انتخابی به صورتی باشد که نرخ دبی جرمی خروجی از آن با نرخ دبی جرمی خروجی از خط لوله

اولیه خط لوله است. در لحظه شکست خط لوله، فشار در سمت راست شیر دیافراگمی که به طور مستقیم به خط لوله متصل است، با نرخ افت فشار خط لوله برابر است اما در سمت چپ شیر دیافراگمی به دلیل عبور سیال از درون اوریفیس، نرخ افت فشار ایجاد شده با نرخ افت خط لوله متفاوت است. پس از ایجاد شکست در خط لوله، دبی جرمی سیال خروجی از خط لوله \dot{m}_{ACC} همواره بزرگتر مساوی دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع \dot{m}_{ACC} است

$$\dot{m}_{ACC} \leq \dot{m}_{PL}$$

هر چه قطر اوریفیس بزرگتر باشد، دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع به واسطه اوریفیس بیشتر است که در واقع مقدار \dot{m}_{ACC} به مقدار \dot{m}_{PL} نزدیکتر است و در نتیجه، اختلاف فشار کمتری در طرفین دیافراگم ایجاد می‌شود. این اختلاف فشار تا یک مقدار بیشینه افزایش می‌یابد و پس از آن به دلیل کاهش جرم سیال در مخزن مرجع، فشار مخزن کاهش یافته و به فشار خط نزدیک می‌گردد. برای نرخ ثابت افت فشار شکست خط لوله، اختلاف فشار بین مخزن مرجع و خط لوله با کاهش فشار اولیه خط لوله، افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، منحنی‌ها نشان می‌دهند که برای نرخ افت فشارهای مختلف، زمان دستیابی به اختلاف فشار بیشینه تنظیمی عملگر یکسان است و تنها به اندازه قطر اوریفیس بستگی دارد.

با ثابت بودن قطر اوریفیس و نرخ افت فشار خط لوله، تنها متغیر مورد بررسی فشار اولیه خط لوله است و هر چه فشار اولیه خط لوله بیشتر باشد، برخورد مولکول‌های سیال با یکدیگر بیشتر بوده و نیروی بیشتری به یکدیگر وارد می‌نمایند. در لحظه اولیه، فشار سیال در تمامی نقاط سیستم تشخیص شکست خط قبل از شکست خط لوله برابر با فشار اولیه عملکردی خط است. در لحظه شکست خط لوله، فشار در سمتی از شیر دیافراگمی که به طور مستقیم به خط لوله متصل است، با نرخ افت فشار خط لوله برابر است اما در سمت دیگر شیر دیافراگمی به دلیل عبور سیال از درون اوریفیس، نرخ افت فشار ایجاد شده با نرخ افت فشار خط لوله متفاوت است. با رخداد شکست در خط لوله، دبی جرمی سیال خروجی از خط لوله \dot{m}_{PL} همواره بزرگتر مساوی دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع \dot{m}_{ACC} است $\dot{m}_{ACC} \leq \dot{m}_{PL}$.

هر چه فشار اولیه خط لوله بیشتر باشد، دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع از طریق اوریفیس بیشتر است که در واقع مقدار \dot{m}_{ACC} به مقدار \dot{m}_{PL} نزدیکتر است و در نتیجه، اختلاف فشار کمتری در طرفین دیافراگم ایجاد می‌شود. این اختلاف فشار تا یک مقدار بیشینه افزایش می‌یابد و پس از آن به دلیل کاهش جرم سیال در مخزن مرجع، فشار مخزن کاهش یافته و به فشار خط نزدیک می‌گردد. می‌توان از این دیدگاه بررسی کرد که هر چه فشار اولیه خط لوله بیشتر باشد، سرعت خروجی سیال از مخزن انباشت‌گر از طریق اوریفیس بیشتر است و در نتیجه افت فشار موضعی در اوریفیس بیشتر بوده و نرخ افت فشار در مسیر گذر از اوریفیس به نرخ افت فشار ناشی از شکست خط نزدیکتر است. به همین دلیل برای فشارهای اولیه خط لوله بزرگتر، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی مقدار کمتری است.

