

# پارامترهای مؤثر بر شیرهای کنترلی اتوماتیک شکست خط در خطوط انتقال گاز

مهدي محمودی (دکتری تخصصی)

مفیدگرچی بندبی\* (استاد)

دانشکده‌ی هندی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل

مهندسی مکانیک شریف، (پاییز ۱۳۹۷)  
دوره‌ی ۳-۳۳، شماره‌ی ۲، ص. ۱۱۵-۱۳۳

شیرهای کنترلی اتوماتیک شکست خط در مناطقی با عدم دسترسی به شبکه‌ی سراسری برق، دارای شرایط صعب‌العبور، با هدف نیاز به ایجاد شرایط پدافند غیرعامل، یا حفاظت از اکوسیستم روی شیرهای خطوط انتقال گاز نصب می‌شود. اثر مشخصه‌های قطر اوریفیس، فشار اولیه‌ی خط لوله و نرخ افت فشار ناشی از شکست خط بر عملکرد این نوع شیرها به صورت آزمایشگاهی با گاز نیتروژن بررسی شد. بیشینه اختلاف فشار طرفین شیر دیاگرامی مبنای تنظیم این نوع شیرهای کنترلی اتوماتیک است. با افزایش نرخ افت فشار شکست خط، کاهش قطر اوریفیس یا کاهش فشار اولیه‌ی خط، اختلاف فشار طرفین شیر دیاگرامی افزایش می‌یابد. مقدار زمان دست‌یابی به این اختلاف فشار بیشینه فقط به اندازه قطر اوریفیس بستگی دارد و با افزایش قطر اوریفیس، کاهش می‌یابد. نمودار اختلاف فشار بیشینه برحسب نرخ افت فشار شکست برای مقادیر مختلف فشارهای اولیه خط و قطرهای اوریفیس ارائه شده است.

واژگان کلیدی: شکست خط، شیر کنترلی، قطر اوریفیس، نرخ افت فشار، بررسی آزمایشگاهی.

mehdymahmoody@gmail.com  
gorji@nit.ac.ir

## ۱. مقدمه

در تمام جهان خطوط لوله برای انتقال و توزیع آب، نفت، گاز و سایر محصولات شیمیایی سبک کاربرد گسترده دارند. مواد نفتی و گاز طبیعی، کیلومترها مسافت را از میدادین استخراج و پالایشگاه‌ها تا نقاط مصرف طی می‌کنند. اغلب این خطوط از میان مناطق شلوغ شهری و نقاط دور دست همچون جنگل‌ها، مزارع و بیابان‌ها می‌گذرند. یکی از مشکلات و دغدغه‌های بسیار تأثیرگذار بر عملکرد ایمن سیستم خطوط انتقال، وقوع شکست یا نشتی‌های شدید در طول این خطوط است. یکی از وظایف مهم در این زمینه، شناسایی زود هنگام نشتی یا شکست‌ها در خطوط انتقال و جلوگیری از هدرروی سیالات با ارزش در حال عبور در درون لوله‌هاست. روش‌های شناسایی نشتی به طور گسترده به دو سیستم مجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تقسیم می‌شوند. در سیستم‌های سخت‌افزاری تشخیص نشتی - شامل روش‌های لوله‌کشی، آکوستیکی، کاوش گاز<sup>۱</sup>، سنسور کابلی، فیبر نوری، تصویربرداری فرسوخ - ردیابی رادیویی می‌شود. برخی از سیستم‌های سخت‌افزاری تشخیص نشتی تنها به صورت دوره‌ی برای بازرسی خطوط انتقال کاربرد دارند. در مقابل، روش‌های نرم‌افزاری اجازه‌ی پایش لحظه‌ی و سریع خطوط را فراهم می‌کنند. هرچند این روش هزینه‌ی بسیار بالایی دارد و کمتر به صورت عمومی کاربرد داشته است.

شیرهای کنترلی اتوماتیک (شکل ۱) شکست خطوط انتقال نفت و گاز، ابراری

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۲/۱۷، اصلاحیه ۱۳۹۶/۵/۲۳، پذیرش ۱۳۹۶/۶/۱۴.

DOI:10.24200/J40.2018.6412

## ۲. پیشینه‌ی تحقیق

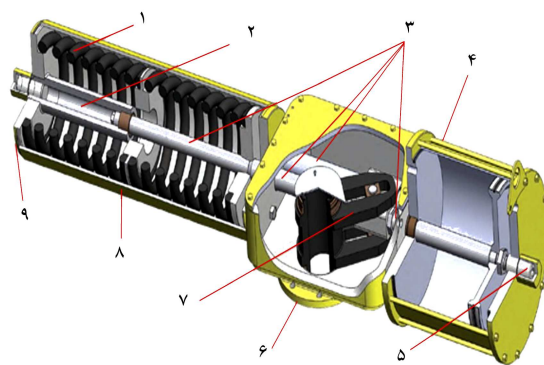
هستند که به وسیله‌ی منابع انرژی نصب شده روی آن‌ها از جمله هوا، نیتروژن، روغن فشرده، فنر یا فشار خط به منظور عملکرد خودکار، کنترل از راه دور یا حالتی که نیروی زیادی برای تغییر وضعیت شیر - اعم از باز و بسته کردن یا کنترل دبی عبوری نیاز است، استفاده می‌شوند.<sup>[۱]</sup>

اجزای عملگر شیر کنترلی اتوماتیک مطابق شکل ۱ عبارت است از ۱. فنر؛ ۲. راهنمای فنر؛ ۳. شاتون و میله‌های راهنمای پیستون؛ ۴. سیلندر؛ ۵. استاپر؛ ۶. فلنج؛ ۷. یوک؛ ۸. محافظ فنر؛ ۹. نگهدارنده‌ی فنر.<sup>[۲]</sup> فشار عملکردی مورد نیاز شیر کنترلی، به طور مستقیم از فشار خط لوله (در خطوط انتقال گاز) یا از فشار تانک مجزای نیتروژن (در خطوط انتقال نفت)، وارد مخازن روغن شیر کنترلی می‌شود (شکل ۲). با اعمال فشار مذکور بر روغن موجود در مخازن، روغن پرفشار وارد سیلندر شده و میل پیستون را جابه‌جا می‌کند. حرکت خطی لغزنده‌ی موجود در انتهای شاتون متصل به پیستون از طریق یوک به حرکت دورانی تبدیل، و سبب چرخش ساقه‌ی شیر می‌شود که در نهایت، شیر نصب شده در خط لوله، باز یا بسته می‌شود.

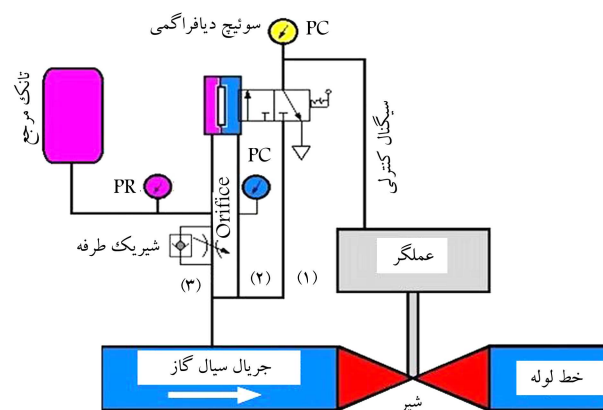
در کشورهای مختلف در سراسر نقاط جهان از جمله چین،<sup>[۳]</sup> تعیین مقدار اختلاف فشار تنظیمی شیرهای کنترلی اتوماتیک اغلب بر اساس نتایج آزمایش‌ها یا پیش‌بینی

