مدیریت بهینه فشار با هدف کمینه کردن نشت در سیستم‌های توزیع آب شهری با استفاده از شیرهای فشارشکن

جعفر جعفری‌اصل[۱]، مهدی ملک‌محمودی[۲]، بهرام سامی‌کشکولی[۳]، حسین منتصری[۴]، مهدی بهرامی[۵]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۳

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

با افزایش جمعیت و کمبود منابع آب در بسیاری از مناطق جهان، نشت در سیستم‌های توزیع آب اهمیت زیادی یافته است. در چند سال اخیر روش‌های مختلفی که منجر به کاهش نشت می‌گردند، مورد توجه مدیران و محققین صنعت آب قرار گرفته است. مدیریت فشار در شبکه های توزیع آب شهری یکی از کاراترین و مقرون به صرفه‌ترین روش‌های ارائه شده می‌باشد که علاوه بر کنترل و کاهش نشت، منجر به افزایش عمر تأسیسات و تجهیزات در سیستم‌های توزیع آب می‌گردد. در این مقاله مدلی برای مدیریت بهینه فشار با هدف کاهش دادن نشت، ضمن تامین قید حداقل فشار در گره‌های برداشت، ارائه شده است. بدین منظور با جانمایی و تنظیم بهینه شیرهای فشارشکن، میزان اضافه فشار موجود در گره‌های شبکه به حداقل مقدار ممکن در محدوده مجاز استاندارد خود کاهش می یابد. در این مدل، یکی از انواع الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت تحت عنوان الگوریتم جامعه زنبورهای عسل مصنوعی (ABC) در محیط MATLAB توسعه داده شد و با شبیه‌ساز هیدرولیکی مدلEPANET تلفیق گردید. نتایج نشان داد که ضمن رعایت کلیه قیود مسئله با به کار بردن روش ارائه شده برای جانمایی و تنظیم بهینه شیرهای فشار شکن میزان نشت متوسط شبکه در سه دوره شرایط نیاز آبی ماکزیمم، متوسط و مینیمم از مقدار ۸۲/۲۸ به ۷۲/۱۵ لیتر بر ثانیه یعنی به میزان ۱۴/۷۵ درصد کاهش یافت که نشان می‌دهد روش ارائه شده برای حداقل کردن نشت در شبکه موفق عمل کرده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم زنبورعسل مصنوعی، سیستم‌های توزیع آب، مدیریت‌فشار،نشت، EPANET.

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. Jafar.Jafariasl@ogs.usb.ac.ir

[۲] کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. mehdi_m_1992@yahoo.com

[۳] کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.Bahramsk@gmail.com

[۴] استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی ، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.(نویسنده مسئول: Hmontaseri@yu.ac.ir)

[۵] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران.mehdibahrami121@gmail.com

مقدمه

از دیرباز تلفات آب در شبکه‌های توزیع، یکی از مسائل مهم مدیریتی بوده است و امروزه با افزایش روزافزون تقاضای آب و محدودیت هر چه بیشتر منابع آب، مسئله تلفات آب به چالشی جدی تبدیل شده است. عملاً تلفات آب در شبکه‌ها، امری غیر قابل اجتناب است و تقریباً در سراسر جهان سیستم‌های توزیع آب با مشکل هدر رفت آب مواجه هستند و تنها مقدار و نوع آن متفاوت است که این مقدار بستگی به خصوصیات فیزیکی لوله‌های شبکه و سطح تکنولوژی و تخصص اعمال شده در کنترل این تلفات دارد (Ulanicki,2008). تلفات آب به دو بخش، تلفات ظاهری و تلفات واقعی (نشت از لوله‌ها، اتصالات و مخازن و همچنین سرریز آب) تقسیم می‌شود. در بسیاری از موارد تلفات واقعی شبکه‌ها قابل توجه است. به‌عنوان مثال، طبق مطالعات (Desalegn, 2005) در شهر آدیس آبابای مصر، مشخص شد که حدود ۵۰ درصد از آب ورودی به شبکه به تلفات تبدیل می‌شود. براساس تحقیق (Rogers, 2005) در بسیاری از شهرهای آسیایی، میزان هدر رفت آب بیش از ۴۶ درصد می‌باشد که ۷۵ درصد آن تلفات واقعی آب گزارش شده است. همچنین با مطالعه‌ای که (Corton and Berg, 2007) در آمریکای لاتین انجام دادند مقدار هدر رفت آب در حدود ۳۰ تا ۵۵ درصد آب ورودی به شبکه گزارش شد. طبق مطالعات انجام شده در انگلستان، مقدار نشت روزانه ۱ میلیون متر مکعب و بصورت پایدار حدود ۲۰ تا ۲۱ درصد از آب ورودی به شبکه توزیع آب گزارش شده است (OFWAT,2010). همچنین بر اساس مطالعات انجام شده در ایران نیز، میزان نشت از شبکه‌های آب بین ۱۵ تا ۳۰ درصد گزارش شده است (تابش و واسطی، ۱۳۸۵).

