



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



تحلیل نشت در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از تحلیل مبتنی بر فشار و الگوریتم کرم شب تاب

محمدعلی گر انمهر

دانشجوی دکترای عمران-آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

ma.geranmehr@cv.iut.ac.ir

حمیده جعفری

دانشجوی دکترای عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه قم

h.jafari@stu.qom.ac.ir

خلاصه

یکی از مسائل مهم در شبکه‌های توزیع آب، تحلیل شبکه در شرایط نشت است. در این شرایط معمولاً از روابط تجربی بر اساس رابطه روزنه استفاده می‌شود. همچنین به دلیل احتمال وجود شرایط کمبود فشار، لازم است از تحلیل مبتنی بر فشار استفاده شود. بنابراین علاوه بر معادلات پیوستگی در گره‌ها و معادله انرژی در لوله‌ها، لازم است دو دسته معادلات نشت-فشار و فشار-دبی نیز به طور همزمان تحلیل شوند. در این مقاله با استفاده از EPANET و تعریف یک مدل بهینه ساز، روشی برای تحلیل شبکه ارائه شده و عملکرد الگوریتم بهینه ساز کرم شب تاب برای حل آن ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد سرعت و همگرایی روش ارائه شده، مناسب است.

کلمات کلیدی: نشت، شبکه‌های توزیع آب، تحلیل مبتنی بر فشار، الگوریتم کرم شب تاب

۱- مقدمه

نشت از شبکه‌های توزیع آب به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آب به حساب نیامده، اهمیت بالایی دارد. با توجه به محدودیت‌های موجود در منابع تأمین آب و هزینه بالای آن، کاهش میزان نشت در شبکه‌های توزیع آب را می‌توان یکی از اهداف عمده سازمان‌های تأمین‌کننده آب دانست. تاکنون روش‌های مختلف تجربی، تخمینی و تحلیلی برای محاسبه مقدار نشت توسط پژوهشگران، توسعه داده شده است. معمولاً مدل‌های تحلیل هیدرولیکی نشت بر مبنای استفاده از رابطه نشت-فشار (LPR)¹ می‌باشد که رابطه بین فشار و نشت در هر یک از گره‌های شبکه را مشخص می‌کند. بدین منظور و به عنوان ساده‌ترین روش می‌توان با استفاده از رابطه روزنه (اریفیس)، دبی نشت را محاسبه کرد. علاوه بر رابطه اریفیس، روابط کامل‌تری نیز توسط برخی

¹ Leakage-Pressure Relationship

محققین ارائه شده است [۱، ۲، ۳]. برای محاسبه مقدار نشت، لازم است شبکه تحلیل هیدرولیکی شده و فشارهای گره‌ای مشخص باشند. درحالی که مقادیر دبی برداشت از هر گره، برای تحلیل شبکه و محاسبه فشارها لازم است. بدین منظور دو راه حل اصلی شامل استفاده از ویژگی آفشان^۱ در EPANET و یا حل معادلات هیدرولیکی شبکه و معادلات فشار-نشت به صورت همزمان توصیه می‌شود [۴].

به طور کلی دو روش مبتنی بر تقاضا^۲ و مبتنی بر فشار^۳ برای تحلیل هیدرولیکی شبکه مرسوم است. در روش مبتنی بر تقاضا، معادلات هیدرولیکی شبکه فقط شامل پیوستگی در گره‌ها و افت هد در حلقه‌هاست. در حالی که در روش مبتنی بر فشار، لازم است معادلات فوق همزمان با رابطه بین دبی قابل برداشت از هر گره و فشار موجود در آن گره که اصطلاحاً رابطه فشار-دبی نامیده می‌شود (PDR^۴)، حل شوند. در این زمینه، روابط گوناگونی توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است [۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰].

