Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰
Volume 17, No. 3, Fall 2021 (IR-WRR)
۱۱۸-۱۳۲

ارائه یک رویکرد ساده برای مدیریت فشار و نشت در شبکه‌های توزیع آب واقعی با برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه شیرها

مهدی دینی[۱*] و اصغر اسدی[۲]

چکیده

مدیریت فشار یک روش کارا و ارزان برای کاهش نشت در شبکه‌های توزیع آب است که با بهره‌برداری اصولی شیرها، پمپ‌ها، مخازن و تانک‌ها ممکن می‌باشد. در شبکه‌های توزیع آب، شیرهای زیادی وجود دارند که صرفاً برای انجام تعمیرات در صورت اتفاق مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله یک رویکرد ساده برای مدیریت فشار و نشت در شبکه‌ها با برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه شیرهای موجود ارائه شده است. برای این منظور با بکارگیری شاخص مکانیابی شیرها، موقعیت بهینه شیرهای فرضی تعیین و میزان بازشدگی آنها در حالت‌های حداقل، متوسط و حداکثر مصرف بهینه شده است. بهینه‌سازی با تلفیق الگوریتم‌های دسته ذرات و جامعه مورچگان و شبیه‌ساز EPANET در محیط MATLAB انجام شده است. روش پیشنهادی بر روی دو شبکه نمونه و واقعی اجرا شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت‌های متوسط و حداکثر مصرف، بهبود قابل توجهی در عملکرد هر دو شبکه ایجاد شده است، بطوری‌که قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر مراغه به ترتیب ۲۲ و ۲۴ درصد و نشت در آن به ترتیب ۳۱ و ۲۰ درصد نسبت به حالت پایه بهبود یافته است. در مجموع با بکارگیری این رویکرد، می‌توان با تنظیم دستی تعدادی از شیرهای منتخب موجود در شبکه‌های واقعی عملکرد آنها را بهبود داد.

کلمات کلیدی: فشار، نشت، شیرها، شبکه توزیع آب، بهینه‌سازی، قابلیت اطمینان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۵/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۷/۹

Presenting a Simple Approach to Pressure and Leakage Management in Real Water Distribution Networks by Optimal Operational Scheduling of Valves

M. Dini [1] and A. Asadi[2]*

Abstract

Pressure management is an efficient and inexpensive way to reduce leakage in water distribution networks, which is usually possible by systematical operation of valves, pumps, reservoirs, and tanks. In water distribution networks, there are many valves only used during the repairs in the time of accidents. In this paper, a simple approach is proposed for managing pressure and leakage in networks with optimal scheduling of the existing valves' operation. For this purpose, the optimal locations of the valves are determined by using the valve selection index and their opening rate has been optimized in the minimum, medium and maximum consumption conditions. The optimization was done by combining particle swarm and ant colony optimization algorithm and EPANET simulator within the framework of MATLAB. The proposed method is performed both on a sample and the real network. The results show that there is a significant improvement in the performance of both networks in the average and maximum consumption conditions, so that, the reliability of the Maragheh city network is improved by 22 and 24 percent and leakage by 31 and 20 percent, respectively, compared to the base model. In general, using this approach can improve the performance of real networks by manual programming of a number of selected valves.

***Keywords*:** Pressure, Leakage, Valves, Water Distribution Network, Optimization, Reliability.

Received: August 10, 2021
Accepted: October 1, 2021

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز.
۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز.
*- نویسنده مسئول

1- Assistant Professor, Civil Engineering Department, College of Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran. Email: m.dini@azaruniv.ac.ir
2- Ph.D. Student, Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology Tabriz, Iran. Email: asghar.asadi71@gmail.com
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.3.6.1

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

نشت، سهم قابل توجهی از تلفات آب در شبکه‌های توزیع آب را تشکیل می‌دهد که از دیرباز یکی از مسائل مهم مدیریتی بوده است و امروزه نیز با محدودیت هر چه بیشتر منابع آب و افزایش روزافزون تقاضای آب به چالشی جدی تبدیل شده است. عملاً نشت آب در شبکه‌ها، امری غیرقابل اجتناب است و بیشتر سیستم‌های توزیع آب در دنیا با این مشکل مواجه هستند و تنها مقدار و نوع آن متفاوت است که این مقدار بستگی به خصوصیات فیزیکی تأسیسات شبکه و روش‌های بکاررفته در کنترل این تلفات دارد (Jafari-Asl et al., 2021). مدیریت فشار یکی از کاراترین و ارزان‌ترین روش‌های کاهش نشت است که با برنامه‌ریزی بهره‌برداری اصولی از تأسیسات شبکه ممکن می‌باشد. در سال‌های گذشته تحقیقات زیادی در ارتباط با مدیریت فشار در سیستم‌های توزیع آب انجام شده است که جنبه‌های مختلفی از روش‌های بهره‌برداری از تأسیسات و تجهیزات کنترل شبکه را برای این موضوع درنظر گرفته‌اند. برنامه‌ریزی بهره‌برداری از انواع پمپ‌های دورمتغیر در کنار پمپ‌ها با سرعت ثابت در ایستگاه‌های پمپاژ که با تنظیم دور موتور در پمپ‌های دورمتغیر یا خاموش و روشن کردن پمپ‌های سرعت ثابت انجام می‌شود و یا با بکارگیری شاخص‌های تعداد پمپ‌های روشن، تعداد پمپ‌های روشن در هر ساعت شبانه‌روز مشخص و دور موتور در پمپ‌های روشن تنظیم می‌شود. این روش بهره‌برداری از پمپ‌ها منجر بـه تعدیل فشار و مـدیریت نشت در شبکه‌های مورد مطالعه شده است (Hashemi et al., 2014; Babaei et al., 2015; Dai, 2017; Page et al., 2017; Page et al., 2019; Mehzad et al., 2020; Dini et al., 2021). بهره‌گیری از پمپ قابل تبدیل به توربین (PAT[1]) در خطوط انتقال شبکه و جایگزین کردن آنها بجای یکدیگر در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز، که در آنها در ساعات پر مصرف، پمپاژ آب به شبکه انجام می‌شود و در ساعات کم مصرف، توربین عمل می‌کند. این روش ضمن تعدیل فشار در شبکه، مازاد فشار در شبکه را تبدیل به انرژی الکتریسته می‌کند (De Marchis and Freni, 2015; Patelis et al., 2016; Venturini et al., 2017). برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخازن موجود در شبکه‌های توزیع آب با تنظیم ساعتی تغییرات تراز مخازن که منجر به تعدیل نسبی فشار در شبکه‌ها می‌شود (Nazif et al., 2010) و در نهایت مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب با پیاده‌سازی مناطق تحت پوشش مجزا (DMAs[2]) با زون‌های فشار مستقل و قابل کنترل مطرح می‌شود که در آنها ضمن زون‌بندی شبکه‌های توزیع آب، ورودی به زون‌ها و خروجیی از آنها از نظر دبی جریان و فشار کنترل می‌شود و منجر بـه تعدیل فشار و نشت در شبکه می‌شـود (Güngör et al., 2019).

در ارتباط با مدیریت فشار و نشت در شبکه‌های توزیع آب با بکارگیری شیرها، با توجه به تنوع شیرها، تحقیقات مختلفی در قالب بکارگیری هر یک از انواع شیرها به صورت مستقل و یا در ترکیب با سایر تجهیزات انجام شده است که در آنها موقعیت شیرها یا تجهیزات و برنامه بهره‌برداری از آنها به عنوان متغیرهای برنامه‌ریزی مطرح شده است. در این میان، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از شیرهای فشارشکن (PRVs[3]) با هدف تنظیم هد خروجی از شیرها (Tabesh and Vaseti, 2006; De Paola et al., 2017; Samir et al., 2017; Gheybi et al., 2017; Avila et al., 2019; Jafari-Asl et al., 2021)، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از شیرهای کنترل جریان (FCVs[4]) با هدف تنظیم دبی جریان خروجی از شیرها (Ali, 2014; Creaco and Pezzinga, 2018)، بکارگیری شیرهای کنترل دریچه‌دار (TCVs[5]) و شیرهای کنترل نسبتاً باز و بسته شونده (PCVs[6]) با هدف تنظیم میزان بازشدگی شیرها (Araujo et al., 2006; Gencoglu and Merzib, 2017; Do et al., 2018; Dini and Asadi, 2020a)، همچنین، بکارگیری همزمان شیرهای فشارشکن و پمپ‌ها (Gupta and Kulat, 2018; Dini and Asadi, 2019)، استفاده همزمان از شیرهای کنترل جریان و پمپ‌ها (Khatavkar and Mays, 2019; Dini and Asadi, 2020b) و ترکیب شیرهای فشارشکن و پمپ‌های قابل تبدیل به توربین (Darvini and Soldini, 2015; Lydon et al., 2017) با هدف جایگزینی هر یک از آنها در زمان‌های با مصارف بالا یا پایین و تنظیم برنامه بهره‌برداری آنها، نمونه‌های از این تحقیقات انجام شده می‌باشند.

