

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the Effect of PDA And DDA Methods In Pressure Management of Wdns with the Optimal Setting of Prvs (Case Study: Kalibar Water Distribution Network)

Farnaz Nozad Alamdari^a, Mehdi Dini^{a,*}, Akbar Shirzad^b

^aCivil Engineering Department, Faculty of Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

^bFaculty of Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

Received: 04 August 2024; **Reviewed:** 26 June 2025; **Accepted:** 08 October 2025

Keywords:

Pressure management, Pressure reducing valves, Demand Driven Analysis, Pressure Driven Analysis, Water Distribution Network

1. Introduction

In the past years, water shortage problems have become one of the challenging issues for water specialists. Considering that a lot of money and energy is spent to produce potable water, providing practical and economical solutions to reduce leakage is always considered. Many solutions are proposed to reduce leakage and control network pressure such as active and passive control methods, water distribution network reconstruction, replacement of worn pipes, and pressure management. One of the practical and economical solutions to reduce leakage in the network is pressure management by different methods such as optimizing the location and setting of valves, the number and setting of pumps, level of tanks. According to the recent researches, providing new methods that can be used to reduce leakage from the network in a practical way and at the lowest cost is the basic and constant challenge of water supply networks. The current research examines the effect of demand and pressure driven analysis methods in pressure management of water distribution networks with the optimal setting of PRVs by evaluating the hydraulic performance of the network. For this purpose, the Kalibar water distribution network has been considered as a real case study. The methodology has been coded in MATLAB R2017b by linking EPANET2.2 simulator.

2. Methodology

2.1. Hydraulic analysis

Generally, two methods such as demand-driven analysis and pressure-driven analysis can be used for modeling of water distribution network. In the first method, the amount of nodal demand in the water distribution system is considered constant, but in the second one, it is altered by the nodal pressure. Equation (1) shows the relationship between flow rate and nodal pressure.

$$d = \begin{cases} 0 & P \leq P_{min} \\ BD \left(\frac{P - P_{min}}{P_{req} - P_{min}} \right)^{0.5} & P_{min} < P < P_{req} \\ BD & P \geq P_{req} \end{cases} \quad (1)$$

where d : is the available demand at a given node, BD : is the fixed demand that is previously estimated, P_{min} : is the threshold pressure below which no flow can be discharged, P_{req} : is the required pressure to satisfy the fixed demand and p : is the available pressure at a given node.

2.2. Leakage index

In this research, the leakage of the WDN is calculated based on the following two relationships:

$$q_j = k_f P_j^\beta \quad (2)$$

$$k_f = c \times \sum_{k=1}^M (0.5 \times L_{ij}^k) \quad (3)$$

where, q_j is the leakage flow at node j , P_j is the service pressure at node j , k_f is the fixed leakage coefficient for the node j , L_{ij}^k is the length of the pipe k between nodes i and j , c is the discharge coefficient of the orifice which depends on the shape and the diameter, M is the number of pipes connected to the node j and β is the nodal pressure exponent which is assumed 1.18.

2.3. NPRI index

The performance of water distribution network is calculated as equation (4 and 5). In this equation, NPRI (i, j) is the reliability index value of nodal pressure on node j at time i , and p is the nodal pressure on node j at time i . Also, NPRI is the network pressure reliability index at time t , NN is the total number of nodes, Q_{jt}^{req} is the required demand at node j at time t .

$$NPRI = \frac{\sum_{j=1}^{NN} Q_{jt}^{req} (NPRI(j,t))}{\sum_{j=1}^{NN} Q_{jt}^{req}} \quad (4)$$

$$NPRI(j,t) = \begin{cases} 0 & P < 10 \\ \frac{1}{32} (P - 10) & 10 \leq P < 26 \\ \frac{1}{10} (P - 26) + 0.5 & 26 \leq P < 31 \\ \frac{1}{38} (P - 31) + 1 & P = 31 \\ -\frac{1}{40} (P - 50) + 0.5 & 31 < P \leq 50 \\ 0.25 & 50 < P \leq 60 \\ & 60 < P \end{cases} \quad (5)$$

2.4. DSR index

To evaluate the performance of water distribution network to supply the required demand. Demand supply reliability (DSR) index is defined as equation (6). In this equation, DSR: represents the demand supply reliability value, Q_j^{ave} : is the available demand at node j and Q_j^{req} : is the required demand in the node j .

$$DSR = \frac{\sum_{j=1}^{NN} Q_j^{ave}}{\sum_{j=1}^{NN} Q_j^{req}} \quad (6)$$

2.5. VSI index

The equation of VSI index that is proposed to find the location of the valves in the network is given by Equation 8. In which, Q_i^t : is the flow of pipe i at time t , ΔP_{ij}^t : is the difference between pressure head in node i and j at time t , CHW_i^t : is the roughness coefficient of pipe i at time t and T : is the modeling duration time.

$$VSI = \left(\frac{1}{T}\right) \sum_{t=1}^T \left\| \frac{Q_i^t * \Delta P_{ij}^t}{CHW_i^t} \right\| \quad (7)$$

2.6. Optimization

The ACO algorithm was initially introduced by Marco Dorigo in 1996. This optimization algorithm shows an interesting behavior of ants. The most important relationship in the ACO algorithm is in the form of Equation 6. This relationship shows the probability of choosing each path (Dorigo et al, 1996):

$$P_{ij}(k, t) = \frac{[T_{ij}(t)]^\alpha [U_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{j=1}^J [T_{ij}(t)]^\alpha [U_{ij}(t)]^\beta} \quad (8)$$

where, $P_{ij}(k, t)$ show the probability of choosing option j when ant k is in period t and decision point i , $T_{ij}(t)$ is the pheromone concentration of path ij in the period t , $U_{ij}(t)$ guide the exploration of path ij . α and β are the weight coefficients of the exploration guiding pheromone and j is the number of paths can be chosen by the ant k when it is at the decision point i . The pheromone concentration is updated according to Equation 8. in which, $T_{ij}(t + 1)$ is the pheromone concentration of path ij in period $t+1$, $\Delta T_{ij}(t)$ addition of pheromone of path ij in period t , $T_{ij}(t)$ the pheromone concentration of path ij in period t and ρ is the pheromone evaporation coefficient.

$$T_{ij}(t + 1) = \rho T_{ij}(t) + \Delta T_{ij}(t) \quad (9)$$

3. Results and discussion

In this section, the Kalibar water distribution network has been used to investigate the effect of the hydraulic analysis (PDA and DDA) in estimating the improvement of the hydraulic efficiency of water distribution networks through the optimal setting of pressure reducing valves. Due to the special topographic conditions of Kalibar WDNs, the network has 7 pressure reducing valves whose positions were selected experimentally. In order to evaluate the proposed method, two scenarios have been defined based on hydraulic analysis of the network that called the pressure analysis method (PDA) and the demand analysis method (DDA). Each method considered before and after valve location selection based on the Valve Selection Index (VSI). Tables 2 shows the average values of NPRI and DSR and leakage index during 24 hours of the day in different conditions. In these tables, the average leakage is given in liters per second.

Table 1. Results of equation assessment

Index	DDA		PDA	
	Before	After	Before	After
NPRI	0.5933	0.6273	0.6608	0.6770
DSR	1	1	0.89	0.91
LI	6.33	6.34	5.65	5.83

4. Conclusions

To investigate the effect of pressure-analysis and demand-analysis methods on pressure management of Kalibar water distribution network with optimal locating of pressure-reducing valves, first the VSI index was calculated for all the pipes of the network. Based on the obtained results, the pipes with the highest VSI value were selected as the location of the new pressure reducing valves. Accordingly, the previous 7 pressure reducing valves remained in its place and 2 new valves were added to the network. The results showed that before the placement of valves, the average reliability of NPRI in the demand analysis method is equal to 0.5933 and in the pressure-analysis method is equal to 0.6608. Also, the value of this reliability after locating new

valves in the demand-based method is equal to 0.6273 and in the pressure analysis method is equal to 0.6770. The results showed that the use of the pressure-analysis method, due to the more accurate hydraulic analysis of the network, has better results than the demand analysis method for the state before and after the placement of new valves, and for pressure management in the water distribution network with the optimal adjustment of pressure-reducing valves, it is the appropriate approach.

