



Application of Achieve-Based Genetic Algorithm for Consequence Management of Contaminant Entering in Water Distribution Networks

F. Masoumi^{1*}, S. N. Bashi Azghadi², A. Afshar³

¹ Civil Engineering Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Department of Civil Engineering and Environment, Khavaran Higher Education Institute, Mashhad, Iran

³ School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT: In this research, for the first time, finding the optimal operation actions in WDN to decrease the optimization time is taken into consideration. Valve(s) and hydrant(s) are also employed for isolating and flushing the contamination out of the network. The proposed embedded simulation-optimization approach for consequence management in this study is compromised EPANET simulation model and archive-based non-dominated sorting genetic algorithm-II (NSGA-II). Two objective functions are considered in this paper. The first objective function, minimized numbers of field operational actions related to expenses of the optimal solutions, whereas the other one minimized “consumed contamination mass” take into account for public health and safety. 20 valves and 31 hydrants are designed to insulate the network and discharge pollution, respectively. Without a follow-up management program, the total amount of contamination consumed in the event of network contamination would be 81.3 kg. Using 15 reactive activities, the mass of contamination consumed has reached 60.6 kg. For extracting the Pareto front between these objective functions with general NSGA-II which is a constraint to a maximum of 15 operational actions, approximately 73 minutes is required. To decrease this optimization time, archive-based NSGA-II is taken into account. With an archiving concept, it is possible to not implement a simulation model for similar chromosomes. Sensitivity analysis on the archive capacity of 0, 100, 200, 500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, and 5,000 chromosomes has been investigated. As an example, with an increase in archive capacity from 0 to 5000, the required time for extracting the optimal Pareto front is reduced from 73 to about 35 minutes, indicating a decrease of more than 50%. The results showed that if a small amount is selected for the archive capacity, for example, 50 or 100, the time required to extract optimal activities increases slightly relative to the base state. The reason for this is that if a small amount is selected for the archive capacity, part of the implementation time of the simulation-optimization model will be spent on finding similar chromosomes, and due to the low capacity of the archive, it is time to use the archive capacity. Using the archive, it is possible to reduce the time optimization and consequence management of the network in real-time operation.

Review History:

Received: Mar. 06, 2020

Revised: May, 12, 2020

Accepted: Jun. 03, 2020

Available Online: Jun. 13, 2020

Keywords:

Consequence management

Water distribution network

Simulation-Optimization

Archive capacity

1. INTRODUCTION

So far, a lot of research has been done on the recovery of urban water networks after the occurrence of pollution. In this study, contamination refers to any chemical, biological or radiological contamination that has adverse effects on public health. The studies on consequential management in urban water distribution networks are very limited. This includes researches by Baranowski and LeBoeuf [1], Ostfeld [2], Alfonso *et al.* [3], and Bashi Azghadi *et al.* [4]. In this study, the use of archive-based genetic algorithms to reduce the time required to extract optimal reactive activities is considered. The study of the previous articles shows that the use of archive-based genetic algorithms has been widely used in other topics in water engineering. For example, we can refer to Knowles and Corne's [5] and Fieldsend *et al.*

*Corresponding author's email: f_masoumi@uma.ac.ir

[6] researches, but so far the reduction in the extraction time of these optimal activities has not been considered yet. Accordingly, the use of archive-based genetic algorithms to reduce the extraction time of optimal management activities is the main innovation of this research.

2. METHODOLOGY

In this study, EPANET software and its library file have been used in MATLAB program as a quantitative and qualitative simulation model, multi-objective archived-based genetic algorithm as an optimization model and example number 3 of EPANET software has been used as a case study. In this study, the optimal reaction activities are selected from the potential hydrants to discharge contamination from the network and valves to isolate the contamination zone in the network. Fig. 1 shows the steps of the proposed approach.



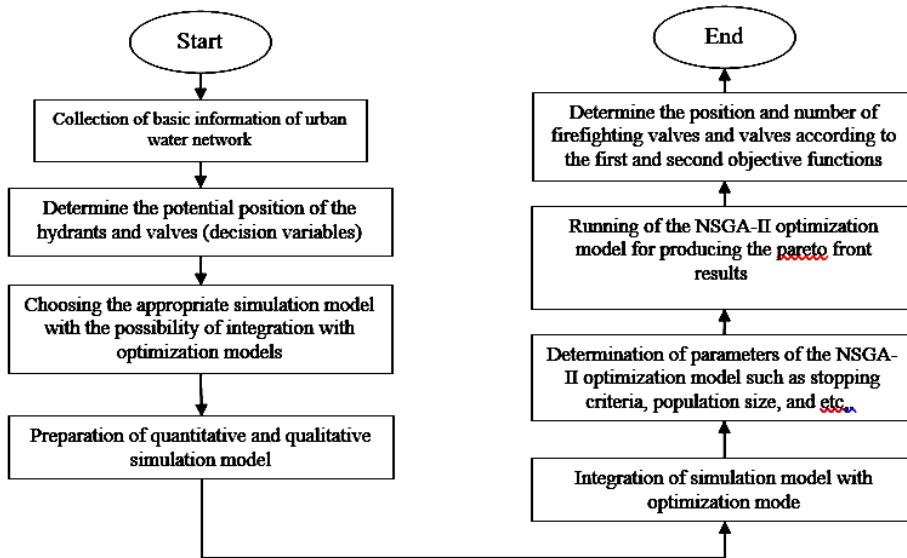


Fig. 1. The proposed approach structure in the management of the consequence

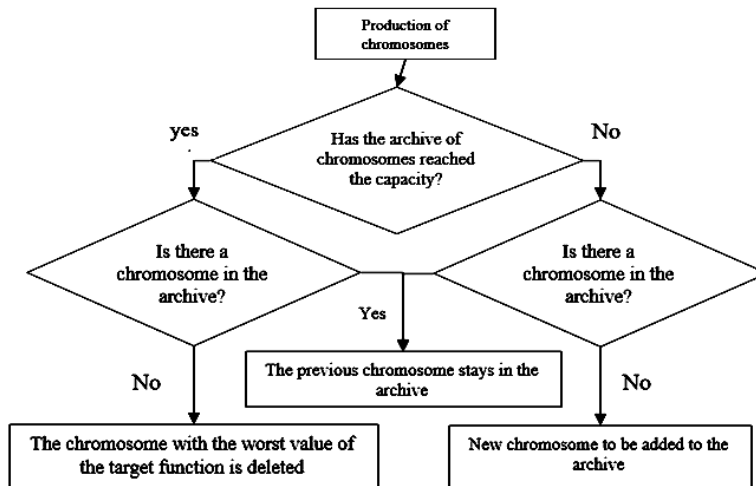


Fig. 2. Structure of achieve-based genetic algorithm

2.1. Objective functions

In this study, the objective functions used include minimizing (1) the number of reaction activities, and (2) the amount of contamination consumed, which are described below.

2.1.1. Minimize the number of reaction activities (Z1)

$$Z1 = \sum_{i=1}^V VA_i + \sum_{j=1}^H HY_j \quad (1)$$

In which, i is the indicator of valves, V is the total number of valves, j is the indicator of hydrants, H is the total number of hydrants, and VA_i and HY_j are the binary decision variables.

2.1.2. Minimize the amount of contamination consumed (Z2)

$$Z2 = \sum_{k=1}^N \sum_{t=td}^{EPS} C_{kt} \times V_{kt} \quad (2)$$

In which, K is the node indicator, t is the time index, td is the time elapsed after the time of contamination detection in the network, and EPS is the total time. C_{kt} is the pollution concentration in node K in time t , and V_{kt} is the consumed polluted water in node K in time t .

2.2. Archived-based genetic algorithm

The structure of the multi-purpose genetic algorithm based on the archive considered in this study is shown in Fig. 2.