قدرت از آن ارائه کردند. گوا و همکاران<sup>[۱۸]</sup> به شبیه‌سازی نیروهای درگیر با شیرهای کنترلی دارای سیلندر یک‌طرفه، و نیز نیروهای تولیدی و مستهلک کننده در حضور اغتشاشاتی همچون اصطکاک پرداختند. شیرهای کنترلی اتوماتیک شکست خط به دلیل حساسیت زیاد بر نرخ تغییرات فشار نسبت به زمان، نیازمند تنظیمات دقیقی هستند که اغلب با صرف زمان و هزینه‌ی زیاد به صورت تجربی تنظیم می‌شوند و با اشکالات و خطاهای زیادی به هنگام بهره‌برداری مواجه‌اند؛<sup>[۱۹]</sup> زیرا تنظیم مقدار اختلاف فشار در این شیرهای کنترلی نیاز به آگاهی از نرخ تغییرات افت فشار داخلی (ذات سیستم کنترلی شیر) و خارجی (سیستم لوله‌کشی خطوط انتقال و میزان دبی شاخه‌های مصرفی یا تزریقی به خط لوله) دارد و تنها با کمک روابط اساسی و عمومی در مکانیک سیالات قابل رسم نیست. افت فشار خارجی در حالت طبیعی شامل افت فشار اصطکاکی در خط لوله و اتصالات آن از قبیل زانویی و وتوری و ... و نیز میزان دبی مصرفی از خطوط لوله در مسیر عبوری آن است. این نوع افت فشار طبیعی است و نباید سبب عمل کردن شیر کنترلی اتوماتیک شود. اختلاف فشار طرفین شیر اختلاف فشار با رخ دادن شکست در خط لوله با زمان تغییر می‌کند و دارای حد بیشینه‌ی است که شیر کنترلی اتوماتیک با این حد تنظیم می‌شود و با رسیدن سوئیچ به این اختلاف فشار، در یک لحظه عمل کرده و شیر را می‌بندد. این اختلاف فشار طرفین سوئیچ به پارامترهای متعددی از قبیل فشار اولیه خط لوله، نرخ افت فشار خط لوله در لحظه شکست، قطر اوریفیس و هندسه‌ی اجزای شیر کنترلی اتوماتیک در مسیر سیال وابسته است.

در مورد اهمیت این موضوع می‌توان به برخی از حوادث مهم در ایالات متحده آمریکا ناشی از عملکرد ناصحیح شیرهای کنترلی اتوماتیک اشاره کرد.<sup>[۱۶]</sup> در حادثه انفجار ۹ سپتامبر ۲۰۱۰ میلادی خط انتقال گاز (شماره ۱۳۲) ۳۰ اینچ شرکت الکتریک و گاز پسیفیک<sup>۲</sup> در شهر ۴۰۰۰۰ نفری سن برنونا<sup>۳</sup> واقع در ۱۲ مایلی شهر سانفرانسیسکو<sup>۴</sup>، تعداد ۸ نفر کشته، ۳۸ خانه تخریب و ۷۰ نفر مجروح شدند. در ۱۹ آگوست ۲۰۰۰ میلادی در کارلزبده<sup>۵</sup> (نیومکزیکو) خط لوله‌ی ۳۰ اینچی انتقال گاز شرکت ال پاسو<sup>۶</sup> با فشار ۶۷۵ psig دچار انفجار شد که ۵۵ دقیقه آتش‌سوزی به همراه داشت. در ۲۴ مارس ۱۹۹۴ میلادی در ادیسون<sup>۸</sup> (نیوجرسی) خط لوله‌ی ۳۶ اینچی انتقال گاز شرکت تگراس<sup>۱۰</sup> شرقی با فشار ۹۷۰ psig دچار انفجار شد. در ۲۱ فوریه ۱۹۸۶ میلادی در لنکستر<sup>۱۱</sup> (کنتاکی) خط لوله‌ی ۳۰ اینچی (شماره ۱۵) انتقال گاز شرکت انگراس شرقی با فشار ۹۸۷ psig دچار انفجار شد. بر مبنای مطالعات انجام شده تاکنون، تمرکز اغلب محققین بر شیرهای کنترلی پره‌دوار معطوف بوده و سایر شیرهای کنترلی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از دلایل آن، نبودن داده‌های آزمایشگاهی معتبر و مناسب در این زمینه به دلیل هزینه بالای آزمایش‌های مورد نیاز است. از دلایل دیگر آن، انحصاری شدن ساخت این نوع شیرهای کنترلی با سرمایه‌گذاری چند شرکت معتبر در ایتالیا و ایالات متحده‌ی آمریکا، طراحی‌های استراتژیک و حساس و نیز نقش پدافندی غیرعامل این نوع از شیرهای کنترلی است. اندک مطالعات انجام شده در زمینه شیرهای کنترلی اتوماتیک مربوط به کاربرد آن روی خطوط انتقال نفت و در واقع وجود کنترل‌کننده‌ی هیدرولیکی (سیستم تشخیص شکست خط لوله) است. در زمینه‌ی عملکرد شیرهای کنترلی در خطوط انتقال نفت و گاز، داده‌های آزمایشگاهی معتبر و مناسب و نیز شبیه‌سازی عددی وجود ندارد. در این مقاله تعداد ۲۷ عدد آزمایش شامل پارامترهای متغیر فشار اولیه خط لوله (برحسب بار)، نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله (برحسب بار بر دقیقه) و قطر اوریفیس (برحسب میلی‌متر) انجام شده که تغییرات اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی با زمان در قالب ۹ شکل شامل ۲۷ منحنی ترسیم شده است. در مجموعه‌ی این ۲۷ منحنی،



شکل ۱. عملگر شیر کنترلی اتوماتیک.<sup>[۱]</sup>

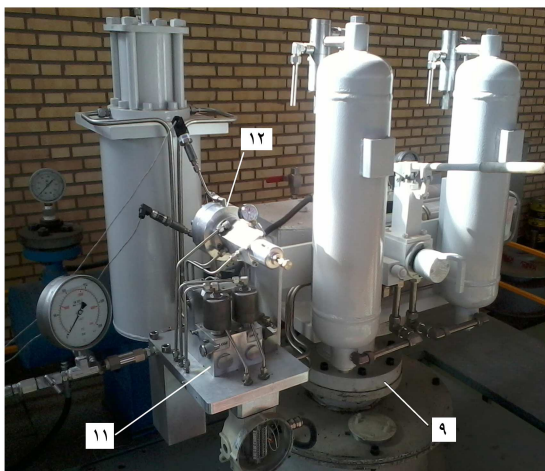
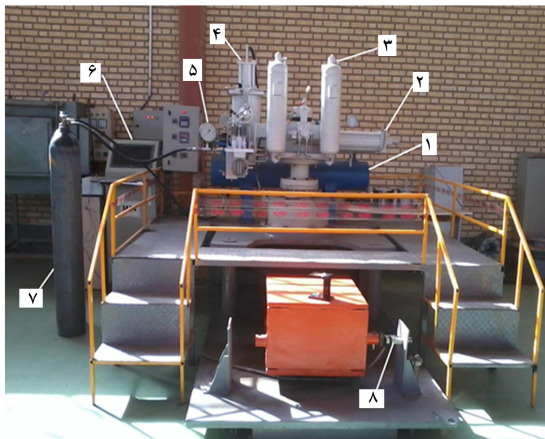


شکل ۲. شماتیک شیر کنترلی اتوماتیک شکست خط.

بر مبنای مقادیر به دست آمده از جریان پایدار سیال گاز در طول زمان‌های طولانی برای شرایط حاکم بر موقعیت شیر کنترلی اتوماتیک نصب شده، انجام می‌گیرد. مطالعات معدودی در زمینه‌ی تشخیص نشتی<sup>[۵-۸]</sup> یا شکست<sup>[۹-۱۲]</sup> در خطوط انتقال گاز انجام شده است. با این وجود تعداد بسیار اندکی مقاله در زمینه تعیین مقدار نرخ افت فشار تنظیمی شیر کنترلی اتوماتیک وجود دارد.<sup>[۱۱]</sup> ژو و همکاران<sup>[۱۳]</sup> به منظور ارزیابی تعیین مقدار مربوط به پارامتر اختلاف فشار عملگرهای نصب شده به صورت متوالی در خط لوله، دوازده عدد از خطوط انتقال گاز چین را به کمک نرم‌افزار Pipeline Studio در حالت یک‌بعدی مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که نرخ افت فشار با افزایش دبی عبوری سیال یا فشار عملکردی خط، افزایش می‌یابد. تعیین مقدار اختلاف فشار تنظیمی عملگر، بازتاباننده‌ی دقت و عملکرد مکانیکی در کمترین زمان ممکن است. در تمام شرایط عملکردی، استفاده از عملگرهای اتوماتیک با سیستم تشخیص شکست خط - به دلیل نیازشان به دقت بسیار زیاد در تنظیمات - توصیه نمی‌شود.<sup>[۱۲]</sup> می‌توان در برخی از شرایط عملکردی از عملگرهای کنترل از راه دور یا دستی استفاده کرد.

