



## مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰

صفحه‌های ۴۹۳-۴۸۵

DOI: 10.22059/jwim.2021.325637.890

مقاله پژوهشی:

### بررسی آزمایشگاهی رابطه بین نشت و فشار برای قطرهای مختلف لوله در خطوط انتقال آب

جعفر مامی‌زاده<sup>۱\*</sup>، محمد محمدی<sup>۲</sup>، رضا رضایی<sup>۳</sup>، لیلی شفیعی<sup>۴</sup>

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲. دکتری، معاونت بهره‌برداری و توسعه فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان ایلام، ایلام، ایران.

۳. کارشناس ارشد، معاونت بهره‌برداری و توسعه آب، شرکت آب و فاضلاب استان ایلام، ایلام، ایران.

۴. مدیر تحقیقات، شرکت آب و فاضلاب استان ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵

#### چکیده

هدررفت آب از خطوط لوله انتقال آب به‌طور متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد از آب منتقل شده آن‌ها می‌باشد و این مقدار در سیستم‌های قدیمی به‌ویژه در سیستم‌هایی که نگهداری ناکارآمد دارند، به بالای ۵۰ درصد می‌رسد. در این پژوهش به بررسی رابطه بین نشت و فشار برای قطرهای مختلف لوله پرداخته شد. یکسری آزمایش‌ها در محل مخزن امام علی شهر ایلام انجام گرفت. آزمایش‌ها در سه لوله فلزی ۸۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر و دو لوله پلی‌اتیلن با قطر ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر انجام شد. نشت به‌صورت مصنوعی در لوله‌های مربوطه با قطر سوراخ‌های مختلف انجام گرفت. قطر حداقل و حداکثر سوراخ‌های نشت به‌ترتیب برابر ۸ و ۶۰ میلی‌متر بود. حداقل و حداکثر فشار ایجاد شده در لوله‌ها به‌ترتیب ۴ تا ۱۲ بار بود. ضریب‌های  $n$  و  $k$  که مربوط به فرمول توانی نشت می‌باشند، برای هر یک از سوراخ‌ها در لوله‌های فلزی و پلی‌اتیلن محاسبه شد. تغییرات ضریب‌های  $n$  در برابر قطر سوراخ برای لوله‌ها بین ۰/۳۵۱ تا ۰/۷۵۴ می‌باشد. تغییرات ضریب‌های  $k$  در برابر قطر سوراخ برای لوله‌ها نشان داد که این ضریب با افزایش قطر سوراخ افزایش می‌یابد. در لوله فلزی با قطر سوراخ ۲۰ میلی‌متر و فشار ۱۲ بار، حداکثر مقدار دبی نشت برابر با ۸/۷۵ لیتر در ثانیه به‌دست آمد.

**کلیدواژه‌ها:** بررسی آزمایشگاهی، خطوط انتقال آب، فشار، نشت.

### Experimental study between leakage and pressure for different pipe size and material in water conveyance pipeline

Jafar Mamizadeh<sup>1\*</sup>, Mohammad Mohammadi<sup>2</sup>, Reza Rezaei<sup>3</sup>, Leyli Shafiei<sup>4</sup>

1. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

2. Deputy of Exploitation and Development of Sewage, Ilam Water and Sewerage company, Ilam, Iran.

3. Deputy of Exploitation and Development of Water, Ilam Water and Sewerage company, Ilam, Iran.

4. Head of Research, Ilam Water and Sewerage company, Ilam, Iran.

Received: June 15, 2021

Accepted: August 29, 2021

#### Abstract

Water loss from water transmission pipelines is on average 20 to 30% of their transferred water, and this amount reaches over 50% in older systems, especially in systems with inefficient maintenance. In this study, the relationship between leakage and pressure for different diameters and pipe types was investigated. Experiments were performed at Imam Ali reservoir in Ilam city in three ST pipes of 80, 150 and 200 mm and two PE pipes with diameters of 110 and 160 mm. Leakage was performed artificially in the relevant pipes with different hole diameters. The minimum and maximum diameters of the leak holes were 8 and 60 mm, respectively. The minimum and maximum pressures in the pipes were 4 to 12 bar, respectively. The coefficients  $n$  and  $k$ , which are related to the leakage power formula, were calculated for each of the holes in the ST and PE pipes. Variations of  $n$  coefficients against hole diameters for pipes are between 0.351 to 0.754. Changes in the coefficients  $k$  versus hole diameter for pipes showed that this coefficient increases with increasing hole diameter. In a ST pipe with a hole diameter of 20 mm and a pressure of 12 bar, the maximum leakage rate of 8.75 liters per second was obtained.

