

Research Paper

Optimal Pressure Management of Water Distribution Network of Ezgele City with Emergency Connection between Pressure Zones Using NSGA-IIRasool Ghobadian^{1*},Kamran Mohammadi²¹ Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran² Assistant Professor, Department of Planning and Research Supervisory, Razi University, Kermanshah, Iran

10.22125/IWE.2022.162568

Received:

August 19, 2021

Accepted:

December 4, 2021

Available online:

December 11, 2022**Keywords:****Drinking water distribution network, Emergency connection of zones, NSGA-II, rule curve, Pressure Reduce Valve.****Abstract**

The occurrence of hydraulic problems during the repair of reservoirs in water distribution networks (WDN) is inevitable. In such cases, one of the reliable methods for water supply is emergency connection between pressure zones. However, the original design based on separated zone, loses its effectiveness and in some places, the WDN will face to increase and decrease in allowable pressure and even flow interruption. Therefore, in this study, the network analysis and determination of optimal 24-hour rule curve of pressure reduce valve (PRV) during an emergency connection between pressure zones, has been taken to reduce hydraulic difficulties. First, a computer model based on VB programming language was developed in which the network is analyzed by using slope matrix method. By linking mentioned model with the code that prepared for optimization by NSGA-II, the optimal rule curve of PRV in Ezgele WDN was determined. The results showed that in the case which lower zone reservoir become out of service and connecting node 12 of the higher zone with node 41 of the lower zone, it is necessary to install a pressure reduce valve on the outlet pipe of the higher reservoir. The optimal rule curve which was calculated during the day showed that the operating range of the pressure reduce valve is between 8 and 25 meters. The results also showed that when the higher zone reservoir is out of service during the maximum consumption, despite the connection between two zones, nodes 13 and 37 faces to absolute flow interruption and about 28% of the network suffers from pressure deficiencies in comparison to minimum allowable pressure.

1. Introduction

It can always be expected that water flow will stop during repairs in WDN renovation, or accidents that will lead to the breaking of pipelines. In this case, in order to have no interruption in necessary affairs and reduce public dissatisfaction, the emergency connection between the pressure zones of the WDN

*** Corresponding Author:** Rasool Ghobadian**Address:** Department of Water Engineering,
Razi University, Kermanshah, Iran**Email:** r_ghobadian@razi.ac.ir**Tel:** +988338323727

has been used. It is clear that in this case, a separated pressure zone is fed from another pressure zone and the entire network will experience an increase or decrease in pressure. Therefore, the approved plan of the WDN of the Ezgele city was examined in order to carry out the necessary analyzes in this field.

2. Materials and Methods

The studied area is the WDN of the Ezgele. Figure (1) shows the schematic view of the WDN and the region of pressure zones.

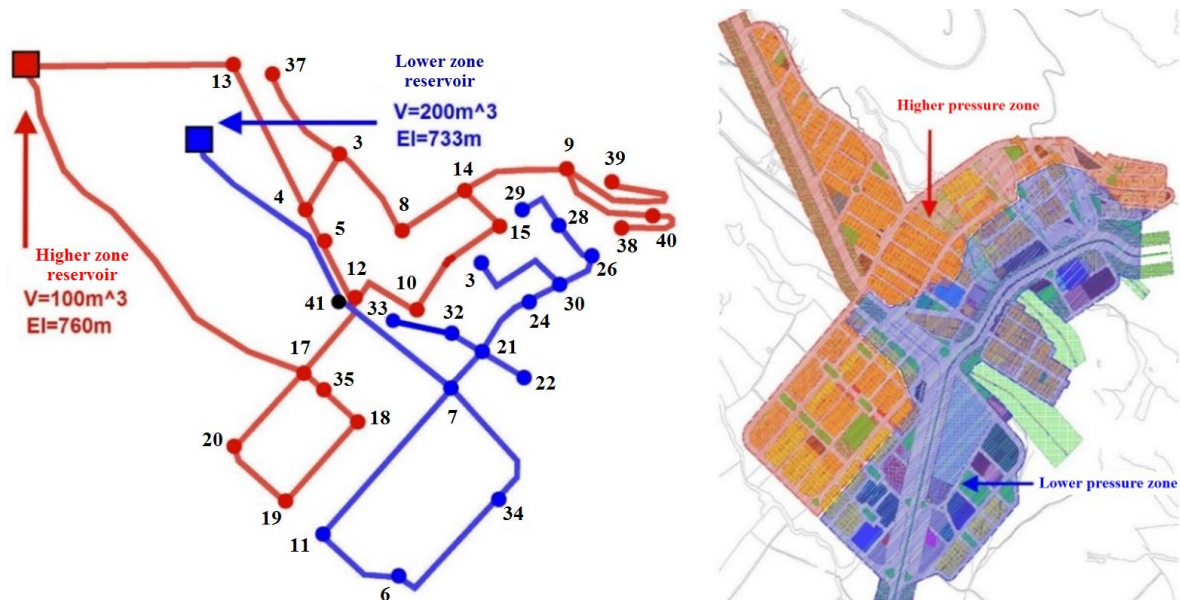


Figure 1. The study area and schematic view of higher and lower pressure zones of Ezgele WDN

In this study, in order to hydraulic analysis of WDN, the matrix form of the slope method has been used. Optimization of pressure reduce valve (PRV) rule curve has been done by NSGA-II method with two objective function presented in relations (1) and (2):

$$\min: F_1 = \sum_{i=1}^{N_j} \max(H_{max} - H_{jun(i)}, 0) \quad (1)$$

$$\min: F_2 = \sum_{i=1}^{N_j} \max(H_{min} - H_{jun(i)}, 0) \quad (2)$$

Where in, Hmin is the minimum allowable pressure of the system, Hmax is the maximum allowable pressure of the system, $H_{jun(i)}$ is the pressure at node i and N_j is the number of unknown nodes. The NSGA-II multi-objective optimization (optimizer model) and slope matrix method analysis (hydraulic analyzer model) codes were prepared in the VB programming environment and linked to each other.

3. Results

Interruption in higher zone reservoir operation

In this case, the issue is this area whether or not possible to get service from the lower zone reservoir. If the answer is positive, where should the two lower and higher zones be connected to each other and what should be the specifications of the connecting pipe. It was indicated, if a pipe with 10 m length connects node 12 of the higher zone to node 41 of the lower zone, nodes 13 and 12 of higher zone have absolutely no discharge output. Also, nodes 14 and 39 have a water pressure head less than 10 m. In general, more than 11 nodes will have a pressure head less than 20 m or the minimum required pressure for full satisfaction. In this condition, at the time of maximum consumption, 65.8% of network nodes have optimal pressure between 20 and 70 m, and 3.5% suffer lack of water.

Interruption in lower zone reservoir operation

In this situation, the total flow required by the system must be provided through the higher zone reservoir. Due to topography condition, it is necessary to use PRV. Therefore, we should determine the best output pressure from the PRV installed on the output pipe from the reservoir during 24 hours, so

that the sum of excess pressure from the allowable maximum pressure as an objective function and also the sum of pressure deficit from the allowable minimum pressure as the second objective function should be minimized.

By defining a node numbered 41 on pipe 1 at the closest location to node 4, the main connection between the higher zone and the lower zone was conducted. The model was implemented with different diameters for the connecting pipe between node 4 and node 41. The results showed that the diameter of the connecting pipe is the second important place. What is most important and has the first priority is the optimal output pressure from PRV. Figure 2 shows the calculated piezometric head immediately after the PRV for different options. The PRV should break the pressure 8.89 m (766-757.11) and 22.38 m (766-743.62) at the time of maximum and minimum consumption, respectively.

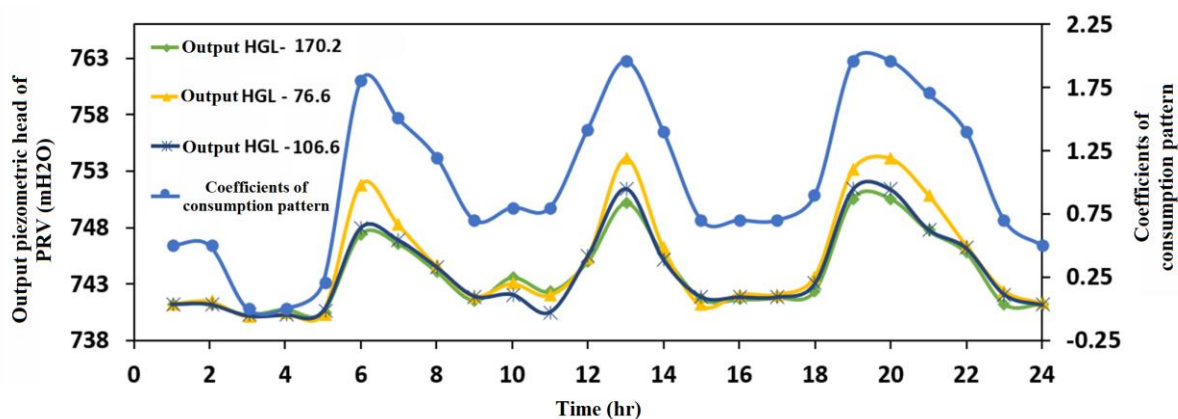


Figure 2. Variations of output pressure from the PRV (HGL) in different options and variation of consumption pattern

The minimum pressure in the critical node 37 for the diameter of the connecting pipe 76.6, 102.2 and 170.2 mm are equivalent to 17.12, 14.60 and 13.85 m, respectively. Finally, because of flow velocity and operational reasons, the diameter of 170.2 mm for the connecting pipe was chosen.

4. Discussion and Conclusion

When a problem occurs in one of the reservoirs of the WDN, the emergency connection between the pressure zones of the network can be used. Connecting the pressure zones will decrease or increase the pressure in some consumption nodes and cause dissatisfaction. Therefore, in order to determine the most suitable places to connect the two zones and also to determine the command curve of the PRV on the outlet pipe of the higher zone reservoir, analysis and optimization studies are necessary. For this purpose, a computer model was prepared, which was used to optimize the control curve of the pressure relief valve with the help of the NSGA-II method, and to analyze the WDN of the city of Ezgele with the matrix method of the slope method. The results showed that when the reservoir of the higher zone is taken out of service, connection of the lower zone to the higher zone at the time of maximum consumption, the nodes number 13 and 37 of the higher zone absolutely face a complete water amended and also more than 11 consumption nodes, have lower pressure than 20 meters. In this case, at the time of minimum consumption, it is possible to supply water to all points of the network (even in some places with minimum water pressure).

For the case of lower zone reservoir flow cutoff, the connection between node number 12 of the higher zone and node 41 of the lower zone was selected as the optimal option and the command curve of the piezometric head output from the PRV was presented during 24 hours. The pressure of the critical node i.e. node number 37 was calculated as equal to 12.6 meters in this case, except for this point, according to the command curve provided for the PRV, there is no problem at any point of the network.

5. Six important references

- 1) Artina S., Bragalli C., Erbacci G., Marchi A. and Rivi M. 2012. Contribution of parallel NSGA-II in optimal design of water distribution networks. *Journal of Hydro-informatics*. 14.2.
- 2) Atiquzzaman Md.; Liong S-Y. and Yu X. 2006. Alternative Decision Making in Water Distribution Network with NSGA-II. *Journal of water resources planning and management*, 132(2): 122-126.

