



## The effect of the intelligent emplacement of pressure reducing valves in reducing leakage in real water distribution networks

M. Dini\*, S. A. Saghebian, E. Asadi, A. MohammadiKaleibar

Civil Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

**ABSTRACT:** Due to the special topography of Kaleybar city, the water distribution network of this city has 7 pressure-reducing valves that have been experimentally installed in different locations to manage the extra pressure in the network. In this research, the effect of the intelligent emplacement of pressure-reducing valves is investigated by using the valve selection index to reduce leakage and increase network reliability. The aim is to minimize hourly leakage by determining the optimal location and setting of valves. In addition to the minimization of leakage as the objective function, the minimum pressure restriction in three cases of no pressure restriction (0 meters), water supply at the entrance of the building (10 meters) and water supply for a four-story building (26 m) is considered as a penalty function. For this purpose, a combination of the Ant Colony Optimization Algorithm with the EPANET simulator in MATLAB has been used. The results show that with the intelligent emplacement of pressure-reducing valves in Kaleybar City, the leakage of the network has been decreased by 15.9 percent and the reliability of the network has been increased by 15.5 percent, which shows the effect of the proposed method in improving the hydraulic performance of water distribution network.

### Review History:

Received: Sep. 12, 2021  
Revised: Aug. 24, 2022  
Accepted: Sep. 03, 2022  
Available Online: Nov. 02, 2022

### Keywords:

Ant Colony Optimization  
Leakage Minimization  
Pressure Reducing Valve  
Kaleybar Water Distribution Network  
Intelligent Emplacement of Valves

### 1- Introduction

Water distribution networks are one of the urban infrastructures that are responsible for transferring drinking water from supply sources to consumption points. Due to the severe shortage of drinking water resources, it is essential to identify the factors affecting water loss from networks in order to preserve and manage water resources. The amount of leakage is directly related to the water pressure. So, by reducing and managing the pressure in the water distribution networks, its amount decreases drastically [1]. In order to manage the pressure in water distribution networks, several researches have been conducted in which various operating methods have been used to control network equipment and facilities, which has led to the improvement of network performance [2-4]. Dini and Asadi investigated the increase of the hydraulic performance of the real water distribution network by optimizing the location and hourly schedule of valves. The results showed that the reliability is increased and the leakage is reduced [5]. Saghebian et al investigated the hydraulic performance of water distribution networks by optimal setting of pressure-reducing valves with the two objective functions of maximizing reliability and minimizing leakage. Comparing the results showed that in the reliability maximization function, the reliability is higher but the leakage is lower than the leakage minimization function [6].

### 2- Methodology

#### 2-1- Objective function

The objective function used in this research is the minimization of hourly leakage as shown in equation (1), where  $MinLeakage$  is the minimum hourly leakage of the network and  $Q_j$  is the hourly leakage in the  $j_{th}$  node. Equation (2) is used to calculate each nodal hourly leakage of the network.

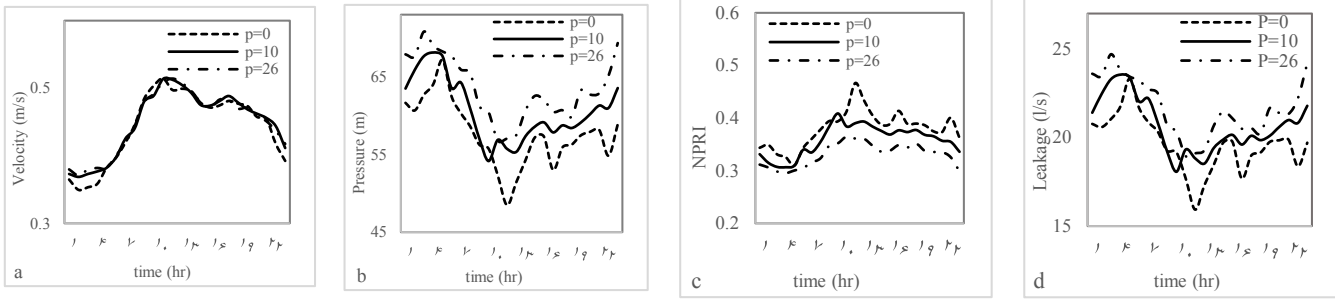
$$MinLeakage = \sum_{j=1}^{j=nN} Q_j \quad (1)$$

$$Q = KP^\beta \quad (2)$$

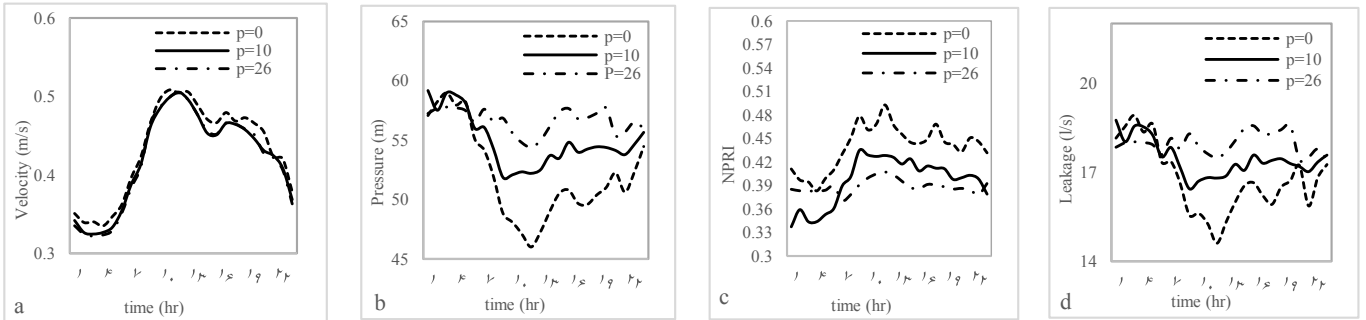
where,  $Q$  is the leakage flow at each pipe,  $P$  is the average pressure value in each node,  $K$  is the leakage coefficient that can be calculated separately for each node, and  $\beta$  is equal to 1.18 according to the research conducted [7].

\*Corresponding author's email: mehdini@gmail.com





**Fig. 1. Leak, reliability, pressure and flow rate changes of Kaleibar water distribution network in the current state**



**Fig. 2. Leak, reliability, pressure and flow rate changes of Kaleibar water distribution network after placing the new valves**

**2- 2- Network reliability**

To evaluate the performance of the network, the leakage index and the reliability of the network have been used. The reliability index of the network is in the form of equations (3) and (4) [8]

$$NPRI(i, j) = \begin{cases} 0 & P < 10 \\ \frac{1}{32}(P - 10) & 10 < P < 26 \\ \frac{1}{10}(P - 26) + 0.5 & 26 < P < 31 \\ 1 & P = 31 \\ -\frac{1}{38}(P - 31) + 1 & 31 < P < 50 \\ -\frac{1}{40}(P - 50) + 0.5 & 50 < P < 60 \\ 0.25 & 60 < P \end{cases} \quad (3)$$

where  $NPRI(j, t)$  is the Nodal reliability index of in the  $j_{th}$  node at time  $t$  and  $P$  is the nodal pressure in the  $j_{th}$  node at time  $t$ . The network reliability index is obtained by equation4).

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

where  $NPRI$  is network nodal pressure reliability index,  $NN$  is the number of nodes, and  $Q_{j,t}^{req}$  is the required demand of the  $j_{th}$  node at time  $t$ .

**3- Results and Discussion**

In this article, in order to evaluate the proposed method, the water distribution network of Kaleibar has been studied. Due to the special feature of the topography of the city, the Kaleibar water distribution network has 7 pressure-reducing valves that are experimentally installed in different positions of the network. To evaluate the proposed method, two scenarios are defined. The first scenario is in the current state and according to the position of the existing valves, and the second scenario is defined based on the position of the selected valves by the valve location index and is intelligently defined. In both scenarios, the hourly schedule of valve settings has been optimized using the Ant Colony Algorithm in the MATLAB environment.

**3- 1- The first scenario**

In this scenario, without changing the position of the existing pressure-reducing valves, the outlet pressure of the valves is set as a 24-hour schedule with the aim of minimizing the amount of leakage. The setting schedule for the valves in the Kaleibar water distribution network has been done in three scenarios, 0, 10, and 26 meters. The results show that the reliability of the network has a negative correlation with the variation of leakage and the average pressure. Also, the variation of average velocity in the pipes shows that there is a positive correlation between the average velocity and consumption.

### 3- 2- The second scenario

In this scenario, the position of the pressure-reducing valves has been re-determined by using the valve location index [9], the pipes with higher index values were selected, and the position of the new valves was determined from among them based on the grouping of the pipes. After determining the position of the valves, the outlet pressure of the valves was adjusted using the Algorithm of the Ant Colony. During the minimum consumption, in all three scenarios, the leakage is high and reliability is low. Also during the maximum consumption, the leakage is low and reliability is high. In this scenario, the pressure values in all three modes are relatively high at times of minimum consumption and relatively low at times of maximum consumption, and there is a positive correlation between pressure changes and network leakage and a negative correlation with network reliability. Also, the average hourly velocity in all three scenarios are similar with little changes.

In general, the comparison of two scenarios shows that in the second scenario, the leakage has improved by 15.9 percent on average, also, the reliability has increased by 15.5% on average compared to the first scenario. Overall, it shows that the intelligent placement of pressure-reducing valves has resulted in an effective improvement in all hydraulic indicators of the network, including leakage, reliability and average pressure of the network.

### 4- Conclusion

In this paper, the effect of intelligent placement of pressure-reducing valves in reducing leakage from real water distribution networks has been studied. For this purpose, by using the valve location index, 7 current valves have been repositioned. The objective function used to optimize the output head of the pressure-reducing valves is to minimize the hourly leakage, which is used to adjust the output pressure of the valves. In order to properly provide network services, in addition to the objective function of minimizing leakage, the minimum pressure restriction in three cases of 0, 10, and 26 meters are considered. Reliability index, leakage, nodal pressure and average velocity of the network have been used to evaluate the performance of the water distribution

network. The results show that with the intelligent placement of the pressure-reducing valves and the optimal adjustment of their schedule, all the indicators have increased compared to the base state, so that the leakage, reliability, average nodal pressure and average velocity of pipes have been improved by 15.9, 15.5, 9.9 and 0.6 percent, respectively, which indicates the proper performance of the proposed method in improving the hydraulic efficiency of the real water distribution network.