**Keywords:** Conveyance lines, Experimental study, Leakage, Pressure.

## مقدمه

در سال‌های اخیر کاهش تلفات آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راه‌های مقابله با کم‌آبی در کشور مطرح شده است. از دلایل مهم این امر می‌توان به هزینه‌های زیاد استحصال آب از منابع سطحی و زیرزمینی و بهره‌برداری و نگهداری آن‌ها و هزینه‌های تصفیه آب اشاره نمود. یکی از چالش‌های مهم شرکت‌های آب و فاضلاب در کل جهان، هدررفت آب از شبکه‌های آبرسانی به‌صورت شکستگی و نشت است که هزینه‌های بالای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را بر این شرکت‌ها تحمیل می‌کنند. هر سال بخش زیادی از بودجه وزارت نیرو در بخش تعمیر و بازسازی لوله‌های شبکه ناشی از شکستگی‌ها هزینه می‌شود. عوامل مختلفی بر شکستگی لوله‌های شبکه آبرسانی تأثیر می‌گذارد که یکی از مهم‌ترین این عوامل، فشار آب است. از دیدگاه نظری، جریان از درون یک سوراخ یا اریفیس، با جذر فشار آب درون آن متناسب است. برخی آزمایش‌ها نشان داده است که در مورد تأثیر فشار بر روی نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری، این رابطه برقرار نیست. رابطه بین تغییرات فشار و نشت آب براساس رابطه<sup>۱</sup> FAVAD مطابق رابطه زیر می‌باشد (Iran Ministry of Energy, 2012):

$$L1 = L0 \left( \frac{P1}{P0} \right)^n \quad (1)$$

در این رابطه  $L1$  و  $L0$  میزان نشت در فشارهای  $P1$  و  $P0$  می‌باشد. یک سری مطالعات میدانی نشان داد که اگر تمام منافذ نشت دارای سطح مقطع ثابت باشند، مقطع به‌صورت اریفیس عمل کرده و مقدار  $n$  برابر  $0/5$  می‌باشد. هم‌چنین وقتی مصرف معقول شبانه در تحلیل نتایج اثر داده شده باشد، محدوده‌ای بین  $0/5$  تا  $2$  برای  $n$  به‌دست آمده است. در مفهوم FAVAD، نسبت<sup>۲</sup> RFVL یعنی نسبت تعداد منافذ نشت با سطح مقطع ثابت به تعداد منافذ نشت با سطح مقطع متغیر، یک شاخص کلیدی برای

پیش‌بینی آثار فشار روی نرخ نشت می‌باشد (Iran Ministry of Energy, 2012). میزان منافذ نشت با سطح مقطع ثابت (مانند سوراخ‌ها) و میزان منافذ نشت با سطح مقطع متغیر (مانند ترک‌ها و گردبرها) با استفاده از اطلاعات ثبت و پردازش شده مربوط به حوادث در شبکه‌های توزیع آب شهری در طول یک دوره زمانی (حداقل شش‌ماهه) به‌دست می‌آیند. با استفاده از این آمار می‌توان ضریب RFVL را محاسبه کرد. براساس مطالعات (Schwaller & van Zyl, 2014) تعدادی از نتایج پژوهش‌های صورت‌گرفته در کشورهای مختلف روی مقادیر  $n$  به شرح جدول (۱) می‌باشد. براساس نتایج این جدول، محدوده تغییرات ضریب  $n$  وسیع بوده و بین  $0/36$  تا  $2/95$  می‌باشد.

**Table 1. Leakage exponents (n) in different DMA (Schwaller and van Zyl, 2014)**

Row	Country	Year	Number of DMAs tested	Range of n	Mean n
1	UK	1977	17	0.70–1.68	1.13
2	Japan	1979	8	0.63–2.12	1.15
3	Brazil	1998	13	0.52–2.79	1.15
4	UK	2003	75	0.36–2.95	1.01
5	Cyprus	2005	15	0.64–2.83	1.47
6	Malaysia	-	17	0.49–1.50	0.92

Greyvenstein & van Zyl (2007) یک مطالعه آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری توان نشت در انواع مختلف دهانه‌های نشت (سوراخ‌ها، سوراخ‌های خوردگی، طولی و ترک‌های محیطی) و جنس لوله (آزبست، فولاد و UPVC) را انجام دادند. تعدادی از لوله‌های خراب گرفته‌شده از سیستم توزیع آب ژوهانسبورگ و هم‌چنین یک تعداد لوله‌هایی با نشت‌های مصنوعی مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشت تأیید کرد که توان نشت می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از مقدار تئوری آن یعنی  $0/5$  باشد. توان نشت برای سوراخ‌های گرد نزدیک به  $0/5$  بود. توان آن برای سوراخ‌های خوردگی بین  $0/67$  و  $2/30$

