2018, Vol.4, No.2, Pages 49 to 56
Journal of Water and Sustainable Development

سال چهارم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۴۹ تا ۵۶
نشریه آب و توسعه پایدار

Optimal Pressure Control for Leakage Minimization in Water Distribution Networks

J. Jafari Asl[1*], B. SamiKashkooli[2], M. Bahrami[3]

1- M.Sc. in Civil Engineering - Water Resources Management and Engineering, Faculty of Engineering, Civil Engineering Division, Yasuj University, Yasuj, Iran. 2- M.Sc. in Hydraulic Structures, Hydraulic Structures Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 3- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.

*(Corresponding author Email: Jafar.Jafariasl@yahoo.com)

Received: 16-01-2016
Accepted: 16-05-2017

Abstract

Water leakage in the water distribution networks results in losses of supply, pressure, and capital investment. Therefore, efforts to reduce the leakage in the water distribution networks have great importance. A common way to reduce pressure is the installation of flow or pressure reducing valves (PRV) and the optimal regulation of these valves in water networks. This study aims at investigating the optimum management of pressure in order to minimize the leakage in water distribution networks. For this purpose, the optimal placement and setting for pressure relief valves, with minimum allowable pressure in the nodes, is considered as the main constraint of the problem. In the present research, to solve these problems, an optimization model—a simulation based on an emerging algorithm called Cultural Algorithm (CA)—was used. In this model, the CA optimization in MATLAB environment was integrated with the hydraulic simulation of the EPANET model. The results revealed that, considering all the limitations of the problem, employing this method to determine the position of the pressure reducing valves and regulating them lowered the mean leakage rate of the network by 10% in three periods of maximum, average, and minimum water demand.

Keywords: Leakage management, Pressure management, Pressure reducing valves, Cultural algorithm, EPANET.

کنترل بهینه فشار با هدف حداقل‌سازی نشت در شبکه‌های توزیع آب

جعفر جعفری‌اصل[۱*]، بهرام سامی کشکولی[۲]، مهدی بهرامی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج. ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس. ۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Jafar.Jafariasl@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۲۶

چکیده

نشت در شبکه‌های توزیع آب، موجب اتلاف منابع و سرمایه صرف شده در تولید، انتقال، تصفیه و توزیع آب می‌شود. از این رو تلاش برای کاهش نشت در شبکه‌های توزیع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. مدیریت بهینه فشار، با استفاده از نصب شیرهای فشارشکن و تنظیمات بهینه این شیرها در مسیر جریان یکی از روش‌های کاهش نشت می‌باشد. در این پژوهش مسئله مدیریت بهینه فشار در شبکه‌های توزیع آب با هدف حداقل کردن نشت مورد توجه می‌باشد. بدین منظور مسئله جانمایی بهینه و تنظیمات بهینه شیرهای فشارشکن با رعایت حداقل فشار مجاز در گره‌ها به‌عنوان قید اصلی مسئله مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش برای حل این مسئله از مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر یکی از انواع الگوریتم‌های فراکاوشی تحت عنوان الگوریتم فرهنگی (CA)[۱] استفاده شد. در این مدل الگوریتم بهینه‌سازی CA در محیط MATLAB با شبیه‌ساز هیدرولیکی مدل EPANET تلفیق شد. نتایج نشان داد که با به کاربردن روش ارائه شده برای جانمایی و تنظیم بهینه شیرهای فشارشکن، ضمن رعایت قیود مسئله، میزان نشت متوسط شبکه در سه شرایط تقاضای آبی حداکثر، متوسط و حداقل به میزان ۱۰ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: مدیریت نشت، مدیریت فشار، شیرهای فشارشکن، الگوریتم فرهنگی، EPANET.

DOI: 10.22067/jwsd.v4i2.61886

مقدمه

از دیرباز آب به عنوان یکی از مهمترین نیازهای بشر، نقش مهمی را در شکل‌گیری تمدن‌های مختلف ایفا کرده است و همواره یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های انسان‌ها به شمار می‌آید. با استناد به مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۸ توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد انجام شد، برآورد شده است که در سال ۲۰۲۵ جمعیت جهان درگیر تنش‌های آبی خواهند بود (Thornton و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی و کمبود منابع آب باید سعی شود میزان تلفات آب را به حداقل رساند. برای این منظور با توجه به رابطه متقابل فشار و نشت در شبکه، میزان نشت در هر نقطه را با توجه به فشار موجود می‌توان کاهش داد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴). عامل اصلی انتقال آب در سیستم‌های توزیع آب، اختلاف هد فشاری بین دو نقطه می‌باشد. فشار بیش از حد استاندارد در سیستم‌های توزیع آب باعث افزایش شدت نشت و بالا رفتن تعداد حوادث شبکه می‌شود. از طرفی فشار کمتر از حد استاندارد نیز موجب عدم تأمین کامل تقاضا و یا تأمین نامطلوب آن خواهد شد. همچنین در فشارهای بالا احتمال شکستگی لوله‌ها، شیرها و تجهیزات افزایش یافته و پایداری سازه‌ای سیستم‌های توزیع آب به مخاطره می‌افتد. از این رو ضروریست که تغییرات فشار در شبکه آب تنها در محدوده استانداردهای مجاز باشد (Tabesh و Zia، ۲۰۰۳).