### References

- [1] M.J. Ghazizadeh, S. Shahrouzi, Effect of Household Water Tanks on Leakage Reduction for Distribution Networks under Operation, *Journal of Water and Wastewater*, 29(5) (2018).
- [2] S.S. Hashemi, M. Tabesh, B. Ataekia, Ant-colony optimization of pumping schedule to minimize the energy cost using variable-speed pumps in water distribution networks, *Urban Water Journal*, 11(5) (2014) 335-347.
- [3] M. De Marchis, G. Freni, Pump as turbine implementation in a dynamic numerical model: cost analysis for energy recovery in water distribution network, *Journal of Hydroinformatics*, 17(3) (2015) 347-360.
- [4] S.S. Hashemi, M. Tabesh, B. Ataekia, Scheduling and operating costs in water distribution networks, in: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, Thomas Telford Ltd, 2013, pp. 432-442.
- [5] D. Mehdi, A. Asghar, Pressure management of large-scale water distribution network using optimal location and valve setting, *Water Resources Management*, 33(14) (2019) 4701-4713.
- [6] S.A. Saghebian, M. Dini, E. Asadi, A. Asadi, Investigation of Hydraulic Efficiency of Water Distribution Networks with Optimal Adjustment of Pressure Reducing valves in Ant Community Algorithm, in: *Third Congress of Iranian Water and Wastewater Science and Engineering*, (2020).
- [7] M. Tabesh, M. Vaseti, Leakage reduction in water distribution networks by minimizing the excess pressure, (2006).
- [8] M. Dini, M. Tabesh, A New Reliability Index for Evaluating the Performance of Water Distribution Network, *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)*, 29(3) (2018) 1-16.
- [9] M.E. Ali, Knowledge-based optimization model for control valve locations in water distribution networks, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(1) (2015) 04014048.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Dini, S. A. Saghebian, E. Asadi, A. MohammadiKaleibar, *The effect of the intelligent em-  
placement of pressure reducing valves in reducing leakage in real water distribution net-  
works*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 54(12) (2023) 913-916.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20535.7455







## تأثیر جانمایی هوشمند شیرهای فشارشکن در کاهش نشت از شبکه‌های توزیع آب واقعی

مهدی دینی<sup>\*</sup>، سیده عطری ثاقبیان، ابراهیم اسدی، امین محمدی کلپیر

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱  
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲  
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲  
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱

### کلمات کلیدی:

الگوریتم جامعه مورچگان  
جانمایی هوشمند شیرها  
شبکه توزیع آب کلپیر  
شیر فشارشکن  
کمینه‌سازی نشت

**خلاصه:** شبکه توزیع آب شهر کلپیر به دلیل ویژگی خاص توپوگرافی شهر، دارای ۷ شیر فشارشکن است که به صورت تجربی در موقعیت‌های مختلف شبکه نصب شده است تا مازاد فشار موجود در شبکه مدیریت شود. در این تحقیق، تأثیر جانمایی هوشمند شیرهای فشارشکن با به کارگیری شاخص مکان‌یابی شیر، به منظور کاهش میزان نشت و افزایش قابلیت اطمینان شبکه بررسی می‌شود. هدف کمینه‌سازی نشت ساعتی با تعیین موقعیت جدید شیرها و بهینه‌سازی برنامه ساعتی عملکرد آن‌ها می‌باشد که در کنار کمینه‌سازی نشت به عنوان تابع هدف، قید حداقل فشار در سه حالت عدم اعمال قید فشار (قید حداقل فشار برابر صفر متر)، تأمین آب در ورودی ساختمان (حداقل قید فشار برابر ۱۰ متر) و تأمین آب برای یک ساختمان چهار طبقه (حداقل قید فشار برابر ۲۶ متر) به عنوان تابع پنالتی در کنار تابع هدف در نظر گرفته شده است. برای این منظور از ترکیب الگوریتم جامعه مورچگان با شبیه‌سازی ایبانت در محیط متلب استفاده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با جانمایی هوشمند شیرهای فشارشکن موجود در شبکه کلپیر و بهینه‌سازی برنامه ساعتی عملکرد آن‌ها، میزان نشت شبکه در حدود ۱۵/۹ درصد نسبت به حالت تنظیم تجربی شیرهای فشارشکن کاهش و قابلیت اطمینان شبکه در حدود ۱۵/۵ درصد افزایش می‌یابد که نشان دهنده تأثیر برنامه‌ریزی هوشمند شبکه‌های توزیع آب در بهبود کارایی هیدرولیکی آن‌ها می‌باشد.

### ۱- مقدمه

(نشت) و تلفات غیرفیزیکی می‌باشد. تلفات فیزیکی به آن قسمت از آب تولیدی گفته می‌شود که به صورت نشت ناشی از شکستگی لوله‌ها و خرابی اتصالات، شیرآلات و پمپ‌ها، سرریز و نشت از مخازن، از شبکه توزیع آب خارج گردیده و امکان مصرف آن به وسیله مصرف کننده سلب شده است [۲]. مقدار نشت، ارتباط مستقیمی با فشار آب دارد. به طوری که با کاهش و مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب، مقدار آن به شدت کاهش پیدا می‌کند [۳]. به منظور مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب پژوهش‌های متعددی انجام شده است که در آن‌ها از روش‌های مختلف بهره‌برداری جهت کنترل تجهیزات و تاسیسات شبکه بهره گرفته شده که منجر به بهبود عملکرد شبکه‌ها گردیده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به بهره‌برداری بهینه پمپ‌ها و بهره‌برداری ترکیبی از پمپ و توربین با ظرفیت تبدیل به هم‌دیگر [۴-۷]، بهره‌برداری برنامه‌ریزی شده از سیستم مخزن با تنظیم تغییرات تراز مخزن در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز [۸] و یا بهره‌برداری بهینه از انواع شیرها مانند شیرهای قطع و وصل جریان و شیرهای کنترل جریان و شیرهای فشارشکن به صورت مجزا یا در کنار سایر تاسیسات قابل

شبکه‌های توزیع آب یکی از زیرساخت‌های شهری است که وظیفه‌ی انتقال آب شرب از منابع تأمین به نقاط مصرف را به عهده دارند. به دلیل کمبود شدید منابع آب شرب، شناسایی عوامل موثر بر هدررفت آب از شبکه‌ها، در راستای حفظ و مدیریت منابع آب امری ضروری است. از جمله عوامل مهم که سبب تشدید نشت در شبکه توزیع آب شهری می‌شود، شامل خوردگی و پوسیدگی لوله‌ها، مشکلات طراحی، نگهداری نامناسب، بار ترافیکی روی معابر، سربارهای استاتیکی و دینامیکی، تغییرات شدید آب و هوایی، حفاری معابر، جنس نامرغوب لوله‌ها و اتصالات، اجزای غیراستاندارد و فشار بالای بهره‌برداری می‌باشد. در این میان با افزایش عمر شبکه، اثر بسیاری از این عوامل تشدید شده و در پی آن نشت نیز افزایش می‌یابد [۱]. تعاریف مختلفی برای تلفات آب و نشت از شبکه‌ها به کار برده می‌شود. آب به حساب نیامده به صورت مابه‌التفاوت حجم کل آب ورودی به شبکه و حجم آب اندازه‌گیری شده از طریق کنتور مشترکین تعریف می‌شود و در برگیرنده تلفات فیزیکی

<sup>\*</sup> نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mehdingi@gmail.com



برنامه‌ریزی شبکه مانند پمپ‌ها و توربین‌ها [۱۳-۱۱] اشاره کرد.

در بین انواع شیرهای قابل برنامه‌ریزی، شیرهای فشارشکن از پرکاربردترین شیرها می‌باشد که در تحقیقات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. تابش و واسطی کاهش میزان نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری از طریق حداقل نمودن فشار اضافی در شبکه نمونه جو و خویت را بررسی کردند. در این تحقیق از روش حداقل مربعات خطا در قالب تولباکس متلب برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ساعتی شیرهای فشارشکن با هدف حداقل نمودن فشار اضافی در گره‌ها استفاده شده است. برای تحلیل هیدرولیکی شبکه از روش مبتنی بر فشار استفاده شده و نتایج بهینه‌سازی به صورت تغییرات نشت در لوله‌های شبکه ارزیابی شده است. بر اساس نتایج حداقل کردن فشار اضافه ضمن کاهش فشار و نشت در شبکه، شرایط سرویس‌دهی مطلوب در شبکه را نیز فراهم می‌کند [۱]. اوپلا و همکاران مدیریت فشار به منظور کاهش نشت در شبکه‌های توزیع آب با به کارگیری شیرهای فشارشکن را بررسی کردند. در این تحقیق با شبیه‌سازی مدل شبکه توزیع آب شهر آزوگوئس در کشور اکوادور، زون‌های با فشار بالای شبکه شناسایی و با نصب شیرهای فشارشکن مقادیر فشار اضافی در آن‌ها مدیریت شده و در نتیجه نشت از شبکه کاهش یافته است [۹]. گونجر و همکاران افزایش عملکرد شبکه توزیع آب شهر دنیزی ترکیه را با استفاده از مدیریت فشار و به کارگیری سیستم‌های پایگاه داده مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق ابتدا بحث زون‌بندی شهر به زون‌های کوچک‌تر و نصب شیرهای فشارشکن در موقعیت‌های مناسب زون‌ها را مطرح کردند و این موضوع را با جمع‌آوری داده‌های شبکه با استفاده از یک سیستم اسکادا جهت پایش و کنترل عملکرد زون‌بندی و نصب شیر فشارشکن تلفیق کردند. در مرحله پایش، داده‌های فشار در برخی گره‌ها و دبی جریان در برخی لوله‌ها قرائت و به اتاق فرمان ارسال شد، تا همزمان برنامه‌ریزی شیرآلات انجام شود، نتایج نشان داد که روش پیاده شده در شهر دنیزی در کاهش فشار اضافی و نشت شبکه موثر بوده است [۱۵]. دینی و اسدی افزایش کارایی هیدرولیکی شبکه توزیع آب واقعی را با بهینه‌سازی موقعیت و برنامه ساعتی تنظیم شیرها بررسی کردند. در این تحقیق با استفاده از شاخص مکان‌یابی شیرها و بر اساس یک روش بهینه‌سازی با هدف بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه، موقعیت بهینه شیرها تعیین و بعد از آن برنامه ساعتی تنظیم شیرهای فوق تنظیم شده است. این روش بر روی یک شبکه نمونه و یک شبکه واقعی پیاده شده است و نتایج نشان داده است که قابلیت اطمینان شبکه افزایش و نشت شبکه کاهش یافته است [۱۰]. جعفری اصل و همکاران مدیریت

بهینه فشار با هدف کمینه کردن نشت در سیستم‌های توزیع آب شهری با استفاده از شیرهای فشارشکن را بررسی کردند. در این تحقیق از تابع هدف کمینه کردن نشت در کنار رعایت قیود فشار برای مدیریت نشت شبکه استفاده شده است و الگوریتم جامعه زنبور عسل برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی شیرهای فشارشکن استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با به کارگیری این روش و برنامه‌ریزی شیرهای فشارشکن، میزان نشت نسبت به قبل از برنامه‌ریزی کاهش محسوسی دارد [۱۴]. ثاقبیان و همکاران کارایی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب با تنظیم بهینه شیرهای فشارشکن با دو تابع هدف بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان و کمینه‌سازی نشت لحظه‌ای را بررسی کردند. آن‌ها در این تحقیق از الگوریتم جامعه مورچگان با بازه تغییرات متغیر هد خروجی شیرها استفاده کردند. همچنین برای اعمال محدودیت حداقل فشار در شبکه حالت‌های مختلف حداقل فشار از ۲۶ متر تا ۳۰ در نظر گرفتند و به صورت تابع پتالتی به تابع هدف بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان و کمینه‌سازی نشت اضافه کردند. مقایسه نتایج دو تابع هدف نشان می‌دهد که در حالت بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه، مقادیر قابلیت اطمینان بهتر از حالت کمینه‌سازی نشت است و در حالت کمینه‌سازی نشت مقادیر نشت کمتر از حالت بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان می‌باشد که با توابع هدف مدل بهینه‌سازی همخوانی دارد. همچنین با افزایش قید حداقل فشار از ۲۶ متر به ۳۰ متر، به طور متوسط قابلیت اطمینان و نشت شبکه هر دو افزایش یافته است [۱۷ و ۱۶].