از بین تحقیقات متعدد انجام شده در سال‌های گذشته، مواردی که شباهت بیشتری می‌توانند با این تحقیق داشته باشند، مربوط به تحقیقاتی است که در ارتباط با بکارگیری شیرهای کنترل دریچه‌دار و شیرهای کنترل نسبتا باز و بسته شونده انجام شده است. Araujo et al. (2006) کنترل فشار برای حداقل‌کردن نشت در یک شبکه نمونه را با بکارگیری شیرهای کنترل دریچه‌دار بررسی کردند. برای این منظور بعد از تعریف تعداد مختلفی از شیرها در موقعیت‌های تعیین شده، میزان بازشدگی آنها به منظور مینیمم‌کردن فشار و نشت در یک بازه دوره گسترده بهینه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد شیرها، نشت به صورت نسبی کاهش یافته است، ولی موقعیت شیر انتخابی نسبت به تعداد آن تأثیر بیشتری در کاهش نشت داشته است. Ali (2014) بحث جانمایی شیرهای کنترل جریان و تنظیم

www.SID.ir

Archive of SID

درصد بازشدگی آنها برای کمینه‌سازی نشت در شبکه‌های توزیع آب را بررسی کردند. ایشان با ارائه یک شاخص مکانیابی شیر در این تحقیق و با محاسبه مقادیر شاخص برای شبکه نمونه Jowitt and Xu (1990)، تعداد سه موقعیت با اولویت بالا برای نصب شیر را انتخاب کردند و با الگوریتم ژنتیک، درصد بازشدگی شیرها را بهینه نمودند. نتایج نشان از کاهش حدود ۱۶ درصد در مقادیر نشت شبکه و صرفه‌جویی حدود ۳ درصدی در منابع تأمین آب دارد. Gencoglu and Merzib (2017) حداقل‌کردن فشار اضافی و نشت آب با بهینه‌سازی موقعیت و میزان بازشدگی شیرهای کنترل دریچه‌دار در شبکه توزیع آب واقعی را انجام دادند که منجر به کاهش ۶۰ درصدی فشار اضافی در بهترین حالت شده است. Do et al. (2018) یک روش ترکیبی در قالب مدل کالیبراسیون هیدرولیکی برای تعیین موقعیت شیرهای کنترل نسبتاً باز و بسته شونده در شبکه نمونه و واقعی را بکار بردند. تابع هدف مدل، کمینه‌سازی اختلاف فشار و دبی جریان مشاهداتی و محاسباتی در گره‌ها و لوله‌های شبکه می‌باشد. ابتدا در یک فرایند تحلیل حساسیت موقعیت شیرهای بسته در شبکه تعیین می‌شود، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک موقعیت شیرهای نسبتاً بسته تعیین و در ادامه با بکارگیری الگوریتم لومبرگ مارکوارت موقعیت شیرهای تعیین شده کنترل می‌شود. بر اساس نتایج روش پیشنهادی برای تعیین موقعیت شیرها کارآمد بوده است. Khatavkar and Mays (2019) برنامه‌ریزی بهره‌برداری زمان واقعی و همزمان از شیرها و پمپ‌ها در یک شبکه نمونه در شرایط بحرانی ناشی از محدودیت انرژی یا کمبود آب به دلیل خشک‌سالی شدید را بررسی کردند. در این تحقیق، تابع هدف مسأله کمینه‌سازی اختلاف بین تقاضا و تامین با اعمال محدودیت حداقل فشار در شبکه می‌باشد. هدف تنظیم دور موتور پمپ‌ها و برنامه روشن یا خاموش بودن شیرهای متصل به تانک‌ها در طول ساعات شبانه‌روز است که برای این کار از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب روش ارائه شده برای مدیریت شرایط بحرانی در شبکه‌های توزیع آب می‌باشد. Dini and Asadi (2020a) با هدف مدیریت فشار و نشت، برنامه‌ریزی بهینه نوعی از شیرهای کنترل نسبتاً باز و بسته شونده در شبکه‌های نمونه و واقعی انجام دادند، در این تحقیق یک شاخص برای تعیین موقعیت بهینه شیرهای فرضی تعریف شده که با تعیین تعداد و موقعیت شیرها، میزان بازشدگی آنها در یک دوره زمانی ۲۴ ساعته تنظیم شده است. نتایج نشان‌دهنده بهبود بیش از ۳۲/۶ و ۳۱/۷ درصدی در قابلیت اطمینان و نشت شبکه نسبت به حالت پایه می‌باشد. Dini and Asadi (2020b) مدلی مبتنی بر بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه با اعمال برنامه زمان‌بندی بهینه تنظیم شیرهای کنترل و پمپ‌ها در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز ارائه کردند، که در آن موقعیت نصب شیرها در شبکه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص Ali (2014) و برنامه زمانی شیرها با بکارگیری الگوریتم دسته ذرات تعیین شده است و مدل بر روی یک شبکه نمونه و شبکه توزیع آب اهر پیاده شده است. با بکارگیری روش پیشنهادی در شبکه توزیع آب اهر قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه به طور متوسط در حدود ۳۳ درصد افزایش و نشت شبکه در حدود ۲۵ درصد کاهش یافته است.

همانطوری که از مطالعات انجام شده معلوم است، تعیین موقعیت بهینه شیرهای کنترل دریچه‌دار و تنظیم میزان بازشدگی آنها تأثیر قابل توجهی در مدیریت فشار و کاهش نشت در شبکه‌های توزیع آب داشته است. نکته قابل توجهی که در مورد این تحقیقات وجود دارد این است که اکثر آنها بدون توجه به امکانات بهره‌برداری در شبکه‌های توزیع آب، یک برنامه بهره‌برداری ساعتی برای تنظیم شیرها ارایه کرده‌اند که عملاً نیاز به تجهیزات الکترونیک برای تنظیم میزان بازشدگی شیرها در هر ساعت از شبانه‌روز وجود دارد و این موضوع در بسیاری از شبکه‌های موجود در ایران قابل پیاده‌سازی نیست. در این مقاله، یک رویکرد ساده برای مدیریت فشار و نشت در شبکه‌های توزیع آب با برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه شیرها ارائه شده است تا بتواند این چالش بزرگ در شبکه‌های توزیع آب را برطرف کند که به عنوان نوآوری تحقیق مطرح می‌باشد. برای این منظور در یک فرایند بهینه‌سازی با استفاده از شاخص مکانیابی شیرها و الگوریتم دسته ذرات، موقعیت مطلوب شیرها تعیین و در یک فرایند بهینه‌سازی دیگر با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان، میزان بازشدگی شیرهای منتخب تنظیم می‌شود. مدل‌سازی روش پیشنهادی با ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌ساز و شبیه‌ساز شبکه EPANET (Rossman, 2000) در محیط MATLAB انجام شده است. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی از یک شبکه نمونه و یک شبکه توزیع آب واقعی (زون سوم شبکه توزیع آب مراغه) استفاده شده و نتایج آنها به صورت ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان و نشت شبکه انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش تحقیق

روندنمایی روش تحقیق در شکل ۱ آورده شده است. بطورکلی بعد از تنظیم اولیه پارامترها و مدل‌های مورد استفاده، در یک فرایند کالیبراسیون با هدف بیشنه‌سازی قابلیت اطمینان و با استفاده از الگوریتم دسته ذرات قطر لوله‌های شبکه تنظیم می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

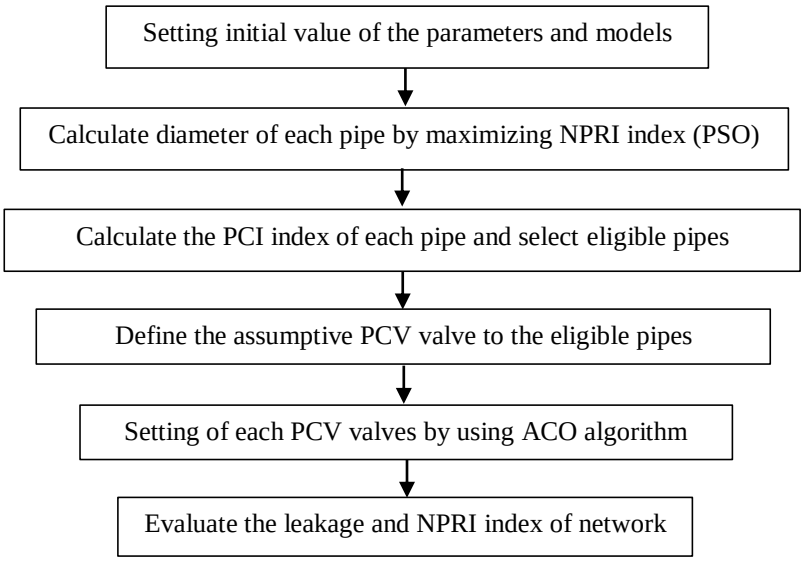

Fig. 1- Methodology flowchart
شکل ۱- روندنمای روش تحقیق

در ادامه با استفاده از شاخص مکانیابی شیرها، موقعیت لوله‌های واجد شرایط برای نصب شیرهای فرضی انتخاب و شیرها در آن موقعیت‌ها نصب می‌شوند. در انتها، میزان بازشدگی شیرهای انتخاب شده با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان و در یک فرایند بهینه‌سازی تنظیم می‌شود و در نهایت عملکرد شبکه در قالب میزان نشت و قابلیت اطمینان شبکه ارزیابی می‌شود.