- 3) Deb K., Pratap. A., Agarwal S. and Meyarivan T. 2002. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE transactions on evolutionary computation. 6, 182-197.
- 4) Elferchichi A., Gharsallah O., Nouiri I., Lebdi F. and Lamaddalena N. 2009. The genetic algorithm approach for identifying the optimal operation of a multi-reservoirs on-demand irrigation system. Biosystems Engineering. 102, 334-344.
- 5) Gullotta A., Campisano A., Creaco E. and Modica C. 2021. A Simplified Methodology for Optimal Location and Setting of Valves to Improve Equity in Intermittent Water Distribution Systems. Water Resources Management, 35:4477–4494.
- 6) Liu R., Guo F., Sun W., Wang Y., Zhang Z. and Ma X. 2021. A New Method for Optimization of Water Distribution Networks While Considering Accidents. Journal of Water, 13, 1651.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

Razi University Vice Chancellor for Research is commended for supporting this research.



مدیریت بهینه فشار شبکه توزیع آب شرب شهر از گله به هنگام ایجاد ارتباط اضطراری بین زون‌های فشاری با روش NSGA-II

رسول قبادیان^۱، کامران محمدی^۲

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۳

مقاله پژوهشی

چکیده

بروز مشکلات هیدرولیکی در زمان انجام تعمیرات مخازن در شبکه‌های توزیع آب شهری امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در اینگونه مواقع یکی از روش‌های تامین آب به صورت پایدار، ارتباط اضطراری بین زون‌های فشاری می‌باشد. با این وجود طراحی اولیه بر اساس زون‌بندی‌های مستقل کارایی خود را از دست داده و شبکه توزیع در برخی نقاط دچار افزایش و کاهش فشار مجاز و حتی قطع جریان می‌شود. بنابراین در این تحقیق نسبت به تحلیل شبکه و تعیین منحنی فرمان بهینه ۲۴ ساعته شیر فشارشکن به هنگام ایجاد ارتباط اضطراری بین زون‌های فشاری با هدف کاهش مشکلات هیدرولیکی اقدام شده است. ابتدا مدلی کامپیوتری در محیط برنامه‌نویسی و ویژوال بیسیک کدنویسی شد که در آن به کمک روش ماتریسی شیب شبکه تحلیل می‌شود. با لینک مدل مذکور با کد تهیه شده برای بهینه‌سازی به روش NSGA-II منحنی فرمان بهینه شیر فشارشکن شبکه توزیع هنگام اتصال زون مرتفع به پست تعیین گردید. نتایج این تحقیق نشان داد در شرایط خروج مخزن زون پست از سرویس‌دهی و اتصال گره شماره ۱۲ ناحیه مرتفع با گره ۴۱ ناحیه پست، لازم است بر روی لوله خروجی از مخزن مرتفع شیر فشارشکن نصب شود. منحنی فرمان بهینه محاسبه شده در طول شبانه روز نشان داد محدوده عملکرد شیر فشارشکن بین ۸ تا ۲۵ متر است. همچنین نتایج نشان داد در حالت خروج مخزن زون مرتفع از سرویس‌دهی با وجود اتصال بین دو زون در زمان حداکثر مصرف، گره‌های شماره ۱۳ و ۳۷ مطلقاً با قطعی کامل آب مواجه می‌شوند و حدود ۲۸ درصد از شبکه دچار کمبود فشار از حد مجاز می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع آب شرب، ارتباط اضطراری زون‌ها، NSGA-II، منحنی فرمان، شیر فشارشکن

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ۰۹۱۸۸۳۳۲۴۸۹، r_ghobadian@razi.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- استادیار گروه برنامه‌ریزی و نظارت پژوهشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، k_mohammadi@razi.ac.ir

مقدمه

همواره قطع شدن آب در زمان انجام تعمیرات به منظور اصلاح و نوسازی و یا رخ دادن حوادث و اتفاقاتی که منجر به شکستگی خطوط لوله یا خروج مخازن ذخیره از سرویس‌دهی می‌شوند، قابل انتظار خواهد بود. به موارد فوق می‌توان زلزله را نیز اضافه کرد که به هنگام وقوع می‌تواند باعث خسارت در مولفه یا مولفه‌هایی از شبکه توزیع آب شرب شده و موجب نقصان در عملکرد شبکه شود. در این حالت و به منظور کاهش ناراضیاتی عمومی، آبرسانی به نقاط حساس و استراتژیک و همچنین امکان خدمت‌رسانی توسط ارگان‌های امدادی در موقع قطع شدن آب از یک مخزن ذخیره آب شبکه، از ارتباط اضطراری بین زون‌های فشاری شبکه توزیع آب شرب استفاده نموده و از مخزن و خطوط لوله زون فشاری دیگر، به طور موقت تا برطرف شدن مشکل، آب مورد نیاز زون فشاری آسیب دیده را تامین می‌نمایند. واضح است در این حالت که یک زون فشاری تفکیک شده، از زون فشاری دیگری تغذیه می‌شود، کل شبکه دچار افزایش یا کاهش فشار شده و در برخی نقاط با قطعی آب مواجه خواهد شد. لذا برای این منظور طرح مصوب شبکه توزیع آب شرب شهر ازگله مورد بررسی قرار گرفت تا قبل از اجرا تحلیل‌های لازم در این زمینه بر روی آن صورت پذیرد، چرا که شبکه توزیع آب این شهر به نوعی فرسوده بوده و امکان بروز حوادث در آن بالا می‌باشد. همچنین شهر ازگله نزدیکترین شهر به کانون زلزله قدرتمند ۷/۳ ریشتری سال ۱۳۹۶ بوده (۵ کیلومتر) و از این لحاظ نیز مستعد تخریب و نقصان در شبکه توزیع آب شرب خواهد بود. در تحلیل‌های صورت گرفته بر روی شبکه توزیع آب شرب، (موسوی مولائی و معینی، ۱۳۹۱) شبکه توزیع آب را با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه به صورت بهینه‌سازی شده طراحی نمودند. در این تحقیق قطر لوله‌ها بعنوان متغیر تصمیم مساله انتخاب و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان قطر تمامی لوله‌های شبکه تعیین شد. (بازرگان لاری و همکاران، ۱۳۹۳) توسط مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی، برای مدیریت مناسب امنیت

شبکه‌های توزیع آب شهری در پی تزریق یک آلاینده سمی در آب شرب یک شهر به عنوان نمونه در پی یک حمله تروریستی پرداختند. در این تحقیق از تحلیل مونت‌کارلو در لحاظ عدم قطعیت‌ها در تزریق آلودگی استفاده شد. به عنوان نتیجه، بهترین نقطه‌های پایش برای این شهر مورد مطالعه تعیین شد. (مازندرانی‌زاده، ۱۳۹۵)، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II به طراحی سیستم‌های زهکشی با رویکرد اقتصادی - زیست‌محیطی پرداخت. در این مطالعه ارائه مدلی به منظور تعیین متغیرهای طراحی زهکش شامل قطر، عمق و فاصله نصب لوله‌ها ارائه شده است که ضمن توجه به محدودیت‌های هیدرولیکی، طراحی زهکش دربرگیرنده اهداف کاهش هزینه‌های اجرایی و افزایش کیفیت زه‌آب‌خروجی به صورت توأم است. (سهرابی و همکاران، ۱۳۹۹) به توسعه مدل شبیه‌ساز - بهینه‌ساز دو هدفه برای طراحی بهینه ابعاد هندسی و شیب سرریز پلکانی سد سیاه‌بیشه بالا با استفاده از الگوریتم NSGA-II پرداختند. نتایج بهینه‌سازی چند هدفه نشان داد که در طراحی فعلی سرریز سد سیاه‌بیشه بالا، هم معیار انرژی باقیمانده و هم معیار هزینه و حجم سرریز به خوبی لحاظ گردیده‌اند. (قبادیان، ۱۳۹۹)، حالت جریان ماندگار در شبکه‌های آبرسانی را با استفاده از حل عددی معادلات جریان‌های غیرماندگار به روش خطوط مشخصه مورد تحلیل قرار داد. این روش به شرایط اولیه حساس نبوده و بر خلاف روش‌های شیب و نیوتن - رافسون در تحلیل شبکه‌های توزیع آب، چنانچه دبی یکی از لوله‌های سیستم صفر باشد واگرا نمی‌شود و همچنین برای شروع محاسبات نیازی به برقراری شرط پیوستگی در محل گره‌ها ندارد. (تاجی الیاتو و یزدی، ۱۴۰۰) برخی شاخص‌های عملکردی در شبکه آبرسانی بر پایه معیارهای اطمینان‌پذیری هیدرولیکی و مکانیکی را بوسیله الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد شاخص عملکرد انعطاف‌پذیری شبکه (NRI) و شاخص عملکرد فشار گره‌ای (PIP) بطور میانگین فشار بیشتری را نسبت به شاخص‌های دیگر در شبکه ایجاد کرده‌اند و انرژی



مازاد در شبکه را افزایش داده‌اند.

(Atiquzzaman et al., 2006) به کمک روش NSGA-II که با نرم‌افزار EPANET کوپل شده است، الگوریتم تصمیم‌ساز جایگزینی را در شبکه‌های توزیع آب معرفی نمودند. در این تحقیق بهینه‌سازی شبکه بر اساس حداقل قیمت تمام شده و حداقل کمبود فشار در گره‌ها انجام پذیرفته است. (Li et al., 2012) به منظور بهینه‌سازی شبکه توزیع آب به لحاظ اقتصادی و قابل اطمینان بودن شبکه از نظر تامین آب از الگوریتم چند هدفه بهینه‌ساز NSGA-II استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل بهینه‌ساز چند هدفه بر اساس NSGA-II به شکل قابل قبولی می‌تواند مسائل بهینه‌سازی مربوط به شبکه‌های توزیع آب شرب را حل نماید. (Artina et al., 2012) به منظور کاهش زمان محاسبات شبکه توزیع آب شرب به کمک الگوریتم‌های بهینه‌ساز، روش بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II را به صورت موازی با حل معادلات شبکه توزیع به کار بردند. در این حالت، سرعت مناسب محاسبات و بهبود کارایی الگوریتم حاصل شد. نتایج نشان داد زمانی که الگوریتم بهینه‌سازی به صورت جداگانه و موازی عمل می‌کند، در برخی پارامترها نتایج بهتری نسبت به زمانی که با الگوریتم اصلی به صورت سری عمل می‌کند حاصل می‌گردد.