مارتون و همکاران<sup>[۱۵]</sup> مدلی خطی و وابسته به سرعت سیال روغن به منظور محاسبه‌ی تلفات اصطکاکی ارائه دادند. در این مدل، اصطکاک با استفاده از مدل نمایی تعریف و الگوریتم تکرارشونده‌ی برای تعیین پارامترهای مدل اصطکاکی ارائه شده است. لی و همکاران<sup>[۱۶]</sup> تغییرات دمایی در بخش هیدرولیکی شیرهای کنترلی الکتروهیدرواستاتیکی را مدل‌سازی و شبیه‌سازی عددی کردند. هاریس و همکاران<sup>[۱۷]</sup> روش بهینه‌سازی مصرف انرژی شیر کنترلی الکتروپنوماتیکی را با هدف کسب بیشینه

وارد شده و سبب حرکت شاتون می‌شود و به دلیل اتصال لغزنده به شاتون، لغزنده در شیار یوک حرکت کرده و دوران یوک و در نتیجه دوران ساقه‌ی شیر را به همراه دارد که در نهایت سبب چرخش شیر می‌شود. با توجه به تعداد متغیرها در جدول ۱، تعداد آزمایش‌ها ۲۷ عدد خواهد بود. پارامتر فشار اولیه‌ی خط لوله مقادیر ۴۰، ۶۵ و ۸۵ بار، پارامتر نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله مقادیر ۰٫۵، ۰٫۷، ۱، ۱٫۵، ۲، ۲٫۵، ۳، ۳٫۵، ۴، ۴٫۵ بار بر دقیقه و پارامتر قطر اورفیس مقادیر ۰٫۵، ۱ و ۱٫۵ میلی‌متر را شامل می‌شوند. در هر آزمایش یک ترکیب سه‌گانه‌ی متفاوت از پارامترهای قطر اورفیس، نرخ افت فشار شکست خط و فشار اولیه‌ی خط لوله انتخاب می‌شود و نمودار اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای ثبت داده‌ها در مدت زمان اجرای هر آزمایش (۱۸۰ ثانیه) ترسیم می‌شود. بستر آزمایشگاهی در شکل ۳ آمده است که شامل: ۱. شبیه‌ساز خط لوله (مخزن تحت فشار)؛ ۲. مجموعه سیلندر و پیستون؛ ۳. مخازن روغن عملگر (دو عدد)؛ ۴. مخزن مرجع؛ ۵. فشارسنج؛ ۶. رایانه؛ ۷. کپسول نیتروژن؛ ۸. نیروسنج؛ ۹. فلنج شیر؛ ۱۰. انتقال‌دهنده‌ی فشار؛ ۱۱. مجموعه‌ی قطر اورفیس؛ ۱۲. شیر دیافراگمی است. به جای سیال گاز پرفشار در خط لوله از نیتروژن فشرده در آزمایش استفاده شد. در این بستر آزمایشگاهی از یک لوله‌ی دو سر بسته به نام «مخزن تحت فشار» به عنوان شبیه‌ساز خط لوله استفاده شده که توسط یک کپسول نیتروژن به فشار مورد نظر می‌رسد و با یک شیر اطمینان وضعیت حد بالای فشار آن کنترل می‌شود. پس از تأمین فشار اولیه خط لوله - با بستن شیر کپسول - از مدار آزمایش خارج می‌شود.



شکل ۳. بستر آزمایشگاهی مورد مطالعه.

۲۷ عدد نقطه‌ی بیشینه اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی وجود دارد که به عنوان نقاط عملکردی در عملگرها محسوب می‌شود. با استفاده از این ۲۷ نقطه‌ی بیشینه، شکل ۱۳ ترسیم شده است که به عنوان مینای طراحی و بهره‌برداری از این نوع عملگرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین به کمک شکل ۱۳ می‌توان برای شرایط متفاوت عملکردی شامل متغیرهای فشار اولیه خط لوله، نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله و قطر اورفیس، اورفیس مورد نظر را انتخاب کرد.

### ۳. تعریف هندسه و طراحی آزمایش

فشار سیال گازی از طریق لوله ارتباطی به شیر کنترلی اتوماتیک منتقل شده و به سه شاخه تقسیم می‌شود. یک مسیر آن به سمت شیر پنوماتیکی نرمال بسته ۳/۲ می‌رود و به دلیل بسته بودن این شیر، سیال پرفشار در مسیر ۱ در حالت انتظار می‌ماند (شکل ۲). شیر پنوماتیکی نرمال بسته ۳/۲ در واقع شیری است با دو حالت مختلف، که در هر حالت آن سه ورودی یا خروجی برای سیال وجود دارد. مسیر ۳ حاوی سیال پرفشار با عبور از مجموعه‌ی شامل اورفیس و شیر یک‌طرفه به دو شاخه تقسیم می‌شود. یک شاخه از آن به سمت چپ شیر دیافراگمی<sup>۱۳</sup> و شاخه‌ی دیگر این مسیر به سمت مخزن مرجع<sup>۱۴</sup> می‌رود. فشار مسیرهای ۲ و ۳ به ترتیب PS و PR در هر لحظه از طریق انتقال‌دهنده‌ی فشار<sup>۱۵</sup> قابل انتقال و ثبت در رایانه است. مخزن مرجع، هنگامی که سیال خط لوله مایع باشد، یک مخزن تحت فشار است که دیافراگمی درون آن قرار دارد و در پشت این دیافراگم، فنری تعبیه شده که فشار سیال سبب جمع شدن فنر شده و مخزن از سیال مایع (اغلب روغن هیدرولیک) پر می‌شود. در هنگام نصب روی خطوط لوله انتقال گاز به دلیل قابلیت تراکم‌پذیری سیال گازی، نیازی به تعبیه‌ی دیافراگم در مخزن نیست. مخزن مرجع، هنگامی که سیال خط لوله مایع باشد، یک مخزن تحت فشار است که دیافراگمی درون آن قرار دارد و در پشت این دیافراگم، فنری تعبیه شده که فشار سیال سبب جمع شدن فنر شده و مخزن از سیال مایع (اغلب روغن هیدرولیک) پر می‌شود. هنگام نصب روی خطوط لوله‌ی انتقال گاز، به دلیل قابلیت تراکم‌پذیری سیال گازی، نیازی به تعبیه‌ی دیافراگم در مخزن نیست. هنگامی که سیال خط لوله مایع است، در مسیر لوله‌ی ارتباطی که از خط لوله وارد می‌شود، یک فیلتر جداکننده<sup>۱۶</sup> قرار داده می‌شود تا از ورود سیال کثیف نفتی به سیستم جلوگیری به عمل آید. فشار سیال نفتی ورودی، موجب حرکت دیسک و فشرده کردن روغن هیدرولیک در سیستم می‌شود. اگر شکستی در خط لوله به وقوع بپیوندد، سبب ایجاد افت فشار در خط لوله شده و فشار در سمت راست شیر دیافراگمی نیز به دلیل ارتباط مستقیم و بدون واسطه با خط لوله به طور مشابه و همزمان با تغییرات فشار در خط لوله تغییر می‌کند ولی فشار در سمت چپ شیر دیافراگمی باید از مجموعه‌ی شامل اورفیس و شیر یک‌طرفه عبور کند؛ چون شیر یک‌طرفه به سیال اجازه‌ی عبور نمی‌دهد، ناچاراً باید سیال گازی را از اورفیس عبور داد و این موضوع سبب تغییر نرخ افت فشار در طرفین شیر دیافراگمی می‌شود (شکل ۲). در نتیجه، اختلاف فشاری در طرفین شیر دیافراگمی ایجاد می‌شود و پایین‌تر بودن فشار در سمت راست دیافراگم، سبب حرکت دیافراگم به سمت راست شده و تغییر وضعیت شیر ۳/۲ پنوماتیکی را به همراه دارد. با باز کردن مسیر ۱، در واقع سیگنالی به عملگر شیر کنترلی اتوماتیک ارسال می‌شود. ورود این سیگنال فشاری به مخزن عملگر سبب اعمال فشار موجود در مسیر ۱ به سیال روغن موجود در مخازن می‌شود. روغن پرفشار به درون سیلندرها

جدول ۱. تعداد متغیرهای مطالعه آزمایشگاهی.