نشت در سیستم‌های توزیع آب تابع عوامل مختلفی از جمله فشار آب، قدمت لوله‌ها، کیفیت آب و خاک، کیفیت اجرا، کیفیت لوله‌ها و متعلقات، ضربه و بارهای جانبی نظیر ترافیک می‌باشد. راهکارهایی را که می‌توان جهت کاهش نشت عنوان کرد عبارتند از: یافتن مستقیم محل نشت و ترمیم آن، تعویض خطوط لوله آسیب دیده و مدیریت فشار؛ که مورد اخیر، کاراترین و مقرون به صرفه‌ترین گزینه جهت رسیدن به این هدف است. یکی از ابزارهای مدیریت فشار که به‌عنوان گزینه‌ای برتر جهت مدیریت فشار و کاهش نشت از دیدگاه مدیران و کارشناسان با تجربه در صنعت آب معرفی شده است، استفاده از شیرآلات در مسیر جریان می‌باشد (تابش و واسطی، ۱۳۸۵). در ادامه به برخی از مطالعات انجام شده در زمینهٔ مدیریت فشار با هدف کاهش نشت پرداخته می‌شود:

(Bargiela and Sterling, 1984) روشی برای حل مسئله حداقل‌سازی نشت ناشی از فشار مازاد با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، ارائه نمودند. در روش ایشان مجموعه فشار گره‌های شبکه به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد و برای مواجهه با ماهیت غیرخطی سیستم، از خطی‌سازی متوالی بر اساس روش نیتون-رافسون استفاده شد. متعاقباً، (Jowitt and Xu, 1990) با استفاده از روش تئوری برنامه‌ریزی خطی نسبت به خطی سازی متوالی معادلات غیرخطی حاکم بر شبکه اقدام نمودند. سیستم معادلات خطی حاصله به روش برنامه‌ریزی خطی این امکان را می‌دهد که با تعیین بهترین ترکیب از شیرهای کنترل فشار، نشت از شبکه را به حداقل برساند. نتایج بهینه‌سازی حدود ۲۰ درصد کاهش مقدار نشت را نشان داد. (Walters and Savic, 1995) از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله حداقل سازی سطح فشار در شبکه‌های توزیع آب با در نظر گرفتن شیرهای کنترل مجزا به‌عنوان متغیر تصمیم و حداقل فشار مجاز گره‌ها شبکه به‌عنوان قید، استفاده نمودند. (Nicolini and Zovatto, 2009) و (Nicolini, 2011) بهینه‌سازی تعداد، محل و تنظیمات شیرهای کنترل فشار را با در نظر گرفتن حداقل فشار موردنیاز گره‌ها به‌عنوان قید حداقل‌سازی تعداد شیرها و حداقل سازی مجموعه نشت سیستم به‌عنوان اهداف مسئله، به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه فرموله کرده و برای حل آن از الگوریتم NSGA-II استفاده کردند. (Roshani and Filion,

(2014 با ترکیب روش مدیریت فشار و روش نوسازی و بهسازی زیرساخت‌ها، با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای پیدا کردن محل بهینه‌ی شیرها و تنظیمات بهینه شیرهای فشارشکن در C-Town ایالت متحده امریکا موفق به کاهش نشت تا ۸۰ درصد شدند. (Tavakoli et al, 2015) تحقیقی با هدف کنترل فشار و نشت در یکی از مجتمع‌های آب‌رسانی شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی به روش مبتنی بر تقاضا (DDSM) که میزان تقاضا در گره‌ها ثابت است را 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 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 مقدار ۱۹,۳۸ درصد از میزان نشت کاهش یافت.

