

Research Paper

Leakage detection of water distribution networks using integrated model of ant colony optimization (ACO) and step by step elimination method (SSEM)

Ali Nasirian^{1*}, Masoud Sabet²

1. Assistant Prof. of Civil Eng., Civil department, engineering faculty, University of Birjand, Birjand, Iran

2. MSc Student of civil Eng., Civil department, engineering faculty, University of Birjand, Birjand, Iran

Received:2022/07/01

Revised:2022/09/30

Accepted:2023/04/05

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2021.11439.1701](https://doi.org/10.30495/wej.2021.11439.1701)

Keywords:

Calibration, optimization, water distribution network, leak detection, ACO

Abstract

Introduction: Conventional leak detection methods are costly and time-consuming, so attention has recently been drawn to methods that detect leakage by network modeling comprehensively.

Methods: In these methods, the difference between the measured pressure and flow rate and those obtained by the model is minimized as a fitness function by calibrating the network and adjusting the nodal demands. It has been established by analysis that the fitness function in itself cannot be a good guide to achieving the minimum point. This drawback was solved by using the ACO method. In addition to the fitness, this method employs a parameter called heuristic guidance to improve its capabilities.

Results: This research compared three ACO-based optimization methods. The first was ACO with fixed heuristic guidance already introduced in the literature. In the second method, the heuristic guidance varies by the values of the observed pressures and pressure decline versus the no-leak state. The third is studied and compared by integrating SSEM and ACO models. These methods were investigated on a network derived from the literature and the Birjand network.

Conclusion: The results revealed that the methods proposed here achieved more precise results in a shorter time and with fewer iterations.

Citation: Nasirian A., Sabet M. Leakage detection of water distribution networks using integrated model of ant colony optimization (ACO) and step by step elimination method (SSEM). Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (60): 72- 87.

***Corresponding author:** Ali Nasirian

Address: Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

Tell: +5632320552

Email: a.nasirian@birjand.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Although local leak detection methods are accurate enough in some conditions, they are costly and time-consuming and are not effective enough in some cases [2]. So, another group of leak detection methods that are based on network modeling have provoked interest. These methods search leaks throughout the network-by-network modeling and calibration. Networks are modeled and analyzed by these methods in the transient [5, 6] and steady [7-10] states. In the calibration process, there are as many unknown pipes' roughness as the number of nodes in the consumption network (assuming the assignment of demands to nodes) and the number of network pipes, so some extra measurements will be required to determine the network [15], but there is practically no such a huge volume of information about the network. This paper detects leaks without using the grouping of nodes to reduce unknowns and/or using different loadings to increase the number of equations and solves the problem in a completely indeterminate state. Accordingly, data on network pressure and flow rate are extracted only once and simultaneously, and the adjusted nodal demand values will be obtained for this time. In this research, the demand is calibrated for each node only once, so the leak amount is considered the unknown parameter.

Network calibration methods are divided into three groups: explicit, iterative, and implicit methods [20]. The optimization methods most widely used in network calibration are metaheuristic methods, an example of which is the genetic algorithm (GA) [21-23]. This research focuses on improving ACO capabilities by modifying the selection of heuristic guidance parameters and integrating ACO and SSEM on a hypothetical network. To this end, the ant colony optimization (ACO) program was developed in the MATLAB environment, and the network was analyzed in this environment by dynamically relating this environment to EPANET software. The SSEM analysis was also performed by deriving the results of each step manually. The

adjustment parameter in this research was the leak amount, and the difference between the base and adjusted flow rates was considered the leak.

Materials and Methods

Calibration in a water distribution network aims to determine its real parameters. This parameter in this research is the extra nodal demands, i.e., the leak at each node, which is defined specifically for each node. The ant colony optimization (ACO) method was proposed by Dorigo in 1992 inspired by the life of real ants [26, 27] and was developed by other researchers. This method has been used in a slightly modified form to solve engineering optimization problems and has proven its performance well [28]. Parameters in ACO are adjusted in a discrete space. Leakage in a network reduces pressure in its nodes. The greatest pressure decline is related to the node that has leakage, and as one moves away from the leakage point, the pressure decline decreases. This feature is used to guide the leak detection program toward finding the right leakage position. These data are applied to the ACO program by the parameter of heuristic guidance. The step-by-step elimination method (SSEM) was proposed by Nasirian and Faghfour Maghrebi [24]. This method increased the ability of GA in terms of the accuracy of results and the speed of reaching the solution on hypothetical and experimental networks. This paper used this method by integrating it with the ACO method after some slight modifications. Optimization by this method proceeds through two phases:

- Phase 1, optimization with ACO: The network is analyzed to adjust the demand parameter by the ACO program for a predetermined number. The value of the fitness function and the adjusted demands are registered. The solutions are ordered in terms of their fitness.
- Phase 2, elimination of nodes: The most important step is to discard nodes from the set of nodes with the adjusted parameter in which there is surely no leakage. Thus, a set of the best solutions, which includes solutions with lower fitness, is selected, and the values of leakages detected in each node in different analyses are averaged. The

nodes with lower detected mean leakage are removed from the set of suspiciously leaking nodes.

Findings

Network 1:

To check the accuracy and precision of the calculations, a network called the Anytown model in the literature was used. This network was used by Valeski et al. [29]. The network is first modeled in the EPANET software. Then, the number of network nodes, pressure gauges, the amount of nodal demand of each node are fed into the program developed in MATLAB. Then, a dynamic connection is built between the two software packages for the data of hydraulic analyses to be sent to MATLAB. In this research, the nodal demands were divided into five groups, so five different loadings were used for analysis and the network was analyzed as a determinate one [30-32]. The network was analyzed in two states: one with no leak and the other with two leaks. The results showed that the pressure decreased in all nodes in the case of leakage versus the case of no leakage.

Leak detection based on calibration aims to adjust demands at nodes such that the pressure obtained from analyses is equal to the observed values. Also, the input flow rate of the network was introduced to the optimization program as observations. ACO optimization was performed with various values of heuristic guidance. In the case of pressure gauging at all nodes, with no extra information, the leakage point will be detected based on the observed decline. Since the problem is based on a random process, it cannot be evaluated precisely with only a few analyses, but it can generally be observed that expectedly the number of iterations and the time required to achieve the solution decrease significantly when the variable heuristic guidance method as per the rate of decline is used.

So far, the extent and position of leakage were studied by using ACO. Now, the network is re-assessed by SSEM. It was observed that ACO could readily find the optimal solution in this network, so the input flow rate observations are discarded from

the set of observations. Now, the leak is detected in these conditions by eliminating the nodes with no leakage step-by-step. The amount of leakage detected in different nodes is evaluated by checking the mean number of good solutions.

Network 2:

The network studied in this section is a district of Birjand. The leak in this network was detected by two methods of ACO and SSEM. In large networks that have many nodes, the search space is huge and it is difficult to find the optimal point. On the other hand, since the number of pressure gauges that can be mounted in the network is limited, if all nodes are introduced as the leak candidate, there will be many right answers.

Conclusion

Based on the results of the network analysis, the amount and position of leakage by network calibration can be derived in a steady state. This paper proved the capability of ACO in finding the optimal answer with fewer iterations and in a shorter time. Based on the results, achieving good fitness cannot guarantee good leak detection. The analysis of the results with fixed and variable heuristic guidance indicated that with this parameter, the data on observed pressure decline at the pressure gauging place can effectively be used to improve leak detection. The results also showed that the hybrid ACO and SSEM method could significantly enhance the accuracy and speed of the method.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Ali Nasirian. Methodology and data analysis: Ali Nasirian, Supervision and final writing: Masoud Sabet

مقاله پژوهشی

نشت یابی شبکه‌های توزیع آب با استفاده از مدل تلفیقی کلونی مورچه‌ها (ACO) و حذف مرحله ای (SSEM)

علی نصیریان^{۱*}، مسعود ثابت^۲

۱. استادیار گروه عمران آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲. دانشجو کارشناسی ارشد رشته عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

مقدمه: روش‌های رایج نشت یابی بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر می‌باشند. لذا اخیراً روش‌هایی که با مدل‌سازی شبکه به صورت فراگیر نشت را جستجو می‌کنند، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

روش: در این روش‌ها با کالیبراسیون شبکه و تنظیم مصارف در گره‌ها، اختلاف بین مقادیر فشار و دبی اندازه‌گیری شده و بدست آمده از مدل به عنوان تابع برازندگی کمینه می‌شود. در تحلیل‌ها ثابت شد که تابع برازندگی به تنهایی نمی‌تواند راهنمای خوبی برای رسیدن به نقطه کمینه باشد. برای رفع این مشکل روش ACO استفاده شد. این روش علاوه بر برازندگی از پارامتری به نام مطلوبیت نیز استفاده می‌کند که قابلیت‌های روش را افزایش می‌دهد.

یافته‌ها: در این تحقیق سه روش بهینه‌یابی بر پایه ACO مورد مقایسه قرار گرفتند. روش نخست ACO با مطلوبیت ثابت است که قبلاً در مراجع معرفی شده است. در روش دوم مقدار تابع مطلوبیت^۱ بر اساس مقادیر فشارهای مشاهداتی و میزان افت فشار نسبت به حالت بدون نشت، متغیر است. آخرین روش با تلفیق دو مدل ACO و SSEM مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. این روش‌ها بر روی شبکه‌ای برگرفته از مراجع و همچنین شبکه بیرجند مورد بررسی قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهند که روش‌های پیشنهادی این مقاله در زمان و تعداد تکرار کمتر به نتایج دقیق‌تری دست یافته‌اند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰

تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2021.11439.1701](https://doi.org/10.30495/wej.2021.11439.1701)

واژه‌های کلیدی:

کالیبراسیون، بهینه‌یابی، شبکه توزیع آب، نشت‌یابی، ACO

* نویسنده مسئول: علی نصیریان

نشانی: گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

تلفن: +۹۸۵۶۳۳۲۰۵۵۲

پست الکترونیکی: a.nasirian@birjand.ac.ir

مقدمه

کلبهار مشهد مورد بررسی قرار دادند. برای کالیبراسیون شبکه و تنظیم مصارف گره ای از جعبه ابزار واسنجی گر داروین^{۱۱} نرم افزار واترجمز^{۱۲} استفاده شد. تحقیقات فوق ضمن تایید قابلیت های روش، بر ناکافی بودن تعداد نقاط فشار سنجی تاکید نمود.

