Advanced Technologies in Water Efficiency
homepage:https://atwe.razi.ac.ir
Online ISSN:2783-4964
Razi University

Intermittent water optimized supply considering consumption pattern change in water distribution network

Arman Haghighi[1], Elham Darvishi[2]✉, Ehsan Roshani[3]

[1] M. Sc Student of Water structure, Department of Water Science and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: armanhaghighii75@gmail.com
[2] Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: e.darvishi@razi.ac.ir.
[3] Research Officer, National Research Council Canada, Canada. E-mail: ehsan_ro@yahoo.com

ABSTRACT

The lack of pressure causes some subscribers in water distribution networks to not be able to receive the required water. Alternate delivery of water can be used in existing networks to solve the problem. In this research, water delivery for 6 districts of TazeAbad water distribution network was optimized in 12, 8 and 6 hours with the aim of providing the required water and high distribution uniformity by using single-objective and double-objective coordinated search algorithm. In the hydraulic model, the pressure-based hydraulic analysis method and the transmitter method were used to determine the flow rate of the nodes and the results were compared. In different scenarios, the possibility of delivering water in 4, 3 and 2 times was checked.

In all scenarios, the percentage of water supply using the emitter method is more than the pressure-based method, but the distribution uniformity is less. Hydraulic analysis using the emitter method showed an increase in water extraction during delivery hours, which is consistent with the field data of other researches. In TazeAbad network, if water is delivered in 2 shifts, the maximum flow rate in the network is more than the maximum flow rate of the existing conditions of the network. But if water is delivered in 3 and 4 times, the maximum flow rate will be closer to the maximum flow rate of the network. But the percentage of supply will decrease, in other words, the subscribers will receive less water. The results of measuring the amount of water consumed by Fan et al. in 225 Chinese villages also showed that the amount of water consumed will decrease significantly with the reduction of water delivery hours.

In TazeAbad network, water delivery in 8 hours was chosen as the best option. In this case, the ratio of supplied water to required water will be around 70% and the uniformity of distribution will be around 87%. Also, the maximum flow rate in the water distribution network is almost equal to the maximum flow rate in the current conditions.

Keywords: Intermittent supply, water distribution network, Consumption Pattern, Harmony Search, Emitter method.

Article Type: Research Article
Article history: Received: 13 September 2023 **Revised:** 22 November 2023 **Accepted:** 29 December 2023 **ePublished:** 29 December 2023

1.Introduction

Climate change and population increase have caused an increase in consumption in the existing water distribution networks, as a result, an increase in the discharge in the pipes and a decrease in the pressure in the nodes. The decrease in pressure makes some consumers unable to receive the required water. To solve this problem, long-term and short-term solutions have been proposed. Replacing pipes with pipes with a larger diameter is one of the solutions. But it requires considerable time and money. Intermittent supply of water can be used in existing networks to solve the problem. Bozorg-Haddad and et al (2016) With the aim of maximizing water supply resilience and mechanical reliability, multi-objective optimization of alternate water delivery in urban water distribution networks was carried out using the HBMO algorithm and the Epanet simulator model using the demand-based analysis method for two water distribution networks. Their results showed that consumer welfare may be in conflict with the objective of mechanical reliability.
TazeAbad network has a large pressure drop during peak hours. The reason for this is the low diameter of the main pipes, which cause a large drop in the pressure as the consumption increases and the discharge increases. In this study, in order to improve justice and increase water supply in this network, optimal intermittent supply of water was done for 6 areas of this network.

2.Methodology

The Intermittent supply of water is usually done based on pressure-based hydraulic analysis. In case, the consumers will also store the needs of other hours. In other words, the consumption pattern in continuous supply cannot be used for Intermittent supply. In this research, the Emitter method is used for the hydraulic analysis of the network. In this hydraulic analysis, the amount of water delivered to the node is a function of pressure.
Intermittent supply for 6 areas of the water distribution network of TazeAbad city was optimized in 12, 8 and 6 hours with the aim of supplying the required water and high two-objective by using single-objective and two-objective Harmony Search algorithm. In the hydraulic model, the pressure-based hydraulic analysis method and the Emitter method were used to determine the discharge of the nodes and the results were compared. In different scenarios, the possibility of supplying water in 4, 3 and 2 time intervals was investigated.

3. Results and discussion

In all scenarios, the results of pressure-based hydraulic analysis method are located in all areas of Tazehabad city during peak hours. In this method, despite the high distribution uniformity coefficient, the amount of water delivered to consumers is less than their needs in the hour of supply. At present, in TazeAbad distribution network, consumers receive more water at the existing pressures than the pressure-based method.

In the Emitter method, in all scenarios, the distribution uniformity is lower than the pressure-based method. But in this method, the supply percentage is much higher. So that more than 95% of customers' demands have been met in 12-hour supply.

By reducing the water supply time, the percentage of supply has decreased in both methods. In the single-objective algorithm, the ratio of supplied water to the required water is more than the double-objective algorithm. But the uniformity of the distribution has increased in the double-objective algorithm. In all scenarios, water delivery in the pressure-based method was in one time interval for all areas, but in the Emitter method, water was usually delivered in 2 time intervals.

In TazeAbad network, if water is supplied in 2 shifts, the maximum discharge in the network is more than the maximum discharge of the existing conditions of the network. But if water is supplied in 3 and 4 time intervals, the maximum discharge will be closer to the maximum discharge of the network. The difference between the maximum and minimum network discharges in the two-objective algorithm was lower than the single-objective algorithm. The supply of water in 4 time intervals has had the least changes in discharge and consumption coefficients.

4.Conclusions

According to the scenarios reviewed in TazeAbad network, water supply in 8 hours was chosen as the best option. In this case, the ratio of supplied water to required water will be around 70% and the uniformity of distribution will be around 87%. The maximum discharge in the water distribution network is almost equal to the maximum discharge in the current conditions. Also, the range of discharge changes and consumption coefficients is lower than the current conditions. In other words, pressure changes in the network will be less than the current conditions.