به طور کلی تحقیقات خیلی زیادی در ارتباط با مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با برنامه‌ریزی شیرهای فشارشکن در شبکه‌های نمونه و واقعی انجام شده است که در اکثر آن‌ها، توابع هدف تحقیق به صورت کمینه‌سازی مازاد فشار و یا بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان بوده است و موضوع کمینه‌سازی مستقیم مقادیر نشت از شبکه‌های توزیع آب در تحقیقات محدودی مورد توجه قرار گرفته است [۱۳ و ۱۲]. همچنین تحقیقات محدودی وجود دارند که در آن‌ها موضوع عملکرد شبکه توزیع آب واقعی متناسب با مکان‌یابی شیرهای فشارشکن موجود در شبکه مورد مقایسه قرار گرفته باشد. در این تحقیق با تمرکز بر این دو موضوع، کمینه‌سازی مقادیر نشت ساعتی شبکه توزیع آب شهر کلبر با مکان‌یابی بهینه شیرهای فشارشکن و تنظیم بهینه هد تنظیمی آن‌ها بررسی شده است. برای مکان‌یابی بهینه شیرهای فشارشکن از شاخص مکان‌یابی استفاده شده است. مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه در نرم‌افزار اپانت و بهینه‌سازی هد تنظیمی شیرهای فشارشکن با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان در محیط نرم‌افزار متلب انجام شده است.



$$Q = KP^\beta \quad (3)$$

در این رابطه نیز  $P$  مقدار فشار متوسط در هر گره شبکه،  $K$  ضریب نشت که برای هر گره به صورت مجزا قابل محاسبه است و  $\beta$  طبق تحقیقات انجام شده برابر ۱/۱۸ به دست آمده است [۱]. برای ارزیابی عملکرد شبکه از شاخص نشت و قابلیت اطمینان شبکه استفاده شده است که شاخص نشت همان تابع هدف نشت از شبکه و به صورت رابطه (۱) است و شاخص قابلیت اطمینان شبکه به صورت رابطه (۴) و (۵) است [۱۸].

$$NPRI(i, j) = \begin{cases} 0 & P < 10 \\ \frac{1}{32}(P-10) & 10 < P < 26 \\ \frac{1}{10}(P-26)+0.5 & 26 < P < 31 \\ 1 & P = 31 \\ -\frac{1}{38}(P-31)+1 & 31 < P < 50 \\ -\frac{1}{40}(P-50)+0.5 & 50 < P < 60 \\ 0.25 & 60 < P \end{cases} \quad (4)$$

که در آن  $NPRI(j, t)$ : مقدار شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی در گره  $j$ ام در زمان  $t$  و  $P$  فشار گرهی در گره  $j$ ام در زمان  $t$  می‌باشد. شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$NPRI = \frac{\sum_{j=1}^{NN} Q_{j,t}^{req} (NPRI(j, t))}{\sum_{j=1}^{NN} Q_{j,t}^{req}} \quad (5)$$

که  $NPRI$ : شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه،  $NN$ : تعداد گره‌های شبکه،  $Q^{req}$  تقاضای مورد نیاز گره  $j$ ام در زمان  $t$  می‌باشد.

### ۲-۳- شاخص مکان‌یابی شیرآلات

یکی از مسائل مهمی که در نصب هوشمند انواع شیرها در شبکه پیش می‌آید این است که بهترین مکان برای جاگذاری شیرها بر روی کدام لوله در شبکه قرار دارد. تحقیقات زیادی در این ارتباط، با و بدون کاربرد روش‌های بهینه‌سازی برای تعیین موقعیت شیرها انجام شده است [۱۹، ۱۲ و ۱۰]. در

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مدل‌سازی هیدرولیکی

تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب در قالب تحلیل معادلات حاکم بر این سیستم‌ها شامل معادلات پیوستگی جریان در گره‌ها، معادلات جریان در لوله‌ها و افت انرژی در حلقه‌ها و به دو روش، تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا<sup>۱</sup> DDSM یا تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار<sup>۲</sup> HDSM انجام می‌شود. در تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا، فرض بر این است که مقادیر تقاضا در گره‌ها ثابت است و در فرآیند تحلیل مدل شبکه تامین می‌شود. در مقابل در تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار، تامین تقاضای گرهی مشروط بر تامین فشار در گره‌ها می‌باشد و برای حالت‌های بحرانی شبکه که امکان تخطی از مقادیر قید حداقل فشار شبکه وجود دارد، عملکرد بسیار بهتری دارد. در این تحقیق، روش مبتنی بر تقاضا برای تامین تقاضا در گره‌ها و روش مبتنی بر فشار برای مدل‌سازی مقادیر نشت در گره‌ها به کار گرفته شده است.

### ۲-۲- تابع هدف کمینه‌سازی نشت ساعتی

تابع هدف استفاده شده در این تحقیق به صورت کمینه‌سازی نشت ساعتی می‌باشد. معادله این تابع هدف به صورت رابطه (۱) است که در آن  $MinLeakage$  حداقل مقادیر نشت ساعتی در شبکه و  $Q_j$  دبی نشت ساعتی در گره  $j$ ام شبکه است. برای محاسبه نشت در هر یک از گره‌های شبکه از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$MinLeakage = \sum_{j=1}^{j=NN} Q_j \quad (1)$$

$$Q_{L,ij} = C_1 L_{ij} [0.5(H_i - GL_i + H_j - GL_j)]^\beta \quad (2)$$

در رابطه‌ی شاخص نشت،  $Q_{L,ij}$  دبی نشت در لوله  $i, j$ ،  $L_{ij}$  طول لوله،  $C_1$  ضریب نشت، که برای هر شبکه مقدار ثابتی است و بستگی به خصوصیات شبکه دارد،  $H_i$  هد در گره  $i$  و  $GL_i$  تراز ارتفاعی زمین در گره  $i$  است. شکل ساده شده رابطه (۲) به صورت رابطه (۳) می‌باشد.

1 Demand Driven Simulation Method

2 Head Driven Simulation Method

جدول ۱. ضرایب الگوریتم جامعه مورچگان

Table 1. Ant Colony Algorithm Coefficient

پارامتر	$U_0$	$\alpha$	$\beta$	$T_0$	$\rho$	$\Delta T_{i,j}$	$N_{cyc}$	$N_{ant}$
مقدار	۱	۱	۱	۴۰	۰.۹۸	۱	۳	۱۰۰

$$P_{i,j}(k,t) = \frac{[T_{i,j}(t)]^\alpha [U_{i,j}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^j [T_{i,j}(t)]^\alpha [U_{i,j}(t)]^\beta} \quad (7)$$

که  $P_{i,j}(k,t)$ : احتمال انتخاب گزینه  $j$  وقتی که مورچه  $k$  در دوره  $t$  و نقطه تصمیم  $i$  قرار دارد،  $T_{i,j}(t)$ : غلظت فرمون مسیر  $i,j$  در دوره  $t$ ،  $U_{i,j}(t)$ : هدایت کننده کاوشی مسیر  $i,j$  و مقادیر ضرایب وزن فرمون و هدایت کننده کاوشی می‌باشند.  $j$  تعداد مسیرهای انتخابی توسط مورچه  $k$  هنگامی که در نقطه تصمیم‌گیری  $i$  قرار دارد (تعداد قطرهای انتخابی برای هر لوله). رابطه بهنگام‌سازی فرمون به صورت رابطه (۱۰) می‌باشد:

$$T_{i,j}(t+1) = \rho T_{i,j}(t) + \Delta T_{i,j}(t) \quad (8)$$

که ضریب تبخیر فرمون،  $T_{i,j}(t)$  غلظت فرمون مسیر  $i,j$  در دوره  $t$ ،  $T_{i,j}(t+1)$  غلظت فرمون مسیر  $i,j$  در دوره  $(t+1)$  و اضافه فرمون مسیر  $i,j$  در دوره می‌باشند. پارامترهای قابل تنظیم الگوریتم جامعه مورچگان در این تحقیق به صورت جدول شماره ۱ تنظیم شده است [۲۱]، که در آن  $N_{ant}$  تعداد مورچه‌ها و  $N_{cyc}$  تعداد تکرار درونی الگوریتم در هر تکرار آن است.

۲-۵- روندیابی تحقیق

در این تحقیق ابتدا شبکه کلیدر در نرم‌افزار ایپانت و بر اساس موقعیت موجود شیرهای فشارشکن مدل‌سازی شده است. سپس موقعیت شیرهای فشارشکن با کمک شاخص مکان‌یابی شیرها مجدداً تعیین شده است. در ادامه برنامه زمان‌بندی تنظیم شیرهای فشارشکن در دو وضعیت موجود و بعد از جانمایی مجدد با هدف کمینه‌سازی مقادیر نشت ساعتی بهینه شده است. در کنار تابع هدف کمینه‌سازی نشت، محدودیت حداقل فشار گرهی به

این تحقیق از شاخص مکان‌یابی علی<sup>۱</sup> برای یافتن بهترین مکان برای شیرها استفاده شده است که به صورت رابطه‌ی (۸) است و در آن دسته از خطوط لوله‌هایی که مقدار شاخص SI آن بالاتر است به عنوان موقعیت نصب شیر انتخاب می‌شوند [۱۹].

$$SI = \frac{Q.L}{C_{HW}.D} \quad (6)$$

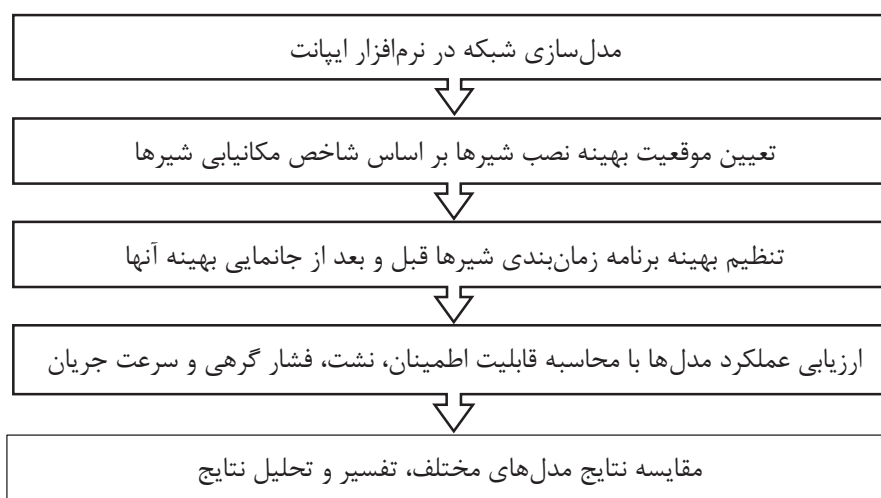
در این رابطه  $SI$ : شاخص اهمیت هیدرولیکی لوله‌های شبکه برای نصب شیر،  $L$ : طول خطوط لوله برحسب متر،  $Q$ : میزان دبی عبوری از لوله‌ها برحسب متر مکعب بر ثانیه،  $C_{HW}$ : ضریب هیزن ویلیامز و  $D$ : نیز قطر لوله برحسب متر است.