جعفری‌اصل و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از توانمندی الگوریتم‌های فراکاوشی به بهینه‌سازی محل و تنظیمات شیرهای فشار شکن با در نظر گرفتن حداقل فشار موردنیاز گره‌ها به‌عنوان قید و حداقل سازی مجموعه نشت سیستم به‌عنوان هدف مسئله، مطالعه‌ای انجام دادند که منجر به کاهش ۱۰ درصدی نشت از شبکه شد. با توجه به مطالبی که بیان گردید، کاهش نشت امری مهم در صرفه جویی هزینه های مربوط به شبکه های آب می‌باشد که یکی از ساده ترین راههای آن مدیریت فشار می‌باشد. لذا انجام پژوهش‌هایی در راستای تکمیل مطالعات قبلی ضروری به نظر می‌رسد. الگوریتم جامعه زنبورهای مصنوعی (ABC) به عنوان یک الگوریتم فراکاوشی مبتنی بر رفتار جمعی، توجه پژوهش‌گران را به خود جلب کرده است که در سالهای اخیر به‌طور گسترده‌ای در مسائل بهینه‌سازی مرتبط با مهندسی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی عملکرد این الگوریتم در مکان-یابی بهینه و تنظیمات بهینه شیرهای فشار شکن برای کاهش سطح فشار در شبکه توزیع اب شهری به‌نحوی که نشت از شبکه حداقل شود، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، مسئله مدیریت فشار با هدف حداقل کردن نشت با استفاده از بهینه‌سازی جانمایی و تنظیمات شیرهای فشارشکن در یک شبکه‌ی توزیع آب مدنظر قرار گرفت. در این مسئله بهینه‌سازی موقعیت قرارگیری شیر و تنظیمات بازشدگی شیرها در شرایط تقاضای آبی حداقل، متوسط و حداکثر به‌عنوان متغیر تصمیم در مسئله لحاظ شد. با توجه به ماهیت متغیرهای تصمیم مسئله، از الگوریتم جامعه زنبورهای مصنوعی (ABC) استفاده شد.

الگوریتم بهینه‌سازی

الگوریتم ABC یکی از الگوریتم‌های موفق فراکاوشی در حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد که از رفتار زنبورهای عسل در یافتن گلزارهای مطلوب جهت جمع آوری شهد الگو برداری شده است. این الگوریتم نیز مشابه با سایر الگوریتم‌های فراکاوشی پایه هوش جمعی داشته که جمعیت کلونی با یکدیگر در ارتباط می‌باشند. در الگوریتم ABC جمعیت زنبورها به سه گروه زنبورهای کارگر، زنبورهای کاشف و زنبورهای ناظر تقسیم می‌شود (Pampara and Engelbrecht, 2011). این الگوریتم نیز کار خود را براساس تولید یکسری جمعیت اولیه به صورت تصادفی (SN) که برابر همان موقعیت منبع غذایی است، آغاز می‌کند. در الگوریتم ABC هر پاسخ Xi (i=1,…,SN) یک بردار D بعدی است که D تعداد پارامترهای بهینه‌سازی است. زنبورهای جستجوگر یک منبع غذایی که متأثر از کیفیت آن منبع غذایی است را بر اساس احتمال، انتخاب می‌کنند. این اولین گام تهیه یک مدل EPANET از مسأله مورد نظر می‌باشد. بدین منظور همه مشخصات شبکه از قبیل مشخصات خطوط لوله، شیرآلات، مخازن و تانک-ها در مدل وارد شد. سپس تابع هدف و قیود مسئله مدیریت فشار به‌صورت روابط زیر فرموله می‌شوند.

حداقل کردن نشت کل سیستم به عنوان تابع هدف و فشار حداقل مجاز، قانون پیوستگی و قانون بقای انرژی در گره‌های شبکه به‌عنوان قید درنظر گرفته شد.