5. References

Bozorg Haddad, O., Ghajarnia, N., Solgi, M., Loáiciga, H. A., & Mariño, M. (2016). A DSS-based honeybee mating optimization (HBMO) algorithm for single-and multi-objective design of water distribution networks. In Metaheuristics and optimization in civil engineering, 199-233, Springer, Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-26245-1_10

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Cite this article: Haghighi, A., Darvishi, E., & Roshani, E. (2023). Intermittent water optimized supply considering consumption pattern change in water distribution network, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(4), 80-93. DOI: 10.22126/ATWE.2024.9839.1066

Publisher: Razi University

© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

تأمین بهینه نوبتی آب در شبکه توزیع با در نظر گرفتن تغییر الگوی مصرف

آرمان حقیقی[۱]، الهام درویشی[۲]✉، احسان روشنی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: armanhaghighii75@gmail.com

[۲] نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: e.darvishi@razi.ac.ir

[۳] مدیر ارشد تحقیق، انجمن ملی تحقیقات کانادا، کانادا. رایانامه: ehsan_ro@yahoo.com

چکیده

کمبود فشار موجب می‌شود که برخی مشترکین در شبکه‌های توزیع آب امکان دریافت آب موردنیاز را نداشته باشند. تحویل نوبتی آب می‌تواند در شبکه‌های موجود برای حل مشکل به کار رود. در این تحقیق تحویل آب برای ۶ ناحیه شبکه توزیع آب شهر تازه‌آباد به‌صورت ۱۲، ۸ و ۶ ساعته باهدف تأمین آب موردنیاز و یکنواختی توزیع بالا با استفاده از الگوریتم جستجوی هماهنگ تک هدفه و دو هدفه بهینه شد. در مدل هیدرولیکی از روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار و روش گسیلنده برای تعیین دبی گره‌ها استفاده و نتایج باهم مقایسه شدند. در سناریوهای مختلف امکان تحویل آب در ۴، ۳ و ۲ نوبت بررسی شد.

در تمام سناریوها درصد تأمین آب به روش گسیلنده بیش از روش مبتنی بر فشار است اما یکنواختی توزیع کمتر است. تحلیل هیدرولیکی به روش گسیلنده افزایش برداشت آب در ساعات تحویل را نشان داد که این نتایج منطبق بر داده‌های میدانی تحقیقات دیگر است. در شبکه تازه‌آباد چنانچه در ۲ نوبت آب تحویل داده شود، حداکثر دبی در شبکه بیش از حداکثر دبی شرایط موجود شبکه است. اما در صورت تحویل آب در ۳ و ۴ نوبت حداکثر دبی به حداکثر دبی شبکه نزدیک‌تر خواهد شد. اما درصد تأمین کاهش خواهد یافت به عبارتی مشترکین حجم آب کمتری برداشت می‌کنند. نتایج اندازه‌گیری حجم آب مصرفی توسط فن و همکاران در ۲۲۵ روستای چین نیز نشان داد که با کاهش ساعت تحویل آب حجم آب مصرفی کاهش چشمگیری خواهد داشت.

در شبکه تازه‌آباد، تحویل آب در ۸ ساعت به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. در این حالت نسبت آب تأمین‌شده به آب موردنیاز حدود ۷۰ درصد و یکنواختی توزیع حدود ۸۷ درصد خواهد بود. همچنین حداکثر دبی در شبکه توزیع آب تقریباً برابر حداکثر دبی در شرایط فعلی است.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع آب، تحویل نوبتی، الگوی مصرف، جستجوی هارمونی، روش گسیلنده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۲ شهریور ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۱ آذر ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۰۸ دی ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۰۸ دی ۱۴۰۲

استناد: حقیقی، آ.، درویشی، ا.، و روشنی، ا. (۱۴۰۲). تأمین بهینه نوبتی آب در شبکه توزیع با در نظر گرفتن تغییر الگوی مصرف، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۳(۴)، ۸۰-۹۳، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.9839.1066

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

تغییر اقلیم و افزایش جمعیت موجب افزایش مصرف در شبکه‌های توزیع آب و به دنبال آن افزایش سرعت جریان در لوله‌ها و کاهش فشار در گره‌ها شده است. کاهش فشار موجب می‌شود که برخی مشترکین امکان دریافت آب موردنیاز را نداشته باشند. برای حل این مشکل راه‌حل‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت وجود دارد. تعویض لوله‌ها با لوله‌ها با قطر بزرگ‌تر یکی از راهکارها است؛ اما نیازمند صرف زمان و هزینه قابل‌توجه است. تحویل نوبتی آب می‌تواند در شبکه‌های موجود برای حل مشکل به کار رود.

در تحویل نوبتی آب مشترکین به‌صورت مقطعی به آب دسترسی دارند. به عبارتی تنها در ساعات مشخصی از شبانه‌روز امکان تأمین آب رادارند. محققین در تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب در حالت تحویل نوبتی از دو روش مبتنی بر تقاضا و مبتنی بر فشار استفاده کرده‌اند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بزرگ‌حداد و همکاران[1] (۲۰۱۶) باهدف بیشینه کردن تاب‌آوری تأمین آب و اعتمادپذیری مکانیکی، بهینه‌سازی چندهدفه تحویل نوبتی آب در شبکه‌های توزیع آب شهری را با استفاده از الگوریتم HBMO و مدل شبیه‌ساز Epanet به روش تحلیل مبتنی بر تقاضا برای دو شبکه توزیع آب انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که ممکن است رفاه مصرف‌کنندگان با هدف قابلیت اطمینان مکانیکی در تعارض باشد.

سلگی و همکاران (۱۳۹۶) با هدف بیشینه‌سازی تعداد تأمین‌ها و رعایت قیودات در زمان بهره‌برداری از شبکه توزیع آب برنامه زمانی تأمین نوبتی آب در یک شبکه دو حلقه‌ای را با استفاده از الگوریتم HBMO و تحلیل مبتنی بر تقاضا بهینه کردند. در پژوهش آن‌ها یکنواختی توزیع آب با عنوان عدالت و تأمین یک مقدار حداقل از آب با عنوان انصاف تعریف‌شده است. نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از مدل تهیه‌شده امکان توزیع عادلانه آب با رعایت انصاف در شرایط تنش آبی بسیار شدید وجود دارد.

سلگی و همکاران[2] (۲۰۱۵) یک مدل بهینه‌سازی را برای یافتن زمان‌بندی بهینه تأمین متناوب در شرایط مختلف کمبود آب با در نظر گرفتن اصول برابری و عدالت و به حداکثر رساندن تعداد گره‌های در یک شبکه توزیع آب با فشار مطلوب ارائه دادند. برنامه زمانی در یک شبکه دو حلقه‌ای را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل (HBMO) متصل به شبیه‌ساز هیدرولیکی بهینه کردند. نتایج نشان داد که مدل بهینه‌سازی، برنامه زمانی بهینه¬ای برای تأمین متناوب آب با رعایت اصول برابری و عدالت را در بین همه گره‌های شبکه حتی در صورت کمبود شدید آب ارائه می‌دهد.