در فرایند کالیبراسیون، به تعداد گره های شبکه مصرف (با فرض اختصاص مصارف به گره ها) و به تعداد لوله های شبکه، زبری نامشخص وجود دارد، لذا تعدادی اندازه گیری های اضافی برای معین شدن شبکه مورد نیاز خواهد بود [۱۵] که چنین حجم اطلاعاتی از شبکه در عمل وجود ندارد. در بسیاری از تحقیقات پیشین با برداشت داده ها در دوره زمانی توسعه یافته^{۱۳} (EPS) و یا تحت بارگذاری های مختلف [۸، ۱۶] تعداد معادلات افزایش داده شده تا دستگاه معادلات معین یا دستگاه معادلاتی با درجات آزادی کمتر ایجاد شود. از طرفی برای جلوگیری از افزایش تعداد مجهولات مصارف گره ای، برای تحلیل این اطلاعات از یک تحلیل نشت وابسته به فشار^{۱۴} استفاده شده است [۱۷، ۱۸]. در برخی تحقیقات نیز با گروه بندی لوله ها و گره ها [۱۶، ۱۹] از تعداد مجهولات کاسته شده است. گروه بندی بر اساس این فرض صورت می گیرد که شرایط تعدادی از لوله ها از نظر زبری و خصوصیات مصارف بخشی از شبکه با یکدیگر مشابه است. با توجه به ماهیت تصادفی نشت، وقوع نشت در شبکه از الگوی مشخصی تبعیت نمی کند. از طرفی وقوع نشت در یک گره از یک گروه مصارف، تاثیر ناچیزی بر مصرف کل گروه خواهد داشت. این بدان معنی است که در زمانی که هدف از کالیبراسیون نشت یابی باشد امکان گروه بندی گسترده گره های شبکه وجود ندارد. این محدودیت به صورت غیر قابل تصویری تعداد پارامترهای مجهول شبکه را افزایش داده و مساله را دشوار خواهد کرد. در مقاله حاضر نشت یابی بدون استفاده از گروه بندی گره ها برای کاهش مجهولات و یا استفاده از بارگذاری های مختلف برای افزایش تعداد معادلات انجام شده و مساله در حالت کاملا نامعین مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس اطلاعات مربوط به فشار و دبی از شبکه تنها یک بار و به صورت همزمان برداشت می شود و مقدار مصارف گره ای تنظیمی نیز برای این زمان بدست خواهد آمد. در این تحقیق برای هر گره تنها یکبار مصرف کالیبره می شود، لذا مقدار نشت به عنوان پارامتر مجهول در نظر گرفته شده است.

تمام آب ورودی به شبکه های توزیع آب مصرف نمی شود و بخش قابل توجهی از آن از طریق نشت یا آب به حساب نیامده^۲ به هدر رفته [۱] و هزینه سنگینی را به سازمان های آب و فاضلاب تحمیل می کند. با این وجود، ورود آلاینده ها به شبکه از طریق شکستگی ها بسیار خطرناک تر است. هم اکنون روش هایی چون ابزارهای صوتی^۳، موازنه جرم^۴، عکسبرداری هوایی بر مبنای پایش حرارتی^۵ و گازهای رسام توسط متصدیان صنعت آب برای شناسایی و کاهش نشت مورد استفاده قرار می گیرند [۲]. علاوه بر این استفاده از روش های مدیریتی نظیر مدیریت هوشمند فشار، از جمله روش های موثر در کاهش نشت از شبکه های توزیع آب شهری می باشند [۳]. گرچه روش های نشت یابی محلی در برخی شرایط دارای دقت مناسب هستند ولی استفاده از آنها پرهزینه و زمانبر بوده و در برخی موارد دارای اثر بخشی لازم نیز نمی باشد [۲]. به عنوان مثال ابزارهای صوتی که در میان روش های فوق رایجتر است، برای لوله های پلاستیکی دارای خطای زیادی می باشد [۴].

با توجه به مشکلات بیان شده، دسته ای دیگر از روش های نشت یابی که بر پایه مدل سازی شبکه طراحی شده اند مورد توجه قرار گرفته اند. این روش ها نشت را در سرتاسر شبکه بر اساس مدل سازی و کالیبراسیون شبکه جستجو می کنند. مدل سازی و تحلیل شبکه در این روش ها ممکن است در حالت جریان غیرماندگار^۶ [۵، ۶] و یا در حالت ماندگار^۷ [۷-۱۰] انجام شود. پودار و لیگت^۸ اولین کسانی بودند که از روش پایدار معکوس برای شناسایی نشت در شبکه لوله ها استفاده کردند [۱۱]. سیچ^۹ [۱۲] با استفاده از الگوریتم ژنتیک موفقیت هایی را در تشخیص نقاط دارای نشت در یک شبکه توزیع بدست آورد. این روش بر اساس مدل سازی شبکه توزیع و فرض نشت به عنوان یک مصرف گره ای اضافی استوار است. وو و سیچ^{۱۰} [۱۳] روش پیشنهادی سیچ (۲۰۰۵) را با تنظیم همزمان روش برای شناسایی شیرهای بسته و زبری توسعه دادند و این روش را بر روی دو شبکه شامل یک شبکه فرضی و بخشی از یک شبکه واقعی مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ها مشخص شد که تعداد گره های فشارسنجی زیاد (حدود یک دیتالاگر به ازای هر ۲۰۰ خانه) برای این روش لازم است [۱۳]. فاضل و فغفور مغربی [۱۴] روش وو و سیچ (۲۰۰۶) را بر روی شبکه شهر

² Non-revenue water

³ Acoustic equipment

⁴ Mass balance technique

⁵ Thermography

⁶ Transient analysis

⁷ Steady state

⁸ Pudar and Ligget

⁹ Sage

¹⁰ Wu and Sage

¹¹ Darwin Calibrator

¹² WaterGEMS

¹³ Extended Period Simulation

¹⁴ Pressure dependant leak detection

$$f(x) = \min \sum_{j=1}^N (Hobs_j - Hsim_j)^2 \quad (2) \quad \begin{matrix} \text{کمینه} \\ [13] \end{matrix}$$

$$\underline{L} \leq L_i \leq \bar{L} \quad (3) \quad \text{قید:}$$

در روابط بالا x نشان دهنده مجموعه‌ای از پارامترهای مدل $f(x)$ تابع هدف است که مناسب بودن مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل را نشان می‌دهد. در تابع هدف که برازندگی^{۱۹} بوسیله آن محاسبه می‌شود $Hobs_j$ فشار اندازه‌گیری شده در گره j ، $Hsim_j$ فشار شبیه‌سازی شده در گره j و N تعداد گره‌ها می‌باشد. \underline{L} و \bar{L} به ترتیب حد پایین و بالا برای مقدار نشت است که توسط اپراتور به برنامه معرفی می‌شود. مقدار \underline{L} که حداقل مقدار محتمل نشت در یک گره است به صورت معمول صفر می‌باشد. \bar{L} حداکثر مقدار محتمل نشت در یک گره می‌باشد و با توجه به اختلاف مقدار مصرف مشترکین و مقدار جریان ورودی به شبکه قابل تخمین است.

در این مقاله علاوه بر تابع برازندگی $f(x)$ ، برای صحت سنجی نتایج نشت یابی، تابع برازندگی دیگری به صورت معادله (۴) در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در شرایط واقعی محاسبه این پارامتر ممکن نیست و تنها در مدل‌های آزمایشگاهی و عددی که مقادیر نشت معلوم است قابل محاسبه است. در این تحقیق با توجه به فرضی بودن شبکه‌ها برای نشان دادن دقت نشت یابی و روند نزدیک شدن مرحله‌ای نتایج به پاسخ‌های صحیح، این پارامتر مورد استفاده قرار گرفته است:

$$f(d) = \frac{\sum_{j=1}^N |D_j^{obs} - D_j^{sim}|}{Q_t} \quad (4)$$

که در آن $f(d)$ برازندگی مصارف گره‌ای، N تعداد گره‌های شبکه، D_j^{obs} مصرف گره‌ای واقعی (ثبت شده توسط کنتور یا تحلیل شده در حالت نشت دار) برای گره j ام و D_j^{sim} مصرف گره‌ای شبیه سازی شده برای گره j ام و Q_t دبی ورودی به شبکه از مخزن می‌باشد.

بهینه‌یابی کلونی مورچه‌ها

روش کلونی مورچه‌ها، با الهام گرفتن از زندگی مورچه‌های واقعی، در سال ۱۹۹۲ توسط دوریگو^{۲۰} پیشنهاد شد [۲۶، ۲۷] و توسط دیگر محققین توسعه یافت. این روش در حل مسائل بهینه‌یابی مهندسی با اندکی تغییرات مورد استفاده قرار گرفته است و عملکرد خوبی را از خود نشان داده است [۲۸]. تنظیم پارامترها به روش کلونی مورچه‌ها در یک فضای گسسته صورت می‌گیرد. به عنوان مثال در مساله حاضر، فضای بین \underline{L} و \bar{L} بازه تقسیم می‌شود. در هر گره، هر کدام از L_i ها با مقدار دبی پایه جمع می‌شود تا یک گزینه برای مجموع مصرف و نشت در آن گره تعیین شود. هر مورچه مجازی در واقع رشته‌ای با N مولفه خواهد بود (N تعداد گره‌های شبکه) که هر مولفه آن نشان دهنده مجموع مقدار نشت و مصرف در یک گره است. احتمال انتخاب

به صورت طبیعی در یک شبکه تعداد نشت‌های بزرگ تعداد محدودی است و تعداد بسیار زیادی به صورت همزمان به وقوع نمی‌پیوندد. بر این اساس وو و همکاران [۱۸] فرض کردند که تعداد نشت‌های همزمان که در شبکه واقع می‌شود به تعداد مشخصی محدود است. این فرض فضای جستجو را به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و در یافتن پاسخ صحیح موثر است. در این تحقیق به جای محدود کردن تعداد گره‌های دارای نشت، با افزایش احتمال انتخاب مقدار صفر برای نشت هر گره، این فرض اعمال گردید.

