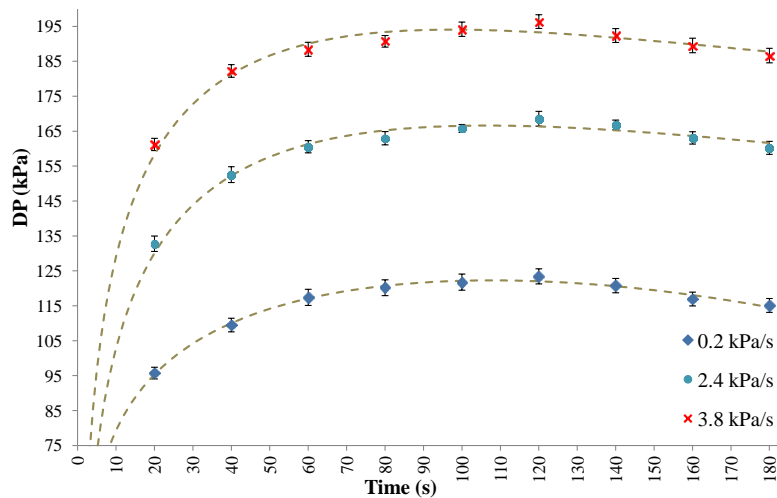


شکل ۶- اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه ۷۵۰۰ kPa و قطر اوریفیس ۱/۵ mm.

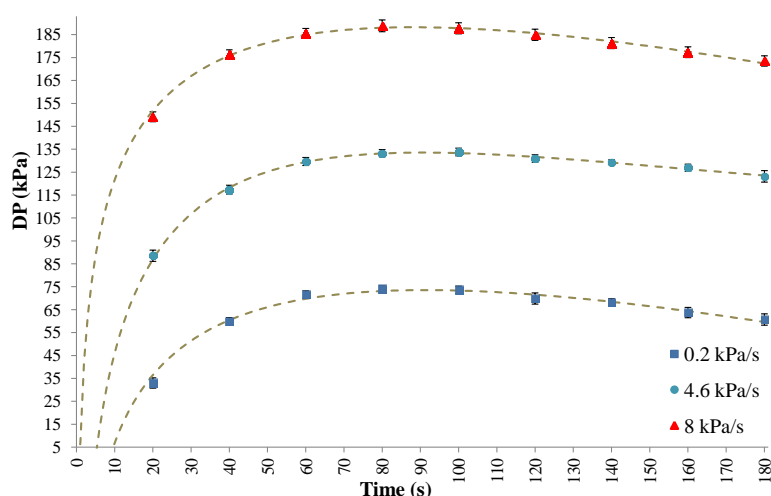


شکل ۷- اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه ۹۰۰۰ kPa و قطر اوریفیس ۰/۷ mm.

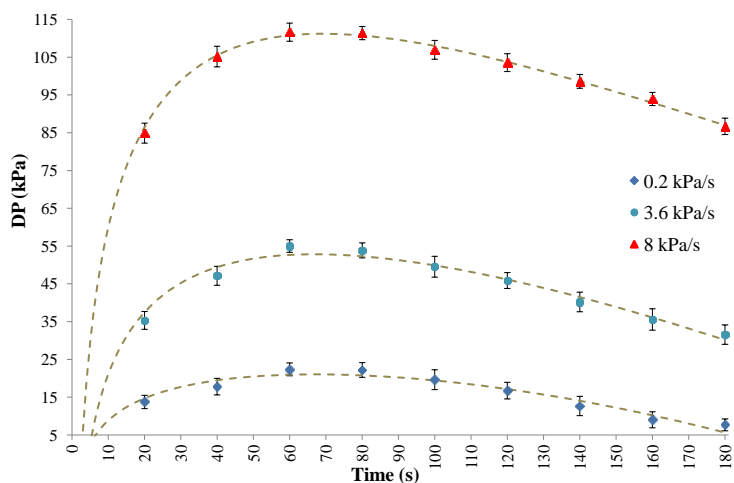
این اختلاف فشار تا یک مقدار بیشینه افزایش می‌یابد و پس از آن به دلیل کاهش جرم سیال در مخزن مرجع، فشار مخزن کاهش یافته و به فشار خط نزدیک می‌گردد. با کاهش قطر اوریفیس و ثابت ماندن نرخ افت فشار ناشی از شکست خط، اختلاف فشار بین مخزن مرجع و خط لوله (اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی) افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با کاهش قطر اوریفیس، زمان دستیابی به اختلاف فشار بیشینه طرفین شیر دیافراگمی نیز افزایش می‌یابد، به طوری که مطابق با نتایج آزمایشگاهی برای قطر اوریفیس ۰/۷ میلی‌متری زمان  $Time_{max}$  وقوع اختلاف فشار بیشینه در طرفین شیر دیافراگمی ۱۲۰ ثانیه، برای قطر اوریفیس ۱ میلی‌متری این زمان