سلطان جلیلی و همکاران[3] (۲۰۱۳) جیره‌بندی آب در شبکه‌های توزیع آب شهری را موردمطالعه قرار دادند. بهینه‌سازی با الگوریتم HBMO و با هدف تأمین آب با فشار کافی، مطلوبیت تأمین و رضایت مصرف‌کنندگان انجام شده است. مدل هیدرولیکی بر اساس تحلیل مبتنی بر تقاضا انجام‌شده است. آن‌ها مدل را برای یکی از زون‌های شهر تهران اجرا و نتایج را ارائه کردند.

تابش و همکاران (۱۳۹۹) بهینه‌سازی تأمین نوبتی آب را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و تحلیل مبتنی بر فشار با هدف بیشینه‌سازی یکنواختی توزیع آب در شبکه و قابلیت اطمینان انجام دادند. آن‌ها با محاسبه برگشت‌پذیری به‌عنوان معیار کارایی به ارزیابی عملکرد سیستم پرداختند. مقایسه نتایج تحلیل مبتنی بر فشار با نتایج تحلیل مبتنی بر تقاضا نشان داد که در حالت اول تابع هدف در حدود ۲۰ درصد بیشتر از حالت دوم است.

اندی و کلکار[4] (۲۰۰۹) میزان مصرف خانگی را در دو حالت دائم و نوبتی بررسی کردند. آن‌ها در چهار شهر کشور هندوستان با جمع‌آوری داده‌های مصرف آب قبل و بعد از تحویل نوبتی نشان دادند که میزان مصرف خانگی به کفایت تأمین آب بستگی دارد. به عبارتی در صورت تأمین فشار مناسب در حالت تحویل نوبتی آب، مصرف در مقایسه با حالت تحویل دائم تغییر محسوس نداشته است.

درروش تحلیل مبتنی بر فشار حداکثر دبی تأمین‌شده در گره برابر دبی تقاضا خواهد بود؛ اما بر اساس نتایج اندی و کلکار (۲۰۰۹) در تحویل نوبتی آب، در صورت وجود فشار مناسب مشترکین آب موردنیاز ساعات دیگر را نیز ذخیره می‌کنند؛ بنابراین تحلیل مبتنی بر فشار امکان شبیه‌سازی واقعی شبکه توزیع آب در حالت تحویل نوبتی را نخواهد داشت. در این پژوهش با استفاده از روش گسیلنده تحلیل هیدرولیکی شبکه

---

[1] Bozorg-Haddad et al
[2] Solgi et al
[3] Soltanjalili et al
[4] Andey and Kelkar

توزیع انجام‌شده است. این روش امکان برداشت بیشتر آب در ساعت تحویل را فراهم می‌کند. نتایج این روش با روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار مقایسه شده است.

روش پژوهش

روش تحلیل شبکه

روش دوم تحلیل مبتنی بر فشار[1] (PDA) صریحاً رابطه بین فشار و تأمین تقاضا را در برمی‌گیرد. در این روش هنگامی‌که فشار گره به سطح خاصی کاهش یابد که تحت عنوان فشار مطلوب شناخته شود، تقاضای گره فقط می‌تواند تا حدی تأمین شود. زمانی که فشار گره به حداقل فشار شبکه برسد تأمین تقاضای گره ناچیز و یا صفر خواهد شد (لیو و همکاران[2]، ۲۰۱۱).

روابط مختلفی برای توصیف رابطه دبی و فشار توسط محققین ارائه شده است. چنگ و همکاران[3] (۲۰۱۹) روابط مختلف دبی و فشار را به‌صورت آزمایشگاهی موردبررسی قراردادند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه ارائه‌شده توسط واگنر و همکاران[4] (۱۹۸۸) مطابقت بیشتری با داده‌های آزمایشگاهی دارد. معادله ارائه‌شده توسط واگنر و همکاران (۱۹۸۸) مطابق رابطه (۱) است.

(۱)

$$q^{avl}=\begin{cases} 0 & P^{cNl}<P^{min} \\ q^{req}\times\left(\dfrac{P^{cNl}-P^{min}}{P^{req}-P^{min}}\right)^{n} & P^{min}\le P^{avl}\le P^{req} \\ q^{req} & p^{cvl}>p^{req} \end{cases}$$

در این رابطه q^{req} و q^{avl} به ترتیب دبی موردنیاز و دبی موجود در گره و P^{req}، P^{avl} و P^{min} به ترتیب فشار موردنیاز، فشار موجود و فشار حداقل گره می‌باشند. بر اساس این رابطه چنانچه فشار بیش از فشار موردنیاز گره باشد، دبی برداشتی از گره برابر دبی موردتقاضا خواهد بود. درصورتی‌که در شبکه‌های با فشار بالا افزایش فشار موجب افزایش مصرف آب خواهد شد.

در زمان تحویل نوبتی آب، مصرف در گره‌ها بیش از تحویل پیوسته آب در همان ساعت خواهد بود. مشترکین در مدت محدود تحویل، آب بیشتری مصرف می‌کنند و مقداری آب را برای ساعات دیگر ذخیره خواهند کرد. به همین دلیل روش مبتنی بر فشار برای تحویل پیوسته مناسب خواهد بود (اندی و کلکار، ۲۰۰۹)

در روش گسیلنده[5] مقدار آب برداشتی تابعی از فشار خواهد بود اما برخلاف روش مبتنی بر فشار محدودیت برداشت آب وجود نخواهد داشت. رابطه گسیلنده به‌صورت رابطه (۲) خواهد بود (کانتری راوی و همکاران[6]، ۲۰۱۹). در این رابطه ضریب گسیلنده Ke تابعی از تقاضای گره خواهد خواهد بود. به عبارتی هر چه دبی تقاضا بیشتر باشد این ضریب بزرگ‌تر و دبی برداشتی بیشتر است.

$$q_{avl}=K_e P_{avl}^{n} \quad (۲)$$

$$K_e=\frac{q_j^{req}}{\left(P_j^{req}-P_j^{min}()^{\gamma}\right)} \quad (۳)$$

$$\gamma=\frac{1}{n_j} n_j=1.88\text{-}2 \quad (۴)$$

P_{avl} فشار در گره (متر آب) و q_{avl} دبی قابل‌برداشت در گره (لیتر بر دقیقه) است. هر چه دبی تقاضا در گره زیاد (ضریب گسیلنده بزرگ‌تر) باشد دبی برداشتی در زمان تحویل نوبتی افزایش خواهد یافت.