(Reca et al., 2017) یک روش جدید به منظور افزایش کارایی روش‌های اکتشافی در طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب ارائه کردند. این روش شامل کاهش فضای جستجو با محدود کردن تعداد قطرهای که می‌توانند استفاده شوند و ترکیب آن با روش الگوریتم ژنتیک بود. (Mala-Jetmarova et al., 2018) بصورت سیستماتیک حدود ۱۲۰ تحقیق انجام شده در سه دهه قبل را بررسی کردند. این تحقیقات در خصوص طراحی شبکه‌های جدید، توسعه و تقویت شبکه‌های موجود از نقطه نظر زمان‌بندی طراحی، عدم قطعیت پارامترها، کیفیت آب و ملاحظات بهره‌برداری می‌باشند. (Jun & Kwon, 2019) به کمک دو روش به بررسی نقاط بهینه پایش فشار در شبکه توزیع آب پرداختند. با استفاده از روش آنالیز حساسیت تغییر فشار در یک گره ناشی از تغییر دبی در گره‌های دیگر و همچنین به کمک روش آنالیز سهم فشار، مجموع سهم فشار یک گره

ناشی از تغییر دبی در گره دیگر محاسبه گردید. سپس با قرار دادن نشت در نقطه‌ای معین، نتایج به دست آمده از تغییرات فشار پایش شده با این روش با روش جریان‌های غیرماندگار مقایسه شد که نتایج خوبی حاصل گردید. (Choi & Kim, 2019) مدلی خودسازگار را بر مبنای بهینه‌سازی تک و چند هدفه به منظور طراحی شبکه توزیع آب شرب ارائه دادند. در این مطالعه آزمایش دقیق عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی تازه که به روشی کاملاً ساده عمل می‌نمایند ارائه شده است. (Cao et al., 2019) جانمایی هم‌زمان سنسورهای فشار و شیرهای فشارشکن به منظور کنترل فشار در شبکه‌های توزیع آب شرب را بررسی نمودند. در این تحقیق فرآیندی برپایه روش k-mean++ برای تعیین هم‌زمان تعداد و موقعیت سنسورهای فشار و شیرهای فشارشکن به کار برده شده است. نتایج روش ارائه شده نشان داد سنسورهای قرار داده شده با دقت بالایی فشار را نمایش داده و همچنین شیرهای جانمایی شده، به مقدار قابل توجهی فشار را کاهش خواهند داد. (Wang et al., 2019) به پارامترسازی الگوریتم NSGA-II به منظور طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب پرداختند. در این تحقیق مشخص شد مقدار جمعیت شاخصی می‌باشد که مقدار اولیه آن بیشترین اثرگذاری را بر روی NSGA-II دارد. به علاوه مشخص شد شاخص‌های توزیع هم‌گذری و جهش، تاثیر بیشتری نسبت به آنچه احتمال داده می‌شد دارند، در حالی که این موضوع در تحقیقات قبل مورد توجه قرار نگرفته بود. (Gullotta et al., 2021) روشی ساده‌سازی شده برای تعیین محل و تنظیم بهینه شیرها به منظور بهبود شبکه‌های توزیع آب ارائه نمودند. آنها نتایج الگوریتم‌های ارائه شده SA را با نتایج الگوریتم NSGA-II مقایسه نمودند که نتایج کاملاً مشابه بود. (Liu et al., 2021) روش جدیدی را به منظور بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب به هنگام وقوع اتفاقات ارائه کردند. در این روش آنها به طور هم‌زمان از تکنیک‌های بهینه‌سازی تک هدفه و چند هدفه استفاده نمودند.

بنابراین با توجه به موارد فوق‌الذکر، علاوه بر بهینه‌سازی فشار در شبکه برای حالت عادی، نظر به تحت ریسک بودن شبکه توزیع آب شهر از گره و امکان استفاده از ارتباط اضطراری بین زون‌های فشاری بعد از وقوع حوادث احتمالی،

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شبکه توزیع آب شرب شهر ازگله با ارتفاع متوسط ۷۰۲ متر از سطح دریا از توابع شهرستان ثلاث باباجانی واقع در استان کرمانشاه می‌باشد که در فاصله ۲۰۰ کیلومتری شمال غرب مرکز استان یعنی شهر کرمانشاه قرار دارد (شکل ۱). خصوصیات طرح آبرسانی به این شهر برای افق طرح سال ۱۴۲۵ در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین شکل (۲) فرم کلی شبکه آبرسانی و محدوده زون‌های فشاری شهر که شامل دو زون مرتفع و پست می‌باشد را نشان می‌دهد. یادآور می‌شود مخزن ۱۰۰۰ مترمکعبی پیشنهادی به دلیل اینکه نقشی در هد فشاری شبکه توزیع ندارد، از تحلیل حاضر حذف گردیده است.

مدیریت فشار، تحلیل و بهینه‌سازی برای حالت ارتباط اضطراری بین زون‌های فشاری انجام پذیرد. لذا در این تحقیق طرح مصوب شبکه توزیع آب شرب شهر ازگله که به صورت دو زون فشاری تفکیک شده جداگانه می‌باشد، ابتدا توسط مدلی کدنویسی شده در محیط برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک به کمک لینک روش بهینه‌سازی دوهدفه NSGA-II و روش تحلیل شبکه ماتریسی شیب، شبیه‌سازی شده و نتایج آن با مدل WaterGEMS مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. سپس شبکه شهر مذکور برای حالت ارتباط اضطراری بین دو زون تحت طراحی و تحلیل قرار گرفته و نهایتاً نقاط قرارگیری فشارشکن‌ها و منحنی‌های فرمان ۲۴ ساعته مربوط به هر کدام از شیرها در طول شبانه روز و با توجه به الگوی مصرف روزانه برای حالت بهینه ارائه شده است تا در زمان اضطرار بهینه‌ترین حالت ممکن را از لحاظ آبرسانی در اختیار داشته باشیم.

نقشه شهرستان ثلاث باباجانی به تفکیک دهستان

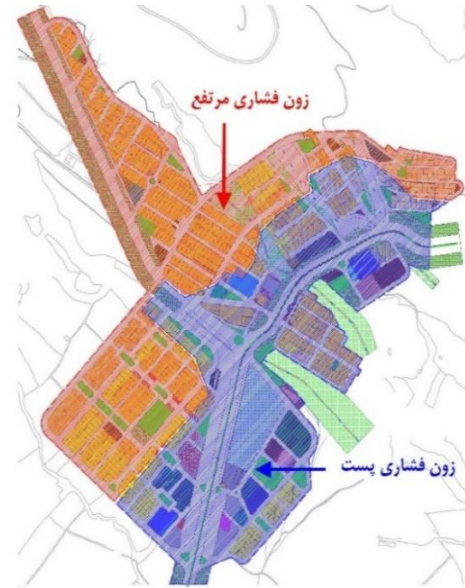
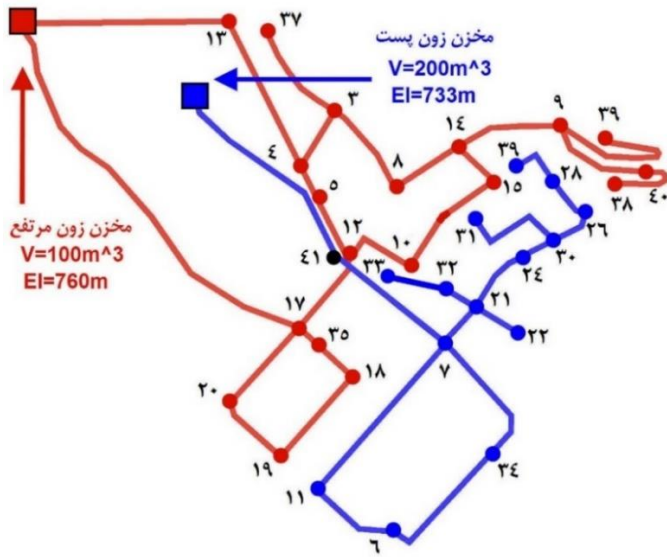


شکل (۱): موقعیت شهر ازگله در استان کرمانشاه و شهرستان ثلاث باباجانی

جدول (۱): خصوصیات طرح آبرسانی به شهر ازگله برای افق طرح ۱۴۲۵

جمعیت (نفر)	متوسط مصرف سرانه (لیتر در روز به ازای هر نفر)	حداکثر دبی روزانه (لیتر بر ثانیه)	حداکثر دبی ساعتی (لیتر بر ثانیه)	حجم مخازن (متر مکعب)	حداقل و حداکثر ارتفاع گره‌ها در زون فشاری پست	حداقل و حداکثر ارتفاع گره‌ها در زون فشاری مرتفع	اختلاف ارتفاع کل شبکه
۵۵۲۹	۱۷۱	۲۰	۳۷	۳۰۰*	۷۰۲ - ۶۷۸ m	۶۹۶ - ۷۲۶ m	۴۸ m

*: از این مقدار، ۱۰۰ و ۲۰۰ مترمکعب برای زون‌های فشاری به ترتیب مرتفع و پست موجود است



شکل (۲): محدوده و نمای شماتیک زون‌های فشاری مرتفع و پست شبکه توزیع آب شرب شهر ازگله

مشخص است. آرایه‌های این ماتریس نیز مشابه ماتریس A_{12} تعریف می‌شود ولی برای گره با هد مشخص، H_0 ماتریس گره با هد ثابت، H ماتریس هد گره‌های نامشخص، Q ماتریس دبی لوله‌ها و q ماتریس دبی تقاضا می‌باشد (Elferchichi et al., 2009). ماتریس A_{21} ترانهاده ماتریس A_{12} می‌باشد.

پس از ساده‌سازی، ماتریس هد در گره‌ها و دبی در لوله‌ها برای تکرار بعدی بصورت زیر خلاصه می‌شود:

$$H^{k+1} = -(A_{12}N^{-1}A_{11}^{-1}A_{12})^{-1}\{A_{12}N^{-1}(Q^k + A_{11}^{-1}A_{10}H_0) + (q - A_{21}Q^k)\} \quad (۳)$$

$$Q^{k+1} = (1 - N^{-1})Q^k - N^{-1}A_{11}^{-1}(A_{12}H^{k+1} + A_{10}H_0) \quad (۴)$$

که در آنها N^{-1} معکوس ماتریس قطری N می‌باشد:

$$N = \begin{bmatrix} n_1 & 0 & 0 \\ 0 & n_2 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots n_n \end{bmatrix} \quad (۵)$$

که در آن n توان دبی در رابطه افت اصطکاک می‌باشد (Todini and Pilati, 1988) $(hf = H - H_j = R_i Q_i^n)$. با فرض مقادیری اولیه برای دبی لوله‌ها (Q^k) و حل رابطه (۳) مقادیر هد در گره‌های مجهول در تکرار بعدی محاسبه می‌شوند. سپس با جایگزینی این مقادیر در رابطه (۴) دبی لوله‌های در تکرار بعد محاسبه می‌شود. مقادیر جدید جایگزین مقادیر فرضی شده و محاسبات مجدداً تکرار می‌شود. محاسبات زمانی خاتمه می‌یابد که مجموع مربعات

مدل تحلیل گر شبکه

در این تحقیق به جهت تحلیل شبکه توزیع آب شرب و محاسبه دبی و فشار در لوله‌ها و گره‌های شبکه، از شکل ماتریسی روش شیب استفاده شده است. تکنیک مذکور بصورت رابطه زیر ارایه شده است:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ q \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در آن:

$$A_{11} = \begin{bmatrix} R_1|Q_1|^{n_1-1} & 0 & 0 \\ 0 & R_2|Q_2|^{n_2-1} & 0 \\ 0 & 0 & \ddots R_{np}|Q_{np}|^{n_{np}-1} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