۲-۴- الگوریتم جامعه مورچگان

الگوریتم کلونی مورچگان یا (ACO<sup>2</sup>) بر پایه رفتار طبیعی مورچگان بنا نهاده شده است، که برای اولین بار توسط دوریگو در سال ۱۹۹۲ میلادی مطرح شده است. این الگوریتم بر مبنای رفتار طبیعی مورچه‌ها در یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذایی، طرح‌ریزی شده است. به طور طبیعی، مورچه‌ها در مسیر حرکت خود از منبع غذایی تا لانه، ماده‌ای به نام فرمون ترشح می‌کنند. هر مورچه برای رسیدن به غذا مسیری را به صورت تصادفی انتخاب می‌کند و تنها راهنمای وی برای این انتخاب فرمون باقی‌مانده از سایر مورچه‌ها است. با توجه به زمان کوتاه‌تر برای طی یک مسیر کوتاه‌تر، مقدار فرمون در مسیر کوتاه‌تر تقویت شده و با توجه به تبخیر تدریجی فرمون، پس از اندک زمانی کوتاه‌ترین مسیر توسط مورچه‌ها شناسایی می‌شود [۲۰]. مهم‌ترین رابطه در این روش که احتمال انتخاب را به فرمون و راهنمای کاوشی ارتباط می‌دهد، به صورت زیر است:

1 Mohammed E. Ali  
2 Ant Colony Optimization





شکل ۱. روندنمای تحقیق

Fig. 1. Flowchart of Methodology

به وسیله‌ی شاخص مکان‌یابی شیر و به صورت هوشمند تعریف شده است، در هر دو سناریو برنامه ساعتی تنظیمات شیرها با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان در محیط متلب بهینه‌سازی شده است.

#### ۴-۱- سناریو اول وضعیت موجود

در این سناریو، عملکرد شبکه‌ی توزیع آب کلیبر در وضعیت موجود مورد بررسی قرار گرفت. طبق شکل ۲ شبکه دارای ۷ شیر فشارشکن بوده که به صورت تجربی بر روی لوله‌های ۲، ۵، ۸، ۱۵، ۱۱، ۲۰ و ۱۲۳ قرار گرفته است. در این سناریو بدون تغییر موقعیت شیرهای فشارشکن موجود، هدف خروجی شیرها به صورت یک برنامه‌ی زمان‌بندی ۲۴ ساعته با هدف کمینه‌سازی میزان نشت تنظیم شده است. در شکل ۲ طرح شماتیک شبکه توزیع آب کلیبر و موقعیت شیرهای فشارشکن در وضعیت موجود نشان داده شده است.

برنامه‌ی زمان‌بندی تنظیم شیرآلات برای شیرهای موجود در شبکه توزیع آب کلیبر در سه حالت انجام شده است. حالت اول حالتی است که محدودیت فشاری برای شبکه در نظر گرفته نشده، یعنی مقدار فشار مینم در شبکه صفر متر است. حالت دوم حالتی است که میزان حداقل فشار برای شبکه عدد ۱۰ متر فرض شده است. حالت سوم هم حالتی است که مینیمم فشار لازم برای تامین آب در ساختمان‌های با چهار طبقه و برابر ۲۶ متر در نظر گرفته شده است. در ادامه با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان و با لینک با ایپانت، یک برنامه بهینه ساعتی برای هر شیر در طول شبانه‌روز در

صورت پناالتی به تابع هدف افزوده شده است. بهینه‌سازی در محیط متلب و با به کارگیری الگوریتم جامعه مورچگان انجام شده است. در نهایت عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ها بر اساس شاخص‌های نشت و قابلیت اطمینان و مقادیر فشار گرهی و سرعت جریان لوله‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. روندنمای کلی تحقیق در شکل ۱ آورده شده است.

#### ۳- مطالعه موردی: شبکه توزیع آب شهر کلیبر

در این تحقیق سیستم آبرسانی شهر کلیبر مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل ساده شده شبکه توزیع آب کلیبر دارای یک مخزن، ۱۷۴ لوله و ۱۶۶ گره است [۲۳ و ۲۲]. در جدول ۲ ضرایب الگوی مصرف ساعتی شبکه توزیع آب شهر کلیبر در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز آورده شده است که در آن کمترین مصرف در ساعت ۳ شب و بیشترین مصرف در ساعت ۱۲ ظهر و متوسط مصرف به صورت تقریبی در ساعت ۸ صبح اتفاق افتاده است.

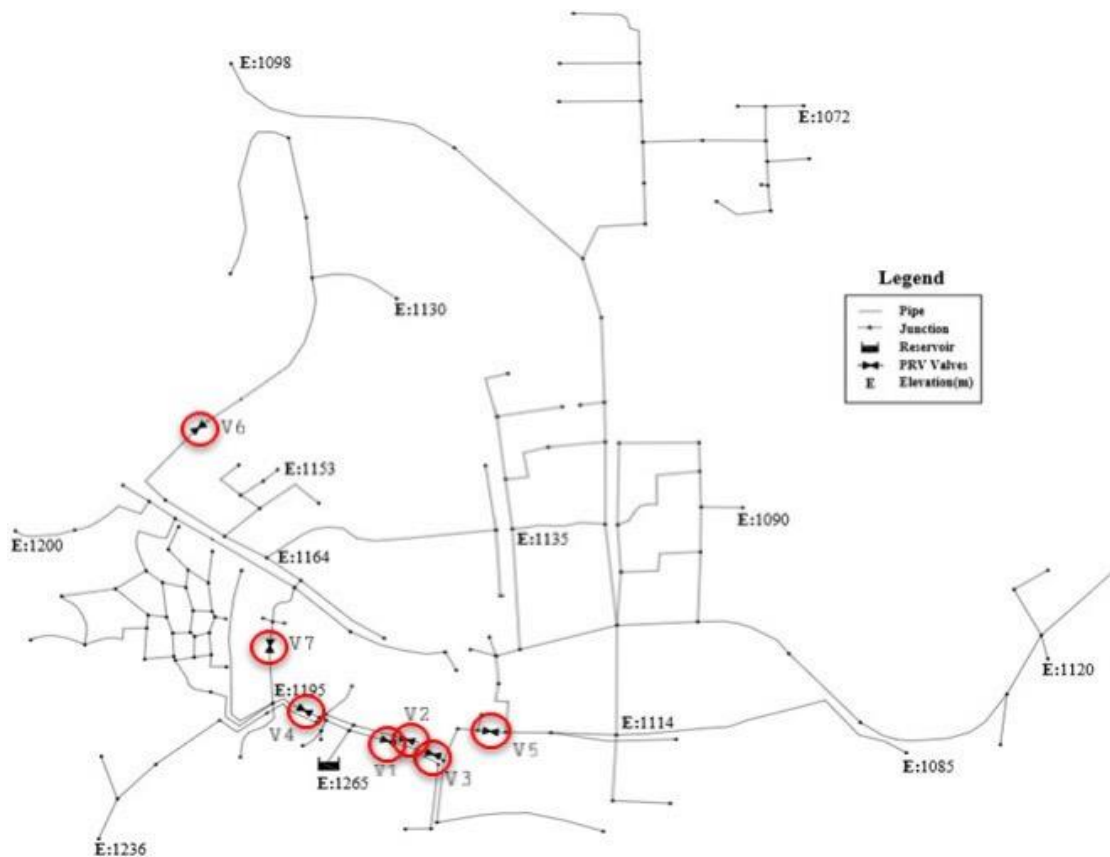
#### ۴- نتایج و بحث

در این مقاله به منظور بررسی روش پیشنهادی، شبکه‌ی توزیع آب کلیبر مورد مطالعه قرار گرفته است. شبکه توزیع آب کلیبر به دلیل ویژگی خاص توپوگرافی شهر، دارای ۷ شیر فشارشکن است که به صورت تجربی در موقعیت‌های مختلف شبکه نصب شده است. برای ارزیابی روش پیشنهادی، دو سناریو تعریف شده است. سناریوی اول در وضعیت موجود و مطابق موقعیت شیرهای موجود و سناریوی دوم بر اساس موقعیت شیرهای انتخابی

جدول ۲. ضرایب الگوی مصرف شبکه کلیبر در طول شبانه‌روز

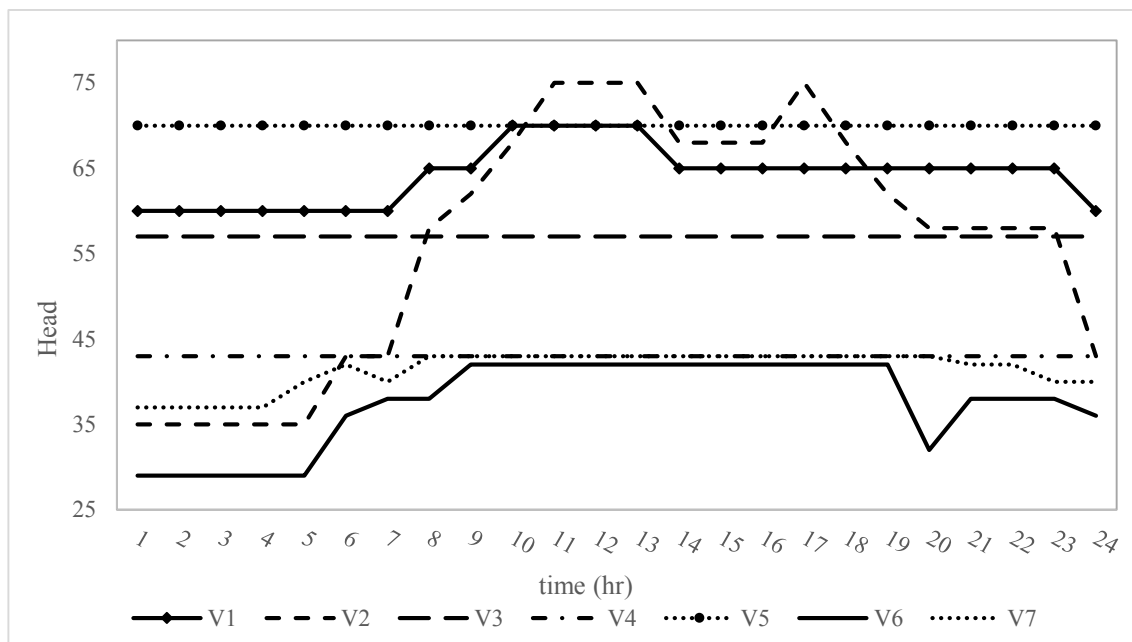
Table 2. Demand Patten Coefficients of the Kaleiber network during all day long