۲-۲- تابع هدف

بطورکلی متغیر تصمیم مسأله تعیین موقعیت شیرها و میزان بازشدگی آنها در هر ساعت و تابع هدف مسأله بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه است. تابع هدف مسأله به صورت رابطه (۱) و (۲) می‌باشد. این رابطه برای اولین بار توسط Dini and Tabesh (2018) ارائه شده است که در آن قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه در همسایکی فشار ۳۱ متر بیشترین مقدار و در فشارهای کمتر یا بیشتر از آن، قابلیت اطمینان شبکه کاهش می‌یابد.

$$\mathrm{NPRI}(i.j)=\begin{cases}0 & \mathrm{P}<10\\ \frac{1}{32}(\mathrm{P}-10) & 10<\mathrm{P}<26\\ \frac{1}{10}(\mathrm{P}-26)+0.5 & 26<\mathrm{P}<31\\ 1 & \mathrm{P}=31\\ -\frac{1}{38}(\mathrm{P}-31)+1 & 31<\mathrm{P}<50\\ -\frac{1}{40}(\mathrm{P}-50)+0.5 & 50<\mathrm{P}<60\\ 0.25 & 60<\mathrm{P}\end{cases} \qquad (۱)$$

NPRI (I,j): میزان شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی در گره j در زمان t و P: فشار گره‌ای در گره j در زمان t است. همچنین، شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\mathrm{NPRI}=\frac{\sum_{j=1}^{NN} Q_{j.t}^{req}(\mathrm{NPRI}\ (j.t))}{\sum_{j=1}^{NN} Q_{j.t}^{req}} \qquad (۲)$$

NPRI: شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه، NN: تعداد گره‌های موجود در شبکه، Q_{req}: میزان تقاضای فشار مورد نیاز گره j در زمان t است.

۲-۳- بهینه‌سازی

بطورکلی برای بهینه‌سازی مسائل با فضای جواب پیوسته، الگوریتم دسته ذرات (PSO[7]) و برای بهینه‌سازی مسائل با فضای جواب گسسته، الگوریتم جامعه مورچگان (ACO[8]) کارائی بالاتری دارند. در این تحقیق با توجه به اینکه کالیبراسیون ضرایب شبکه در یک فضای جواب پیوسته انجام می‌شود، در فرایند کالیبراسیون شبکه برای مکانیابی بهینه شیرها از الگوریتم دسته ذرات استفاده می‌شود، همچنین با توجه به اینکه میزان بازشدگی شیرها برای سهولت تنظیم آنها در مرحله بهره‌برداری به صورت گسسته تفکیک می‌شود، لذا برای این کار از الگوریتم جامعه مورچگان استفاده می‌شود. در الگوریتم دسته ذرات، موقعیت و سرعت ذرات بـــر اساس بهترین موقعیت کلی و محلی ذرات و همچنین سرعت حرکت فعلی آنها بدست می‌آید (Eberhart and Shi., 2001):

www.SID.ir

Archive of SID

$$X_i = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (۳)$$

$$V_i(t+1) = C_1 * Rand_1 * \left(P_{i.best} - X_i(t)\right) + C_2 * Rand_2 * (P_{g.best} - X_i(t)) + W * V_i(t) \quad (۴)$$

که در آن W: ضریب وزنی حرکت در مسیر خودی که نشان‌دهنده میزان تأثیر بردار سرعت تکرار قبلی ($V_i(t)$) بر روی بردار سرعت در تکرار بعدی ($V_i(t+1)$) است، C_1: ضریب ثابت حرکت در مسیر بهترین ذره مورد بررسی، C_2: ضریب ثابت حرکت در مسیر بهترین ذره یافت شده در بین کل جمعیت $P_{i.best}$: بهترین مقدار ذره مورد بررسی، $P_{g.best}$: بهترین مقدار در بین کل ذرات، $Rand_1$، $Rand_2$: دو عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه ۰ تا ۱، $V_i(t)$: بردار سرعت و $X_i(t)$: بردار موقعیت در تکرار قبلی می‌باشد. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد سرعت حرکت یک ذره در حرکت از یک محل به محل دیگر، تغییرات سرعت را در بازه V_{min} تا V_{max} محدود می‌کنند که حد بالا و پایین سرعت با توجه به نوع مسأله تعیین می‌گردد. در این تحقیق بـرای تعیین موقعیت شیرها در شبکه از الگوریتم دسته ذرات استفاده می‌شـود. همچنین تابع احتمال تعریف شده بـرای الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان به صورت رابطه (۵) می‌باشد (Dorigo et al., 1996):

$$P_{i,j}(k.t) = \frac{[T_{i,j}(t)]^{\alpha}[U_{i,j}(t)]^{\beta}}{\sum_{j=1}^{J}[T_{i,j}(t)]^{\alpha}[U_{i,j}(t)]^{\beta}} \quad (۵)$$

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 فرومون مسیر ij در دوره t، $U_{i,j}(t)$: هدایت کننده کاوشی مسیر ij و α . β مقادیر ضرایب وزن فرومون و هدایت‌کننده 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 فرومون به صورت رابطه (۶) می‌باشد:

$$T_{i,j}(t+1) = \rho\, T_{i,j}(t) + \Delta\, T_{i,j}(t) \quad (۶)$$

که در آن ρ ضریب تبخیر فرومون، $T_{i,j}(t)$: غلظت فرومون مسیر ijدر دوره t، $T_{i,j}(t+1)$: غلظت فرومون مسیر ij در دوره $(t+1)$ و $\Delta\, T_{i,j}(t)$: اضافه فرومون مسیر ij در دوره t می‌باشد.

۲-۴- مدل‌سازی شیرها

برای تعیین موقعیت شیرها، از شاخص مکانیابی نسبت باز یا بسته بودن لوله (PCI[9]) به صورت رابطه (۷) استفاده شده است که بر اساس اهمیت لوله متناسب با دبی عبوری از لوله مورد نظر نسبت به کل نیاز شبکه و میزان باز بـودن لوله نسبت بـه حالت اولیه آن که بـه روش بهینه‌سازی بدست می‌آید، تعریف می‌شـود (Dini and Asadi, 2020a):

$$PCI_i = \left(1 - \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\frac{D_{io}^t}{D_i}\right) * \frac{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} Q_i^t}{\sum_{j=1}^{N} q_j^t} \quad (۷)$$

که در آن PCI_i: شاخص میزان بازشدگی جزئی شیر، Q_i^t: دبی عبوری از لوله i در زمان t، D_{io}^t: قطر بهینه شده لوله i در زمان t، D_i: قطر واقعی لوله i، q_j^t نشت گره j در زمان t و T: طول دوره مصرف می‌باشد.

با توجه به اینکه انواع متنوعی از شیرهای کنترل جریان و فشار در شبکه‌های توزیع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند و مقادیر مختلفی از ضرایب افت هد در شرایط مختلف بهره‌برداری به صورت نیمه‌باز در آنها وجود دارد. در این تحقیق برای سادگی مدل‌سازی، یک شیر فرضی تعریف شده است. افت هد و دبی عبوری از هر شیر فرضی در حقیقت معادل افت هد و دبی عبوری از یک لوله ۱ متری است که به ابتدای لوله مورد نظر وصل می‌شود که مشخصات آن برابر مشخصات لوله اصلی می‌باشد. متغیر تصمیم مسأله به صورت میزان بازشدگی شیرها در قالب تعیین قطر لوله‌ای به طول یک متر است که در فرایند بهینه‌سازی بر اساس بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان فشار گرهی شبکه تعیین می‌شود. ویژگی اصلی شیر فرضی، سادگی مدل‌سازی آن در فرایند برنامه‌ریزی بهینه‌سازی شیرها می‌باشد. میزان بازشدگی نیز به صورت سطح مقطع قطر انتخابی نسبت به سطح مقطع قطر اولیه لوله تعریف می‌شود. برای مدلسازی افت هد در شیرها از رابطه (۸) استفاده شده است.

$$h_k = K_v \frac{V^2}{2g} \quad (۸)$$

که در آن h_k: افت هد شیر فرضی به متر، V: سرعت متوسط جریان به صورت متر بر ثانیه و K_v: ضریب افت هد فرعی شیرها می‌باشد.

۲-۵- مطالعه موردی

در بخش مطالعه موردی، به منظور پیاده‌سازی روش پیشنهادی از شبکه اصلاح شده Jowitt and Xu (1990) استفاده شده است که مدل اصلاح شده آن برای اولین بار در تحقیق Dini and Asadi (2019) مورد استفاده قرار گرفته است. این شبکه در تحقیقات قبلی به صورت گسترده برای مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی بهره‌برداری از شیرهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Araujo et al., 2006; Ali, 2014; De Paola et al., 2017; Dini and Asadi, 2020) که دارای ۳ محزن، ۳۷ لوله و ۲۶ گره است. همچنین، روش

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهادی در بخشی از شبکه توزیع آب شهر مراغه بکار برده شده است. به‌طورکلی شبکه توزیع آب مراغه دارای پنج زون مجزا با پنج مخزن می‌باشد که در این تحقیق زون ۳ مطالعه شده است. زون ۳ از یک مخزن، ۲۶۳ لوله و ۱۷۷ گره تشکیل شده است که در زمان پیک مصرف در حدود ۱۲۵ لیتر بر ثانیه آب را به صورت ثقلی توزیع می‌کند.

۳- نتایج

۳-۱- مدل‌سازی شبکه نمونه

در این بخش، روش پیشنهادی بر روی شبکه اصلاح شده خو و جویت پیاده‌سازی شده است. ابتدا با بکارگیری شاخص PCI و در یک فرایند بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم دسته ذرات، موقعیت بهینه شیرهای فرضی تعیین شده است که در شکل ۳ مقادیر شاخص PCI به همراه حد انتخاب برای لوله‌های شبکه نشان داده شده است.

