

EXTENDED ABSTRACT

Detection of leakage in polymeric transmission pipelines with using reflected compress wave of transient flow

A. Akbari¹, M. Fathi-Moghadam^{2*} and M. Mirzai-jeshni³

1- M.Sc. Student of Department of Water Structures, Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2* - Corresponding Author, Professor of Department of Water Structures, Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran (mfathi@scu.ac.ir).

3-M.Sc. Student of Department of Water Structures, Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 13 September 2017

Revised: 9 February 2018

Accepted: 14 February 2018

Keywords:

leakage detection, water hammer, Viscoelastic pipelines, Transient flow.

TO CITE THIS ARTICLE :

Akbari, A., Fathi-Moghadam, M., Mirzai jashni, M. (2021). 'Detection of leakage in polymeric transmission pipelines with using reflected compress wave of transient flow', *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(1), pp. 61-75. doi: 10.22055/jise.2018.23131.1642.

Introduction

When a sudden pressure surge is induced in a pipe system, discontinuities like leaks, changes of pipe diameter or material, tee-junctions, local head losses or air pockets, introduce changes in the hydraulic transient event propagation. A leak creates a pressure drop; friction increases pressure damping; a dead-end or a closed-valve reflects totally an incident wave; an air bubble creates a pressure drop followed by a pressure increase.

The detection of these signals allows their identification and location. The information carried in the transient pressure signal can be used to detect, locate and size leaks, and, eventually, to distinguish these from other features existing in the pipeline.

Methodology

Physical model

The purpose of this study was to find the location and size of leakage in polyethylene transfer pipes using transient flow. Therefore, a laboratory model was developed for this purpose at the Hydraulic Lab of the Faculty of Engineering Sciences of Shahid Chamran University of Ahvaz.

Mathematical formulation of a leak

A leak induces a sudden pressure drop ΔH_r in a positive pressure surge ΔH . For fast changes in flow conditions, this inflection can be identified in the transient pressure signal and used to locate the leak. The distance of the leak from the source of the transient downstream, XD , can be estimated based on the total travelling time t^* of the transient pressure to the leak and to return to the source (Jonsson, 1995; Covas, 1998; Covas and Ramos, 1999; Covas et al., 2000a; Brunone and Ferrante, 2001):

$$X_D = \frac{a t^*}{2} \quad (1)$$

Assuming the leak size defined by the dimensionless leak flow, $q=Q_{L0}/Q_0$ (being Q_0 = steady state flow-rate downstream the leak and Q_{L0} = leak flow-rate), the leak size can be estimated based on the transient pressure at the valve section:

$$q = \frac{Q_{L0}}{Q_0} = \frac{\Delta H_d}{\Delta H} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{\Delta H + \frac{\Delta H_d}{2}}{H_0}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Equation (2) is derived from the equations C+ and C- of the Method of Characteristics (Covas, 1998).

Results and Discusspn

A prerequisite for the application of this technique is the accurate estimation of the wave speed a . Wave speed is a frequency (or time) dependent parameter due to fluid inertial and frictional effects, dissolved air and pipe-wall non-elastic behavior. This introduces additional uncertainties in identifying the leak location apart from those associated with data measurements and system's characteristics. Two methods were used for the estimation of wave speed, whose results are presented in Table (1).

Method I is the theoretical wave speed formula for a thick-wall pipe constrained throughout its length. **Method II** is based on the travelling times between transducers along the pipeline (i.e. $a=L/(t_{Ti}-t_{Tl})$ for $i=2, 4...8$).

The estimation of the leakage location (X_D) of Equation (1) is calculated for the two methods using the pressure wave velocity obtained from the two methods and is given in Table (2). In the second method, the average pressure wave velocity is used.

The estimated leak size (Q_{L0}) is obtained from Equation (2) and is given in Table (3). Also in this table, the relative errors of calculating the leak size (ϵ_{siz}) are calculated using Equation (3).

$$q = \frac{Q_{L0}}{Q_0} = \frac{\Delta H_d}{\Delta H} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{\Delta H + \frac{\Delta H_d}{2}}{H_0}} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$Q_{Lat} = Q_0 + Q_{L0}$$

Table 1- Wave speed estimation

| Leak and flow characteristics | | | | Method I | | Method II | | |
|-------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|-------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|
| leak | X_{true} (m) | $A_{Lef true}$ (m ²) | Q_{L0} (l/s) | Q_0 (l/s) | a (m/s) | $a_{(min)}$ (m/s) | $a_{(max)}$ (m/s) | $a_{(aver)}$ (m/s) |
| L ₁ | 117.4 | 2.31E-05 | 0.78 | 1 | 347.14 | 398.04 | 418.49 | 408.27 |
| | | 1.70E-05 | 0.57 | | | 401.97 | 446.15 | 424.06 |
| | | 1.18E-05 | 0.35 | | | 404.64 | 431.91 | 418.28 |
| L ₂ | 56.3 | 2.31E-05 | 0.77 | 1 | 347.14 | 372.48 | 407.33 | 389.91 |
| | | 1.70E-05 | 0.56 | | | 379.44 | 421.38 | 400.41 |
| | | 1.18E-05 | 0.44 | | | 372.48 | 468.66 | 420.57 |
| L ₁ | 117.4 | 1.18E-05 | 0.35 | 0.05 | 347.14 | 394.17 | 407.33 | 400.75 |
| | | | | 0.26 | | 394.19 | 451.11 | 422.65 |
| | | | | 0.51 | | 415.65 | 431.91 | 423.78 |
| | | | | 0.66 | | 396.75 | 431.91 | 414.33 |
| | | | | 1 | | 404.64 | 431.91 | 418.28 |

Table 2- Assessment of the leak location by the travelling wave principle

| Leak and flow characteristics | | | | Transient flow characteristics | | Method I | | Method II | | |
|-------------------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------------------|----------|----------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|
| leak | $X_{true}(m)$ | $A_{Leftrue}(m^2)$ | $Q_{L0}(l/s)$ | $Q_0(l/s)$ | $T_c(s)$ | $t^*(s)$ | $X=L-X_D(m)$ | $\% \epsilon_{loc}$ | $X=L-X_D(m)$ | $\% \epsilon_{loc}$ |
| L ₁ | 117.4 | 2.31E-05 | 0.78 | 1 | 0.07 | 0.19 | 124.85 | 4.71 | 119.01 | 1.02 |
| | | 1.70E-05 | 0.57 | | 0.07 | 0.19 | 125.37 | 5.04 | 118.14 | 0.47 |
| | | 1.18E-05 | 0.35 | | 0.06 | 0.19 | 125.02 | 4.82 | 118.26 | 0.55 |
| L ₂ | 56.3 | 2.31E-05 | 0.77 | 1 | 0.08 | 0.5 | 71.74 | 9.77 | 61.11 | 3.04 |
| | | 1.70E-05 | 0.56 | | 0.06 | 0.47 | 76.42 | 12.74 | 63.9 | 4.81 |
| | | 1.18E-05 | 0.44 | | 0.06 | 0.53 | 65.83 | 6.03 | 46.34 | 6.3 |
| L ₁ | 117.4 | 1.18E-05 | 0.35 | 0.05 | 0.11 | 0.26 | 112.87 | 2.87 | 105.9 | 7.28 |
| | | | | 0.26 | 0.06 | 0.19 | 124.5 | 4.49 | 117.21 | 0.12 |
| | | | | 0.51 | 0.06 | 0.18 | 127.1 | 6.14 | 120.28 | 1.83 |
| | | | | 0.66 | 0.08 | 0.2 | 124.15 | 4.27 | 117.6 | 0.13 |
| | | | | 1 | 0.06 | 0.19 | 125.02 | 4.82 | 118.26 | 0.55 |