فشار بر میزان کاهش جریان شبانه، دبی ورودی به شبکه، هم‌چنین مصرف مشترکان ارائه شد. توان  $n$  در پابلوت مورد مطالعه که جنس لوله‌های شبکه آن ترکیبی از لوله‌های پلی‌اتیلن و چدنی بود، برابر  $1/15$  به دست آمد. van Zyl & Malde (2017) به مرور بر پیشرفت‌های انجام شده در مدل‌سازی نشت طی دهه گذشته پرداخته و سپس نتایج آزمایشگاهی جدید را برای انواع مختلف نشت (سوراخ‌های گرد و شکاف‌های طولی، مارپیچی و محیطی) در جنس مختلف لوله (پلی‌وینیل کلرید پلاستیکی، پلی‌اتیلن با چگالی بالا و فولاد) را ارائه نمودند. نتایج آزمایشگاهی با توجه به آخرین پیشرفت‌های نظری ارزیابی شد و توصیه‌هایی برای ادامه پژوهش‌های آزمایشگاهی ارائه شد. سوابق پژوهش‌های انجام شده در خارج و داخل کشور نشان می‌دهد که به منظور ارتباط بین نشت و فشار برای جنس و قطرهای مختلف لوله، لازم است کارهای پژوهشی بیش‌تری صورت گیرد. هدف از انجام این پژوهش، یافتن رابطه بین دبی نشت با فشار برای قطرها و جنس‌های مختلف لوله در شرایط آزمایشگاهی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت بررسی رابطه بین نشت و فشار در خطوط لوله‌های انتقال آب، یکسری آزمایش‌ها در محل مخزن امام علی شهر ایلام صورت گرفت. ابتدا با توجه به جنس و قطر لوله‌های مختلف خطوط انتقال و شرایط آزمایشگاهی، دو جنس و سه قطر از لوله‌ها انتخاب شد. روی هر یک از این لوله‌ها، روزنه‌ها یا سوراخ‌هایی با قطر ۸ تا ۶۰ میلی‌متر جهت دست‌یابی به مقدار نشت از لوله‌ها ایجاد شد. در محل مخزن امام علی، ایستگاه پمپاژ مربوط به دانشگاه علوم پزشکی ایلام قرار دارد که خط انتقال آن یک لوله فلزی با قطر ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در جهت عمود بر این خط یک لوله به قطر ۱۵۰ میلی‌متر قرار دارد

متغیر بود. این مقادیر برای ترک‌های طولی بین  $0/79$  و  $1/85$  و برای ترک‌های محیطی بین  $0/41$  و  $0/52$  بود Shirzad & Tabesh (2011) به اندازه‌گیری آزمایشگاهی دبی قابل برداشت در فشارهای مختلف نسبت به بررسی روابط فشار-دبی ارائه شده پرداختند. نتایج نشان داد که رابطه Fujiwara & Ganeshraja، دارای پایین‌ترین دقت می‌باشد و روابط اوریفیس و Wagner نیز دارای بالاترین دقت بوده و نسبت به روابط دیگر عملکرد بهتری دارند. هم‌چنین دبی قابل برداشت به‌ازای فشارهای بالاتر از فشار مطلوب ثابت نبوده، بلکه با افزایش فشار هم‌چنان افزایش خواهد یافت. Bostani & Khodashenas (2015) با مطالعه روش‌های موجود مکان‌یابی نشت بر مبنای بهینه‌یابی، یک کد در محیط متلب که براساس رابطه افت فشار و نقاط احتمالی نشت استوار است، اجرا نمودند. کد ارائه شده توانایی بالایی در یافتن گره‌های دارای نشت و توزیع مقادیر نشت بین گره‌ها داشت. هم‌چنین نتایج نشان داد که می‌بایست داده‌های مشاهداتی نظیر قرائت فشارسنج‌ها، الگوی مصرف مشترکین و شناسایی انشعابات غیرمجاز در بررسی میدانی برای بهبود موقعیت‌یابی نقطه‌ای نشت‌ها در شبکه مدنظر قرار گیرد.