هر قطر اوریفیس، برای یک محدوده خاص از فشار اولیه خط و نرخ افت

نرمال سیستم و پایین تر از تمامی نرخ افت فشارهای ممکن الوقوع در زمان شکست خط لوله انتخاب شود. زمانی که نرخ افت فشار خط لوله و فشار کاری خط لوله مشخص شوند، می توان قطر اوریفیس را به کمک شکل ۱۳ معین نمود. البته حالت های مختلف دیگری جهت استفاده از این شکل وجود دارد. برای مثال ممکن است عملگری با قطر اوریفیس مشخص موجود باشد. با توجه به طراحی اولیه و شرایط عملکردی حاکم بر خط لوله می توان نرخ افت فشار غیر نرمال را محاسبه نمود. حال برای فشارهای اولیه کاری خط لوله می توان مقدار اختلاف فشار تنظیمی عملگر را به دست آورد. برای این کار نرخ افت فشار منتخب را روی محور افقی مشخص کرده و از این نقطه خطی عمودی خارج می کنیم تا منحنی مربوط به فشار کاری مربوط به خط لوله را در بزرگ ترین اختلاف فشار ممکن در مجموعه منحنی های ارائه شده، قطع نماید. از نقطه به دست آمده از تقاطع خط عمودی و منحنی، یک خط افقی رسم کرده تا محور عمودی را قطع نماید. مقدار مشخص شده برای پارامتر اختلاف فشار تنظیمی روی محور عمودی در واقع مقدار تنظیمی برای شیر دیافراگمی خواهد بود که مقدار در محدوده ۰ تا ۰/۲ مگاپاسکال خواهد بود. برای استفاده از این نتایج در صنعت، مقدار پیشنهادی اختلاف فشار تنظیمی عملگر برای پیش گیری از به وجود آمدن تداخل و از بین بردن خطای استفاده از گاز نیتروژن به جای گاز طبیعی، ۹۰ درصد مقدار تعیین شده از شکل ۱۳ مطابق با روش بالا است. چگالی گاز طبیعی در شرایط استاندارد ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب و برای نیتروژن ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. می توان از روابط زیر برای تعیین اختلاف فشار تنظیمی عملگر بر حسب نرخ افت فشار خط لوله برای مقادیر مختلف قطر اوریفیس و فشار اولیه عملکردی خط لوله استفاده نمود. مقدار به دست آمده برای ΔP به منظور اعمال ضریب اطمینان و حذف خطای آزمایش با گاز نیتروژن در عدد ۰/۹ ضرب شود. اختلاف فشار بیشینه بدون بعد $N \Delta P$ و نرخ افت فشار بدون بعد شکست $N \dot{P}$ با استفاده از معادلات (۳) و (۴) محاسبه شده است و حالت بدون بعد دیگرام شکل ۱۳ در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

$$N \Delta P = DP / P_i \quad (3)$$

$$N \dot{P} = \dot{P} \times t_{max} / P_i \quad (4)$$

همانطور که ذکر شد، زمان وقوع اختلاف فشار بیشینه t_{max} برای قطر ۰/۵ میلیمتر ۱۲۳ ثانیه، ۱ میلیمتر ۹۸ ثانیه و ۱/۵ میلیمتر ۵۳ ثانیه است. معادلات مربوط به منحنی های شکل ۱۳ در زیر آمده است که اختلاف فشار تنظیمی عملگر را بر حسب نرخ افت فشار نشان می دهند.

قطر اوریفیس ۰/۵ میلیمتر و فشار اولیه ۳/۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.057 \dot{P} - 0.019; R^2 = 0.998 \quad (5)$$

قطر اوریفیس ۱ میلیمتر و فشار اولیه ۳/۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.056 \dot{P} - 0.112; R^2 = 1 \quad (6)$$

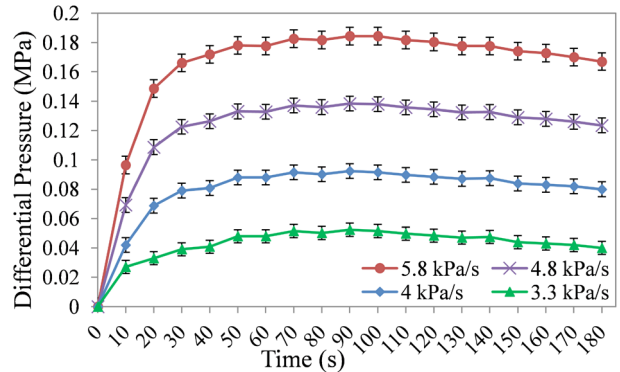


Fig. 11. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 7.5 MPa initial pressure and 1 mm orifice diameter

شکل ۱۱: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۷/۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۱ میلیمتر.