Table 3- Leakage calculation (discharge leakage) and relative error of leakage size

| Leak and flow characteristics | | | | Analysis of Transient Pressure signal | | | | | | |
|-------------------------------|---------------|--------------------|---------------|---------------------------------------|----------|---------------|-----------------|----------|----------|----------------------|
| leak | $X_{true}(m)$ | $A_{Leftrue}(m^2)$ | $Q_{L0}(l/s)$ | $Q_0(l/s)$ | $T_c(s)$ | $\Delta H(m)$ | $\Delta H_d(m)$ | $H_0(m)$ | Q_{L0} | $\% \epsilon_{size}$ |
| L1 | 117.4 | 2.31E-05 | 0.78 | 1 | 0.07 | 17.95 | -2.67 | 41.82 | 0.82 | 2.3 |
| | | 1.70E-05 | 0.57 | | 0.07 | 18.31 | -1.84 | 42.39 | 0.54 | 1.86 |
| | | 1.18E-05 | 0.34 | | 0.06 | 18.17 | -1.48 | 42.41 | 0.43 | 6.68 |
| L2 | 56.3 | 2.31E-05 | 0.77 | 1 | 0.08 | 18.72 | -1.87 | 42.35 | 0.52 | 13.66 |
| | | 1.70E-05 | 0.56 | | 0.06 | 19.89 | -1.62 | 42.27 | 0.42 | 9.16 |
| | | 1.18E-05 | 0.44 | | 0.06 | 19.68 | -1.31 | 42.14 | 0.34 | 7.22 |
| L1 | 117.4 | 1.18E-05 | 0.35 | 0.05 | 0.11 | 1.01 | -0.14 | 43.48 | 0.66 | 71.9 |
| | | | | 0.26 | 0.06 | 4.72 | -0.4 | 43.74 | 0.43 | 13.09 |
| | | | | 0.51 | 0.06 | 9.66 | -0.93 | 42.91 | 0.49 | 16.58 |
| | | | | 0.66 | 0.08 | 12.28 | -0.95 | 43.31 | 0.41 | 5.49 |
| | | | | 1 | 0.06 | 18.17 | -1.48 | 42.41 | 0.43 | 6.68 |

Conclusions

The leakage location is more accurate with the second method (the method whereby the compressive velocity in equation 2) is obtained from the velocity of the compression wave between two transducers) and the relative error of the calculated computation is less than ϵ_{loc} (in this research, ϵ_{loc} with the second method between 0.12 and 7.28). And ϵ_{loc} decreases by decreasing the spill gap from the bottom. And the first method is less accurate than the second method in obtaining a leakage location.

The relative error of the measured leakage ($\epsilon_{siz} < 71.9\%$) is much greater than the relative error of the leakage location ($\epsilon_{loc} < 12.74\%$). The maximum relative error of the measured leakage in a test with a downstream discharge of the pipeline was 0.05 liters per second, which could be due to a weakly transient flow that could not adequately indicate the leakage reflective shock wave signal (ΔH_r), which means the increase of the pressure head (ΔH) in this test is low, it is difficult to detect the reflected signal due to leakage.

Acknowledgments

This article has been prepared from the results of the first author's master's thesis and with the support of the university research unit through the second author's research, by which the authors thank and appreciate the research vice chancellor of Shahid Chamran University of Ahvaz. In addition, the spiritual support of the scientific center "Improvement and maintenance of irrigation and drainage networks" is thanked and appreciated.

References

- 1- Jönsson, L., 1995. *Leak Detection in Pipelines Using Hydraulic Transients: Laboratory Measurements*. University of Lund. Department of Water Resources Engineering.
- 2- Covas, D., 1998. Leak detection and location in water distribution networks: Hydrodynamic analysis approach. *MSc, Instituto Superior Técnico, Technical Univ. of Lisbon, Portugal in Portuguese*.
- 3- Covas, D. and Ramos, H., 1999. Leakage detection in single pipelines using pressure wave behaviour. *Water Industry System: modelling and optimisation application, 1*, pp.287-299.
- 4- Covas, D., Almeida, A. B. and Ramos, H., 2000. Leak Location in Pipe Systems Using Pressure Surges. *Proceedings of 8th International Conference on Pressure Surges, Eds. Anderson, A., Pub. BHR Group Ltd., The Hague, the Netherlands*, pp.169-179.
- 5- Brunone, B. and Ferrante, M., 2001. Detecting leaks in pressurized pipes by means of transients. *Journal of hydraulic research, 39(5)*, pp.539-547.



© 2021 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تشخیص نشت در خطوط انتقال پلی اتیلن با استفاده از بازتاب موج فشاری جریان گذرا

اصغر اکبری^۱، منوچهر فتحی مقدم^{۲*} و مصطفی میرزایی جشنی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران (mfathi@scu.ac.ir)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵

بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۲۰

دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۲

چکیده

کنترل و کاهش نشت موضوع جدید و جذابی برای متخصصین و مسئولین این زمینه از علم هیدرولیک می‌باشد. نگرانی‌ها در مورد تشخیص نشت و محل آن از اواسط قرن بیستم همراه با سیستم‌های انتقال نفت پیدا شد. آنالیز جریان گذرا بدون شک یک ابزار با پتانسیل بالقوه برای دست‌یابی به این هدف است. در این تحقیق از بازتاب موج فشاری جریان گذرا، برای تشخیص مقدار و محل آن در خطوط لوله پلی‌اتیلن استفاده شده است. روش به کار رفته بر تحلیل اولین موج انعکاسی از نشت تمرکز دارد. لذا برای رسیدن به این هدف ابتدا طی مدل‌سازی آزمایشگاهی، جریان گذرا بر روی یک سیستم مخزن، لوله و شیر مورد بررسی قرار گرفت. سیستم لوله در این تحقیق از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۶۳ میلی‌متر و با طول ۱۵۸ متر می‌باشد. آزمایش‌ها با سه قطر نشت پنج، شش و هفت میلی‌متر در دو فاصله ۵۶/۳ و ۱۱۷/۴ متری از مخزن و دبی‌های متفاوت صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین درصد خطای نسبی مکان نشت به ترتیب ۰/۱۲ و ۱۲/۷۴ درصد است و نیز کمترین و بیشترین درصد خطای نسبی اندازه‌ی نشت به ترتیب ۱/۸۶ و ۷۱/۹۰ درصد محاسبه شد.

کلید واژه‌ها: جریان گذرا، ضربه قوچ، لوله‌های ویسکوالاستیک، نشت‌یابی.

مقدمه

به‌طور کلی در سامانه‌های انتقال آب معضل نشت و گسیختگی در نتیجه طراحی، ساخت، اجرا و نگهداری ناصحیح و همچنین طول عمر مصالح و موادی که در آن‌ها به کار رفته می‌باشد معمولاً کمبود آب به دلیل افت‌های فشاری بین منبع ذخیره و مصرف‌کننده در سامانه‌های انتقال آب، مخازن و شبکه‌های توزیع آب بین ۱۰ تا ۳۵ درصد از حجم کل آب انتقال‌یافته می‌باشد، که این از لحاظ اقتصادی بسیار مهم است (Covas et al., 2000 a). بنابراین کاهش نشت و کنترل آن یک اولویت برای شرکت‌های آب محسوب می‌شود که این امر باعث می‌شود تا سود آن‌ها افزایش یافته و رضایت مشتریان نیز تامین شود. نگرانی‌ها درباره‌ی پیدا کردن محل و اندازه نشت از اواسط قرن بیستم با بهره‌برداری از خطوط انتقال نفت پیدا شد. تا آن زمان پیدا کردن نشت به وسیله‌ی مقایسه جریان و فشار اندازه‌گیری شده از نتایج شبیه‌سازی عددی انجام می‌گرفت و هر عدم تطابق با نتایج آن منجر به یک گسیختگی و یک شیر بسته نشده در سیستم بود (نشان‌دهنده‌ی این می‌باشد که در سیستم یک گسیختگی) ترک، و یا یک شیر بسته نشده وجود دارد). از آن به بعد تلاش‌های زیادی در ارتباط با روش‌های جایگزین مکان‌یابی نشت در خطوط انتقال و سامانه‌های پیچیده توسط محققین انجام شد. علیرغم این