ساعت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
ضریب مصرف	۰/۶۳۸	۰/۵۸۶	۰/۵۷۴	۰/۵۸۲	۰/۶۰۹	۰/۷۱۸	۰/۸۳۱	۰/۹۶۳	۱/۱۸۷	۱/۲۹۰	۱/۳۵۷	۱/۳۸۷
ساعت	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
ضریب مصرف	۱/۳۴۳	۱/۲۴۴	۱/۱۴۲	۱/۱۱۸	۱/۱۹۲	۱/۱۸۳	۱/۱۵۲	۱/۱۱۵	۱/۰۴۹	۱/۰۲۲	۰/۹۴۲	۰/۷۷۴



شکل ۲. طرح شماتیک شبکه کلیبر و موقعیت شیرهای فشارشکن در وضعیت موجود

Fig. 2. The Skeleton of Kaleiber network and the position of the pressure-reducing valves in the current state



شکل ۳. هد تنظیمی شیرها برای قید حداقل فشار ۲۶ متر در وضعیت موجود

Fig. 3. Adjustment pressure of the valves to the minimum pressure of 26 meters in the current state

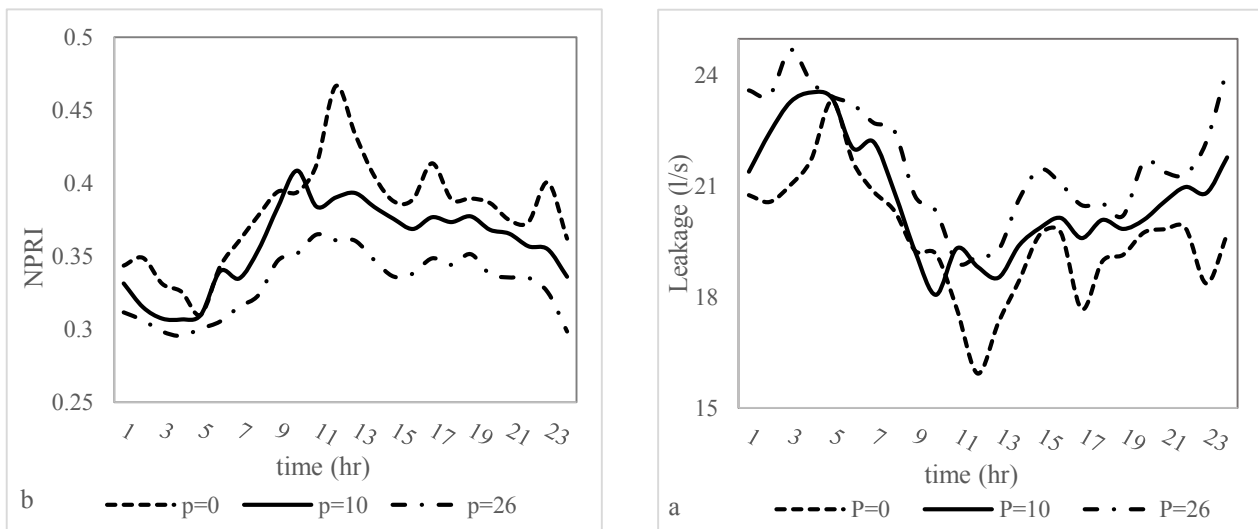
جدول ۳. عملکرد شبکه توزیع آب کلبر در وضعیت موجود برای حالت‌های حداقل، متوسط و حداکثر مصرف

Table 3. The performance of the Kaleibar water distribution network in the current state for minimum, average and maximum consumption

سرعت متوسط (متر بر ثانیه)	فشار متوسط (متر)	قابلیت اطمینان شبکه (درصد)	نشت شبکه (لیتر بر ثانیه)	قید فشار (متر)	ضریب مصرف	زمان (ساعت)
۰/۳۵	۶۲/۶۹	۳۳/۱	۲۱/۰۴	۰		
۰/۳۷	۶۷/۶۶	۳۰/۷	۲۳/۲۹	۱۰	۰/۵۷۳۹	۳
۰/۳۸	۷۰/۸۲	۲۹/۹	۲۴/۷۰	۲۶		
۰/۴۵	۵۸/۶۴	۳۷/۸	۲۰/۳۴	۰		
۰/۴۴	۶۰/۹۴	۳۵/۵	۲۰/۸۵	۱۰	۰/۹۶۳۲	۸
۰/۴۴	۶۵/۵۳	۳۲/۴	۲۲/۵۰	۲۶		
۰/۵	۴۸/۴۷	۴۶/۷	۱۵/۹۳	۰		
۰/۵۱	۵۵/۷۳	۳۹/۰	۱۸/۸۳	۱۰	۱/۳۸۷۴	۱۲
۰/۵۱	۵۷/۰۶	۳۶/۱	۱۹/۱۱	۲۶		

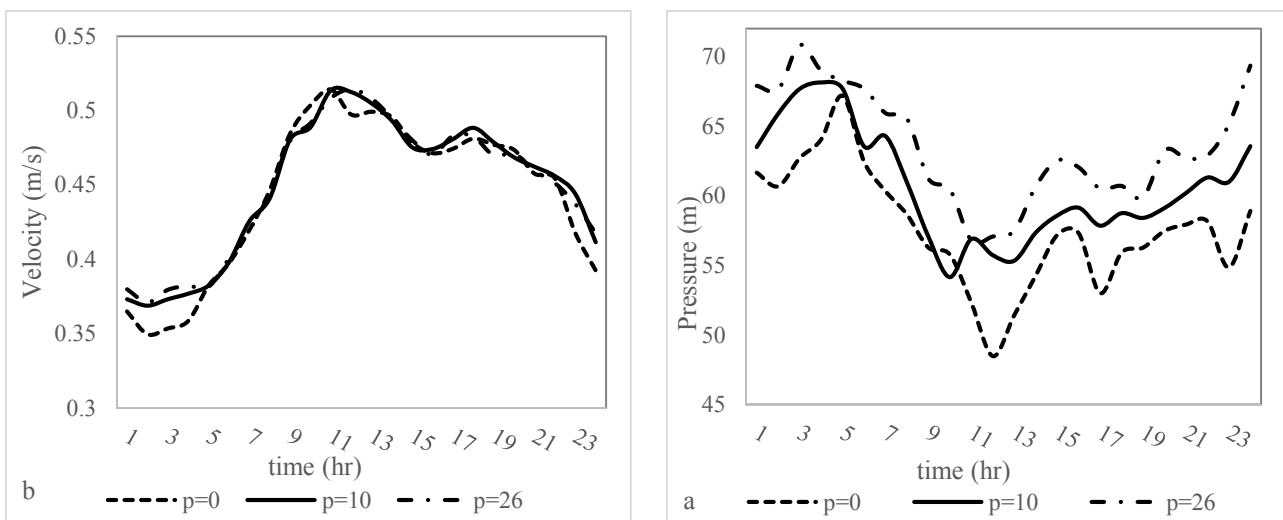
صبح، فشار تنظیمی نسبتاً پایین دارد. همچنین شیرهای چهار، شش و هفت واقع در سمت راست مخزن فشار تنظیمی نسبتاً پایین دارند. ارزیابی عملکرد شبکه با استفاده از شاخص‌های نشت و قابلیت اطمینان و مقادیر فشار گرهی و سرعت جریان لوله‌ای انجام شده است که نتایج در جداول ۳ و برای ساعات حداقل، متوسط و حداکثر مصرف آورده شده است. همچنین برای تحلیل بهتر

محیط متلب به دست آمده است که در شکل ۳ مقادیر هد تنظیمی برای حالت قید فشار ۲۶ متر نشان داده شده است. همانطوری که از شکل ۲ و موقعیت شیرهای شبکه مشخص است، به طور کلی شیرهای موجود در بخش سمت راست مخزن شامل شیرهای یک، دو، سه و پنج دارای فشار تنظیمی نسبتاً بالا هستند که در بین آن‌ها تنها شیر دو برای بازه ۱۲ شب تا ۶



شکل ۴. تغییرات نشت و قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب کلیبر در وضعیت موجود

Fig. 4. Variation of leakage and reliability of Kaleibar water distribution network in the current state

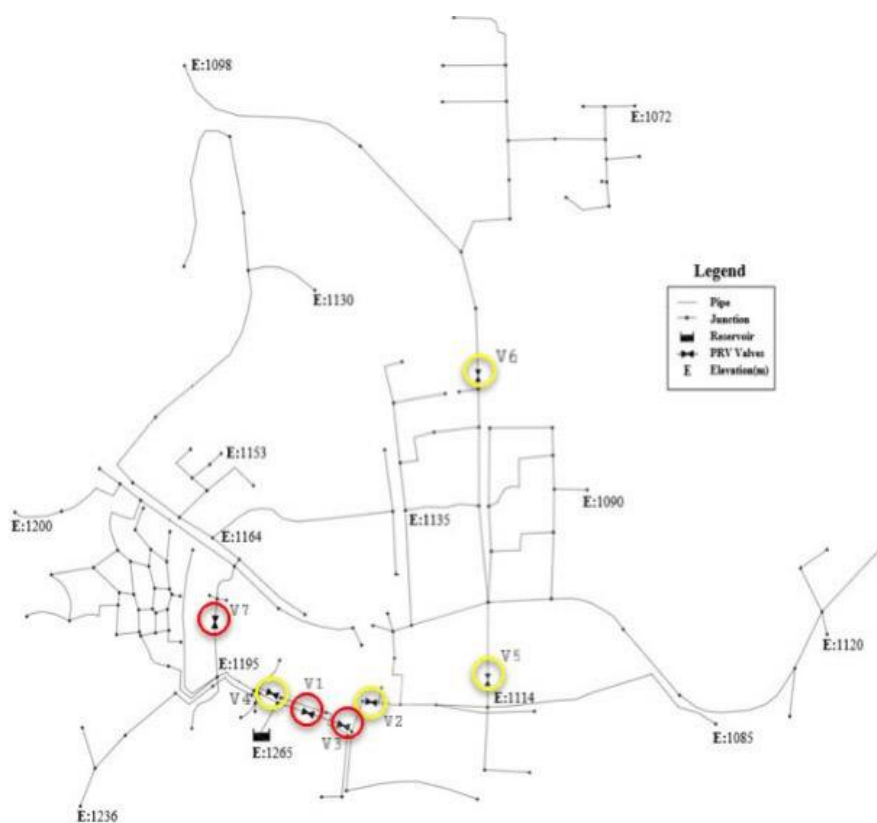


شکل ۵. تغییرات فشار و سرعت جریان در شبکه توزیع آب کلیبر در وضعیت موجود

Fig. 5. Variation of pressure and velocity in the Kaleibar water distribution network in the current state