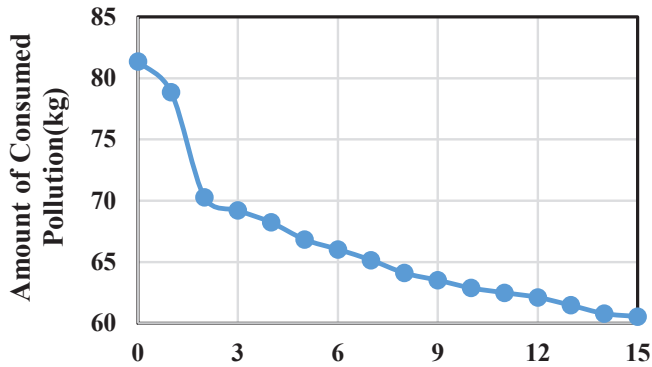


Fig. 3. The Curve of Interaction between the Various Goals of Consequence Management

Based on this Figure, an archive with a specific capacity for storing different chromosomes is first prepared. Then, due to the production of each new chromosome in the multi-generational genetic algorithm in each generation, if the archive capacity has not reached its maximum value and this new chromosome is not already in the archive, it will be added to the archive and if it is in the archive, the previous chromosome will be saved in the archive. Also, if the archive has reached its maximum capacity and there is no new chromosome in the archive, the chromosome will be removed with the worst value of the objective function. The above solutions make the archive have unique and appropriate chromosomes from the perspective of the objective function.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Example 3 EPANET software has been used in this study as a case study. In this study, five sensors were identified in nodes 15, 35, 145, 225, and 255 to detect pollution based on maximizing the correctness of spatial detection. Fig. 3 displays the optimal interaction curve between the number of reactive activities and the amount of contamination used. As shown in this Figure, without performing a consequence management program, the total amount of contamination consumed in the event of network contamination would be 81.3 kg. Using 15 reactive activities, the mass of contamination consumed has reached 60.6 kg.

It takes about 73 minutes to extract the interaction curve between the goals presented in Fig. 4. In this Figure, the time required to extract optimal activities (the interaction curve between different goals) is shown. As can be seen, as the capacity of the archive increases, the time required to extract optimal response activities also decreases. For example, increasing the capacity of the archive from zero to 5,000 will reduce the time required from 73 to about 35 minutes, indicating a reduction of more than 50 percent. This reduction in time, and consequently in the reduction of the response time of reactive activities, will have a significant effect on increasing the effect of optimal reactive activities extracted in reducing the mass of contamination consumed.

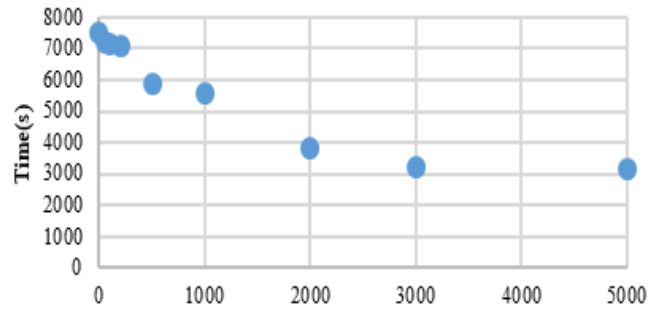


Fig. 4. Time to extract the curve of interaction between goals for different archive capacities

4. CONCLUSION

In the proposed approach, using the archive capacity, it is possible not to run the simulation model for similar chromosomes, which leads to a significant reduction in the execution time of the model without reducing the model results. In the proposed approach, the archive capacity with 0, 100, 200, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, and 5000 chromosome numbers was examined, which also had good results. For example, in general, as the archive population increases from 0 to 5,000, the time required to extract the interaction curve between goals decreases from 73 to 35 minutes, indicating a decrease of more than 50 percent.

REFERENCES

- [1] T. M. Baranowski, E. J. LeBoeuf, Consequence Management Optimization for Contaminant Detection and Isolation, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(4) (2006) 274–282.
- [2] A. Preis, A. Ostfeld, Multiobjective contaminant response modeling for water distribution systems security, *Journal of Hydroinformatics*, 10(4) (2008) 267-274.
- [3] L. Alfonso, A. Jonoski, D. Solomatine, Multi-objective optimization of operational responses for contaminant flushing in water distribution networks, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1) (2009) 48-58.
- [4] S.N. Bashi-Azghadi, M.H. Afshar, A. Afshar, Multi-objective optimization response modeling to contaminated water distribution networks: Pressure driven versus demand driven analysis, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(6) (2017) 2085-2096.
- [5] J. Knowles, D. Corne, The Pareto archived evolution strategy: A new baseline algorithm for Pareto multiobjective optimization, in: *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99* (Cat. No. 99TH8406), IEEE, (1999) 98-105.
- [6] J.E. Fieldsend, R.M. Everson, S. Singh, Using unconstrained elite archives for multiobjective optimization, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(3) (2003) 305-323.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

F. Masoumi, S.N. Bashi Azghadi, A. Afshar, Application of Achieve-Based Genetic Algorithm for Consequence Management of Contaminant Entering in Water Distribution Networks, Amirkabir J. Civil Eng., 53(8) (2021) 795-798.

DOI: [10.22060/ceej.2020.18055.6750](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18055.6750)





کاربرد الگوریتم ژنتیک بر مبنای آرشیو در مدیریت پیامد ورود بار آلودگی ناگهانی در شبکه‌های توزیع آب شهری

فریبرز معصومی^{۱*}، سید ناصر باشی ازغدی^۲، عباس افشار^۳

^۱ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۲ دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، موسسه آموزش عالی خاوران، تهران، ایران.

^۳ دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۶

بازنگری: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۴

ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

کلمات کلیدی:

مدیریت پیامد

شبکه آب شهری

شبیه‌سازی - بهینه‌سازی

ظرفیت آرشیو

خلاصه: در این تحقیق برای نخستین بار بهینه سازی فعالیت های مدیریت پیامد در شبکه توزیع آب شهری با رویکرد کاهش زمان بهینه‌سازی و مبتنی بر ظرفیت آرشیو مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق از روش تلفیقی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی برای مدیریت پیامد و از مدل شبیه‌سازی EPANET و الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II بر مبنای آرشیو استفاده شده است. دو تابع هدف به ترتیب به منظور حداقل کردن تعداد فعالیت‌های واکنشی (کاهش هزینه‌ها) و حداقل کردن جرم آلودگی مصرف شده توسعه داده شده است. تعداد ۲۰ شیر قطع و وصل و ۳۱ شیر آتش‌نشانی به ترتیب برای ایزوله کردن شبکه و تخلیه آلودگی در نظر گرفته شده است. بدون انجام برنامه مدیریت پیامد، در صورت بروز آلودگی در شبکه مقدار کل جرم آلودگی مصرف شده ۸۱/۳ کیلوگرم خواهد بود. با استفاده از ۱۵ فعالیت واکنشی جرم آلودگی مصرف شده به ۶۰/۱۶ کیلوگرم رسیده است. برای استخراج فعالیت‌های بهینه بین این اهداف با NSGA-II راجع و حداکثر ۱۵ فعالیت در حدود ۷۳ دقیقه زمان نیاز است. به منظور کاهش این زمان و فراهم آوردن امکان انجام مدیریت پیامد در زمان واقعی از الگوریتم NSGA-II بر مبنای آرشیو نیز استفاده شده است. با استفاده از ظرفیت آرشیو، امکان عدم اجرای مدل شبیه‌سازی برای کروموزوم‌های مشابه فراهم می‌گردد. رویکرد پیشنهادی برای ظرفیت آرشیو با تعداد صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ نشان می‌دهد که به طور کلی با افزایش جمعیت آرشیو از صفر به ۵۰۰۰، زمان استخراج منحنی تعامل بین اهداف از ۷۳ به ۳۵ دقیقه کاهش می‌یابد که حاکی از کاهش بیش از ۵۰ درصدی است. نتایج نشان می‌دهد که در صورت انتخاب مقدار کوچکی برای ظرفیت آرشیو، به عنوان مثال، تعداد ۵۰ یا ۱۰۰، زمان مورد نیاز برای استخراج فعالیت‌های بهینه اندکی نسبت به حالت مبنا افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع آن است که در صورت انتخاب مقدار کوچکی برای ظرفیت آرشیو، بخشی از زمان اجرای مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی صرف پیدا کردن کروموزوم‌های مشابه خواهد شد و با توجه به ظرفیت کم آرشیو، افزایش زمان مورد نیاز برای استخراج کروموزوم‌های مشابه بیشتر از تأثیر کاهش زمان استفاده از ظرفیت آرشیو است. بر این اساس، با استفاده از ظرفیت آرشیو، امکان کاهش زمان بهینه‌سازی و مدیریت پیامد در شبکه در زمان واقعی فراهم می‌گردد.