۱۰۰ ثانیه و برای قطر اوریفیس ۱/۵ میلی‌متری ۸۰ ثانیه است. با ثابت بودن فشار اولیه و نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله، تنها متغیر مورد بررسی قطر اوریفیس عملگر 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 برابر با فشار اولیه خط لوله است.

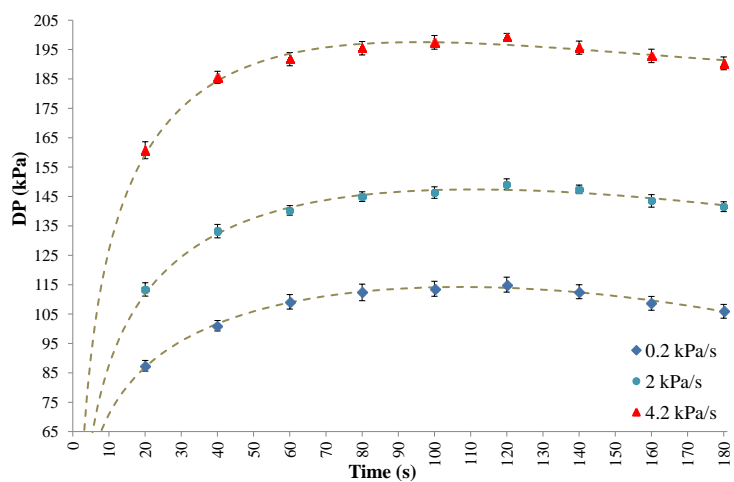
در لحظه شکست خط لوله، فشار در سمتی از شیر دیافراگمی که به طور مستقیم به خط لوله متصل است، با نرخ افت فشار ناشی از شکست خط برابر است اما در سمت دیگر شیر دیافراگمی به دلیل عبور سیال از درون اوریفیس، نرخ افت فشار ایجاد شده با نرخ افت فشار ناشی از خط لوله متفاوت است. هر چه قطر اوریفیس بزرگ‌تر باشد، دبی جرمی سیال خروجی از مخزن مرجع به واسطه اوریفیس بیشتر است که در واقع مقدار  $\dot{m}_{PL}$  به مقدار 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 افت فشار شکست خط لوله و قطر اوریفیس ثابت، اختلاف فشار بین مخزن مرجع و خط لوله با کاهش فشار اولیه خط لوله، افزایش می‌یابد.



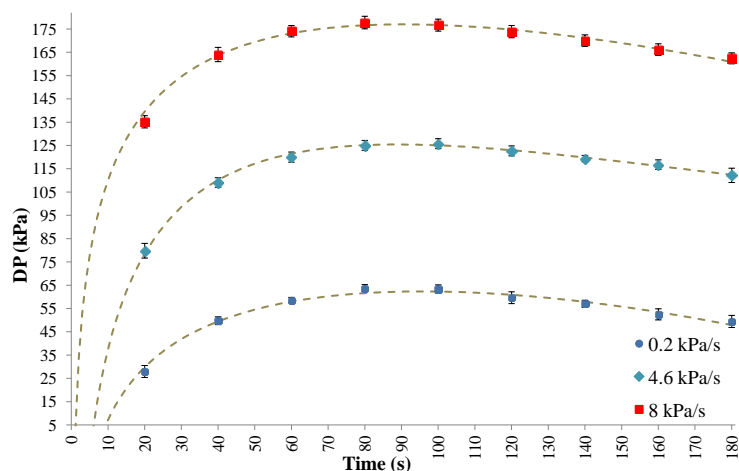
شکل ۸- اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه ۹۰۰۰ kPa و قطر اوریفیس ۱ mm.