---

[1] Pressure Dependent Analysis
[2] Liu et al
[3] Chang et al
[4] Wagner et al
[5] Emitter
[6] Conety Ravi et al

توابع هدف

۱- درصد تأمین

هدف از شبکه‌های توزیع آب تأمین آب موردنیاز مصرف‌کنندگان باکیفیت و فشار مناسب است. مجموع آب تأمین‌شده در شبکه در یک شبانه‌روز به مقدار آب موردنیاز شبکه در یک شبانه‌روز به‌عنوان تابع هدف در مدل بهینه‌ساز به کار خواهد رفت (معادله (۵)).

$$OF=\frac{\sum_{t=1}^{24}\sum_{j=1}^{NN} q_j^s}{\sum_{t=1}^{24}\sum_{j=1}^{NN} q_j^{req}} \quad (۵)$$

q^{req} دبی موردنیاز هر گره، q^s دبی تأمین‌شده هر گره و NN تعداد گره‌های شبکه است. مقدار این تابع هدف بین صفر و یک متغیر خواهد بود.

۲- یکنواختی توزیع

بهینه‌سازی با هدف افزایش درصد تأمین آب موجب افزایش تعداد گره‌های با مصرف پایین خواهد شد. به همین منظور تابع یکنواختی توزیع آب در شبکه به‌صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود (ایلیا- آیزا و همکاران[1]، ۲۰۱۸؛ گتیپاتی و ناندوری[2]، ۲۰۱۴).

$$UC=1-\frac{\sum_{j=1}^{NN}|s_p-s_{ave}|}{s_{ave}\times NN} \quad (۶)$$

$$s_p=\frac{q_p^s}{q_p^{req}} \quad (۷)$$

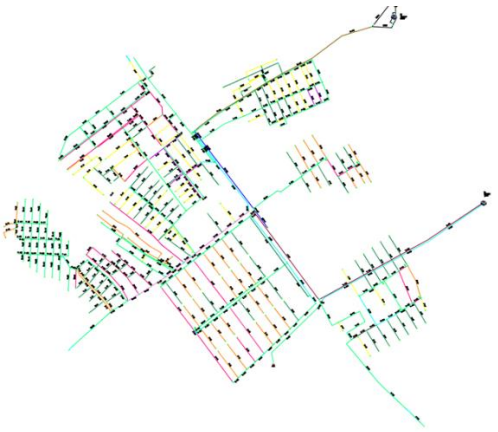
در این روابط q_p^s دبی تأمین‌شده در گره p، q_p^{req} دبی موردنیاز در گره p و s_{ave} متوسط s_p در تمام گره‌ها است. مقدار این تابع هدف بین صفر و یک متغیر است.

شبکه تازه‌آباد

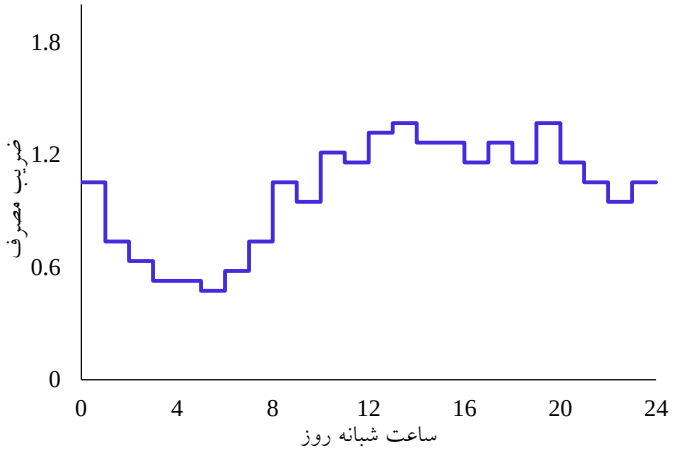
مطابق شکل (۱) بعد از دریافت ازبیلت شبکه توزیع آب شهر تازه‌آباد از شرکت آب و فاضلاب کرمانشاه، به مدت دو هفته فشارسنجی شبکه انجام شد. با استفاده داده‌های فشار و نرم‌افزار واترجمز، شبکه توزیع کالیبره شد. شکل (۲) الگوی مصرف شبکه توزیع تازه‌آباد را نشان می‌دهد. در این شبکه کمترین ضریب مصرف ۰/۴۵ در ساعت ۴ و بیشترین ضریب برابر ۱/۴ در ساعت ۱۲ است؛ بنابراین بیشترین فشارها در ساعت ۴ و کمترین فشارها در ساعت ۱۲ است.

طول خطوط لوله در شبکه توزیع آب شهر تازه‌آباد حدود ۴۰ کیلومتر است. باوجود کوچک بودن شبکه توزیع و پر بودن مخزن برخی نواحی شبکه دارای فشار پایین و در برخی ساعات فشار حدود صفر است. علت این مشکل افت در برخی لوله‌های است که نیاز به نصب لوله‌های با قطر بالاتر در شبکه است. برای حل موقت این مشکل تحویل نوبتی آب برای شبکه پیشنهاد داده می‌شود. بر اساس جانمایی شیرآلات در شبکه توزیع آب تازه‌آباد به ۶ ناحیه مطابق شکل (۳) تقسیم‌شده است؛ بنابراین تعداد متغیرهای تصمیم برابر ۶ خواهد بود.

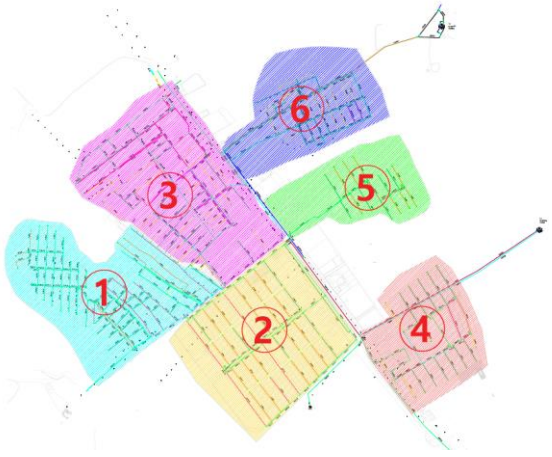
[1] Ilaya-Ayza et al
[2] Gottipati & Nanduri



شکل ۱. جانمایی شبکه توزیع آب تازه‌آباد



شکل ۲. تغییرات ضریب الگوی مصرف شبکه تازه‌آباد



شکل ۳. تقسیم‌بندی نواحی شبکه توزیع آب تازه‌آباد

الگوریتم جستجوی هماهنگ

با توجه به پیچیدگی شبکه‌های توزیع آب، در بهینه‌سازی مسائل مربوط به آن‌ها از الگوریتم‌های فرا کاوشی استفاده می‌شود. از میان الگوریتم‌های فرا کاوشی، الگوریتم جستجوی هماهنگ[1] در بهینه‌سازی مسائل شبکه‌های توزیع آب نتایج بهتری را ارائه کرده‌اند. این الگوریتم اولین بار توسط گیم و همکاران[2] (۲۰۰۱) معرفی شد و از موسیقی الهام گرفته است. با توجه به اینکه در هر تکرار تنها یک جواب جدید ایجاد می‌شود، زمان اجرای کمتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر لازم دارد.