۱- مقدمه

آبرسانی شهری به شکل چشمگیری نمایان می‌گردد. امروزه آبرسانی مناسب و بی‌وقفه به دلیل وابستگی حیات در بخش‌های مختلف به آب یکی از مهم‌ترین اولویت‌های هر کشوری است. از طرف دیگر، کنترل کیفیت آب آشامیدنی و حفظ سلامت شهروندان نیز بسیار مهم بوده؛ به طوری که در دستور کار تصمیم‌گیرندگان و ذی‌نفعان این امر در سراسر جهان قرار گرفته است. بدیهی است که نگهداری و

حفظ و بقای زیرساخت‌های مهم کشور و فراهم آوردن امکان بهره‌برداری مناسب از آن‌ها در شرایط وقوع بحران، بسیار مهم و حائز اهمیت است. یکی از وجوه این اهمیت در مورد شبکه‌های

1 Infrastructure

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: f_masoumi@uma.ac.ir



مدیریت پیامد به عنوان یک ابزار مؤثر جهت حفاظت از سلامت مردم، بازیابی خدمات اساسی دولتی و فراهم آوردن کمک‌های اضطراری به دولت‌ها، شرکت‌ها، موسسات و افراد پس از رخداد آلودگی مطرح است. در این تحقیق منظور از آلودگی هر گونه آلودگی شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژیکی است که اثرات نامطلوبی بر سلامت عمومی و پیرامون آن داشته باشد. حادثه خرابکارانه نیز یک فعالیت نامطلوب یا خطرناک بر زندگی مردم و در نقض با قوانین جنایی هر کشور است که با اهداف سیاسی یا اجتماعی، دولت یا مردم غیرنظامی را ارباب یا اعمال فشار می‌نماید [۱]. در راستای مطالب فوق، پیشینه انجام مطالعات در زمینه مدیریت پیامد در شبکه‌های توزیع آب شهری به حدود یک دهه قبل باز می‌گردد. از این رو، مطالعات انجام شده در این زمینه بسیار جدید و البته محدود است. بارانوفسکی و لبوف [۲]، از سه روش بهینه‌سازی الف) روش اعتمادپذیری مرتبه اول غیرمقید^۷، ب) روش اعتمادپذیری مرتبه اول مقید^۸ و ج) تخمین پارامتر^۹ برای یافتن بهترین تقاضا^{۱۰} در گره‌ها به منظور کاهش غلظت آلودگی در شبکه استفاده کردند. در این تحقیق، کمترین مقدار تقاضا در گره‌ها بعد از تشخیص آلودگی توسط اولین سنسور در گام‌های زمانی ۵ دقیقه با استفاده از این سه روش بهینه‌سازی به منظور کمینه کردن گسترش آلودگی در شبکه محاسبه می‌شود. همچنین همین محققان در تحقیق دیگری [۳]، با استفاده از ابزار بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک به بررسی مدیریت پیامد پس از تشخیص آلودگی با هدف کاهش غلظت آلودگی در شبکه، به نحوی که کمترین هزینه ناشی از تغییر نیاز نیز تأمین گردد، پرداختند. پریس و استفلد [۴] در تحقیقی به بررسی یافتن بهترین اقدامات واکنشی پس از تشخیص آلودگی در شبکه به نحوی که اهداف ناسازگار الف) کمینه کردن جرم آلاینده مصرف شده پس از تشخیص آلودگی در شبکه و ب) کمینه کردن تعداد اعزام تیم‌های واکنشی را برآورده کند، پرداختند. آن‌ها برای حل این مسأله بهینه‌سازی دو هدفه، از الگوریتم ژنتیک^{۱۱} NSGA-II استفاده کردند. آلفونسو و همکاران [۵] به بررسی یافتن مؤثرترین تصمیمات برای کمینه کردن اثر آلودگی بر مردم پرداختند. بر اساس این مطالعه،

حفظ امنیت این زیرساخت‌ها در برابر آسیب‌های عمدی یا تصادفی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

تاکنون تحقیقات فراوانی در زمینه ایمن کردن شبکه‌های آب شهری پس از وقوع رخداد آلودگی صورت گرفته است که تعیین موقعیت بهینه ایستگاه‌های پایش شبکه توزیع، تعیین محل بروز آلودگی و نحوه مدیریت پیامد آن از مهم‌ترین جنبه‌های تحقیقاتی به شمار می‌آیند. مدیریت پیامد بحران ایجاد شده و اتخاذ بهترین تصمیم برای جلوگیری از گسترش آلودگی و تخلیه آن از شبکه، مسأله بسیار مهمی است که می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای از کار انداختن کل شبکه (به عنوان یک راه‌حل بسیار محافظه‌کارانه) باشد. اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده^۱ (۲۰۰۴) توصیه‌هایی را برای حداقل کردن خطرات ناشی از تهدیدات ناشی از بروز آلودگی در شبکه آب شهری را طی یک پروتکل ارائه داده است. توصیه‌های عمومی این پروتکل^۲ بعد از تشخیص آلودگی و محل وقوع آن شامل الف) اعلام خطر و اطلاع‌رسانی به عموم مردم، ب) ایزوله کردن ناحیه آلوده شده در شبکه، ج) تخلیه آلودگی از شبکه و د) ترکیبی از سه مورد قبل است [۱]. در حقیقت تمامی مراحل مقابله با این پدیده شامل جانمایی بهینه ایستگاه‌های پایش و شناسایی مشخصات منبع آلاینده در نهایت بایستی منجر به یکسری راهکارهای اجرایی شوند تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن و کمترین هزینه و همچنین کمترین افراد تحت تأثیر از آلودگی، شبکه بازیابی شده و امکان استفاده مجدد از آن فراهم آید. در این تحقیق فرض بر این است که تشخیص و تأیید وجود آلودگی به همراه شناسایی مشخصات منبع آلودگی در شبکه صورت گرفته است و حال بایستی اقدامات مورد نیاز برای مدیریت پیامدهای آلودگی شامل ایزوله^۳ کردن آلودگی با استفاده از شیرهای^۴ قطع و وصل و تخلیه آن با استفاده از شیرهای آتش‌نشانی^۵ در شبکه در کمترین زمان مشخص و اجرا گردد. هدف از این تحقیق استخراج فعالیت‌های بهره‌برداری (مدیریت پیامد) بهینه در شبکه توزیع آب شهری با رویکرد کاهش زمان بهینه‌سازی است. بر این اساس استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک چندهدفه بر مبنای آرشیو^۶ در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

7 Unconstrained First-Order Reliability Method (FORM)

8 Constrained First-Order Reliability Method

9 Parameter Estimation (PEST)

10 Demand

11 Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm- II (NSGA-II)

1 United States Environmental Protection Agency (USEPA)

2 Protocol

3 Isolation

4 Valve

5 Hydrant

6 Archive Based

ظفری و همکاران [۱۱] به مطالعه ورود بار آلودگی به شبکه توزیع آب شهری در دو حالت مختلف پرداختند. در حالت اول، آلودگی غیرخطرناک و در حالت دوم، آلودگی خطرناک بکار گرفته شد. برای حالت اول، تابع هدف چندهدفه و برای حالت دوم، تابع هدف تک‌هدفه تعریف شد و شبکه با استفاده از رویکرد تحلیل فشار (PDA) شبیه‌سازی و با PSO بهینه‌سازی گردید.

خاکسار و همکاران [۱۲] به ارائه یک مدل پویای جدید برای خروج بار آلودگی از شبکه توزیع آب شهری پرداختند. در مدل ارائه شده، شیرهای آتش‌نشانی که برای خروج بار آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به تناوب قابل باز و بسته شدن هستند. نتایج بهبود قابل ملاحظه‌ای را در وضعیت تابع هدف نشان داد.

استریکلینگ و همکاران [۱۳] در یک مطالعه جامع به مدیریت جامع پیامد ورود آلودگی در شبکه توزیع آب شهری پرداختند و استراتژی‌هایی را جهت لحاظ کردن اثرات هشدار به مصرف‌کنندگان تدوین و بکار گرفتند. در مطالعه آنها مدل هیدرولیکی شبکه توزیع، یک مدل عامل بنیان و یک سیستم هشدار اضطراری بی‌سیم بکار گرفته شد.