بررسی تأثیر روش‌های مبتنی بر فشار و تقاضا در مدیریت فشار شبکه با تنظیم بهینه شیرهای فشارشکن (مطالعه موردی: شبکه توزیع آب کلیبر)

فرناز نوزاد علمداری¹، مهدی دینی^{2*}، اکبر شیرزاد³

¹ دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز

² دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز

³ دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی ارومیه

دریافت: 1403/5/14، بازنگری: 1404/4/5، پذیرش: 1404/7/16، نشر آنلاین: 1404/7/16

چکیده

با توجه به صرف هزینه و انرژی زیاد برای تولید آب آشامیدنی، یکی از چالش‌های این حوزه، کاهش تلفات از شبکه توزیع آب است. از این‌رو، ارائه راهکارهای عملی و اقتصادی برای کاهش تلفات از شبکه، همواره مورد توجه بوده است. مدیریت فشار یکی از روش‌های به‌روز و اقتصادی در این ارتباط است. در این پژوهش، تأثیر استفاده از روش‌های مبتنی بر فشار و مبتنی بر تقاضا، بر مدیریت فشار شبکه با تنظیم بهینه شیرآلات فشارشکن بررسی می‌شود. هدف بررسی تأثیر دقت روش‌های فوق در مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه در شرایط تنظیم بهینه شیرآلات می‌باشد. برای این منظور، با ایجاد لینک بین متلب و شبیه‌ساز هیدرولیکی شبکه ایپانت (EPANET)، مقادیر بهینه فشار خروجی شیرآلات فشارشکن با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان (Ant colony optimization) و با هدف بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان فشار گرهی تنظیم شده است. عملکرد هیدرولیکی شبکه با شاخص‌های قابلیت اطمینان (Network Pressure Reliability Index) NPRI و تأمین تقاضا (Demand Supply Reliability) DSR و نشت ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو رویکرد مبتنی بر تقاضا و مبتنی بر فشار، با جانمایی مناسب شیرآلات فشارشکن با به‌کارگیری شاخص مکان‌یابی VSI (Valve Selection Index) و تنظیم بهینه فشار خروجی شیرها، عملکرد هیدرولیکی مدل نسبت به قبل از آن بهبود قابل توجهی پیدا می‌کند. هرچند در این میان، نتایج روش‌های مبتنی بر فشار و تقاضا متفاوت است که می‌تواند ناشی از تفاوت دقت مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه بر پایه روش‌های فوق باشد. به‌طور مثال، شاخص تأمین تقاضا در روش مبتنی بر تقاضا همواره برابر یک است. اما در روش مبتنی بر فشار کمتر از یک است و همین موضوع بر دقت نتایج مدل‌ها مؤثر است. به‌طور کلی روش مبتنی بر فشار نتایج واقعی‌تری نسبت به روش مبتنی بر تقاضا در شرایط بحرانی شبکه مانند تنظیم بهینه شیرآلات شبکه به‌دست می‌آورد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت فشار، شیرهای فشارشکن، روش مبتنی بر فشار، روش مبتنی بر تقاضا، قابلیت اطمینان.

1- مقدمه

و کنترل فشار شبکه پیشنهاد می‌شوند. روش‌های کنترل فعال و غیرفعال، بازسازی شبکه توزیع آب، مدیریت فشار و تعویض لوله‌های فرسوده از جمله روش‌هایی هستند که برای کاهش هدررفت آب استفاده می‌شوند. مدیریت فشار یکی از استراتژی‌های استاندارد برای به حداقل رساندن تلفات آب در شبکه‌های توزیع آب است. این روش، به‌دلیل سهولت اجرا و مقرون به‌صرفه بودن، کارایی زیادی در بهبود شرایط هیدرولیکی شبکه دارد. مدیریت فشار می‌تواند از طریق انتخاب صحیح محل احداث مخازن ذخیره،

در سال‌های گذشته مشکلات کم‌آبی به یکی از موضوعات چالش‌برانگیز متخصصان حوزه آب تبدیل شده است. در کشورهای توسعه‌یافته میزان نشت از شبکه بین 3 تا 7 درصد حجم آب ورودی و در کشورهای در حال توسعه این مقدار بیش از 50 درصد آب ورودی است (Puust و همکاران، 2010؛ Moslehi و همکاران، 2020). در چنین شرایطی، ارائه راهکارهای اجرایی با صرفه اقتصادی اهمیت می‌یابد. راهکارهای فراوانی به‌منظور کاهش نشت

نداشته باشد، بعضی از این شیرها به منظور جلوگیری از افزایش فشار استاتیک، به صورت خودکار جریان را قطع می کنند.

Jafari-Asl و همکاران (2021) به موقعیت یابی و تنظیم بهینه شیرهای کاهنده فشار (PRV) با بهره گیری از الگوریتم زنبور عسل (ABC)² پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد با روش پیشنهادی، مقدار نشت شبکه از 82/3 لیتر بر ثانیه به 72/2 لیتر بر ثانیه کاهش می یابد.

Dini و Asadi (2021)، یک رویکرد ساده و اجرایی برای مدیریت فشار سیستم های توزیع آب با بهره گیری از برنامه زمان بندی شیرآلات موجود در شبکه را ارائه دادند. بررسی نتایج نشان داد که تنظیم شیرآلات شبکه توزیع آب بر مبنای حداقل مصرف مناسب نیست. درحالی که تنظیم شیرآلات بر مبنای حالت متوسط و حداکثر مصرف نسبت به برنامه ریزی ساعتی متغیر نتایج قابل قبول دارد و عملکرد هیدرولیکی شبکه را به اندازه چشمگیری بهبود می دهند.

Price و همکاران (2022) با جانمایی شیرهای فشارشکن و تنظیم بهینه آنها به مدیریت فشار در سیستم های توزیع آب پرداختند. آنها الگوریتم موقعیت یابی شیرآلات را برای تنظیم موقعیت شیرآلات و الگوریتم بهینه سازی را برای تنظیم فشار خروجی شیرآلات به کار بردند. نتایج توانایی الگوریتم ها برای تعیین محل دقیق شیرآلات و کنترل فشار پایین دست را نشان داد.

Yuan و همکاران (2023) بهینه سازی مقادیر فشار در شبکه توزیع آب را بر مبنای کنترل شیرهای فشارشکن بررسی کردند. نتایج نشان داد که نصب، راه اندازی و تنظیم شیرآلات کاهنده فشار، یک روش مؤثر در کنترل فشار در شبکه توزیع آب می باشد. Creaco و همکاران (2023) از یک روش افت فشار برای تنظیم شیرآلات فشارشکن و پمپ های دور متغیر استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی برای مدیریت فشار در شبکه توزیع آب می باشد.

Tamas و همکاران (2023) بحث مکان یابی شیرهای فشارشکن و تنظیم بهینه آنها را برای حداقل کردن تلفات آب در سیستم توزیع آب واقعی بررسی کردند. آنها از الگوریتم لیدن³ برای تعیین تعداد و محل بهینه شیرآلات و تنظیم فشار خروجی شیرها استفاده کردند. نتایج نشان داد که به کارگیری روش پیشنهادی، موجب کاهش نشت و حفظ فشار بالاتر از حد مطلوب می شود. در ارتباط با مقایسه نتایج روش های مبتنی بر تقاضا و فشار تحقیقات زیادی انجام شده است و روابط زیادی توسط محققین برای مدل سازی روابط هد دیی ارائه شده است (Wagner و همکاران، 1988، Tanyimbh و Templeman، 2010، Shirzad و همکاران، 2013).

کنترل پمپاژ، احداث حوضچه های تعدیل فشار، کنترل سطح آب در مخازن ذخیره و یا استفاده از شیرهای کنترل جریان انجام شود. در تحقیقات اخیر، روش های مختلفی برای مدیریت فشار ارائه شده است.

Gencoglu و Merzib (2017) به ارائه روشی جدید برای کاهش فشار اضافی و حداقل کردن نشت آب از طریق بهینه سازی موقعیت و میزان بازشدگی شیرهای دریچه دار پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که ارائه این روش در بهترین حال، موجب کاهش 60 درصدی فشار اضافی می شود.

سیستم های آبرسانی به گونه ای طراحی می شوند که حداقل فشار در ساعات مختلف شبانه روز حفظ شود. با این حال، افزایش فشار در شبکه می تواند در هر زمانی از شبانه روز به ویژه ساعات اوج مصرف پیش آید که ترکیب دگی و ترک خوردن لوله ها را به دنبال خواهد داشت. بنابراین می توان گفت نشت، ارتباط مستقیمی با حالات پر فشار دارد (Mathye و همکاران، 2022).

Lambert و Fantozzi (2010) بیان داشتند که مدیریت فشار، علاوه بر کاهش نشت، باعث افزایش طول عمر اجزای شبکه، جلوگیری از شکستگی و ترکیب دگی لوله های آب و کاهش مصرف آب در شبکه توزیع آب می شود.

Roshani و Filion (2014) دو روش مدیریت فشار و نوسازی و بهسازی زیرساخت ها را با هم ترکیب کردند. سرانجام با کمک الگوریتم ژنتیک چندهدفه موفق شدند محل بهینه شیرآلات فشارشکن و تنظیمات شیرها را در شبکه C-Town ایالات متحده تعیین کنند و در نهایت نشت شبکه را تا حدود 80 درصد کاهش دهند.

Hamdy Khadr و همکاران (2022) در پژوهش خود از روش مبتنی بر فشار برای تجزیه و تحلیل شبکه توزیع آب استفاده کردند. در این مطالعه، روش مبتنی بر فشار از طریق لینک ایپانت با متلب و برنامه نویسی به دست آمد که باعث صرفه جویی در زمان و تلاش مدل ساز برای افزودن عناصر مصنوعی و تفسیر نتایج شد. در نهایت، آنها روش مبتنی بر فشار را یک تکنیک بسیار مهم برای تجزیه و تحلیل شبکه در شرایط غیرعادی معرفی کردند. یکی از گزینه های عملی برای مدیریت فشار در شبکه، استفاده از شیرهای کاهنده فشار (PRVs)¹ است (Avila و همکاران، 2019، Gungor، 2019).

بهره برداری بهینه از شیرها می تواند در تعدیل فشار و کاهش نشت از شبکه مؤثر باشد. شیرهای فشارشکن به صورت خودکار، فشار زیاد و متغیر ورودی را به فشار کم و ثابت خروجی تبدیل می کنند. در صورتی که پس از شیرهای فشارشکن، مصرف آب وجود

3. Leiden algorithm

1. Pressure Reducing Valve
2. Artificial Bee Colony Algorithm

تنظیم بهینه آن‌ها مورد بررسی قرار داده است که بر اساس منابع بررسی شده جدید می‌باشد. برای مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه مورد مطالعه از نسخه EPANET 2.2 و به‌منظور بهینه‌سازی شبکه‌های مورد مطالعه از الگوریتم جامع مورچگان در محیط MATLAB R2017b استفاده شده است. روش پیشنهادی بر روی شبکه توزیع آب شهر کلیبر بررسی شده است.