A_{12} ماتریس اتصال لوله‌ها است که ارتباط هر لوله را با گره‌های مجهول سیستم نشان می‌دهد. این ماتریس به ابعاد np سطر و mn ستون می‌باشد که در آن np برابر تعداد لوله‌ها و mn تعداد گره‌ها با هد نامشخص می‌باشد. آرایه‌های این ماتریس به شکل زیر تعریف می‌شوند: $A_{12_{ij}} = \begin{cases} 1 \\ -1 \\ 0 \end{cases}$. یک برای حالتی که دبی لوله i وارد گره j می‌شود، منفی یک برای حالتی که دبی لوله i از گره j خارج می‌شود و صفر یعنی اینکه لوله i با گره j ارتباط ندارد. ماتریس A_{10} ماتریس اتصال گره‌ها با هد مشخص است که ارتباط هر گره را با لوله‌های سیستم نشان می‌دهد. این ماتریس به ابعاد np سطر و no ستون می‌باشد که در آن no تعداد گره با هد

جدیدی از کروموزوم‌ها با استفاده از یکی از روش‌های انتخاب والدین و اعمال تبادل ژنی تولید شده و جایگزین کروموزوم‌های بد می‌شوند. در سپس معیار همگرایی کنترل می‌شود. اگر کروموزوم‌های GA در جبهه پارتو (Pareto Front) به میزان کافی باهم مشابه باشند، بهینه‌سازی تمام می‌شود و در غیر این صورت الگوریتم با جمعیت جدید تکرار می‌شود. پس از اتمام بهینه‌سازی، پاسخ‌های بهینه پارتو که اعضای دسته اول در جمعیت جواب‌ها هستند بدست می‌آیند. با استفاده از این پاسخ‌ها می‌توان جواب مناسب را با مد نظر قراردادن مقادیر توابع هدف در سطح مطلوب، از جبهه پارتو انتخاب نمود (Deb et al., 2002). در این تحقیق، بهینه‌یابی منحنی فرمان شیر فشارشکن به روش NSGA-II با دو هدف ارایه شده در روابط (۷) و (۸) انجام شده است:

$$\min: F_1 = \sum_{i=1}^{N_j} \max(H_{max} - H_{jun(i)}, 0) \quad (7)$$

$$\min: F_2 = \sum_{i=1}^{N_j} \max(H_{min} - H_{jun(i)}, 0) \quad (8)$$

در این روابط H_{min} حداقل فشار مجاز سیستم، H_{max} حداکثر فشار مجاز سیستم، $H_{jun(i)}$ فشار در گره i و N_j تعداد گره‌های مجهول می‌باشد. به منظور طراحی تهیه منحنی فرمان شیر فشارشکن در شبکه توزیع آب شهری حاضر، در محیط برنامه‌نویسی ویزوال بیسیک کدهای مربوط به بهینه‌سازی دو هدفه NSGA-II و تحلیل شبکه به روش ماتریسی شیب تهیه و به همدیگر لینک شدند. تمام ورودی‌های مورد نظر از قبیل مشخصات ژئومتری شبکه، قطر لوله‌ها، لایوت شبکه و ... در محیط اکسل و بصورت شیت‌های مجزا برای هر یک از مشخصات وارد و در متن برنامه فراخوانی می‌شوند.

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل تحلیل‌گر

جهت صحت‌سنجی مدل کدنویسی شده تحلیل شبکه به روش ماتریسی شیب که قبلاً به شکل مفصل در مورد آن توضیحاتی ارائه شد، از مقایسه نتایج تحلیل شبکه به وسیله مدل مذکور با خروجی مدل معتبر WaterGEMS استفاده

اختلاف مقادیر جدید با مقادیر حدس قبلی از مقداری معین که توسط کاربر تعیین می‌شود کمتر باشد.

مدل بهینه‌ساز

بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II در واقع الگوریتم حل مساله بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمغلوب (NSGA) بر مبنای الگوریتم تکاملی ژنتیک (GA) توسط (Deb et al., 2002) پایه‌ریزی شده است. در این روش همانند روش GA یک جمعیت اولیه از متغیرهای تصمیم‌گیری بصورت تصادفی در فضای مجاز ایجاد می‌گردد. هر عضو این جمعیت که شامل مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم‌گیری می‌باشد، یک کروموزوم نامیده می‌شود. مقادیر توابع هدف برای هر کروموزوم محاسبه می‌شود. سپس جمعیت بر مبنای معیار مرتب‌سازی غیرمغلوب دسته‌بندی می‌شوند. به این شکل که اعضای موجود در دسته اول، یک مجموعه کاملاً غیرمغلوب توسط دیگر اعضای جمعیت فعلی می‌باشند. اعضای موجود در دسته دوم نیز بر همین مبنای تنها توسط اعضای دسته اول مغلوب شده و این روند به همین صورت در دسته‌های دیگر ادامه یافته تا به تمام اعضای موجود در هر دسته، یک رتبه بر مبنای شماره دسته اختصاص داده شود. این رتبه مبنای مرتب‌سازی غیرمغلوب است. پارامتر کنترلی فاصله ازدحام برای هر عضو داخل هر دسته با استفاده از توابع هدف زیر محاسبه می‌شود (Bakhshi Ani et al., 2015).

$$d_j(k) = \sum_{i=1}^2 \frac{f_i(k-1) - f_i(k+1)}{f_i^{max} - f_i^{min}} \quad (6)$$

که در آن k شماره عضو، $d_j(k)$ فاصله ازدحام عضو، k و $k+1$ شماره اعضای کناری عضو مورد نظر در دسته مربوطه، F_i تابع هدف i ام و F_i^{max} و F_i^{min} بترتیب مقدار حداکثر و حداقل تابع نام در دسته مورد نظر است. پارامتر فاصله ازدحام نشان‌گر اندازه‌ای از نزدیکی عضو به دیگر اعضای جمعیت در هر دسته می‌باشد. حال اعضای داخلی هر دسته، بر اساس معیار فاصله ازدحام مرتب‌سازی می‌شوند. به این صورت که عضو دارای مقدار d_j بیشتر، در رتبه بالاتری در دسته قرار می‌گیرد. در مرحله بعد، نسل

برای حل چند مسئله مقید و نامقید ریاضی مطرح شده توسط

(Deb et al., 2002) مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به یک نمونه اشاره می‌شود. در این مسئله بهینه‌سازی دو هدفه مقید که در مقاله (Deb et al., 2002) با نام CONSTR نام‌گذاری شده است، هدف پیدا کردن مقادیر x_1 ، x_2 به ترتیب در محدود $0/1$ تا $1/0$ و $0/0$ تا $5/0$ می‌باشد، بگونه‌ای که توابع f_1 و f_2 در روابط (۹) و (۱۰) کمینه شوند. قیود مسئله در روابط (۱۱) و (۱۲) ارائه شده‌اند.

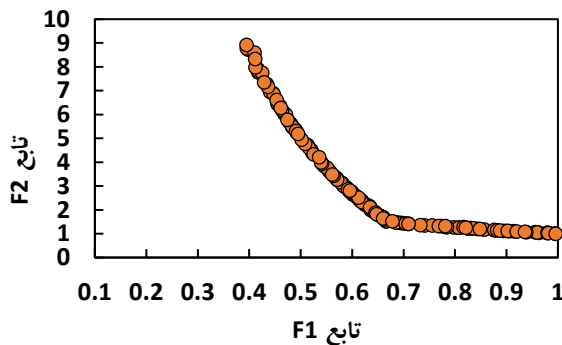
$$f_1(x) = x_1 \quad (9)$$

$$f_2(x) = (1 + x_2)/x_1 \quad (10)$$

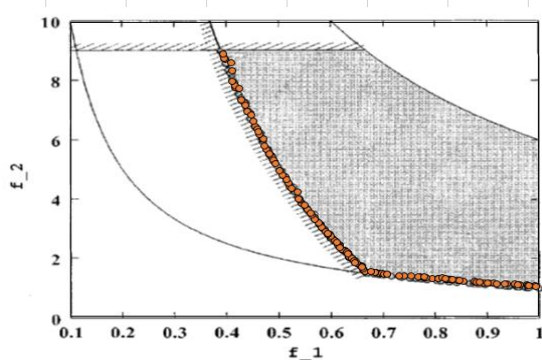
$$g_1(x) = x_2 + 9x_1 \geq 6 \quad (11)$$

$$g_2(x) = -x_2 + 9x_1 \geq 1 \quad (12)$$

نتایج مدل تهیه شده به ازای تعداد ۱۵۰ کروموزم، ضریب جهش $0/3$ ، ضریب تقاطع ۱، ضریب جریمه $0/15$ و بعد از تعداد ۵۰ نسل در شکل ۴ نشان داده شده است.



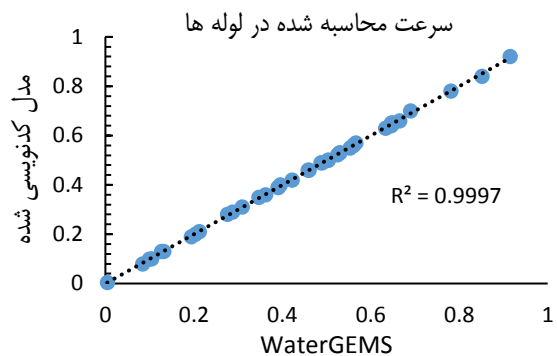
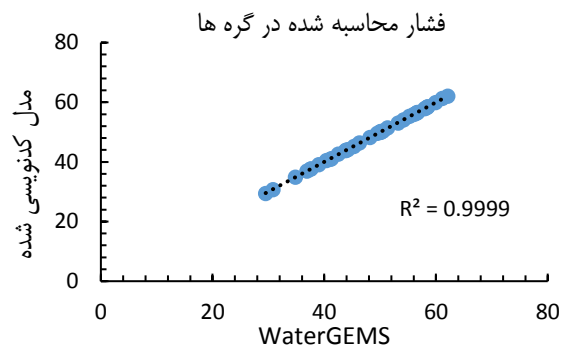
الف



ب

شکل (۴): جواب‌های نامغلوب بدست آمده از NSGA-II برای مسئله "CONSTR" (الف) مدل حاضر (نقاط قرمز)

شده است. لذا بدین منظور ابتدا طرح مصوب شبکه توزیع آب شرب شهر از گله در حالت حداکثر مصرف (دبی طراحی) توسط مدل WaterGEMS مورد تحلیل و شبیه‌سازی قرار گرفت و نتایج مربوط به فشار در گره‌ها و سرعت در لوله‌ها به دست آمده از مدل ارائه شده در تحقیق حاضر با آن مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. شکل (۳) نتایج این صحت‌سنجی را نشان می‌دهد.



شکل (۳): فشار و سرعت محاسباتی در گره‌ها و لوله‌ها شبکه در حالت حداکثر مصرف (دبی طراحی)

همانگونه که مشاهده می‌شود، مدل ارائه شده جهت تحلیل شبکه توزیع آب شرب به خوبی مقادیر فشار و سرعت در گره‌ها و لوله‌ها را به ترتیب با ضریب R^2 معادل $0/9999$ و $0/9997$ تخمین زده و این در حالی است که پارامتر شیب خط رگرسیون (α) برای دو مورد فوق به ترتیب $1/0000$ و $0/9993$ می‌باشد. هر دو حالت نشان دهنده دقت بسیار بالای مدل در تعیین پارامترهای فشار و سرعت در شبکه بوده و بنابراین مدل به جهت تحلیل سیستم قابلیت لازم را دارد.