همانطوری که از نتایج شکل ۳ مشخص است در لوله‌های ۱، ۲، ۳، ۹، ۱۵، ۱۸، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۷ و ۲۹ مقادیر شاخص بزرگتر از حد انتخابی می‌باشد که دارای اولویت نصب شیر می‌باشند. از طرفی با توجه به اینکه لوله‌های ۱، ۲ و ۳ و از طرفی لوله‌های ۱۸، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ و همچنین، لوله‌های ۲۷ و ۲۹ در یک مسیر قرار دارند به ترتیب لوله‌های ۱، ۲۵ و ۲۷ برای نصب شیر انتخاب می‌شوند.

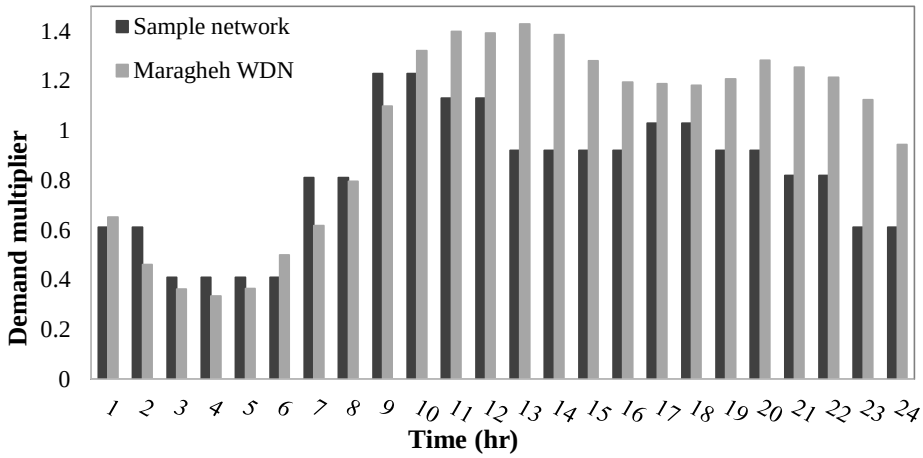

Fig. 2- The demand pattern of the sample and real networks

شکل ۲- الگوی مصرف شبکه‌های مورد مطالعه

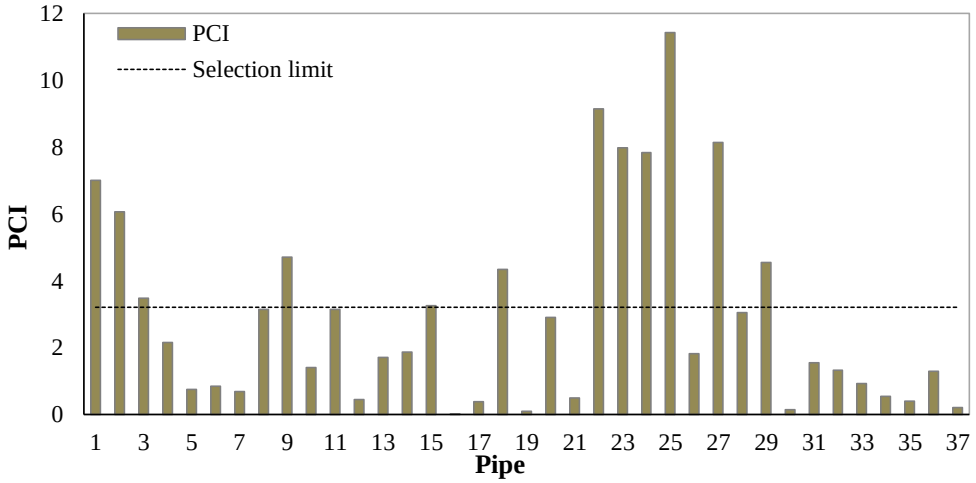

Fig. 3- PCI index values and selection limit for sample network

شکل ۳- مقادیر شاخص مکانیابی شیر و حد انتخاب در شبکه نمونه

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۴ موقعیت شیرهای فرضی بر روی چهار لوله ۱، ۱۵، ۲۵ و ۲۷ نشان داده شده است. برای صحت‌سنجی عملکرد شیرهای فرضی در شبکه نمونه، بر اساس حالت‌های مختلف بازشدگی شیرها، مقادیر ضریب افت فرعی از رابطه (۸) محاسبه و با نتایج ارائه شده برای شیرهای دروازه‌ای در کتاب Watters (1984) مقایسه شده است. در شکل ۵ مقادیر ضرایب افت هد شیرهای فرضی در مقابل میزان بازشدگی آنها در حالت حداکثر مصرف از شبکه نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد کــه در تمامی شیرهای فرضی مقادیر ضرایب افت هد کمتر از مقادیر تخمینی برای شیرهای دروازه‌ای در کتاب Watters (1984) می‌باشد و نشان می‌دهد که شیرهای واقعی می‌توانند با درجه بازشدگی بیشتر نسبت به شیرهای فرضی همان کارایی را داشته باشند. از این‌رو نتایج بدست آمده در این تحقیق در شبکه‌های واقعی با شیر واقعی نیز قابل دسترسی می‌باشد.

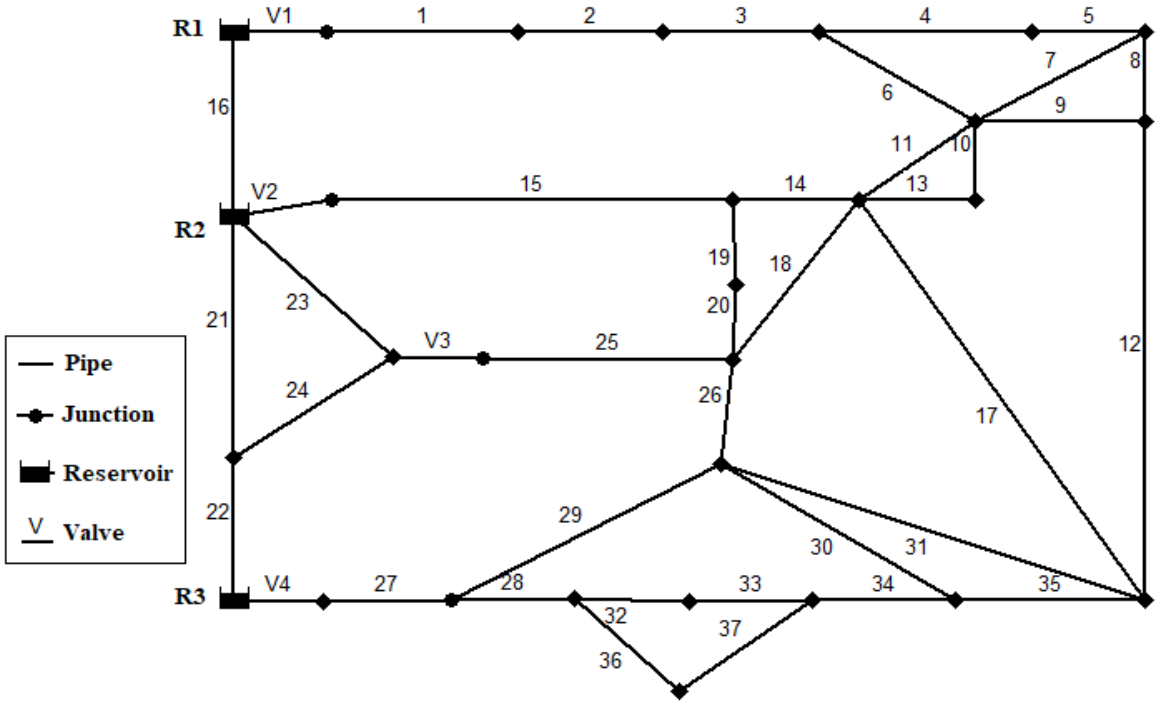

Fig. 4- The location of selected valves in the sample network

شکل ۴- موقعیت شیرهای فرضی انتخابی در شبکه نمونه

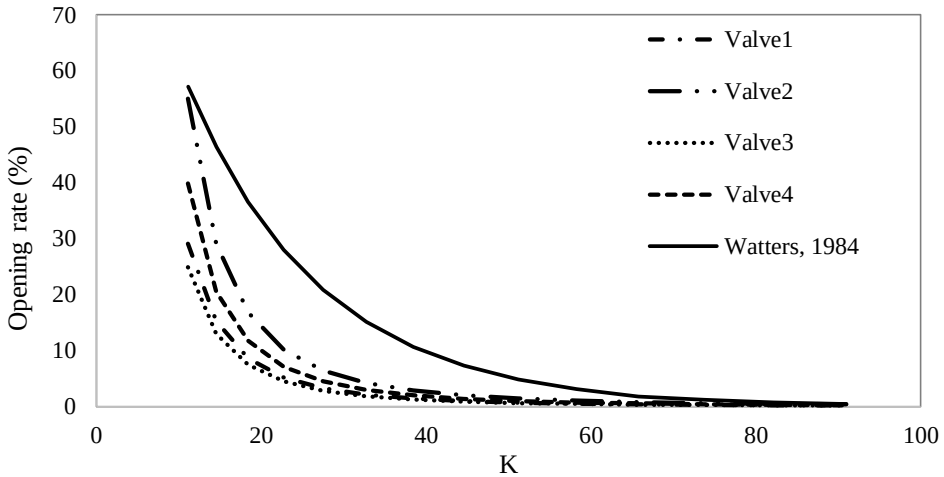

Fig. 5- The head loss coefficient of valves at the maximum water consumption

شکل ۵- ضرایب افت هد شیرهای فرضی در حالت ماکزیمم مصرف آب شبکه

www.SID.ir

Archive of SID

بعد از تعیین موقعیت بهینه شیرهای فرضی برای شبکه نمونه، در قالب یک فرایند بهینه‌سازی و با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان مقادیر بازشدگی شیرهای فرضی به صورت قطر پیشنهادی محاسبه شده است. برای این منظور فاصله بین قطر لوله و حداقل قطر ممکن (۱۵ میلی‌متر) به ۲۰ بازه مساوی تقسیم شده است و با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان بهترین انتخاب بدست آمده است. علت انتخاب حداقل قطر به این دلیل است که قطر برابر صفر میلی‌متر منجر بـــه جواب بی‌نهایت و خطای محاسباتی در مدل‌ها می‌شود که با انتخاب قطر حداقل برابر ۱۵ میلی‌متر از این مورد جلوگیری شده است. مقدار جریان عبوری با قطر حداقل ناچیز بوده و می‌توان شیر را در این وضعیت بسته در نظر گرفت. نتایج قطرهای بهینه تنظیم‌شده برای شیرهای فرضی در سه حالت حداقل، حداکثر و متوسط مصرف از شبکه به همراه قطر اولیه آنها در جدول ۱ آورده شده است.