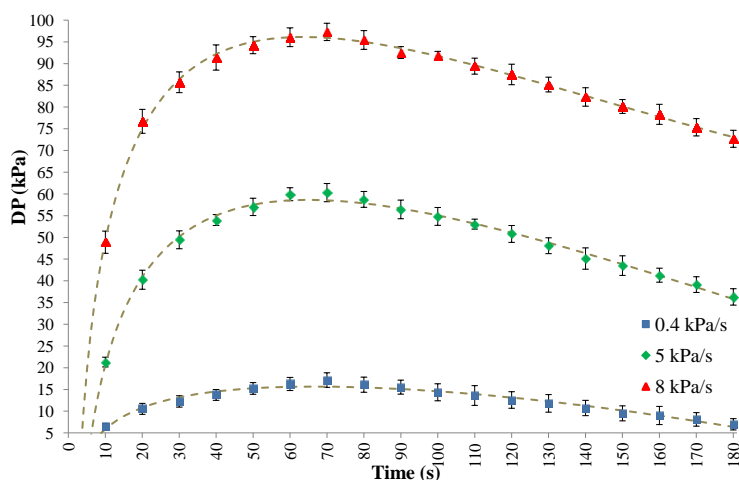
شکل ۹- اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه ۹۰۰۰ kPa و قطر اوریفیس ۱/۵ mm.



شکل ۱۰- اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه ۱۰۵۰۰ kPa و قطر اوریفیس ۰/۷ mm.



شکل ۱۱- اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه ۱۰۵۰۰ kPa و قطر اوریفیس ۱ mm.



شکل ۱۲- اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب زمان برای فشار اولیه ۱۰۵۰۰ kPa و قطر اوریفیس ۱/۵ mm.

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  $\dot{m}_{PL}$  نزدیک تر است و در نتیجه، اختلاف فشار کمتری در طرفین دیافراگم ایجاد می شود. این اختلاف فشار تا یک مقدار بیشینه افزایش می یابد و پس از آن به دلیل کاهش جرم سیال در مخزن مرجع، فشار مخزن کاهش یافته و به فشار خط نزدیک می گردد. در واقع، 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 بیشتر در اوریفیس بیشتر بوده و نرخ افت فشار در مسیر گذر از اوریفیس به نرخ افت فشار ناشی از شکست خط نزدیک تر است.

به همین دلیل برای فشارهای اولیه خط لوله بزرگ‌تر، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی مقدار کمتری است. هر قطر اوریفیسی برای یک محدوده خاص از فشار اولیه و نرخ افت فشار ناشی از شکست خط 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 برابر باشد شیر کنترلی اتوماتیک هرگز متوجه ایجاد شکست در خط لوله نخواهد شد. شکل (۱۳)، اختلاف فشار بیشینه بدون بعد بین فشار خط لوله و مخزن مرجع را برحسب نرخ افت فشار میانگین بدون بعد ناشی از شکست خط لوله به عنوان تابعی از قطر اوریفیس و فشار اولیه خط لوله نمایش می‌دهد. 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 کاری گاز، مقدار اندازه‌گیری شده افت فشار کمینه خط (در زمان کارکرد عادی و در محل نصب شیر برای کمینه، نرمال و بیشینه فشارهای کاری خط لوله) و مقدار اندازه‌گیری شده افت فشار بیشینه خط (در زمان کارکرد عادی و در محل نصب شیر برای کمینه، نرمال و بیشینه فشارهای کاری خط لوله) می‌باشند.

نرخ افت فشار در شرایط کارکردی نرمال همواره از نرخ افت فشار در زمان شکست خط لوله در فشار کاری یکسان، کمتر است. اختلاف فشار بیشینه بدون بعد  $NDP_{max}$  و نرخ افت فشار بدون بعد شکست خط  $NPR$  با استفاده از معادلات ۳ و ۴ محاسبه شده است.