روش‌های کالیبراسیون شبکه در سه دسته روش‌های صریح، روش‌های تکراری و روش‌های ضمنی تقسیم بندی می‌شوند [۲۰]. روش‌های اول و دوم به دلیل محدودیت‌های زیاد چندان کاربردی نمی‌باشند. روش‌های ضمنی برای یافتن مقادیر دقیق پارامترهای مجهول از یک فرآیند بهینه‌یابی سود می‌برند. پرکاربردترین روش‌های بهینه‌یابی در کالیبراسیون شبکه، روش‌های فرا اکتشافی^{۱۵} و در بین آنها روش الگوریتم ژنتیک^{۱۶} (GA) می‌باشد [۲۱-۲۳]. نصیریان و فغفور مغربی روش SSEM را در حل مساله نشت در شبکه‌های توزیع معرفی نمودند [۲۴]. استفاده از این روش در ترکیب با GA توانست به صورت قابل توجهی در سرعت و نتایج حاصله بهبود ایجاد کند. فغفور مغربی و همکاران بر روی شبکه‌های فرضی مقایسه‌ای بین الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچه‌ها برای کالیبراسیون شبکه‌های توزیع به انجام رساندند و قابلیت‌های بالاتر روش کلونی مورچه‌ها نسبت به الگوریتم ژنتیک از لحاظ دقت و سرعت را نشان دادند [۲۵]. با توجه به قابلیت‌های برتر این روش، در این تحقیق تمرکز بر روی بهبود قابلیت‌های ACO با اصلاح انتخاب پارامتر مطلوبیت و همچنین تلفیق SSEM-ACO بر روی شبکه‌ای فرضی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای این کار برنامه بهینه‌یابی کلونی مورچه‌ها در محیط نرم افزار مطلب^{۱۷} نوشته شد و با ارتباط پویا بین این برنامه و نرم افزار ایپانت^{۱۸}، تحلیل شبکه در این محیط به انجام رسید. تحلیل SSEM نیز با استخراج نتایج در هر مرحله به صورت دستی انجام شد. پارامتر تنظیمی در این تحقیق، مقدار نشت بوده و تفاوت بین مقدار دبی پایه و دبی تنظیمی به عنوان نشت در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

روابط کالیبراسیون

هدف از کالیبراسیون در شبکه‌های توزیع آب تعیین پارامترهای واقعی شبکه توزیع می‌باشد. این پارامترها در این تحقیق مصارف گره‌ای اضافی برای هر گره یا به عبارتی نشت در هر گره (L_i) می‌باشد که برای هر گره i تعریف می‌شود:

$$x = (L_i) i = 1, \dots, N \quad (1) \quad \text{جستجو:}$$

¹⁸ EPANET

¹⁹ Fitness

²⁰ Dorigo

¹⁵ Heuristic

¹⁶ Genetic Algorithm

¹⁷ MATLAB

$$\eta_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{C_j} \text{for } i = 1 \\ 1 \text{for } i = 2 \text{ to } A_n + 1 \end{cases} \quad (7)$$

که در این رابطه η_{ij} مقدار مطلوبیت برای گزینه نشت i در گره j می‌باشد. بر این اساس مقدار مطلوبیت برای گزینه نشت تعیین می‌شود و در گزینه‌های دارای نشت، مقدار ثابت ۱ خواهد بود. η_0 مقدار پایه مطلوبیت است که بر اساس قوانین احتمالات مطابق رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$\eta_0 = \frac{(N - N_L)A_n}{N_L} \quad (8)$$

η_0 مقدار پایه مطلوبیت است و N تعداد گره‌های شبکه و N_L حداکثر تعداد نشت‌های مورد انتظار در شبکه است. بر این اساس در یک شبکه با ۱۶ گره که ۲ نشت برای آن مورد انتظار می‌باشد و در هر گره محدوده حداقل و حداکثر نشت به ۵ بازه تقسیم شده است، مقدار η_0 برابر ۳۵ خواهد بود. C_j پارامتری است که نزدیک بودن نشت به گره شماره j را نشان می‌دهد و مقدار آن برای گره‌هایی که فشارسنج در آن نصب شده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C_j = \frac{Hobs_j - Hb_j}{\frac{1}{N_p} \sum_{N_p} (Hobs_j - Hb_j)} \quad (9)$$

که $Hobs_j$ مقدار هد مشاهداتی در گره j و Hb_j مقدار هد بدست آمده تنها با در نظر گرفتن مصرف پایه و بدون نشت می‌باشد. همچنین N_p تعداد فشارسنج‌های نصب شده در شبکه می‌باشد. برای سایر گره‌های شبکه با رسم خطوط هم‌کنتر می‌توان مقدار این پارامتر را محاسبه نمود.

روش حذف مرحله ای

روش حذف مرحله ای توسط نصیریان و فغفور مغربی [۲۴] معرفی شد. این روش بر روی شبکه‌های فرضی و آزمایشگاهی توانست از نظر دقت نتایج و سرعت رسیدن به جواب به صورت قابل توجهی قابلیت‌های GA را افزایش دهد. در این مقاله این روش با اندکی تغییرات در تلفیق با روش کلونی مورچه‌ها مورد استفاده قرار خواهد گرفت. انجام بهینه یابی با این روش در دو فاز صورت خواهد گرفت: فاز ۱ (بهینه یابی با ACO): شبکه برای تنظیم پارامتر مصرف توسط برنامه ACO به تعداد از پیش تعیین شده‌ای، تحلیل می‌شود. مقدار تابع برازندگی و مصارف تنظیمی ثبت می‌شود. جواب‌ها بر اساس برازندگی آنها مرتب می‌شود. فاز ۲ (حذف گره‌ها): مهمترین مرحله کار، کنار گذاشتن گره‌هایی از مجموعه گره‌های دارای پارامتر تنظیمی می‌باشد که از عدم وجود نشت در آنها اطمینان حاصل شده است. برای این کار مجموعه ای از بهترین پاسخ‌ها که شامل پاسخ‌هایی با برازندگی کمتر هستند انتخاب می‌شود و بین مقادیر نشت شناسایی شده در هر گره در تحلیل‌های مختلف میانگین گیری می‌شود. گره‌هایی که دارای میانگین نشت شناسایی شده کمتری می‌باشند از مجموعه گره‌های مشکوک به نشت حذف می‌شوند.

مقادیر مختلف به عنوان مصرف یک گره مساوی نیست. مهمترین رابطه در این روش، احتمال انتخاب را به فرامون و راهنمای کاوشی^{۲۱} ارتباط می‌دهد، به صورت زیر می‌باشد:

$$p_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_k [\tau_{ik}(t)]^\alpha [\eta_{ik}]^\beta} \quad (5)$$

که در آن $p_{ij}(t)$ احتمال آنکه مصرف شماره i برای گره j در تکرار t انتخاب شود، $\tau_{ij}(t)$ مقدار فرامون برای مصرف شماره i در گره j در تکرار t ام می‌باشد که بعد از هر تکرار بهنگام می‌شود. همچنین η_{ij} مقدار مطلوبیت (راهنمای کاوشی) برای مصرف شماره i و گره j می‌باشد که مقداری ثابت است. همانگونه که بیان شد، در هر گره تعداد $A_n + 1$ گزینه از مقدار L تا \bar{L} وجود دارد که در هر تحلیل یک مقدار به عنوان نشت فرضی در آن گره انتخاب می‌شود. در این تحقیق با این فرض که تعداد نشت‌های همزمان در شبکه محدود است و اکثر گره‌ها دارای نشت نیستند، از مطلوبیت η_{ij} برای افزایش احتمال انتخاب مصارف پایه در هر گره (برداشت شده از کنتورهای مشترکین) استفاده می‌شود. α و β نیز برای کنترل ارزش نسبی شدت فرامون و مطلوبیت در هر انتخاب می‌باشند. برای هر مورچه یا به عبارتی برای مجموعه مقادیر انتخابی به عنوان مصارف اضافی، یک تحلیل در نرم افزار ایپانت انجام می‌شود. بر اساس فشارهای بدست آمده و استفاده از معادله (۲)، برازندگی هر مورچه محاسبه می‌شود. در صورتی که برازندگی حاصل، بهترین برازندگی تا آن تکرار باشد، مقادیر فرامون به روز رسانی می‌شود. این فرایند بوسیله رابطه زیر انجام می‌شود:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad (6)$$

که در آن $\tau_{ij}(t+1)$ مقدار فرامون در تکرار $(t+1)$ و $\Delta \tau_{ij}$ مقدار به هنگام سازی فرامون است. ρ نیز نرخ تبخیر^{۲۲} فرامون است که عددی بین صفر و یک می‌باشد. فرامون در ابتدای برنامه برای کلیه انتخاب‌ها در تمامی گره‌ها برابر یک می‌باشد و در تکرارهای مختلف، هر بار که جواب بهتری بدست آید در هر گره، فقط مقدار فرامون مربوط به یک مصرف گره‌ای افزایش می‌یابد یعنی در آن مصرف گره‌ای که به جواب بهینه نزدیک‌تر است مقدار $\Delta \tau_{ij}$ به فرامون آن افزوده می‌شود و احتمال انتخاب آن در تکرارهای بعدی افزایش می‌یابد. درحالی‌که برای دیگر مصارف گره‌ای، $\Delta \tau_{ij}$ برابر با صفر است.