Jalili Ghazizadeh & Aidi (2016) روابط تحلیلی مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب شهری را ارائه دادند. در این پژوهش روش تحلیلی جدیدی برای برآورد توان  $n$  در رابطه توانی دبی-نشت بدون نیاز به اندازه‌گیری مستقیم نشت ارائه شد. شبکه یکی از مناطق شهر تهران به‌عنوان پایلوت مطالعاتی انتخاب و ایزوله شد. با اعمال الگوهای متفاوت فشار برای خروجی شیر فشارشکن نصب شده در بالادست پایلوت، توانست تغییرات حداقل جریان شبانه، جریان ورودی به شبکه و مصرف مشترکان را به ترتیب تا ۵۰، ۲۱ و ۳۰ درصد کاهش دهد. هم‌چنین روابطی برای تخمین آثار کاهش

می شد. سپس شیر گازی فشارشکن به تدریج باز می شد تا جریان به سمت پایین دست برقرار شود. توسط پیلوت روی فشارشکن و باز یا بسته کردن پیچ تنظیم آن، فشار در پایین دست تنظیم می شد. در انتهای پایین دست لوله بسته یک شیرفلکه کشویی قرار داده شد که به طور کامل بسته می باشد. در هر یک از آزمایش های انجام شده یکی از سوراخ ها باز می شد و دبی نشت آن از طریق دبی سنج مغناطیسی قرائت می شد. در شکل (۲) نمونه ای از دبی نشت در لوله های فلزی و پلی اتیلن در سوراخ با قطر ۲ اینچ و فشار ۱۰ بار نشان داده شده است.

که از آن جهت انجام آزمایش ها استفاده شده است. فشار خط انتقال به صورت تقریبی بین ۱۳ تا ۲۰ بار می باشد. این فشار با شیر فشارشکن کاهش یافته و پس از شیر فشارشکن روزهایی با قطرهای مختلف در لوله ایجاد شد که از روی آن ها می توان رابطه بین نشت و فشار را به دست آورد. در شکل (۱) محل و ترتیب قرارگیری تجهیزات انجام آزمایش ها مشخص شده است.

جهت شروع آزمایش ها، ابتدا شیرفلکه کشویی ابتدای خط مورد آزمایش به طور کامل باز می شد. فشار بالادست شیرفشارشکن توسط فشارسنج تعبیه شده روی آن قرائت



(a)



(b)

Figure 1. Experimental set up, a) 1- PRV 2- Gate valve 3- Flowmeter 4- Gate valve, b) Orifice with different diameter



(a)



(b)

Figure 2. Leakage in pipes, a) ST pipe, b) PE pipe

## نتایج و بحث

### نتایج آزمایش‌ها در لوله‌های فلزی

آزمایش‌ها در لوله‌های فلزی با سه قطر (D) برابر با ۲۰۰، ۱۵۰ و ۸۰ میلی‌متر انجام شد. قطر سوراخ نشت (d) روی هر یک از لوله‌ها بین ۸ تا ۶۰ میلی‌متر بود. فشار خط لوله در بالادست شیر فشارشکن در ابتدای شروع آزمایش‌ها نزدیک به ۱۹ بار بوده و در انتهای آزمایش‌ها به دلیل خالی شدن بخشی از خط لوله انتقال آب دانشگاه علوم پزشکی به نزدیک ۱۴ بار می‌رسید. فشار خروجی از شیر فشارشکن نیز با توجه به تنظیم پیچ روی پیلوت در

محدوده ۴ تا ۱۲ بار تنظیم شد. با شروع انجام آزمایش‌ها و تخلیه دبی از سوراخ مربوطه، فشار خروجی و دبی نیز در محدوده‌ای تغییر می‌یافت. به‌منظور اطمینان از نتایج و تکرارپذیری آزمایش‌ها، آزمایش‌های فوق‌الذکر در لوله با قطر ۱۵۰ میلی‌متر تکرار شد و نتایج آن‌ها بر هم منطبق بود. در شکل‌های (۳) تا (۵) تأثیر قطر سوراخ‌ها و فشار پایین‌دست شیر فشارشکن بر دبی نشت از سوراخ نشان داده شده است. با توجه به معادلات برازش داده‌شده در شکل‌ها، ضریب‌های k و n برای هر قطر لوله (D) و هر قطر سوراخ (d) به‌دست آمده است.

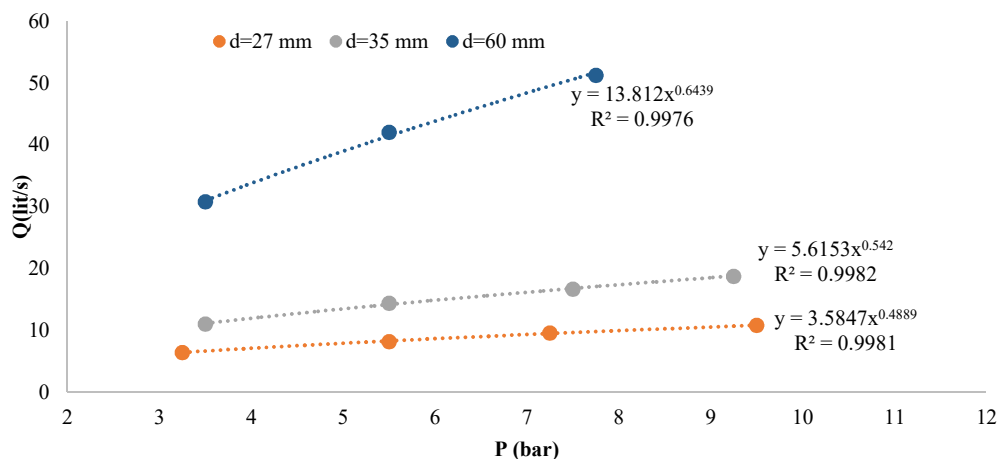


Figure 3. Leakage variation versus pressure in ST pipe (D=200 mm)