براساس مطالعات انجام شده در سطح جهانی، نتایج نشان می‌دهد که حجم قابل توجهی از آب ورودی به سیستم‌های توزیع آب به صورت نشت هدر می‌رود. اما با این حال نشت در تمامی سیستم‌های توزیع آب جهان حتی در سیستم‌های تازه به بهره‌برداری رسیده رخ می‌دهد و نمی‌توان آن را کاملاً از بین برد (Thornton و همکاران، ۲۰۰۸)؛ ولی می‌توان با مدیریت مناسب، میزان نشت را در محدوده اقتصادی نگه داشت. برای این منظور طرح مدیریت نشت همواره ذهن مدیران آب را به خود مشغول داشته و مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته و همچنان در جریان است (Ulanicki و همکاران، ۲۰۰۸a).

بررسی مطالعات پیشین صورت گرفته در زمینه مدیریت نشت نشان می‌دهد که تلاش‌های زیادی برای طرح مدل‌های بهینه مدیریت نشت با استفاده از روش مدیریت فشار در شبکه انجام گرفته است و روش‌های مختلف ریاضی و بهینه‌سازی برای استفاده پیشنهاد شده‌اند. اخیراً محققین با توجه به نوع مسئله به استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراکاوشی روی آورده‌اند. با توسعه مدل EPANET در سال ۱۹۹۳ توسط روسمن[۲] وابسته به USEPA[۳]، مدل‌سازی کیفیت آب در سامانه‌های توزیع آب تحت‌فشار پا به عرصه وجود گذاشت.

Araujo و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از نرم‌افزار EPANET و الگوریتم ژنتیک و با هدف حداقل‌سازی سطح فشار در شبکه، روشی دوفازی برای بهینه‌سازی تعداد، موقعیت و تنظیمات شیرهای کنترل فشار ارائه نمودند. همچنین Tabesh و Hoomehr (۲۰۰۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شیرهای فشارشکن نشان دادند که می‌توان مدلی برای مدیریت فشار ارائه کرد.

سلطانی‌اصل و فغفور مغربی (۱۳۸۷) فشار را یکی از مهمترین عوامل مؤثر در میزان آب بدون درآمد در شبکه‌های توزیع دانسته که دارای بیشترین و سریع‌ترین اثر هیدرولیکی بر روی مقدار نشت است. ایشان میزان اثر کاهش فشار بر نشت در شبکه منطقه سرافرازان مشهد را با مدل‌سازی شبکه در محیط EPANET2.10 و با در نظرگرفتن جریان نشت در گره‌ها مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش ایشان، ابتدا شبکه مورد نظر با بهره‌گیری از تلفیق روش اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه و تحلیل هیدرولیکی با استفاده از قابلیت نرم‌افزار، مدل‌سازی گردید. سپس با استفاده از نتایج مدل، در شیر فشارشکن ورودی شبکه، یک برنامه زمانی تغییرات هد فشار خروجی در طول ساعات روز و بر مبنای تأمین حداقل فشار در کم‌فشارترین نقطه، تعیین و اعمال گردید. نتایج نشان داد که می‌توان با استفاده از این روش مدیریت فشار، ضمن کاهش نشت شبانه به حدود ۳۵ درصد، توزیع فشار در شبکه را متعادل‌تر نمود. لازم به ذکر است که تنظیم فشار در این پژوهش به صورت دستی انجام شده و از مدل بهینه‌سازی استفاده نشده است.