تعیین مطلوبیت (راهنمای کاوشی)

وقوع نشت در شبکه باعث کاهش فشار در گره‌های شبکه می‌شود. بیشترین میزان کاهش فشار مربوط به گره دارای نشت بوده و با دور شدن از محل وقوع نشت، میزان افت فشار کمتر می‌شود. از این قابلیت برای راهنمایی برنامه نشت یابی برای یافتن صحیح موقعیت نشت استفاده می‌شود. اعمال این اطلاعات به برنامه بهینه یابی کلونی مورچه‌ها به کمک پارامتر مطلوبیت به انجام می‌رسد. مقدار مطلوبیت برای انتخاب‌های مختلف نشت در گره‌های شبکه از روابط زیر تعیین می‌شوند:

²² Evaporation Rate

²¹ Heuristic Guidance

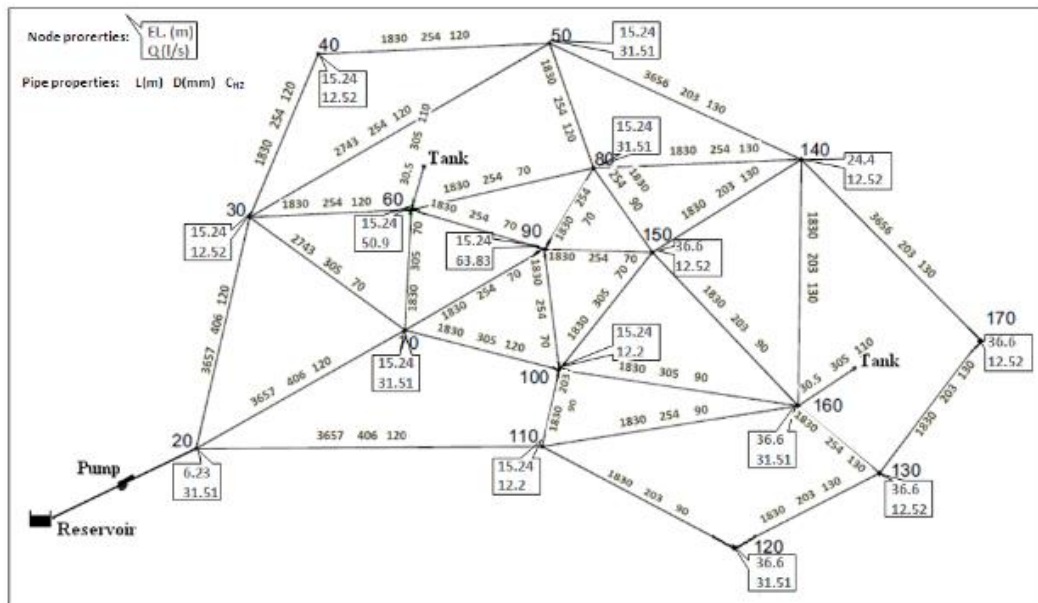
شوند.

گره، ۳۴ لوله، ۳ پمپ موازی، ۱ مخزن با ارتفاع ۳/۰۴ متر و ۲ تانک با ارتفاع ۷۱/۶ متر می باشد. مشخصات گره‌های شبکه و لوله‌ها در شکل (۱) درج شده است. برای استفاده از روش حاضر، ابتدا شبکه مورد نظر با استفاده از اطلاعات ارائه شده در شکل (۱) در نرم افزار ایپانت مدل شده و فایل خروجی آن با پسوند inp ذخیره می‌شود. سپس تعداد گره-های شبکه، تعداد فشارسنج مورد نظر و میزان مصارف گره ای برای هر گره به برنامه نوشته شده در نرم افزار مطلب معرفی می‌شود. سپس با برقراری ارتباطی پویا بین دو نرم افزار اطلاعات تحلیل‌های هیدرولیکی به نرم افزار مطلب ارسال می‌گردد.

نتایج

معرفی شبکه شماره ۱

برای بررسی صحت و دقت محاسبات، از شبکه ای که در مقالات با عنوان مدل انیتون^{۲۳} شناخته می‌شود، استفاده شد. این شبکه توسط والسکی و همکاران [۲۹] در سال ۱۹۸۷ مورد استفاده قرار گرفت و تاکنون در حل مسائل مختلف در زمینه مهندسی آب از آن استفاده شده است. شبکه انیتون که در شکل (۳) نمایش داده شده است، دارای ۱۶



شکل ۱- شبکه مورد مطالعه انیتون [۲۹]

جدول ۱- نتایج تحلیل شبکه انیتون

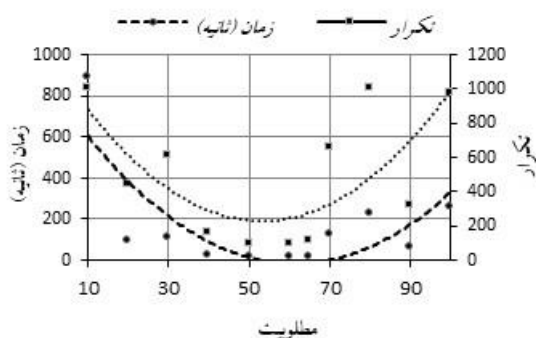
شماره گره	El. (m)	تحلیل شبکه بدون نشت			تحلیل شبکه با دو نشت در گره های ۷۰ و ۱۴۰		
		D(l/s)	H(m)	P(m)	D(l/s)	H(m)	P(m)
۲۰	۶/۲۳	۳۱/۵۱	۹۲/۵۷	۳۱/۵۱	۹۲/۴۳	۸۶/۰۳	
۳۰	۱۵/۲۴	۱۲/۵۲	۸۴/۹۵	۱۲/۵۲	۸۴/۳۱	۶۸/۹۳	
۴۰	۱۵/۲۴	۱۲/۵۲	۸۱/۴۵	۱۲/۵۲	۸۰/۵۹	۶۵/۲۲	
۵۰	۱۵/۲۴	۳۱/۵۱	۸۰/۱۲	۳۱/۵۱	۷۹/۱۱	۶۳/۷۵	
۶۰	۱۵/۲۴	۵۰/۹	۸۱/۵۸	۵۰/۹	۸۱/۵۶	۶۶/۱۹	
۷۰	۱۵/۲۴	۳۱/۵۱	۸۴/۴۸	۳۱/۵۱	۸۳/۱۹	۶۷/۸۱	
۸۰	۱۵/۲۴	۳۱/۵۱	۷۹/۵۲	۳۱/۵۱	۷۸/۴۲	۶۳/۰۵	
۹۰	۱۵/۲۴	۶۳/۸۳	۷۹/۲۵	۶۳/۸۳	۷۸/۳۸	۶۳/۰۲	
۱۰۰	۱۵/۲۴	۱۲/۵۲	۸۱/۸۸	۱۲/۵۲	۸۱/۴۸	۶۶/۱۱	
۱۱۰	۱۵/۲۴	۱۲/۵۲	۸۷/۹۹	۱۲/۵۲	۸۷/۸۲	۷۲/۴۳	
۱۲۰	۳۶/۶	۳۱/۵۱	۷۸/۱۸	۳۱/۵۱	۷۷/۸۲	۴۱/۱۴	
۱۳۰	۳۶/۶	۱۲/۵۲	۷۹/۰۹	۱۲/۵۲	۷۸/۷	۴۲/۰۱	
۱۴۰	۲۴/۴	۱۲/۵۲	۷۹/۵۹	۱۲/۵۲	۷۸/۳	۵۳/۷۹	

۰	۴۱/۲	۷۷/۸۸	۱۲/۵۲	۴۱/۹۵	۷۸/۶۴	۱۲/۵۲	۳۶/۶	۱۷۰
۰	۴۴/۸۱	۸۱/۵	۳۱/۵۱	۴۴/۸۷	۸۱/۵۶	۳۱/۵۱	۳۶/۶	۱۶۰
۰	۴۲/۲۷	۷۸/۹۶	۱۲/۵۲	۴۳/۱۶	۷۹/۸۵	۱۲/۵۲	۳۶/۶	۱۵۰

جواب نهایی رسیده است. بر این اساس با کاهش مقدار مطلوبیت به مقادیر ۲۰ و ۳۰، تعداد تکرارها افزایش یافته و با مطلوبیت ۱۰، برنامه طی ۱۰۰۰ تکرار جواب نهایی را پیدا نمی‌کند. این تاثیر پارامتر مطلوبیت را در راهنمایی برنامه به فضاهایی که احتمال وقوع جواب در آنها زیاد است نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج تحلیل شبکه انیتون در سه حالت

مطلوبیت	$f(x) (m^2)$	شماره تکرار		زمان (s)
		بهبود	کل	
۱۰	۰/۰۰۰۷۸	۸۱۱	۱۰۰۰	۰/۱۳
۲۰	۰/۰۰۰۰۳	۴۳۸	۴۳۸	۰
۳۰	۰/۰۰۰۰۳	۶۰۹	۶۰۹	۰
۴۰	۰/۰۰۰۰۳	۱۵۶	۱۵۶	۰
۵۰	۰/۰۰۰۰۳	۹۳	۹۳	۰
۶۰	۰/۰۰۰۰۳	۹۴	۹۴	۰
۶۵	۰/۰۰۰۰۳	۱۰۹	۱۰۹	۰
۷۰	۰/۰۰۰۰۳	۶۵۴	۶۵۴	۰
۸۰	۰/۰۰۱۲	۴۴۲	۱۰۰۰	۰/۲۲
۹۰	۰/۰۰۰۰۳	۳۲۰	۳۲۰	۰
۱۰۰	۰/۰۰۰۰۳	۹۷۴	۹۷۴	۰



شکل ۲- تغییرات تعداد تکرار و زمان اجرای برنامه با تغییر مطلوبیت

روند جواب‌های بررسی شده در طی یک تحلیل تا رسیدن به جواب نهایی در شکل (۳ الف و ب) بررسی می‌شود. شکل (الف) و (ب) تغییرات مقدار $f(d)$ را با $f(x)$ در دو حالت ساده و لگاریتمی برای مطلوبیت ۷۰ را نشان می‌دهد. در شکل (۳-الف) مشاهده می‌شود که با کاهش مقادیر $f(x)$ ، جواب‌های $f(d)$ با $f(x)$ متناسب‌تر افزایش می‌یابد. استفاده از $f(x)$ برای یافتن جواب بهینه اساسی‌ترین ابزار روش‌های

نتایج بهینه‌یابی موقعیت فشارسنجی، در تحقیقات مختلف برای ۴ فشارسنج گره‌های ۴۰، ۹۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ می‌باشد [۳۰-۳۲]. در این تحقیقات مصارف گره‌ای در ۵ گروه دسته‌بندی شده و ۵ بارگذاری مختلف برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفته است و شبکه به صورت معین تحلیل شده است [۳۰-۳۲]. بر اساس تحقیقات کاپلان، برای رسیدن به دقت نسبی ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۸۵ و با در نظر گرفتن ۰/۱ متر خطا در اندازه‌گیری‌ها، به ترتیب به فشارسنجی در ۲، ۴ و ۸ گره‌ای نیاز دارد [۳۱]. این شبکه توسط نصیریان و فغفور مغربی [۳۳] برای بررسی دقت کالیبراسیون فشارهای گره‌ای در نشت یابی مورد بررسی قرار گرفت.