امروزه با توسعه سخت افزارها و افزایش سرعت رایانه‌ها، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری فقط محدود به مسائل بهینه‌سازی نیست. مسائلی که شامل حل دستگاه معادلات غیرخطی هستند را نیز می‌توان به فرم یک مسئله بهینه‌سازی نوشت و به کمک این روش‌ها و به سادگی حل کرد. در این حالت مجهولات در دستگاه معادلات، متغیرهای تصمیم مسئله بهینه‌سازی خواهند بود. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب تاب (FA^۵) و به کمک نرم‌افزار EPANET، یک مدل هیدرولیکی جهت انجام تحلیل شبکه در شرایط نشت و مبتنی بر فشار ارائه شده است. از مزیت‌های این مدل، می‌توان قابلیت استفاده از انواع روابط مختلف نشت-فشار و فشار-دبی اشاره کرد. بهره‌گیری از الگوریتم FA برای حل معادلات تحلیل شبکه در شرایط وجود نشت و در حالت مبتنی بر فشار از دیگر ویژگی‌های مثبت این تحقیق می‌باشد. استفاده از EPANET که یک شبیه‌ساز هیدرولیکی متن‌باز و متداول برای شبکه آب است، عدم محدودیت در انتخاب ابعاد شبکه و نوع المان‌ها را به همراه داشته و نتایج تحلیل را قابل اعتماد می‌کند.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت تحلیل نشت شبکه، از رابطه نشت-فشار ارائه شده توسط جرمن آپولوس^۱ (۱۹۸۵) مطابق زیر استفاده می‌شود [۱].

$$Q_j^{Leak} = \sum_{i \in I_j} \frac{L_{ij}}{2} C_j (p_j)^N \quad (1)$$

که در آن، Q_j^{Leak} دبی نشت در گره j ام، C_j ضریب نشت که بستگی به خصوصیات شبکه دارد و برای هر شبکه مقداری ثابت است که بر اساس تحقیقات میدانی و واسنجی مدل نشت برای هر شبکه بدست می‌آید و p_j فشار در گره j ام است. I_j مجموعه لوله‌های متصل به گره j ام و L_{ij} طول این لوله‌هاست. N پارامتری ثابت بوده که به نوع منفذ نشت و مشخصات لوله بستگی دارد.

¹ Emitter

² Demand Driven Approach (DDA) or Demand Driven Simulation Method (DDSM)

³ Pressure Dependent Approach (PDA) or Head Driven Simulation Method (HDSM)

⁴ Pressure-Demand Relationship

⁵ Firefly Algorithm

⁶ Germanopoulos



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب



1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

روش ارائه شده در این تحقیق، بر مبنای دیدگاه تحلیل مبتنی بر فشار است. بدین منظور رابطه واگنر و همکاران^۱ (۱۹۸۸) به عنوان یک رابطه دبی- فشار مطابق زیر استفاده می شود [۷].

$$Q_j^{avl} = \begin{cases} 0 & p_j < p_j^{\min} \\ Q_j^{req} \left(\frac{p_j - p_j^{\min}}{p_j^{des} - p_j^{\min}} \right)^{\frac{1}{n}} & p_j^{\min} \leq p_j \leq p_j^{des} \\ Q_j^{req} & p_j^{des} < p_j \end{cases} \quad (2)$$

که در آن Q_j^{avl} و Q_j^{req} به ترتیب دبی مورد نیاز و دبی قابل تأمین (موجود) توسط شبکه در گره j ام، p_j^{\min} ، p_j^{des} و p_j به ترتیب فشار حداقل (حدی) که اگر فشار از آن کمتر شود، گره هیچ تقاضایی را تأمین نمی کند، فشار مطلوب (حدی) که اگر فشار از آن بیشتر باشد، گره همه تقاضای مورد نیاز را به طور کامل تأمین می کند) و فشار موجود در گره j ام است. n پارامتری ثابت است. مدل بهینه ساز ارائه شده برای تحلیل شبکه، مطابق روابط زیر است. در این مدل، فشارهای گره‌ای، متغیر تصمیم مسئله هستند.