2- روش تحقیق

2-1- مدل‌سازی هیدرولیکی

برای مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب، دو روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا (DDA) و تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار (PDA) مطرح می‌باشد. در روش مبتنی بر تقاضا، میزان تقاضای گره در سیستم توزیع آب، ثابت در نظر گرفته می‌شود. زمانی که فشار موجود در گره‌ها از فشار مجاز حداقل بیشتر باشد، روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا، کارایی مناسبی دارد. اما زمانی که شرایط بحرانی مانند اعمال دبی زیاد، افزایش بی‌مورد، تقاضا در گره‌ها و شکست لوله وجود داشته باشد، فشارهای گره‌ای به کمتر از مقدار حداقل مجاز، یا حتی مقادیر منفی کاهش می‌یابد. بنابراین نتایج غیرواقعی تولید می‌شود (Tabesh و همکاران، 2025). این درحالی است که روش مبتنی بر فشار در شرایط نرمال و شرایط بحرانی با توجه به وابسته بودن مقادیر تقاضای گرهی بر مقادیر فشار گرهی، توانایی شبیه‌سازی واقعی‌تر شبکه‌های توزیع آب را دارد (Shirzad، 2020). در این روش، میزان دبی تخصیص‌یافته در گره‌ها به‌عنوان تابعی از فشار گره‌ای در نظر گرفته می‌شود. روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار، تصویر دقیق‌تری از وضعیت شبکه، به‌ویژه در شرایط ویژه (غیرنرمال) ارائه می‌کند. بنابراین استفاده از این روش، می‌تواند در نتایج پژوهش تأثیرگذار باشد (Tabesh و همکاران، 2021).

روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار (PDA) به‌عنوان یک ابزار کار برای نشان دادن عملکرد واقعی شبکه در شرایط غیرنرمال تعریف می‌شود. بر اساس رابطه Rossman و همکاران (2020) مقدار جریان تخصیص‌یافته در یک گره، تابعی از فشار آن گره تعیین می‌شود که در آن، d تقاضای مورد نیاز کل شبکه است و از رابطه (1) به‌دست می‌آید. BD تقاضای پایه گرهی، P_{req} فشار مورد نیاز برای ارائه تقاضای مورد نیاز کل، P فشار گرهی و P_{min} فشاری است که زیر آن تأمین تقاضا صفر است.

$$d = \begin{cases} 0 & P < P_{min} \\ BD \left(\frac{P - P_{min}}{P_{req} - P_{min}} \right)^{0.5} & P_{min} < P < P_{req} \\ BD & P > P_{req} \end{cases} \quad (1)$$

Geranmehr و همکاران (2018) به تحلیل مبتنی بر فشار در شبکه توزیع آب به کمک الگوریتم ازدحام ذرات پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش مبتنی بر فشار در شرایط غیرنرمال مانند بارگذاری بیش از حد یا کمبود فشار نتایج واقعی‌تری نسبت به روش مبتنی بر تقاضا که در این شرایط فشار منفی ایجاد می‌کند، دارد.

Tay و همکاران (2018) به بهینه‌سازی کارآمد تنظیم فشار در سیستم توزیع آب با استفاده از یک مدل منعطف شیر کاهنده فشار پرداختند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده کارایی روش ارائه شده در تنظیم و کاهش میانگین فشار حداکثر با بهینه‌سازی شیرآلات کاهنده فشار بود.

Gungor و همکاران (2019) افزایش کارایی هیدرولیکی سیستم‌های توزیع آب با استفاده از مدیریت فشار و یکپارچه‌سازی منابع اطلاعات پرداختند. نتایج نشان داد که استراتژی مدیریت فشار با منابع اطلاعات یکپارچه، تأثیر زیادی در کاهش تلفات آب و بهبود کارایی هیدرولیکی شبکه دارد.

Magdy و همکاران (2022) با استفاده از عناصر مصنوعی به تحلیل فشار در شبکه‌های توزیع آب پرداختند. آن‌ها در این تحقیق، یک رابط کاربری گرافیکی به‌منظور شبیه‌سازی شبکه در حالت PDA⁴ توسعه دادند. در ابتدا شبکه برای حالت DDA⁵ حل می‌شود. در صورتی که فشارگرهی موجود کمتر از فشار مورد نیاز باشد، آنگاه منوی PDA فعال می‌شود. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در شرایط کمبود فشار، تحلیل DDA حل صحیحی از شبکه را به‌دست نمی‌دهد. در مقابل، روش‌های PDA نیز جواب‌های نزدیک به هم داده و در سناریوی خرابی لوله، همچنان مشکل فشار و تأمین تقاضا نیز وجود دارد.

Huzsvar و همکاران (2023) کاهش نشت در شبکه توزیع آب با جانمایی و تنظیم بهینه شیرهای فشارشکن را بررسی کردند. آن‌ها در این تحقیق، یک روش دومرحله‌ای مکان‌یابی و تنظیم بهینه PRV به‌منظور کاهش نشت و هم‌زمان حفظ فشار سرویس را توسعه دادند. برای شبیه‌سازی هیدرولیکی از نرم‌افزار STACI رویکرد DDA استفاده کردند و مدل‌سازی نشت نیز به‌صورت تابعی از فشار مدل شده است. نتایج نشان‌دهنده کاهش قابل توجه نشت در شبکه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

با توجه به پژوهش‌های اخیر، ارائه روش‌های جدیدی که با کمک آن‌ها بتوان فشار در شبکه را مدیریت نمود و به‌واسطه آن نشت از شبکه را به‌صورت عملی و با کمترین هزینه کاهش داد چالش اساسی و همیشگی شبکه‌های آبرسانی است. پژوهش حاضر، دقت مدل‌سازی روش‌های مبتنی بر فشار و تقاضا را در مدیریت فشار شبکه مبتنی بر جانمایی شیرآلات کاهنده فشار و

2-2- شاخص نشت

منظور از شاخص نشت، رابطه‌ای است که میزان نشت از شبکه توزیع آب را محاسبه می‌کند. این شاخص رابطه بین فشار گرهی و نشت را نشان می‌دهد. نشت آب از شبکه‌های آب شهری و روستایی، امری غیرقابل اجتناب است که بیشتر سیستم‌های آب دنیا با آن مواجه هستند و مقدار آن به مشخصات فیزیکی شبکه‌های توزیع آب بستگی دارد (Jafari-Asl و همکاران، 2021). مطابق پیشنهاد Araujo و همکاران (2006)، میزان نشت از شبکه توزیع آب از رابطه (2) و (3) به دست می‌آید:

$$q_j = k_f * p_j^\beta \quad (2)$$

$$k_f = c * \sum_{j=1}^M (0.5 * L_{ij}) \quad (3)$$

که در آن‌ها، q_j میزان نشت از گره j ، p_j فشار سرویس گره j ، k_f ضریب ثابت نشت برای گره مورد نظر، β توان گره فشار L_{ij} طول لوله متصل به گره i و j و M تعداد تمام لوله‌های متصل به گره j است. همچنین c ضریب تخلیه از روزنه‌های موجود در اتصالات و لوله‌ها است که به شکل و قطر لوله بستگی دارد.

2-3- شاخص مکان‌یابی شیرآلات

برای موقعیت‌یابی شیرآلات فشارشکن در این پژوهش از شاخص VSI استفاده شده است (Dini و Asadi، 2019). برای موقعیت‌یابی شیرآلات فشارشکن در شبکه توزیع آب کلیبر، ابتدا شیرهای فشارشکن قبلی از مدل کامپیوتری شبکه توزیع آب کلیبر حذف و با لوله‌های آب مناسب جایگزین و سپس مقدار شاخص VSI برای هر لوله محاسبه شد. در نهایت، با دسته‌بندی مجموعه لوله‌های با شاخص VSI بالا، بهترین موقعیت قرارگیری شیرآلات فشارشکن مشخص شده است. شاخص VSI به کار رفته در این پژوهش به صورت رابطه (4) تعریف می‌شود:

$$VSI = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{Q_k^t * \Delta P_{ij}^t}{CHW_k^t} \right| \quad (4)$$

در رابطه فوق، VSI شاخص موقعیت‌یابی شبکه، T مدت زمان، Q_k^t دبی لوله k در زمان t ، ΔP_{ij}^t اختلاف هد فشار بین دو نقطه i و j در لوله k و CHW_k^t ضریب هیزن ویلیامز لوله k در زمان t است.