شبکه در دو حالت بدون نشت و با دو نشت در گره‌های ۷۰ و ۱۴۰ مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج در جدول (۱) درج شده است. در این جدول، در ستون اول شماره گره‌ها و در ستون دوم تراز گره‌ها از سطح مبنا درج شده است. سپس جدول در دو بخش تحلیل شبکه بدون نشت و با نشت ارائه شده است. در هر بخش، D و H و P به ترتیب مصرف گره‌ای، تراز ایستایی آب نسبت به سطح مبنا و فشار را در گره نسبت به تراز خود گره نشان می‌دهد. L نیز نشان دهنده دبی نشت در گره‌های مورد نظر است. در این جدول مشاهده می‌شود که مقادیر فشار در تمامی گره‌ها در حالت وجود نشت نسبت به حالت عدم وجود نشت کاهش پیدا کرده است.

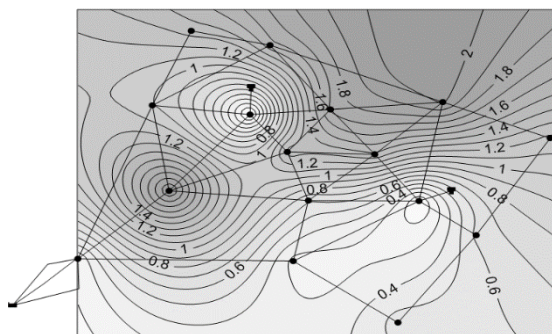
نشت یابی با مقدار مطلوبیت ثابت

در نشت یابی مبتنی بر کالیبراسیون هدف آن است که مصارف در گره‌ها (۱۶ گره) طوری تنظیم شود که فشار بدست آمده از تحلیل‌ها با مقادیر مشاهده شده برابر شود. برای این کار تنظیم فشار در سه گره ۴۰، ۹۰ و ۱۱۰ به ترتیب مقادیر ۶۵/۲۲، ۶۳/۰۲ و ۷۲/۴۳ متر ستون آب مد نظر خواهد بود. همچنین مقدار دبی ورودی به شبکه به عنوان مشاهدات به برنامه بهینه‌یابی معرفی شد. مقدار نشت بین ۰ تا ۵۰ لیتر بر ثانیه و با فاصله‌های ۵ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. بهینه‌یابی ACO با مقادیر مختلف مطلوبیت انجام شد. در تمامی تحلیل‌ها، تبخیر ۰/۹۹ و آلفا و بتا به ترتیب ۱/۱ و ۱ در نظر گرفته شد. حداکثر تعداد تکرار ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. یک مورچه بر اساس فرمون و مطلوبیت، مصارف را برای گره‌های مختلف انتخاب می‌کند و این مصارف و $f(x)$ متناظر با آن برای هر تکرار ثبت می‌شود. تعداد نشت‌های محتمل ۲ و تعداد An برابر ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس مقدار η_0 برابر ۷۰ خواهد بود.

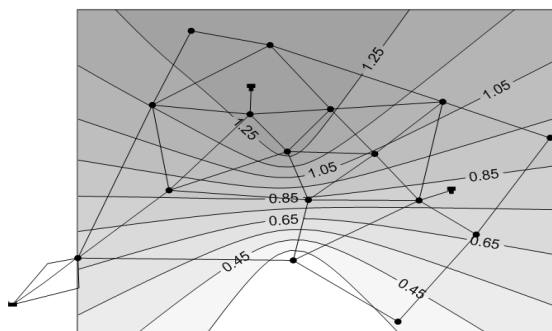
در جدول (۲) مشاهده می‌شود که برنامه بهینه‌یابی با ۹۳ تا ۹۷۴ تکرار توانسته است جواب نهایی را از میان ۳۷۵۶۷۴۷۲ حالت محتمل شناسایی کند که توانایی ACO را در یافتن نقطه بهینه نشان می‌دهد. شکل (۲) تغییرات مطلوبیت با زمان بهترین مطلوبیت برای برنامه در بازه بین ۵۰ تا ۷۰ بوده است که در کمترین زمان و کمترین تکرار به

(۹) با فرض فشارسنجی در تمامی گره ها را نشان می دهد. همچنین شکل (۵) مقدار این پارامتر را با وجود سه فشارسنج در گره های ۴۰، ۹۰ و ۱۱۰ نشان می دهد.

بر اساس شکل (۴) مشاهده می شود که بیشترین مقدار پارامتر C_z در گره های ۷۰ و ۱۴۰ اتفاق افتاده است. بر این اساس در صورت فشارسنجی در تمامی گره ها، بدون هیچ اطلاعات اضافی، موقعیت نشت بر اساس مقدار افت مشاهده شده قابل شناسایی خواهد بود. با این حال، این پارامتر در شکل (۵) به صورت دقیق موقعیت نشت را نشان نمی دهد ولی نزدیکی نشت را به نیمه بالایی شکل نشان می دهد. با توجه به اینکه پایه این مساله، یک فرایند تصادفی است، نمی توان با تعداد معدودی تحلیل به صورت کاملا دقیق مساله را ارزیابی نمود ولی به صورت کلی می توان مشاهده نمود که همانگونه که انتظار می رود، در حالتی که روش مطلوبیت متغیر و متناسب با میزان افت مورد استفاده قرار گرفته است، تعداد تکرار و زمان رسیدن به جواب به صورت محسوسی کاهش می یابد.



شکل ۴- تغییرات C_z در گره های مختلف و فشارسنجی در ۱۶ گره

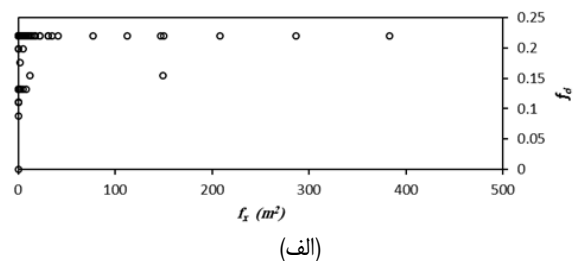


شکل ۵- تغییرات C_z در گره های مختلف و فشارسنجی در ۳ گره

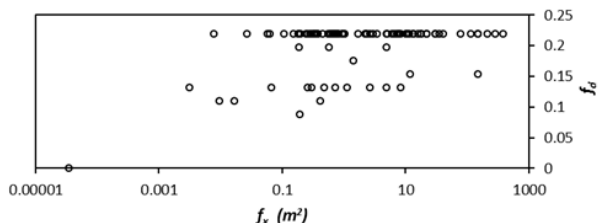
جزئیات بیشتر در جداول ۳ و ۴ قابل مشاهده است. در جدول ۳ مشاهده می شود که در زمانی که ۳ فشار سنج نصب بوده است مقادیر C_z برای گره های ۷۰ و ۱۴۰ چندان وضعیت نشت در اینم گره ها را نشان نمی دهد اما با افزایش تعداد فشار سنج ها، شاخص C_z افزایش می یابد و با رسیدن تعداد فشارسنج ها به ۱۶، مقدار صحیح نتایج قابل دست یابی است.

جدول ۴ نتایج تحلیل در دو حالت مطلوبیت ثابت و متغیر را نشان می دهد. بر اساس این نتایج با استفاده از مطلوبیت متغیر، تعداد تکرار لازم و زمان لازم برای رسیدن به نتایج در حالت های مختلف استفاده از تعداد

بهبینه یابی می باشد. این امر در ACO توسط به روز رسانی فرومون انجام می شود. شکل ۳ (الف) نشان می دهد که این ابزار می تواند به طور موثر به برنامه بهینه یابی برای رسیدن به جواب درست کمک کند. نکته مهم دیگری که در این شکل قابل مشاهده است وجود جواب هایی با $f(x)$ خوب ولی $f(d)$ نامناسب است. این گونه پاسخ ها سبب می شوند که برنامه به سمت جواب های نادرست راهنمایی شود. به عنوان مثال در شکل ۳ (ب) مشاهده می شود که در فاصله $f(x)$ بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۱ مقدار برازندگی مناسبی است، تعداد زیادی جواب با $f(d)$ های مختلف جود دارد. مثلا در $f(x)$ مساوی ۰/۰۰۰۸۹ متر مربع یک جواب با $f(d)$ مساوی ۰/۲ وجود دارد. این جواب که در تکرار ۴۰۷ بدست آمده، نشت را در گره های ۲۰، ۴۰ و ۱۴۰ به ترتیب با مقادیر ۳۰، ۱۵ و ۵ نشان می دهد که با جواب درست اختلاف زیادی دارد. بر این اساس مساله حاضر یک مساله بدرفتار است. این مطلب توسط برخی محققین نیز ذکر شده است [۳۴].