Table 1- Optimal adjusted diameter of valves in the sample network

جدول ۱- قطرهای بهینه تنظیم شده برای شیرها در شبکه نمونه

Valve Number	D (mm)	Valve setting (mm)		
		Min	Ave	Max
Valve1	457	59	59	59
Valve2	305	44	59	15
Valve3	457	37	59	81
Valve4	381	15	52	70

در این تحقیق برای اینکه تنظیمات بدست آمده برای هر یک از شیرها قابل پیاده‌سازی در شبکه‌های مختلف با امکانات بهره‌برداری مختلف و حتی قابل پیاده‌سازی به صورت دستی باشند در طول شبانه روز یک تنظیم ثابت برای شیرها درنظر گرفته شده است، بطوری که تنظیمات بدست آمده برای حالت‌های حداقل، حداکثر و متوسط مصرف از شبکه به همه ساعت‌های شبانه‌روز در مدل دوره گسترده تعمیم داده شده است تا مناسب‌ترین حالت برای تنظیم شیرها بدست آید. به عبارت دیگر برنامه تنظیمی شیرها برای ساعت حداکثر مصرف که برای شیرهای فرضی به ترتیب برابر ۵۹، ۱۵، ۸۱ و ۷۰ میلی‌متر است برای تمامی ساعت‌های شبانه روز درنظر گرفته شده است و با این برنامه تنظیمی قابلیت اطمینان فشار گرهی و نشت شبکه ارزیابی و نتایج برای حالت‌های مختلف مقایسه شده است. نمودار ساعتی قابلیت اطمینان و نشت شبکه در حالت‌های حداقل، متوسط و حداکثر مصرف در مقایسه با حالت بدون شیر در شکل‌های ۶ و ۷ همچنین خلاصه نتایج قابلیت اطمینان و نشت ساعتی شبکه برای حالت‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است.

بر اساس نتایج جدول ۲ و با درنظر گرفتن متوسط ساعتی شاخص‌ها، بهترین مقدار قابلیت اطمینان شبکه در شرایط تنظیم شیرها در حالت متوسط مصرف و بدترین مقدار در شرایط تنظیم شیرها در حالت حداقل مصرف حاصل شده است که به ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۳۹ می‌باشد. همچنین، بهترین مقدار نشت شبکه در شرایط تنظیم در حالت حداقل مصرف و بدترین مقدار نشت شبکه در حالت بدون شیر بدست آمده است که به ترتیب برابر ۱۴/۸ و ۲۹/۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

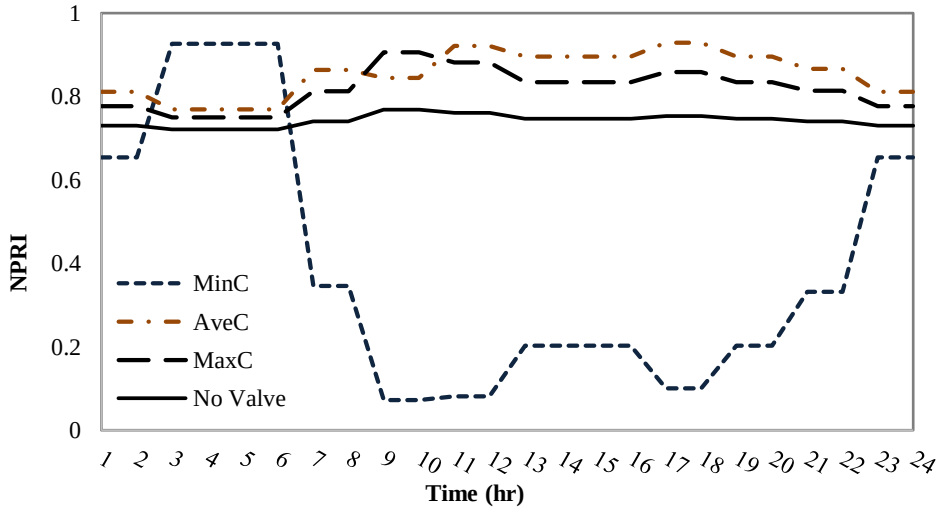

Fig. 6- The hourly reliability of the network in various status for the sample network

شکل ۶- قابلیت اطمینان ساعتی شبکه برای حالت‌های مختلف تنظیم شیرها در شبکه نمونه

www.SID.ir

Archive of SID

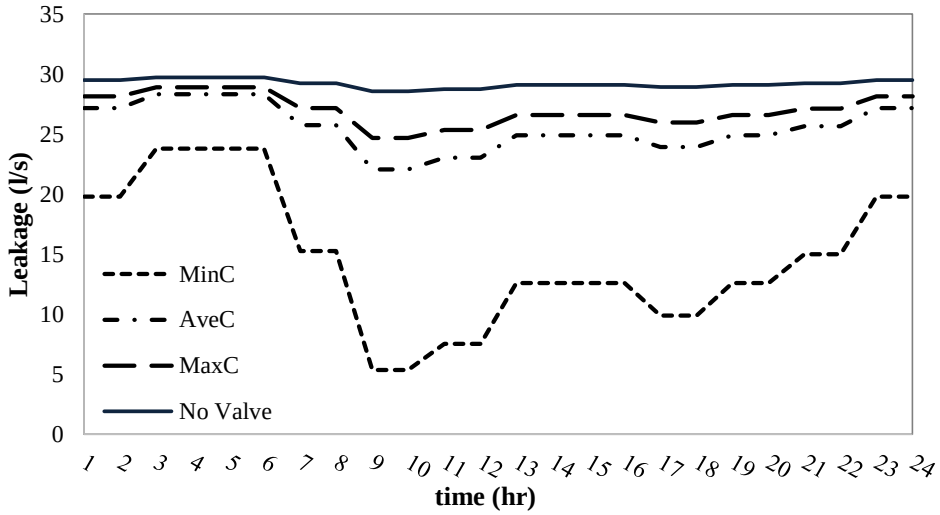

Fig. 7- The leakage of the network in various status for the sample network

شکل ۷- نشت شبکه برای حالت‌های مختلف تنظیم شیرها در شبکه نمونه

Table 2- The variation of reliability and leakage in the sample network

جدول ۲- تغییرات قابلیت اطمینان و نشت در شبکه نمونه

		No valve	MinC	AveC	MaxC
NPRI	Ave	0.74	0.39	0.86	0.82
	Min	0.72	0.07	0.77	0.75
	Max	0.77	0.93	0.93	0.91
Leakage (l/s)	Ave	29.2	14.8	25.5	27.0
	Min	28.6	5.4	22.1	24.7
	Max	29.7	23.8	28.3	28.9

بررسی تغییرات ساعتی قابلیت اطمینان و نشت شبکه در شکل‌های ۶ و ۷ و جدول ۲ نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان و نشت ساعتی شبکه در شرایط تنظیم در حالت حداقل مصرف نوسان خیلی زیادی دارد و در سایر حالت‌ها نوسان نسبی کمتری وجود دارد. بطوری که قابلیت اطمینان شبکه در شرایط تنظیم در حالت حداقل مصرف در بازه ۰/۰۷ تا ۰/۹۳ و نشت ساعتی نیز بین ۵/۴ تا ۲۳/۸ لیتر بر ثانیه متغیر است. در این میان کمترین نوسان مربوط به حالت بدون شیر است که برای قابلیت اطمینان شبکه بین ۰/۷۲ تا ۰/۷۷ و برای نشت شبکه بین ۲۸/۶ و ۲۹/۷ لیتر بر ثانیه است. در صورتی که قابلیت اطمینان برابر یا بزرگتر از ۰/۵، سرویس‌دهی قابل قبول برای شبکه‌های توزیع آب شهری در نظر گرفته شود، بر اساس شکل ۶ در شرایط تنظیم شیرهای شبکه در حالت حداقل مصرف از شبکه، در بخش بزرگی از ساعت‌های شبانه‌روز و از ساعت ۷ تا ۲۲ شبکه در وضعیت سرویس‌دهی غیرقابل قبول قرار دارد. این موضوع در نشت پایین شبکه در این ساعت‌ها نیز قابل مشاهده است چراکه افت فشار در این ساعت‌ها، باعث تنزل آبرسانی و سرویس‌دهی و در کنار آن کاهش نشت در شبکه می‌شود، با توجه به این موضوع تنظیم شیرها در حالت حداقل مصرف از شبکه و تعمیم نتایج آن به کل ساعت‌های شبانه‌روز با اینکه نشت را به شدت کاهش داده است ولی سرویس‌دهی شبکه را نیز مختل کرده است. از این رو این حالت برای برنامه‌ریزی شیرالات توصیه نمی‌شود. مقایسه این حالت با حالت بدون شیر نیز نشان می‌دهد که این نوع برنامه‌ریزی برای شیرها علاوه بر اینکه بهبودی در سرویس‌دهی شبکه ایجاد نمی‌کند بلکه باعث کاهش سرویس‌دهی شبکه نیز می‌شود، بطوری که متوسط قابلیت اطمینان شبکه از ۰/۷۴ به ۰/۳۹کاهش یافته است.