مراحل این الگوریتم به قرار زیر است:

۱. تعریف مقادیر پارامترهای الگوریتم و مسئله
۲. ایجاد حافظه هارمونی
۳. تولید هارمونی جدید از حافظه هارمونی
۴. به‌روزرسانی حافظه هارمونی
۵. بررسی معیار توقف

با توجه به توابع هدف، الگوریتم جستجوی هماهنگ تک هدفه و چند هدفه در این پژوهش به‌کاررفته است. در الگوریتم تک هدفه درصد تأمین تابع هدف است و در الگوریتم دو هدفه علاوه بر درصد تأمین، یکنواختی توزیع نیز تابع هدف خواهد بود.

سناریوها

به‌منظور تحویل بهینه نوبتی آب در شبکه توزیع آب تازه‌آباد سه سناریو طراحی شده است. در هر سناریو به دو روش هیدرولیکی مبتنی بر فشار و گسیلنده مدل هیدرولیکی به‌صورت تک هدفه و دو هدفه اجرا شده است. مدت‌زمان تحویل آب به هر ناحیه در سناریو اول ۱۲ ساعت، در سناریو دوم ۸ ساعت و در سناریو سوم ۶ ساعت بوده است. نتایج هر سناریو به تفکیک ارائه و موردبحث قرارگرفته است. در تمامی این سناریوها ساعت تحویل آب متغیر تصمیم است.

یافته‌ها

سناریو اول (تحویل ۱۲ ساعته)

این سناریو مدت‌زمان تحویل آب به هر ناحیه ۱۲ ساعت در نظر گرفته‌شده است. نسبت دبی تأمین‌شده به دبی موردنیاز و یکنواختی توزیع هر دو به‌عنوان تابع هدف موردبررسی قرار گرفت. نتایج این سناریو برای هر دو روش تحلیل در جدول (۱) آمده است. نتایج روش PDA در هر دو الگوریتم یکسان است اما در الگوریتم دو هدفه به روش گسیلنده در مقایسه با الگوریتم تک هدفه نسبت دبی تأمین شده به دبی موردنیاز کاهش و یکنواختی توزیع افزایش یافته است. به عبارتی افزایش یکنواختی توزیع آب در گره‌ها موجب کاهش درصد تأمین کل شبکه شده است.

جدول ۱. نتایج سناریو اول (تحویل ۱۲ ساعته)

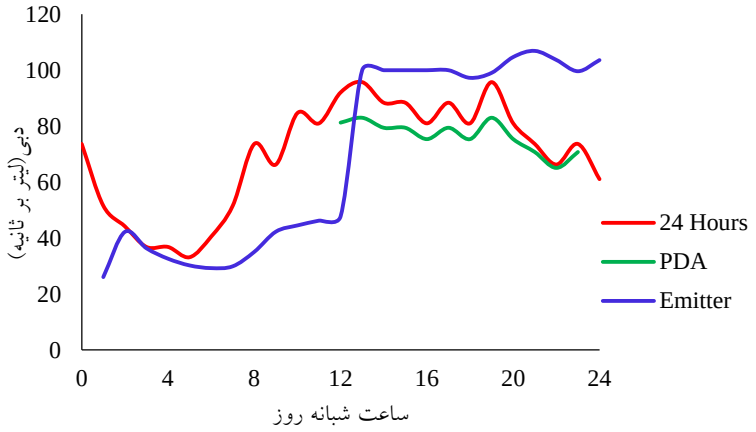
الگوریتم	روش تحلیل هیدرولیکی	$\frac{Supply}{Required}$	UC	ساعت تحویل آب					
				ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	ناحیه ۶
تک هدفه	PDA	۰/۵۴۶۸	۰/۹۳۱۵	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴
	Emitter	۱/۰۰۸	۰/۷۶۸	۰-۱۲	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۰-۱۲	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴
دوهدفه	PDA	۰/۵۴۶۸	۰/۹۳۱۵	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴

[1] Harmony Search
[2] Geem et al

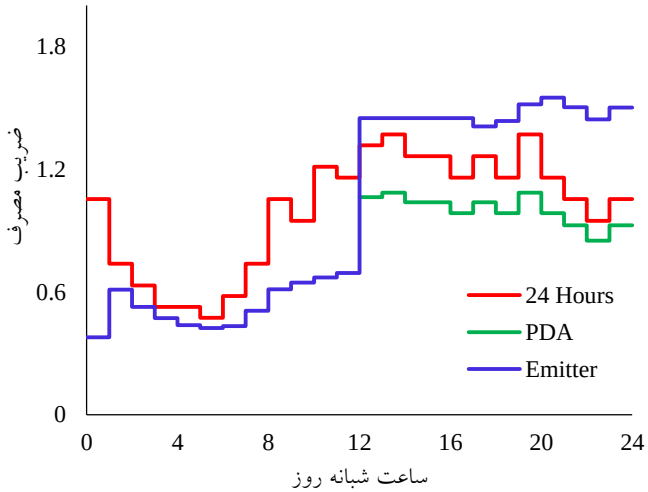
Emitter	۰/۹۸۷	۰/۷۹	۰-۱۲	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۱۲-۲۴	۰-۱۲	۱۲-۲۴

در شکل (۴) تغییرات دبی بازمان برای هر دو روش تحلیل هیدرولیکی و حالت تأمین ۲۴ ساعته با استفاده از الگوریتم دو هدفه ترسیم‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش گسیلنده از ساعت ۱۲ ظهر تا ۱۲ شب، دبی بیش از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. درروش مبتنی بر فشار محدوده تغییرات دبی از ۶۵ تا ۸۳ لیتر بر ثانیه و درروش گسیلنده دبی از ۲۶ تا ۱۰۷ لیتر بر ثانیه متغیر است.