$$Z = \text{Min} \left(\sum_{j=1}^{nj} (p'_j - p_j)^2 \right) \quad (3)$$

$$\mathbf{P}_{1 \times nj} = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_j \ \dots \ p_{nj}] \quad (4)$$

$$0 \leq p_j \leq p^{\max} \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, nj \quad (5)$$

$$Q_j^{nl} = PDR(p_j) \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, nj \quad (6)$$

$$Q_j^{leak} = LPR(p_j) \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, nj \quad (7)$$

$$Q_j = Q_j^{nl} + Q_j^{leak} \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, nj \quad (8)$$

$$[p'_1 \ p'_2 \ \dots \ p'_j \ \dots \ p'_{nj}] = EPA(Q_1 \ Q_2 \ \dots \ Q_j \ \dots \ Q_{nj}) \quad (9)$$

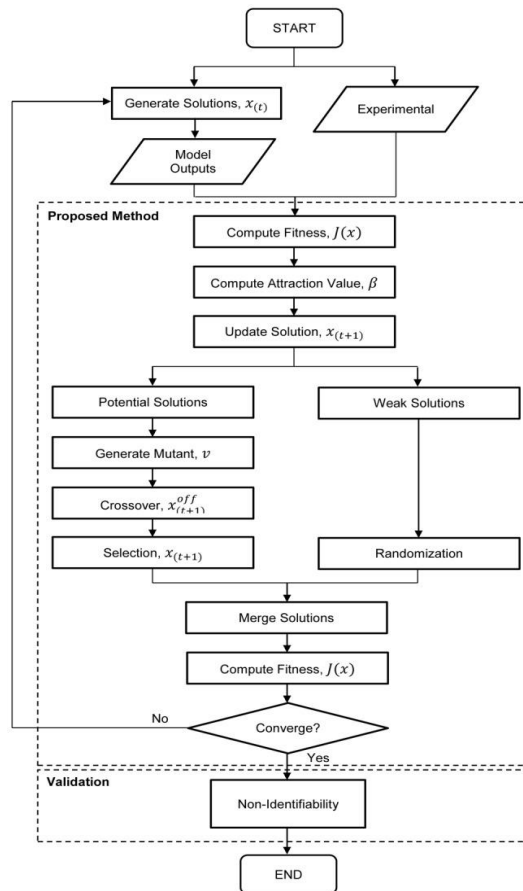
که Z تابع هدف و \mathbf{P} بردار متغیرهای تصمیم مسئله (فشار در هر گره) است. مطابق رابطه (۵)، محدوده متغیرهای تصمیم بین صفر و فشار حداکثر (p^{\max}) است. تابع PDR و LDR به ترتیب نمایانگر رابطه بین فشار و دبی تقاضای گره در روش تحلیل مبتنی بر فشار و رابطه بین نشست و فشار در هر گره است. Q_j و p'_j به ترتیب دبی کل برداشت و فشار محاسبه شده توسط شبیه ساز هیدرولیکی در گره j ام است. تابع EPA نیز شبیه ساز هیدرولیکی EPANET را نشان می دهد. nj تعداد گره‌های تقاضا در شبکه است.

۳- الگوریتم کرم شب تاب

الگوریتم کرم شب تاب با الهام از رفتار کرم‌های شب تاب در سال ۲۰۰۸ توسط یانگ^۲ (۲۰۰۸) [۱۱] معرفی شد. این الگوریتم متعلق به گروه الگوریتم‌های تصادفی می‌باشد؛ بدین معنا که یک نوع جستجوی تصادفی برای رسیدن به مجموعه‌ای از