یکی از موضوعات مهم مورد توجه تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان شبکه آب شهری، کاهش زمان پاسخ به رخداد آلودگی و به بیان دیگر مشخص کردن فعالیت‌های واکنشی بهینه در کمترین زمان ممکن است. موضوعی که در تحقیقات پیشین مرتبط با مدیریت پیامد آلودگی در شبکه‌های توزیع آب شهری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، در این تحقیق استفاده از الگوریتم ژنتیک بر مبنای آرشیو به منظور کاهش زمان مورد نیاز برای استخراج فعالیت‌های واکنشی بهینه مدنظر است. بررسی پیشینه مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم ژنتیک بر مبنای آرشیو در سایر موضوعات مهندسی آب کاربرد فراوانی داشته است. به عنوان مثال، می‌توان به تحقیقات نوولس و کورن [۱۴، ۱۵] و فیلسند و همکاران [۱۶] اشاره داشت که بر مبنای آرشیو به بهبود عملکرد بهینه‌سازی پرداختند. ناولس و کورن [۱۵] از سه روش مختلف برای آرشیو جمعیت جبهه پرتو^۶ و شش تابع هدف مختلف برای ارزیابی روش‌های پیشنهادی استفاده کردند. تیواری [۱۷] استفاده از جمعیت آرشیو در الگوریتم ژنتیک را برای مسائل چندهدفه بهینه‌سازی مطرح کرد. در تحقیقی

مسأله واکنش به رخداد آلودگی در شبکه شامل دو گام اساسی (الف) شناسایی مشخصات منبع آلاینده و (ب) تعیین بهترین سیاست بهره‌برداری از شبکه در جهت کاهش انتشار آلودگی است. راسخ و برامبلو [۶] استفاده از یک مدل پشتیبان تصمیم‌گیری^۱ دینامیک برای شبیه‌سازی اقدامات واکنشی و ارائه بهترین اقدام واکنشی را توسعه دادند. مکانیزم بازخورد بین شبکه آلوده شده، تصمیم‌گیران و مصرف‌کنندگان در یک مدل شبیه‌سازی دینامیک در این تحقیق تلفیق شده است. در تحقیقی دیگر راسخ و همکاران [۷] عملکرد یک فعالیت واکنشی جدید، تزریق رنگ خوراکی^۲ در شبکه آب شرب، برای حداقل کردن خطرات آلودگی را بررسی کردند. تزریق رنگ به عنوان یک مکانیزم هشدار دهنده برای جلوگیری از مصرف عمومی آبی که احتمال آلوده شدن را دارد عمل می‌کند.

سالمونس و استفلد [۸] برنامه بهینه بهره‌برداری از سیستم گندزدایی لخته‌ای^۳ را به منظور مدیریت پیامد بروز آلودگی در شبکه آب شهری با در نظر گرفتن محل، زمان و نرخ تزریق ارائه کردند. روش پیشنهادی در این مقاله از دو گام مبتنی بر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی EPANET و بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک تشکیل شده است. تائورمینا و همکاران [۹] ایده مطرح شده در مقاله قبلی خود را توسعه داده و نشان دادند که پاسخ هیدرولیکی شبکه به حمله فیزیکی-سایبری نه تنها به مشخصات حمله، بلکه به شرایط اولیه و نیاز گره‌ها وابسته است. همچنین مشخص گردید که پاسخ‌های هیدرولیکی مشابهی می‌تواند با حملات کاملاً متفاوتی بدست آید. این موضوع یافته بسیار مهمی است که در تشخیص مکانیزم‌های حمله و شناسایی رفتار غیرمتشابه شبکه بایستی مورد توجه قرار گیرد.

باشی ازغدی و همکاران [۱۰] در مدیریت پیامد در شبکه آب شهری دو رویکرد مبتنی بر تامین نیاز^۴ و مبتنی بر تامین فشار^۵ را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که رویکرد مبتنی بر تامین فشار در هنگام استفاده از شیرهای قطع و وصل و شیرهای آتش‌نشانی به عنوان فعالیت‌های واکنشی به دلیل ایجاد فشار منفی در شبکه، ترسیم واقعی‌تری از وضعیت آن را در مقایسه با رویکرد مبتنی بر تامین نیاز در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد.

1 Decision support model

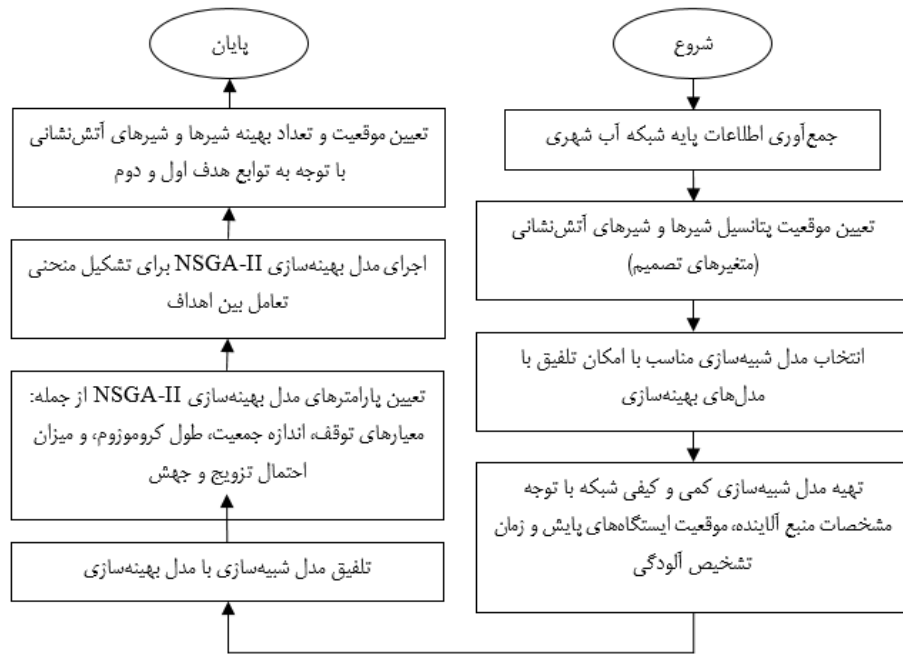
2 Food-grade dye

3 Slug disinfection

4 Demand Driven Analysis (DDA)

5 Pressure Driven Analysis (PDA)

6 Pareto Front



شکل ۱. ساختار رویکرد پیشنهادی در مدیریت پیامد

Fig. 1. The proposed approach structure in the management of the consequence

به منظور بازیابی شبکه آب شهری پس از انجام عملیات خرابکارانه و رخداد آلودگی (مدیریت پیامد) لازم است اقدامات واکنشی مناسبی صورت گیرد تا امکان استفاده مجدد سیستم برای مصرف‌کنندگان فراهم آید. روش شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در انتخاب فعالیت‌های واکنشی بهینه یکی از پرکاربردترین رویکردها در مدیریت پیامد در شبکه‌های آب شهری است. در این تحقیق فعالیت‌های واکنشی بهینه از بین محل‌های پتانسیل^۱ شیرهای قطع و وصل و شیرهای آتش‌نشانی به ترتیب به منظور ایزوله کردن آلودگی (جلوگیری از گسترش آن) و تخلیه آن از شبکه انتخاب می‌شود. ساختار الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، این رویکرد متشکل از تلفیق مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II با مدل شبیه‌سازی EPANET است. در این رویکرد مطابق با شکل ۱، ابتدا اطلاعات مورد نیاز شبکه شامل وضعیت توپولوژی^۲ شبکه، الگوی مصرف و نقاط پتانسیل شیرهای قطع و وصل و شیرهای آتش‌نشانی شناسایی می‌گردد. پس از آن ویژگی‌های منبع آلاینده مشخص معرفی و وارد مدل شبیه‌سازی می‌شود. در ادامه مدل شبیه‌سازی EPANET به منظور تحلیل هیدرولیکی شبکه در

دیگر نیز تیواری و همکاران [۱۸] ایده مطرح شده را برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مقید توسعه دادند. این روش مبتنی بر کاهش فضای جستجوی مطلوب استوار است و نتایج نشان از قابلیت مناسب این روش در بهبود جستجوی الگوریتم بهینه‌سازی دارد.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که مطالعات مختلفی در خصوص استخراج فعالیت‌های بهینه مدیریت پیامد در شبکه‌های توزیع آب شهری صورت گرفته است؛ ولی تاکنون کاهش زمان استخراج این فعالیت‌های بهینه با استفاده از ظرفیت آرشیو کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، استفاده از الگوریتم ژنتیک بر مبنای آرشیو به منظور کاهش زمان استخراج فعالیت‌های بهینه مدیریت پیامد نوآوری اصلی این تحقیق محسوب می‌گردد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نرم‌افزار EPANET و فایل کتابخانه‌ای آن در برنامه متلب به عنوان مدل شبیه‌سازی کمی و کیفی، الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر مبنای آرشیو به عنوان مدل بهینه‌سازی و مثال شماره ۳ نرم‌افزار EPANET به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. هر یک از بخش‌های مورد استفاده در این تحقیق پس از ارائه روش حل مسأله به اجمال در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

1 Potential locations
2 Topology

در غیراین صورت به همان حالت عادی (باز) می ماند. به همین ترتیب برای HY_j ، اگر مقدار آن برابر با یک باشد، حالت بهره برداری آن شیر آتش نشانی در شبکه به منظور تخلیه آلودگی از شبکه اصلاح می شود؛ در غیراین صورت به همان حالت اولیه (بسته) باقی می ماند.