بوستانی و خداشناس (۱۳۹۴) مطالعه‌ای با هدف نشت‌یابی در شبکه آب تحت فشار بر مبنای رابطه فشار- نشت انجام دادند. این مطالعه بر مبنای الگوریتم تابع هدف کمینه، که براساس رابطه افت فشار و نقاط احتمالی نشت استوار است، اجرا شد. اعتبارسنجی مدل نیز با فرض بهینه‌یابی حداقل مربعات خطا بین داده‌های محاسباتی (رابطه فشار-نشت) با داده‌های مشاهداتی (فرض نشت در گره‌ها) انجام شد. کد ارائه شده‌ی آنها توانست به خوبی گره‌های فرضی دارای نشت و توزیع مقادیر نشت بین گره‌ها را با کمینه کردن اختلاف فشار مشخص نماید. آنها براساس نتایج اجرای مدل و مقایسه داده‌های مشاهداتی مبتنی بر روش بهینه‌یابی و روش‌های شناسایی نشت مرتبط با تغییرات فشار در شبکه نشان دادند که علاوه بر انتخاب روش مناسب و واسنجی مدل، حتماً بایستی داده‌های مشاهداتی و ورودی نظیر قرائت فشارسنج‌ها، الگوی مصرف ناحیه مورد مطالعه و شناسایی حداکثری انشعابات غیرمجاز در بررسی میدانی برای بهبود موقعیت‌یابی نقطه‌ای نشت‌ها در شبکه و تخمین جامع و صحیح مقدار آن‌ها مدنظر قرار گیرد.

Nicolini (۲۰۱۱) و Nicolini و Zovatto (۲۰۰۹) مطالعه‌ای با هدف بهینه‌سازی تعداد، محل و تنظیمات شیرهای کنترل فشار انجام دادند. این روش به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه، با اهداف حداقل‌سازی تعداد شیرها و حداقل‌سازی مجموعه نشت سیستم و در نظر گرفتن حداقل فشار مورد نیاز گره‌ها به‌عنوان قید مسئله پیاده شده که برای حل آن از الگوریتم NSGA-II استفاده کردند.

Tavakoli و همکاران (۲۰۱۵) تحقیقی با هدف کنترل بهینه فشار و نشت در یکی از مجتمع‌های آب‌رسانی شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی و به روش مبتنی بر تقاضا (DDSM)[۴] توسط نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی انجام دادند. بدین‌صورت که با نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی و تنظیم زمانی آن در جهت تأمین فشار استاندارد در تمام گره‌های شبکه، تأثیر مدیریت هوشمند فشار بر شبکه ارزیابی گردید. نتایج آنها نشان داد که کنترل فشار با استفاده از شیرهای فشارشکن روش مناسبی برای کاهش میزان نشت در شبکه می‌باشد؛ به‌طوری‌که با کاهش ۲۶/۴۵ درصدی فشار میانگین، مقدار ۵۸۹ مترمکعب آب در سال صرفه‌جویی شده و باعث کاهش ۱۹/۳۸ درصد از میزان نشت شد.

جعفری‌اصل (۱۳۹۵) مسئله مدیریت بهینه فشار در جهت مدیریت نشت در شبکه‌های آب را با قرار دادن شیرهای فشارشکن در مسیر جریان و تنظیمات بهینه این شیرها بر روی یک شبکه آب آزمایشی با رویکردی دوفازی که در آن بهینه‌سازی جانمایی شیرها در گام اول و بهینه‌سازی تنظیمات شیرها در گام دوم با استفاده از توانمندی الگوریتم جامعه زنبورهای عسل مصنوعی (ABC)[۵] انجام می‌شود، مورد توجه قرار داد.

در این مطالعه در راستای تکمیل مطالعات گذشته، مسئله مدیریت بهینه فشار در شبکه‌های توزیع آب در جهت حداقل‌سازی نشت با در نظر گرفتن مسائل جانمایی بهینه شیرهای فشارشکن و تنظیمات بهینه شیرها مورد توجه قرار گرفت. برای این منظور از مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر الگوریتم CA به‌عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده‌شد. در این مدل الگوریتم بهینه‌سازی CA در محیط Matlab با شبیه‌ساز هیدرولیکی مدل EPANET تلفیق شد.

مواد و روش‌ها

• الگوریتم بهینه‌سازی

در این پژوهش مسئله بهینه‌سازی حداقل کردن نشت با استفاده از تنظیمات شیرهای فشارشکن در یک سیستم توزیع آب مدنظر قرار گرفت. در این مسئله موقعیت قرارگیری شیرها و تنظیمات شیرها تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت به عنوان متغییر تصمیم در مسئله لحاظ شدند. در اینجا برای پرهیز از افزایش بیش از حد ابعاد فضای جستجو تنها تنظیمات شیرها در شرایط تقاضای آبی حداکثر، متوسط و حداقل در بردار متغیرهای تصمیم وارد شد. با توجه به ماهیت متغیرهای تصمیم مسئله، از الگوریتم فرهنگی (CA) استفاده شد.