صحت‌سنجی مدل بهینه‌ساز

به منظور صحت‌سنجی مدل NSGA-II توانایی آن

قطر داخلی لوله انتخاب شده ۱۷۰/۲ میلی‌متر است. مقادیر فشار در گره‌ها و دبی و سرعت جریان در لوله‌ها در این حالت در شکل (۵) برای لحظه حداکثر مصرف نشان داده شده است. همانگونه که در شکل (الف) نشان داده شده است علاوه بر گره مخزن زون مرتفع، گره‌های شماره ۱۳ و ۳۷ دارای فشار منفی هستند به عبارتی محدوده تحت پوشش این دو گره مطلقاً با قطعی کامل آب مواجه می‌شوند. همچنین گره‌های شماره ۱۴ و ۳۹ دارای فشار آب کمتر از ۱۰ متر هستند که نسبت به قطع کامل شرایط بهتری دارند اما در محدوده استاندارد قرار ندارند. بطور کلی بیش از ۱۱ گره مصرف فشار کمتر از ۲۰ متر آب یا همان حداقل مورد نیاز برای رضایت‌مندی کامل را خواهند داشت.

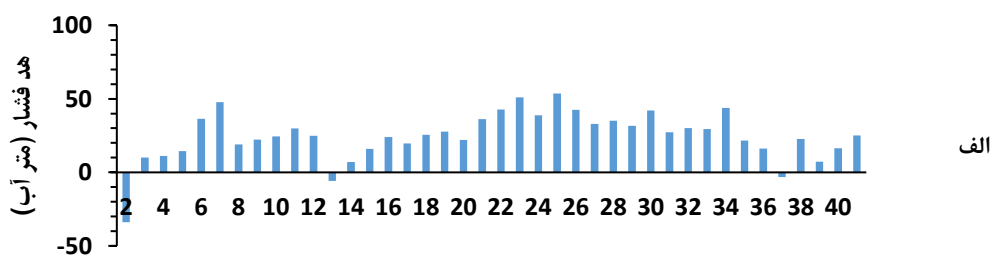
مقادیر دبی لوله‌ها نشان می‌دهد حدود ۲۲/۴۲ لیتر دبی مورد نیاز ناحیه مرتفع توسط لوله رابط بین دو ناحیه منتقل می‌شود. سرعت جریان در این لوله حدود یک متر می‌باشد. علاوه بر این سرعت جریان در لوله خروجی از مخزن زون پست برابر با ۱/۶۳۷ متر بر ثانیه می‌باشد که در محدوده مجاز است. در شرایط حداقل مصرف، گره شماره ۲۵ دارای بیشترین فشار است که گره بحرانی می‌باشد (شکل ۶). همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار فشار این گره در شرایط حداقل مصرف کمتر از بیشینه فشار مجاز است. وضعیت شبکه به لحاظ میزان فشار در این حالت در جدول (۲) ارائه شده است.

(ب) منطبق شده بر نتایج (نقاط تیره) (Deb et al., 2002)

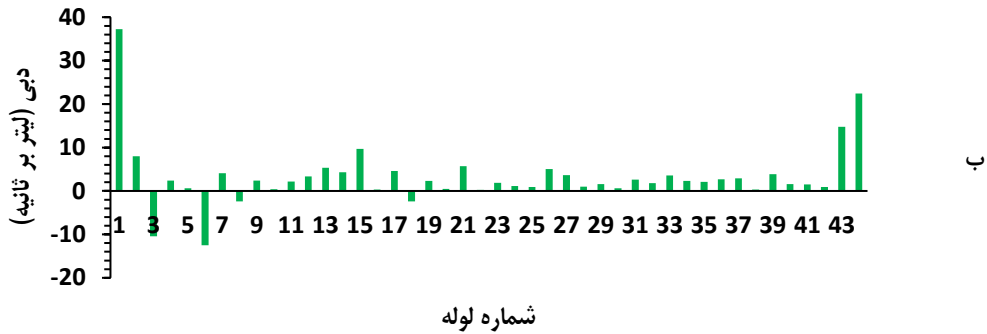
به منظور مقایسه بهتر نتایج بر روی گراف ارایه شده توسط (Deb et al., 2002) قرار داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود جبهه پارتو محاسبه شده کاملاً بر هم منطبق می‌باشد. لازم به ذکر است جواب‌های بدست آمده توسط (Deb et al., 2002) به ازای تعداد ۱۰۰ کروموزوم و بعد از ۵۰۰ نسل بدست آمده است.

تحلیل هیدرولیکی شبکه در شرایط قطع مخزن زون مرتفع

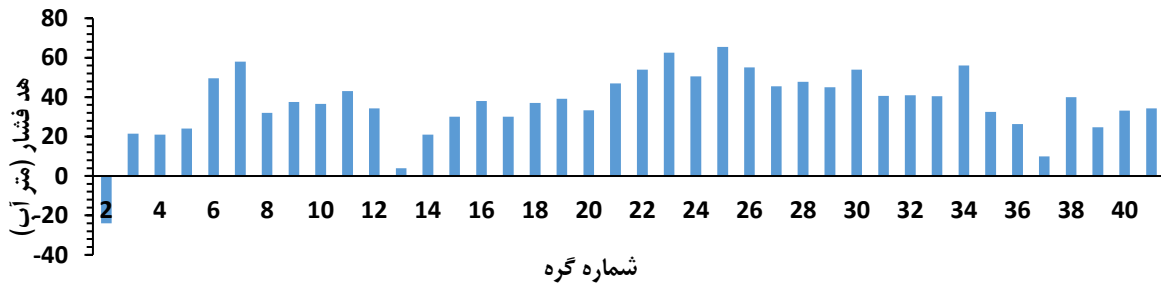
در شرایط از مدار خارج شدن مخزن زون مرتفع به دلیل تعمیرات احتمالی، ناحیه تحت پوشش این مخزن دچار قطع آب خواهند شد. حال مسئله این است آیا تغذیه بخشی از این ناحیه توسط مخزن زون پست امکان‌پذیر می‌باشد یا خیر. در صورت جواب مثبت در چه مکان‌هایی دو ناحیه پست و مرتفع به همدیگر وصل شوند و مشخصات لوله اتصال چگونه باشد که در مجموع دو ناحیه دچار کمترین کمبود فشار شوند. علاوه بر این شناسایی مناطقی که بصورت کامل دچار قطع جریان می‌شوند دارای اهمیت می‌باشد. در ادامه این موضوع مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ابتدا با یک لوله گره ۱۲ از ناحیه مرتفع با گره ۴۱ ناحیه پست به همدیگر مرتبط می‌شوند. دلیل این انتخاب، طول کوتاه لوله بین این دو گره به اندازه حدود ۱۰ متر می‌باشد.



شماره گره



شکل (۵): مقادیر فشار در گره‌ها، دبی و سرعت جریان در لوله‌ها به هنگام ارتباط گره ۱۲ با ۴۱ برای لحظه حداکثر مصرف



شکل (۶): مقادیر فشار در گره‌ها به هنگام ارتباط گره ۱۲ با ۴۱ برای لحظه حداقل مصرف

جدول (۲): وضعیت چگونگی تامین فشار در شبکه توزیع آب شهر از گله در حالت خروج مخزن زون مرتفع از سرویس‌دهی

وضعیت شبکه	قطعی کامل آب	زیر فشار استاندارد	در محدوده فشار استاندارد	بیش از فشار استاندارد
	$> 0/0$ متر آب - (درصد)	> 20 متر آب - (درصد)	> 70 متر آب - (درصد)	< 70 متر آب - (درصد)
حداکثر مصرف (ساعات ۱۳ و ۲۰)	۵/۳	۲۸/۹	۶۵/۸	---
حداقل مصرف (ساعات ۳ و ۴)	---	۵/۳	۹۴/۷	---

تحلیل هیدرولیکی شبکه در شرایط قطع مخزن زون پست

در این شرایط دبی کل مورد نیاز سیستم باید از طریق مخزن زون مرتفع که در رقوم ارتفاعی ۷۶۶ قرار دارد تامین گردد. با توجه به اختلاف ارتفاع رقوم سطح آب این مخزن و رقوم برخی گره‌های شهر در ناحیه تحت پوشش مخزن

اعداد و ارقام مندرج در جدول (۲) نشان می‌دهد در شرایط قطع مخزن مرتفع و ارتباط مخزن پست به ناحیه مرتفع در مواقع حداکثر مصرف ۶۵/۸ درصد شبکه دارای فشار مطلوب بین ۲۰ تا ۷۰ متر می‌باشد و ۵/۳ درصد مطلقاً دچار قطعی آب هستند.

اولویت اهمیت است، فشار خروجی بهینه از شیر فشارشکن در هر لحظه از شبانه روز است که باید از طریق بهینه‌سازی محاسبه شود. در شکل (۷) مقدار هد پیزومتری محاسبه شده بلافاصله بعد از شیر فشارشکن برای حالت‌های مختلف این گزینه نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، وقتی قطر لوله رابط بین گره ۴ و گره ۴۱ برابر با ۷۶/۶ میلیمتر می‌باشد، در حالت کلی بویژه در زمان‌های حداکثر مصرف شیر فشارشکن هد پیزومتری بیشتری را از خود رها می‌کند. به عبارتی فشار و روی را کمتر می‌شکند. برای قطر ۷۶/۶، شیر فشارشکن باید در زمان حداکثر مصرف ۸/۸۹ متر آب (۷۵۷/۱۱ - ۷۶۶) فشار را بشکند و در زمان حداقل مصرف ۲۲/۳۸ متر آب (۷۴۳/۶۲ - ۷۶۶) فشار را کاهش دهد. محدوده عملکرد شیر فشارشکن در این حالت بین ۸ تا ۲۵ متر مناسب می‌باشد. همچنین برای قطرهای ۱۰۶/۶ و ۱۷۰/۲ میلیمتر به عنوان لوله رابط بین دو گره، نوسانات فشار خروجی از فشارشکن نشان می‌دهد که اختلاف در مقایسه با قطر ۷۶/۶ میلیمتر کمتر است. در دو حالت اخیر محدوده عملکرد شیر فشارشکن کمتر می‌شود.

به منظور انتخاب بهترین قطر رابط، مقادیر فشار محاسباتی در گره‌های شبکه برای دو زمان حداکثر مصرف و حداقل مصرف در اشکال (۸) تا (۱۰) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود در هر سه حالت فشار مازاد از ۷۰ متر وجود ندارد. همانگونه که در شکل (۱۱) نشان داده شده است بر اساس قضاوت مهندسی سطح مطلوب توابع هدف در جبهه پارتو در نظر گرفته شد بلکه از مجموع جواب‌های موجود در جبهه پارتو، جوابی که تابع هدف اول آن معادل با صفر شده است انتخاب گردید. دلیل آن هم جلوگیری از ایجاد فشار مازاد حتی در یک گره به منظور جلوگیری از تخریب لوله‌ها و کاهش نشت بدلیل فشار مازاد می‌باشد. لازم به ذکر است در این تحقیق با توجه به تعداد دو گزینه بررسی شده و سه قطر لوله رابط و ۲۴ گام زمانی مصرف در نظر گرفته شده در مجموع تعداد ۱۴۴ جبهه پارتو برای تهیه منحنی فرمان شیر فشارشکن بررسی گردید که برای نمونه یک مورد شکل (۱۱) نشان داده شده است.