$$NDP_{max} = DP_{max} / P_i \quad (۳)$$

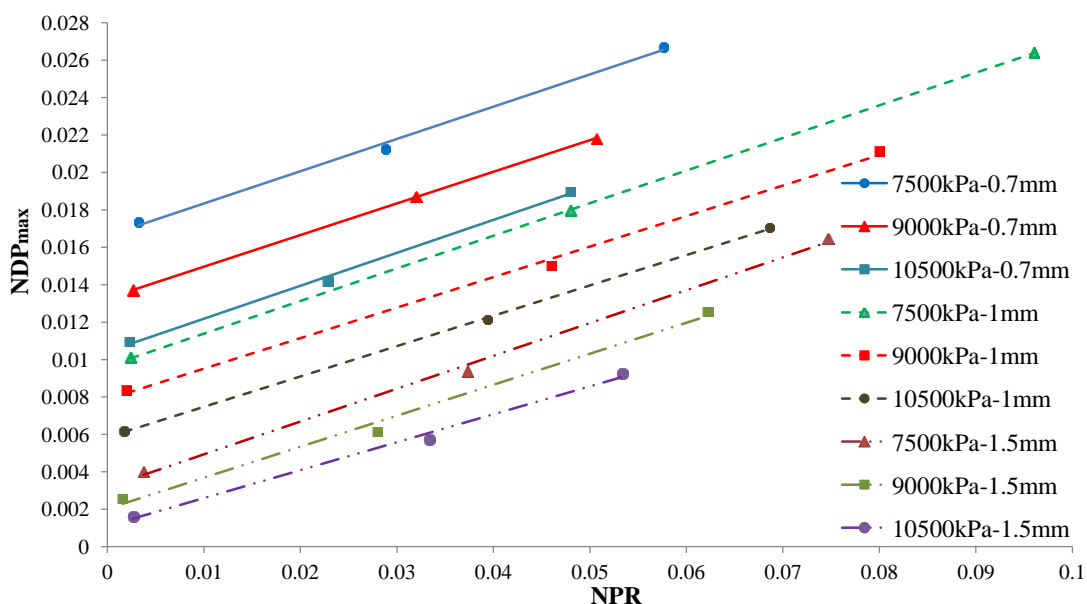
$$NPR = PR \times Time_{max} / P_i \quad (۴)$$

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 کارکرد عادی سیستم و پایین‌تر از تمامی نرخ افت فشارهای ممکن الوقوع در زمان شکست خط لوله انتخاب شود. زمانی که نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله و فشار کاری خط لوله مشخص شوند، می‌توان قطر اوریفیس را به کمک شکل (۱۳) معین نمود.

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 نماید. از نقطه به دست آمده از تقاطع خط عمودی و منحنی، یک خط افقی رسم کرده تا محور عمودی را قطع نماید. در واقع، مقادیر مشخص شده برای پارامتر اختلاف فشار بیشینه بدون بعد روی محور عمودی در شکل (۱۳) جهت انتخاب مقدار تنظیمی برای شیر کنترل اتوماتیک شکست خط استفاده می‌شود. در عمل، مقدار محاسبه شده برای تنظیم شیر کنترل اتوماتیک از شکل (۱۳) با ضریب اطمینان ۱۵ درصدی استفاده خواهد شد.

جدول ۲- محاسبه پارامترهای بدون بعد  $NDP_{max}$  و NPR بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی

D	۰/۷ mm		۱ mm		۱/۵ mm	
	$NDP_{max}$	NPR	$NDP_{max}$	NPR	$NDP_{max}$	NPR
۷۵۰۰ kPa	۰/۰۱۷۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴۳
	۰/۰۲۱۲	۰/۰۲۸۸	۰/۰۱۷۹	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۹۴	۰/۰۳۷۳
	۰/۰۲۶۷	۰/۰۵۷۶	۰/۰۰۹۶	۰/۰۲۶۴	۰/۰۱۶۴	۰/۰۷۴۷
۹۰۰۰ kPa	۰/۰۱۳۷	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۵
	۰/۰۱۸۷	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۲۸
	۰/۰۵۰۶	۰/۰۲۱۸	۰/۰۲۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲۶	۰/۰۶۲۲
۱۰۵۰۰ kPa	۰/۰۰۲۳	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۷
	۰/۰۲۲۹	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۲۱	۰/۰۳۹۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۳۳۳
	۰/۰۱۸۹	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۷	۰/۰۶۸۶	۰/۰۰۹۲	۰/۰۵۳۳



شکل ۱۳- اختلاف فشار بدون بعد شیر دیافراگمی بر حسب نرخ افت فشار بدون بعد ناشی از شکست خط برای مقادیر مختلف فشار اولیه خط لوله و قطر اوریفیس عملگر