2-4- قابلیت اطمینان

2-4-1- قابلیت اطمینان NPRI

در این پژوهش، به منظور بررسی دقیق‌تر نتایج از دو قابلیت اطمینان استفاده شده است. منظور از قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه، تعریف یک بازه معین جهت فشار گرهی شبکه توزیع آب

در 24 ساعت شبانه‌روز است، به گونه‌ای که فشار شبکه در حد سطح سرویس‌دهی تأمین شود و مقدار آن از مقدار حداکثر مجاز تجاوز نکند. تابع هدف بهینه‌سازی این پژوهش، قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه است که از رابطه (5) محاسبه می‌شود (Dini و Tabesh، 2018).

$$NPRI(i,j) = \begin{cases} 0 & p < 10 \\ \frac{1}{32} (p - 10) & 10 < p < 26 \\ \frac{1}{10} (p - 26) + 0.5 & 26 < p < 31 \\ 1 & p = 31 \\ -\frac{1}{38} (p - 31) + 1 & 31 < p < 50 \\ -\frac{1}{40} (p - 50) + 0.5 & 50 < p < 60 \\ 0.25 & 60 < p \end{cases} \quad (5)$$

در رابطه (5)، $NPRI(i,j)$ مقدار شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی در گره j و در زمان t و P فشار گرهی در گره j و در زمان t است. شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی کل شبکه نیز از رابطه (6) به دست می‌آید:

$$NPRI = \frac{\sum_{j=1}^{NN} Q_j^{req} (NPRI(j,t))}{\sum_{j=1}^{NN} Q_j^{req}} \quad (6)$$

در رابطه فوق، $NPRI$ مقدار قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه، NN تعداد گره‌های شبکه، Q^{req} تقاضای گره i در زمان t است. روند بهینه‌سازی تابع هدف در پژوهش حاضر، به گونه‌ای است که در طول آن، مسئله به سمت فشار 31 یا همان نقطه ایده‌آل حرکت کند. به بیان دیگر، قابلیت اطمینان بیشینه معادل فشار 31 متر است و انتخاب پاسخ‌های بهینه مسئله بر اساس نزدیکی به قابلیت اطمینان بیشینه معادل فشار 31 متر یا همان نقطه ایده‌آل است.

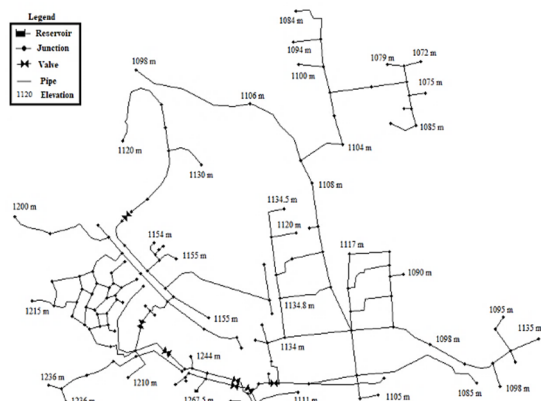
2-4-2- قابلیت اطمینان DSR

شاخص قابلیت اطمینان دوم، قابلیت اطمینان تأمین تقاضا می‌باشد که نسبت تأمین تقاضا در هر ساعت در کل شبکه را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر مقدار شاخص بین صفر و یک است. در حالتی که برابر یک باشد نشان‌دهنده این است که کل تقاضا تأمین می‌شود و در حالتی که این مقدار کمتر از یک باشد نسبت تأمین تقاضا از یک را نشان می‌دهد. قابلیت اطمینان تأمین تقاضا به صورت رابطه (7) محاسبه می‌شود:

$$DSR = \frac{\sum_{j=1}^{NN} Q_j^{ave}}{\sum_{j=1}^{NN} Q_j^{req}} \quad (7)$$

در رابطه فوق، DSR مقدار قابلیت اطمینان تأمین تقاضا را نشان می‌دهد و $\sum_{j=1}^N Q_j^{ave}$ مجموع دبی در دسترس، $\sum_{j=1}^N Q_j^{req}$ مجموع دبی مورد نیاز در شبکه و NN تعداد گره‌های شبکه است (Tanyimboh و Tabesh، 2004).

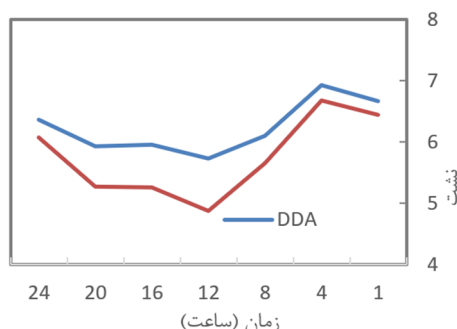
و خطا، ضریب تخلیه (C) طوری تعیین شده است که مجموع نشت از شبکه در حالت پایه (وضعیت موجود) برابر 20 درصد مصارف کل باشد.



شکل 1- شبکه توزیع آب کلیبر

3- نتایج و بحث

در این تحقیق، برای بررسی تأثیر نوع تحلیل هیدرولیکی شبکه در نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه با تنظیم بهینه شیرآلات فشارشکن از شبکه کلیبر استفاده شده است. تابع هدف مدل بهینه‌سازی، قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه می‌باشد که به همراه دو شاخص دیگر یعنی شاخص قابلیت اطمینان تأمین تقاضا و شاخص نشت برای ارزیابی عملکرد شبکه به کار برده شده‌اند. برای مدل‌سازی شبکه توزیع آب کلیبر، در مرحله اول، ضرایب امیتر⁷ شبکه کلیبر با استفاده از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا محاسبه شده است. در مرحله دوم برای بررسی تأثیر روش‌های تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا و مبتنی بر فشار بر نتایج هیدرولیکی شبکه توزیع آب، میزان قابلیت اطمینان فشار گرهی و نشت از شبکه برای تمامی ساعات شبانه‌روز محاسبه شده است. نتایج برای شاخص‌های نشت، قابلیت اطمینان فشار گرهی و تأمین تقاضا در شکل‌های (2) و (3) و (4) با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل 2- تغییرات نشت شبکه کلیبر در ساعات شبانه‌روز با دو رویکرد PDA و DDA

5-2- الگوریتم جامعه مورچگان

الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان (ACO) برای اولین بار در سال 1996 توسط Dorigo و همکاران مطرح شد. این الگوریتم بهینه‌سازی از مشاهدات و مطالعات روی کلونی مورچگان الهام گرفته شده است. مورچه‌ها در ابتدا به صورت کاملاً تصادفی به دنبال غذا می‌گردند تا غذا بیابند. سپس در مسیر برگشت خود به خانه، ردی از فرومون⁶ برجا می‌گذارند. در صورتی که مورچه‌های دیگر نیز در زمان یافتن غذا، این مسیر را بیابند، آن را دنبال می‌کنند و به غذا می‌رسند و در مسیر بازگشت خود ردی از فرومون بر جای می‌گذارند که این مسئله موجب تقویت آن مسیر می‌شود. فرومون با گذشت زمان تبخیر می‌شود و به این ترتیب مسیرهای دیگر از بین می‌روند. هدف الگوریتم مورچگان نیز تقلید این رفتار مورچگان به منظور یافتن مسیر بهینه است. مهم‌ترین رابطه در روش الگوریتم جامعه مورچگان رابطه (8) است که احتمال انتخاب هر مسیر را نشان می‌دهد:

$$P_{i,j}(k,t) = \frac{[T_{i,j}(t)]^\alpha [U_{i,j}(t)]^\beta}{\sum_{j=1}^J [T_{i,j}(t)]^\alpha [U_{i,j}(t)]^\beta} \quad (8)$$

در این رابطه، $P_{i,j}(k,t)$ احتمال انتخاب گزینه j زمانی که مورچه k در دوره t و نقطه تصمیم i قرار دارد را نشان می‌دهند و $T_{i,j}(t)$ غلظت فرومون مسیر ij در دوره t و $U_{i,j}(t)$ هدایت‌کننده کاوشی مسیر ij هستند. α و β مقادیر ضرایب وزن فرومون هدایت‌کننده کاوشی و J تعداد مسیرهایی انتخاب شده توسط مورچه k است، زمانی که در نقطه تصمیم‌گیری i قرار دارد. رابطه به‌هنگام‌سازی فرومون به‌صورت زیر است:

$$T_{i,j}(t+1) = \rho T_{i,j}(t) + \Delta T_{i,j}(t) \quad (9)$$

در رابطه فوق، $T_{i,j}(t+1)$ غلظت فرومون مسیر ij در دوره $t+1$ ، $\Delta T_{i,j}(t)$ اضافه فرومون مسیر ij در دوره t ، $T_{i,j}(t)$ غلظت فرومون مسیر ij در دوره t ، ρ ضریب تبخیر فرومون است.

6-2- شبکه توزیع آب کلیبر

شبکه مورد مطالعه در این پژوهش، شبکه توزیع آب شهر کلیبر است. این شبکه دارای 174 لوله، 166 گره، 1 مخزن و 7 شیر فشارشکن است که ساختار ساده شده آن در شکل (1) نشان داده شده است. کلیبر با جمعیت بیش از ده هزار نفر دارای پیک مصرف روزانه در حدود 38 لیتر بر ثانیه می‌باشد که بر اساس برآوردهای شرکت آب و فاضلاب شهر کلیبر در حدود 20 درصد آن به‌صورت تلفات از شبکه و در قالب نشت به هدر می‌رود. برای اعمال نشت در مدل شبکه، بر اساس طول لوله‌ها و به‌روش سعی

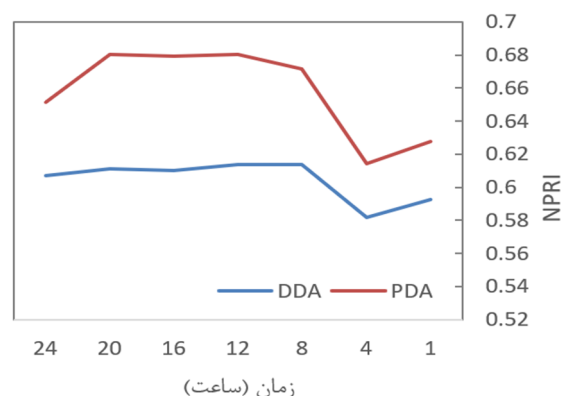
نشت محاسبه شده متفاوت در دو رویکرد می‌شود. در این میان با توجه به این که رویکرد مبتنی بر فشار در شرایط بحرانی عملکرد دقیق‌تری نسبت به رویکرد مبتنی بر تقاضا دارد، مقادیر نشت محاسبه شده با این رویکرد نیز می‌تواند دقیق‌تر باشد.