• الگوریتم فرهنگی

الگوریتم فرهنگی یک شبیه‌سازی از شیوه زندگی انسان‌ها است که اولین بار توسط رینولدز[۶] توسعه داده شد. در جامعه انسان‌ها، یک فضای جمعیت و یک فضا از باورهای این جمعیت وجود دارد. انسان‌ها از باورهایشان تأثیر می‌گیرند و بر باورهایشان تأثیر می‌گذارند. افراد موفق‌تر در جمعیت، الگوی باور به‌حساب می‌آیند و انسان‌های دیگر سعی می‌کنند با تبعیت از باورهای افراد موفق‌تر به رشد و تعالی برسند. در الگوریتم فرهنگی نیز دو فضا تعریف شده است: فضای جمعیت و فضای باور. فضای جمعیت که در الگوریتم فرهنگی تعریف می‌شود دقیقاً مشابه فضای جمعیت در الگوریتم ژنتیک است؛ یعنی یک فضای کاملاً تصادفی به‌عنوان فضای جمعیت اولیه در نظر گرفته می‌شود. فضای باور، وجه تمایز بین الگوریتم ژنتیک با الگوریتم فرهنگی است. هر دو فضا به‌صورت موازی باهم کار می‌کنند و بر روی هم تأثیر می‌گذارند. یک پروتکل ارتباطی این دو فضا را به هم مرتبط می‌کند.

الگوریتم فرهنگی به صورت زیر عمل می‌کند: در هر نسل ابتدا هزینه اعضای موجود در فضای جمعیت ارزیابی می‌شود. بر اساس این ارزیابی، اعضایی که شایستگی تأثیرگذاری بر فضای باور را دارند انتخاب می‌شوند. از تجربیات این اعضا، برای ساختن و تغییر فضای باور استفاده می‌شود. در نتیجه فرهنگی در فضای باور به وجود می‌آید. در مرحله بعد فرهنگ ایجادشده در فضای باور، بر روی فضای جمعیت تأثیر می‌گذارد. پس از گذشت چند نسل، فضای جمعیت با استفاده از فرهنگ شکل گرفته به سمت جمعیت ایده‌ال، یعنی جمعیتی با هزینه پایین، همگرا می‌شود (Xidong و Reynolds، ۱۹۹۹؛ Keramati و همکاران، ۲۰۱۱).

الگوریتم فرهنگی از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

۱-فضای جمعیت:

این فضا در واقع فضای اصلی جمعیت است. الگوریتم فرهنگی

کار خود را با تشکیل یک جمعیت اولیه به‌صورت کاملاً تصادفی آغاز می‌کند.

۲- فضای باور:

فضای باور، از تجربیات اعضای بهتر که از فضای جمعیت استخراج شده‌اند، شکل می‌گیرد. این تجارب در کلیه نسل‌ها شکل گرفته و ذخیره می‌شود. اصول کار الگوریتم فرهنگی بر استفاده از این تجارب برای ایجاد باور می‌باشد. این باور در نسل‌های بعدی بر روی فضای جمعیت تأثیر می‌گذارد. ازآنجایی‌که اعضا موفق‌تر و بهتر از فضای جمعیت شانس بیشتری برای تأثیرگذاری بر روی فضای باور را دارند، به‌تدریج نسل‌های بعدی به سمت بهترین جواب همگرا می‌شوند. در واقع، در این فضا دور کردن هر ذره در حال جستجو از ناحیه‌های نامطلوب و هدایت آن‌ها به‌سمت ناحیه‌های نزدیک به جواب انجام می‌شود.

۳- پروتکل ارتباطی:

الگوریتم فرهنگی نیازمند یک رابط میان جمعیت و فضای باور است. اعضای بهتر فضای جمعیت می‌توانند با استفاده از تابع به‌روزرسانی فضای باور را به‌روز کنند. همچنین، فضای باور می‌تواند بر مؤلفه جمعیت اثر بگذارد.

به‌طورکلی مراحل الگوریتم فرهنگی به‌صورت زیر می‌باشد:

- فضای جمعیت را مقداردهی اولیه کن (جمعیت اولیه به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود)
- فضای باور را مقداردهی اولیه کن
- موارد زیر تکرار می‌شود تا به شرایط پایان دادن برسد:
  - -ارزیابی فعالیت اعضا در فضای جمعیت
  - -ارزیابی هر عضو با استفاده از تابع صلاحیت
  - -انتخاب والدین جهت تولید نسل جدید
  - -تأثیر فضای باور روی نسل جدید
  - -به‌روز کردن فضای باور با استفاده از تابع پذیرش

اگر تعداد نسل‌ها به تعداد از پیش تعیین شده توسط ورودی الگوریتم بود و یا این‌که بهترین جواب تغییر نکرد، الگوریتم پایان می‌پذیرد (Keramati و همکاران، ۲۰۱۱).