پپیچیدگی، تحلیل جریان گذرا بدون شک یک ابزار سودمند برای دستیابی به این هدف است. (Liggett and Chen, 1994) یکی از اولین مطالعات جهانی را بر روی مسئله‌ی نشت در چندین کشور و شهر مختلف جهان انجام داد و مشخص شد که میزان نشت در نقاط مختلف جهان متفاوت است. (Brunone and Ferrante, 2001) با ارائه روشی امکان تعیین و تخمین نشت‌های کوچک در یک لوله تنها را، با استفاده از جریان گذرا، از طریق سنجش آزمایشگاهی بررسی نمودند. (Colombo and Karney, 2002) مسئله‌ی اهمیت نسبی تلفات انرژی از طریق نشت را به صورت قسمتی از یک ارزیابی که از طرف مجلس آمریکا انجام شد بررسی نمودند. (Beck et al., 2005) مقاله‌ای برای شناسایی نشت و سایر مشخصه‌های خطوط لوله هم‌چون محل شیرآلات، اتصالات و خم‌ها بر اساس پردازش و تحلیل همبستگی سیگنال پاسخ نوسانات فشار در قسمت‌های مختلف خطوط لوله ارائه دادند. این روش بسیار ساده‌تر و سعه داده شده و البته شامل تقریب‌ها و محدودیت‌هایی نیز در تخمین محل و اندازه نشت‌ها می‌باشد. (Covas et al., 2000 b) چندین مطالعه‌ی آزمایشگاهی انجام دادند و به بررسی کاربرد روش تحلیل معکوس جریان گذرا در مشخص کردن نشت‌ها، ترکیب‌ها، تغییرات قطر و شاخه‌های لوله پرداختند. (Parker and Jones, 1990) روش جدیدی برای جدا

۶/۵ میلی‌متر، مدول یانگ ۱/۴۳ گیگا پاسکال و نسبت پواسون ۰/۴۶ ساخته شد. آزمایش‌ها در دبی‌های مختلف، نشت لوله در دو فاصله‌ی ۵۶/۳ و ۱۱۷/۴ متری از مخزن آب و با سه قطر پنج، شش و هفت میلی‌متر ایجاد شد. برای ایجاد جریان گذرا یک شیر قطع و وصل در انتهای لوله نصب شد. اندازه‌گیری فشار کل در پشت شیر، نشت یک و نشت دو با مبدل‌های فشاری (Wika Transmitters) با دامنه اندازه‌گیری ۱۶ بار و دقت ۰/۱ درصد در حالت بیشینه مقیاس، و خروجی چهار تا ۲۰ میلی‌آمپر صورت پذیرفت. همچنین برای اندازه‌گیری دبی از روش حجمی و برای ثبت داده‌های مربوط به فشار در هنگام ایجاد جریان گذرا، از دستگاه دیتالاگر (Data Logger) NIKTEK استفاده شد. دستگاه دیتالاگر دارای هشت کانال مجزا مبدل آنالوگ به رقمی (Digital) بوده و قابلیت برداشت ده هزار داده در ثانیه را دارد. که در این تحقیق تعداد هزار داده در ثانیه برداشت شد. همچنین مدت زمان ثبت داده‌ها به اندازه‌ای بود تا به‌توان انعکاس موج فشاری ناشی از نشت را مشاهده کرد. برای کاهش خطای داده‌های برداشت‌شده توسط دیتالاگر با استفاده از فیلترهای فرکانسی، فیلتر شده و سپس مورد تحلیل قرار گرفته شد.

فرمول نویسی ریاضی برای یک نشت

به‌طور فیزیکی یک نشت شبیه یک روزنه در یک لوله با دبی آزاد به سمت بیرون با یک محیطی، با فشار ثابت عمل می‌کند. با صرف‌نظر کردن از انرژی جنبشی درون لوله و همچنین اختلاف ارتفاع بین محور لوله و نشت و سرعت محیطی نفوذ در زمین، دبی نشت در زمان t که با Q_L^t نمایش داده شده است می‌تواند با استفاده از معادله کلاسیک روزنه محاسبه شود.

$$Q_L^t = C_L A_L \sqrt{2g(H_L^t - H_E^t)} \quad (1)$$

که در آن C_L و A_L به‌ترتیب بیانگر ضریب دبی و مساحت روزنه می‌باشند و ضرب آن‌ها در هم برابر سطح مؤثر روزنه خواهد بود (ALef)، g شتاب گرانش، H_L^t بار آبی پیژومتری درون گره نشت هست و H_E^t فشار پیژومتری بیرونی است.

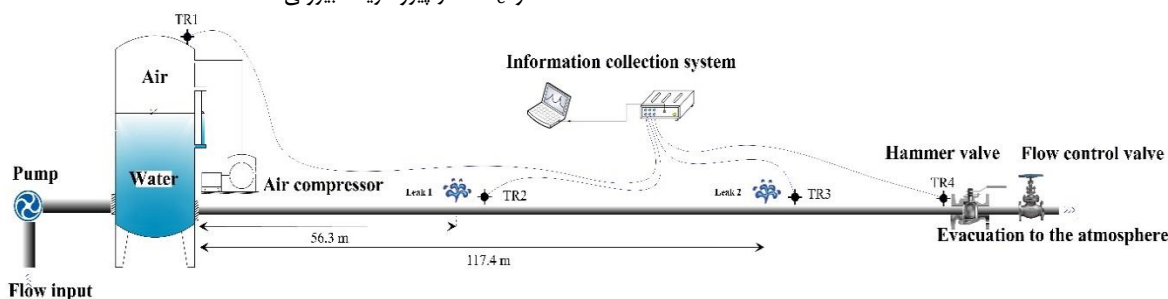


Fig.1- View of the model made in the laboratory

شکل ۱- نمایی از مدل ساخته شده در آزمایشگاه

کردن موج رفت و برگشت برای جریان در حالت یک بعدی پیدا کردند که بر اساس تحلیل جریان به صورت غیرخطی بوده است. ولی آن‌ها فرض کردند که موج رفت و برگشت در هنگام برخورد به صورت خطی جمع می‌شوند. (Mohammadi et al., 2015) روی شبیه‌سازی فیزیکی و عددی (نرم‌افزار تجاری ضربه قوچ (Hammer)) نشت در جریان‌های غیرمادگار سریع مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل امواج فشاری ناشی از جریان غیرمادگار سریع را نسبتاً خوب شبیه‌سازی می‌کند اما در شبیه‌سازی نشت در جریان غیرمادگار سریع، مدل عملکرد مناسبی ندارد. Haghghi pour (2013) و همچنین Taebi (2013) به ترتیب به بررسی هیدرولیک جریان غیرمادگار در خط لوله‌های سری و موازی پرداختند. تحقیق آن‌ها نشان داد که جریان غیرمادگار که با ضرایب افت ثابت و یا شبه‌مادگار محاسبه می‌شود و در مدل‌های تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقدار کمتری را نسبت به نیروی اصطکاک واقعی نشان می‌دهد. Atari et al. (2017) برای تعیین موقعیت و مقدار نشت در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از تحلیل اختلاف فشارهای گرهی در حالت نشت دار و بدون نشت نشان دادند که این روش می‌تواند با حداقل برداشت اطلاعات هیدرولیکی از نوع فشارها، علاوه بر تعیین موقعیت نشت‌های موجود گرهی، گرهی که نشت بیشتر را دارد و همچنین مقدار دقیق نشت را شناسایی کند.

هدف از تحقیق حاضر نشت‌یابی در سیستم‌های انتقال پلی‌اتیلن با استفاده از بازتاب موج فشاری گذرا و تاثیر خواص ویسکوالاستیک لوله‌های پلی‌اتیلنی بر نشت‌یابی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل فیزیکی

همان‌طور که عنوان شد هدف از این تحقیق یافتن مکان و اندازه‌ی نشت در لوله‌های انتقال پلی‌اتیلنی با استفاده از جریان گذرا می‌باشد، لذا در ابتدا یک مدل آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده‌ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز برای این هدف توسعه داده شد (شکل ۱). این مدل از یک مخزن تحت‌فشار با فشار تقریباً ۴۵ متر آب، شیر قطع و وصل جریان و لوله پلی‌اتیلن با مشخصات، قطر خارجی ۶۳ میلی‌متر، طول ۱۵۸ متر، ضخامت جداره