¹- Wagner et al
²- Yang

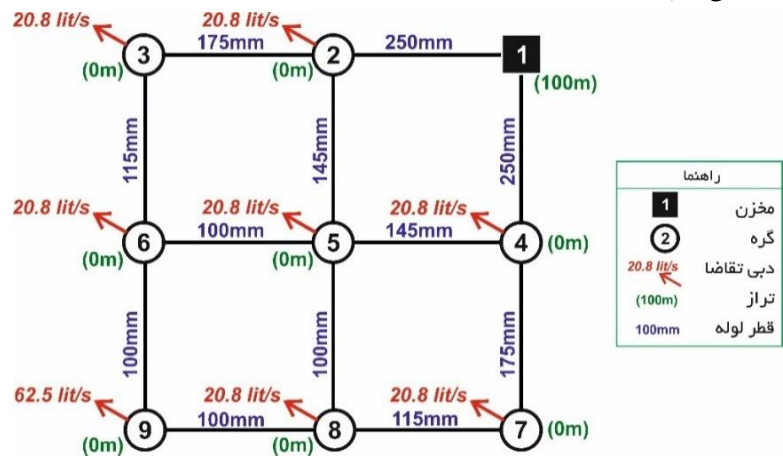
راه‌حل‌ها به کار برده می‌شود. کرم‌های شب تاب نورهای منحصر به فردی تولید می‌کنند که برای جذب جفت کاربرد دارد. مقدار نور هر کرم، رابطه مستقیمی با میزان جذابیت آن دارد. با در نظر گرفتن مقدار نور هر کرم شب تاب به عنوان تابع هدف، الگوریتم بهینه‌ساز کرم شب تاب تعریف شده است. در این الگوریتم فرض می‌شود کرم‌های شب تاب تک جنسیتی بوده و جنسیت نقشی در جذابیت آن‌ها ندارد. همچنین فرض می‌شود میزان جذب بین دو کرم شب تاب، رابطه مستقیم با درخشندگی و رابطه عکس با فاصله دارد. فرآیند الگوریتم برای حرکت کرم‌های کم نور به سمت کرم‌های درخشان‌تر ادامه پیدا می‌کند. اگر هیچ یک از کرم‌های شب تاب روشن‌تر از دیگری نباشد، کرم شب تاب به‌طور تصادفی حرکت خواهد کرد. در هر بار حرکت، درخشندگی موقعت کرم‌ها بر اساس مقدار تابع هدف، به روز رسانی شده و الگوریتم تا همگرایی یا تعداد تکرار مشخص ادامه می‌یابد. فلوجارت الگوریتم کرم شب تاب در شکل ۱ نمایش داده شده است.



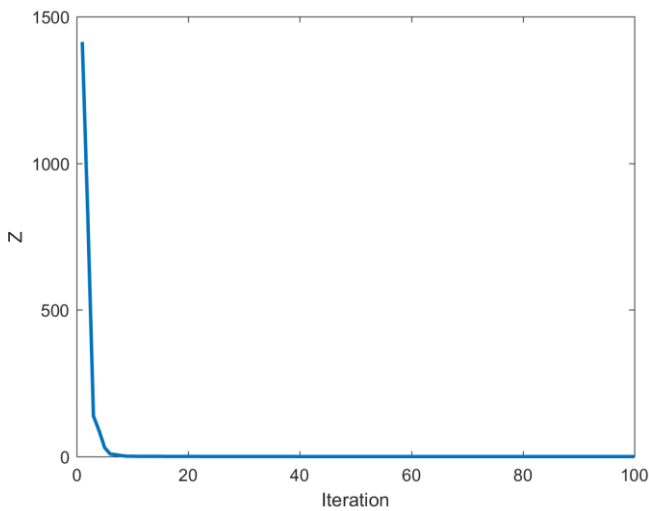
شکل ۱: الگوریتم کرم شب تاب

۴- نتایج و بحث

جهت بررسی عملکرد مدل ارائه شده، یک شبکه چهار حلقه‌ای مطابق شکل ۲ که اولین بار توسط تابش (۱۳۹۵) [۱۲] معرفی شد، تحلیل می‌شود. ضریب هیزن ویلیامز و طول کلیه لوله‌ها به ترتیب برابر ۱۳۰ و ۱۰۰۰ متر بوده و فشار حداقل و فشار مطلوب نیز به ترتیب صفر و ۳۰ متر در نظر گرفته شده است. شکل ۳ عملکرد الگوریتم کرم شب تاب را نشان می‌دهد که به سرعت همگرا شده است. با فرض $C = 10^{-5}$, $N = 1.18$ ، نتایج مدل ارائه شده در این تحقیق در مقایسه با نتایج مرجع [۴] در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد عملکرد این روش به خوبی روش‌های پیشین بوده، در عین حال امکان استفاده از انواع روابط نشت-فشار و فشار-دبی وجود دارد.