زون پست، لازم است که از شیر فشارشکن استفاده شود. دلیل این امر اختلاف ارتفاع بیش از فشار مجاز حداکثر یعنی ۷۰ متر می‌باشد (نشریه شماره ۳-۱۱۷ بازنگری اول - ۱۳۹۲) که بویژه در زمان حداقل مصرف که افت انرژی در سیستم ناچیز است رخ می‌دهد. بنابراین موضوعات قابل بررسی در این مرحله تعیین بهترین فشار خروجی از شیر فشارشکن نصب شده بر روی لوله خروجی از مخزن در هر بازه زمانی در طول ۲۴ ساعت شبانه روز می‌باشد، به گونه‌ای که مجموع مازاد فشار از فشار حداکثر به عنوان یک تابع هدف و همچنین مجموع کمبود فشار از فشار حداقل به عنوان تابع هدف دوم حداقل شوند. با توجه به اینکه این دو تابع هدف در تضاد با یکدیگر هستند، در این تحقیق از روش بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II توسط یک مدل کدنویسی شده کامپیوتری به زبان ویژوال بیسیک انجام گردید. علاوه بر تعیین فشار بهینه خروجی از شیر فشارشکن، موضع بعدی تعیین محل یا محل‌های اتصال ناحیه مرتفع به ناحیه پست و مشخصات لوله رابط بین این نواحی است. با توجه به این دو موضوع، گزینه‌هایی مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به تفصیل شرح داده می‌شود.

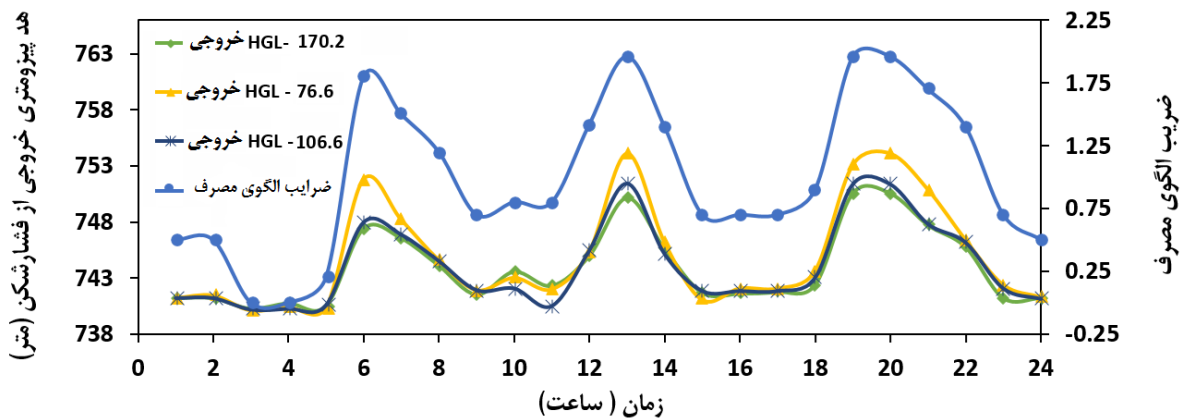
- گزینه ۱: لوله رابط بین گره شماره ۴ ناحیه مرتفع با گره ۴۱ ناحیه پست

در این گزینه با تعریف یک گره به شماره ۴۱ بر روی لوله شماره ۱ در نزدیک‌ترین محل به گره شماره ۴، اتصال اصلی بین ناحیه مرتفع و ناحیه پست شهر انجام می‌شود. علاوه بر این در برخی از اجراهای مدل، اتصال‌های فرعی به صورت ارتباط بین گره‌های ۱۲ و ۳۳ با لوله به قطر داخلی ۶۳/۸ و گره‌های ۱۶ و ۳۱ با لوله به قطر داخلی ۵۳/۶ در نظر گرفته شد. هرچند نتایج نشان داد که این دو اتصال فرعی اخیر، تاثیری قابل ملاحظه از نظر انتقال دبی جریان بین دو ناحیه ندارند.

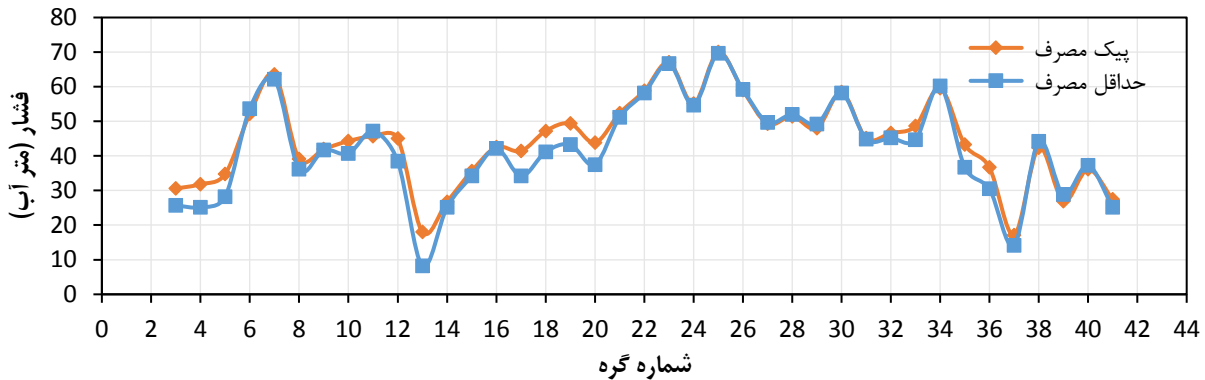
مدل با قطرهای مختلف برای لوله رابط بین گره ۴ و گره ۴۱ و بطول حدود ۵۹ متر اجرا شد. نتایج نشان داد قطر لوله رابط در درجه دوم اهمیت قرار دارد. آنچه مهم و دارای

است، ولی بدلیل اینکه سرعت جریان عبوری برای این قطر حدود ۲/۲۷ متر برثانیه (دبی عبوری ۱۰/۴۵ لیتر بر ثانیه) محاسبه شد و همچنین به دلایل اجرایی، قطر ۱۷۰/۲ میلیمتر به عنوان گزینه برتر انتخاب شد. در این حالت سرعت جریان ۰/۵۵۸ متر بر ثانیه و دبی عبوری ۱۲/۷۱ لیتر بر ثانیه محاسبه شد. لازم به ذکر است برای لوله رابط ۱۰۶/۶ سرعت جریان عبوری ۱/۳۵ متر بر ثانیه (دبی عبوری ۱۲/۱۲ لیتر بر ثانیه) محاسبه گردید.

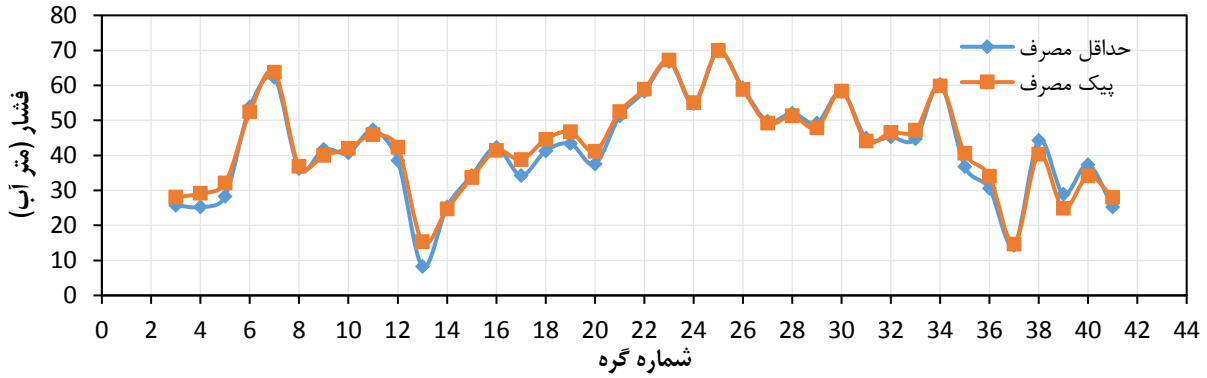
در دو گره شماره ۱۳ و ۳۷ همواره فشار کمتر از فشار حداقل یعنی ۲۰ متر مشاهده می‌شود. البته چون در گره شماره ۱۳ مقدار مصرف برابر با صفر است، بنابراین گره بحرانی برای حداقل فشار گره شماره ۳۷ می‌باشد که در انتخاب قطر برتر لوله رابط، به عنوان یک معیار مقدار فشار حداقل در این گره مورد توجه قرار گرفته است. در مجموع حداقل فشار در گره بحرانی ۳۷ به ازای قطر رابط ۷۶/۶ میلیمتر (معادل با ۱۷/۱۲ متر آب) در مقایسه با قطر ۱۰۲/۲ و ۱۷۰/۲ (به ترتیب معادل ۱۴/۶ و ۱۳/۸۵ متر آب) بیشتر



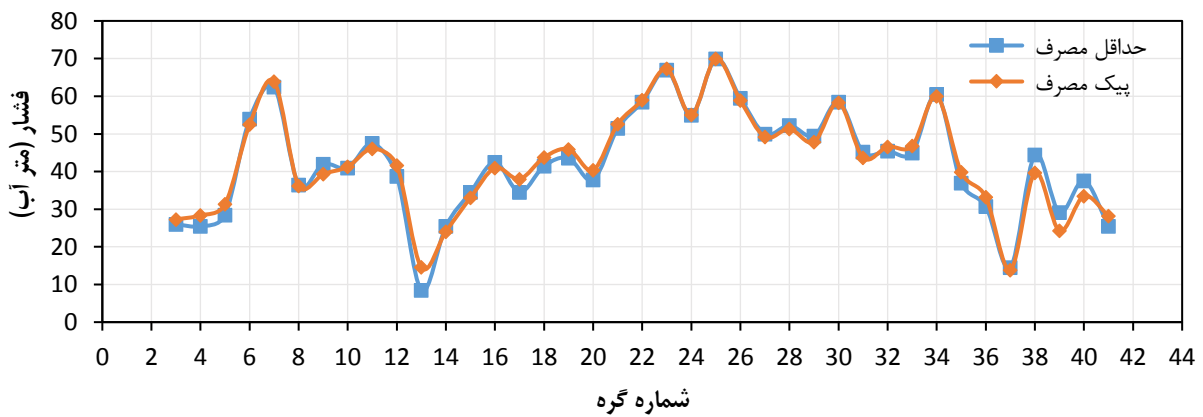
شکل (۷): تغییرات فشار خروجی از فشارشکن (HGL) در گزینه‌های مختلف به همراه نوسانات الگوی مصرف