شکل (3) نشان‌دهنده تغییرات قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه در 24 ساعت شبانه‌روز است. بررسی تأثیر دو روش مبتنی بر فشار و مبتنی بر تقاضا بر مقادیر قابلیت اطمینان شبکه در این شکل نشان می‌دهد که در تمامی ساعات شبانه‌روز، میزان قابلیت اطمینان شبکه در روش PDA بیشتر از قابلیت اطمینان روش DDA است و تغییرات دو روش در ساعات مختلف شبانه‌روز تقریباً یکسان است. میانگین قابلیت اطمینان در روش PDA برابر با 0/6621 و در روش DDA برابر با 0/6062 است. مقایسه میانگین قابلیت اطمینان دو روش مذکور در 24 ساعت شبانه‌روز نشان می‌دهد که در رویکرد مبتنی بر فشار، مقدار شاخص نسبت به رویکرد مبتنی بر تقاضا، 9/22 درصدی افزایش یافته است که مربوط به تفاوت در مبانی تأمین تقاضا در دو رویکرد است و بر اساس عملکرد بهتر رویکرد مبتنی بر فشار در شرایط بحرانی، نتایج قابلیت اطمینان فشار گرهی در رویکرد فوق، قابل اعتمادتر می‌باشد.

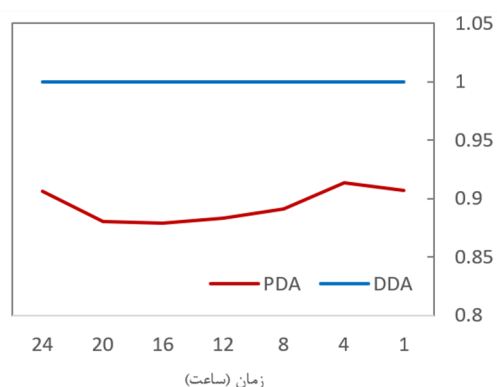
در شکل (4)، نتایج قابلیت اطمینان تأمین تقاضا برای دو رویکرد مبتنی بر فشار و مبتنی بر تقاضا در شبکه توزیع آب کلیبر نشان داده شده است. مقادیر قابلیت اطمینان تأمین تقاضا برای شبکه توزیع آب کلیبر در طول 24 ساعت شبانه‌روز در رویکرد مبتنی بر تقاضا برابر 1 و برای رویکرد مبتنی بر فشار کمتر از 1 و به‌طور متوسط برابر 0/89 است.

3-1- تنظیم موقعیت شیرآلات در شبکه کلیبر

شبکه توزیع آب کلیبر به‌دلیل شرایط توپوگرافی خاص، دارای هفت شیر فشارشکن است که به‌صورت تجربی و بر اساس شرایط توپوگرافی شهر کلیبر موقعیت آن‌ها تعیین شده است. به‌منظور ارزیابی نتایج رویکردهای مبتنی بر فشار (PDA) و مبتنی بر تقاضا (DDA)، نتایج آن‌ها قبل و بعد از موقعیت‌یابی شیرآلات بر اساس شاخص مکان‌یابی VSI ارزیابی شده است و نتایج در قالب قابلیت اطمینان فشار گرهی و شاخص نشت نمایش داده شده است. به‌منظور بهبود کارایی هیدرولیکی شبکه توزیع آب کلیبر، از یک برنامه‌ریزی دو منظوره برای تنظیم موقعیت و تنظیم فشار خروجی شیرآلات فشارشکن استفاده شده است. موقعیت‌یابی شیرآلات فشارشکن در شبکه توزیع آب کلیبر بر اساس شاخص VSI انجام شده است. ابتدا شاخص VSI تمامی لوله‌های شبکه محاسبه شده و سپس، لوله‌هایی که ضریب بزرگتری دارند، انتخاب شده‌اند. از بین لوله‌های شبکه، لوله‌های 59، 80، 91، 95، 119، 167، 169،



شکل 3- تغییرات قابلیت اطمینان NPRI شبکه کلیبر در ساعات شبانه‌روز به دو روش PDA و DDA



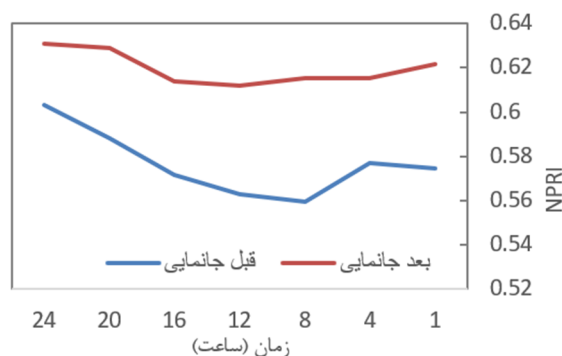
شکل 4- تغییرات قابلیت اطمینان DSR شبکه کلیبر در ساعات شبانه‌روز به دو روش PDA و DDA

شکل (2) نشان می‌دهد که میزان نشت به‌دست آمده با تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار نسبت به روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا، در تمامی ساعات شبانه‌روز کمتر است. میانگین نشت به‌دست آمده با روش PDA برابر با 5/63 و با روش DDA برابر با 6/15 است که نشان می‌دهد متوسط نشت روش مبتنی بر فشار نسبت به روش مبتنی بر تقاضا در شبکه کلیبر 8/46 درصد کاهش یافته است. همچنین از مشاهده این نمودار و مقایسه نتایج دو روش مبتنی بر فشار و مبتنی بر تقاضا می‌توان دریافت که تغییرات نشت در دو روش در 24 ساعت شبانه‌روز در شبکه توزیع آب مورد مطالعه، روند مشابهی دارد. به بیان دیگر، اگرچه نتایج نمودار PDA پایین‌تر از نتایج نمودار DDA است، اما میزان نشت در هر دو نمودار در ساعات مشخصی، کاهش و یا افزایش می‌یابد. دلیل تفاوت مقادیر نشت در دو نوع تحلیل هیدرولیکی، مربوط به رویکرد متفاوت دو روش در تأمین تقاضا می‌باشد. به‌طوری‌که در رویکرد مبتنی بر تقاضا مطابق شکل (4) تمامی تقاضا تأمین شده است ولی در رویکرد مبتنی بر فشار، تنها 89 درصد تقاضا تأمین شده است. همین مورد مبانی متفاوت دو رویکرد را نشان می‌دهد که منجر به اعداد متفاوت فشار گرهی در دو رویکرد و در نهایت مقادیر

به‌طور کلی، در این جدول لوله‌های با شاخص مکان‌یابی بالا نشان داده شده است و با دسته‌بندی لوله‌های با VSI بالا در دسته‌های مختلف بر اساس هم مسیر و سری بهم بسته شدن آن‌ها، 9 لوله به‌عنوان مکان‌های شیرآلات فشارشکن جدید انتخاب شده‌اند. با بررسی‌های انجام شده در این پژوهش درنهایت، هفت شیر فشارشکن قبلی در جای خود باقی ماندند و دو شیر فشارشکن با موقعیت‌های جدید به آن‌ها اضافه شدند. موقعیت 9 شیر نصب شده در مدل شبکه در جدول (1) با عبارت PRV1 تا PRV9 نشان داده شده است.

3-2- روش مبتنی بر تقاضا

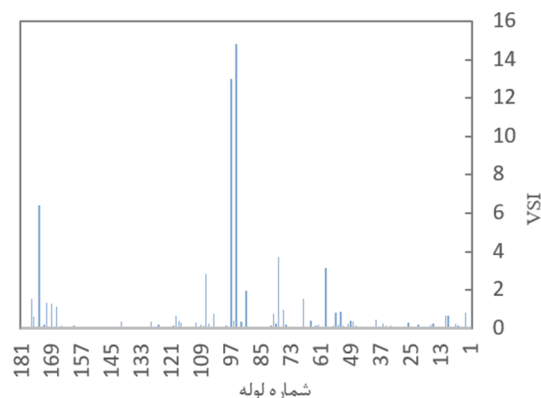
در این سناریو، به‌منظور بررسی روش پیشنهادی از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا استفاده شده است. ابتدا قابلیت اطمینان NPRI، نشت و قابلیت اطمینان DSR شبکه توزیع آب شهر کلیر در وضعیت موجود، برای 24 ساعت شبانه‌روز محاسبه شده است. سپس، بعد از موقعیت‌یابی و جانمایی شیرآلات فشارشکن جدید در شبکه مورد مطالعه، قابلیت اطمینان NPRI، نشت و قابلیت اطمینان DSR شبکه در 24 ساعت شبانه‌روز مجدداً محاسبه شده است. درنهایت برای مقایسه عددی نتایج، متوسط مقادیر شاخص‌ها محاسبه و با هم مقایسه شده است. شکل‌های (6) و (7) به‌ترتیب تغییرات قابلیت اطمینان NPRI، و نشت شبکه کلیر را در دو حالت قبل و بعد از جانمایی شیرآلات جدید، در 24 ساعت شبانه‌روز در حالت تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا را نشان می‌دهند. مقایسه نمودارها در دو حالت موجود نشان می‌دهد که پس از جانمایی شیرهای جدید و بهینه‌سازی تنظیمات خروجی آن‌ها در شبکه توزیع آب کلیر، متوسط قابلیت اطمینان NPRI تقریباً 5/7 درصد افزایش یافته است.