اولین موج فشاری انعکاس یافته

زمانی که یک موج فشاری در یک خط لوله ایجاد می شود، هر ناپیوستگی سیستم از قبیل خم شدگی ها، اتصالات و مخزن، موج فشاری را انعکاس می دهد. به طوری که شکل رایج آن در جریان گذرای هیدرولیکی مشاهده می گردد. یک نشت در واقع یک استثنا نیست و بدون شک نشت موج فشاری ایجاد شده را انعکاس می دهد، بنابراین ایده ای که برای تحلیل شکل موج انعکاس یافته برای پیدا کردن نشت، محل نشت، اندازه نشت، و یا مقدار نشت و همچنین تعداد نشت وجود دارد این است که اگر بتوان موج جریان گذرا را تحلیل کرد اطلاعاتی که ذکر شد به دست خواهد آمد. یک سیستم هیدرولیکی را ترکیب با یک مخزن با ارتفاع آب ثابت در بالادست و یک لوله و شیر در پایین دست در نظر بگیرید که سیال از داخلش با فشار ثابت اولیه H_0 و سرعت V_0 در شیر، جریان دارد. هر تغییر آنی در شیر در زمان t_0 که باعث ایجاد یک سرعت و یک فشار با مقادیر ΔH و ΔV در محل شیر می شود را می توان با معادله ژوکوفسکی بیان کرد.

$$\Delta H = -\frac{a}{g}\Delta V \quad (2)$$

که در معادله (۲)، a سرعت انتشار موج فشاری و g شتاب گرانشی است. علامت منفی در معادله (۲) بیانگر این است که فشار با افزایش سرعت کاهش پیدا می کند (فشار با کاهش سرعت افزایش پیدا می کند)، و برای مانورهای سریع بسته شدن شیر زمان t در نظر گرفته می شود، که t کمتر از زمان انعکاس الاستیک هیدرولیکی سیستم ($T_{ER} = \frac{2L}{a}$) است. با صرف نظر کردن از افت بار آبی مدام و تغییرات انرژی جنبشی و فرض اینکه شیر به صورت خطی بسته می شود، بی شینه فشار نزدیک به شیر با معادله (۲) (ژوکوفسکی) و همچنین ΔV و دبی جریان (Q_0) تخمین زده می شود. موج فشاری ایجاد شده به وسیله یک تغییر در میدان شیر (باز شدن یا بسته شدن) به سمت بالادست لوله و بخش های دیگر انعکاس پیدا می کند و بعد به سمت پایین دست می رود و همچنین بخشی دیگر به بالادست انتقال پیدا می کند (یعنی رفت و برگشت صورت می گیرد). هر زمان که یک نشت در خط لوله با یک مقطع وجود داشته باشد، موج انعکاسی ما شکل نرمال جریان گذرا را خواهد داشت. با این وجود بخشی از انرژی موج به بالادست منقل می شود. با صرف نظر کردن از افت فشار در طول لوله دامنه ی موج انعکاسی (ΔH_r) به اضافه دامنه ی موج انتقال یافته (ΔH_t) برابر با دامنه ی موج ایجاد شده می باشد (شکل ۲).

$$\Delta H = \Delta H_t + \Delta H_r \quad (3)$$

در مواردی که یک نشت در سیستم وجود دارد، این باعث می شود که یک موج منعکس شود که این موج باعث میرا شدن ناگهانی موج فشاری در مقطع شیر می شود که با مانورهای شبه لحظه ای (سریع) بسته شدن کلی شیر محل نشت تخمین زده می شود. با استفاده از زمان کلی که این موج القا می گردد تا به نشت برسد و همچنین انعکاس پیدا می کند و دوباره به شیر برمی گردد (t^*). با استفاده از t^* می توان فاصله نشت از شیر (X_D) با استفاده از معادله ی (۴) تخمین زده می شود. (Covas and Jonsso, 1998, Brunone and Covas et al., 2000 a, Ramos, 1999, Ferrante, 2001).

$$X_D = \frac{a t^*}{2} \quad (4)$$

که در این معادله a سرعت انتشار موج فشاری است. در این مقاله برای استفاده از آن در این معادله به دو روش محاسبه گردیده است. اگر زمان بسته شدن شیر t بزرگتر از t^* باشد امکان اینکه بتوان شکل فشار جریان گذرا در شیر را و زمان فوری رسیدن موج انعکاسی اولیه t^* را در واقع به دست بیاوریم وجود ندارد.

به علاوه نشت باید از شیر فاصله اش به اندازه ای باشد که موج انعکاسی میرا شده بتواند به طور ادامه دار میرا بشود، و اگر موج انعکاسی نشت به دلیل افزایش افت هد با موج فشاری میرا شود نشت قابل شناسایی نیست. با در نظر گرفتن اندازه نشت و مقدار کمی شده آن برای مثال با نشت نسبی جریان $\frac{Q_{L0}}{Q_0}$ در حالی که Q_{L0} جریان ماندگار پایین دست نشت و Q_{L0} جریان نشت است (شکل ۲)، نشت نسبی جریان به وسیله دامنه ی موج انعکاسی تخمین زده می شود. به دلیل اینکه یک نشت یک موج فشاری منعکس می کند ضروری است که دبی نشت را با تغییرات مشخص باشد. اگر دبی نشت حساس به تغییرات فشار در طول رژیم جریان گذرا باشد هیچ انعکاسی به وجود نمی آید و این غیرممکن است که به توان محل نشت را تعیین کرد. در واقع دبی نشت شبیه یک روزنه با باز شدگی ثابت و ایجاد یک موج فشاری انعکاس یافته (ΔH_r) عمل می کند. موج انعکاس یافته از نشت ΔH_r همان طور که به شیر بسته می رسد، یک انعکاس کلی هم دارد. از این رو میرا شدن ناگهانی ΔH_d مشاهده شده در فشار نزدیک شیر دو برابر نشت موج انعکاسی هست و با Q_0 و Q_{L0} رابطه دارد:

$$q = \frac{Q_{L0}}{Q_0} = \frac{\Delta H_d}{\Delta H} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{\Delta H + \frac{\Delta H_d}{2}}{H_0}} \right]^{-1} \quad (5)$$

در معادله‌ی (۵)، H_0 هد پیزومتریک حالت پایدار در محل نشت، ΔH افزایش هد فشاری در محل ایجاد جریان گذرا (در این مقاله شیر ضربه قوچ) ($\Delta H > 0$) و ΔH_d افت ناگهانی هد فشاری ناشی از نشت ($\Delta H_d < 0$) می‌باشد. (شکل ۳)

معادله‌ی (۵) بر اساس معادله‌های C^+ و C^- روش خطوط مشخصه با فرضیات زیر توسعه داده شده است:
 (۱) تلفات انرژی بین نشت و شیر وجود ندارد، (۲) نشت در بالادست مکان تولیدکننده‌ی جریان گذرا باشد و (۳) رفتار رئولوژیکی دیواره‌ی لوله الاستیک خطی است (کوواس، ۱۹۹۸).

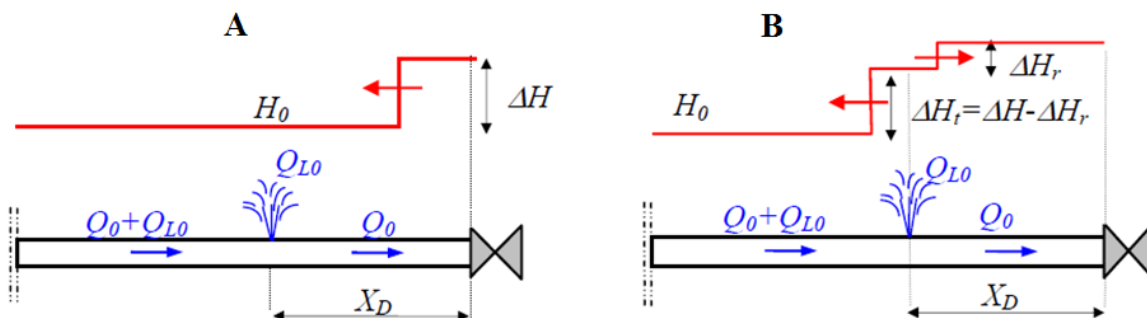


Fig.2- (A) Pressure wave is generated by changing in flow conditions; (b) The pressure wave reflects ΔH_r and transmits ΔH_t in the presence of leakage (Covas, 1998; Covas and Ramos, 1999)

شکل ۲- (الف) موج فشاری ایجادشده به وسیله‌ی تغییر در شرایط جریان (ب) موج فشاری انعکاس ΔH_r و انتقال ΔH_t در حضور نشت (Covas and Ramos, 1999 .Covas, 1998)

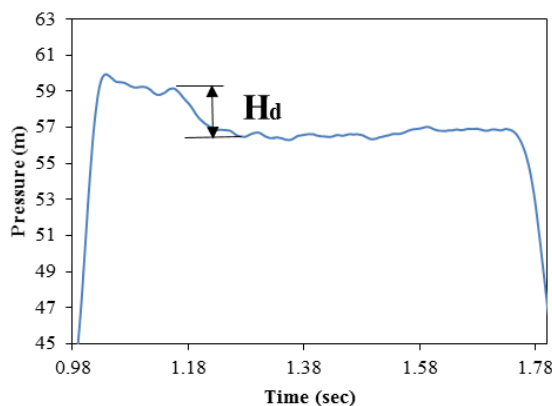


Fig.3- Sudden drop in pressure head due to leakage (ΔH_d)

شکل ۳- افت ناگهانی هد فشاری در اثر نشت (ΔH_d)

نتایج و بحث

برآورد مکان و دبی نشت از معادله‌های ارائه شده در این مقاله به تخمین مناسب سرعت موج فشاری (a) بستگی دارد. سرعت موج فشاری یک پارامتر وابسته به زمان به علت اینرسی سیال، اثرات افت، رفتار غیر الاستیک دیواره‌ی لوله و محلول هوا است.