احتمال انتخاب هر منبع توسط رابطه ۱ محاسبه می-گردد:

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (۱)$$

که مقدار fit_i برازندگی جواب i می‌باشد که نسبتی است از حجم شهد آن منبع غذا در مکان i و SN تعداد منابع غذا می‌باشد که برابر با تعداد زنبورهای استخدام شده و زنبورهای جستجوگر است (Karaboga,2009). موقعیت غذای جدید (v_{ij}) وابسته به موقعیت غذای قدیمی بوده (x_{ij}) و طبق رابطه ۲ تعیین می‌شود:

$$V_{ij} = X_{ij} + \Phi_{ij}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (۲)$$

که به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. همچنین پارامتر ϕ_{ij} یک عدد حقیقی تصادفی بین ۱ و ۱- است و ایجاد منابع غذایی جدید در اطراف x_{ij} توسط آن کنترل می‌شود. در ABC منبع غذایی جدید نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Karaboga,2009).

$$X_i^j = X_{min}^j + rand[0,1]\left(X_{max}^j - X_{min}^j\right) \quad (۳)$$

پس از اینکه هر موقعیت منبع جدید غذا V_{ij} انتخاب شد، توسط زنبور مصنوعی مورد ارزیابی قرارگرفته و با موقعیت قبلی جایگزین می‌شود. اگر منبع غذایی جدید دارای شهد برابر یا بهتر از منبع‌های قدیمی باشد آن را با یکی از موقعیت‌های قدیمی در حافظه جایگزین می‌کند.

مدل شبیه‌سازی

الف- پیوستگی جریان در هر گره (بقاء جرم)

$$\sum_i Q_{ij,k} - \alpha_k Q_{req,i} - I_{i,k} = 0 \quad for\ i = 1, \dots . N,\ k = 1, \dots, N_L \quad (۴)$$

که $Q_{ij,k}$ مقدار جریان بین گره i و j ، α_k ضریب نیازآبی، $Q_{req,i}$ نیازآبی متوسط گره i، $I_{i,k}$ نشت در گره i، N تعداد گره‌های سیستم می‌باشند. همچنین تعداد کل بازه‌های زمانی تغییرات تقاضا با N_L نشان داده شده است.

$$I_{i,k} = C_L L_{t,i} P_{i,k}^{\gamma} \quad (۵)$$

C_L و $P_{i,k}$ به ترتیب نشان دهنده ضریب ثابت نشت در واحد طول لوله مربوط به فشار گره i مقدار فشار در گره i در بازه زمانی k ام را نشان می‌دهند. γ ثابت توانی نشت و $L_{t,i}$ طول کل لوله‌های متصل به گره i است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{t,i} = 0.5 \sum_j L_{ij} \quad (۶)$$

که L_{ij} طول لوله متصل به گره i و j و $L_{t,i}$ جمع طول کل لوله‌های متصل به گره i را نشان می‌دهند.