پارامتر	فشار اولیه خط لوله (باز)	نرخ افت فشار شکست خط (بار بر دقیقه)	قطر اوریفیس (میلی متر)
تعداد	۳	۱۱	۳
مقادیر	۴۰، ۶۵، ۸۵	۰٫۷، ۱٫۰، ۱٫۵، ۲٫۰، ۲٫۵، ۳٫۰، ۳٫۵، ۴٫۰، ۴٫۵	۰٫۵، ۱، ۱٫۵

جدول ۲. فهرست تجهیزات اندازه‌گیری.

تجهیز	سازنده و مدل	عدم قطعیت
انتقال‌دهنده فشار	WIKA, Class : A1°	± ۰٫۵%
فشارسنج	WIKA, Type : ۳۳۲، ۵۴	± ۰٫۲۵%

که فشار خط لوله به دلیل شکست در آن کاهش یابد، فشار در مخزن مرجع بیشتر از فشار خط لوله خواهد بود. هنگامی که مخزن به خط لوله متصل می‌شود، سیال به دلیل افت فشار کمتر، مسیر شیر یک‌طرفه را به جای مسیر اوریفیس دار انتخاب می‌کند و وارد مخزن می‌شود تا به فشار خط لوله برسد. ولی در هنگام شکست خط لوله، امکان عبور سیال موجود در مخزن انباشت‌گر از مسیر شیر یک‌طرفه وجود ندارد و تنها سیال از مسیر اوریفیس دار 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. هرچه نرخ افت فشار در خط لوله بزرگ‌تر یا قطر اوریفیس کوچک‌تر یا حجم مخزن مرجع بیشتر باشد، اختلاف بین فشار خط لوله و فشار مخزن مرجع بیشتر خواهد بود. این اختلاف فشار به صورت مکانیکی و مداوم از طریق یک شیر دیافراگمی حس خواهد شد و لحظه‌ای که این اختلاف فشار در طرفین شیر دیافراگمی نیروی بیشتری از نیروی ناشی از بار اعمالی به فنر تولید کند، با ورود سیال پرفشار به مخازن روغن عملگر، تغییر وضعیت شیر ۳/۲ سبب بسته شدن شیر نصب شده روی خط لوله‌ی گاز می‌شود. زمانی که فشار در خط لوله کاهش می‌یابد، به دلیل وجود اوریفیس، فشار در مخزن مرجع با یک تأخیر زمانی و نیز نرخ متفاوت کاهش می‌یابد. اختلاف میان این دو فشار با گذر زمان افزایش یافته تا به یک مقدار بیشینه رسیده و پس از آن کاهش می‌یابد که در واقع بیانگر رفتار ذاتی مجموعه‌ی اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط عملگر شیر کنترلی اتوماتیک است. 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 مطالعه‌ی آزمایشگاهی، تا ۱۸۰ ثانیه پس از ایجاد افت فشار ناشی از شکست در خط لوله را بررسی می‌کند. برای قطر اوریفیس‌های ۰٫۵، ۱ و ۱٫۵ میلی‌متر موجود در شیر کنترلی اتوماتیک نصب شده بر خط لوله‌ی انتقال گاز در مطالعه‌ی آزمایشگاهی حاضر، تغییرات اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی با زمان برای فشار اولیه‌ی خط لوله ۴۰ بار (شکل‌های ۴ تا ۶)، برای فشار اولیه‌ی خط لوله ۶۵ بار (شکل‌های ۷ تا ۹)، و برای فشار اولیه‌ی خط لوله ۸۵ بار (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲) برآورد می‌شود. دلیل انتخاب قطر اوریفیس، فشار اولیه و نرخ افت فشار با مقادیر ذکر شده، تعدد کاربرد این مقادیر در شرکت ملی گاز ایران است. هر شیر کنترلی اتوماتیک با توجه به فشار اولیه‌ی خط لوله‌ی که بر آن نصب می‌شود، و قطر اوریفیس انتخابی برای سیستم تشخیص شکست خط آن که در واقع قلب این سیستم است، در محدوده‌ی خاصی از نرخ‌های افت فشار ممکن‌الوقوع در رخداد شکست خط لوله عمل می‌کند.

با افزایش قطر اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط، و ثابت ماندن فشار اولیه‌ی خط لوله، هرچه نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله بیشتر شود، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، برای یک قطر اوریفیس مشخص، زمان مورد نیاز برای رسیدن به اختلاف فشار بیشینه طرفین شیر دیافراگمی برای تمامی نرخ‌های افت فشار ناشی از شکست خط لوله یکسان بوده و تنها به اندازه‌ی قطر اوریفیس در سیستم تشخیص شکست خط وابسته است. در واقع تنها مشخصه‌ی مؤثر در زمان وقوع اختلاف فشار بیشینه، قطر اوریفیس است و مشخصه‌هایی دیگر همچون نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله و فشار اولیه‌ی خط لوله در مقدار این زمان اثری ندارند. با ثابت بودن قطر اوریفیس و فشار اولیه‌ی خط لوله، تنها متغیر مورد بررسی نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله است. هرچه نرخ افت فشار شکست خط لوله بیشتر باشد، جرم بیشتری از سیال درون خط لوله به اتمسفر تخلیه می‌شود. در لحظه‌ی اولیه، قبل از شکست خط لوله

برای ایجاد افت فشار ناشی از شکست خط به واسطه‌ی خروج سیال از مخزن تحت فشار شبیه‌ساز خط لوله، شیری به وسیله‌ی لوله‌ی رابط روی آن نصب شده و با تنظیم میزان دبی خروجی سیال نیتروژن موجود در شبیه‌ساز خط لوله با کمک یک شیر مدرج می‌توان افت فشار میانگین مورد نظر را به خط لوله اعمال کرد. فشار مسیرهای ۲ و ۳ از طریق انتقال‌دهنده‌ی فشار به رایانه ارسال و ثبت می‌شود. تجهیزات مورد استفاده در آزمایش به همراه عدم قطعیت آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. با وجود دقت بسیار بالای تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده در این آزمایش، کالیبراسیون انجام شد. نمودار اختلاف فشار شیر دیافراگمی برحسب زمان برای ثبت داده‌ها در مدت زمان اجرای سه دقیقه‌ی هر آزمایش هر ۲۰ ثانیه یک‌بار ثبت و ترسیم شده است. هر شرط آزمایشی برای اطمینان از مجاز بودن مقدار عدم قطعیت داده‌های آزمایشگاهی ثبت، و اندازه‌گیری‌ها به تعداد ۳ مرتبه تکرار شد، که با در نظر گرفتن  $(n = 3)$  در معادله‌ی ۱، مقدار میانگین به دست آمد. در هر سه مرتبه تکرار مقدار انحراف مطلق و انحراف میانگین برای داده‌های تکرار شونده از یک شرط عملکردی یکسان به ترتیب با معادلات ۲ و ۳ قابل محاسبه است.