دو روش برای یافتن سرعت موج فشاری در این تحقیق به صورت زیر ارائه می‌شود که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است:

روش اول استفاده از روابط تئوری سرعت موج فشاری برای لوله‌های جدار ضخیم می‌باشد: (Chaudhry, Halliwell, 1963, Wylie et al., 1993, 1987).

$$a_0 = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \frac{\alpha_D K}{e E_0}}} \quad (6)$$

که در آن e ضخامت جدار لوله، K مدول کشسانی حجمی سیال (برای آب ۲/۱۹ گیگا پاسکال است)، D قطر لوله، E مدول الاستیسیته مجرا و α پارامتر بدون بعدی است که به مقطع لوله و چگونگی مهار لوله وابسته است و به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\alpha = \frac{2e}{D}(1 + \nu) + \frac{D}{D + e}(1 - \nu^2) \quad (7)$$

در معادله‌ی (۷) ν ضریب پواسون است.

روش دوم محاسبه‌ی سرعت انتقال موج فشاری بین دو ترنسدیو سر می‌باشد ($a = \frac{L}{\Delta t}$)، که در آن Δt فاصله‌ی زمانی انتقال موج فشاری بین دو ترنسدیو سر و L فاصله‌ی دو ترنسدیو سر از هم است.

در جدول (۱) برای آزمایش‌های متفاوت سرعت موج فشاری از دو روش به دست آمده است. سرعت موج فشاری با استفاده از روش اول ۳۴۷/۱۴ متر بر ثانیه به دست آمد. مقدار به دست آمده برای این پارامتر در روش اول با روش دوم اختلاف معنی‌داری دارد.

در شکل (۵ الف) سرعت موج فشاری متوسط در مقابل تغییرات دبی نشت (Q_{LO}) رسم شده است. با توجه به این شکل با افزایش دبی نشت سرعت موج فشاری کاهش می‌یابد که این کاهش وقتی نشت در مکان L_2 بوده است با نرخ بیشتری اتفاق افتاده است. همچنین از

شکل (۵) می‌توان چنین استنباط کرد که هر چه فاصله‌ی نشت از مکان ایجاد جریان گذرا بیشتر باشد سرعت موج فشاری کمتر است زیرا وقتی نشت در مکان L_2 (که فاصله‌ی آن از شیر ضربه قوچ بیشتر از فاصله‌ی نشت در مکان L_1 است) می‌باشد سرعت موج فشاری کمتری را نسبت به موقعی که نشت در مکان L_1 است نشان می‌دهد. در شکل (۵ ب) سرعت موج فشاری متوسط در مقابل تغییرات دبی جریان ماندگار پایین دست (Q_0) در مدلی با حضور نشت در مکان L_1 رسم شده است. همان‌طور که در شکل می‌بینید با افزایش دبی جریان ماندگار پایین دست سرعت موج فشاری نرخ افزایشی دارد. برآورد مکان نشت (X_D) از معادله‌ی (۴) با استفاده از سرعت موج فشاری که از دو روش به دست آمد برای دو روش محاسبه و در جدول (۲) آورده شده است. در روش دوم از سرعت موج فشاری متوسط استفاده شده است. در جدول (۲) به دلیل اینکه X_D فاصله‌ی نشت تا شیر انتهایی است، با استفاده از رابطه‌ی $X = L - X_D$ به فاصله‌ی نشت تا مخزن تبدیل شده است. همچنین در این جدول خطاهای نسبی مکان‌یابی نشت (ε_{loc}) را با استفاده از رابطه (۸) محاسبه شده است.

$$\varepsilon_{loc} = \frac{|X - X_{true}|}{L} \quad (8)$$

در رابطه ۸، X فاصله‌ی محاسبه شده از $X = L - X_D$ ، X_{true} فاصله‌ی واقعی نشت تا مخزن و L طول کل لوله است. برآورد اندازه‌ی نشت (Q_{LO}) از رابطه (۵) به دست آمده و در جدول (۳) آورده شده است. همچنین در این جدول خطاهای نسبی محاسبه‌ی اندازه‌ی نشت (ε_{siz}) را با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شده است.

$$\varepsilon_{siz} = \frac{|Q_{LO} - Q_{LO,true}|}{Q_{Lat}} \quad (9)$$

$$Q_{Lat} = Q_0 + Q_{LO}$$

هر دو خطای نسبی مکان‌یابی و اندازه‌ی نشت در شکل (۵) در مقابل درصد تغییرات پارامتر $q = \frac{Q_{LO}}{Q_0}$ که از معادله‌ی (۵) به دست می‌آید رسم شده است. همچنین برای هر دو خطای نسبی مکان‌یابی و اندازه‌ی نشت نمودارهای شکل (۶)، (۷) و (۸) به ترتیب در برابر تغییرات سطح موثر واقعی مقطع نشت، سرعت متوسط موج فشاری و دبی جریان ماندگار پایین دست نشت رسم گردید.

Table 1- Calculation of pressure wave velocity using two methods

جدول ۱- محاسبه‌ی سرعت موج فشاری با استفاده از دو روش

| Leak | Leak and flow characteristics | | | | first method | | second method | |
|----------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------|-------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | \bar{X}_{true} (m) | $A^{*Left true}$ (m ²) | Q_{L0} (l/s) | Q_0 (l/s) | a (m/s) | $a_{(min)}$ (m/s) | $a_{(max)}$ (m/s) | $a_{(aver)}$ (m/s) |
| L ₁ | 117.4 | 2.31E-05 | 0.78 | 1 | 347.14 | 398.04 | 418.49 | 408.27 |
| | | 1.70E-05 | 0.57 | | | 401.97 | 446.15 | 424.06 |
| | | 1.18E-05 | 0.35 | | | 404.64 | 431.91 | 418.28 |
| L ₂ | 56.3 | 2.31E-05 | 0.77 | 1 | 347.14 | 372.48 | 407.33 | 389.91 |
| | | 1.70E-05 | 0.56 | | | 379.44 | 421.38 | 400.41 |
| | | 1.18E-05 | 0.44 | | | 372.48 | 468.66 | 420.57 |
| L ₁ | 117.4 | 1.18E-05 | 0.05 | 0.51 | 347.14 | 394.17 | 407.33 | 400.75 |
| | | | 0.26 | | | 394.19 | 451.11 | 422.65 |
| | | | 0.66 | | | 415.65 | 431.91 | 423.78 |
| | | | 1 | | | 396.75 | 431.91 | 414.33 |
| | | | 1 | | | 404.64 | 431.91 | 418.28 |