۲۴/۷۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. این اتفاق ناشی از این است که در ساعت ۱۲ و در شرایط پیک مصرف از شبکه، مقادیر فشار در گره‌های شبکه به دلیل افت مسیرها به شدت پایین می‌آید، به خصوص زمانی که قید فشار وجود نداشته باشد (صفر متر) این کاهش بیشتر خواهد بود و به دلیل وابستگی نشت از شبکه به مقادیر فشار، میزان نشت به شدت کاهش یافته و به کمترین مقدار در بین حالت‌های بررسی شده می‌رسد، البته در این حالت به دلیل کمبود

نتایج، مقادیر تغییرات ساعتی نشت، قابلیت اطمینان، فشار متوسط شبکه و سرعت متوسط جریان در شبکه در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که بعد از تنظیم شیرهای فشارشکن طبق برنامه‌ی به دست آمده با روش بهینه‌سازی، کمترین نشت در ساعت ۱۲ مربوط به فشار صفر متر به میزان ۱۵/۹۳ لیتر بر ثانیه به دست آمده است و بیشترین مقدار نشت برای ساعت ۳ در فشار ۲۶ متر به میزان



شکل ۶. طرح شماتیک شبکه و موقعیت شیرهای فشار شکن بعد از جانمایی مجدد

Fig. 6. The Skeleton of Kaleiber network and the location of the pressure-reducing valves after replacement

شبکه از این عدد، قابلیت اطمینان شبکه کاهش یافته است. در مجموع عملکرد شبکه توزیع آب کلیبر از نظر شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه پایین و در حالت سرویس‌دهی نامناسب می‌باشد، چرا که در تمامی حالت‌های بررسی شده عملکرد شبکه کمتر از ۰/۵ می‌باشد، این موضوع با توجه به توپوگراف خاص شهر کلیبر با اختلاف ارتفاع بیش از ۲۰۰ متر بین نقاط مرتفع و پست شهر قابل درک است. بررسی تغییرات متوسط سرعت در لوله‌های شبکه نیز نشان می‌دهد که بین مقادیر متوسط سرعت جریان و مصرف از شبکه همبستگی مثبت وجود دارد، به طوری که در ساعت حداقل مصرف از شبکه، سرعت جریان پایین و در حالت حداکثر مصرف از شبکه سرعت جریان بالا می‌باشد.

بر اساس نتایج شکل ۴-الف، بیشترین مقادیر نشت ساعتی مربوط به حالت با قید حداقل فشار ۲۶ متر و کمترین مقادیر نشت ساعتی مربوط به حالت با قید حداقل فشار صفر متر است و مقایسه ساعتی تغییرات نیز نشان می‌دهد، در ساعت‌های حداقل مصرف، مقادیر نشت برای تمامی حالت‌ها

فشار در شبکه، تامین تقاضا نیز با مشکل مواجه خواهد بود. همچنین عکس این حالت در ساعت ۳ و در شرایط حداقل مصرف از شبکه پیش می‌آید. مقایسه تغییرات فشار متوسط در حالت‌های مختلف نیز این موضوع را تایید می‌کند، به طوری که متوسط فشار در حالت کمترین نشت از شبکه، کمترین مقدار و برابر ۴۸/۴۷ متر و در حالت بیشترین نشت از شبکه، بیشترین مقدار و برابر ۷۰/۸۲ متر است. بررسی قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه نیز نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان شبکه با تغییرات مقادیر نشت و فشار متوسط شبکه همبستگی منفی دارد، به طوری که در حالت با کمترین مقدار نشت و کمترین مقدار متوسط فشار گرهی، بیشترین مقدار و در حدود ۴۶/۷ درصد و در حالت با بیشترین مقدار نشت و بیشترین مقدار متوسط فشار گرهی، کمترین مقدار و در حدود ۲۹/۹ درصد است. در مجموع با توجه به مقدار مطلوب فشار در گره‌های شبکه بر اساس شاخص قابلیت اطمینان روابط ۴ و ۵ که برابر ۳۱ متر در نظر گرفته شده است، با نزدیک شدن متوسط فشار شبکه به این عدد، قابلیت اطمینان شبکه افزایش و با دور شدن متوسط فشار

بیشترین مقدار و در زمان حداکثر مصرف، مقادیر نشت برای تمامی حالت‌ها کمترین مقدار است. این روند با تغییرات متوسط فشار شبکه که در شکل ۵-الف آورده شده است، همبستگی مثبت دارد، به طوری که نمودار ساعتی متوسط فشار شبکه با قید حداقل فشار ۲۶ متر بیشترین مقادیر و نمودار ساعتی متوسط فشار شبکه با قید حداقل فشار صفر متر، کمترین مقادیر را دارد. بررسی تغییرات قابلیت اطمینان ساعتی شبکه در شکل ۴-ب نیز نشان می‌دهد که بین نمودار مقادیر فشار متوسط ساعتی در شکل ۵-الف و نمودار مقادیر قابلیت اطمینان ساعتی شبکه در شکل ۴-ب رابطه معکوس وجود دارد، به طوری که با افزایش ساعتی متوسط فشار در شبکه، قابلیت اطمینان ساعتی شبکه کاهش یافته است. در بین حالت‌های بررسی شده، در حالتی که قید حداقل فشار صفر متر برای سیستم در نظر گرفته شده، قابلیت اطمینان در بیشترین حالت خود قرار دارد. همچنین هنگامی که قید حداقل فشار ۱۰ متر و ۲۶ متر در مدل‌سازی اعمال می‌شود به دلیل افزایش مقادیر فشار پایه در گره‌های شبکه، مقادیر قابلیت اطمینان شبکه به شکل محسوس کاهش می‌یابد. به طوری که در حالت حداقل قید فشار ۲۶ متر به دلیل تلاش مدل برای برآورد حداقل فشار ۲۶ متر در تمامی گره‌های شبکه، در مجموع مقادیر فشار در کلیه گره‌های شبکه افزایش یافته و قابلیت اطمینان تحت تاثیر این مسئله کاهش می‌یابد. همچنین مطابق نتایج شکل ۵-الف متوسط فشار شبکه در حالت قید حداقل فشار ۲۶ متر بیشترین مقدار و در حالت قید حداقل فشار صفر متر کمترین مقدار است که به دلیل اعمال قید حداقل فشار منطقی می‌باشد. همچنین در هر سه حالت قید حداقل فشار صفر، ۱۰ و ۲۶ متر، فشار در زمان‌های حداقل مصرف در طول شب نسبتاً بالا و در زمان‌های حداقل مصرف در طول بعد از ظهر نسبتاً پایین است. این تغییرات تاثیر مستقیم بر روی نشت و قابلیت اطمینان شبکه دارد. به طوری که در زمان‌های با فشار نسبتاً بالا، قابلیت اطمینان شبکه پایین و نشت شبکه بالا است و برای زمان‌های با فشار نسبتاً پایین به صورت برعکس می‌باشد. بر اساس نتایج شکل ۵-ب سرعت متوسط جریان در لوله‌های شبکه در حالت‌های مختلف قید حداقل فشار تغییر محسوس نسبت به همدیگر ندارند. البته در حالت‌های که قید حداقل فشار در آن بالا است به دلیل نشت بالای آب سرعت متوسط جریان نیز بالا می‌باشد. که این مورد در مقایسه حالت قید حداقل فشار ۲۶ متر نسبت به قید فشار صفر متر کاملاً مشخص می‌باشد.

#### ۴-۲- سناریو دوم جانمایی شیرهای فشارشکن

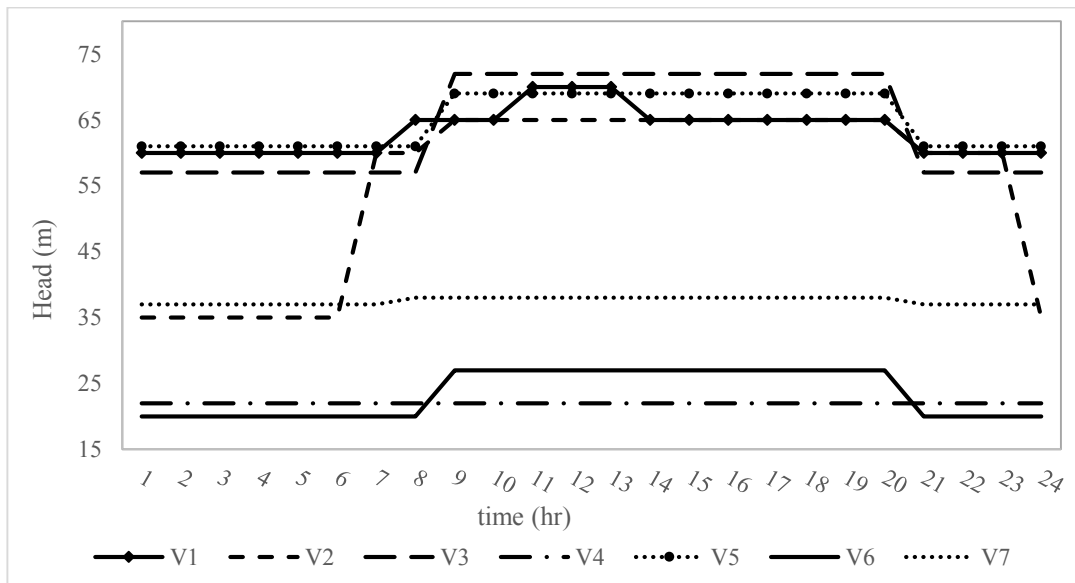
شبکه توزیع آب شهر کلبر دارای ۷ شیر فشارشکن است که در

موقعیت‌های تجربی تعیین شده در وضعیت موجود نصب گردیده است. در سناریوی دوم، موقعیت شیرهای فشارشکن با استفاده از شاخص مکان‌یابی علی [۱۹] مجدداً تعیین شده است. موقعیت شیرهای فشارشکن جدید در شکل ۶ نشان داده شده است، به طور کلی موقعیت برخی شیرها نسبت به وضعیت موجود تغییر یافته است که شامل شیرهای دو، چهار، پنج و شش است.