(الف)



(ب)

در دو حالت ساده $f(x)$ را با $f(d)$ شکل ۳- تغییرات مقدار و لگاریتمی برای مطلوبیت ۷۰

همانگونه که در مقدمه نیز به اختصار بیان شد، برای حل این مساله اغلب محققین با استفاده از بارگذاری های مختلف، تعداد مشاهدات شبکه را افزایش و با دسته بندی گره ها، درجات آزادی را کاهش داده اند. برای نشت یابی می توان فرض کرد تعداد نشت های همزمان تعداد معدودی است [۳۵]. نصیریان و فغفور مغربی [۳۳] نشان دادند که ACO به کمک پارامتر مطلوبیت می تواند به صورت غیر مستقیم برنامه را در جستجوی فضاهایی که احتمال وجود جواب در آن زیادتر است راهنمایی کند. در تحقیق دیگری آنها روش SSEM را معرفی کردند [۲۴] که با حذف مرحله به مرحله گره های بدون نشت، فضای نمونه را به صورت مستقیم کاهش داده و امکان رسیدن به پاسخ درست را افزایش می دهد.

نشت یابی با مطلوبیت متغیر

در بخش ۲-۳ بیان شد که مقدار افت فشار در هر گره متناسب با فاصله آن گره از موقعیت نشت در شبکه است. شکل (۴) مقدار C_z در رابطه

فشار سنج های ۳، ۵ و ۷ مورد بهبود یافته است. به عنوان مثال زمانی که ۷ فشار سنج مورد استفاده قرار گرفته است برای حالت مطلوبیت ثابت ۸۱۷ تکرار و ۲۱۷ ثانیه صرف رسیدن به برازندگی ۰/۰۰۰۰۶ و برای حالت استفاده از مطلوبیت متغیر همین نتیجه با ۱۵۷ تکرار و صرف ۳۷ ثانیه زمان بدست آمده است. به عبارتی تقریباً تعداد تکرار و زمان لازم برای مطلوبیت متغیر به کمتر از ۲۰ درصد حالت مطلوبیت ثابت

کاهش یافته است.

همانگونه که مشاهده شد، برای رسیدن به دقت مناسب به تعداد بسیار زیادی فشارسنجی نیاز است که در عمل داشتن این تعداد فشار سنج در شبکه های واقعی مقرون به صرفه نمی باشد.

جدول ۳- مقادیر C_j برای حالت های مختلف فشار سنجی

C_j				$Y (m)$	$X (m)$	node No.
$N_p = 16$	$N_p = 7$	$N_p = 5$	$N_p = 3$			
-۰/۲۲	۱/۳۸	-۰/۷۳	-۰/۶۸	۲۳۶۵	۱۸۱۳	۲۰
۱/۰۰	۱/۴۵	۱/۲۵	۱/۱۵	۷۰۶۸	۳۷۶۸	۳۰
۱/۳۵	۱/۱۵	۱/۴۵	۱/۳	۹۳۴۸	۴۷۸۸	۴۰
۱/۵۷	۱/۵۵	۱/۵	۱/۳	۸۹۰۹	۶۸۵۶	۵۰
-۰/۰۳	۱/۵	۱/۴	۱/۲۸	۶۷۸۵	۶۳۳۲	۶۰
۲/۰۲	۱/۷۵	-۰/۹۵	-۰/۸۹	۴۴۴۸	۴۲۰۷	۷۰
۱/۷۲	۱/۱۵	۱/۴۳	۱/۲۶	۶۹۴۱	۸۴۴۲	۸۰
۱/۳۵	۱/۱۵	۱/۴۳	۱/۳	۵۶۳۷	۷۳۰۹	۹۰
-۰/۶۱	-۰/۸	-۰/۹۹	-۰/۸۵	۴۱۵۰	۷۸۶۲	۱۰۰
-۰/۳۷	-۰/۲۵	-۰/۲۵	-۰/۲۸	۲۳۹۵	۷۴۶۵	۱۱۰
-۰/۵۵	-۰/۴۵	-۰/۵۷	-۰/۳۷	۴۱۱	۱۰۲۱۳	۱۲۰
-۰/۶۳	-۰/۷۳	-۰/۹۳	-۰/۶۷	۳۰۸۸	۱۲۲۶۷	۱۳۰
۲/۰۲	۱/۲	۱/۳۵	۱/۰۸	۷۱۶۷	۱۱۳۸۹	۱۴۰
۱/۱۸	۱/۲۵	-۰/۹۷	۱/۱۸	۶۰۶۲	۱۴۲۰۸	۱۷۰
-۰/۰۹	۱	-۰/۷۸	-۰/۰۹	۴۱۳۶	۱۰۷۶۶	۱۶۰
۱/۳۹	۱/۲۲	۱/۰۸	۱/۳۹	۵۵۶۷	۹۶۰۴	۱۵۰

جدول ۴- تحلیل شبکه در دو حالت مطلوبیت ثابت و متغیر

وضعیت	تعداد فشار سنج	تکرار بهترین جواب	تعداد تکرار		$f(x) (m^2)$	$f(d)$	زمان (s)
			تکرار کل	تکرار کل			
مطلوبیت ثابت	۳	۹۱۸	۹۱۸	۹۱۸	۰/۰۰۰۰۳	۰	۲۶۳/۹
	۵	۴۳۳	۴۳۳	۴۳۳	۰/۰۰۰۰۵	۰	۱۰۹/۶
	۷	۸۱۷	۸۱۷	۸۱۷	۰/۰۰۰۰۶	۰	۲۱۷/۷
مطلوبیت متغیر	۳	۳۶۹	۳۶۹	۳۶۹	۰/۰۰۰۰۳	۰	۶۶/۱
	۵	۱۶۷	۱۶۷	۱۶۷	۰/۰۰۰۰۵	۰	۳۷/۳
	۷	۱۵۷	۱۵۷	۱۵۷	۰/۰۰۰۰۶	۰	۳۷/۶

مقایسه روش حذف مرحله ای

تا کنون مقدار و موقعیت نشت با استفاده از ACO مورد بررسی قرار گرفت، حال با استفاده از روش SSEM مجدداً شبکه مورد بررسی قرار می گیرد. در حالت قبل مشاهده شد که ACO در این شبکه به راحتی قادر به یافتن جواب بهینه می باشد، لذا مشاهدات دبی ورودی از مجموعه مشاهدات حذف می گردد. در نتیجه فضای جستجو که قبلاً ۱۶۱۰ بود به ۳۷۵۶۷۴۷۲ مورد افزایش می یابد. در این شرایط برنامه

ACO با مقدار مطلوبیت ثابت برای یافتن جواب بهینه برای ۵۰۰ تکرار اجرا می شود. بهترین جواب بدست آمده دارای $f(x)$ مساوی ۰/۰۰۱۳ متر مربع و $f(d)$ مساوی ۰/۰۴۳ می باشد که نشت را در گره های ۷۰ و ۱۴۰ با مقادیر ۴۵ و ۱۵ نشان می دهد. هرچند پاسخ بدست آمده از نظر موقعیت شناسایی شده قابل قبول است ولی مقدار نشت شناسایی شده با مقدار صحیح دارای اختلاف قابل توجهی می باشد. حال در این شرایط و با حذف مرحله به مرحله گره های فاقد نشت، نشت یابی تکرار می شود. برای ارزیابی مقدار نشت شناسایی شده در

گره های مراحل مختلف در جدول (۵) درج شده است.

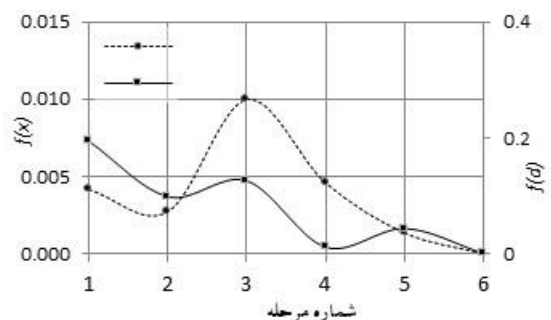
گره های مختلف، میانگین تعدادی از جواب های خوب مورد بررسی قرار می گیرد. در این تحقیق میانگین گیری بین ۲۵ جواب با بهترین برانزنگی انجام شد. اگر میانگین بدست آمده برای هر گره از ۳۰ درصد میانگین این پارامتر در تمامی گره ها کمتر باشد، به عنوان گره فاقد نشت از مجموعه گره های کاندیدای نشت حذف می شود. نتایج حذف

جدول ۵- تحلیل شبکه به روش حذف مرحله ای

مرحله	تعداد گره های باقیمانده	تعداد تکرار ها	گره های پیشنهادی برای حذف	برانزنگی بهترین جواب در هر مرحله
			$f(x)$ (m^2)	$f(d)$
۱	۱۶	۵۰۰	۴۰ و ۶۰	۰/۱۹۳۶
۲	۱۴	۵۰۰	۱۵۰	۰/۰۹۸
۳	۱۳	۵۰۰	۸۰ و ۱۱۰	۰/۱۲۵۳
۴	۱۱	۵۰۰	۹۰	۰/۰۱۰۹
۵	۱۰	۵۰۰	۵۰ و ۱۰	۰/۰۴۳۱
۶	۸	۵۰۰	-	۰/۰۰۰۰۴