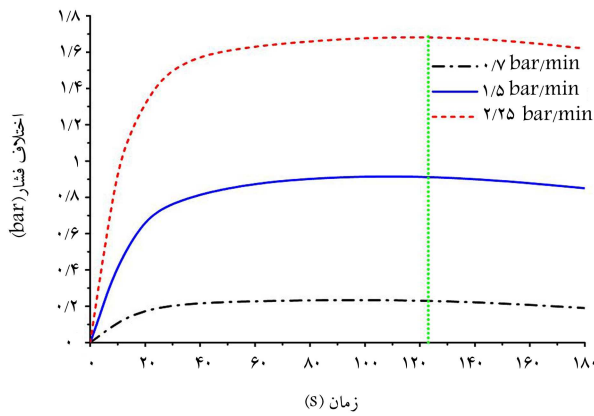
$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

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

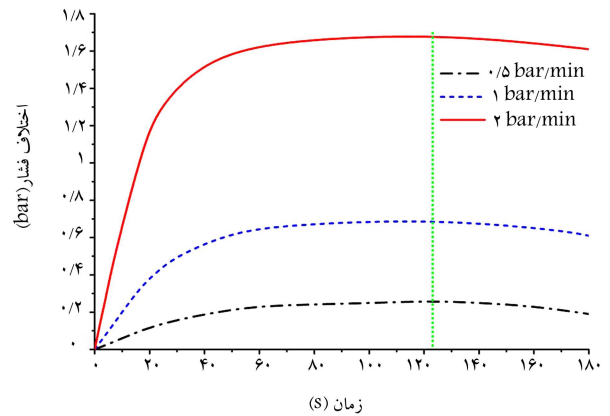
$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + \dots + |d_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i| \quad (3)$$

#### ۴. بحث بر نتایج آزمایشگاهی

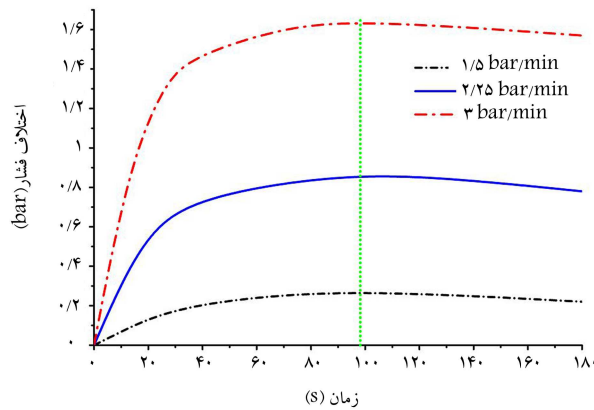
شیر کنترلی اتوماتیک در واقع ابزاری کاملاً مکانیکی برای بستن شیرهای ربع‌گرد در خطوط انتقال نفت و گاز به هنگام رخداد پدیده‌ی شکست در خطوط لوله است. شکست در خط لوله سبب افزایش سرعت گاز و در نتیجه افزایش افت فشار در عبور سیال از شیر می‌شود، ولی نمی‌توان از این ویژگی به عنوان سیگنالی برای عملکرد سیستم تشخیص شکست خط لوله استفاده کرد زیرا، مثلاً هنگامی که شیر کاملاً باز است، مقدار افت فشار بسیار ناچیز است. اگر یک مخزن مرجع به همراه مجموعه‌ی شامل اوریفیس و شیر یک‌طرفه را به وسیله‌ی لوله‌های رابط به خط لوله متصل کنیم، فشار در مخزن به طور آبی با فشار خط لوله برابر می‌شود اما زمانی



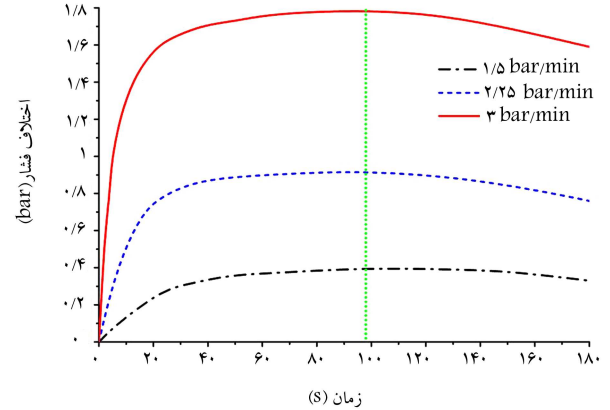
شکل ۷. اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۶۵ بار و قطر اوریفیس ۰/۵ میلی متر.



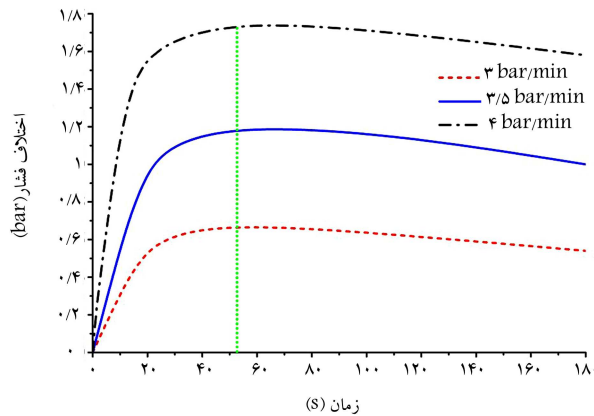
شکل ۴. اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۴۰ بار و قطر اوریفیس ۰/۵ میلی متر.



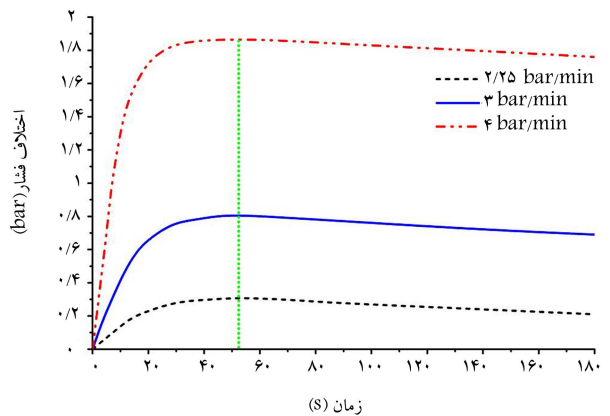
شکل ۸. اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۶۵ بار و قطر اوریفیس ۱ میلی متر.



شکل ۵. اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۴۰ بار و قطر اوریفیس ۱ میلی متر.



شکل ۹. اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۶۵ بار و قطر اوریفیس ۱/۵ میلی متر.



شکل ۶. اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۴۰ بار و قطر اوریفیس ۱/۵ میلی متر.

شکست در خط لوله، دبی جرمی سیال خروجی از خط لوله  $\dot{m}_{PL}$  همواره بزرگتر یا مساوی دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع  $\dot{m}_{ACC}$  است. هرچه نرخ افت فشار شکست خط بیشتر باشد، دبی جرمی خروجی سیال از خط لوله بیشتر است که در واقع تفاوت مقادیرهای  $\dot{m}_{PL}$  و  $\dot{m}_{ACC}$  بیشتر می شود و در نتیجه، اختلاف فشار بیشتری بین طرفین دیافراگم ایجاد می شود. این اختلاف فشار تا یک مقدار

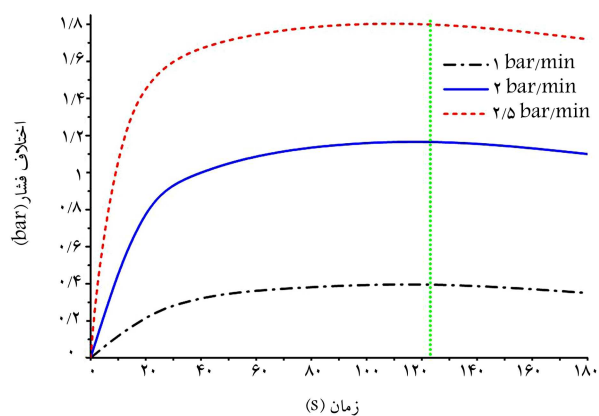
فشار سیال در تمامی نقاط سیستم تشخیص شکست خط برابر با فشار اولیه خط لوله است. در لحظه شکست خط لوله، فشار در سمتی از شیر دیافراگمی که به طور مستقیم به خط لوله متصل است، با نرخ افت فشار ناشی از شکست خط برابر است اما در سمت دیگر شیر دیافراگمی به دلیل عبور سیال از درون اوریفیس، نرخ افت فشار ایجاد شده با نرخ افت فشار ناشی از خط لوله متفاوت است. پس از ایجاد

افزایش می‌یابد، به طوری که طبق نتایج آزمایشگاهی حاصله، برای قطر اورفیس ۱/۵ میلی‌متری زمان وقوع اختلاف فشار بیشینه در طرفین شیر دیاپراگمی ۱۲۳ ثانیه، برای قطر اورفیس ۱ میلی‌متری این زمان ۹۸ ثانیه و برای قطر اورفیس ۱/۵ میلی‌متری ۵۳ ثانیه است.