ب) حداقل کردن جرم آلودگی مصرف شده ($Z2$)

تابع هدف دوم، $Z2$ ، مطابق رابطه (۲) میزان جرم آلودگی مصرف شده توسط مصرف کنندگان را بعد از تشخیص آلودگی نشان می دهد.

$$Z2 = \sum_{k=1}^N \sum_{t=td}^{EPS} C_{kt} \times V_{kt} \quad (2)$$

که در این رابطه، $Z2$ جرم آلاینده مصرف شده، k نشانگر گره، N تعداد کل گره های مصرف کننده، t نشانگر زمان و td مدت زمان سپری شده پس از زمان تشخیص آلودگی در شبکه تا EPS ، مدت کل زمان شبیه سازی است. C_{kt} غلظت آلاینده در گره k در زمان t و V_{kt} حجم آب آلوده مصرف شده در گره k در زمان t است.

۲-۲- نرم افزار EPANET

مدل های شبیه سازی شبکه آب شهری مدل هایی هستند که رفتار هیدرولیکی و کیفی آب در لوله های تحت فشار را در بازه های زمانی مختلف شبیه سازی می کنند. شکل کلی همه مدل های شبیه سازی رایج هیدرولیکی و کیفی آب عمدتاً یکسان بوده و همه آن ها دارای مجموعه ای از معادلاتی هستند که باید با توجه به شرایط اولیه، شرایط مرزی و شرایط هیدرولیکی در گام های زمانی مختلف حل شود. EPANET یکی از مدل های مشهور شبیه سازی کمی و کیفی آب در شبکه های توزیع آب شهری است. این نرم افزار توسط دپارتمان^۳ منابع آب و آزمایشگاه تحقیقاتی مطالعات ریسک سازمان حفاظت محیط زیست امریکا توسعه داده شده است و بطور گسترده ای در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق برای شبیه سازی هیدرولیکی و کیفی شبکه از نسخه EPANET 2.0 این نرم افزار استفاده شده است. همچنین به علت نیاز به اجزای مکرر این مدل در تلفیق با مدل بهینه سازی، از بسته جانبی آن تحت عنوان EPANET Toolkit در تلفیق با زبان برنامه نویسی متلب نسخه

هنگام مدیریت پیامد تهیه می گردد. حال پارامترهای مدل بهینه سازی NSGA-II مانند اندازه جمعیت، طول کروموزوم، تعداد تکرارها و میزان احتمال تزویج و جهش، مشخص و پس از اجرای مدل تلفیقی شبیه سازی- بهینه سازی نتایج به صورت منحنی تعامل بین اهداف مختلف ارائه می گردد. متغیرهای تصمیم در این مسأله موقعیت بهینه شیرهای قطع و وصل به منظور ایزوله کردن آلودگی و جلوگیری از گسترش آن و همچنین موقعیت بهینه شیرهای آتش نشانی به منظور تخلیه آلودگی از شبکه است. با استفاده از منحنی تعامل بهینه بدست آمده بین اهداف مختلف می توان تعداد مناسب فعالیت های واکنشی را با توجه به مقادیر مطلوب تصمیم گیرندگان از منظر مقادیر جرم آلودگی مصرف شده پس از شروع مدیریت پیامد تعیین کرد.

۲-۱- توابع هدف

در این تحقیق، اهداف مورد استفاده شامل (الف) حداقل کردن تعداد فعالیت های واکنشی و (ب) حداقل کردن جرم آلودگی مصرف شده است که در ادامه به تشریح آن ها پرداخته شده است.

الف) حداقل کردن تعداد فعالیت های واکنشی ($Z1$)

تابع هدف اول، $Z1$ ، مطابق با رابطه (۱) تعداد کل فعالیت های واکنشی است که پس از آلوده شدن شبکه به منظور ایزوله کردن و تخلیه آب آلوده از سیستم صورت می گیرد. این عملیات شامل شیرها و شیرهای آتش نشانی موجود در شبکه هستند که به ترتیب بسته یا باز می شوند.

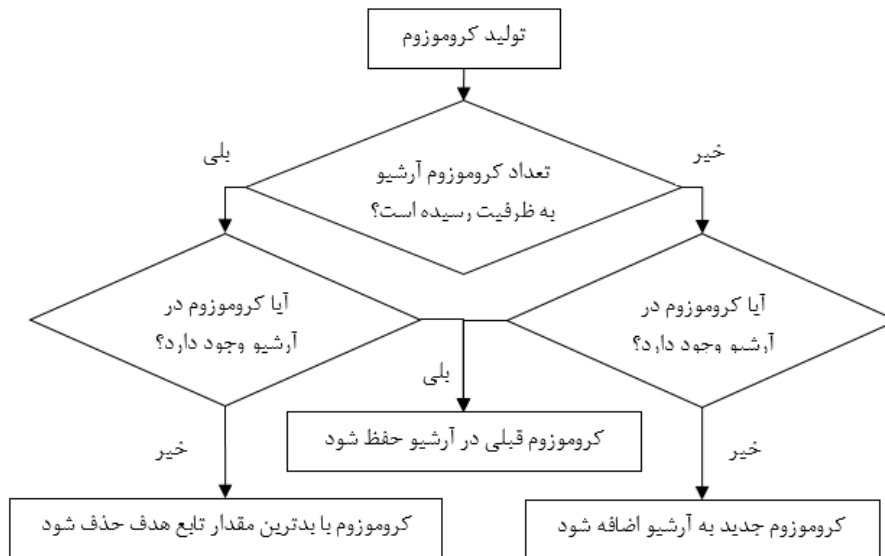
$$Z1 = \sum_{i=1}^V VA_i + \sum_{j=1}^H HY_j \quad (1)$$

که در آن، i شمارنده شیر قطع و وصل، VA_i ، i امین شیر قطع و وصل، V تعداد کل شیرهای قطع و وصل، j شمارنده شیر آتش نشانی، HY_j ، j امین شیر آتش نشانی، H تعداد کل شیرهای آتش نشانی در شبکه است. VA_i و HY_j متغیرهای تصمیم دودویی^۱ هستند که می توانند صفر یا یک باشند. اگر VA_i برابر یک باشد، این بدان معناست که حالت بهره برداری آن شیر قطع و وصل در طی دوره مدیریت پیامد به منظور ایزوله کردن بخشی از شبکه کمک می نماید؛

2 Consumer Nodes

3 Department

1 Binary



شکل ۲. ساختار الگوریتم ژنتیک بر مبنای آرشیو
 Fig. 2. Structure of Achieve-Based Genetic Algorithm

برای ذخیره کروموزوم‌های^۲ مختلف تهیه می‌شود. سپس با توجه به تولید هر کروموزوم جدید در الگوریتم ژنتیک چندهدفه در هر نسل^۳ در صورتی که ظرفیت آرشیو به حداکثر مقدار خود نرسیده باشد و این کروموزوم جدید نیز قبلاً در آرشیو وجود نداشته باشد، به آرشیو اضافه خواهد شد و اگر در آرشیو وجود داشته باشد، کروموزوم قبلی در آرشیو حفظ خواهد شد. همچنین در صورتی که آرشیو به حداکثر ظرفیت خود رسیده باشد و کروموزوم جدید نیز در آرشیو وجود نداشته باشد، کروموزوم با بدترین مقدار تابع هدف حذف خواهد شد. راهکارهای در نظر گرفته فوق باعث می‌شود که آرشیو دارای کروموزوم‌های منحصر بفرود و مناسب از منظر تابع هدف باشد.

۲-۴- مطالعه موردی

مثال شماره ۳ نرم‌افزار EPANET در بسیاری از مطالعات انجام شده در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته است. این شبکه دارای ۹۲ گره، ۱۱۷ لوله، سه تانک ذخیره، دو پمپ، و دو مخزن شامل یک دریاچه و یک رودخانه است (شکل ۳). در این شبکه فرض بر این است که آلودگی به صورت عمدی در ساعت هشت از گره ۱۰۱ تزریق و تا شش ساعت نیز ادامه می‌یابد.