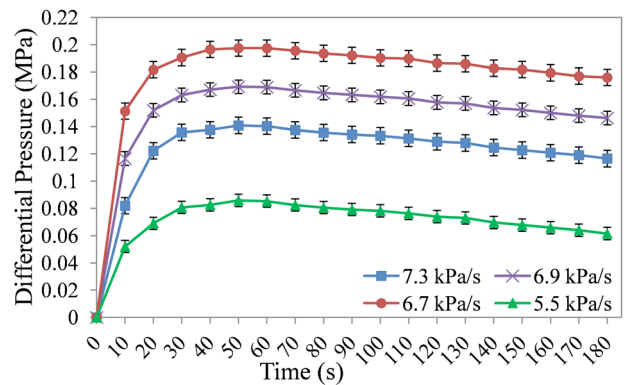


Fig. 12. Diaphragm valve differential pressure in term of time for 7.5 MPa initial pressure and 1.5 mm orifice diameter

شکل ۱۲: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۷/۵ مگاپاسکال و قطر اوریفیس ۱/۵ میلیمتر

برابر باشد، سیستم تشخیص شکست خط هرگز متوجه ایجاد شکست در خط لوله نخواهد شد.

شکل ۱۳، اختلاف فشار تنظیمی عملگر را بر حسب نرخ افت فشار میانگین ناشی از شکست خط لوله را به صورت تابعی از قطر اوریفیس و فشار اولیه خط لوله نمایش می دهد. برای تنظیم سیستم تشخیص شکست خط، لازم است تا از شرایط کاری خط لوله اطلاعات کامل به دست آید که این پارامترها مواردی از قبیل محدوده فشار عملکردی خط انتقال گاز و مقادیر اندازه گیری شده افت فشار کمینه و بیشینه در خط لوله می باشند. نرخ افت فشار در شرایط عملکردی نرمال همواره از نرخ افت فشار در زمان شکست خط لوله با فشار کاری یکسان، کمتر است. با توجه به شکل ۱۳، رابطه اختلاف فشار تنظیمی عملگر بر حسب نرخ افت فشار خط لوله برای قطر اوریفیس و فشار اولیه عملکردی معین خط لوله به صورت خطی می باشد.

۳-۲- دستور العمل کاربرد در صنعت

برای تنظیم سیستم تشخیص شکست خط لوله لازم است تا نرخ افت فشار بالاتری را نسبت به نرخ افت فشار ممکن الوقوع در زمان شرایط عملکردی

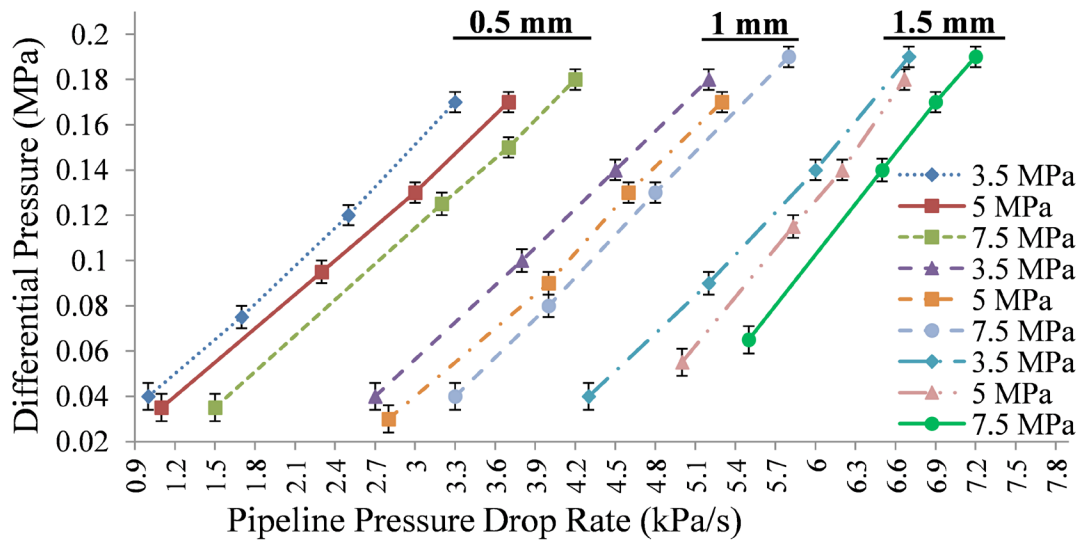


Fig. 13. Diaphragm valve differential pressure in term of rupture pressure drop rate for different initial pressures and orifice diameters

شکل ۱۳: اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب نرخ افت فشار شکست با فشار اولیه خط لوله و قطر اوریفیس مختلف