جدول ۳- ضرایب ثابت در معادله ۵

	۷۵۰۰ kPa			۹۰۰۰ kPa			۱۰۵۰۰ kPa		
	۰/۷ mm	۱ mm	۱/۵ mm	۰/۷ mm	۱ mm	۱/۵ mm	۰/۷ mm	۱ mm	۱/۵ mm
a	۰/۱۷۲	۰/۱۷۴	۰/۱۷۵	۰/۱۶۹	۰/۱۶۳	۰/۱۶۵	۰/۱۷۶	۰/۱۶۲	۰/۱۴۹
b	۰/۰۱۷	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱
$R^2$	۰/۹۹۶	۱	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۳	۰/۹۹۷	۱	۰/۹۹۴

علت اصلی بکارگیری این ضریب اطمینان، استفاده از گاز نیتروژن جهت انجام تست‌های آزمایشگاهی به جای گاز طبیعی می‌باشد. در عمل باید برای یک قطر اوریفیس مشخص، شیر دیافراگمی را بر اساس مقدار اختلاف فشار در شکل (۱۳) تنظیم نمود. ضرایب ثابت  $a$  و  $b$  مربوط به معادله ۵ به همراه مقدار  $R^2$  (دقت انطباق خط پیشنهادی بر داده‌های آزمایشگاهی) در جدول (۳) آمده است.

$$\text{NDP}_{\max} = a \text{NPR} + b \quad (۵)$$

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر مشخصه‌های قطر اوریفیس عملگر، فشار اولیه و نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله بر اختلاف فشار تنظیمی شیر کنترلی اتوماتیک با گاز نیتروژن به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. هر چه نرخ افت فشار ناشی از شکست خط لوله بیشتر شود، اختلاف فشار طرفین شیر دیافراگمی افزایش می‌یابد. با ثابت ماندن فشار اولیه و 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 و از سوی دیگر سبب افزایش زمان دستیابی به بیشینه مقدار این اختلاف فشار می‌شود.

برای نرخ افت فشارهای ناشی از 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 فشارهای اولیه و نرخ‌های افت فشار شکست خط لوله، یکسان است و تنها به اندازه قطر اوریفیس بستگی دارد. دیگرام با ارزش اختلاف فشار بیشینه بدون بعد بر حسب نرخ افت فشار بدون بعد شکست خط لوله برای مقادیر مختلف فشارهای اولیه خط لوله و قطرهای اوریفیس عملگر متفاوت ارائه شده است که مبنای طراحی و تنظیم پرکاربردترین نوع عملگرهای تمام مکانیکی مورد استفاده در شیرهای کنترلی اتوماتیک خطوط انتقال گاز است. هر قطر اوریفیس عملگر برای یک فشار اولیه خط لوله مشخص در سیستم تشخیص شکست خط قادر است، محدوده خاصی از نرخ‌های افت فشار ناشی از شکست خط را حس نماید و برای نرخ‌های خارج از این محدوده، شیر کنترلی اتوماتیک عکس‌العملی نشان نمی‌دهد.

## 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.

## مراجع

- [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, Vol. 33, No. 7, pp. 19-23, (2013).
- [5] Zuo, L., Jiang, F., and Jin, B., "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, Vol. 26, pp. 803-809, (2015).
- [6] 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).
- [7] Noguerol, 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).
- [8] Reddy, H.P., Narasimhan, S., and Bhallamudi, S.M., "Leak Detection in Gas Pipeline Networks using an Efficient State Estimator, Part-I: Theory and Simulations", Comput. Chem. Eng., Vol. 35, No. 4, pp. 651-661, (2011a).
- [9] Reddy, H.P., Narasimhan, S., and Bhallamudi, S.M., "Leak Detection in Gas Pipeline Networks using an Efficient State Estimator, Part II. Experimental and Field Evaluation", Comput. Chem. Eng., Vol. 35, No. 4, pp. 662-670, (2011b).
- [10] 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).
- [11] AL-Rasheed, M., Brell, A., and Al-Qaffas, S., "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).
- [12] Peekema, R.M., "Causes of Natural Gas Pipeline Explosive Ruptures", J. Pipeline Syst. Eng. Pract., Vol. 4, No. 1, pp. 74-80, (2013).
- [13] Richards, F., "Failure Analysis of a Natural Gas Pipeline Rupture", J. Fail. Anal. Prev., Vol. 13, No. 6, pp. 653-657, (2013).
- [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] Sorli, M., Gastaldi, L., Codina, E., and Heras, S., "Dynamic Analysis of Pneumatic Actuators", Simulation Practice and Theory, Vol. 7, No. 5-6, pp. 589-602, (1999).