• مدل شبیه‌سازی

در این پژوهش برای تحلیل هیدرولیکی از مدل EPANET با توجه به قابلیت‌های آن استفاده شد.

معادلات استفاده شده در این پژوهش به‌صورت زیر است (معادلات مورد استفاده در پژوهش Nicolini و Zovatto، ۲۰۰۹):

الف- پیوستگی جریان در هر گره (بقاء جرم)

$$\sum_i Q_{ij,k} - \alpha_k Q_{req,i} - I_{i,k} = 0 \text{ , for } i=1,\dots N,\ k=1,\dots,N_L \quad (۱)$$

در این رابطه $Q_{ij,k}$ مقدار جریان بین گره i و j، α_k ضریب تقاضای آبی، $Q_{req,i}$ تقاضای آبی متوسط گره i، $I_{i,k}$ نشت در گره i، N تعداد گره‌های سیستم، N_L تعداد کل بازه‌های زمانی منحنی تغییرات تقاضای آبی و جمع کل دبی‌های لوله‌های متصل به گره i را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که اندیس k نشان‌دهنده بازه زمانی kام منحنی تغییرات تقاضای آبی است.

ب- افت انرژی در هر یک از لوله‌ها (قانون بقای انرژی) به‌صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$H_{i,k} - H_{j,k} = h_{ij,k} \quad (۲)$$

در این رابطه $H_{i,k}$ و $H_{j,k}$ به ترتیب هد در گره‌های i و j و $h_{ij,k}$ افت انرژی بین گره i و j است. متناسب با نوع ارتباط بین گره i و j، مقدار افت انرژی می‌تواند با رابطه مناسب محاسبه گردد. در اینجا روابط زیر در نظر گرفته می‌شوند:

لوله- رابطه هیزن- ویلیامز در واحد SI:

$$h_{ij,k} = 10.668 C_{ij}^{-1.852} d_{ij}^{-4.871} L_{ij} Q_{ij,k}^{1.852} \quad (۳)$$

که در آن C_{ij} ثابت هیزن-ویلیامز، d_{ij} قطر لوله و $Q_{ij,k}$ مقدار جریان بین گره i و j و L_{ij} طول لوله بین گره i و j است.

شیر فشارشکن:

$$h_{ij,k} = 10.668 C_{ij}^{-1.852} (u_{ij,k} d_{ij})^{-4.871} L_{ij} Q_{ij,k}^{1.852} \quad (۴)$$

که در آن $u_{ij,k}$ ضریب قطر (عددی بین ۰ تا ۱) است که وجود یک شیر در ارتباط بین گره i و j را در بازه زمانی kام مدل می‌کند. به‌طور مشخص، برای تبدیل جمله $u_{ij,k}$ به $V_{ij,k}$ تنظیم یا بازشدگی شیر (از رابطه زیر برای تعیین بازشدگی شیر استفاده می‌شود:

$$V_{ij,k} = u_{ij,k}^{4.871/1.852} \quad (۵)$$

حداقل‌کردن نشت کل سیستم به‌عنوان هدف مسئله مورد بررسی در نظر گرفته شده است که به‌صورت متوسط تلفات حقیقی سیستم در کل بازه‌های زمانی در نظر گرفته می‌شود:

$$min \ f = \frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_s} I_{i,k} = \frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_s} C_L L_{t,i} P_{i,k}^{\gamma} \quad (۶)$$

در رابطه فوق N_S نماینده تعداد گره‌های سیستم است که در آن‌ها نشت اتفاق می‌افتد. C_L ضریب ثابتی است که مقدار نشت در واحد طول لوله را به فشار در گره i مرتبط می‌کند. $P_{i,k}$ مقدار فشار در گره i در بازه زمانی kام را نشان می‌دهد. γ ثابت توانی نشت است و $L_{t,i}$مجموع نصف طول کل لوله‌های منشعب از گره i است. مهم‌ترین قید مسئله رعایت حداقل فشار مورد نیاز در گره‌های شبکه است ($P_{req,i}$) که به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\text{subject to: } \sum_j Q_{ij,k} - \alpha_k Q_{req,i} - I_{i,k} = 0 \quad (۷)$$

$$H_{i,k} - H_{j,k} = h_{ij,k} \quad (۸)$$

$$P_{i,k} \geq P_{req,i} \quad \text{for } i=1,\ldots,N \qquad (۹)$$

در این رابطه $P_{i,k}$ فشار گره i در بازه زمانی kام و $P_{req,i}$ حداقل فشار مجاز در گره iام می‌باشد.