برای محاسبه موقعیت شیرها، مطابق رابطه‌ی (۸) مقادیر شاخص مکان‌یابی شیر برای تمامی لوله‌ها محاسبه گردید و لوله‌های که مقادیر شاخص بالاتری داشتند، انتخاب و از بین آن‌ها بر اساس گروه‌بندی لوله‌ها، موقعیت شیرها تعیین شد. از بین مکان‌های انتخابی جهت نصب شیرها، ۳ موقعیت منطبق بر موقعیت‌های قبلی هستند که بر روی لوله‌های ۲، ۸ و ۲۰ نصب شده است. بقیه‌ی چهار شیر در مکان جدید بر روی لوله‌های ۳، ۱۰، ۱۵۲ و ۱۵۹ جایگذاری شده است. بعد از تعیین موقعیت شیرها، هد خروجی شیرها با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان تنظیم گردیده است که نمودار تنظیمات ساعتی شیرها در شکل ۷ نشان داده شده است. در بین شیرهای موجود با تغییر موقعیت برخی از آن‌ها، همچنان شیرهای یک، دو، سه و پنج دارای فشار نسبتاً بالا هستند که در بین آن‌ها شیر دو مشابه حالت قبل در ساعت‌های ۲۴ تا ۶ صبح دارای فشار نسبتاً پایین است و سایر شیرها شامل شیرهای چهار، شش و هفت دارای فشار تنظیمی پایین هستند. با اعمال برنامه زمانی تنظیمات شیرهای فشارشکن و اجرای مدل شبکه، مقادیر شاخص‌های ارزیابی شامل نشت و قابلیت اطمینان شبکه و فشار گرهی و سرعت جریان لوله‌ها محاسبه و نتایج مقایسه گردیده است که خلاصه نتایج مربوط به این سناریو در جدول ۴ و تغییرات ساعتی شاخص‌ها در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است.

بر اساس جدول ۴، مقدار ماکزیمم نشت شبکه ۱۸/۹۱ لیتر بر ثانیه که مربوط به ساعت ۳ با قید حداقل فشار صفر متر است. همچنین مینیمم مقدار نشت ۱۴/۶۱ لیتر بر ثانیه در ساعت ۱۲ با قید حداقل فشار صفر متر می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار قابلیت اطمینان شبکه، برای ساعت ۱۲ با قید حداقل فشار صفر متر در حدود ۴۹/۳ درصد و کمترین مقدار قابلیت اطمینان برای ساعت ۳ با قید حداقل فشار ۱۰ متر و در حدود ۳۴/۴ درصد می‌باشد. مقایسه مقادیر فشار در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد که بالاترین فشار گرهی با مقدار ۵۹ متر در ساعت ۳ با قید حداقل فشار ۱۰ متر و پایین‌ترین فشار گرهی با مقدار ۴۶/۰۱ متر در ساعت ۱۲ با قید فشار صفر متر به دست آمده است. همچنین مقادیر سرعت متوسط شبکه در حالت‌های مختلف در





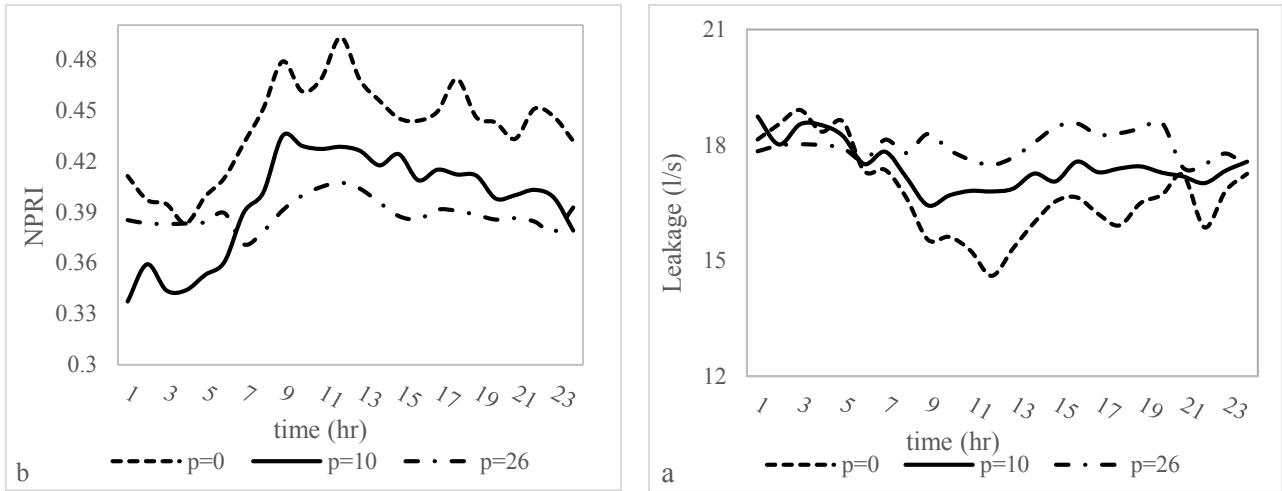
شکل ۷. هد تنظیمی شیرها برای قید حداقل فشار ۲۶ متر بعد از تعیین موقعیت جدید شیرها

Fig. 7. Adjustment pressure of the valves to the minimum pressure of 26 meters after replacement of the new valves

جدول ۴. عملکرد شبکه توزیع آب کلیبر بعد از نصب شیرآلات جدید برای حالت‌های حداقل، متوسط و حداکثر مصرف

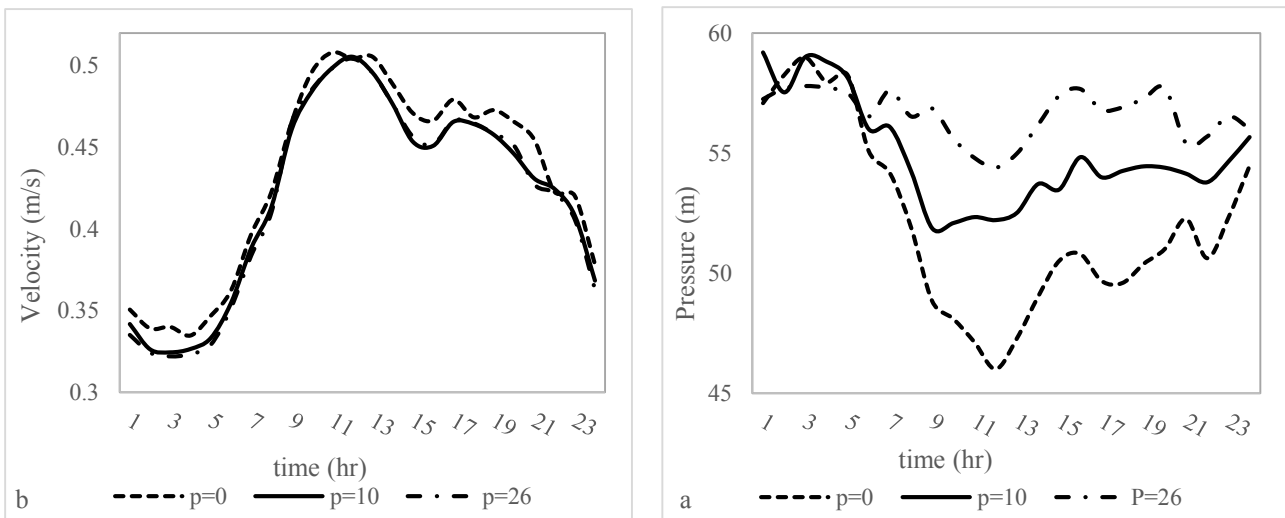
Table 4. The performance of the Kaleibar water distribution network after the replacement of new valves for minimum, average and maximum consumption

زمان (ساعت)	ضریب مصرف	قید فشار متر	نشت شبکه (لیتر بر ثانیه)	قابلیت اطمینان شبکه (درصد)	فشار متوسط (متر)	سرعت متوسط (متر بر ثانیه)
		۰	۱۸/۹۱	۳۹/۵	۵۸/۹۸	۰/۳۴
۳	۰/۵۷۳۹	۱۰	۱۸/۵۴	۳۴/۴	۵۹/۰۰	۰/۳۲
		۲۶	۱۸/۰۲	۳۸/۳	۵۷/۷۹	۰/۳۲
		۰	۱۶/۶۲	۴۵/۱	۵۱/۹۰	۰/۴۲
۸	۰/۹۶۳۲	۱۰	۱۷/۱۵	۴۱/۱	۵۴/۳۴	۰/۴۱
		۲۶	۱۷/۷۹	۳۷/۹	۵۶/۵۳	۰/۴۱
		۰	۱۴/۶۱	۴۹/۳	۴۶/۰۱	۰/۵۰
۱۲	۱/۳۸۷۴	۱۰	۱۶/۸۰	۴۲/۸	۵۲/۲۱	۰/۵۱
		۲۶	۱۷/۴۸	۴۰/۷	۵۴/۳۹	۰/۵۰



شکل ۸. تغییرات نشت و قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب کلبر بعد از جانمایی شیرهای جدید

Fig. 8. Variation of leakage and reliability of Kaleibar water distribution network after the replacement of new valves



شکل ۹. تغییرات فشار و سرعت جریان در شبکه توزیع آب کلبر بعد از جانمایی شیرهای جدید

Fig. 9. Variation of pressure and velocity of Kaleibar water distribution network after the replacement of new valves

جدول ۵. میزان تغییرات شاخص‌های هیدرولیکی شبکه در سناریوی با جانمایی هوشمند نسبت به وضعیت موجود

Table 5. The variation of hydraulic indicators in the scenario with smart replacement compared to the current situation

تغییرات سرعت (متوسط (درصد)	تغییرات فشار (متوسط (درصد)	تغییرات قابلیت اطمینان (درصد)	تغییرات نشت (درصد)	قید فشار	ضریب مصرف	زمان (ساعت)
-۲/۹	-۵/۹	۱۹/۳	-۱۰/۱	۰		
-۱۳/۵	-۱۲/۸	۱۲/۱	-۲۰/۴	۱۰	۰/۵۷۳۹	۳
-۱۵/۸	-۱۸/۴	۲۸/۱	-۲۷/۰	۲۶		
-۶/۷	-۱۱/۵	۱۹/۳	-۱۸/۳	۰		
-۶/۸	-۱۱/۰	۱۵/۸	-۱۷/۷	۱۰	۰/۹۶۳۲	۸
-۶/۸	-۱۳/۷	۱۷/۰	-۲۰/۹	۲۶		
۰/۰	-۵/۱	۵/۶	-۹/۵	۰		
۰/۰	-۶/۳	۹/۷	-۱۰/۸	۱۰	۱/۳۸۷۴	۱۲
-۲/۰	-۴/۷	۱۲/۷	-۸/۵	۲۶		
-۶/۰	-۹/۹	۱۵/۵	-۱۵/۹		متوسط	

نشت از شبکه نیز همخوانی دارد.