گره و ۱۱۹۱ لوله از دو نوع آزیست (AC) و پلی اتیلن (PE) می باشند. ضریب هیزن- ویلیامز برای لوله های پلی اتیلن برابر ۱۳۰ و برای لوله های آزیست برابر با ۱۱۵ در نظر گرفته شده است [۳۶]. برای شناسایی نشت در این شبکه از دو روش ACO و SSEM استفاده شد. میزان مصارف ثبت شده توسط قرائت کنتورهای مشترکین ۱۱۵/۶ لیتر در ثانیه می باشد. در شبکه های بزرگ که تعداد گره ها شبکه زیاد است، فضای جستجو در آن ها خیلی گسترده شده و یافتن نقطه بهینه بسیار دشوار می شود. از طرفی با توجه به محدودیت تعداد فشارسنج های قابل نصب در شبکه، در صورتی که تمامی گره ها به عنوان کاندید نشت معرفی شوند، تعداد زیادی جواب صحیح وجود خواهد داشت. برای درک بهتر موضوع فرض کنید که در ابتدای یک شبکه شاخه ای فشارسنجی صورت گیرد. در این صورت نشت در هر یک از گره های شبکه شاخه ای می تواند فشار را در گره مشاهداتی تنظیم کند. همچنین در شبکه حلقوی در گره های حد فاصل بین دو نقطه فشارسنجی چنین موضوعی اتفاق می افتد. توجه بیه معیار های بیان شده، در این شبکه تعداد ۳۶ گره کاندیدای نشت و تعداد ۲۰ گره به عنوان نقاط فشارسنجی انتخاب شدند. گره های کاندیدای نشت در کل شبکه به صورت یکنواخت پراکنده شده اند و سعی شده است که این نقاط بر روی لوله های اصلی قرار گیرند. تعداد تکرار ها بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است. گره ۵۳ با نشت ۱۰ لیتر، گره ۲۶۹ با نشت ۲۰ و گره ۱۱۰ با نشت ۵ لیتر به عنوان گره های نشت فرضی به شبکه اختصاص داده شده اند. در شکل شماره ۷ نقاط نارنجی رنگ گره های نشت دار هستند. نشت در گره های کاندید از بین مقادیر ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵، انتخاب می شوند. در اولین مرحله، با وجود ۳۶ نقطه کاندیدای نشت تعداد ۳۰ تحلیل و هر تحلیل با ۱۰۰۰ تکرار انجام گرفت. ۱۰ پاسخ که دارای بهترین برانزنگی بودند در جدول ۶ ارائه شده است. میزان برانزنگی های بدست آمده در ۱۰ تحلیل در بازه ۰/۳۷ تا ۲/۴۲ واقع شده اند. در نتایج این مرحله از بین ۳۰۰۰ تکرار، بهترین برانزنگی فشار برابر ۰/۳۷ می باشد که در ردیف ۷ واقع شده است. در این تحلیل گره های ۵۳، ۱۱۲ و ۷۵۰ با مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۵ به عنوان نشت شناسایی شده اند. لذا مقدار و موقعیت

در این جدول مشاهده می شود که در مرحله اول، پس از انجام ۵۰۰ تحلیل، نسبت متوسط نشت گره های ۴۰ و ۶۰ به میانگین تمامی گره ها به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۲۳ می باشند و از بین گره های تنظیمی حذف شدند. بهترین برانزنگی بدست آمده در این مرحله ۰/۰۰۴ می باشد. تحلیل مجدد شبکه با ۵۰۰ تکرار و برای تنظیم مصارف ۱۴ گره باقیمانده انجام می شود. در این مرحله بهترین پاسخ دارای برانزنگی ۰/۰۰۳ بدست آمد و گره شماره ۱۵۰ از گره های مورد بررسی حذف شد. به همین ترتیب در مراحل ۳ تا ۶ مجموعاً ۶ گره دیگر نیز از مجموعه گره های مشکوک به وجود نشت حذف شدند. در مرحله ششم با جستجو در میان ۸ گره باقیمانده، نشت در گره های ۷۰ و ۱۴۰ با مقادیر ۳۰ و ۲۰ بدست آمد و مقدار برانزنگی صفر حاصل شد و جواب درست بدست آمد. در طی این شش مرحله مجموعاً ۳۰۰۰ تحلیل انجام شد. با مقایسه نتایج این روش با روش ACO، مشاهده می شود که این روش توانسته است تعداد تکرارها را کاهش داده و جواب را به صورت کاملاً دقیق شناسایی کند. شکل (۶) تغییرات بهترین جواب را در مراحل مختلف نشان می دهد.



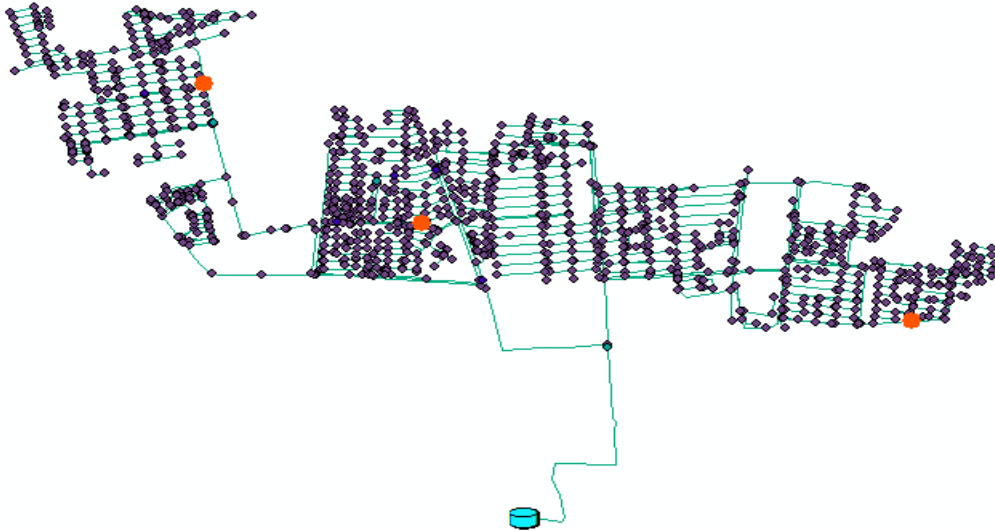
شکل ۶- تغییرات $f(d)$ و $f(x)$ برای بهترین جواب در مراحل مختلف

معرفی شبکه شماره ۲

شبکه مورد مطالعه در این بخش که در شکل شماره (۷) نمایش داده شده، ناحیه مجزا شده D شهر بیرجند می باشد. این شبکه دارای ۱۱۴۰

موقعیت دارای خطا می باشد.

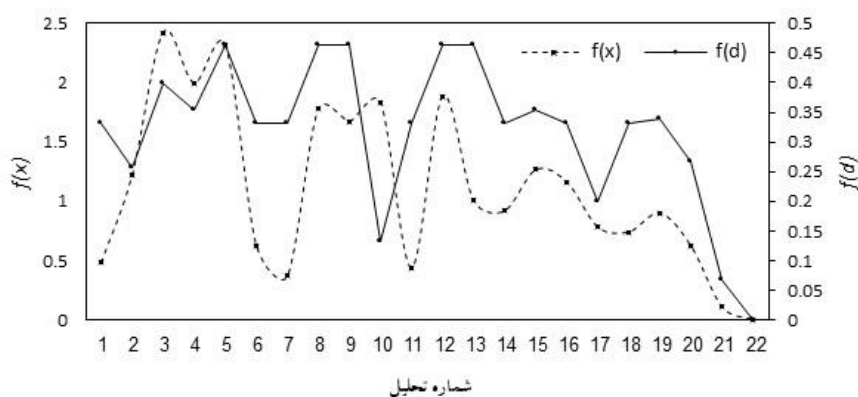
نشت در گره ۵۳ با ۱۰ لیتر نشت بطور دقیق شناسایی شده است. دو گره دیگر که دارای نشت شناسایی شده اند در نزدیک به گره های دارای نشت واقع شده اند. این نشان می دهد که روش حاضر توانسته است تا حدودی نشت ها را در شبکه شناسایی نماید اما از نظر مقدار و



شکل ۷- شبکه توزیع آب شهر بیرجند (ناحیه D)

جدول (۶): نتایج کالیبراسیون با حذف گره های بدون نشت برای شبکه بیرجند

مرحل تحلیل	شماره تحلیل	$f(x)$	$f(d)$	تعداد کاندید نشت	تعداد گره های حذف شده	تعداد باقی مانده کاندید نشت
مرحله اول	۱	-/۴۸	۰/۳۳	۳۶	۸	۲۸
	۲	۱/۲۲	۰/۲۵			
	۳	۲/۴۲	۰/۳۹			
	۴	۱/۹۹	۰/۳۵			
	۵	۲/۳۱	۰/۴۶			
	۶	-/۶۲	۰/۳۳			
	۷	-/۳۷	۰/۳۳			
	۸	۱/۷۸	۰/۴۶			
	۹	۱/۶۷	۰/۴۶			
	۱۰	۱/۸۳	۰/۱۳			
مرحله دوم	۱۱	-/۴۴	۰/۳۳	۲۸	۸	۲۰
	۱۲	۱/۸۸	۰/۴۶			
	۱۳	۱/۰۰	۰/۴۶			
مرحله سوم	۱۴	-/۹۱	۰/۳۳	۲۰	۷	۱۳
	۱۵	۱/۲۶	۰/۳۵			
	۱۶	۱/۱۶	۰/۳۳			
	۱۷	-/۷۸	۰/۱۹			
مرحله چهارم	۱۸	-/۷۴	۰/۳۳	۱۳	۵	۸
	۱۹	۰/۹	۰/۳۴			
	۲۰	-/۶۲	۰/۲۶			
مرحله پنجم	۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰	۸	-	-
	۲۲	-/۱۱	۰/۰۶			



شکل ۸- تغییرات $f(d)$ و $f(x)$ برای بهترین جواب در مراحل مختلف

یابی خوب باشد. تحلیل نتایج با مطلوبیت ثابت و متغیر نشان داد که با استفاده از این پارامتر می توان به طور موثری اطلاعات افت فشار مشاهده شده در محل های فشار سنجی را برای بهبود نشت یابی مورد استفاده قرار داد. همچنین نتایج نشان دادند که روش تلفیقی ACO و SSEM می تواند به صورت قابل توجهی دقت و سرعت روش را بهبود دهد. بر اساس نتایج روش تلفیقی ضمن اینکه ۳۰۰۰ کاهش تعداد تحلیلهای مورد نیاز، می تواند دقت نتایج حاصله را نیز بهبود بخشد.

پیشنهادها

این روش می تواند برای شبکه های مختلف مورد بررسی قرار گیرد و برای رسیدن به نتایج بهتر متناسب با نتایج بدست آمده اصلاح شود تا به یک روش اجرایی و کارآمد تبدیل گردد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: علی نصیریان
همکاری در نگارش نهایی: مسعود ثابت.