در میان وضعیت‌های تنظیم شیرها در حالت متوسط مصرف و حداکثر مصرف از شبکه، حالت متوسط مصرف بیشترین افزایش قابلیت اطمینان نسبت به حالت بدون شیر را دارد و بعد از آن حالت حداکثر مصرف شبکه قرار دارد که به ترتیب قابلیت اطمینان شبکه را از ۰/۷۴ به ۰/۸۶ و ۰/۸۲ افزایش داده‌اند به عبارت دیگر به ترتیب باعث بهبود ۱۶ و ۱۱ درصدی در عملکرد شبکه نسبت به حالت بدون شیر شده‌اند. در مجموع وضعیت تنظیم شیرها در حالت متوسط مصرف نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

حالت حداکثر مصرف عملکرد بهتری دارد و از این‌رو می‌توان از آن در برنامه‌ریزی شیرهای این شبکه استفاده کرد. مقایسه متوسط نشت شبکه در وضعیت تنظیم شیرهای شبکه در حالت متوسط و حداکثر مصرف با حالت بدون شیر نیز نشان می‌دهد که متوسط نشت شبکه از ۲۹/۲ لیتر بر ثانیه به ترتیب به ۲۵/۵ و ۲۷/۰ لیتر بر ثانیه کاهش یافته است که بهبود عملکرد ۱۲/۷ و ۷/۵ درصدی را نشان می‌دهد و از این نظر نیز حالت متوسط مصرف عملکرد بهتری نسبت به حالت حداکثر مصرف از شبکه دارد. نکته قابل توجه در مورد انتخاب بهترین وضعیت برنامه‌ریزی بهره‌برداری شیرها بر اساس حالت‌های متوسط و حداکثر مصرف می‌تواند تابعی از تغییرات ضرایب الگوی مصرف شبکه‌ها باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳-۲- مدل‌سازی شبکه مراغه

در این بخش، روش پیشنهادی بر روی شبکه تـــوزیع آب مراغه یعنی زون سوم شبکه مراغه پیاده شده است. ابتدا در یک فرایند بهینه‌سازی و با استفاده از الگوریتم دسته ذرات قطر بهینه تمامی لوله‌ها با هدف بیشنیه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه محاسبه می‌شود و با بکارگیری شاخص مکانیابی شیر (PCI)، مقادیر شاخص محاسبه می‌شود. با تعریف حد انتخاب، لوله‌های با مقادیر شاخص بیشتر از حد انتخاب به عنوان لوله‌های مستعد نصب شیر انتخاب می‌شود و با حذف لوله‌های واقع در یک مسیر، لوله‌های نهای نصب شیرها بدست می‌آید. در شبکه مراغه این فرایند به ۱۵ شیر منتهی شده است که در شکل ۸ موقعیت آنها نشان داده شده است. بعد از تعیین موقعیت بهینه شیرها، بازه تغییرات بین حداقل قطر لوله‌ها (۱۵ میلی‌متر) و قطر اولیه آنها به ۲۰ بازه مساوی تقسیم شد و با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان در قالب یک فرایند بهینه‌سازی میزان بازشدگی شیرهای فرضی محاسبه گردید. در جدول ۳ قطرهای تنظیمی شیرها به همراه قطر اولیه آنها برای حالت‌های حداقل، متوسط و حداکثر مصرف از شبکه آورده شده است.

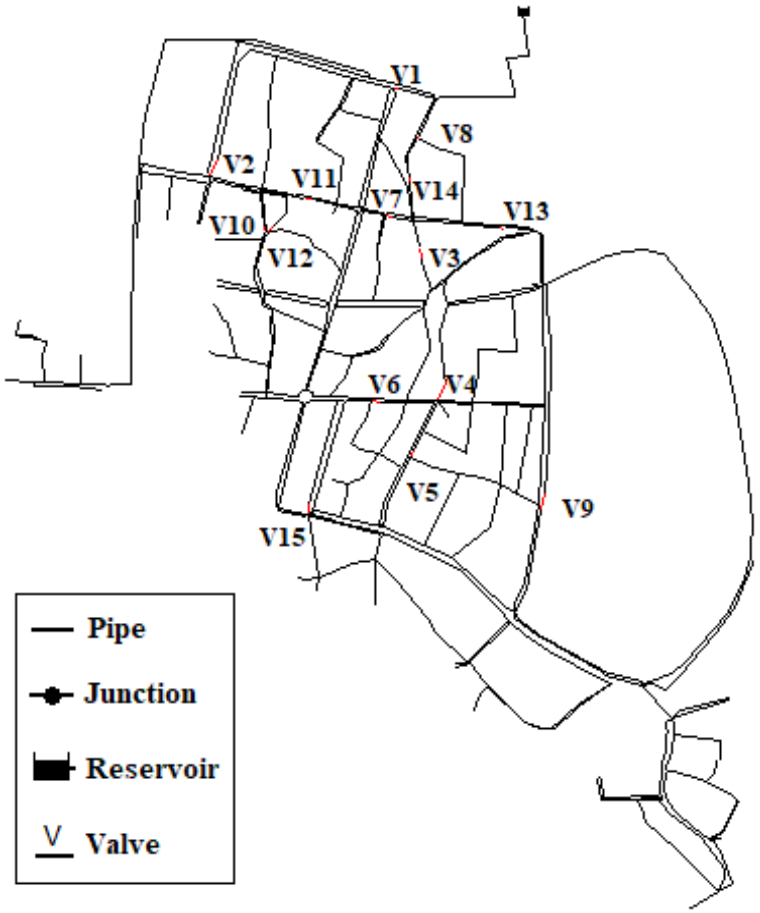

Fig. 8- The location of selected valves in the Maragheh WDN

شکل ۸- موقعیت شیرهای انتخاب شده در شبکه توزیع آب مراغه

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3- Optimal adjusted diameter of valves in the Maragheh WDN
جدول ۳- قطرهای بهینه تنظیم شده برای شیرها در شبکه توزیع آب مراغه

Valve Number	D (mm)	Valve setting (mm)		
		Min	Ave	Max
V1	500	15	15	64
V2	300	44	58	15
V3	400	54	15	15
V4	400	381	34	227
V5	288	28	15	68
V6	400	169	208	150
V7	400	304	15	15
V8	500	15	88	136
V9	400	188	381	285
V10	288	264	81	146
V11	400	246	381	54
V12	400	188	92	208
V13	400	15	34	34
V14	500	15	476	39
V15	400	362	15	15

بعد از اعمال برنامه تنظیمات شیرها در حالت‌های حداقل، متوسط و حداکثر مصرف به کل ساعت‌های روز، با یک برنامه تنظیمی ثابت روزانه، عملکرد زون سوم شبکه توزیع آب مراغه در قالب شاخص‌های قابلیت اطمینان فشار گرهی و نشت مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل‌های ۹ و ۱۰ عملکرد شبکه برای حالت‌های مختلف در مقایسه با حالت بدون شیر مقایسه شده است. همچنین، خلاصه نتایج قابلیت اطمینان و نشت شبکه در جدول ۴ آورده شده است.

بر اساس نتایج جدول ۴ و با مقایسه متوسط ساعتی شاخص‌ها مشاهده می‌شود که از نظر شاخص قابلیت اطمینان شبکه، شبکه توزیع آب مراغه در شرایط تنظیم شیرها برای حالت حداقل مصرف، بدترین عملکرد را دارد بطوری‌که قابلیت اطمینان شبکه برابر ۰/۳۷ و در وضعیت سرویس‌دهی بد قرار دارد. بررسی تغییرات ساعتی قابلیت اطمینان در شکل ۹ و برای این حالت نیز نشان می‌دهد که عملکرد شبکه بسیار نوسانی می‌باشد، بطوری که در ساعت‌های ۱ تا ۷ عملکرد قابل قبول در حدود ۰/۶۷ و در ساعت‌های ۹ تا ۲۳ عملکرد غیرقابل قبول دارد.