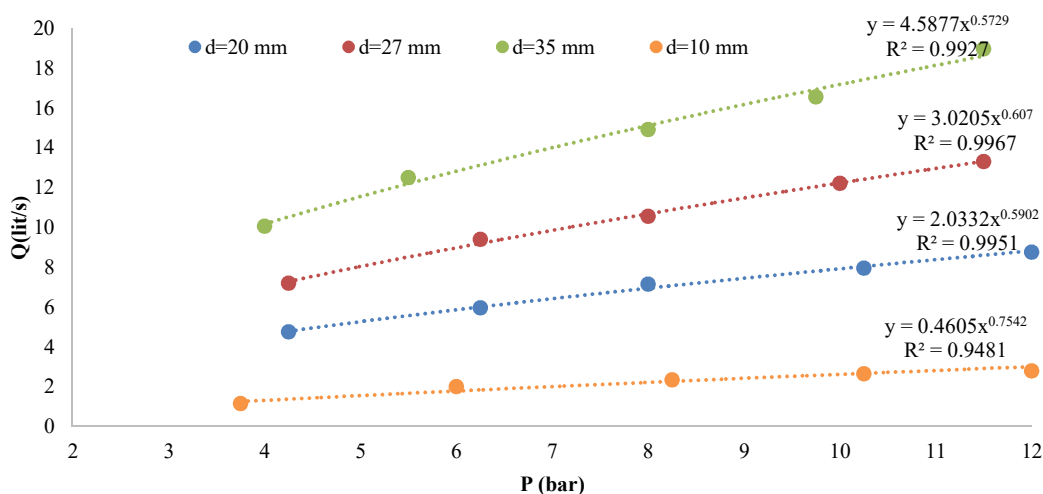


Figure 4. Leakage variation versus pressure in ST pipe (D=150 mm)

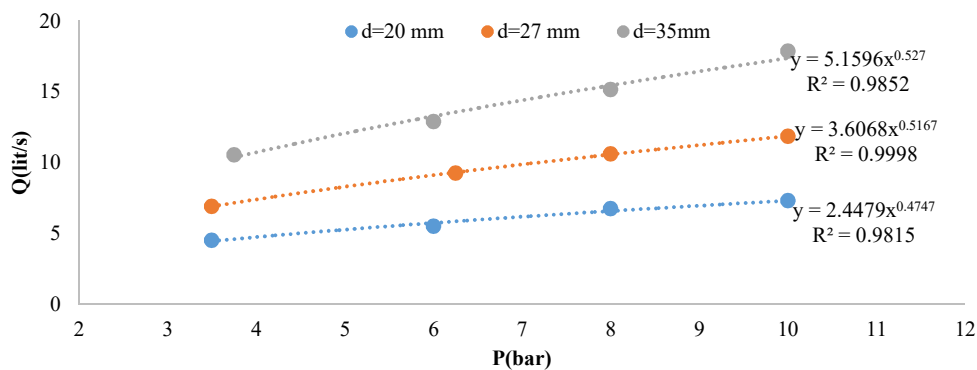


Figure 5. Leakage variation versus pressure in ST pipe (D=80 mm)

در نتیجه فرمول کلی محاسبه دبی نشت از لوله‌های فلزی در سوراخ‌های با قطر مختلف از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = K P^{0.553} \quad (2)$$

$$K = 0.0138 d^{1.7001} \quad (3)$$

با توجه به معادله ارائه شده در بالا، می‌توان دبی نشت را در کلیه لوله‌های فلزی با قطر سوراخ نشت بین ۸ میلی‌متر تا ۶۰ میلی‌متر برآورد نمود. نتایج این پژوهش با نتایج Grevinstein & Van Zyl (2014)، Schwaller & Van Zyl (2007) و Lambert (1997) مطابقت دارد. Zyl، محدوده ضریب n را بین ۰/۳۶ تا ۲/۹۵ گزارش نمودند. Grevinstein & Van Zyl (2007)، توان نشت را برای سوراخ‌های گرد نزدیک به ۰/۵ برآورد نمودند.