شکل 6- مقایسه تغییرات قابلیت اطمینان NPRI قبل و بعد از جانمایی شیرآلات جدید در حالت مبتنی بر تقاضا

در تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا میزان قابلیت اطمینان DSR در طول شبانه‌روز ثابت و برابر 1 است و جانمایی شیرآلات تأثیری بر این قابلیت اطمینان تأمین تقاضا ندارد، چرا که مبنای

171 و 176 به‌عنوان موقعیت شیرآلات انتخاب شده‌اند. به‌عبارت دیگر، هفت شیر فشارشکن قبلی در موقعیت خود ثابت باقی ماندند و دو شیر فشارشکن جدید به لوله‌های 119 و 59 اضافه شدند. شکل (5) تغییرات شاخص مکان‌یابی VSI تمام لوله‌های شبکه توزیع آب کلیر را نشان می‌دهد.



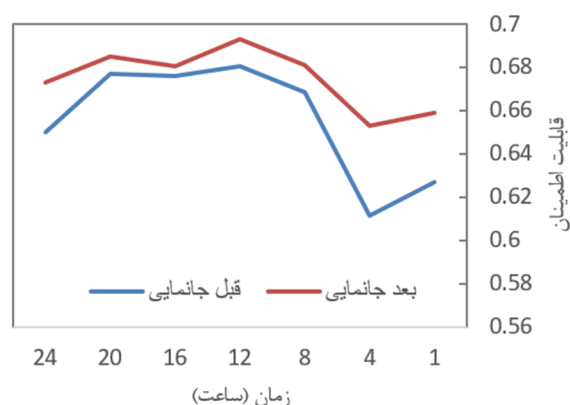
شکل 5- تغییرات شاخص مکان‌یابی VSI لوله‌های شبکه کلیر

جدول (1)، لوله‌های منتخب شبکه توزیع آب کلیر و شاخص مکان‌یابی VSI آن‌ها را نشان می‌دهد.

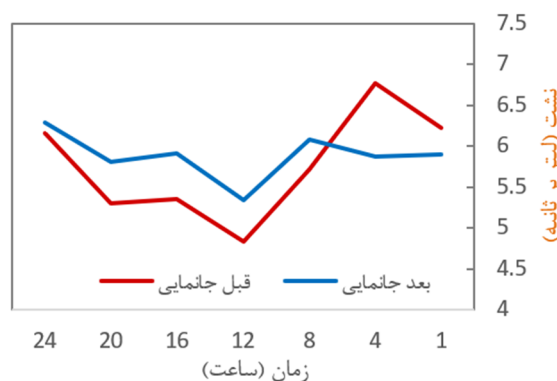
جدول 1- شاخص مکان‌یابی VSI برخی لوله‌های شبکه کلیر و

موقعیت شیرهای منتخب		
شماره لوله	شاخص VSI	دسته بندی
3	0/82	
10	0/64	
11	0/66	
53	0/86	
55	0/79	
59 (PRV1)	13/3	55.10.11.59
68	56/1	
76	0/96	
78	3/70	
80 (PRV2)	0/77	80
91 (PRV3)	1/95	78.177.91
95 (PRV4)	14/83	174.95
97	13/02	
104	0/74	
107	2/82	
119 (PRV5)	0/64	119
167 (PRV6)	1/14	97.167
169 (PRV7)	27/1	107.104.169
171 (PRV8)	32/1	171
174	42/6	
176 (PRV9)	0/62	3.76.53.68.176
177	1/55	

اطمینان و قابلیت تأمین تقاضا همواره هم‌جهت با کاهش نشت در شبکه نیست. به‌طور مثال اگر کمبود فشار در بخشی از شبکه وجود داشته باشد و با بستن شیرهای فشارشکن متوالی که امکان تقسیم کار برای تنظیم فشار در آن‌ها ایجاد می‌شود، ممکن است مدل با تنظیم بهینه شیرها در جهت جبران کمبود فشار برای افزایش قابلیت اطمینان فشار گرهی و قابلیت تأمین تقاضا باشد، که همین عامل می‌تواند منجر به افزایش نشت شود که تأثیر آن در نتایج دو حالت در رویکرد مبتنی بر فشار نیز نمایان است.



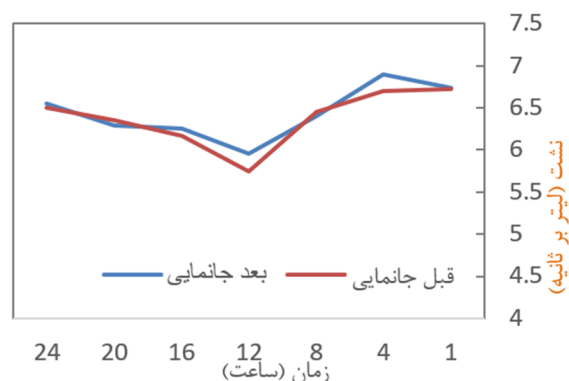
شکل 8- مقایسه تغییرات قابلیت اطمینان NPRI قبل و بعد از جانمایی شیرآلات جدید در حالت مبتنی بر فشار



شکل 9- مقایسه تغییرات نشت قبل و بعد از جانمایی شیرآلات جدید در حالت مبتنی بر فشار

شکل (10) تغییرات قابلیت اطمینان تأمین تقاضا را در 24 ساعت شبانه‌روز برای رویکرد مبتنی بر فشار قبل و بعد از جانمایی شیرها نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده بهبود 2/3 درصدی قابلیت اطمینان تأمین تقاضا بعد از جانمایی نسبت به قبل از جانمایی شیرها است. بر اساس این نمودار، با جانمایی شیرآلات فشارشکن جدید، میزان قابلیت اطمینان DSR با روند تقریباً مشابهی نسبت به حالت قبل از جانمایی شیرآلات جدید، افزایش پیدا می‌کند.

روش تأمین کامل تقاضا در شبکه است. بر اساس نتایج، مقدار نشت بعد از جانمایی در ساعات 6 تا 11 و 15 تا 20 اندکی کمتر از مقدار نشت قبل از جانمایی است و در سایر ساعات بیشتر است. در مجموع، متوسط نشت بعد از جانمایی شیرها نسبت به قبل از جانمایی شیرها در حدود 0/16 درصد افزایش یافته است.

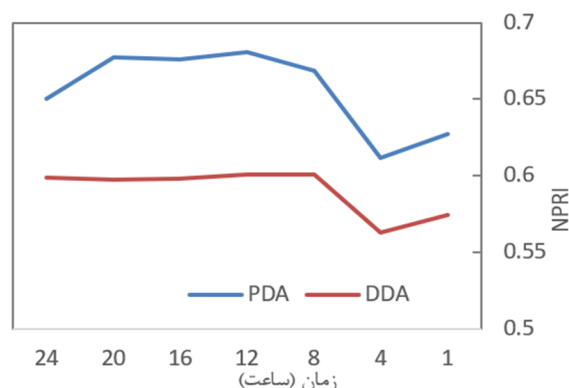


شکل 7- مقایسه تغییرات نشت قبل و بعد از جانمایی شیرآلات جدید در حالت مبتنی بر تقاضا

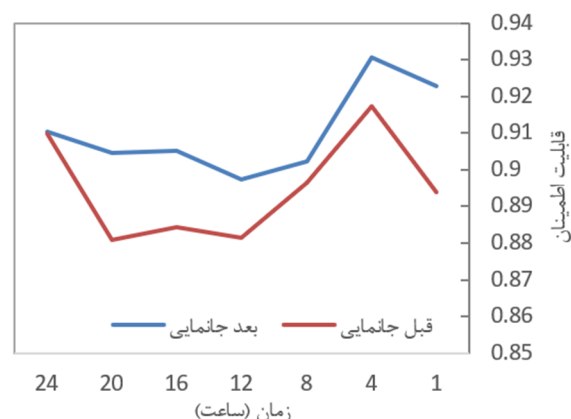
3-3- روش مبتنی بر فشار

در این حالت نیز ابتدا مقادیر قابلیت اطمینان NPRI، نشت و قابلیت اطمینان DSR شبکه توزیع آب شهر کلیر در وضعیت موجود، برای 24 ساعت شبانه‌روز محاسبه شده و سپس همین شاخص‌ها بعد از موقعیت‌یابی شیرآلات فشارشکن جدید و تنظیم بهینه آن‌ها محاسبه شده است و نتایج باهم مقایسه شده است. شکل (8) تغییرات قابلیت اطمینان NPRI را در طول شبانه‌روز برای رویکرد مبتنی بر فشار نشان می‌دهد. بررسی این نمودار نشان می‌دهد که جانمایی شیرآلات و تنظیم بهینه آن‌ها موجب افزایش 2/4 درصدی قابلیت اطمینان فشار گرهی در شبکه توزیع آب کلیر شده است.