بر اساس روش پیشنهاد شده توسط استفلد و سالومونز [۲۱]

R2012b استفاده شده است.

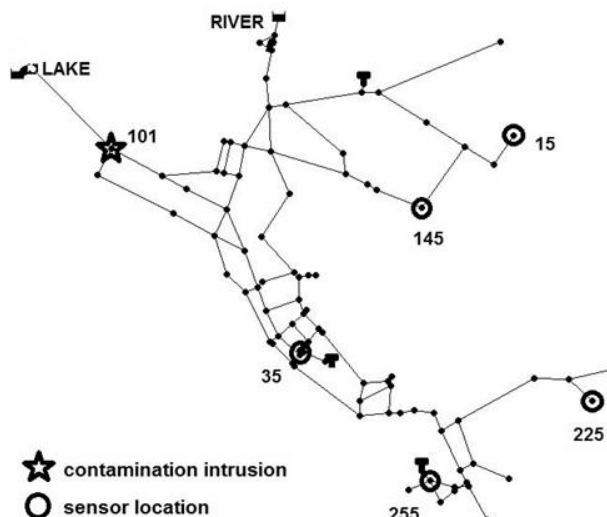
در این تحقیق از روش مبتنی بر تأمین نیاز برای تحلیل هیدرولیکی شبکه استفاده شده است و بر همین اساس فرض شده است که نیاز در تمامی گره‌ها تأمین خواهد شد. روابط افت هد در شبکه تحت آنالیز هیزن-ویلیامز^۱، مدت شبیه‌سازی ۲۴ ساعت، گام زمانی هیدرولیکی ۱ ساعت و گام زمانی کیفی پنج دقیقه در نظر گرفته شده است. همچنین فرض گردیده است که ماده شیمیایی مورد استفاده پایستار بوده و با آب و جداره لوله واکنش نمی‌دهد. مقدار پیش‌فرض برای پارامترهای مختلف مانند Accuracy، CHECKFREQ، MAXCHECK و DAMPLIMIT به ترتیب برابر با ۰/۱۰۰، ۲، ۱۰ و صفر در نظر گرفته شده است [۱۹].

۲-۳- الگوریتم ژنتیک بر مبنای آرشیو

الگوریتم ژنتیک یک روش جذاب و مورد توجه در مسائل بهینه‌سازی مدیریت کیفی منابع آب است که البته در مسائل مدیریت پیامد در شبکه‌های توزیع آب شهری نیز بیشترین کاربرد را داشته است [۲۰]. ساختار الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر مبنای آرشیو که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است، در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، ابتدا یک آرشیو با ظرفیتی مشخص

2 Chromosomes
 3 Generation

1 Hazen-Williams



شکل ۳. مطالعه موردی، مثال شماره ۳ نرم افزار EPANET
 Fig. 3. Case Study, Example 3 EPANET Software

جدول ۱. موقعیت شیرهای قطع و وصل لوله ها و شیرهای پتانسیل آتش نشانی در مساله مدیریت پیامد

Table 1. Location of Potential Valves and Hydrants in Consequence Management Problem

موقعیت شیرهای پتانسیل آتش نشانی	موقعیت شیرهای قطع و وصل لوله ها
۱۸۴، ۱۸۳، ۱۸۱، ۱۷۹، ۱۷۳، ۱۶۹، ۱۶۴، ۱۲۹، ۱۲۰، ۶۰، ۶۰۱، ۶۰، ۵۰، ۴۰	۱۷۵، ۱۷۳، ۱۵۵، ۱۲۳، ۱۱۶، ۱۱۱، ۱۰۷، ۱۰۵
۲۶۷، ۲۶۵، ۲۶۳، ۲۶۱، ۲۵۹، ۲۵۷، ۲۴۹، ۲۴۱، ۲۰۸، ۲۰۶، ۲۰۴، ۱۹۵، ۱۸۷	۲۶۹، ۲۳۷، ۲۳۱، ۲۲۹، ۲۲۱، ۲۱۵، ۲۰۴، ۱۷۷
۲۷۵، ۲۷۳، ۲۷۱، ۲۶۹	۳۱۷، ۳۱۱، ۳۰۹، ۳۰۱

شهری و از قابلیت الگوریتم چندهدفه NSGA-II بر مبنای آرشیو به عنوان ابزاری کارآمد در حل مسأله بهینه سازی استفاده شده است. پس از تشخیص آلودگی، یک ساعت زمان برای تعیین فعالیت های واکنشی بهینه و اعزام تیم های واکنشی در نظر گرفته شده است. بنابراین، فعالیت های واکنشی بهینه شامل بستن شیرهای قطع و وصل و باز کردن شیرهای آتش نشانی از ساعت ۱۲ شروع می شود. در این رویکرد فرض بر این است که فعالیت های واکنشی بهینه از ابتدا تا انتهای دوره مدیریت پیامد ثابت هستند و تغییر نمی کنند. تعداد ۲۰ شیر قطع و وصل و ۳۱ شیر آتش نشانی به ترتیب برای ایزوله کردن شبکه و تخلیه آلودگی در نظر گرفته شده است که موقعیت آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

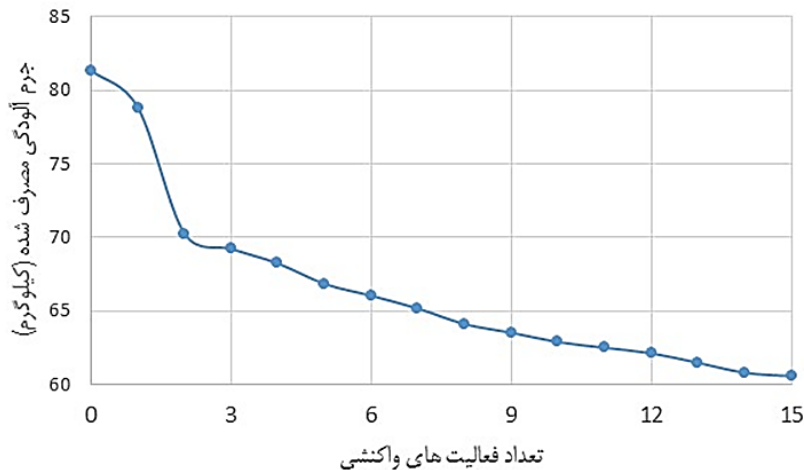
از این رو مدل بهینه سازی چندهدفه NSGA-II دارای متغیرهای تصمیم دودویی است و تعداد کل متغیرهای تصمیم برابر با تعداد کل شیرهای قطع و وصل و شیرهای آتش نشانی پتانسیل در شبکه است. با استفاده از منحنی تعامل بدست آمده بین اهداف می توان تعداد

پنج سنسور در گره های ۱۵، ۳۵، ۱۴۵، ۲۲۵ و ۲۵۵ برای تشخیص آلودگی مبتنی بر حداکثر کردن درست نمایی^۱ تشخیص مکانیابی شده است. با استفاده از این روش، سنسور مستقر در گره ۳۵ آلودگی را در ساعت ۱۰:۵۵ تشخیص می دهد. در این شبکه فرض بر این است که در حدود یک ساعت زمان برای تشخیص محل بروز آلودگی و شروع فعالیت های واکنشی نیاز است. بدین ترتیب اقدامات واکنشی از ساعت ۱۲ شروع و تا انتهای بازه شبیه سازی زمانی (ساعت ۲۴) ادامه خواهد داشت.