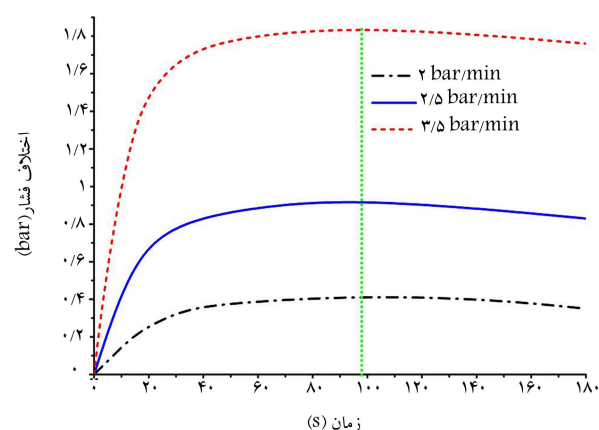
با ثابت بودن نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله و نیز فشار اولیه خط لوله، تنها متغیر مورد بررسی قطر اورفیس موجود در سیستم تشخیص شکست خط شیر کنترلی اتوماتیک است. هرچه قطر اورفیس بزرگ‌تر باشد، دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع به واسطه‌ی اورفیس بیشتر است که در واقع مقدار  $\dot{m}_{ACC}$  به مقدار  $\dot{m}_{PL}$  نزدیک‌تر است و در نتیجه، اختلاف فشار کمتری در طرفین دیاپراگم ایجاد می‌شود. با ثابت بودن قطر اورفیس و نرخ افت فشار ناشی از شکست خط، تنها متغیر مورد بررسی فشار اولیه خط لوله است و هرچه فشار اولیه‌ی خط لوله بیشتر باشد، برخورد مولکول‌های سیال با یکدیگر بیشتر است و نیروی بیشتری به یکدیگر وارد می‌کنند. در لحظه‌ی شکست خط لوله، فشار در سمتی از شیر دیاپراگمی که مستقیماً به خط لوله متصل است، با نرخ افت فشار شکست خط برابر است اما در سمت دیگر شیر دیاپراگمی به دلیل عبور سیال از درون اورفیس، نرخ افت فشار ایجاد شده با نرخ افت فشار شکست خط لوله متفاوت است. 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 می‌شود. برای نرخ ثابت افت فشار شکست خط لوله، اختلاف فشار بین مخزن مرجع و خط لوله با کاهش فشار اولیه خط لوله، افزایش می‌یابد. هرچه فشار اولیه‌ی خط لوله بیشتر باشد، دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع از طریق اورفیس نیز بیشتر است و در واقع مقدار  $\dot{m}_{ACC}$  به مقدار  $\dot{m}_{PL}$  نزدیک‌تر است؛ در نتیجه اختلاف فشار کمتری در طرفین دیاپراگم 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 می‌شود. بر اساس این دیدگاه می‌توان بررسی کرد که هرچه فشار اولیه‌ی خط لوله بیشتر باشد، سرعت خروجی سیال از مخزن انباشتگر از طریق اورفیس بیشتر است و در نتیجه افت فشار موضعی بیشتر در اورفیس بیشتر است و نرخ افت فشار در مسیر گذر از اورفیس به نرخ افت فشار ناشی از شکست خط نزدیک‌تر است.

به همین دلیل برای فشارهای اولیه‌ی خط لوله‌ی بزرگ‌تر، اختلاف فشار طرفین شیر دیاپراگمی مقدار کمتری است. هر قطر اورفیبسی برای یک محدوده‌ی خاص از فشار اولیه‌ی خط و نرخ افت فشار ناشی از شکست خط کاربرد دارد و نمی‌توان از هر قطر اورفیبسی دلخواهی برای شرایط کاری ویژه‌ی آن خط لوله و افت فشارهای طبیعی و ناشی از شکست اعمالی به آن خط استفاده کرد. برای مثال اگر قطر اورفیبسی انتخابی چنان باشد که نرخ دبی جرمی خروجی از آن با نرخ دبی جرمی خروجی از خط لوله برابر باشد، سیستم تشخیص شکست خط هرگز متوجه ایجاد شکست در خط لوله نخواهد شد.

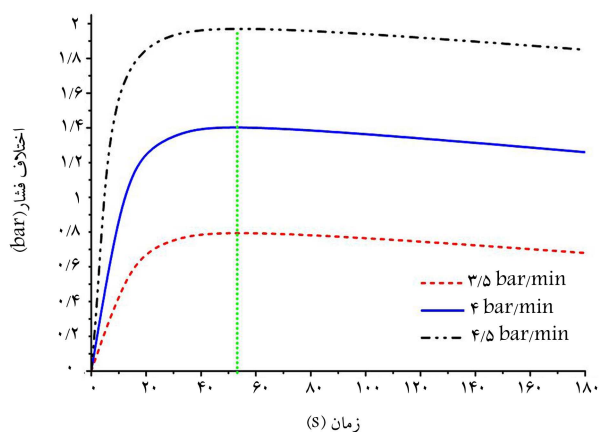
در شکل ۱۳، اختلاف فشار بیشینه بین فشار خط لوله و مخزن مرجع را برحسب نرخ افت فشار میانگین ناشی از شکست خط لوله به عنوان تابعی از قطر اورفیبسی و فشار اولیه‌ی خط لوله نشان داده شده است. برای تنظیم سیستم تشخیص شکست خط، باید اطلاعات کاملی از شرایط کاری خط لوله به دست آورد؛ این پارامترها عبارتند از: محدوده‌ی فشار کاری گاز، مقدار اندازه‌گیری شده‌ی افت فشار کمینه‌ی خط (در زمان کارکرد عادی و در محل نصب شیر برای کمینه، نرمال و بیشینه فشارهای کاری خط لوله) و مقدار اندازه‌گیری شده‌ی افت فشار



شکل ۱۰. اختلاف فشار طرفین شیر دیاپراگمی برحسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۸۵ بار و قطر اورفیبسی ۱/۵ میلی‌متر.



شکل ۱۱. اختلاف فشار طرفین شیر دیاپراگمی برحسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۸۵ بار و قطر اورفیبسی ۱ میلی‌متر.



شکل ۱۲. اختلاف فشار طرفین شیر دیاپراگمی برحسب زمان برای فشار اولیه خط لوله ۸۵ بار و قطر اورفیبسی ۱/۵ میلی‌متر.

بیشینه افزایش می‌یابد و پس از آن به دلیل کاهش جرم سیال در مخزن مرجع، فشار مخزن کاهش می‌یابد و به فشار خط نزدیک می‌شود. با کاهش قطر اورفیبسی و ثابت ماندن نرخ افت فشار ناشی از شکست خط، اختلاف فشار بین مخزن مرجع و خط لوله (اختلاف فشار طرفین شیر دیاپراگمی) افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با کاهش قطر اورفیبسی، زمان دست‌یابی به اختلاف فشار بیشینه‌ی طرفین شیر دیاپراگمی نیز



جدول ۳. داده‌های آزمایشگاهی.