شکل (۵) تغییرات ضریب مصرف نسبت به زمان را نشان می‌دهد. درروش تحلیل مبتنی بر فشار ضرایب کمتر از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. درروش تحلیل مبتنی بر فشار ضرایب از ۰/۸۵ تا ۱/۰۸ متغیر است و همواره کمتر از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. درحالی‌که درروش گسیلنده ضرایب در محدوده ۰/۳۸ و ۱/۵۵ قرار دارد.



شکل ٤. تغییرات دبی با زمان در تحویل ۱۲ ساعته با الگوریتم دو هدفه



شکل ۵. تغییرات ضریب دبی با زمان در تحویل ۱۲ ساعته با الگوریتم دو هدفه

سناریو دوم (تحویل ۸ ساعته)

در این سناریو مدت‌زمان تحویل آب به هر ناحیه ۸ ساعت است. نتایج این سناریو برای هر دو روش تحلیل در جدول (۲) آمده است. نتایج روش PDA در هر دو الگوریتم یکسان است و در این روش آب به تمام نواحی در ساعت ۸ تا ۱۶(ساعت اوج مصرف) تحویل داده شده است؛ که موجب کاهش درصد تأمین کل شبکه شده است.

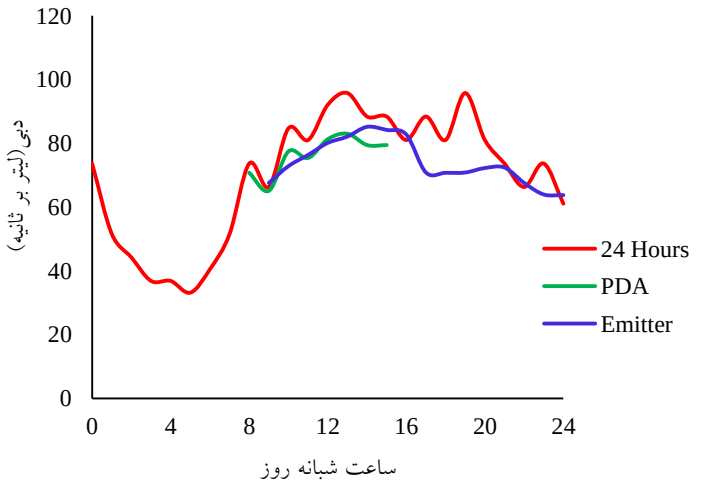
درروش گسیلنده با هر دو روش تحلیل هیدرولیکی به سه ناحیه از ساعت ۸ تا ۱۶ و سه ناحیه دیگر از ساعت ۱۶ تا ۲۴ آب تحویل داده‌شده است. با الگوریتم دو هدفه در مقایسه با الگوریتم تک هدفه درصد تأمین یکسان و یکنواختی توزیع افزایش‌یافته است. میزان توابع هدف در این سناریو نسبت به سناریو تحویل ۱۲ ساعته کاهش زیادی داشته است. به عبارتی با تحویل ۸ ساعته آب تعداد قابل‌توجه از مشترکین امکان برداشت آب کافی را نخواهند داشت که موجب نارضایتی آن‌ها خواهد شد. این نتایج منطبق بر داده‌های میدانی فن و همکاران[1] در سال ۲۰۱۴ است. با کاهش تعداد ساعت تحویل آب حجم آب برداشتی توسط مشترکین ۲۲۵ روستا در چین کاهش پیداکرده است.

جدول ۲. نتایج سناریو دوم

الگوریتم	روش تحلیل هیدرولیکی	$\frac{Supply}{Required}$	UC	ساعت تحویل آب					
				ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	ناحیه ۶
تک هدفه	PDA	۰/۳۶۴	۰/۹۳۱	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶
	Emitter	۰/۷۰۵	۰/۸۶۹	۱۶-۲۴	۱۶-۲۴	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶	۱۶-۲۴
دوهدفه	PDA	۰/۳۶۴	۰/۹۳۱	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶	۸-۱۶
	Emitter	۰/۷۰۵	۰/۸۷۲	۱۶-۲۴	۱۶-۲۴	۸-۱۶	۸-۱۶	۱۶-۲۴	۸-۱۶

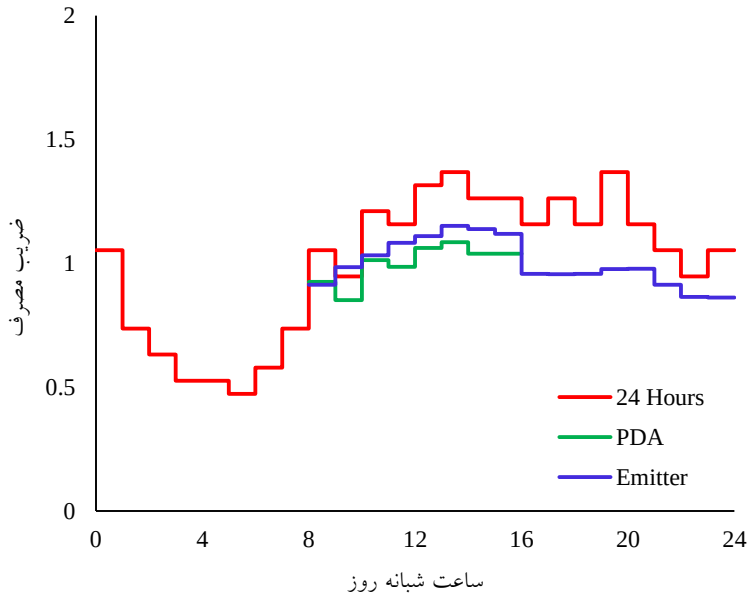
در شکل (۶) تغییرات دبی با زمان برای هر دو روش و حالت تأمین ۲۴ ساعته در الگوریتم دو هدفه ترسیم‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو روش دبی کمتر از حالت تحویل پیوسته است. درروش مبتنی بر فشار محدوده تغییرات دبی از ۶۵ تا ۸۳ لیتر بر ثانیه و درروش گسیلنده دبی از ۶۴ تا ۸۵ لیتر بر ثانیه متغیر است. به عبارتی محدوده تغییرات دبی برای هر دو روش یکسان است.