۴-۳- مقایسه نتایج

در جدول ۵ نتایج مدل شبکه توزیع آب شهر کلیر بعد از جانمایی هوشمند شیرهای فشارشکن با وضعیت موجود شبکه مقایسه شده است. در این جدول اعداد مثبت نشان دهنده درصد افزایش و اعداد منفی نشان دهنده درصد کاهش شاخص‌ها می‌باشد. به طور کلی مقایسه دو سناریو نشان می‌دهد که در بین حالت‌های تعریف شده برای نشت شبکه در سناریوی دوم در مقایسه با سناریوی اول، به طور متوسط میزان نشت شبکه ۱۵/۹ درصد بهبود یافته است که بیشترین تغییر مربوط به ساعت ۳ تا ۲۷ درصد کاهش و کمترین تغییر مربوط به ساعت ۱۲ تا ۸/۵ درصد کاهش می‌باشد. همچنین قابلیت اطمینان شبکه در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول به طور متوسط ۱۵/۵ درصد و در حاکت ماکزیمم ۲۸/۱ درصد و در حالت مینیمم ۵/۶ درصد افزایش یافته است. این موارد برای فشار متوسط و سرعت متوسط شبکه برای سناریوی دوم در مقایسه با سناریوی اول به طور متوسط و به ترتیب برابر ۹/۹ و ۶/۰ درصد است که در مجموع نشان می‌دهد، جانمایی هوشمند شیرهای فشارشکن باعث بهبود موثر در تمامی شاخص‌های هیدرولیکی شبکه از جمله مقادیر نشت، قابلیت اطمینان و فشار متوسط شبکه شده است.

محدوده ۰/۳۲ تا ۰/۵۱ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. شکل ۸-الف تغییرات ساعتی نشت شبکه در طول شبانه‌روز برای قید حداقل فشار صفر، ۱۰ و ۲۶ متر را نشان می‌دهد، همان‌طوری که مشخص است در طول ساعات حداقل مصرف مقادیر نشت در هر سه حالت بالا و در ساعات حداکثر مصرف مقادیر نشت شبکه به صورت نسبی پایین می‌باشد. همچنین بر اساس شکل ۸-ب تغییرات مقادیر قابلیت اطمینان شبکه به صورت معکوس است به طوری که در ساعات‌های حداقل مصرف، مقادیر قابلیت اطمینان شبکه پایین و در ساعات‌های حداکثر مصرف، مقادیر قابلیت اطمینان شبکه بالا می‌باشد. در شکل ۹-الف تغییرات ساعتی فشار متوسط شبکه و در شکل ۹-ب تغییرات ساعتی سرعت متوسط شبکه آورده شده است. همان‌طوری که از شکل ۹-الف مشخص است، متوسط فشار شبکه در حالت قید حداقل فشار ۲۶ متر از دو حالت بیشتر و در حالت قید فشار صفر متر از دو حالت کمتر است. در این سناریو نیز مقادیر فشار در هر سه حالت در زمان‌های حداقل مصرف نسبتاً بالا و در زمان‌های حداکثر مصرف نسبتاً پایین است که بین تغییرات فشار با نشت از شبکه همبستگی مثبت و با قابلیت اطمینان شبکه همبستگی منفی وجود دارد. همچنین بر اساس شکل ۹-ب روند تغییرات سرعت متوسط ساعتی در هر سه سناریو با اندکی تغییرات مشابه هم می‌باشند و در حالت قید فشار ۲۶ متر نسبت به دو حالت دیگر مقادیر نسبی بیشتری دارد که با

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، تاثیر جانمایی هوشمند شیرهای فشارشکن در کاهش نشت از شبکه‌های توزیع آب واقعی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور از شبکه توزیع آب شهر کلیر استفاده شده است. شبکه کلیر به دلیل توپوگرافی خاص شبکه در وضعیت موجود دارای ۷ شیر فشارشکن است که به صورت تجربی جانمایی شده‌اند. در این تحقیق با به کارگیری شاخص مکان‌یابی شیر ۷ شیر موجود مجدداً به صورت هوشمند جانمایی شده‌اند. تابع هدف به کار رفته برای بهینه‌سازی هد خروجی شیرهای فشارشکن به صورت کمینه‌سازی مقادیر نشت ساعتی شبکه می‌باشد که برای تنظیم هد خروجی شیرهای فشارشکن از الگوریتم جامعه مورچگان در محیط متلب و در لینک با شبیه‌ساز ایپانت استفاده شده است. برای تامین مناسب سرویس‌دهی شبکه در کنار تابع هدف کمینه‌سازی مقادیر نشت، قید حداقل فشار در سه حالت عدم اعمال قید فشار (قید حداقل فشار برابر صفر متر)، تامین آب در ورودی ساختمان (حداقل قید فشار برابر ۱۰ متر) و تامین آب برای یک ساختمان چهار طبقه (حداقل قید فشار برابر ۲۶ متر) در نظر گرفته شده است. برای ارزیابی عملکرد شبکه توزیع آب از شاخص قابلیت اطمینان، نشت، فشار گرهی و سرعت جریان متوسط شبکه استفاده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با جانمایی هوشمند شیرهای فشارشکن و تنظیم بهینه برنامه زمان‌بندی آن‌ها تمامی شاخص‌ها نسبت به حالت پایه افزایش یافته است به طوری که برای سناریوی با جانمایی هوشمند نسبت به وضعیت موجود، شاخص‌های نشت، قابلیت اطمینان، متوسط فشار گرهی و متوسط سرعت جریان لوله‌ای به ترتیب ۱۵/۹، ۱۵/۵، ۹/۹ و ۶/۰ درصد بهبود یافته است که نشان دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی در بهبود کارایی هیدرولیکی شبکه توزیع آب واقعی می‌باشد.

## منابع

- Tanks on Leakage Reduction for Distribution Networks under Operation, *Journal of Water and Wastewater*, 29(5) (2018).
- [4] S.S. Hashemi, M. Tabesh, B. Ataekia, Ant-colony optimization of pumping schedule to minimize the energy cost using variable-speed pumps in water distribution networks, *Urban Water Journal*, 11(5) (2014) 335-347.
- [5] S.S. Hashemi, M. Tabesh, B. Ataekia, Scheduling and operating costs in water distribution networks, in: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, Thomas Telford Ltd, (2013) 432-442.
- [6] M. Dini, M. Hemmati, S.S. Hashemi, Maximizing the hydraulic performance of Khomam water distribution network with optimal planning of the number and speed of pumps, *Journal of Water and Wastewater*, (In press). Doi: 10.22093/wwj.2021.275013.3118.
- [7] M. De Marchis, G. Freni, Pump as turbine implementation in a dynamic numerical model: cost analysis for energy recovery in water distribution network, *Journal of Hydroinformatics*, 17(3) (2015) 347-360.
- [8] S. Nazif, M. Karamouz, M. Tabesh, A. Moridi, Pressure management model for urban water distribution networks, *Water Resour Manag*, 24(3) (2010) 437-458.
- [9] F. Avila, A. Anazco, J. Jara, C. Quezada, L. Delpino, L. Fernandez, Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves. Case study in an Andean city, *Alex Eng J*, 58(4) (2019) 1313-1326.
- [10] M. Dini, A. Asadi, Pressure management of large-scale water distribution network using optimal location and valve setting, *Water Resour Manag*, 33(14) (2019) 4701-4713.
- [11] P. Khatavkar, L.W. Mays, Optimization-simulation model for real-time pump and valve operation of water distribution systems under critical conditions, *Urban Water Journal*, 16(1) (2019) 45-55.
- [12] M. Dini, A. Asadi, Optimal operational Scheduling of available partially closed valves for pressure management in water distribution networks. *Water Resource Managment*, 34(8) (2020a) 2571-2583.
- [1] M. Tabesh, M.M. Vaseti, Leakage Reduction in Water Distribution Networks by Minimizing the Excess Pressure. *Iran-Water Resources Research*, 2(2) (2006) 53-66 (In persian).
- [2] M. Tabesh, A. Asadiani Yekta, Investigation of Leak Performance Indicators in urban water Distribution Networks, in: *7th International Congress on Civil Engineering*, undefined, (2006).
- [3] M.J. Ghazizadeh, S. Shahrouzi, Effect of Household Water

- [18] M. Dini, M. Tabesh, A New Reliability Index for Evaluating the Performance of Water Distribution Network, *Water and Wastewater Consulting Engineers*, 29(3) (2018) 1-16.
- [19] M.E. Ali, Knowledge-based optimization model for control valve locations in water distribution networks, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(1) (2015) 04014048.
- [20] M. Dorigo, Optimization, learning and natural algorithms, Ph. D. Thesis, Politecnico di Milano, (1992).
- [21] M. Dini, M. Tabesh, Water Distribution Network Quality Model Calibration; a Case Study: Ahar, *Journal of Water Science and Technology: Water Supply*, 16(5) (2017) 1–13.
- [22] A. Mohammadikaleibar, M. Dini, V. Nourani, S. Hashemi, Challenges of Validation in Real Water Distribution Network Models (Case Study: Kleiber City), 19th Iranian Hydraulic Conference, 14 February, (2021), Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, (In Persian).
- [23] M. Dini, A. Mohammadikaleibar, V. Nourani, S. Hashemi, Probabilistic zoning of hydraulic performance of water distribution network by applying key parameter uncertainty, *Journal of Civil and Environmental Engineering*, doi:10.22034/jcee.2021.44669.2007, (2021) (In Persian).
- [13] M. Dini, A. Asadi, Pressure and Leakage Management of Water Distribution Network with Optimal Scheduling of Valves and Pumps, *Journal of Civil and Environmental Engineering* doi:10.22034/jcee.2020.10550, (2020b) (In Persian).
- [14] J. JafariAsl, M. Malekmahmoudi, B. Sami, H. Montaseri, M. Bahram, Optimal Management of Pressure for Leakage Minimization in Water Distribution Systems by Pressure Reduction Valves (PRVs), *Irrigation & Water Engineering*, 11(42) (2021) 24-35.
- [15] M. Güngör, U. Yazar, U. Cantürk, M. Fırat, Increasing performance of water distribution network by using pressure management and database integration, *Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10 (2) (2019) 1-8.
- [16] S.A. Saghebian, D. Mehdi, A. Ebrahim, A. Asadi, Investigation of Hydraulic Efficiency of Water Distribution Networks with Optimal Adjustment of Pressure Reducing valves in Ant Community Algorithm, *Third Congress of Iranian Water and Wastewater Science and Engineering*, undefined, (2020) (In Persian).
- [17] S.A. Saghebian, M. Dini, E. Asadi, A. Asadi, Investigation of Hydraulic Efficiency of Water Distribution Networks with Optimal Adjustment of Pressure Reducing valves in Ant Community Algorithm, in: *Third Congress of Iranian Water and Wastewater Science and Engineering*, (2020) (In Persian).

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

*P. Ghaderi, A. H. Mohammadizade, Vibration control of wind turbine by using active mass damper equipped with a magnetic fluid, Amirkabir J. Civil Eng., 54(12) (2023) 4511-4526.*

DOI: 10.22060/ceej.2022.20535.7455