(*) The actual effective cross-sectional area of the leak

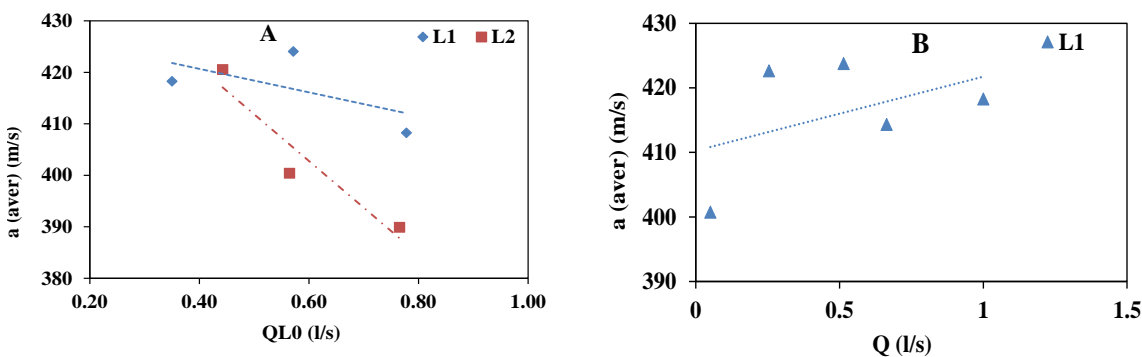


Fig. 4- (A) Pressure wave velocity diagram (a (aver)) versus leakage flow changes (QL0), (B) Pressure wave average velocity diagram (a (aver)) versus downstream constant flow rate changes (Q0)

شکل ۴- الف) نمودار سرعت متوسط موج فشاری (a(aver)) در مقابل تغییرات دبی نشت (QL0)، ب) نمودار سرعت متوسط موج فشاری (a (aver)) در مقابل تغییرات دبی جریان ماندگار پایین دست (Q0)

Table 2- Calculation of leak location and calculation of relative error of leak interval

جدول ۲- محاسبه‌ی مکان نشت و محاسبه‌ی خطای نسبی فاصله‌ی نشت

| Leak and flow characteristics | | | Transient flow characteristics | | | | method first | | second method | |
|-------------------------------|-----------------------|---|--------------------------------|----------------------|--------------------|--------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Leak | X _{true} (m) | A _{Lef true} (m ²) | Q _{L0} (l/s) | Q ₀ (l/s) | T _c (s) | t* (s) | X=L-X _D (m) | % ε _{loc} | X=L-X _D (m) | % ε _{loc} |
| L ₁ | 117.4 | 2.31E-05 | 0.78 | 1 | 0.07 | 0.19 | 124.85 | 4.71 | 119.01 | 1.02 |
| | | 1.70E-05 | 0.57 | | 0.07 | 0.19 | 125.37 | 5.04 | 118.14 | 0.47 |
| | | 1.18E-05 | 0.35 | | 0.06 | 0.19 | 125.02 | 4.82 | 118.26 | 0.55 |
| L ₂ | 56.3 | 2.31E-05 | 0.77 | 1 | 0.08 | 0.5 | 71.74 | 9.77 | 61.11 | 3.04 |
| | | 1.70E-05 | 0.56 | | 0.06 | 0.47 | 76.42 | 12.74 | 63.9 | 4.81 |
| | | 1.18E-05 | 0.44 | | 0.06 | 0.53 | 65.83 | 6.03 | 46.34 | 6.3 |
| L ₁ | 117.4 | 1.18E-05 | 0.35 | 1 | 0.05 | 0.11 | 112.87 | 2.87 | 105.9 | 7.28 |
| | | | | | 0.26 | 0.06 | 124.5 | 4.49 | 117.21 | 0.12 |
| | | | | | 0.66 | 0.08 | 127.1 | 6.14 | 120.28 | 1.83 |
| | | | | | 1 | 0.06 | 124.15 | 4.27 | 117.6 | 0.13 |
| | | | | | 1 | 0.19 | 125.02 | 4.82 | 118.26 | 0.55 |

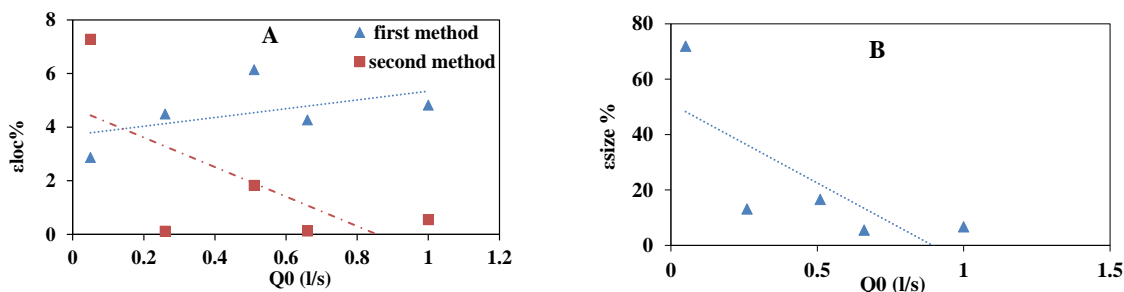


Fig.5- Graph of relative error percentage of leak location in the first and second methods (A), Percentage of relative leak size error (B) Against changes in flow, steady downstream flow

شکل ۵- نمودار درصد خطای نسبی مکان‌یابی نشت در روش اول و دوم (الف)، درصد خطای نسبی اندازه‌ی نشت (ب) در برابر تغییرات دبی جریان ماندگار پایین‌دست

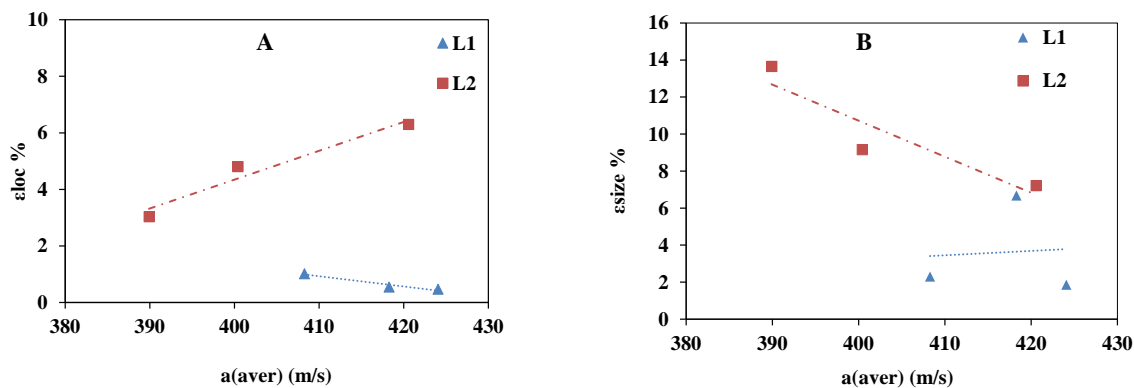


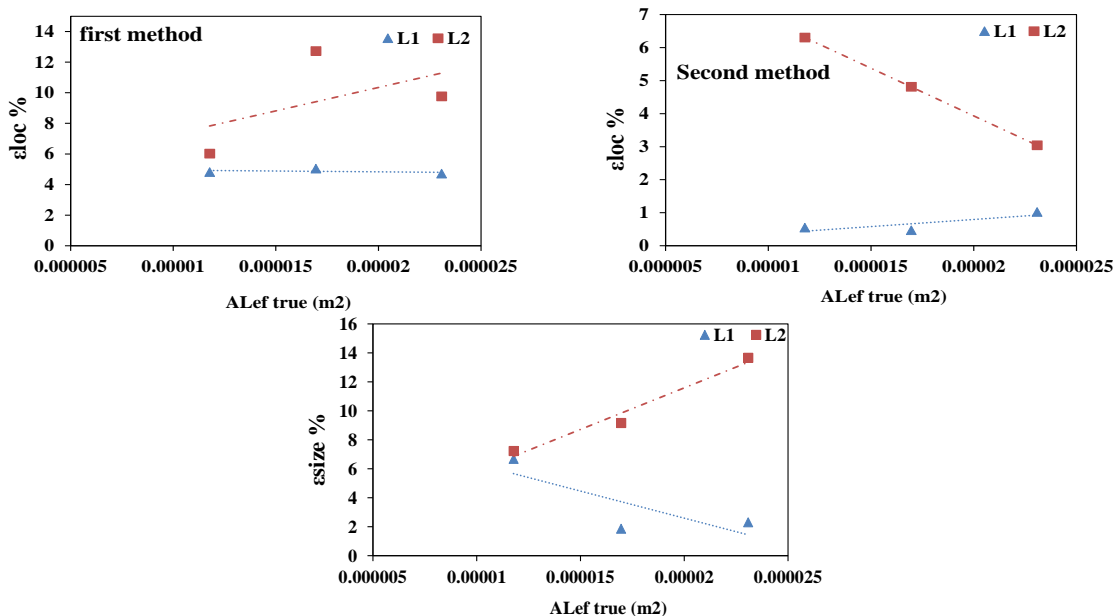
Fig.6- Diagram of the relative error locating leaks (A) and the size of the leak (B) Against changes in the mean velocity of the pressure wave