فشار اولیه عملکردی خط لوله (بار)									
۸۵	۸۵	۸۵	۶۵	۶۵	۶۵	۴۰	۴۰	۴۰	قطر اوریفیس (میلی متر)
۲,۲۵	۲	۱	۲,۲۵	۱,۵	۰,۷	۲	۱	۰,۵	نرخ افت فشار (بار بر دقیقه)
۱,۸	۱,۱۸	۰,۳۶	۱,۶۵	۰,۸۵	۰,۱۹	۱,۶۹	۰,۶۴	۰,۲۲	۰,۵ بیشینه اختلاف فشار (بار)
۱۰	۱۱,۳	۱۰,۲	۸,۸	۹,۷	۸,۶	۱۰,۱	۱۱,۸	۱۳,۹	انحراف میانگین (میلی بار)
۳,۵	۲,۵	۲	۳	۲,۲۵	۱,۵	۳	۲,۲۵	۱,۵	نرخ افت فشار (بار بر دقیقه)
۱,۸۲	۰,۸۶	۰,۳۹	۱,۶۹	۰,۸۷	۰,۲۲	۱,۷۸	۰,۸۴	۰,۳۹	۱ بیشینه اختلاف فشار (بار)
۹,۱	۱۰,۳	۹,۷	۸,۵	۵,۹	۱۳,۳	۹,۴	۷,۷	۱۲,۷	انحراف میانگین (میلی بار)
۴,۵	۴	۳,۵	۴	۳,۵	۳	۴	۳	۲,۵	نرخ افت فشار (بار بر دقیقه)
۱,۹۵	۱,۳۹	۰,۷۷	۱,۷۶	۱,۲	۰,۶۴	۱,۸۸	۰,۸۱	۰,۳۷	۱,۵ بیشینه اختلاف فشار (بار)
۱۱,۱	۸,۳	۱۰,۹	۹,۷	۱۰	۸,۴	۱۲,۱	۷,۵	۹,۹	انحراف میانگین (میلی بار)

برای قطر اوریفیس ۰,۵ میلی‌متر و فشار اولیه ۴۰ بار:

$$\Delta P = 0,93\dot{P} - 0,17; R^T = 1$$

برای قطر اوریفیس ۱ میلی‌متر و فشار اولیه ۴۰ بار:

$$\Delta P = 0,94\dot{P} - 1,12; R^T = 0,999$$

برای قطر اوریفیس ۱,۵ میلی‌متر و فشار اولیه ۴۰ بار:

$$\Delta P = 1,1\dot{P} - 2,42; R^T = 0,998$$

برای قطر اوریفیس ۰,۵ میلی‌متر و فشار اولیه ۶۵ بار:

$$\Delta P = 0,87\dot{P} - 0,23; R^T = 0,999$$

برای قطر اوریفیس ۱ میلی‌متر و فشار اولیه ۶۵ بار:

$$\Delta P = 0,9\dot{P} - 1,3; R^T = 0,998$$

برای قطر اوریفیس ۱,۵ میلی‌متر و فشار اولیه ۶۵ بار:

$$\Delta P = 1,25\dot{P} - 3,2; R^T = 0,999$$

برای قطر اوریفیس ۰,۵ میلی‌متر و فشار اولیه ۸۵ بار:

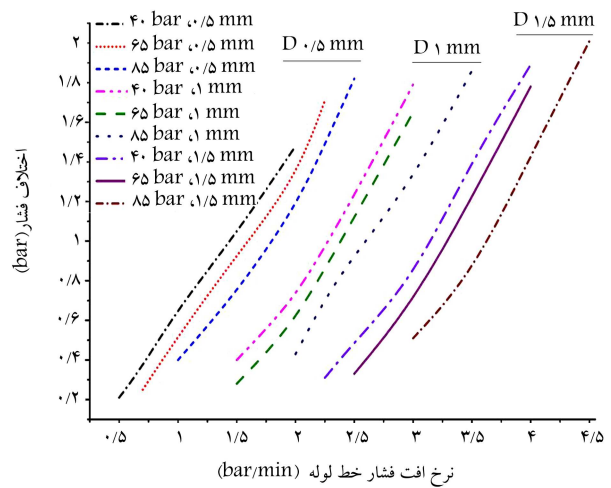
$$\Delta P = 0,9\dot{P} - 0,46; R^T = 0,999$$

برای قطر اوریفیس ۱ میلی‌متر و فشار اولیه ۸۵ بار:

$$\Delta P = \dot{P} - 1,6; R^T = 0,999$$

برای قطر اوریفیس ۱,۵ میلی‌متر و فشار اولیه ۸۵ بار:

$$\Delta P = 1,25\dot{P} - 3,47; R^T = 0,998$$



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

بیشینه‌ی خط (در زمان کارکرد عادی و در محل نصب شیر برای کمیته، نرمال و بیشینه فشارهای کاری خط لوله). نرخ افت فشار در شرایط کارکرد نرمال همواره از نرخ افت فشار در زمان شکست خط لوله در فشار کاری یکسان، کمتر است. در جدول ۳، فشار اولیه و بیشینه اختلاف فشار بر حسب بار، قطر اوریفیس بر حسب میلی‌متر، و نرخ افت فشار بر حسب بار بر دقیقه است. تقریب خطی از منحنی‌های شکل ۱۳، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. روابط محاسباتی مربوط به شکل ۱۳ با دقت قابل قبول بر مبنای باقی‌مانده‌های مشخص شده ( $R^T$ ) در خطی‌سازی، ارائه شده است. می‌توان از روابط زیر برای تعیین نرخ افت فشار تنظیمی شیر کنترلی اتوماتیک بر حسب نرخ افت فشار خط لوله برای مقادیر مختلف قطر اوریفیس و فشار اولیه عملکردی خط لوله استفاده کرد. مقدار به دست آمده برای  $\Delta P$  به منظور اعمال ضریب اطمینان و حذف خطای آزمایش با گاز نیتروژن در عدد ۰,۹ ضرب شود. در واقع، نتایج شکل ۱۳ با ضریب اطمینان ۱۰ درصدی برای شرایط عملکردی صنعت قابل استفاده است.

## ۵. کارکرد صنعتی

وسیع این نوع عملگرها در خطوط انتقال نفت و گاز و اثر شرایط عملکردی و محلی عملگرها، تاکنون نتایج آزمایشگاهی معتبری در این زمینه منتشر نشده است. در این مقاله این هدف با دست‌یابی به شکل ۱۳ محقق شد که روابط قابل قبول و دقیق نظری از این شکل استخراج شد. از این روابط می‌توان در تخمین سایر شرایط عملکردی که داده‌های آزمایشگاهی برای آن وجود ندارد، استفاده کرد. از مقادیر به دست آمده در شکل ۱۳ به کمک ضریب اطمینانی  $10^\circ$  درصدی می‌توان در تنظیم شیرکنترلی عملگر بهره برد. با ثابت بودن قطر اوریفیس و فشار اولیه خط لوله، 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 ناشی از شکست خط لوله و کاهش قطر اوریفیس، اختلاف فشار بین مخزن مرجع و خط لوله که برابر با اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی است، افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، سبب افزایش زمان دست‌یابی به بیشینه مقدار این اختلاف فشار می‌شود. برای نرخ افت فشارهای شکست خط و قطر اوریفیس‌های ثابت، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی با کاهش فشار اولیه خط لوله افزایش می‌یابد. زمان دست‌یابی به اختلاف فشار بیشینه برای مقادیر مختلفی از نرخ‌های افت فشار شکست و فشارهای اولیه خط لوله، یکسان است و تنها به اندازه قطر اوریفیس بستگی دارد. نمودار با ارزش اختلاف فشار بیشینه برحسب نرخ افت فشار شکست خط برای مقادیر مختلف فشارهای اولیه خط لوله و قطرهای اوریفیس متفاوت ارائه شده است که مبنای طراحی و تنظیم شیرهای کنترلی اتوماتیک تمام‌مکانیکی مورد استفاده در خطوط انتقال گاز است. هر قطر اوریفیس قادر است، یک محدوده خاصی از نرخ‌های افت فشار ناشی از شکست خط را حس کند و برای نرخ‌های خارج از این محدوده، شیر کنترلی اتوماتیک عکس‌العمل صحیحی نشان نمی‌دهد. به همین منظور انتخاب قطر اوریفیس صحیح و مناسب برای شرایط عملکردی حاکم بر خط لوله بسیار ضروری است.