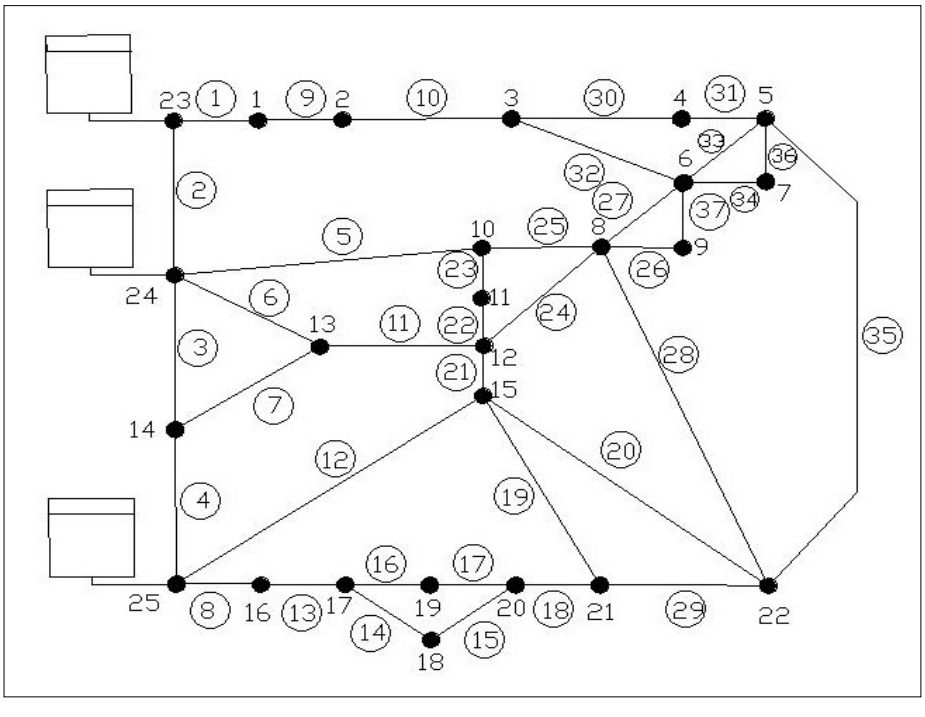
مدل بهینه‌سازی مورد نظر در محیط MATLAB توسعه داده شد. در این مدل برای شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه و تعیین پارامترهای هیدرولیکی موردنیاز، بخش هیدرولیکی مدل EP-ANET2 به‌عنوان مرجعی از فرامین و اطلاعات (DLL)[۷] در محیط MATLAB واردشده و با فراخوانی دستورات لازم، شبکه مورد نظر تحلیل هیدرولیکی می‌گردد. مدل بهینه‌سازی که برای مسئله‌ای با فرمول‌بندی ذکرشده در بخش قبل توسعه داده شد، در محیط MATLAB با تحلیل‌گر هیدرولیکی شبکه تلفیق گردید.

مطالعه موردی

با حل مسئله بهینه‌سازی، جانمایی و تنظیمات شیرهای فشارشکن در یک سیستم توزیع آب آزمایشی که قبلاً توسط Nicolini و Zovatto (۲۰۰۹) نیز مورد توجه قرار گرفته است، بررسی شد. شبکه مورد مطالعه شامل ۲۵ گره، سه مخزن و ۳۷ خط لوله است. متوسط مصرف آب در شبکه ۱۵۵ لیتر در ثانیه است (شکل ۱). توان رابطه نشت برابر ۱/۱۸= γ و تراز آب در مخازن مطابق جدول (۱) ثابت و برابر تراز نرمال در نظر گرفته شده است. حداقل فشار قابل قبول برای گره‌های مصرفی شبکه گره‌های شماره ۱۹، ۲۲، ۲۱ و ۱۳ برابر ۳۰ متر تعیین شده است. سایر گره‌های فشار می‌تواند از حداقل ۳۰ متر تخطی کند. تعداد شیرها برابر ۵ عدد در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات مخازن شبکه