شکل (9)، تغییرات شاخص نشت شبکه در رویکرد مبتنی بر فشار را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مقدار نشت بعد از جانمایی شیرآلات فشارشکن در ساعات قبل از 9 صبح کمتر از مقدار نشت قبل از جانمایی است، اما بعد از ساعت 9 صبح، مقدار نشت بعد از جانمایی نسبت به حالت قبل از جانمایی شیرآلات، افزایش یافته است. در مجموع مقایسه متوسط مقادیر نشت در دو حالت نشان می‌دهد که مقادیر نشت بعد از جانمایی شیرآلات جدید نسبت به قبل از آن در حدود 3/2 درصد افزایش یافته است. به‌طور کلی با توجه به این‌که تابع هدف مدل بهینه‌سازی، بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان فشار گرهی در شبکه می‌باشد، در حالت جانمایی شیرهای فشار شکن جدید، مدل با تمرکز بر افزایش قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه، ممکن است بر روی مقادیر نشت تأثیر مثبتی در جهت کاهش آن ایجاد نکند، چرا که افزایش قابلیت



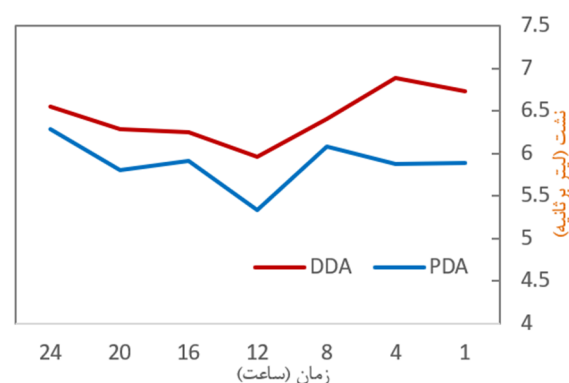
شکل 12- مقایسه تغییرات NPRI به دو روش مبتنی بر فشار و تقاضا قبل از جانمایی شیرآلات



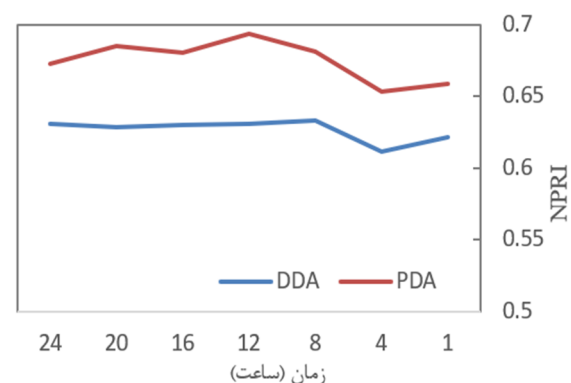
شکل 10- مقایسه تغییرات قابلیت اطمینان DSR قبل و بعد از جانمایی شیرآلات جدید در حالت مبتنی بر فشار

3-4- مقایسه دو رویکرد

در شکل (11) قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه مورد مطالعه برای دو رویکرد مبتنی بر تقاضا و فشار در حالت بعد جانمایی شیرآلات فشارشکن و تنظیم بهینه آن‌ها، نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که میزان قابلیت اطمینان NPRI حاصل از رویکرد مبتنی بر فشار در تمام ساعات شبانه‌روز از مقدار قابلیت اطمینان رویکرد مبتنی بر تقاضا بیشتر است. به‌طوری که مقدار متوسط قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه در رویکرد مبتنی بر فشار حدود 7/9 درصد بیشتر از رویکرد مبتنی بر تقاضا می‌باشد. در شکل (12) قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه در حالت قبل جانمایی شیرآلات فشارشکن نشان داده شده است. بررسی نتایج در این حالت نیز نشان می‌دهد که مقدار متوسط قابلیت اطمینان NPRI در حدود 11/4 درصد در رویکرد مبتنی بر فشار، بیشتر از مقدار رویکرد مبتنی بر تقاضا است. این اختلاف ناشی از تفاوت رویکردهای تأمین تقاضا در دو روش و تأثیر آن بر مقادیر فشار گرهی شبکه و در نهایت تفاوت در مقادیر قابلیت اطمینان فشار گرهی در دو رویکرد است.



شکل 13- مقایسه تغییرات NPRI به دو رویکرد مبتنی بر فشار و تقاضا بعد از جانمایی شیرآلات



شکل 11- مقایسه تغییرات NPRI به دو روش مبتنی بر فشار و تقاضا بعد از جانمایی شیرآلات

نهایت تفاوت در دقت نتایج خروجی از آن‌ها می‌باشد. از طرفی در هر دو رویکرد، جانمایی شیرآلات و تنظیم بهینه آن‌ها تأثیر مثبتی بر عملکرد شاخص‌های ارزیابی شبکه ایجاد می‌کند. در ارتباط با نقض این بیان در مورد شاخص نشت در رویکرد مبتنی بر فشار نیز، علت مربوط به غیر هم‌جهت بودن شاخص‌های ارزیابی شبکه می‌باشد.

جدول 2- متوسط نشت و قابلیت اطمینان برای دو حالت مبتنی بر فشار و تقاضا (قبل از جانمایی شیرهای جدید)

متوسط مقادیر	مبتنی بر تقاضا	مبتنی بر فشار
متوسط قابلیت اطمینان NPRI	0/593	0/661
متوسط قابلیت اطمینان DSR	1	0/89
متوسط نشت (لیتر بر ثانیه)	6/33	5/65

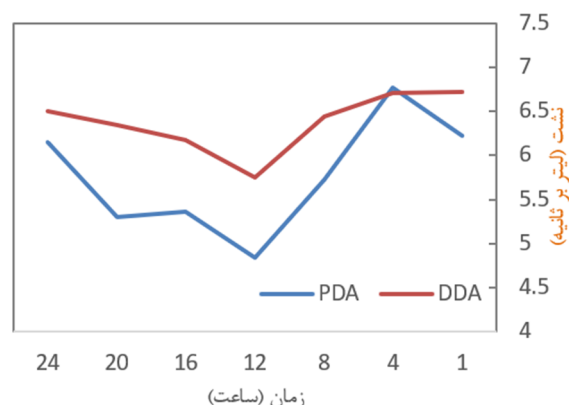
جدول 3- متوسط نشت و قابلیت اطمینان برای دو حالت مبتنی بر فشار و تقاضا (بعد از جانمایی شیرهای جدید)

متوسط مقادیر	مبتنی بر تقاضا	مبتنی بر فشار
متوسط قابلیت اطمینان NPRI	0/627	0/677
متوسط قابلیت اطمینان DSR	1	0/91
متوسط نشت (لیتر بر ثانیه)	6/34	5/83

به‌طوری که با افزایش شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی و شاخص قابلیت اطمینان تأمین تقاضا در بخش‌های از شبکه توزیع، ممکن است شاخص نشت در آن بخش کاهش یابد و به‌طور میانگین مقدار شاخص نشت را کاهش دهد. در مجموع این مسئله نیز با توجه به بهبود عملکرد شبکه از نظر قابلیت اطمینان فشار گرهی و تأمین تقاضا تضادی با بهبود عملکرد شبکه ایجاد نمی‌کند.

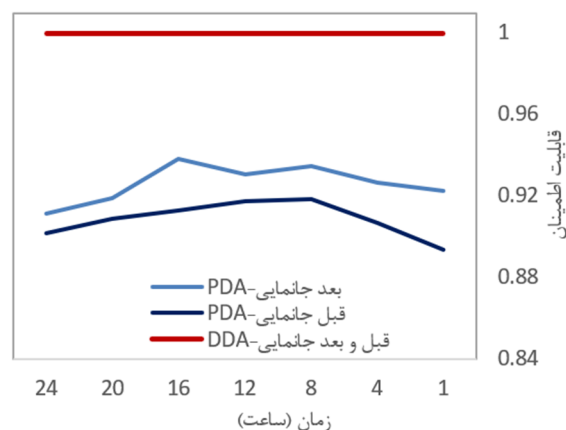
4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر رویکردهای مبتنی بر فشار و مبتنی بر تقاضا در تحلیل هیدرولیکی شبکه در شرایط جانمایی و تنظیم شیرآلات فشارشکن در شبکه توزیع آب شهر کلبر بررسی شده است. برای این منظور با استفاده از شاخص‌های مکان‌یابی شیر، موقعیت شیرهای فشارشکن در شبکه تعیین و فشار خروجی آن‌ها با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان به‌صورت بهینه تنظیم شده است. نتایج نشان داد که با جانمایی شیرآلات و تنظیم بهینه آن‌ها، متوسط قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه در رویکرد مبتنی بر تقاضا، 5/7 درصد و رویکرد مبتنی بر فشار، 2/4 درصد بهبود یافته است. همچنین مقایسه عملکرد دو رویکرد نیز نشان داد که شاخص NPRI در رویکرد مبتنی بر فشار، قبل از جانمایی شیرآلات در حدود 7/9 درصد بیشتر از رویکرد مبتنی بر تقاضا است. همچنین متوسط شاخص نشت، قبل از جانمایی شیرآلات در رویکرد مبتنی بر فشار



شکل 14- مقایسه تغییرات نشت به دو روش مبتنی بر فشار و تقاضا قبل از جانمایی شیرآلات

این در حالی است که بعد از جانمایی شیرآلات جدید بحث مازاد فشار با برنامه‌ریزی شیرآلات برطرف می‌شود که در روند تغییرات منحنی‌ها نیز نمایان می‌باشد. در شکل (15) نمودار مربوط به شاخص قابلیت اطمینان تأمین تقاضا برای رویکرد مبتنی بر فشار در حالت قبل و بعد از جانمایی و برای رویکرد مبتنی بر تقاضا نشان داده شده است. مقادیر شاخص قابلیت اطمینان تأمین تقاضا برای رویکرد مبتنی بر تقاضا همواره یک است ولی در رویکرد مبتنی بر فشار کمتر از یک است و بر اساس نتایج شکل (15)، مقدار قابلیت اطمینان تأمین تقاضا بعد از جانمایی شیرآلات 2/3 درصد نسبت به قبل از جانمایی شیرآلات جدید افزایش یافته است.