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

$$H_{i,k} - H_{j,k} = h_{ij,k} \quad (۷)$$

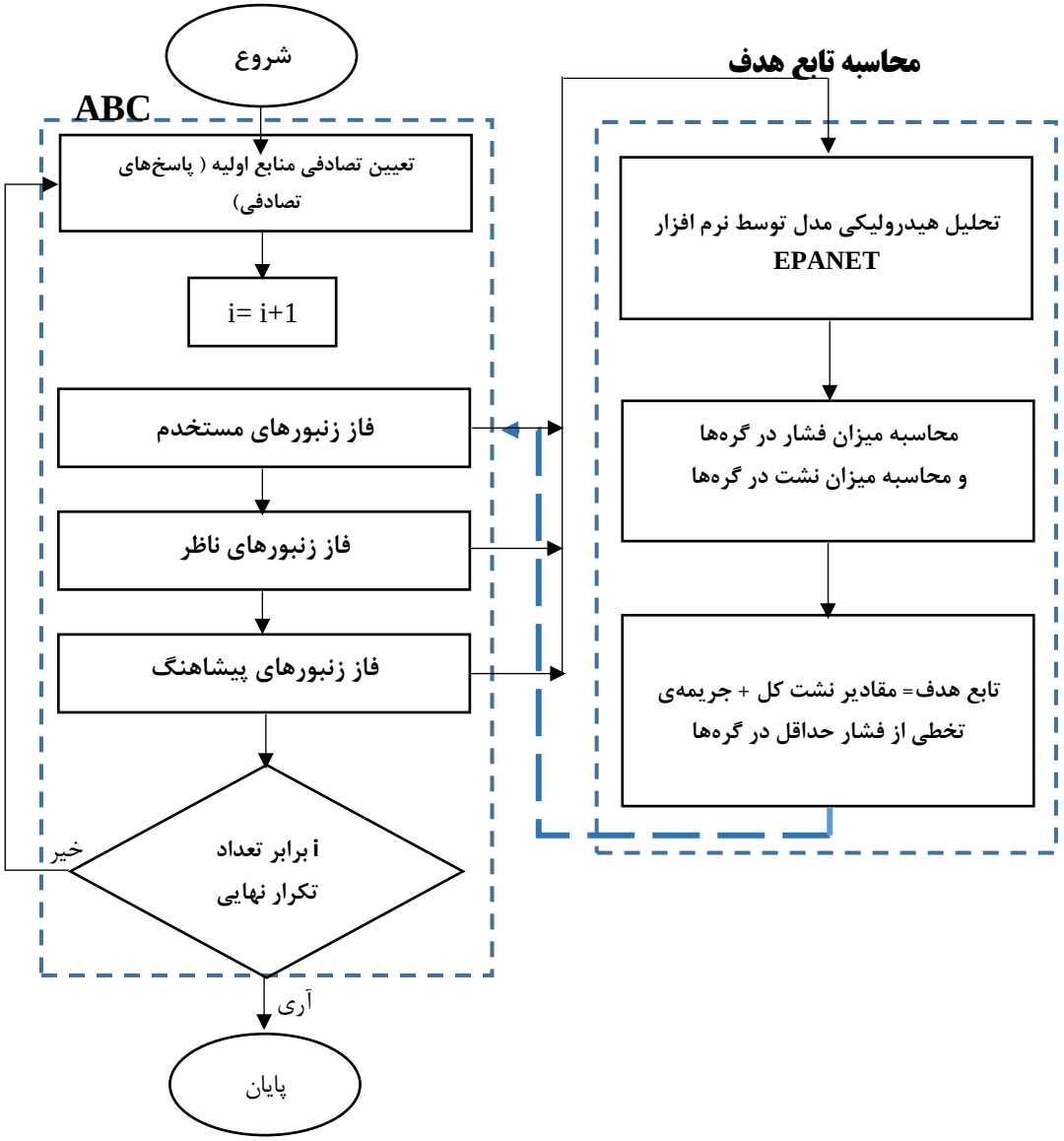
در این رابطه $H_{i,k}$ و $H_{j,k}$ به ترتیب هد در گره‌های i و j و $h_{ij,k}$ و افت انرژی بین گره i و j را نشان می‌دهند. اندیس k نیز بیان کننده بازه زمانی k ام منحنی تغییرات نیاز آبی است.

تابع هدف بهینه سازی در این تحقیق به‌صورت حداقل کردن نشت کل سیستم به صورت متوسط تلفات حقیقی سیستم در کل باز ه‌های زمانی در نظر گرفته می‌شود:

$$Minimize\ F = \frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_S} I_{i,k} = \frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_S} C_L L_{t,i} P_{i,k}^{\gamma} \quad (۸)$$

در رابطه فوق N_S نماینده تعداد گره‌های سیستم و N_L بازه‌ی زمانی یا شرایط هیدرولیکی است که در آن‌ها نشت اتفاق می‌افتد.

مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی در محیط MATLAB با تلفیق EPANET به عنوان مرجعی از فرامین و اطلاعات توسعه داده شد. فلوچارت مراحل فوق در شکل ۱ ارائه شده است:



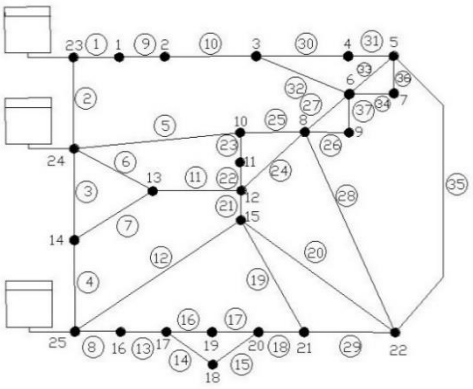
شکل۱- فلوچارت مراحل اجرای مدل

مطالعه‌ی موردی

حل مسئله بهینه‌سازی جانمایی و تنظیمات شیرهای فشارشکن در یک سیستم توزیع آب پایلوت که قبلاً توسط (Jowitt and Xu, 1990) و (Nicolini and Zovatto, 2009) مورد توجه قرارگرفته است، انجام گردید. این شبکه شامل ۲۵ گره، سه مخزن و ۳۷ خط لوله است. متوسط مصرف آب در شبکه ۱۵۵ لیتر در ثانیه است (شکل۲). تراز آب در مخازن مطابق **Error! Reference source not found.**۱ ثابت و برابر تراز نرمال در نظر گرفته شده است. حداقل فشار قابل قبول برای گره‌های مصرفی شبکه یعنی گره‌های شماره ۱۹، ۲۲، ۲۱ و ۱۳ برابر ۳۰ متر تعیین شده است. در سایر گره‌ها فشار می‌تواند از حداقل ۳۰ متر تخطی کند. تعداد شیرها نیز برابر ۵ عدد درنظر 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(۲): شبکه‌ی مورد مطالعه

نتایج و بحث

با استفاده از مدل تهیه شده مبتنی بر الگوریتم ABC جانمایی و تنظیمات بهینه شیرهای فشارشکن انجام شد. مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ABC در جدول (۲) آمده است. مقادیر این پارامترها پس از چندین بار اجرای مدل با مقادیر مختلف به نحوی تنظیم شد که الگوریتم ABC بهترین عملکرد را داشته باشد.

جدول (۲): مقادیر پارامترهای الگوریتم ABC

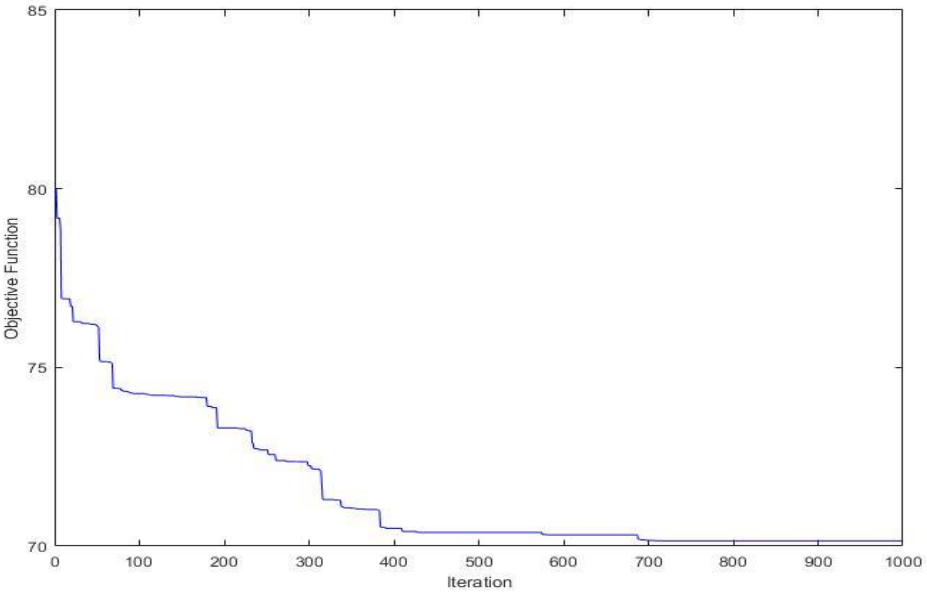
پارامتر	مقدار	علامت
تعداد منابع غذایی	۱۰۰	**SN**
حداکثر تعداد تکرار	۱۰۰۰	**MCN**
معیار رهاسازی	۶۰	**Limit**

برای بررسی توانایی مدل توسعه داده شده با تنظیم پارامترها برابر مقادیر فوق‌الذکر، مدل ۵ بار مورد آزمایش قرار گرفت. تعداد تکرارهای حلقه الگوریتم ABC در هر یک از این آزمایش‌ها برابر ۱۰۰۰ تکرار در نظر گرفته شد. بهترین مقدار پاسخ‌های به دست آمده در سه شرایط هیدرولیکی متفاوت تابع هدف در ۵ بار استفاده از مدل، در **Error! Reference source not found.**۳ نشان داده شده است که مربوط به آزمایش شماره ۴ می‌باشد.