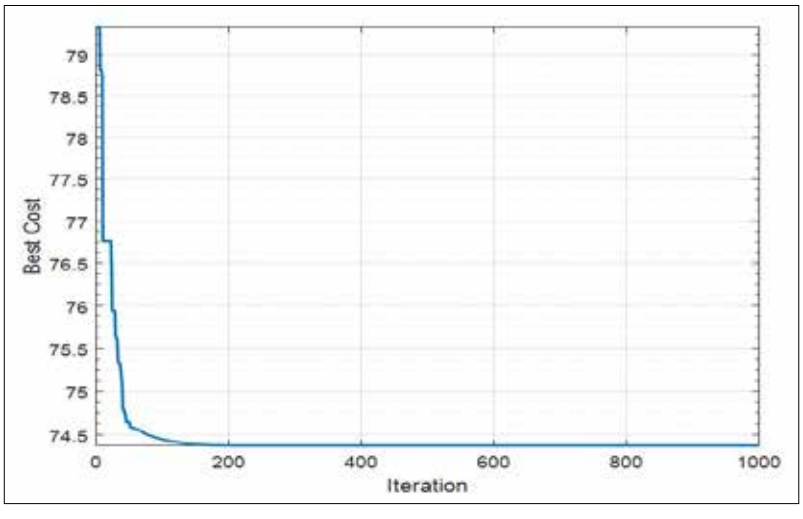
شماره گره	سطح حداکثر (متر)	سطح متوسط (متر)	سطح حداقل (متر)
۲۳	۵۶	۵۴/۶۶	۵۴/۵
۲۴	۵۵/۵	۵۴/۶	۵۴/۵
۲۵	۵۵/۵	۵۴/۵	۵۴



شکل ۱- شبکه مورد مطالعه

نتایج و بحث

با استفاده از مدل تهیه‌شده مبتنی بر الگوریتم CA جانمایی و تنظیمات بهینه شیرهای فشارشکن انجام شد. برای بررسی توانایی مدل، مدل ۴ بار مورد آزمایش قرار گرفت. تعداد تکرارهای حلقه الگوریتم CA در هر یک از این آزمایش‌ها برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. شکل (۲) شمایی از حرکت بهترین عضو هر نسل به سمت پاسخ بهینه را در حلی که منجر به بهترین پاسخ شده است نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت همگرایی در ۱۰۰ تکرار اول نشان دهنده‌ی توان جستجوی عمومی خوب و عدم موفقیت در یافتن پاسخ‌های بهتر در ادامه نشان‌دهنده جستجوی محلی ضعیف می‌باشد.



شکل ۲- شمایی از حرکت بهترین عضو هر نسل به سمت پاسخ بهینه

مکان بهینه و تنظیمات بهینه بدست آمده در حل بهینه در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین مقدار نشت در شبکه قبل از جانمایی شیرهای فشار شکن و بعد از جاگذاری شیرهای فشار شکن، در شرایط تقاضای آبی حداکثر (Load۱)، متوسط (Load۲) و حداقل (Load۳) در حل بهینه مسئله توسط مدل بهینه‌سازی نیز در جدول شماره (۳) ارائه شده است.

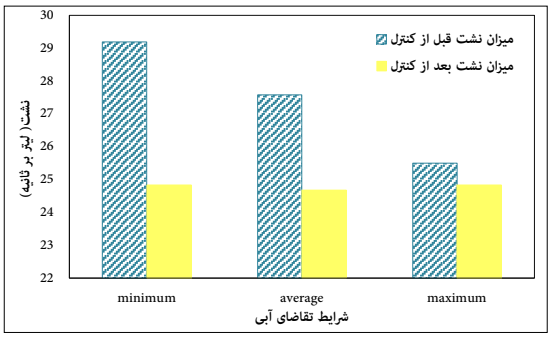
جدول ۲- جانمایی و تنظیمات بهینه شیرهای کنترل فشار (میزان بازشدگی شیر برحسب درصد)

شماره لوله‌های انتخابی برای جانمایی شیر فشارشکن	۱۹	۲۲	۲۷	۳۲	۳۷
تنظیمات یا بازشدگی شیر(٪) برای Load۱	۱	۱	۰	۷۷	۴۱
تنظیمات یا بازشدگی شیر(٪) برای Load۲	۲	۲۹	۰	۰	۰
تنظیمات یا بازشدگی شیر(٪) برای Load۳	۲۹	۸۴	۲۹	۰	۹۸

جدول ۳- میزان نشت متوسط در شبکه قبل از کنترل و بعد از کنترل (لیتر بر ثانیه)

	قبل از کنترل	پس از کنترل
Load ۱	۲۹/۲	۲۴/۸۴
Load ۲	۲۷/۵۸	۲۴/۶۸
Load ۳	۲۵/۵	۲۴/۸۳
مجموع نشت متوسط شبکه	۸۲/۲۸	۷۴/۳۵

همچنین شکل (۳) نمودار میزان نشت قبل از کنترل و بعد از کنترل را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار میزان نشت قبل از کنترل و بعد از کنترل