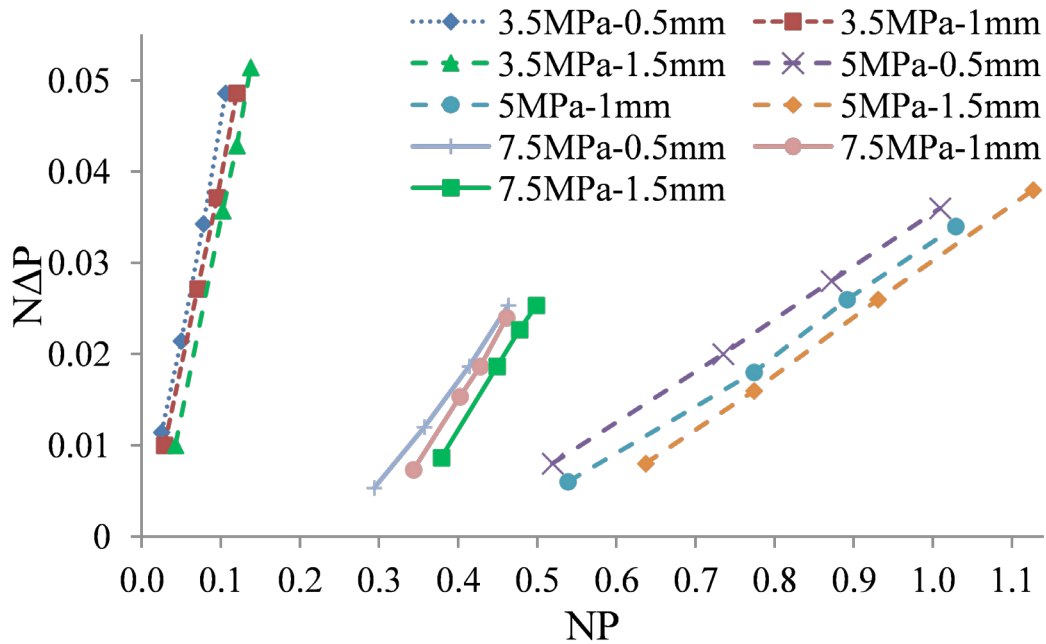


Fig. 14. Diaphragm valve non-dimensional differential pressure in term of non-dimensional rupture pressure drop rate for different initial pressures and orifice diameters

شکل ۱۴: اختلاف فشار بدون بعد طرفین شیر دیافراگمی بر حسب نرخ افت فشار شکست بدون بعد با فشار اولیه خط لوله و قطر اوریفیس مختلف

قطر اوریفیس ۱/۵ میلیمتر و فشار اولیه ۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.075\dot{P} - 0.319; R^2 = 0.999 \quad (10)$$

قطر اوریفیس ۰/۵ میلیمتر و فشار اولیه ۷/۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.054\dot{P} - 0.046; R^2 = 1 \quad (11)$$

قطر اوریفیس ۱ میلیمتر و فشار اولیه ۷/۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.061\dot{P} - 0.159; R^2 = 1 \quad (12)$$

قطر اوریفیس ۱/۵ میلیمتر و فشار اولیه ۳/۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.063\dot{P} - 0.233; R^2 = 0.998 \quad (7)$$

قطر اوریفیس ۰/۵ میلیمتر و فشار اولیه ۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.052\dot{P} - 0.023; R^2 = 0.999 \quad (8)$$

قطر اوریفیس ۱ میلیمتر و فشار اولیه ۵ مگاپاسکال:

$$\Delta P = 0.056\dot{P} - 0.129; R^2 = 0.997 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} x & \text{ داده‌های اندازه‌گیری شده} \\ X & \text{ میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده} \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \text{قطر اوریفیس } 1/5 \text{ میلیمتر و فشار اولیه } 7/5 \text{ مگاپاسکال:} \\ & \Delta P = 0.074P - 0.339; R^2 = 1 \end{aligned} \quad (13)$$