شکل ۶- نمودار درصد خطای نسبی مکان‌یابی نشت (الف) و اندازه‌ی نشت (ب) در برابر تغییرات سرعت متوسط موج فشاری

Table 3- Leakage calculation (leakage discharge) and relative error of leakage size

جدول ۳- محاسبه‌ی نشت (دبی نشت) و خطای نسبی اندازه‌ی نشت

| Leak | Leak and flow characteristics | | | | | Transient current Pressure signal analysis | | | | | | |
|------|-------------------------------|---|-----------------------|----------------------|--------------------|--|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------|-------|
| | X _{true} (m) | A _{Lef true} (m ²) | Q _{L0} (l/s) | Q ₀ (l/s) | T _c (s) | ΔH (m) | ΔH _d (m) | H ₀ (m) | Z _L (m) | Q _{L0} | ε _{size} | |
| L1 | 117.4 | 2.31E-05 | 0.78 | | 0.07 | 17.95 | -2.67 | 41.82 | | 0.82 | 2.30 | |
| | | 1.7E-05 | 0.57 | | 0.07 | 18.31 | -1.84 | 42.39 | 0.51 | 0.54 | 1.86 | |
| | | 1.18E-05 | 0.34 | | 0.06 | 18.17 | -1.48 | 42.41 | | 0.43 | 6.68 | |
| L2 | 56.3 | 1.18E-05 | | 1.00 | | | | | | | | |
| | | 0.05 | 0.44 | | 0.06 | 19.68 | -1.31 | 42.14 | | 0.34 | 7.22 | |
| | | 1.7E-05 | 0.56 | | 0.06 | 19.89 | -1.62 | 42.27 | 0.21 | 0.42 | 9.16 | |
| L1 | 117.4 | 2.31E-05 | 0.77 | | 0.08 | 18.72 | -1.87 | 42.35 | | 0.52 | 13.66 | |
| | | | | | 0.05 | 0.11 | 1.01 | -0.14 | 43.48 | | 0.66 | 71.90 |
| | | | | | 0.26 | 0.06 | 4.72 | -0.40 | 43.74 | | 0.43 | 13.09 |
| | | 1.18E-05 | 0.35 | | 0.51 | 0.06 | 9.66 | -0.93 | 42.91 | 0.51 | 0.49 | 16.58 |
| | | 0.05 | | 0.66 | 0.08 | 12.28 | -0.95 | 43.31 | | 0.41 | 5.49 | |
| | | | | | 1.00 | 0.06 | 18.17 | -1.48 | 42.41 | | 0.43 | 6.68 |

**Fig. 7- Diagram of relative error percentage of leak location in the first and second methods and percentage of relative error of leak size against changes in the actual effective surface of the leak section**

شکل ۷- نمودار درصد خطای نسبی مکان‌یابی نشت در روش اول و دوم و درصد خطای نسبی اندازه‌ی نشت در برابر تغییرات سطح موثر واقعی مقطع نشت

به این دلیل است که شناسایی سیگنال گذرای انعکاس نشت در دبی‌های کم بسیار دشوار است و سرعت موج فشاری به دلیل نشت زیاد نسبت به دبی عبوری از انتهای خط لوله، کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۵)، ϵ_{loc} در روش اول مکان‌یابی نشت با افزایش دبی جریان ماندگار پایین‌دست (Q_0) نرخ افزایشی دارد، اما

با توجه به جدول و شکل‌های ارائه شده در بالا می‌توان به نتایج زیر رسید:

در صد خطای نسبی مکان نشت (ϵ_{loc}) در روش دوم کمتر از روش اول است. در این مورد تنها یک استثنا وجود دارد و آن مربوط به آزمایشی با دبی جریان ماندگار پایین‌دست (Q_0) ۰/۰۵ لیتر بر ثانیه اتفاق افتاده است که روش اول ϵ_{loc} کمتری از روش دوم دارد. این

کاهش می‌یابد و در L_2 عکس این قضیه اتفاق افتاده و ε_{siz} با افزایش $A_{Lef\ true}$ افزایش می‌یابد. نتایج شکل (۶) برای افزایش دبی نشست (Q_{L0}) نیز صدق می‌کند.

در شکل (۸) مشاهده می‌شود که با افزایش پارامتر q ، برای مکان نشست L_1 ، ε_{loc} در روش اول و دوم تقریباً ثابت است، اما برای مکان نشست L_2 ، در روش اول ε_{loc} ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد اما در کل نرخ افزایش دارد و برای روش دوم این مقدار کاهشی است. همچنین با توجه به این شکل ε_{siz} با افزایش پارامتر q برای مکان نشست L_1 ، ابتدا کاهش یافته و سپس ثابت می‌شود و در کل دارای نرخ ملایم کاهشی است، اما برای مکان نشست L_2 ، ε_{siz} با افزایش q ، افزایش می‌یابد. در تمامی نمودارهای ارائه شده مشاهده می‌شود درصد خطای نسبی مکان‌یابی و اندازه‌ی نشست (به ترتیب ε_{loc} و ε_{siz}) با افزایش فاصله‌ی نشست (کاهش X_D واقعی از L_2 به L_1) از منبع تولید جریان گذرا (در اینجا شیر ضربه قوچ در انتهای خط لوله) افزایش می‌یابد و نتایج دارای دقت کمتری هستند. و این به خاطر این است که افت کاهش فشار ناشی از نشست (ΔH_f) تا به پشت شیر ضربه‌قوچ برسد، در اثر اصطکاک کاهش می‌یابد.

این ویژگی در روش دوم برعکس هست و با افزایش Q_0 ، ε_{loc} نرخ کاهشی می‌یابد. ε_{siz} نیز با افزایش Q_0 نرخ کاهشی دارد.

با توجه شکل (۶) می‌توان بیان کرد که در نشست یک (L_1) با افزایش سرعت موج فشاری در روش دوم ε_{loc} کاهش می‌یابد و ما به نتایج دقیق‌تری می‌رسیم. اما در نشست شماره‌ی دو (L_2) عکس این قضیه دیده می‌شود و با افزایش سرعت موج فشاری ε_{loc} افزایش می‌یابد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که با افزایش سرعت موج فشاری ε_{siz} در مکان نشست L_1 ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است اما در کل یک نرخ ملایم افزایشی دارد. اما ε_{siz} برای مکان نشست L_2 با افزایش سرعت موج فشاری کاهش می‌یابد و در کل با یک نرخ کاهشی را از خود نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۷) با افزایش سطح مقطع مؤثر واقعی نشست ($A_{Lef\ true}$)، ε_{loc} روش اول برای مکان نشست L_1 تقریباً ثابت است و برای مکان نشست L_2 با افزایش $A_{Lef\ true}$ ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد اما در کل برای L_2 نرخ افزایشی دارد. اما برای روش دوم به این صورت است که در مکان نشست L_1 نرخ افزایش دارد اما در مکان نشست L_2 این مقدار کاهش یافته است. همچنین با افزایش سطح مقطع مؤثر واقعی نشست ($A_{Lef\ true}$)، ε_{siz} در مکان نشست L_1