نتیجه‌گیری

کاهش نشت یکی از راه‌های کاهش تلفات در شبکه‌های آب است. از میان همه عواملی که بعد از جاگذاری لوله‌ها بر کاهش نشت تأثیرگذار هستند تنها فشار شبکه می‌باشد که قابل کنترل است. راه‌های متعددی برای کنترل فشار در شبکه وجود دارد که می‌توان به‌عنوان مثال استفاده از شیرهای فشارشکن در شبکه را نام برد. در این پژوهش از شیرهای فشارشکن با قابلیت تنظیم زمانی برای کاهش اضافه فشار استفاده شده است. استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی CA در کاهش نشت در تنظیم سطح فشار برای حداقل‌کردن نشت در شبکه موفق بوده است. مسئله مورد بررسی در پژوهش‌های پیشین توسط الگوریتم ژنتیک نیز مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است. مقایسه چنانکه ملاحظه می‌شود میزان نشت متوسط در سه دوره شرایط تقاضای حداکثر، متوسط و حداقل تقریباً به میزان ۱۰ درصد کاهش‌یافته است که نشان می‌دهد روش ارائه شده در تنظیم سطح فشار برای حداقل کردن نشت در شبکه موفق بوده است. همانطور که بیان شد Nicolini و Zovatto (۲۰۰۹) برای تعیین جانمایی بهینه شیرهای فشارشکن از الگوریتم GA با فرمول‌بندی مشابه آنچه در این پژوهش استفاده شده است، استفاده کردند و بهترین پاسخ برابر ۶۸/۸۵ لیتر در ثانیه به دست آمد. در مقایسه این دو روش نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم GA در تعداد دفعات تکرار و تعداد جمعیت برابر نسبت به CA به پاسخ بهتری می‌رسد.

بهترین پاسخ‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک نسبت به CA عملکرد بهتری داشته است. پس نوآوری در این پژوهش در قالب برتری یک روش جدید وجود نداشته است.

پی‌نوشت

1- Cultural Algorithm
2- Rossman
3- United States Environmental Protection Agency
4- Demand Driven Simulation Method
5- Artificial Bee Colony
6- Reynolds
7- Dynamic Link Library

منابع

جعفری‌اصل، ج. ۱۳۹۵. کنترل بهینه فشار در جهت حداقل‌سازی نشت در مدیریت سیستم‌های توزیع آب با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فراکاوشی. رساله‌ی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج.

سلطانی اصل، م. و فغفور مغربی، م. ۱۳۸۸. مدیریت هوشمند فشار به منظور کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد. م. آب و فاضلاب، ۳: ۹۹-۱۰۴.

کارآموز، م.، تابش، م.، نظیف، س. و مریدی، ع. ۱۳۸۴. پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی. مجله آب و فاضلاب، ۵۳: ۳-۱۴.

بوستانی، آ. و خداشناس، س. ۱۳۹۴. بررسی روش نشت‌یابی در شبکه آب تحت فشار بر مبنای رابطه فشار- نشت (ارائه کد بهینه‌یابی نشت). نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱): ۵۹-۶۶.

Araujo L.S., Ramos H. and Coelho S.T. 2006. Pressure control for leakage minimisation in water distribution systems management. Water Resources Management, 20(1): 133-149.

Xidong J. and Reynolds R.G. 1999. Using knowledge-based evolutionary computation to solve nonlinear constraint optimization problems: a cultural algorithm approach. Evolutionary Computation-CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on, 6-9 July. Washington, DC, USA, USA. IEEE.

Keramati A., Hosseini M., Darzi M. and Liaei A.A. 2011. Cultural algorithm for feature selection. In

Tehran.

Tabesh M. and Zia A. 2003. Dynamic Management of Water Distribution System Networks Based on Hydraulic Performance Analysis of System. Water Science and Technology, 3 (1-2): 5-102

Tavakoli R., Golkar R.H. and Tavoosi M. 2015. pressure management to reduce leaks in water supply networks. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 5(S4): 795-802.

Thornton J.S., Sturm R. and Kunkel G. 2008. Water Loss Control (Second Edition), Mc Graw Hill.

Ulanicki B., AbdelMeguid H., Bounds P. and Patel R. 2008a. Pressure control in district metering areas with boundary and internal pressure reducing valves. 10th International Water Distribution System Analysis conference, WDSA2008, The Kruger National Park, South Africa.

Data Mining and Intelligent Information Technology Applications (ICMiA). 3rd International Conference on IEEE.

Nicolini M. 2011. Optimal pressure management in water networks: Increased efficiency and reduced energy costs. Defense Science Research Conference and Expo (DSR), IEEE, Singapore,1-4.

Nicolini M. and Zovatto L. 2009. Optimal location and control of pressure reducing valves in water networks. Journal of Water Resources Planning and-Management, 135(3): 178-187.

Tabesh M. and S. Hoomehr. 2007. Consumption management in water distribution systems by optimizing pressure reducing valves setting using genetic algorithm. Center of Excellence for Engineering and Management of Infrastructure, Faculty of Civil Engineering, University of Tehran. Po Box 11155-4563.