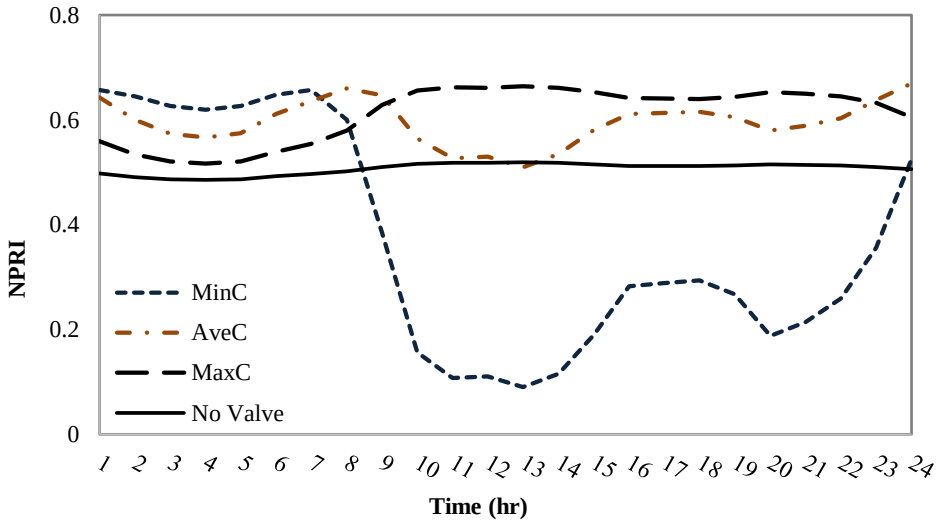

Fig. 9- The hourly reliability of the network in various status for the Maragheh WDN
شکل ۹- قابلیت اطمینان ساعتی شبکه برای حالت‌های مختلف تنظیم شیرها در شبکه نمونه

www.SID.ir

Archive of SID

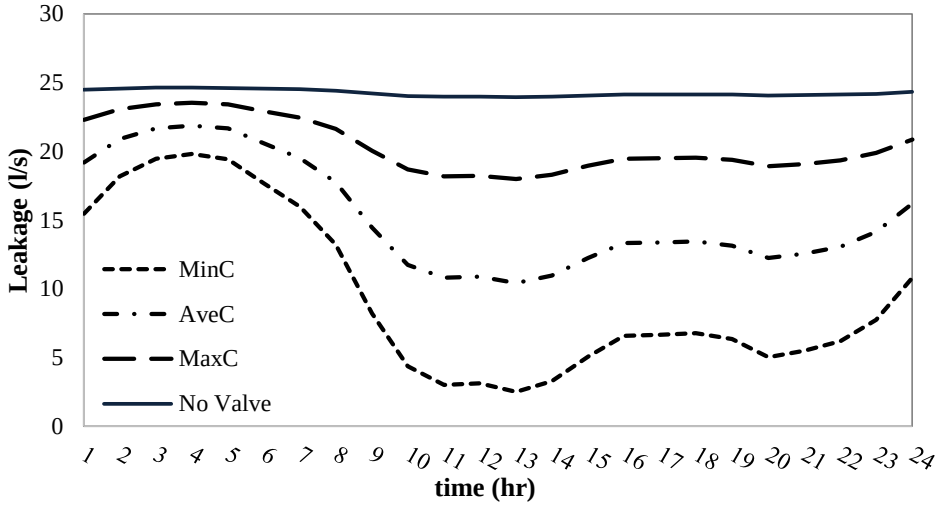

Fig. 10- The leakage of the network in various status for the sample network
شکل ۱۰- نشت شبکه برای حالت‌های مختلف تنظیم شیرها در شبکه نمونه

Table 4- The variation of reliability and leakage in the Maragheh network
جدول ۴- تغییرات قابلیت اطمینان و نشت در شبکه توزیع آب مراغه

		No valve	MinC	AveC	MaxC
NPRI	Ave	0.51	0.37	0.59	0.61
	Min	0.49	0.09	0.51	0.52
	Max	0.52	0.66	0.67	0.66
Leakage (l/s)	Ave	24.2	9.6	15.3	20.4
	Min	23.9	2.5	10.4	18.0
	Max	24.6	19.8	21.9	23.5

بطوری که در ساعت‌های اوج مصرف، قابلیت اطمینان شبکه به اعداد بسیار پایین در حدود ۰/۰۹ نیز کاهش می‌یابد. از این‌رو این حالت برای تنظیم شیرآلات کنترل و تعمیم آن به کل شبکه مناسب نمی‌باشد. مقایسه عملکرد شبکه با حالت بدون شیر نیز این موضوع را تأیید می‌کند، چراکه با نصب و تنظیم شیرالات بجای اینکه عملکرد شبکه بهبود پیدا کند، بدتر شده است. بطورمثال در حالت بدون شیر عملکرد شبکه ۰/۵۱ می‌باشد که بعد از تنظیم شیرها در حالت حداقل مصرف عملکرد شبکه ۰/۳۷ می‌باشد و بیش از ۲۷ درصد عملکرد شبکه تنزل یافته است. بررسی نشت شبکه نیز نشان می‌دهد که در این حالت متوسط نشت شبکه و در مجموع مقادیر نشت بسیار پایین است که ناشی از افت شدید فشار در شبکه و عدم آبرسانی و سرویس‌دهی مناسب شبکه بوجود آمده است.

بررسی نتایج برای تنظیم شیرهای شبکه در حالت‌های متوسط و حداکثر مصرف نشان می‌دهد که در هر دو حالت عملکرد شبکه نسبت به حالت بدون شیر بهبود پیدا کرده است، بطوری که قابلیت اطمینان شبکه از ۰/۵۱ به ترتیب به ۰/۵۹ و ۰/۶۱ افزایش یافته است، یعنی قابلیت اطمینان شبکه به ترتیب در حدود ۱۶ و ۲۰ درصد افزایش یافته است. این مسأله در مورد نشت نیز حاکم هست، بطوری که مقادیر متوسط نشت شبکه در حالت فوق نسبت به حالت بدون شیر کاهش داشته است و به ترتیب کاهش ۳۷ و ۱۶ درصدی را دارد. بررسی نتایج تغییرات ساعتی قابلیت اطمینان شبکه در شکل ۹ نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان شبکه در وضعیت تنظیم شیرها در حالت متوسط و حداکثر مصرف در تمامی ساعت‌های شبانه‌روز بیشتر از ۰/۵ و در شرایط سرویس‌دهی قابل قبول می‌باشد. مقایسه این دو حالت باهمدیگر نیز نشان می‌دهدکه بطور متوسط در حالت حداکثر مصرف قابلیت اطمینان شبکه بیشتر از حالت متوسط مصرف است. در مورد نشت آب، بر اساس شکل ۱۰ در تمامی ساعت‌های شبانه‌روز، نشت در حالت متوسط مصرف کمتر از حالت حداکثر مصرف می‌باشد. بطورکلی با توجه به اینکه هر دو حالت عملکرد شبکه را از نظر هر دو شاخص بهبود داده‌اند و با توجه به اینکه این نوع تنظیمات به دلیل ثابت بودن در طول شبانه‌روز در شیرهای PCV به سادگی و حتی به صورت دستی

www.SID.ir

Archive of SID

نیز قابل انجام است، برای بکارگیری در شبکه‌های واقعی پیشنهاد می‌شوند، تا با استفاده از تجهیزات دستی در شبکه‌های کم برخودار از تجهیزات کنترل الکترونیک نیز بتوان عملکرد شبکه را از نظر سرویس‌دهی ارتقاء بخشید.

مقایسه نتایج شبکه نمونه و شبکه واقعی بر اساس حالت‌های تعریف شده نشان می‌دهد که در هر دو شبکه، تنظیم شیرها در حالت حداقل مصرف عملکرد مناسبی ندارد و برای برنامه‌ریزی شیرآلات پیشنهاد نمی‌شود. در مقابل در هر دو شبکه، برنامه‌ریزی شیرها در حالت متوسط و حداکثر مصرف کارایی شبکه را بهبود داده است و با توجه به سادگی روش پیشنهادی برای استفاده در شبکه‌ها مناسب می‌باشد. در این میان، تصمیم‌گیری در مورد استفاده از هر یک از این حالت‌ها در شبکه‌های مختلف با مقایسه نتایج آنها ممکن خواهد بود، بطوری که بر اساس نتایج، در شبکه نمونه، تنظیم شیرها برای حالت متوسط مصرف و برای شبکه توزیع آب مراغه، تنظیم شیرها برای حالت حداکثر مصرف گزینه‌های مطلوب هستند. از طرفی خود این موضوع نیز می‌تواند بر اساس تغییرات ضریب تقاضای شبکه‌ها و نحوه نوسان آنها تعیین شود که در شکل ۱ برای هر دو شبکه آورده شده است.

بطوری که معمولاً در شبکه‌های با نوسان‌های ضرایب تقاضای کم (مقادیر حداقل و حداکثر ضرایب نزدیک به یک) مانند شبکه نمونه، تنظیم برای حالت متوسط مصرف عملکرد بهتر دارد و برای شبکه‌های با نوسان‌های ضرایب تقاضای زیاد (مقادیر حداقل و حداکثر ضرایب دور از یک) مانند شبکه توزیع آب مراغه، تنظیم برای حالت حداکثر مصرف عملکرد بهتر دارد.