شکل (۷) تغییرات ضریب مصرف نسبت به زمان را نشان می‌دهد. درروش تحلیل مبتنی بر فشار ضرایب کمتر از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. درحالی‌که درروش گسیلنده ضرایب بیش از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. درروش تحلیل مبتنی بر فشار ضرایب از ۰/۸۵ تا ۱/۰۸۵ متغیر است و همواره کمتر از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. همچنین در روش گسیلنده ضرایب در محدوده ۰/۸۶ و ۱/۱۵ قرار دارد.



شکل ٦. تغییرات دبی با زمان در تحویل ۸ ساعته

[1] Fan et al



شکل ۷. تغییرات ضریب دبی با زمان در تحویل ۸ ساعته

سناریو سوم (تحویل ٦ ساعته)

نتایج این سناریو برای هر دو روش تحلیل هیدرولیکی در جدول (۳) آمده است. در روش تحلیل هیدرولیکی PDA آب به تمام نواحی از ساعت ۱۲ تا ۱۸ تحویل داده شده است. در این روش باوجود بالا بودن یکنواختی توزیع، درصد تأمین کمتر از ۳۰ درصد است و به عبارتی کمتر از ۳۰ درصد نیاز شبکه تأمین شده است.

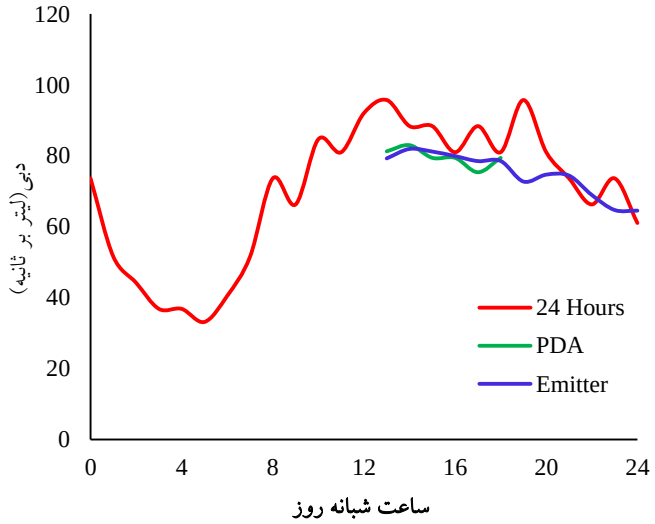
درروش گسیلنده به نصف نواحی شبکه از ساعت ۱۲ تا ۱۸ و نصف دیگر از ساعت ۱۸ تا ۲۴ آب تحویل دادهشده است. در الگوریتم دو هدفه به روش گسیلنده در مقایسه با الگوریتم تک هدفه درصد تأمین کاهش و یکنواختی توزیع افزایش یافته است. به عبارتی الگوریتم دوهدفه با افزایش یکنواختی توزیع، درصد تأمین را کاهش داده است.

جدول ۳. نتایج سناریو سوم

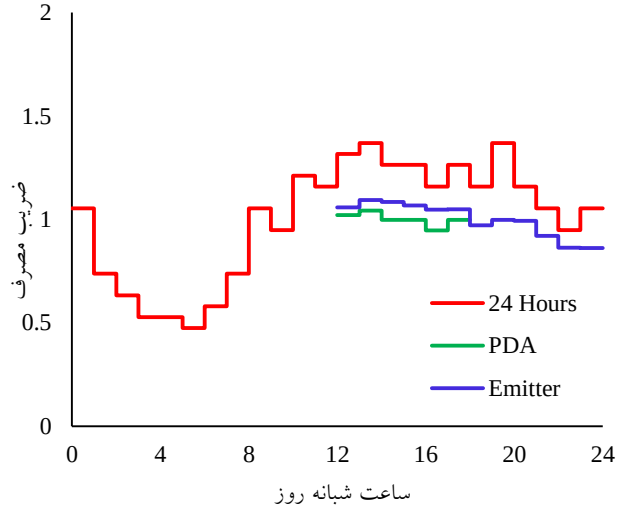
الگوریتم	روش تحلیل هیدرولیکی	$\frac{Supply}{Required}$	UC	ساعت تحویل آب					
				ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	ناحیه ۶
تک هدفه	PDA	۰/۲۸۴۶	۰/۹۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸
	Emitter	۰/۵۴۴	۰/۸۵۷۷	۱۸-۲۴	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۸-۲۴	۱۸-۲۴	۱۲-۱۸
دوهدفه	PDA	۰/۲۸۴۶	۰/۹۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸
	Emitter	۰/۵۳۶	۰/۸۵۹	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۸-۲۴	۱۲-۱۸	۱۸-۲۴	۱۸-۲۴

در شکل (۸) تغییرات دبی با زمان برای هر دو روش و حالت تأمین ۲۴ ساعته برای الگوریتم دو هدفه ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو روش دبی کمتر از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. محدوده تغییرات دبی در روش مبتنی بر فشار بین ۸۱ تا ۹۶ لیتر بر ثانیه و در روش گسیلنده ۶۴ تا ۸۲ لیتر بر ثانیه است.

شکل (۹) تغییرات ضریب مصرف نسبت به زمان با الگوریتم دو هدفه را نشان می‌دهد. در هر دو روش تحلیل هیدرولیکی ضرایب کمتر از حالت تأمین ۲۴ ساعته است. در روش تحلیل مبتنی بر فشار ضرایب از ۰/۹۵ تا ۱/۰۴ متغیر است. درحالی‌که درروش گسیلنده ضرایب در محدوده ۰/۸۶ و ۱/۰۹ قرار دارد. در این سناریو برای هر دو حالت محدوده تغییرات دبی و فشار کمتر از تحویل ۲۴ ساعته است.



شکل ۸ تغییرات دبی با زمان در تحویل ٦ ساعته



شکل ۹. تغییرات ضریب دبی با زمان در تحویل ٦ ساعته

بحث

در تحلیل تحویل نوبتی آب در شبکه‌های توزیع آب از روش مبتنی بر فشار استفاده می‌شود. این روش در تحویل ۲۴ ساعته قابل‌اعتماد است؛ اما در تحویل نوبتی مشترکین علاوه بر برداشت آب موردنیاز ساعت تأمین، برای ساعات دیگر نیز اقدام به ذخیره آب خواهند کرد. در این پژوهش با روش مبتنی بر فشار و گسیلنده تحویل نوبتی بهینه شده است. تحویل آب به شبکه تازه‌آباد به‌صورت تحویل ۱۲، ۸ و ۶ ساعته بهینه شده است.