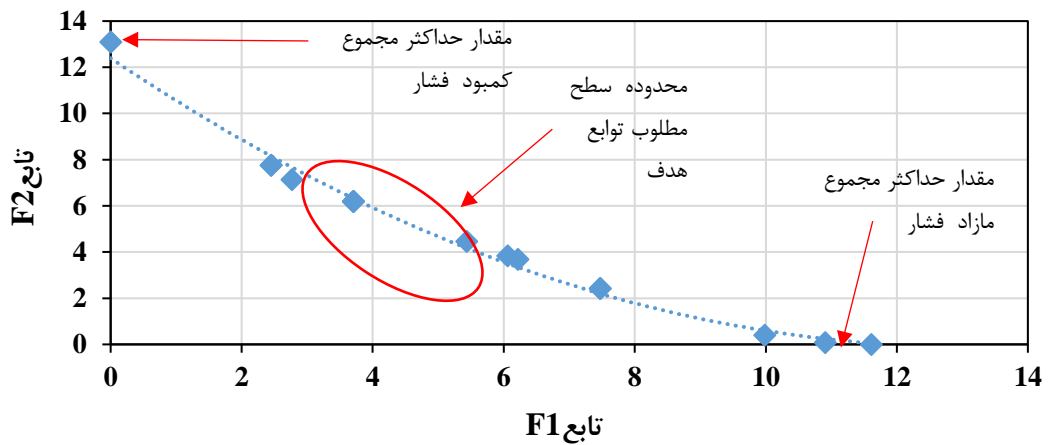
شکل (۸): نوسانات فشار در گره‌های شبکه برای اتصال اصلی با قطر داخلی ۷۶/۶ میلیمتر در زمان حداکثر و حداقل مصرف



شکل (۹): نوسانات فشار در گره‌های شبکه برای اتصال اصلی با قطر داخلی ۱۰۶/۶ میلیمتر در زمان حداکثر و حداقل مصرف



شکل (۱۰): فشار در گره‌های شبکه برای اتصال اصلی با قطر داخلی ۱۷۰/۲ میلیمتر در زمان حداکثر و حداقل مصرف



شکل (۱۱): نمونه جبهه پارتو تشکیل شده در حالت ارتباط قطع مخازن زون پست و ارتباط بین دو زون

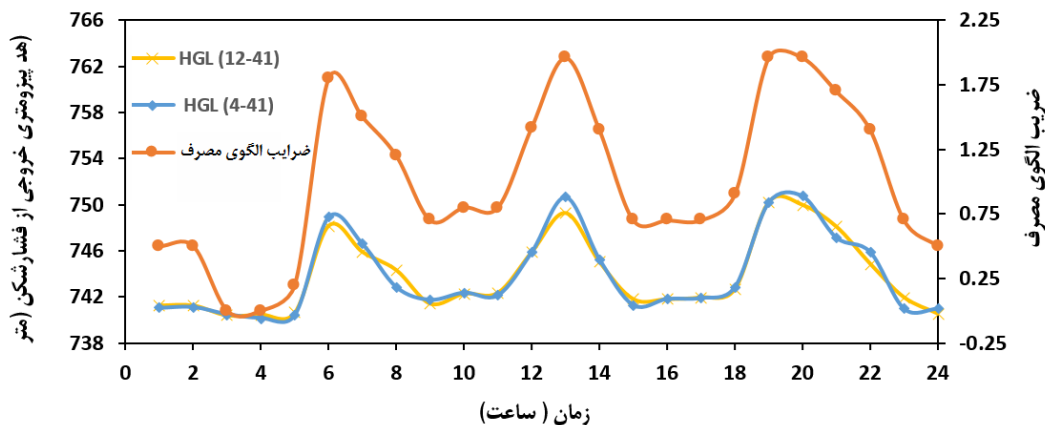
این گره در دو گزینه رقوم ارتفاعی متفاوتی دارد (رقوم ۷۰/۱۷ در گزینه دوم و ۷۱/۵ در گزینه یک) بنابراین مقادیر فشار متفاوتی برای آن بدست آمده است. فشار ۳۹/۶۳ متر برای گزینه دو و ۲۷/۷۶ برای گزینه یک در این گره محاسبه گردید. لازم به ذکر است که فشار گره بحرانی یعنی گره شماره ۳۷ در گزینه شماره یک ۱۳/۸۵ متر و در گزینه شماره دو برابر با ۱۲/۶ متر محاسبه شده است.

همانگونه که در بالا اشاره شد با توجه به اینکه در حالت قطع مخزن زون مرتفع نیز، لوله رابط مربوط به گزینه شماره دو استفاده می گردد به عنوان جمع بندی نهایی گزینه شماره ۲ به همراه شیر فشارشکن با منحنی نمایش داده شده در شکل (۱۲) به عنوان گزینه برتر در حالت از مدار خارج شدن مخزن زون پست معرفی می شود. در این حالت تنها گرهی که با مشکل کمبود فشار به اندازه حدود ۷/۴ متر مواجه می شود گره شمار ۳۷ می باشد و برای سایر نقاط مشکل برداشت آب وجود نخواهد داشت و از نقطه نظر فشار حداکثر نیز هیچ مشکلی برای شبکه پیش نخواهد آمد. در این حالت وضعیت شبکه به لحاظ مقدار فشار قبل و بعد از نصب شیر فشارشکن در ساعات حداقل و حداکثر مصرف در جدول (۳) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود در حالت نصب شیر فشار شکن و بهینه نمودن فشار خروجی از آن ۹۴/۷ درصد نقاط شبکه دارای فشار مطلوب هستند در حالتیکه در شرایط بدون استفاده از شیر فشار شکن هنگام اتصال مخزن ناحیه مرتفع با ناحیه پست در ساعات حداکثر مصرف ۱۸/۴ درصد و در ساعات حداقل مصرف ۳۴ درصد نواحی شبکه فشار بیشتر از حداکثر فشار مجاز ۷۰ را تجربه خواهند کرد.

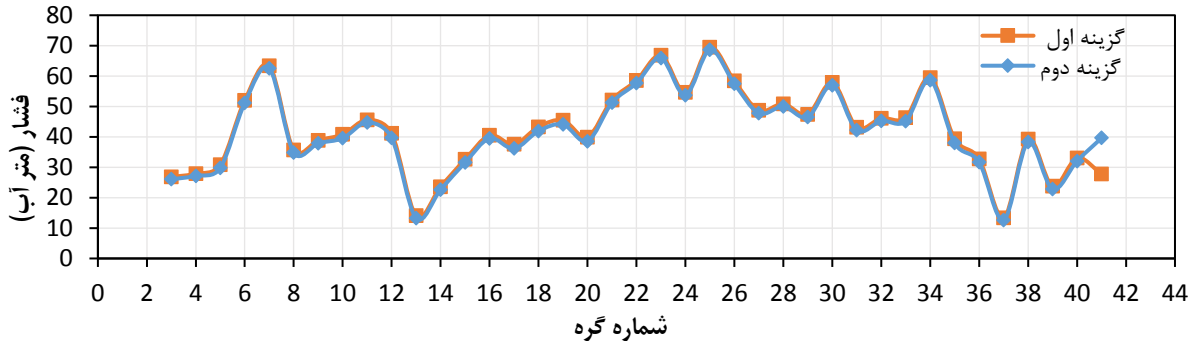
• گزینه ۲: لوله رابط بین گره شماره ۱۲ ناحیه مرتفع با گره ۴۱ ناحیه پست

شرایط اعمال شده در این گزینه همانند گزینه اول است و تنها فرق آن در این است که لوله اصلی که ناحیه مرتفع را به ناحیه پست مرتبط می سازد، از گره ۱۲ ناحیه مرتفع منشعب شده و به نزدیکترین محل لوله اصلی خروجی از مخزن زون پست متصل می شود. طول لوله در این حالت حدود ۱۰ متر است. در این حالت مدل برای قطر لوله رابط ۱۷۰/۲ میلیمتر اجرا و منحنی فرمان شیر فشارشکن و همچنین مقادیر فشار در گره ها و سرعت در لوله ها در طول شبانه روز محاسبه شده است. شکل (۱۲) منحنی فرمان شیر فشارشکن (هد پیژومتری خروجی از شیر فشارشکن) در این گزینه را نمایش می دهد. به منظور مقایسه، منحنی مربوط به گزینه اول نیز ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می شود، منحنی فرمان در هر دو گزینه از روند یکسانی برخوردار می باشد، با این تفاوت که در نقاط حداکثر مصرف، منحنی مربوط به گزینه اول حدود یک متر هد پیژومتری بیشتری دارد. به عبارتی حدود یک متر فشار ورودی را کمتر می شکند.

نوسانات فشار در گره های شبکه برای هر دو گزینه در شرایط قطع مخزن پست در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، بجز گره شماره ۴۱ (بر روی لوله اصلی خروجی از مخزن زون پست) مقادیر فشار تقریباً روندی مشابه دارند. گره ۴۱ در گزینه یک مجاور گره شماره ۴ قرار دارد و در گزینه دوم این گره مقابل و مجاور گره شماره ۱۲ در انتهای لوله رابط تعریف شده است. چون



شکل (۱۲): منحنی فرمان شیر فشارشکن در گزینه های شماره یک و دو به ازای قطر رابط ۱۷۰/۲ میلیمتر



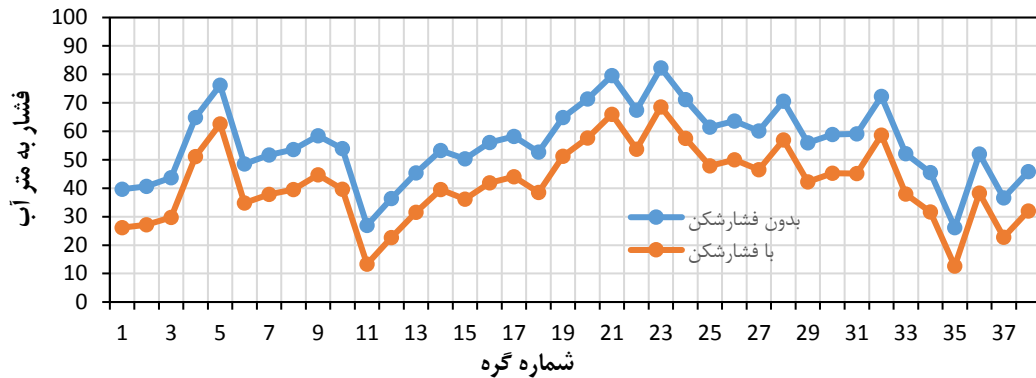
شکل (۱۳): نوسانات فشار در گره‌های شبکه برای اتصال اصلی با قطر داخلی ۱۷۰/۲ میلیمتر در زمان حداکثر در گزینه‌های شماره ۱ و ۲

جدول (۳): وضعیت چگونگی تامین فشار در شبکه توزیع آب شهر از گره در حالت خروج مخزن زون مرتفع از سرویس‌دهی

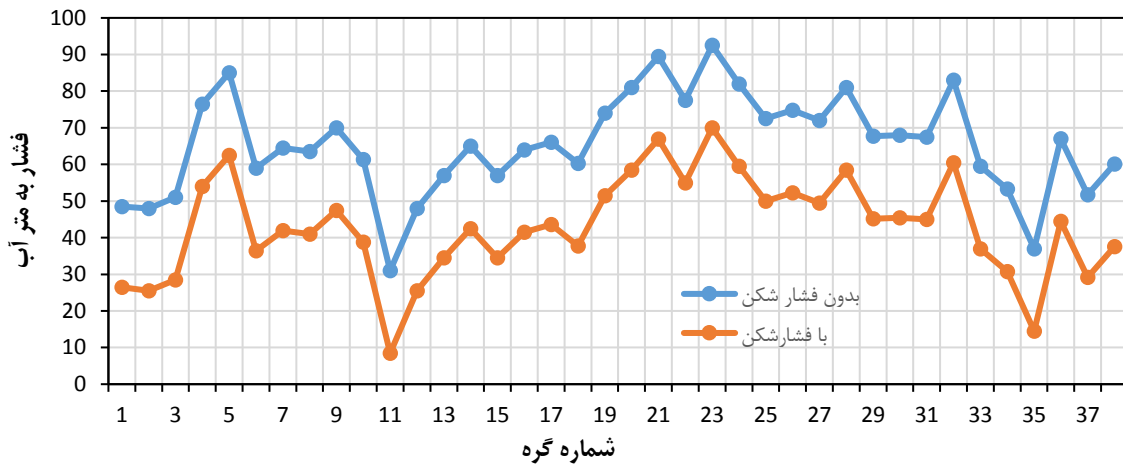
وضعیت شبکه	وضعیت شبکه	وضعیت شبکه	وضعیت شبکه
حداکثر مصرف (ساعات ۱۳ و ۲۰)	بدون فشارشکن	زیر فشار استاندارد	در محدوده فشار استاندارد
حداقل مصرف (ساعات ۳ و ۴)	با فشارشکن	۲۰ متر آب - (درصد) > ۷۰ متر آب - (درصد)	بیش از فشار استاندارد
		۱۸/۴	۸۱/۶
		---	۵/۳
		۳۴/۰	۶۶/۰
		---	۹۴/۷

مستهلك می‌گردد. همچنین منحنی فرمان شیر فشارشکن، فشار را به خوبی و با توجه به محدودیت‌های شبکه در محدوده استاندارد نگه‌داشته است که نشانگر عملکرد کاملاً مناسب شیر تعبیه شده می‌باشد.