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق از رویکرد شبیه سازی- بهینه سازی به منظور تعیین سیاست های بهینه مدیریت پیامد در شبکه های توزیع آب شهری پس از رخداد آلودگی استفاده شده است. از مدل شبیه سازی EPANET به منظور شبیه سازی هیدرولیکی و کیفی جریان در شبکه توزیع آب

1 Likelihood



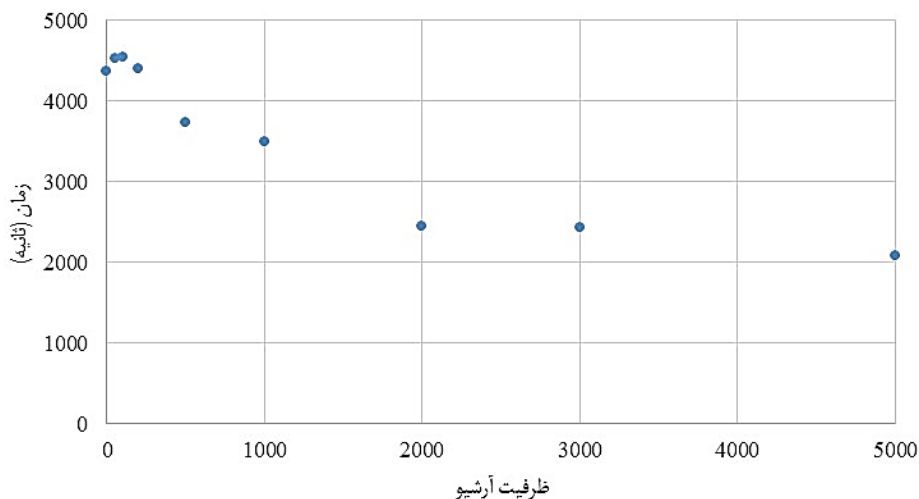
شکل ۴. منحنی تعامل بین اهداف مختلف مدیریت پیامد

Fig. 4. The Curve of Interaction between the Various Goals of Consequence Management

از الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر مبنای آرشیو پیشنهاد می‌گردد. در این الگوریتم با تعریف یک آرشیو با ظرفیت (جمعیت) مشخصی از کروموزوم‌ها در فرآیند بهینه‌سازی این امکان فراهم می‌گردد تا از اجرای شبیه‌سازی برای کروموزوم‌های یکسان (حالات مشابهی از وضعیت شیرهای قطع و وصل و شیرهای آتش نشانی) جلوگیری شود. بدین ترتیب در صورتی که کروموزوم‌های تولید شده در نسل جدید پیش از این در آرشیو ذخیره شده باشند، از اجرای مدل شبیه‌سازی برای آن‌ها ممانعت به عمل می‌آید. با استفاده از این روش و با توجه به ظرفیت اختصاص یافته به آرشیو انتظار می‌رود که زمان استخراج فعالیت‌های واکنشی بهینه کاهش یابد. شکل ۵ زمان مورد نیاز برای استخراج فعالیت‌های بهینه (منحنی تعامل بین اهداف مختلف) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ظرفیت آرشیو زمان مورد نیاز برای استخراج فعالیت‌های واکنشی بهینه نیز کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، با افزایش ظرفیت آرشیو از صفر به ۵۰۰۰ زمان مورد نیاز از ۷۳ به حدود ۳۵ دقیقه کاهش می‌یابد که کاهش بیش از ۵۰ درصدی را نشان می‌دهد. این کاهش زمان و به تبع آن کاهش زمان شروع فعالیت‌های واکنشی اثر بسزایی در افزایش اثر فعالیت‌های واکنشی بهینه استخراج شده در کاهش جرم آلودگی مصرف شده خواهد داشت. نکته مهم دیگری که از این شکل قابل دریافت است، آن است که در صورت انتخاب مقدار کوچکی برای ظرفیت آرشیو، به عنوان مثال، ۵۰ یا ۱۰۰، زمان مورد نیاز برای استخراج فعالیت‌های بهینه اندکی نسبت به

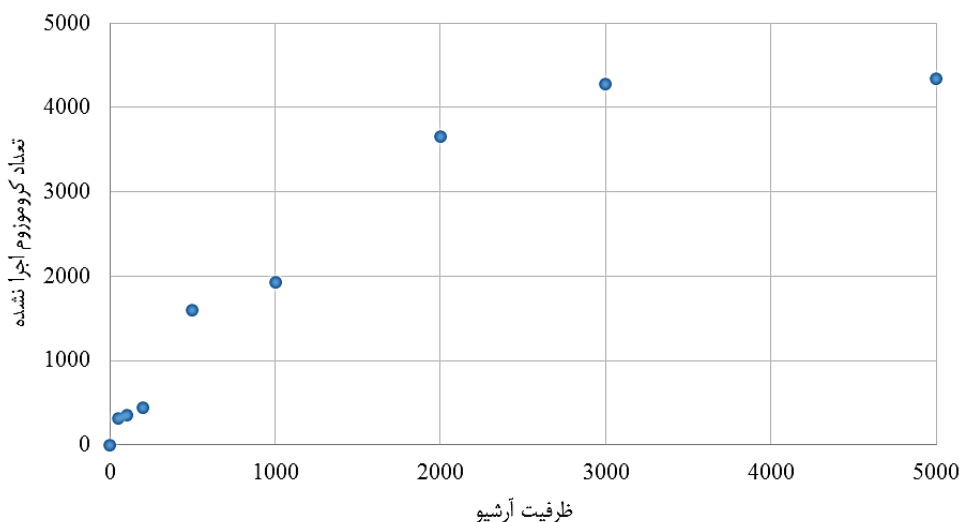
مناسبی از فعالیت‌های واکنشی (Z_1) را با توجه به مقدار مطلوب برای حداقل کردن جرم آلودگی مصرف شده (Z_2) بدست آورد. در این تحقیق حداکثر ۱۵ تیم واکنشی برای مدیریت پیامد در نظر گرفته شده است. تنظیم پارامترهای مدل بهینه‌سازی با استفاده از آنالیز حساسیت صورت گرفته است و بر اساس آن مقادیر بهینه بدست آمده است. جمعیت مدل NSGA-II شامل ۵۰ کروموزوم است و اجرای آن زمانی متوقف خواهد شد که به معیارهای توقف شامل حداکثر تعداد نسل و میزان بهبود در تابع هدف رسیده باشد. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار مناسب برای پارامترهای احتمال تزیوج و جهش به ترتیب برابر با ۰/۸ و ۰/۱ بدست آمده است. شکل ۴ منحنی تعامل بهینه بین تعداد فعالیت‌های واکنشی و مقدار جرم آلودگی مصرف شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود، مطابق با این شکل با افزایش تعداد فعالیت‌های واکنشی جرم آلودگی به شکل مشهودی کاهش پیدا خواهد کرد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، بدون انجام برنامه مدیریت پیامد، در صورت بروز آلودگی در شبکه مقدار کل جرم آلودگی مصرف شده ۸۱/۳ کیلوگرم خواهد بود. با استفاده از ۱۵ فعالیت واکنشی جرم آلودگی مصرف شده به ۶۰/۶ کیلوگرم رسیده است.

برای استخراج منحنی تعامل بین اهداف ارائه شده در شکل ۴ در حدود ۷۳ دقیقه زمان مورد نیاز است. با توجه به اهمیت تسریع در شروع اقدامات واکنشی و تأثیر آن بر جرم آلودگی مصرف شده توسط مردم، کاهش این زمان بدیهی به نظر می‌رسد. بدین منظور استفاده



شکل ۵. زمان استخراج منحنی تعامل بین اهداف به ازای ظرفیت‌های مختلف آرشیو

Fig. 5. Time to extract the curve of interaction between goals for different archive capacities



شکل ۶. تعداد کروموزوم اجرا نشده در فرآیند شبیه‌سازی-بهینه‌سازی به ازای ظرفیت‌های مختلف آرشیو

Fig. 6. The number of chromosomes not implemented in the simulation-optimization process for different archive capacities

همچنین به منظور ارائه تصویر بهتری از نتایج بدست آمده، در شکل ۶، تعداد کروموزوم‌هایی که در فرآیند شبیه‌سازی-بهینه‌سازی با توجه به جمعیت موجود در آرشیو اجرا نشده‌اند، ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، با افزایش ظرفیت آرشیو، تعداد کروموزوم‌هایی که به دلیل وجود آن‌ها در جمعیت آرشیو در فرآیند شبیه‌سازی-بهینه‌سازی اجرا نشده است، افزایش می‌یابد. مشاهده می‌گردد که با افزایش ظرفیت آرشیو از ۳۰۰۰ به ۵۰۰۰، افزایش محسوسی در تعداد کروموزوم اجرا نشده رخ نخواهد داد.