#### نتایج آزمایش‌ها در لوله‌های پلی اتیلن

آزمایش‌ها در این لوله با قطر سوراخ ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۷/۵، ۱۹ و ۴۲ میلی‌متر انجام شد. فشار خط لوله در بالادست شیر فشارشکن در ابتدای شروع آزمایش‌ها ۱۵ بار بوده و در انتهای آزمایش‌ها به ۱۳ بار رسید. فشار خروجی از شیر فشارشکن نیز با توجه به تنظیم پیچ روی پیلوت در محدوده ۴ تا ۱۰ بار تنظیم شد. در جدول (۲)، رابطه دبی نشت با فشار و قطر سوراخ (d) نشان داده شده است. ضریب‌های k و n با توجه به معادلات برازش داده شده محاسبه شده است.

در شکل‌های فوق با توجه به معادلات برازش شده مشخص است که مقدار ضریب توان نشت (n) کم‌تر از یک می‌باشد که این مقدار برای سوراخ‌های دایره‌ای شکل که به صورت مصنوعی ایجاد شده‌اند، منطقی به نظر می‌رسد. مقدار ضریب (k) نیز با توجه به افزایش قطر سوراخ (d) از ۰/۴۶۰۵ تا ۱۳/۸۱۲ افزایش یافته است. هم‌چنین به‌طور نمونه حداکثر مقدار دبی نشت در لوله فلزی با قطر سوراخ ۲۰ میلی‌متر و فشار ۱۲ بار برابر با ۸/۷۵ لیتر در ثانیه می‌باشد. به‌منظور تأثیر تغییر قطر لوله (D) بر دبی نشت سوراخ در لوله‌های فلزی، نحوه تغییرات دبی نشت با قطر سوراخ‌های مختلف برای لوله‌های فلزی با قطر ۱۵۰، ۲۰۰ و ۸۰ میلی‌متر بررسی شد که نتایج آن در شکل (۶) آمده است. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که قطر لوله تأثیر چندانی بر دبی نشت نداشته است.

شکل‌های (۷) و (۸) تغییرات ضریب‌های n و k را در برابر قطر سوراخ برای لوله‌های فلزی با قطر ۷۵، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر نشان می‌دهد. تغییرات این ضریب بین ۰/۴۳۴ تا ۰/۷۵۴ می‌باشد. میانگین این اعداد یعنی عدد ۰/۵۵۳ به‌عنوان ضریب n برای لوله‌های فلزی در نظر گرفته شد. با توجه به شکل (۸) مشخص است که ضریب k با اندازه قطر سوراخ افزایش می‌یابد. برای هر یک از سوراخ‌های مذکور میانگین‌گیری انجام گرفت و یک منحنی بر آن‌ها برازش داده شد.