## فهرست علائم

$m$	$D$	قطر اوریفیس
$kg/s$	$\dot{m}_{ACC}$	دبی جرمی خروجی از مخزن مرجع
$kg/s$	$\dot{m}_{PL}$	دبی جرمی خروجی از خط لوله
$bar/min$	$\dot{P}$	نرخ افت فشار خط لوله
$bar/min$	$\Delta P$	اختلاف فشار تنظیمی شیرکنترلی
$bar/min$	$PC$	فشار سیال ورودی به عملگر شیرکنترلی
$bar$	$PR$	فشار سمت چپ دیافراگم (فشار بالا)
$bar$	$PS$	فشار سمت راست دیافراگم (فشار پایین)
$s$	$t$	زمان

برای تنظیم سیستم تشخیص شکست خط لوله لازم است نرخ افت فشار بالاتری را نسبت به نرخ افت فشار ممکن‌الوقوع در زمان شرایط عملکردی نرمال سیستم و پایین‌تر از تمامی نرخ افت فشارهای ممکن‌الوقوع در زمان شکست خط لوله انتخاب شود. زمانی که نرخ افت فشار خط لوله و فشار کاری خط لوله مشخص شوند، می‌توان قطر اوریفیس را به کمک شکل ۱۳ معین کرد. البته حالت‌های 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 می‌توان نرخ افت فشار غیر نرمال را محاسبه کرد. حال برای فشارهای اولیه‌ی کاری خط لوله می‌توان مقدار اختلاف فشار تنظیمی عملگر را به دست آورد. نرخ افت فشار منتخب را روی محور افقی مشخص کرده و از این نقطه خطی عمودی خارج می‌کنیم تا منحنی مربوط به فشار کاری مربوط به خط لوله را در بزرگ‌ترین اختلاف فشار ممکن در مجموعه منحنی‌های ارائه شده، قطع کند. از نقطه‌ی به دست آمده از تقاطع خط عمودی و منحنی، یک خط افقی رسم می‌کنیم تا محور عمودی را قطع کند. مقدار مشخص شده برای پارامتر اختلاف فشار تنظیمی روی محور عمودی در واقع مقدار تنظیمی برای شیر دیافراگمی خواهد بود که مقدار در محدوده‌ی صفر تا  $0.2^\circ$  مگاپاسکال خواهد بود. برای استفاده از این نتایج در صنعت، مقدار پیشنهادی اختلاف فشار تنظیمی عملگر برای پیشگیری از به وجود آمدن تداخل و از بین بردن خطای استفاده از گاز نیتروژن به جای گاز طبیعی،  $90^\circ$  درصد مقدار تعیین شده از شکل ۱۳ مطابق با روش بالاستست. چگالی گاز طبیعی در شرایط استاندارد  $0.79^\circ$  کیلوگرم بر مترمکعب و برای نیتروژن  $1.25^\circ$  کیلوگرم بر مترمکعب است. می‌توان از روابط ذکر شده برای تعیین اختلاف فشار تنظیمی عملگر برحسب نرخ افت فشار خط لوله برای مقادیر مختلف قطر اوریفیس و فشار اولیه عملکردی خط لوله استفاده کرد. مقدار به دست آمده برای  $\Delta P$  به منظور اعمال ضریب اطمینان و حذف خطای آزمایش با گاز نیتروژن در عدد  $0.9^\circ$  ضرب شود. در عمل، مقدار پیشنهادی تنظیم شیر دیافراگمی در شیرکنترلی اتوماتیک برای پیشگیری از به وجود آمدن تداخل و همچنین حذف خطای انجام آزمایش با گاز نیتروژن به جای گاز طبیعی،  $90^\circ$  درصد مقدار تعیین شده مطابق با روش بالا از شکل ۱۳ است. در عمل باید برای یک قطر اوریفیس مشخص، شیر دیافراگمی را بر اساس مقدار اختلاف فشار در شکل ۱۳ تنظیم کرد.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این نوشتار اثر مشخصه‌های قطر اوریفیس، فشار اولیه و نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله بر اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی در شیرکنترلی اتوماتیک با سیال عبوری گاز نیتروژن به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. علی‌رغم کاربرد

## پانویس‌ها

1. gas tracer

2. pacific gas and electric company
3. San Bruno
4. San Francisco
5. Carlsbad



6. New Mexico
7. El Paso
8. Edison
9. New Jersey
10. Texas Eastern Transmission Corporation
11. Lancaster
12. Kentucky
13. differential pressure switch
14. reference Tank
15. pressure transmitter
16. filter separator

### منابع (References)

1. Nesbitt, B., *Handbook of Valves and Actuators: Valve and actuators selection*, Chapter 19, Butterworth-Heinemann, pp.425-432 (2011).
2. Zhang, P., *Advanced industrial Control Technology: A Handbook for engineers and researchers*, Sensors and actuators for industrial control, Chapter 1, pp.2-186 (2010).
3. Wang, G.H. and Zhang, W.F. "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. Wang, W.L., Gao, Y.H. and Lai, J.B. "Setting of pressure drop rate in pipe burst detection system on natural gas pipeline block valve", *Gas Heat*, **33**(7), pp.19-23 (2013).
5. Harriott, G.M. "Gas pipeline simulation: leak detection", In: Proc., 42<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX (2011).
6. Nogueroles, R. "Pipeline control modes and their effect on model-based leak detection", In: Proc., 42<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX (2011).
7. Reddy, H.P., Narasimhan, S., Bhallamudi, S.M. and et al. "Leak detection in gas pipeline networks using an efficient state estimator. Part-I: theory and simulations", *Comput. Chem. Eng.*, **35**(4), pp. 651-661 (2011a).
8. Reddy, H.P., Narasimhan, S., Bhallamudi, S.M. and et al. "Leak detection in gas pipeline networks using an efficient state estimator. Part II. Experimental and field evaluation", *Comput. Chem. Eng.*, **35**(4), pp.662-670 (2011b).
9. Lacerda, S.A.M. and Elias, G.P., "The use of pipeline simulation to analyse the effects of a gas pipeline rupture", In: Proc., 41<sup>st</sup> Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX (2010).
10. AL-Rasheed, M., Brell, A., Al-Qaffas, S. and et al. "Pipeline rupture consequences mitigation comprehensive study", In: Proc., 41<sup>st</sup> Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX (2010).
11. Peekema, R.M. "Causes of natural gas pipeline explosive ruptures", *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, **4**(1), pp.74-80 (2013).
12. Richards, F. "Failure analysis of a natural gas pipeline rupture", *J. Fail. Anal. Prev.*, **13**(6), pp.653-657 (2013).
13. Zuo, L., Jiang, F., Jin, B. and et al. "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**, pp.803-809, (2015).
14. Phan, T.T. and Sawin, A.J., "Automatic Linebreak Control Valve Case Study." Proc., 43<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Group (PSIG). Pipeline Simulation Interest Group, Houston, TX, (2012).
15. Marton, S., Fodor, S. and Sepehri, N. "A practical method for friction identification in hydraulic actuators", *Mechatronics*, **21**, pp.350-356 (2011).
16. Zhong, Li. K., L. Lu, K. and Ping, Y. "Thermal-hydraulic Modeling and Simulation of the Hydraulic System Based on the Electro-Hydrostatic Actuator", *Procedia Engineering*, **80**, pp.272-281 (2014).
17. Harris, P., Nolan, S., Garet E. and et al. "Energy optimisation of pneumatic actuator systems in manufacturing", *Journal of Cleaner Production*, **72**, pp. 35-45 (2014).
18. Guo, K., Wei, J., Fang, J. and et al. "Position tracking control of electro-hydraulic single-rod actuator based on an extended disturbance observer", *Mechatronics*, **27**, pp.47-56 (2015).