به منظور مقایسه بهتر در شکل ۱۴ نحوه و میزان اثرگذاری شیر فشار شکن در شبکه را برای ساعات حداکثر و حداقل مصرف در گزینه منتخب نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود میزان اثرگذاری شیر فشارشکن به منظور تعدیل فشار در شبکه برای زمان حداقل مصرف بیشتر است و مقدار فشار بیشتری در این زمان



(الف)



(ب)

شکل (۱۴): چگونگی اثرگذاری شیر فشارشکن در شبکه (الف) برای ساعات حداکثر و (ب) حداقل مصرف در گزینه منتخب

نتیجه گیری

ضروری می باشد. بدین منظور مدلی کامپیوتری تهیه شد که به کمک روش NSGA-II، بهینه سازی منحنی فرمان شیر فشار شکن و با روش ماتریسی روش شیب، تحلیل شبکه توزیع آب شرب شهر از گله انجام شد. نتایج نشان داد در حالت قطع آب مخزن مرتفع و اتصال زون پست به زون مرتفع، در زمان حداکثر مصرف، گره های شماره ۱۳ و ۳۷ زون مرتفع مطلقاً با قطعی کامل آب مواجه می شوند و همچنین بیش از ۱۱ گره مصرف، فشار کمتر از ۲۰ متر آب را خواهند داشت. در این حالت در زمان حداقل مصرف، امکان آبرسانی به تمامی نقاط شبکه (ولو در برخی نقاط با فشار آب حداقلی) وجود دارد. برای حالت قطع آب مخزن

به هنگام بروز مشکل در یکی از مخازن ذخیره شبکه توزیع آب شرب، می توان از ارتباط اضطراری بین زون های فشاری شبکه استفاده شود. در این حالت از مخزن و خطوط لوله زون فشاری دیگر، به طور موقت تا برطرف شدن مشکل، آب مورد نیاز زون فشاری آسیب دیده تامین می شود. اتصال زون های فشاری باعث کاهش و یا افزایش فشار در برخی گره های مصرف و ایجاد نارضایتی خواهد شد. بنابراین به منظور تعیین مناسبترین محل های اتصال دو زون و همچنین تعیین منحنی فرمان شیر فشار شکن (برای حالتی که مخزن زون پست از سرویس خارج شود) بر روی لوله خروجی مخزن زون مرتفع مطالعات تحلیل و بهینه سازی

ازگله با دو زون فشاری مورد استفاده قرار گرفت با این وجود امکان استفاده از آن برای سایر شبکه‌ها توزیع آب با زون‌های فشاری بیشتر و تعداد بیشتر شیر فشار کن با مختصر تغییراتی فراهم است که می‌تواند برای تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این استفاده از سایر روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه به منظور افزایش سرعت همگرایی و دقت احتمالی جواب می‌تواند مورد توجه باشد

پست، ارتباط بین گره شماره ۱۲ ناحیه مرتفع با گره ۴۱ ناحیه پست به عنوان حالت بهینه انتخاب شد و منحنی فرمان هد پیژومتری خروجی از شیر فشارشکن در طول ۲۴ ساعت ارائه گردید. فشار گره بحرانی یعنی گره شماره ۳۷ در این حالت برابر با $۱۲/۶$ متر آب محاسبه شد که به‌غیر از این نقطه، با توجه به منحنی فرمان ارائه شده برای شیر فشارشکن در هیچ نقطه از شبکه مشکلی بوجود نمی‌آید. هر چند مدل تهیه شده در این تحقیق برای شبکه شهر

منابع

- بازرگان لاری م. ر.، مدیری ف. و نیکو م. ر. ۱۳۹۳. مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی برای مدیریت مناسب امنیت شبکه‌های توزیع آب شهری. مجله پژوهش آب ایران، سال هشتم، شماره چهاردهم، ص ۱۳۵-۱۲۷.
- تاجی الیاتو. م. و یزدی. ج. ۱۴۰۰. بررسی شاخص‌های عملکردی در طراحی شبکه آبرسانی بر پایه معیارهای اطمینان‌پذیری هیدرولیکی و مکانیکی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. دوره ۵۳، شماره ۶، ص ۲۲.
- سهرابی ز.، سروریان ج. و مامی زاده ج. ۱۳۹۹. توسعه مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی دو هدفه برای طراحی بهینه ابعاد هندسی و شیب سرریز پلکانی سد سیاه‌بیشه بالا با استفاده از الگوریتم NSGA-II. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۵۱، شماره ۲.
- قبادیان ر. ۱۳۹۹. تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی با استفاده از حل عددی معادلات جریان غیر ماندگار و مقایسه با نتایج مدل WaterGEMS. اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در صنعت آب و برق، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
- مازندرانی‌زاده ج. ۱۳۹۵. طراحی سیستم زهکشی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II با رویکرد اقتصادی - زیست محیطی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۳، ص ۱۴۲-۱۵۲.
- موسوی مولائی س.ا. و معینی ر. ۱۳۹۱. طراحی بهینه شبکه توزیع آب با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه. همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته - پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان.
- نشریه ۳-۱۱۷ بازنگری اول. ۱۳۹۲. ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری.

Artina S., Bragalli C., Erbacci G., Marchi A. and Rivi M. 2012. Contribution of parallel NSGA-II in optimal design of water distribution networks. Journal of Hydroinformatics. 14.2.

Atiquzzaman Md.; Liang S-Y. and Yu X. 2006. Alternative Decision Making in Water Distribution Network with NSGA-II. Journal of water resources planning and management, 132(2): 122-126.

Bakhshi Ani A., Ale Ebrahim H. & Azarhoosh M. J. 2015. Simulation and multi-objective optimization of a trickle-bed reactor for diesel hydrotreating by a heterogeneous model using non-dominated sorting genetic algorithm II. Energy & Fuels. 29, 3041-3051.



Cao H., Hopfgarten S., Ostfeld A., Salomons E. and Li P. 2019. Simultaneous Sensor Placement and Pressure Reducing Valve Localization for Pressure Control of Water Distribution Systems. *Journal of Water*. 11, 1352.

Choi Y. H. and Kim J. H. 2019. Self-Adaptive Models for Water Distribution System Design Using Single-/Multi-Objective Optimization Approaches. *Journal of Water*. 11, 1293.

Deb K., Pratap. A., Agarwal S. and Meyarivan T. 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*. 6, 182-197.

Elferchichi A., Gharsallah O., Nouiri I., Lebdi F. and Lamaddalena N. 2009. The genetic algorithm approach for identifying the optimal operation of a multi-reservoirs on-demand irrigation system. *Biosystems Engineering*. 102, 334-344.

Gullotta A., Campisano A., Creaco E. and Modica C. 2021. A Simplified Methodology for Optimal Location and Setting of Valves to Improve Equity in Intermittent Water Distribution Systems. *Water Resources Management*, 35:4477-4494.

Jun S. and Kwon H. J. 2019. The Optimum Monitoring Location of Pressure in Water Distribution System. *Journal of Water*. 11, 307

Li M., Liu Sh., Zhang L., Wang H., Meng F. and Bai L. 2012. Non-dominated Sorting Genetic Algorithms-II Based on Multi-objective Optimization Model in the Water Distribution System. *Journal of Procedia Engineering*, 37, 309 – 313.

Liu R., Guo F., Sun W., Wang Y., Zhang Z. and Ma X. 2021. A New Method for Optimization of Water Distribution Networks While Considering Accidents. *Journal of Water*, 13, 1651.

Mala-Jetmarova H., Sultanova N., and D. Savic. 2018. Lost in optimisation of water distribution systems? A literature review of system design. *Water*, Vol.10, No.3, p.307.

Reca J., Martínez J. and López R. 2017. A hybrid water distribution networks design optimization method based on a search space reduction approach and a genetic algorithm. *Water*, Vol. 9, p.845.

Todini E. and Pilati S. 1988. A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. *Computer applications in water supply: vol. 1---systems analysis and simulation*.

Wang Q., Wang L., Huang W, Wang Zh., Liu Sh. and Savi'c D. A. 2019. Parameterization of NSGA-II for the Optimal Design of Water Distribution Systems. *Journal of Water*. 11, 971.



Optimal Pressure Management of Drinking Water Distribution Network of Ezgele City with Emergency Connection between Pressure Zones Using NSGA-II

Rasool Ghobadian^{1*}, Kamran Mohammadi²

Abstract

The occurrence of hydraulic problems during the repair of reservoirs in water distribution networks (WDN) is inevitable. In such cases, one of the reliable methods for water supply is emergency connection between pressure zones. However, the original design based on separated zone, loses its effectiveness and in some places, the WDN will face to increase and decrease in allowable pressure and even flow interruption. Therefore, in this study, the network analysis and determination of optimal 24-hour rule curve of pressure reduce valve (PRV) during an emergency connection between pressure zones, has been taken to reduce hydraulic difficulties. First, a computer model based on VB programming language was developed in which the network is analyzed by using slope matrix method. By linking mentioned model with the code that prepared for optimization by NSGA-II, the optimal rule curve of PRV in Ezgele WDN was determined. The results showed that in the case which lower zone reservoir become out of service and connecting node 12 of the higher zone with node 41 of the lower zone, it is necessary to install a pressure reduce valve on the outlet pipe of the higher reservoir. The optimal rule curve which was calculated during the day showed that the operating range of the pressure reduce valve is between 8 and 25 meters. The results also showed that when the higher zone reservoir is out of service during the maximum consumption, despite the connection between two zones, nodes 13 and 37 faces to absolute flow interruption and about 28% of the network suffers from pressure deficiencies in comparison to minimum allowable pressure.

Keywords: Drinking water distribution network, Emergency connection of zones, NSGA-II, rule curve, Pressure Reduce Valve.

¹Associate Professor. Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

²Assistant Professor. Department of Planning and Research Supervisory, Razi University, Kermanshah, Iran