همچنین، مقایسه نتایج این تحقیق با مقاله Dini and Asadi (2020a) نشان می‌دهد که در مورد شبکه نمونه و شبکه واقعی برنامه‌ریزی متغیر ساعتی شیرها در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز بجای برنامه‌ریزی ثابت روزانه تأثیر بهتری در افزایش کارایی هیدرولیکی شبکه از نظر قابلیت اطمینان فشار گرهی و نشت آب دارد، بطوری که مقادیر این دو شاخص در مقایسه با حالت پایه به ترتیب ۲۸ و ۲۳ درصد بهبود یافته است. این مورد در بهترین حالت برنامه‌ریزی شده در این مقاله به ترتیب در حدود ۱۶ و ۱۳ درصد می‌باشد. همچنین در شبکه توزیع آب مراغه برنامه‌ریزی متغیر ساعتی انجام شده در مقاله Dini and Asadi (2020a) منجر به بهبود شاخص قابلیت اطمینان و نشت آب در مقایسه با حالت پایه به میزان ۳۳ و ۳۲ درصد شده است که این مورد در این تحقیق و با برنامه‌ریزی ثابت روزانه در بهترین حالت، به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۶ درصد می‌باشد. همانطوری که مشخص است میزان بهبود کارایی هیدرولیکی شبکه در این تحقیق در هر دو شبکه کمتر از مقاله Dini and Asadi (2020a) است ولی مزیت بزرگ این رویکرد در این است که قابلیت پیاده‌سازی در تمامی شبکه‌های توزیع آب واقعی را دارد، چرا که به صورت دستی و با باز و بسته کردن نسبی شیرهای موجود در شبکه قابل انجام است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک رویکرد ساده برای مدیریت فشار و نشت در شبکه‌های توزیع آب واقعی با برنامه‌ریزی بهینه شیرهای موجود انجام شده است. برای پوشش شیرهای موجود، یک شیر فرضی تعریف شده است که تمامی مشخصات آن مشابه لوله اصلی بوده و تنها با تغییرات قطر شیر، میزان بازشدگی شیر و مقاومت موضعی آن برای کنترل جریان و فشار در شبکه تغییر می‌کند. مزیت اصلی این شیر، قابلیت تنظیم ساده آن در قالب مدل‌های بهینه‌سازی می‌باشد. برای پیاده کردن روش پیشنهادی از تلفیق الگوریتم دسته ذرات، جامعه مورچگان و نرم‌افزار EPANET در محیط MATLAB استفاده شده است.

بطوری که ابتدا با استفاده از الگوریتم دسته ذرات و شاخص مکانیابی شیر، موقعیت بهینه شیرهای فرضی و سپس با بکارگیری الگوریتم جامعه مورچگان میزان بازشدگی بهینه آنها تعیین شده است. روش پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه و یک شبکه توزیع آب واقعی پیاده شده است. از مزیت‌های عمده این رویکرد می‌توان به قابلیت بکارگیری آن در تمامی شبکه‌های توزیع آب واقعی با امکانات بهره‌برداری محدود اشاره کرد، چرا که دارای میزان بازشدگی ثابت در طول روز بوده و به صورت دستی نیز بر روی شیرهای موجود قابل اجرا است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی شیرها بر اساس حالت حداقل مصرف نتایج مناسب ندارد، اما برنامه‌ریزی بر اساس حالت متوسط و حداکثر مصرف با اینکه نسبت به برنامه‌ریزی ساعتی متغیر مطلوب نیست ولی قابل قبول است. بطوری که در بهترین حالت برنامه‌ریزی بهره‌برداری شیرها، عملکرد شبکه توزیع آب مراغه را بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان و نشت آب در مقایسه با حالت پایه به ترتیب بیش از ۱۶ و ۱۳ درصد بهبود داده است. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از رویکرد پیشنهادی به همراه زون‌بندی شبکه به زون‌های فشار یا مصرف کوچک‌تر می‌تواند در عملکرد شبکه بهبود بیشتری ایجاد کند.

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها

1-Pump as Turbines
2-District Metered Areas
3-Pressure Reducing Valves
4-Flow Control Valves
5-Partially Closed Valves
6-Throttle Control Valves
7-Particle Swarm Optimization
8-Ant Colony Optimization
9-Pipe Closure Index

۵- مراجع

Ali M E (2015) Knowledge-based optimization model for control valve locations in water distribution networks. Water Resources Planning and Management 141(1):1–7

Avila FG, Anazco AA, Jara JO, Quezada CG, Delpino LF, Fernandez LR (2019) Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves, Case study in an Andean city. Alexandria Engineering Journal 58(4):1313-1326

Araujo LS, Ramos H, Coelho ST (2006) Pressure control for leakage minimisation in water distribution systems management. Water Resources Management 20(1):133–149

Babaei N, Tabesh M, Nazif S (2015) Optimum reliable operation of water distribution networks by minimising energy cost and chlorine dosage. African Journals Online (AJOL), African Research 41(1):149-156

Creaco E, Pezzinga G (2018) Comparison of algorithms for the optimal location of control valves for leakage reduction in WDNs. Water 10(4):1-13

Dai P (2017) Optimal pump scheduling to pressure management for large-scale water distribution systems. Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences: Theory and Application 465(5):532-541

Darvini G, Soldini L (2015) Pressure control for WDS management, A case study. Procedia Engineering 119:984-993

De Marchis M, Freni G (2015) Pump as turbine implementation in a dynamic numerical model: Cost analysis for energy recovery in water distribution network. Journal of Hydroinformatics 17(3):347–360

De Paola FD, Giugni M, Portlano D (2017) Pressure management through optimal location and setting of water distribution networks using a music-inspired approach. Water Resources Management 31(5):1517–1533

Dini M, Asadi A (2019) Pressure management of large-scale water distribution network using optimal location and valve setting. Water Resources Management 33(14):4701–4713

Dini M, Asadi A (2020a) Optimal operational Scheduling of available partially closed valves for pressure management in water distribution networks. Water Resources Management 34(8):2571–2583

Dini M, Asadi A (2020b) 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 (In Persian)

Dini M, Hemmati M, Hashemi SS (2021) Maximizing the hydraulic performance of Khomam water distribution network with optimal planning of the number and speed of pumps. Journal of Water and Wastewater Doi: 10.22093/wwj.2021.275013.3118 (In press)

Dini M, Tabesh M (2017) Water distribution network quality model calibration; a case study: Ahar. Water Supply 16(5):1–13

Dini M, Tabesh M (2018) A New reliability index for evaluating the performance of water distribution network. Journal of Water and Wastewater 29(3):1-16 (In Persian)

Dini M, Tanesh M (2019) Optimal renovation planning of water distribution networks considering hydraulic and quality reliability indices. Urban Water Journal 16(4):249–258

Do NC, Simpson AR, Deuerlein JW, Piller O (2018) Locating inadvertently partially closed valves in water distribution systems. Water Resources Planning and Management 144(8):1-14

Dorigo M, Maniezzo V, Colorni A (1996) The ant system: Optimisation by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Part B: Cybern 26(1):29–41

Eberhart RC, Shi Y (2001) Particle swarm optimization: developments, applications and resources. Proc. Congress on Evolutionary Computation. 27-30 May, Seoul, Korea

Gencoglu G, Merzib N (2017) Minimizing excess pressure by optimal valve location and opening

www.SID.ir

Archive of SID

determination in water distribution networks. Procedia Engineering 186:319–326

Gheybi MA, Latifi M, Naeeini MT(O) (2017) Studying the performance of different approaches for PRVs Setting and improving reliability in water distribution networks. Journal of Water & Wastewater Science & Engineering (JWWSE) 2(3):4-13

Güngör M, Yarar U, Cantürk Ü, Fırat M (2019) Increasing performance of water distribution network by using pressure management and database integration. Pipeline Systems Engineering and Practice 10(2):1-8

Gupta A, Kulat KD (2018) Leakage reduction in water distribution system using efficient pressure management techniques. Case study: Nagpur, India, Water Supply 18(6):2015-2027

Hashemi S, Tabesh M, Ataeekia B (2014) Ant-colony optimization of pumping schedule to minimize the energy cost using variable-speed pumps in water distribution networks. Urban Water Journal 11(5):335-347

Jafari-Asl J, Malekmahmoudi M, Sami B, Montaseri H, Bahrami M (2021) Optimal management of pressure for leakage minimization in water distribution systems by Pressure Reduction Valves (PRVs). Irrigation & Water Engineering 11(42):24-35

Jowitt PW, Xu C (1990) Optimal valve control in water distribution networks. Water Resources Planning Management 116(4):455–472

Khatavkar P, Mays LW (2019) Optimization-simulation model for real-time pump and valve operation of water distribution systems under critical conditions. Urban Water Journal 16(1):45-55

Lydon T, Coughlan P, McNabola A (2017) Pressure management and energy recovery in water distribution networks: Development of design and selection methodologies using three pump-as-turbine case studies. Renewable Energy 114:1038-1050

Mehzad N, Asghari K, Chamani M (2020) Application of Clustered-NA-ACO in three-objective optimization of Water Distribution Networks. Urban Water Journal 17(1):1–13

Nazif S, Karamouz M, Tabesh M, Moridi A (2010) Pressure management model for urban water distribution networks. Water Resources Management 24(3):437–458

Page PR, Abu-Mahfouz AM, Matome M (2017) Pressure management of water distribution systems via the remote real-time control of variable speed pumps. Water Resources Planning and Management 143(8):1–11

Page PR, Zulu S, Mothetha ML (2019) Remote real-time pressure control via a variable speed pump in a specific water distribution system. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA 68(1):20-28

Patelis M, Kanakoudis V, Gonelas K (2016) Pressure management and energy recovery capabilities using PATs. Procedia Engineering 162:503–510

Rossman LA (2000) EPANET2 USERSMANUAL. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-00/057

Samir N, Kanosh R, Elbarki W, Fleifle A (2017) Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. Alexandria Engineering Journal 56:601-612

Tabesh M, Vaseti MM (2006) Leakage reduction in water distribution networks by minimizing the excess pressure. Iran-Water Resources Research 2(2):53-66 (In Persian)

Venturini M, Alvisi S, Simani S, Manservigi L (2017) Energy production by means of pumps as turbines in water distribution networks. Energies 10(10):2–13

Watters GZ (1984) Analysis and control of unsteady flow in pipelines. Butterworth, Boston, Massachusetts, USA. 19(3)

www.SID.ir