شکل ۲: شبکه چهار حلقه‌ای



شکل ۳: همگرایی الگوریتم کرم شب تاب

جدول ۱: مقایسه نتایج (دبی ها بر حسب لیتر بر ثانیه)

تابش (۱۳۹۵) [۴]					پژوهش حاضر					گره
$p_j (m)$	Q_j	Q_j^{Leak}	Q_j^{avl}	Q_j^{req}	$p_j (m)$	Q_j	Q_j^{Leak}	Q_j^{avl}	Q_j^{req}	
86.619	23.701	2.900	20.800	20.800	86.623	23.701	2.901	20.800	20.800	2
68.480	22.265	1.465	20.800	20.800	68.482	22.265	1.465	20.800	20.800	3
86.619	23.701	2.900	20.800	20.800	86.623	23.701	2.901	20.800	20.800	4
68.525	23.733	2.933	20.800	20.800	68.529	23.733	2.933	20.800	20.800	5
33.131	21.733	0.933	20.800	20.800	33.119	21.733	0.933	20.800	20.800	6
68.480	22.265	1.465	20.800	20.800	68.482	22.265	1.465	20.800	20.800	7
33.131	21.733	0.933	20.800	20.800	33.119	21.733	0.933	20.800	20.800	8
4.713	24.816	0.063	24.800	62.500	4.706	24.816	0.062	24.753	62.500	9

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش روشی مبتنی بر بهینه سازی برای انجام تحلیل نشت شبکه در شرایط کمبود فشار ارائه شد. برای حل این مدل بهینه ساز از الگوریتم کرم شب تاب استفاده شد. نتایج حل یک مثال ساده نشان داد که عملکرد این روش به خوبی روش های قبلی است. از مزیت های روش ارائه شده می توان به امکان استفاده از انواع روابط فشار-دبی و روابط نشت-فشار اشاره کرد. در این مثال مشخص شد الگوریتم کرم شب تاب، همگرایی و سرعت مناسبی برای تحلیل شبکه در شرایط نشت و کمبود فشار دارد. هر چند سرعت، عملکرد و دقت روش ارائه شده نیاز به بررسی بیشتر و تحلیل مثال های واقعی دارد.

۶- مراجع

1. Germanopoulos, G., (1985), A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models, *Civil Engineering Systems*, 2, pp. 171-179.
2. Pudar, R. S., & Liggett, J. A. (1992). Leaks in Pipe Networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(7), pp. 1031-1046.
3. Vela, A., Perez, R., & Espert, V. (1991). Incorporation of leakages in the mathematical model of a water distribution network. *Paper presented at the Computer Methods in Water Resources II*.

۴. تابش، م. (۱۳۹۵)، "مدل سازی پیشرفته شبکه های توزیع آب"، انتشارات دانشگاه تهران.

5. Gupta, R., and Bhawe, P. R. (1996). Comparison of methods for predicting deficient network performance. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(3), pp. 214-217.



شرکت آب و فاضلاب کابل، پردیس فنی و مهندسی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on
Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



6. Tanyimboh, T. T., and Templeman, A. B. (2010.) Seamless pressure-deficient water distribution system model. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 163(8), pp. 389-396.
7. Wagner, J., U. Shamir, and D. Marks. (1988). Water Distribution Reliability: Simulation Methods. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(3), pp. 276-294.
8. Fujiwara, O., and J. Li. (1998). Reliability analysis of water distribution networks in consideration of equity, redistribution, and pressure-dependent demand. *Water Resources Research*, 34(7), pp. 1843-1850.
9. Tucciarelli, T., A. Criminisi, and D. Termini. (1999). Leak Analysis in Pipeline Systems by Means of Optimal Valve Regulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(3), pp. 277-285.
10. Shirzad, A., Tabesh, M., Farmani, R., & Mohammadi, M. (2013). Pressure-Discharge Relations with Application to Head-Driven Simulation of Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(6), pp. 660-670.
11. Yang, X.S. (2008). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, Luniver Press.
12. Tabesh, M. (1998). Implications of the pressure dependency of outflows of data management, mathematical modelling and reliability assessment of water distribution systems. (Ph.D.), University of Liverpool.