نتیجه‌گیری

در روش PDA درصد تأمین بسیار کمتر از روش گسیلنده است درحالی‌که یکنواختی توزیع بیشتر از روش گسیلنده است. در این روش آب در یک نوبت به‌کل شبکه تحویل داده شده است. بااین‌حال دبی تحویلی به شبکه کمتر از شرایط فعلی است. به عبارتی این روش امکان شبیه‌سازی شبکه در شرایط معمول را ندارد.

درروش گسیلنده تحویل آب به شبکه در تمام سناریوها در دو نوبت است. در تحویل ۸ و ۶ ساعته تحویل در ساعات کم‌مصرف انجام‌نشده است. در الگوریتم تک هدفه و تحویل ۱۲ ساعته حداکثر دبی در شبکه بیش از حداکثر وضعیت فعلی شبکه است؛ اما در تحویل ۸ و ۶ ساعته حداکثر دبی به حداکثر مصرف فعلی شبکه بسیار نزدیک است. همچنین تغییرات دبی نیز کمتر از تغییرات دبی در وضعیت فعلی شبکه است. به عبارتی فشار در گره‌ها و سرعت جریان در لوله‌ها به شرایط فعلی نزدیک‌تر است؛ اما میزان آب تحویلی به شبکه نسبت به حالت ۱۲ ساعته کاهش‌یافته است.

بر اساس نتایج می‌توان گفت برای شهر تازه‌آباد با توجه به دبی وضعیت فعلی و میزان آب تحویلی، در صورت تحویل نوبتی بهتر است به‌صورت ۸ ساعته انجام شود. در این صورت حدود ۷۰ درصد آب موردنیاز تأمین خواهد شد و حداکثر دبی در شبکه به حداکثر دبی موجود نزدیک خواهد بود.

منابع

تابش، مسعود.، صفایی بروجنی، رضا.، شیرزاد، اکبر.، و شکوهی، میثم. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی سامانه‌های تأمین آب نوبتی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار. مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۳)، ۲۵-۱۲.
https://doi.org/10.22093/wwj.2019.108365.2553

سلگی، محمد.، بزرگ حداد، امید.، و قاسمی ابیازنی، پریسا. (۱۳۹۶). بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های توزیع آب شهری تحت شرایط کمبود به‌روش تأمین نوبتی. مجله آب و فاضلاب، ۲۸(۳)، ۱۲-۱. https://doi.org/10.22093/wwj.2016.17571

References

Andey, S., & Kelkar, P. (2009). Influence of intermittent and continuous modes of water supply on domestic water consumption. Water Resour. Manage, 23(12), 2555–2566. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-008-9396-8

Tabesh, M., Safaiee Broujeni, R., Shirzad, A., & Shokoohi, M. (2020). Optimization of Intermittent Water Supply Systems Using Particle Swarm Optimization Algorithm and Pressure Driven Hydraulic Analysis. Journal of Water and Wastewater, Ab va Fazilab, 31(3), 12-25. https://doi.org/10.22093/wwj.2019.108365.2553 [In Persian]

Solgi, M., bozorg haddad, O., & Ghasemi Abiazani, P. (2017). Optimal Intermittent Operation of Water Distribution Networks under Water Shortage. Journal of Water and Wastewater, Ab va Fazilab, 28(3), 1-12. https://doi.org/10.22093/wwj.2016.17571 [In Persian]

Bozorg Haddad, O., Ghajarnia, N., Solgi, M., Loáiciga, H. A., & Mariño, M. (2016). A DSS-based honeybee mating optimization (HBMO) algorithm for single-and multi-objective design of water distribution networks. In Metaheuristics and optimization in civil engineering, 199-233, Springer, Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-26245-1_10

Chang, D., Lee, H., Yoo, D., & Kim, J. (2019). Quantification of the head-outflow relationship for pressure-driven analysis in water distribution networks. KSCE J. Civ. Eng, 23, 3353–3363. https://doi.org/ 10.1007/s12205-019-1883-3.

Conety Ravi, S., Thurvas Renganathan, N., Perumal, S., & Paez, D. (2019). Analysis of water distribution network under pressure-deficient conditions through emitter setting. Drink. Water Eng. Sci, 12(1), 1-13. http://dx.doi.org/10.5194/dwes-12-1-2019o

Fan, L., Liu, G., Wang, F., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2014). Domestic water consumption under intermittent and continuous modes of water supply. Water resources management, 28(3), 853-865. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0520-7

Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V. (2001). A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. SIMULATION, 76(2), 60-68. http://dx.doi.org/10.1177/003754970107600201

Gottipati, P. V., & Nanduri, U. V. (2014). Equity in water supply in intermittent water distribution networks. Water and Environment Journal, 28(4), 509-515. http://dx.doi.org/10.1111/wej.12065

Ilaya-Ayza, A. E., Martins, C., Campbell, E., & Izquierdo, J. (2018). Gradual transition from intermittent to continuous water supply based on multi-criteria optimization for network sector selection. Journal of Computational and Applied Mathematics, 330, 1016-1029. http://dx.doi.org/10.1016/j.cam.2017.04.025

Liu, J, G. Yu, & D. Savic. (2011). Deficient-network Simulation Considering Pressure-dependent Demand. ICPTT, 886-900. https://doi.org/10.1061/41202(423)94

Solgi, M., Bozorg Haddad, O., Seifollahi-Aghmiuni, S., & Loáiciga, H. A. (2015). Intermittent operation of water distribution networks considering equanimity and justice principles. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 6(4), 04015004. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000198

Solgi, M., Bozorg-Haddad, O., Seifollahi-Aghmiuni, S., Ghasemi-Abiazani, P., & Loáiciga, H. A. (2016). Optimal operation of water distribution networks under water shortage considering water quality. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 7(3), 04016005. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000233

Soltanjalili, M. J., Bozorg Haddad, O., & Marino, M. A. (2013). Operating water distribution networks during water shortage conditions using hedging and intermittent water supply concepts. Journal of Water Resources Planning and Management, 139(6), 644-659. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000315

Suribabu, C. R., & Sivakumar, P. (2023). Analysis of Intermittent Water Distribution Networks Using a Dummy Emitter Device at Each Demand Node. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 14(3), 06023003. http://dx.doi.org/10.1061/JPSEA2.PSENG-1222

Wagner, J. M., Shamir, U., & Marks, D. H. (1988). Water Distribution Reliability: Simulation Methods. Journal of Water Resources Planning and Management, 114(3), 276-294. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1988)114:3(276)