حالت مبنا افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع آن است که در صورت انتخاب مقدار کوچکی برای ظرفیت آرشیو، بخشی از زمان اجرای مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی صرف پیدا کردن کروموزوم‌های مشابه خواهد شد و با توجه به ظرفیت کم آرشیو، افزایش زمان مورد نیاز برای استخراج کروموزوم‌های مشابه بیشتر از تأثیر کاهش زمان استفاده از ظرفیت آرشیو است. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که استفاده از ظرفیت‌های آرشیو کم نه‌تنها در کاهش زمان اجرا مؤثر نخواهد بود، بلکه می‌تواند منجر به افزایش زمان اجرا نیز گردد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق برای نخستین بار مدیریت پیامد وقوع آلودگی ناگهانی در شبکه آب شهری با هدف استخراج فعالیت‌های بهره‌برداري بهینه با رویکرد کاهش زمان بهینه‌سازی با استفاده از ظرفیت آرشيو مورد بررسی و توجه قرار گرفته است. برای این منظور شیرهای قطع و وصل و شیرهای آتش‌نشانی به ترتیب برای ایزوله کردن آلودگی و تخلیه آن از شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. در رویکرد شبیه‌سازی- بهینه‌سازی تلفیقی ارائه شده در این تحقیق از مدل شبیه‌سازی EPANET و الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II بر مبنای آرشيو استفاده شده است. از مثال شماره ۳ نرم‌افزار EPANET به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. این مثال، در بسیاری از مطالعات پیشین مدیریت پیامد در شبکه‌های آب شهری مورد توجه قرار گرفته است. دو تابع هدف اول و دوم در این تحقیق به ترتیب به منظور حداقل کردن تعداد فعالیت‌های واکنشی (کاهش هزینه‌ها) و حداقل کردن جرم آلودگی مصرف شده (در نظر گرفتن سلامت عمومی) انتخاب شده است. در بخش‌های اولیه مطالعه مشخص شد که برای استخراج فعالیت‌های بهینه بین این اهداف با NSGA-II رایج و حداکثر ۱۵ فعالیت، در حدود ۷۳ دقیقه زمان نیاز است که زمان زیادی در مدیریت پیامدهای این گونه وقایع به شمار می‌آید. یکی از نوآوری‌های این تحقیق، در جهت کاهش این زمان و فراهم آوردن امکان انجام مدیریت پیامد در زمان واقعی استفاده از الگوریتم NSGA-II بر مبنای آرشيو بوده است. در رویکرد پیشنهادی، با استفاده از ظرفیت آرشيو امکان عدم اجرای مدل شبیه‌سازی برای کروموزوم‌های مشابه فراهم شده است که منجر به کاهش قابل توجه در زمان اجرای مدل بدون کاهش در نتایج مدل می‌گردد. در رویکرد پیشنهادی ظرفیت آرشيو با تعداد صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ کروموزوم مورد بررسی قرار گرفت که نتایج خوبی را نیز به همراه داشت. به عنوان مثال، به طور کلی با افزایش جمعیت آرشيو از صفر به ۵۰۰۰، زمان مورد نیاز برای استخراج منحنی تعامل بین اهداف از ۷۳ به ۳۵ دقیقه کاهش می‌یابد که حاکی از کاهش بیش از ۵۰ درصدی است و این کاهش در مدیریت پیامد بار آلودگی در شبکه آب شهری بسیار مغتنم و قابل توجه می‌باشد. بدین ترتیب تحقیق حاضر نشان داد که با استفاده

از آرشيو، امکان کاهش زمان بهینه‌سازی و مدیریت پیامد در شبکه در زمان واقعی به مقدار قابل توجه و مفیدی فراهم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در صورت انتخاب مقدار کوچکی برای ظرفیت آرشيو، به عنوان مثال، تعداد ۵۰ یا ۱۰۰، زمان مورد نیاز برای استخراج فعالیت‌های بهینه اندکی نسبت به حالت مینا افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع آن است که در صورت انتخاب مقدار کوچکی برای ظرفیت آرشيو، بخشی از زمان اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی صرف پیدا کردن کروموزوم‌های مشابه خواهد شد و با توجه به ظرفیت کم آرشيو، افزایش زمان مورد نیاز برای استخراج کروموزوم‌های مشابه بیشتر از تأثیر کاهش زمان استفاده از ظرفیت آرشيو است. پیشنهاد می‌شود کارآیی رویکرد پیشنهادی در حل مسائل بزرگ مقیاس بهینه‌سازی شبکه‌های آب شهری و یا بهره‌برداري کمی-کیفی از سیستم‌های رودخانه-مخزن مورد آزمایش قرار گیرد.

مراجع

- [1] USEP, Response protocol toolbox-Public health response guide, Module 5, in: http://www.epa.gov/watersecurity/pubs/guide_response_module5.pdf (Ed.), 2004.
- [2] T. M. Baranowski, E. J. LeBoeuf, Consequence Management Optimization for Contaminant Detection and Isolation, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(4) (2006) 274-282.
- [3] T.M. Baranowski, E.J. LeBoeuf, Consequence management utilizing optimization, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(4) (2008) 386-394.
- [4] A. Preis, A. Ostfeld, Multiobjective contaminant response modeling for water distribution systems security, *Journal of Hydroinformatics*, 10(4) (2008) 267-274.
- [5] L. Alfonso, A. Jonoski, D. Solomatine, Multiobjective optimization of operational responses for contaminant flushing in water distribution networks, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1) (2009) 48-58.
- [6] A. Rasekh, K. Brumbelow, Adaptive emergency response to water distribution system contamination events, in *World Environmental and Water Resources Congress 2012*, (2012) 2981-2986.

- strategy: A new baseline algorithm for pareto multiobjective optimization, in: Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406), IEEE, 1999, pp. 98-105.
- [15] J.D. Knowles, D.W. Corne, Approximating the nondominated front using the Pareto archived evolution strategy, *Evolutionary computation*, 8(2) (2000) 149-172.
- [16] J.E. Fieldsend, R.M. Everson, S. Singh, Using unconstrained elite archives for multiobjective optimization, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(3) (2003) 305-323.
- [17] S. Tiwari, G. Fadel, K. Deb, AMGA2: improving the performance of the archive-based micro-genetic algorithm for multi-objective optimization, *Engineering Optimization*, 43(4) (2011) 377-401.
- [18] S. Tiwari, P. Koch, G. Fadel, K. Deb, AMGA: an archive-based micro genetic algorithm for multi-objective optimization, in: Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation, 2008, pp. 729-736.
- [19] M.A.H. Abdy Sayyed, R. Gupta, T.T. Tanyimboh, Noniterative Application of EPANET for Pressure Dependent Modelling of Water Distribution Systems, *Water Resources Management*, 29 (2015) 3227-3242.
- [20] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan, A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2) (2002) 182-197.
- [21] A. Ostfeld, E. Salomons, Optimal layout of early warning detection stations for water distribution systems security, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(5) (2004) 377-385.
- [7] Rasekh, K. Brumbelow, A dynamic simulation-optimization model for adaptive management of urban water distribution system contamination threats, *Applied Soft Computing*, 32 (2015) 59-71.
- [8] E. Salomons, A. Ostfeld, Slug Feed Optimal Disinfection of Water Distribution Networks Following a Contamination Event, in: World Environmental and Water Resources Congress 2016, 516-522.
- [9] R. Taormina, S. Galelli, N.O. Tippenhauer, E. Salomons, A. Ostfeld, Characterizing cyber-physical attacks on water distribution systems, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(5) (2017) 04017009.
- [10] S.N. Bashi-Azghadi, M.H. Afshar, A. Afshar, Multi-objective optimization response modeling to contaminated water distribution networks: Pressure driven versus demand driven analysis, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(6) (2017) 2085-2096.
- [11] M. Zafari, M. Tabesh, and S. Nazif, S. Minimizing the Adverse Effects of Contaminant Propagation in Water Distribution Networks Considering the Pressure-Driven Analysis Method. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(12) (2017), p.04017072.
- [12] M.A., Khaksar Fasaee, M.R. Nikoo, P. Hashempour Bakhtiari, S. Monghasemi, M. SAdegh, A novel dynamic hydrant flushing framework facilitated by categorizing contamination events *Urban Water Journal*, (2020), 1-13.
- [13] H. Strickling, M. DiCarlo, M. Shafiee, E. Berglund, Simulation of containment and wireless emergency alerts within targeted pressure zones for water contamination management, *Sustainable Cities and Society*, 52(2020), 101820.
- [14] J. Knowles, D. Corne, The pareto archived evolution

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

F. Masoumi, S.N. Bashi Azghadi, A. Afshar, *Application of Achieve-Based Genetic Algorithm for Consequence Management of Contaminant Entering in Water Distribution Networks*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(8) (2021) 3593-3604.

DOI: [10.22060/ceej.2020.18055.6750](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18055.6750)