منابع

- [1] B. Nesbitt, *Handbook of Valves and Actuators: Valve and actuators selection*, Chapter 19, Butterworth-Heinemann, 2011.
- [2] P. Zhang, *Advanced industrial Control Technology: A Handbook for engineers and researchers*, Chapter 1, Sensors and actuators for industrial control, 2010.
- [3] G.H. Wang and W.F. Zhang, *The determination method of proper value of pressure drop rate pipe for the fast block valve on pipeline*, Ph.D. Thesis, China University of Petroleum Beijing, 2004.
- [4] W.L. Wang, Y.H. Gao and J.B. Lai, Setting of pressure drop rate in pipe burst detection system on natural gas pipeline block valve, *Gas Heat*, 33.7 (2013) 19-23.
- [5] L. Zuo, F. Jiang, and B. Jin, Value setting for the rate of pressure drop of automatic line-break control valves in natural gas pipelines, *Journal of Natural Gas Sciences and Engineering*, 26 (2015) 803-809.
- [6] G.M. Harriott, Gas pipeline simulation: leak detection, In: *42nd Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG)*, Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX, (2011).
- [7] R. Noguero, Pipeline control modes and their effect on model-based leak detection, In: *42nd Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG)*, Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX, 2011.
- [8] H.P. Reddy, S. Narasimhan and S.M. Bhallamudi, Leak detection in gas pipeline networks using an efficient state estimator. Part-I: theory and simulations, *Comput. Chem. Eng.*, 35.4 (2011a) 651-661.
- [9] H.P. Reddy, S. Narasimhan and S.M. Bhallamudi, Leak detection in gas pipeline networks using an efficient state estimator. Part II. Experimental and field evaluation, *Comput. Chem. Eng.*, 35.4 (2011b) 662-670.
- [10] S.A.M. Lacerda, G.P. Elias, The use of pipeline simulation to analyse the effects of a gas pipeline rupture, In: *41st Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG)*, Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX, (2010).
- [11] M. AL-Rasheed, A. Brell and S. Al-Qaffas, Pipeline rupture consequences mitigation comprehensive study, In: *41st Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG)*, Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX, (2010).

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر مشخصه‌های قطر اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط، فشار اولیه و نرخ افت فشار خط لوله بر اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی در عملگر ربع‌گرد یوک شیاردار با سیال عبوری گاز نیتروژن به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. با ثابت ماندن فشار اولیه و قطر اوریفیس، هر چه نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله بیشتر شود، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی افزایش می‌یابد. با ثابت ماندن نرخ افت فشار و فشار اولیه خط لوله هر چه قطر اوریفیس کاهش یابد، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی افزایش می‌یابد. زمان دستیابی به اختلاف فشار بیشینه برای مقادیر مختلفی از نرخ‌های افت فشار و فشارهای اولیه خط لوله، یکسان است و تنها به اندازه قطر اوریفیس بستگی دارد. کاهش قطر اوریفیس سبب افزایش زمان دستیابی به بیشینه مقدار این اختلاف فشار می‌شود. برای نرخ افت فشار و قطر اوریفیس ثابت، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی با افزایش فشار اولیه خط لوله کاهش می‌یابد. دیاگرام با ارزش اختلاف فشار تنظیمی عملگر بر حسب نرخ افت فشار خط برای مقادیر مختلف فشارهای اولیه خط لوله و قطرهای اوریفیس متفاوت ارائه شده است که مبنای تنظیم عملگرهای تمام مکانیکی مورد استفاده در خطوط انتقال گاز است. ضریب اطمینان ۱۰ درصدی در مقدار به دست آمده از شکل ۱۳ لحاظ گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران و مدیریت عامل محترم شرکت دانش بنیان فرا توسعه کیاسا به دلیل حمایت‌های ایشان سپاس‌گزاری نمایند.

فهرست علائم

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| d | انحراف از میانگین |
| D | انحراف میانگین |
| m_{ACC} | دبی جرمی خروجی از مخزن مرجع، kg/s |
| m_{PL} | دبی جرمی خروجی از خط لوله، kg/s |
| NP | نرخ افت فشار خط لوله بدون بعد |
| $N\Delta P$ | اختلاف فشار بدون بعد تنظیمی عملگر |
| P_i | فشار اولیه خط لوله، MPa |
| P | نرخ افت فشار خط لوله، kPa/s |
| ΔP | اختلاف فشار تنظیمی عملگر، MPa |
| t_{max} | زمان وقوع اختلاف فشار بیشینه، s |

[14] T.T. Phan and A.J. Sawin, Automatic Linebreak Control Valve Case Study, In: 43rd *Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG)*, Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX, (2012).

[12] R.M. Peekema, Causes of natural gas pipeline explosive ruptures, *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, 4.1 (2013) 74-80.

[13] F. Richards, Failure analysis of a natural gas pipeline rupture, *J. Fail. Anal. Prev.*, 13.6 (2013) 653-657.

Please cite this article using:

M. Mahmoodi and M. Gorji Bandpy, The Experimental Study of Effective Characteristics on Differential Pressure Value Setting of Quarter-turn Actuator in Gas Transportation Pipelines, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(4) (2018) 837-848.
DOI: 10.22060/mej.2017.12049.5250

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