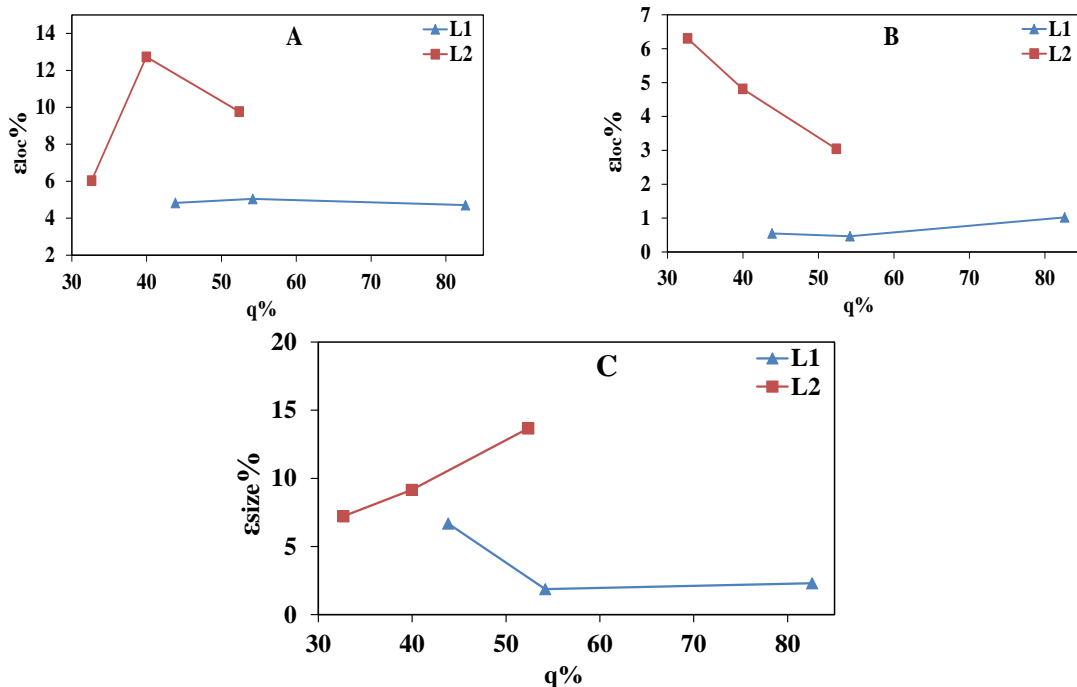


Fig. 8- Leakage diagram of relative leak detection error percentage (A: Percentage of relative error of the first method, B: Relative error percentage of the second method And C: the size of the leak Against the percentage of changes in the parameter q)

شکل ۸- نمودار درصد خطای نسبی مکان‌یابی نشست (الف: درصد خطای نسبی روش اول، ب: درصد خطای نسبی روش دوم) و اندازه‌ی نشست (ج) در برابر درصد تغییرات پارامتر q

نتیجه گیری

هدف از این تحقیق یافتن مکان و اندازه‌ی نشت، با استفاده از اولین موج فشاری انعکاس یافته جریان گذرا در خطوط لوله می‌باشد که نتایج آن در زیر آورده شده است:

۱- مکان‌یابی نشت با استفاده از روش دوم (روشی که سرعت موج فشاری در معادله (۴)، از سرعت انتقال موج فشاری بین دو ترنس‌دیوسر به دست می‌آید) دقیق‌تر است و درصد خطای نسبی محاسبه‌ی مکان ϵ_{loc} کمتری دارند (در این تحقیق ϵ_{loc} با روش دوم بین ۰/۱۲ تا ۶/۲۸ است). ϵ_{loc} با کاهش فاصله‌ی نشت از پایین‌دست کاهش می‌یابد. همچنین روش اول نسبت به روش دوم در به دست آوردن مکان نشت دقت کمتری دارد.

۲- درصد خطای نسبی مکان‌یابی نشت (ϵ_{loc}) به دست‌آمده رضایت‌بخش است زیرا بیشترین مقدار آن در روش اول (روشی که سرعت موج فشاری در معادله (۴)، از رابطه تئوری (۶) محاسبه شد) و روش دوم (روشی که سرعت موج فشاری در معادله (۴)، از سرعت انتقال موج فشاری بین دو ترنس‌دیوسر به دست می‌آید) به ترتیب ۱۲/۷۴ و ۷/۲۸ درصد طول لوله هست.

۳- درصد خطای نسبی اندازه‌ی نشت ($\epsilon_{siz} < 71.9\%$) خیلی بیشتر از خطای نسبی مکان نشت ($\epsilon_{loc} < 12.74\%$) است. بیشترین درصد

خطای نسبی اندازه‌ی نشت در آزمایشی با دبی پایین دست خط لوله ۰/۰۵ لیتر بر ثانیه رخ داد و این می‌تواند ناشی از جریان گذرای ضعیف باشد که به خوبی نمی‌تواند سیگنال موج فشاری انعکاسی در اثر نشت (ΔH) را نشان دهد به این معنی که چون افزایش هد فشاری (ΔH) در این آزمایش کم است تشخیص سیگنال منعکس شده در اثر نشت مشکل است.

۴- به دست آوردن سرعت با استفاده از روابط تئوری در مقایسه با سرعت موج به دست‌آمده از آزمایش موردنظر تفاوت دارد و نتایج حاصل از مکان‌یابی نشان می‌دهد که استفاده از روابط تئوری درصد خطای نسبی بیشتری (ϵ_{loc}) نسبت به استفاده از سرعت متوسط موج فشاری به دست‌آمده از آزمایش دارد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم (۹۹/۳/۰۲/۶۷۶۲۶) تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌کنند. ضمناً از حمایت معنوی قطب علمی "بهسازی و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی" تشکر و قدردانی می‌گردند.

References

- Atari, M., Faghfur Maghrebi, M. and Monavarian, A., 2017. Application of pressure measurement method for leakage detection. *Civil Engineering and Environmental Engineering Journal of Tabriz*, 47 (2), pp. 62-53. (In Persian).
- Beck, S.B., Curren, M.D., Sims, N.D. and Stanway, R., 2005. Pipeline network features and leak detection by cross-correlation analysis of reflected waves. *Journal of hydraulic engineering*, 131(8), pp.715-723.
- Brunone, B. and Ferrante, M., 2001. Detecting leaks in pressurized pipes by means of transients. *Journal of hydraulic research*, 39(5), pp.539-547.
- Chaudhry, M. H. 1987. Applied Hydraulic Transients (2nd Edition), Litton Educational Publishing Inc. Van Nostrand Reinhold Co.
- Colombo, A.F. and Karney, B.W., 2002. Energy and costs of leaky pipes: Toward comprehensive picture. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(6), pp.441-450.
- Covas, D., 1998. Leak detection and location in water distribution networks: Hydrodynamic analysis approach. *MSc, Instituto Superior Técnico, Technical Univ. of Lisbon, Portugal in Portuguese*.
- Covas, D., Almeida, A. B. and Ramos, H., 2000a. Leak Location in Pipe Systems Using Pressure Surges. *Proceedings of 8th International Conference on Pressure Surges, Eds. Anderson, A., Pub. BHR Group Ltd., The Hague, the Netherlands*, pp.169-179.
- Covas, D., Ramos, H. and De Almeida, A. B., 2000b. Leak location in pipe systems using pressure surges. *Eds. Anderson, A., Pub. BHR Group, The Hague, The Netherlands*, pp.169-182.

-
- 9- Covas, D. and Ramos, H., 1999. Leakage detection in single pipelines using pressure wave behaviour. *Water Industry System: modelling and optimisation application*, 1, pp.287-299.
 - 10-Haghighi pour, S., 2013. Hydrological review of transient currents in series pipelines using physical and numerical model. *PhD thesis of Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Persian).
 - 11-Halliwell, A.R., 1963. Velocity of a water-hammer wave in an elastic pipe. *Journal of the Hydraulics Division*, 89(4), pp.1-21.
 - 12-Jönsson, L., 1995. *Leak Detection in Pipelines Using Hydraulic Transients: Laboratory Measurements*. University of Lund. Department of Water Resources Engineering.
 - 13- Liggett, J.A. and Chen, L.C., 1994. Inverse transient analysis in pipe networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 120 (8), pp.934-955..
 - 14-Mohammadi, K., Fathi Moghadam, M., Ahadian, J. and Haghighipour, S., 2015. Physical and numerical simulation of leakage in transient flow. *10th International Conference on Civil Engineering, Tabriz May 15th-17th, 2015*. (In Persian).
 - 15-Parker, K.H. and Jones, C.J.H., 1990. Forward and backward running waves in the arteries: analysis using the method of characteristics. *Journal of biomechanical engineering*, 112(3), pp.322-326.
 - 16-Taebi, h., 2013. Hydrological investigation of transient currents in parallel pipes using a physical and numerical model. *PhD thesis of Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Persian).
 - 17- Wylie, E.B., Streeter, V.L. and Suo, L., 1993. *Fluid transients in systems* (Vol. 1, p. 464). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.