- [16] Sekhavat, P., Sepehri, N., and Wu, Q., "Impact Stabilizing Controller for Hydraulic Actuators with Friction: Theory and Experiments", *Control Engineering Practice*, Vol. 14, pp. 1423-1433, (2006).
- [17] Oriol, G.B., Campanile, F., Galceran, S.A., Montesinos, D.M., and Rull, J.D., "Hydraulic Actuator Modeling for Optimization of Mechatronic and Adaptronic Systems", *Mechatronics*, Vol. 18, pp. 634-640, (2008).
- [18] Rongjie, K., Zongxia, J., Shaoping, W., and Lisha, C., "Design and Simulation of Electro-hydrostatic Actuator with a Built-in Power Regulator", *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 22, pp. 700-706, (2009).
- [19] Márton, S., Fodor, S., and Sepehri, N., "A Practical Method for Friction Identification in Hydraulic Actuators", *Mechatronics*, Vol. 21, pp. 350-356, (2011).
- [20] Mehmood, A., Laghrouche, S., and Bagdouri, M., "Modeling Identification and Simulation of Pneumatic Actuator for VGT System", *Sensors and Actuators A*, Vol. 165, pp. 367–378, (2011).
- [21] Yaoxing, S., Hang, Y., Zongxia, J., and Nan, Y., "Matching Design of Hydraulic Load Simulator with Aircraft Actuator", *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 26, No. 2, pp. 470-480, (2013).
- [22] Li, K., Zhong, L., Lu, K., and Ping, Y., "Thermal-hydraulic Modeling and Simulation of the Hydraulic System Based on the Electro-hydrostatic Actuator", *Procedia Engineering*, Vol. 80, pp. 272 – 281, (2014).
- [23] Harris, P., Nolan, S., Garet, E., and Donnell, O., "Energy Optimisation of Pneumatic Actuator Systems in Manufacturing", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 72, pp. 35-45, (2014).
- [24] Liu, B., Hou, Y., Li, D., and Yang, J., "A Thermal Bubble Micro-actuator with Induction Heating", *Sensors and Actuators A*, Vol. 2, No. 2, pp. 8–14, (2015).
- [25] Guo, K., Wei, J., Fang, J., Feng, R., and Xiaochen, W., "Position Tracking Control of Electro-hydraulic Single-rod Actuator Based on an Extended Disturbance Observer", *Mechatronics*, Vol. 27, pp. 47-56, (2015).

## فهرست نمادهای انگلیسی

d: انحراف از میانگین

D: انحراف میانگین

DP: اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب کیلوپاسکال

DP<sub>max</sub>: بیشینه اختلاف فشار شیر دیافراگمی بر حسب کیلوپاسکال

$\dot{m}_{ACC}$ : دبی جرمی خروجی از مخزن مرجع بر حسب کیلوگرم بر ثانیه

$\dot{m}_{PL}$ : دبی جرمی خروجی از خط لوله بر حسب کیلوگرم بر ثانیه

NDP<sub>max</sub>: بیشینه اختلاف فشار شیر دیافراگمی بدون بعد

NPR: نرخ افت فشار بدون بعد

PR: نرخ افت فشار بر حسب کیلوپاسکال بر ثانیه

P<sub>i</sub>: فشار اولیه خط لوله بر حسب کیلوپاسکال

Time: زمان بر حسب ثانیه

## Abstract

The effects of orifice diameter, pipeline initial pressure and pressure drop rate due to rupture on the differential pressure of diaphragm valve in a automatic line-break control valve have been studied by experiments. The fluid in this experimental investigation was nitrogen. The reference tank is connected to the pipeline through a calibrated orifice with check valve. The tank pressure is higher than pipeline pressure when pressure reduction occurs by line breaking. If the pressure difference between tank and pipeline is higher than the sustainable pressure value of diaphragm valve, the valve will be closed by actuator. The differential pressure of diaphragm valve is increased by the growth of pipeline pressure drop rate. The occurrence time of maximum differential pressure of diaphragm valve just depends on the orifice diameter. The maximum of differential pressure increases with the decrease of orifice diameter. The setting differential pressure of control valve was increased by decrease of pipeline initial pressure or orifice diameter or increase of pressure drop rate. The curves of non-dimensional maximum differential pressure generated by non-dimensional pipeline pressure drop rates are shown for different orifice diameters and pipeline initial pressure. These important curves will be used for design and setting of these automatic line-break control valve operation.