همچنین از شرکت آب و فاضلاب استان خراسان جنوبی و بویژه آقای مهندس مرادی، مهندس شهابی و دکتر عباس زاده قدردانی می شود.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

در ادامه در طی چند مرحله گره های بدون نشت شناسایی و از بین گره های کاندید نشت حذف می شوند. در جدول (۶) مراحل حذف گره های بدون نشت نشان داده شده است. روش حذف مرحله ای در این شبکه بدین صورت است که در ابتدا با استفاده از ۱۰ تحلیل با برازندگی های مناسب که در قسمت قبل به آن اشاره شد، گره هایی که در این ۱۰ تحلیل هیچ گاه نشت در آن ها شناسایی نشده است، مشخص می شوند. در مرحله اول از ۳۶ کاندید نشت، ۸ گره از کاندیدای نشت حذف می شوند. تعداد گره های باقی مانده در این مرحله ۲۸ گره می باشد. در مرحله دوم ۳ تحلیل انجام می شود، که میزان برازندگی در این مرحله نسبت به مرحله قبلی بهبود یافته است. در ادامه از نتایج حاصل از ۳ تحلیل، گره هایی که بدون بوده اند، حذف می شوند. مرحله سوم و چهارم نیز به همین صورت انجام می شود. در مرحله ۵ مشاهده می شود که برازندگی های خیلی خوبی بدست آمده است که میزان برازندگی ۰/۰۰۱ شده است که در این تحلیل گره های دارای نشت بصورت دقیق از نظر مقدار و موقعیت شناسایی شده اند. لازم به ذکر است که هر تحلیل در زمانی کمتر از ۵ دقیقه انجام شده است. کل تعداد تکرارها در حذف مرحله ای ۱۲۰۰۰ تکرار بوده است که کارایی روش را نشان می دهد. شکل ۸ تحلیلهای مختلف و روند رسیدن به جواب را نشان می دهد. در این شکل محور افقی شماره تحلیل معرفی شده در جدول ۶ نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله نشت یابی شبکه های توزیع با استفاده از کالیبراسیون فشارهای گره ای به روش کلونی مورچه ها با مطلوبیت ثابت، متغیر و تلفیقی SSEM-ACO بر روی یک شبکه فرضی برگرفته از مراجع و شبکه ای واقعی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل شبکه ها، مقدار و موقعیت نشت با استفاده از کالیبراسیون شبکه در حالت پایدار دائمی قابل استخراج است. در این مقاله قابلیت های قابل توجه روش کلونی مورچه ها برای یافتن جواب بهینه با تعداد تکرار اندک و در زمان کوتاه به اثبات رسید. بر اساس بررسی های صورت گرفته، رسیدن به یک برازندگی خوب نمی تواند تضمین کننده انجام یک نشت

References

- 1 Karamouz, M., Tabesh, M., Nazif, S., and Moridi, A. (2005). "Estimation of hydraulic pressure in water networks using artificial neural networks and fuzzy logic." *Journal of Water & Wastewater*, 53: 3-14.
- 2 Covas, D. and Ramos, H. (2010). "Case studies of leak detection and location in water pipe systems by inverse transient analysis." *J. Water Resour. Plan. Manage.*, 136(2): 248-257.
- 3 Asl, M. S. and Maghrebi, M. F. (2008). "Intelligent pressure management to reduce leakage in urban water supply networks, a case study of sarafrazan district, mashhad." *Journal of Water & Wastewater*, 3: 99-104.
- 4 .Hunaidi, O., Chu, W., Wang, A., and Guan, W. (1999). "Leakage detection methods for plastic water distribution pipes." in *Advancing the Science of Water*. Denver: AWWA Research Foundation Technology Transfer Conf.
- 5 Brunone, B. (1999). "Transient test-based technique for leak detection in outfall pipes." *J. Water Resour. Plan. Manage.*, 125(5): 302-306.
- 6 Covas, D., Ramos, H., Young, A., Graham, N., and Maksimovic, C. (2005). "Uncertainties of leak detection by means of hydraulic transients: from the lab to the field." in *8th Int. Conf. on Computing and Control for the Water Industry (CCWI 2005)*. Univ. of Exeter, Exeter, UK.
- 7 Abhulimen, K. E. and Susu, A. A. (2004). "Liquid pipeline leak detection system: model development and numerical simulation." *Chem Eng J.*, 96: 207-222.
- 8 Cheng, W. and He, Z. (2011). "Calibration of nodal demand in water distribution systems." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(1): 31-40.
- 9 Andersen, J. H. and Powell, R. S. (2000). "Implicit state-estimation technique for water network monitoring." *Urban Water* 2(1): 23-30.
- 10 Zorriasateyn, N. and Borghei, S. M. (2005). "Dynamic simulation of water networks to control and reduce Physical Unaccounted-for Water." *Journal of Water & Wastewater*, 55: 49-59.
- 11 Pudar, R. S. and Liggett, J. A. (1992). "Leaks in pipe networks." *Journal of Hydraulic Engineering* 118(7): 1031-1046.
- 12 Sage, P. (2004). "Developments in use of network models for leakage management at united utilities north west." in *CIWEM North West and North Wales Branch Water Treatment and Distribution Conference*. Warrington, UK, Nov 2005.
- 13 Wu, Z. Y. and Sage, P. (2006). "Water loss detection via genetic algorithm optimization-based model calibration." *ASCE 8th Annual Int. Symp. on Water Distribution Systems Analysis: Cincinnati, Ohio*.
- 14 Fazel, B. and Maghrebi, M. F. (2009). "Detecting leaks in urban water supply networks with field measurements of pressure node (case study Golbahar city)." *8th Iranian Hydraulic Conference: Tehran University*.
- 15 Boulos, P. F. and Wood, D. J. (1990). "Explicit calculation of pipe network parameters." *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(11): 1329-1344.
- 16 Kang, D. and Lansey, K. (2011). "Demand and roughness estimation in water distribution systems." *J. Water Resour. Plan. Manage., ASCE*, 137(1): 20-30.
- 17 Giustolisi, O., Savic, D., and Kapelan, Z. (2008). "Pressure-driven demand and leakage simulation for water distribution networks." *J. Hydraulic Eng., ASCE*, 134(5): 626-635.
- 18 Wu, Z. Y., Sage, P., and Turtle, D. (2010). "Pressure-dependent leak detection model and its application to a district water system." *J. Water Resour. Plan. Manage.*, 136(1): 116-128.
- 19 Koppel, T. and Vassiljev, A. (2009). "Calibration of a model of an operational water distribution system containing pipes of different Age." *Advances in Engineering Software*, Published by

- Elsevier Ltd., 40: 659-664.
- 20 Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., and Beckwith, S. (2002). "Advanced water distribution modeling and management." Waterbury, CT USA: Haested Press.
- 21 Savic, D. A. and Walters, G. A. (1995). "Genetic algorithm techniques for calibrating network models." Centre for Systems and Control Engineering Univ. of Exeter, Exeter, U.K.
- 22 Wu, Z. Y., Walski, T. M., Mankowski, R., Herrin, G., Gurrieri, R., and Tryby, M. (2002). "Calibrating water distribution model via genetic algorithms." AWWA IM Tech Conference: Kansas City, Missouri, USA.
- 23 Vitkovsky, J. P., Simpson, T. R., and Barkdoll, B. D. (2000). "Leak detection and calibration using transients and genetic algorithms." J. Water Resour. Plan. Manage., ASCE, 126(4): 262-265.
- 24 Nasirian, A. and Maghrebi, M. F. (2013). "Leakage detection in water distribution network based on a new heuristic genetic algorithm model." Journal of Water Resource and Protection, Accepted.
- 25 Maghrebi, M. F., Hasanzadeh, Y., and Yazdani, S. (2011). "Calibration of water supply systems based on ant colony optimization." Journal of Water & Wastewater, 4.
- 26 Dorigo, M. (1992). "Optimization, learning and natural algorithms." Politecnico di Milano: Milan, Italy.
- 27 Dorigo, M., Vaniezzo, M., and Colorni, A. (1996). "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics, 26(1): 29-41.
- 28 Zecchin, A. C., Simpson, A. R., Maier, H. R., Leonard, M., and Nixon, J. B. (2007). "Ant colony optimization applied to water distribution system design: comparative study of five algorithms." J. Water Resour. Plan. Manage. 133(1): 87-92.
- 29 Walski, T. M., Brill, E. D., Gessler, J., Goulter, I. C., Jeppson, R. M., Lansley, K., Lee, H. L., Liebman, J. C., Mays, L., Morgan, D. R., and Ormsbee, L. (1987). "Battle of networks models: epilogue." J. Water Resour. Plan. Manage., 113(2): 191-203.
- 30 .Behzadian, K., Kapelan, Z., Savic, D., and Ardeshir, A. (2009). "Stochastic sampling design using a multi-objective genetic algorithm and adaptive neural networks." Environmental Modelling & Software, 24: 530-541.
- 31 Kapelan, Z. S., Savic, D. A., and Walters, G. A. (2003). "Multiobjective sampling design for water distribution model calibration." J. Water Resour. Plan. Manage., ASCE 129(6): 466-479.
- 32 Kapelan, Z. S., Savic, D. A., and Walters, G. A. (2005). "Optimal sampling design methodologies for water distribution model calibration." Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 131(3): 190-200.
- 33 Nasirian, A. and Maghrebi, M. F. (2013). "Application of optimization methods for calibration and leak detection in water distribution system using a laboratory model." Journal of Water & Wastewater: Accepted Article
- 34 Giustolisi, O. and Berardi, L. (2011). "Water distribution network calibration using enhanced GGA and topological analysis." Journal of Hydroinformatics, 13(4): 621-641.
- 35 Wu, Z. Y., Burrows, R., Moorcroft, J., Croxton, N., and Limanond, S. (2010). "Pressure-dependent leakage detection method compared with conventional techniques." Water Distribution System Analysis: Tucson, AZ, USA. 1083-1092.
- 36 Sabet, M., Nasirian, A. and Mohtasham, M. (2016). "Effects of ant colony method for leak detection in water distribution networks (Case study: Birjand network)." First International Conference on Water, Environment and Sustainable Development. University Mohaghegh Ardabil. (In Persian).