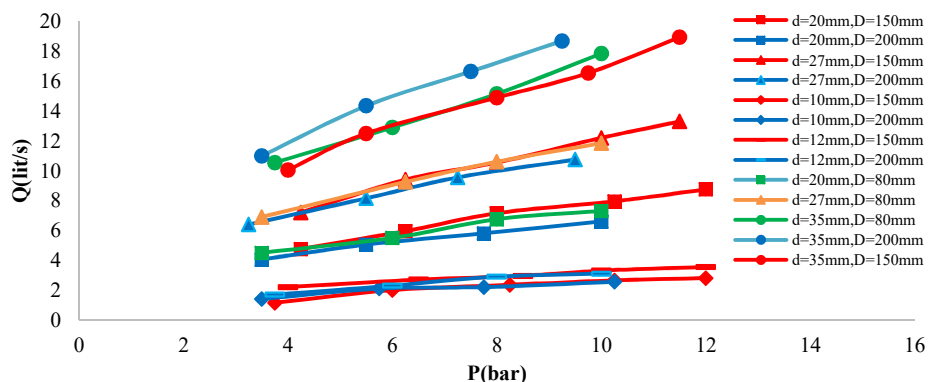


Figure 6. Pipe diameter variation effect on leakage in ST pipe

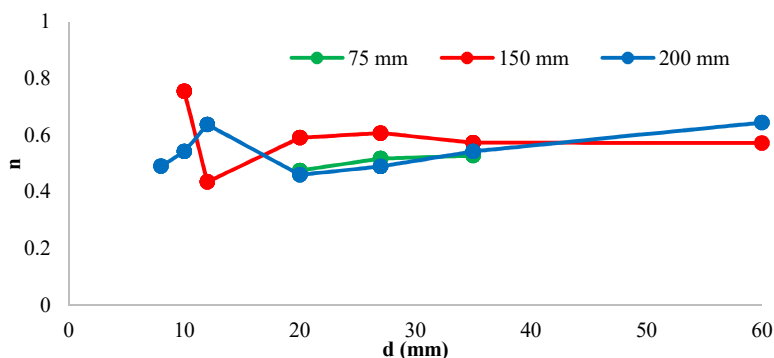


Figure 7. n variation versus orifice diameter

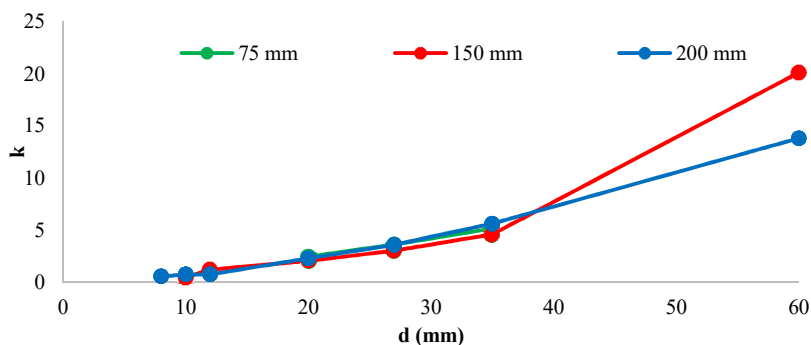


Figure 8. k variation versus orifice diameter

Table 2. Leakage variation versus pressure in PE pipe

D (mm)	Material	D (mm)	n	k	Equation	R2
8	PE	160	0.4952	0.4373	$Q = 0.4373 P^{0.4952}$	0.9856
10	PE	160	0.4867	0.7249	$Q = 0.7249 P^{0.4867}$	0.9135
12	PE	160	0.6094	0.8023	$Q = 0.8023 P^{0.6094}$	0.9979
17.5	PE	160	0.5146	2.1542	$Q = 2.1542 P^{0.5146}$	0.9906
55	PE	160	0.5792	14.422	$Q = 14.422 P^{0.5792}$	0.9968
8	PE	110	0.3511	0.6748	$Q=0.6748 P^{0.3511}$	0.9772
10	PE	110	0.4645	0.766	$Q=0.766 P^{0.4645}$	0.9484
12	PE	110	0.5778	0.8056	$Q=0.8056 P^{0.5778}$	0.9785
19	PE	110	0.7122	1.5733	$Q=1.5733 P^{0.7122}$	0.9885
42	PE	110	0.5517	11.583	$Q=11.583 P^{0.5517}$	0.9975

پژوهش به بررسی آزمایشگاهی رابطه بین نشت و فشار برای لوله‌های فلزی تا قطر ۲۰۰ میلی‌متر و لوله پلی‌اتیلن تا قطر ۱۶۰ میلی‌متر پرداخته شد. آزمایش‌ها در سه لوله فلزی و دو لوله پلی‌اتیلن انجام شد. نشت به صورت مصنوعی در لوله‌های مربوطه با قطر سوراخ‌های مختلف انجام گرفت. مقدار ضریب میانگین توان نشت (n) برای لوله‌های فلزی و پلی‌اتیلن به ترتیب برابر ۰/۵۵۳ و ۰/۵۳۴ به دست آمد که محدوده این ضریب با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت دارد. تغییرات ضریب‌های k در برابر قطر سوراخ برای لوله‌های فلزی و پلی‌اتیلن نشان داد که این ضریب با افزایش قطر سوراخ افزایش می‌یابد. در محل انجام آزمایش‌ها، فشار خط لوله در ابتدا نزدیک به ۱۹ بار بوده که با شیر فشارشکن، فشار آن به چهار بار کاهش یافت. به دلیل احتمال پدیده کاویتاسیون در شیر فشارشکن، فشارهای کم‌تر از چهار بار مورد آزمایش قرار نگرفت که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی انجام شود. اندازه‌گیری نشت در قطر سوراخ‌های کم‌تر از هشت میلی‌متر به دلیل خطای فلومتر مغناطیسی در دبی‌های کم امکان‌پذیر نبود.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آب و فاضلاب استان ایلام به انجام رسیده است. به این وسیله از کلیه کارکنان شرکت که به هر نحو در انجام این طرح پژوهشی همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### پی‌نوشت‌ها