شکل 15- مقایسه تغییرات قابلیت اطمینان DSR به دو روش مبتنی بر فشار و تقاضا، قبل و بعد از جانمایی شیرآلات

جداول (2) و (3) مقادیر متوسط قابلیت اطمینان‌های NPRI و DSR و نشت را در طول 24 ساعت شبانه‌روز در دو حالت قبل و بعد از جانمایی شیرآلات و به دو رویکرد تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار و تقاضا نشان می‌دهند. در این جداول، متوسط نشت بر حسب لیتر بر ثانیه آورده شده است. در مجموع تفاوت در نتایج رویکردهای مبتنی بر تقاضا و فشار ناشی از تفاوت در مبانی و در

- Wastewater, Ab va Fazilab (In Persian), 2018, 29 (3), 1-16.
<https://doi.org/10.22093/wwj.2017.51035.2>
 154
- Dorigo M, Maniezzo V, and Colorni A, "The ant system; Optimisation by a colony of cooperating agents", IEEE Transactions on Systems, Part B, 1996, 26 (1), 29-41.
<https://doi.org/10.1109/3477.484436>
- Gencoglu G, Merzib N, "Minimizing excess pressure by optimal valve location and opening determination in water distribution networks", Procedia Engineering, 2017, 186, 319-326.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.254>
- Geranmehr MA, Chamani MR, ASGHARI K, "Pressure dependent analysis in water distribution networks using particle swarm optimization", Journal of Water and Soil Science, 2018, 22 (3), 43-53.
<https://doi.org/10.1001.1.24763594.1397.2.2.3.13.6>
- Gungor M, Yazar U, Canturk U, Firat M, "Increasing performance of water distribution network by using pressure management and database integration", Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 2019, 10 (2), 1-8.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.19491204.0000367](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.19491204.0000367)
- Hamdy Khadr WM, Magdy Hamed M, Nashwan MS, "Pressure driven analysis of water distribution systems for preventing siphonic flow", Journal of Hydro Environment Research, 2022, 44, 102-109.
<https://doi.org/10.1016/j.jher.2022.09.001>
- Huzsvar T, Weber R, Szabo M, "Optimal Placement and setting of valves for leakage reduction in real life water distribution networks", Water Resources Management, 2023, 37, 4949-4967.
<https://doi.org/10.1007/s11269-023-03590-1>
- Jafari-Asl J, Malekmahmoudi M, Sami Kashkooli B, Montaseri H, Bahrami M, "Optimal management of pressure for leakage minimization in water distribution systems by pressure reduction valves (PRVs)", Irrigation & Water Engineering, 2021, 11 (42), 24-35.
<https://doi.org/10.22125/iwe.2020.120716>
- Lambert A, Fantozzi M, "Recent developments in pressure management", International Water Association Conference, Water Loss, 2010, Sao Paulo, Brazil.
- Magdy HM, Ashraf EM, Youssef MS, Hamdy KWM, "Graphical user interface for water distribution network pressure-driven analysis using artificial elements", Sustainable Water Resources Management, 2022, 89 (8), 45-55.
<https://doi.org/10.1007/s40899-022-00675-4>
- Mathye RP, Scholz M, Nyende-Byakika S, "Optimal pressure management in water distribution systems: efficiency indexes for volumetric cost performance, consumption and linear leakage
- نسبت به رویکرد مبتنی بر تقاضا در حدود 10/7 درصد و بعد از جانمایی شیرآلات در حدود 8/0 درصد کمتر است. این مسئله در ارتباط با خود رویکردها به شکلی است که در رویکرد مبتنی بر تقاضا، بعد از جانمایی شیرها نسبت به قبل از آن، در حدود 0/16 درصد افزایش و در رویکرد مبتنی بر فشار، در حدود 3/2 درصد افزایش یافته است که با توجه به افزایش سایر شاخص‌های ارزیابی هیدرولیکی شبکه و به دلیل عدم هم‌جهت بودن شاخص‌های ارزیابی، قابل توجیه است. در نهایت شاخص قابلیت اطمینان تأمین تقاضا برای رویکرد مبتنی بر تقاضا، همواره ثابت و برابر یک است. اما در رویکرد مبتنی بر فشار، بعد از جانمایی شیرآلات نسبت به قبل از آن در حدود 2/3 درصد افزایش یافته است. بر اساس نتایج این پژوهش، به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بهینه‌سازی و جانمایی شیرآلات فشارشکن جدید در شبکه کلید، موجب بهبود کارایی هیدرولیکی شبکه شده است. همچنین با توجه به عملکرد مناسب رویکرد مبتنی بر فشار در شرایط بحرانی، نتایج حاصل از آن در حالت جانمایی و تنظیم بهینه شیرآلات، قابل اعتمادتر است.
- ### 5- مراجع
- Araujo LS, Ramos H, Coelho ST, "Pressure control for leakage minimization in water distribution systems management", Water Resources Management, 2006, 20 (1), 133-149.
<https://doi.org/10.1007/s11269-006-4635-3>
- Avila FG, Anazco JO, Jara CG, Quezada LF, Delpino LF, Fernandez LR, "Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves Case study in an Andean city", Alexandria Engineering Journal, 2019, 58 (4), 1313-1326.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.11.003>
- Creaco E, DiNardo A, Iervolino M, Santonastaso G, "Head-Drop Method for the Modeling of Pressure Reducing Valves and Variable Speed Pumps in Water Distribution Networks", Journal Hydraul Engineering, 2023, 149 (5), 336-344.
<https://doi.org/10.1061/JHEND8.HYENG-13279>
- Dini M, Asadi A, "Pressure management of large-scale water distribution network using optimal location and valve setting", Water resources Management, 2019, 33 (14), 4701-4714.
<https://doi.org/10.1007/s11269-019-02381-x>
- Dini M, Asadi A, "Presenting a simple approach to pressure and leakage management in real water distribution networks by optimal operational scheduling of valves", Iran-Water Resources Research, 2021, 17 (3), 118-132.
<https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.3.6.1>
- Dini M, Tabesh M, "A new reliability index for evaluating the performance of water distribution network", Journal of Water and

- <https://doi.org/10.1007/s40996-025-01832-3>
- Tabesh M, Tanyimboh TT, Burrows R, "Pressure dependent stochastic reliability analysis of water distribution networks", *Water Supply*, 2004, 4 (3), 81-90.
<https://doi.org/10.2166/ws.2004.0045>
- Tanyimboh TT, Templeman AB, "Seamless pressure-deficient water distribution system model", In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 2010, 163 (8), 389-396.
<https://doi.org/10.1680/wama.900013>
- Tay S, Dong D, Ha N, Viet N, "Efficient optimization of pressure regulation in water distribution systems using a new-relaxed pressure reducing valve model", *Vietnam Journal of Science and Technology*, 2018, 56 (4), 503-514.
<https://doi.org/10.15625/2525-2518/56/4/10671>
- Wagner JM, Shamir U, Marks DH, "Water distribution reliability: Simulation method", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 1988, 114 (3), 276-294.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)07339496](https://doi.org/10.1061/(ASCE)07339496)
- Yuan T, Jingliang Gao, Jianxun X, Qidong Q, Rodger MM, Tiantian Zh, "Optimization of pressure management in water distribution systems based on pressure-reducing valve control: evaluation and case study", *Sustainability*, 2023, 15 (14), 11086.
<https://doi.org/10.3390/su151411086>
- measurements", *Water (MDPI)*, 2022, 14 (5), 805-826.
<https://doi.org/10.3390/w14050805>
- Moslehi I, Jalili Ghazizadeh MR, Yousefie Khoshghalb E, "Economic analysis of pressure management in water distribution networks", *Journal of Water and Wastewater*, 2020, 31 (2), 100-117.
<https://doi.org/10.22093/wwj.2019.163790>.2794
- Price E, Abhijith GR, Ostfeld A, "Pressure management in water distribution systems through PRVs optimal placement and settings", *Water Research*, 2022, 226, 119236.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119236>
- Puust R, Kapelan Z, Savic D, Koppel T, "A review of methods for leakage management in pipe networks", *Urban Water Journal*, 2010, 7, 25-45.
<https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
- Roshani E, Filion Y, "WDS leakage management through pressure control and pipes rehabilitation using an optimization approach", *Procedia Engineering*, 2014, 89, 21-28.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.155>
- Rossman LA, Woo H, Tryby M, Shang F, Janke R, Haxton T, "Water infrastructure division center for environmental solutions and emergency response u.s. environmental protection agency", *EPANET 2.2 User Manual*, 2022, Cincinnati, Ohio.
- Shirzad Akbar, "A model for pressure driven analysis-design of water distribution networks", *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 2020, 8 (2), 79-87.
<https://doi.org/10.1080/23249676.2020.1761895>
- Shirzad A, Tabesh M, Farmani R, Mohammadi M, "Pressure-discharge relations with application to head-driven simulation of water distribution networks", *Water Resources Planning and Management*, 2013, 139 (6), 660-670.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-452.0000305](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-452.0000305)
- Tabesh M, Abbasi Moghaddam V, Shirzad A, "Optimal design of pressure sampling in water distribution networks for calibration of hydraulic models", *Journal of Hydraulics*, 2021, 16 (1), 53-66.
<https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.257302>.1488
- Tabesh M, Molaei Shakib A, Sagheblian SA, Dini M, "Effects of data uncertainty on multi-species qualitative modeling and pressure dependent analysis of water distribution networks using the elementary effect method", *Iran Journal Sci Technol Trans Civil Engineering*, 2025, 40 (4), 621-635.