1. Fixed And Variable Area Discharge paths
2. Ratio of Fixed And Variable Leaks

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

به منظور تأثیر تغییر قطر لوله بر دبی نشت، نحوه تغییرات دبی نشت با قطر سوراخ‌های مختلف برای لوله‌های با قطر ۱۶۰ و ۱۱۰ میلی‌متر بررسی شد. نتایج نشان داد که مشابه با لوله‌های فلزی، قطر لوله تأثیر بر دبی نشت تأثیر کمی داشته است. جدول (۳)، تغییرات ضریب‌های n و k را در برابر قطر سوراخ برای لوله پلی‌اتیلن با قطر ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر نشان می‌دهد. بنابراین دبی نشت در این لوله‌ها طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = K P^{0.534} \quad (۴)$$

$$K = 0.0109 d^{1.8064} \quad (۵)$$

Table 3. n and k variation versus orifice diameter in PE pipe

d (mm)	D (mm)	n	k
8	110	0.3511	0.6748
10	110	0.4645	0.766
12	110	0.5778	0.8056
19	110	0.7122	1.5733
42	110	0.5517	11.583
8	160	0.4952	0.4373
10	160	0.4867	0.7249
12	160	0.6094	0.8023
17.5	160	0.5146	2.1542
55	160	0.5792	14.422

با توجه به جدول فوق، میانگین ضریب‌های n یعنی عدد ۰/۵۳۴ به عنوان ضریب n برای لوله‌های پلی‌اتیلن در نظر گرفته شد. همچنین مقدار ضریب k نیز با تغییرات قطر سوراخ از مقدار ۰/۶۷۴۸ تا ۱۴/۴۲۲ افزایش یافته است.

### نتیجه‌گیری

تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه رابطه بین نشت و فشار در خطوط انتقال و شبکه‌های آب‌رسانی به صورت میدانی، آزمایشگاهی و عددی در داخل و خارج کشور انجام شده است. متأسفانه کارهای آزمایشگاهی انجام شده در خطوط انتقال آب بسیار محدود بوده و قطر لوله‌های مورد آزمایش و دبی نشت از سوراخ‌ها نیز با توجه به شرایط آزمایشگاهی، محدود بوده است. بنابراین در این



## منابع

- Bhave, P.R. (1991). Analysis of flow in water distribution networks, *Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, USA*, 461 p.
- Boostani, A. & Khodashenas, S.R. (2015). Studying a leakage detection method in pressurized water networks based on the pressure-leakage relation. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(1), 59-66. (In Persian)
- Greyvenstein, B., & Van Zyl, J.E. (2007). An experimental investigation into the pressure – leakage relationship of some failed water pipes. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 56(2), 117-124.
- Iran Ministry of Energy. (2012). *Guideline for determining effective parameters on unaccounted for water (UFW) and water losses reduction schemes*. [https://moe.gov.ir/Rules\\_and\\_Regulations\\_Issue](https://moe.gov.ir/Rules_and_Regulations_Issue) (In Persian)
- Jalili ghazizadeh, M.R., & Aidi, Z. (2016). Provide analytical relationships of pressure management in water distribution networks. *Journal of Environmental Studies*, 42(3), 517-529. (In Persian)
- Lambert, A. (1997). Pressure management/ Leakage relationships: theory, concepts and practical applications. *Minimizing Leakage in Water Supply/ Distribution Systems*, IQPC Seminar, London.
- Schwaller, J., & van Zyl, E. (2014). Modeling the Pressure-Leakage Response of Water Distribution Systems Based on Individual Leak Behavior. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(5), 182-189.
- Sharoonizadeh, SH., & Mamizadeh, J. (2016). Application of modified complementary reservoir approach in analysis of water distribution networks under pressure-deficient conditions. *Urban Water Journal*, 23(3), 260-266.
- Shirzad, A. & Tabesh, M (2011). Laboratory study of pressure-flow relations used in hydraulic analysis models based on pressure in water distribution networks, 10th Iran Hydraulic Conference, Rasht, Iran Hydraulic Association, University of Guilan. (In Persian)
- Sivakumar, P., & Prasad R.K. (2014). Simulation of Water Distribution Network under Pressure-Deficient Condition. *Journal of Water Resources Management*, 28, 3271-3290.
- Sivakumar, P., & Prasad, R. K. (2015). Extended Period Simulation of Pressure-Deficient Networks Using Pressure Reducing Valves. *Journal of Water Resources Management*, 29(5), 1713-1730.
- Tabesh, M., Shirzad, A., Arefkhani, V., & Mani, A. (2014). A comparative study between the modified and available demand driven based models for head driven analysis of water distribution networks. *Urban Water Journal*, 11(3), 221-230.
- Tucciarelli, T., Criminisi, A., & Termini, D. (1999). Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(3), 277-285.
- Vairavamoorthy, K., & Lumbers, J. (1998). Leakage reduction in water distribution systems: optimal valve control. *Journal of hydraulic Engineering*, 124(11), 1146-1154.
- Van Zyl, J.E., & Malde, R. (2017). Evaluating the pressure-leakage behaviour of leaks in water pipes. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 66(5), 287-299.