جدول (۳):مقدار نشت در شرایط هیدرولیکی Load1، Load2 و Load3

	Leakage load1	Leakage load2	Leakage load3	Objective Function Value Sum of Leakage under all3 loads (lit/s)
Trial1	۲۴/۹۳	۲۳/۱۶	۲۳/۱۲	۷۱/۲۱
Trial2	۲۴/۵۳	۲۳/۴۵	۲۲/۴۳	۷۰/۴۱
Trial3	۲۴/۳۸	۲۲/۹۱	۲۲/۹۶	۷۰/۲۶
Trial4	۲۳/۴۲	۲۳/۵۶	۲۳/۱۷	۷۰/۱۵
Trial5	۲۴/۵۸	۲۳/۰۱	۲۲/۶۵	۷۰/۲۴

شکل (۳) شمایی از حرکت بهترین عضو هر نسل به سمت پاسخ بهینه را در حلی که منجر به بهترین پاسخ شده است نشان می‌دهد.



شکل (۳): شمایی از حرکت بهترین جزء در هر تکرار به سمت پاسخ بهینه در Trial4

جدول (۴): نیز، مکان انتخاب شده برای شیرها و تنظیمات مربوط به بازشدگی شیرها بر حسب درصد ارائه شده است.

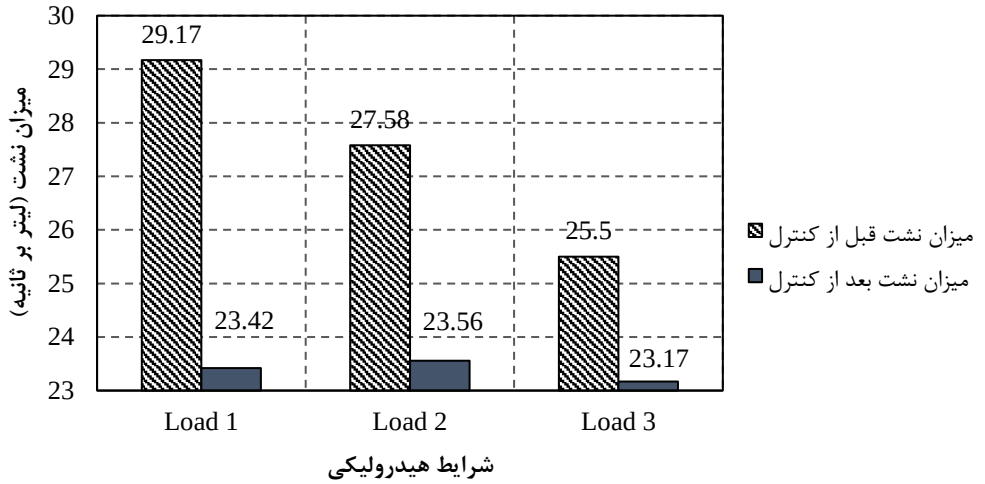
جدول (۴):جانمایی و تنظیمات بهینه شیرهای کنترل فشار

اجرای منتخب	Valves	۳۷	۱	۲۹	۱۲	۲۲
	ضریب قطر (عددی بین ۰ تا ۱) برای Load1	۰/۰۹۸۶	۰/۲۲۸۸	۰	۰	۰/۵۱۵۴
	ضریب قطر (عددی بین ۰ تا ۱) Load2	۰/۶۰۹۳	۰/۳۰۵	۰	۰/۰۱۸۴	۰/۲۳۷۳
	ضریب قطر (عددی بین ۰ تا ۱) Load3	۰/۹۶۴	۰/۳۱۱۵	۰	۰	۰
	تنظیمات یا بازشدگی شیر (٪) برای Load1	۰	۲	۰	۰	۱۷
	تنظیمات یا بازشدگی شیر (٪) برای Load2	۲۷	۴	۰	۰	۲
	تنظیمات یا بازشدگی شیر (٪) برای Load3	۹۱	۵	۰	۰	۰

جدول شماره ۵ و شکل شماره ۴ میزان نشت متوسط شبکه را قبل و بعد از کنترل در این پژوهش به‌وسیله‌ی مدیریت فشار با استفاده از الگوریتم ABC را نشان می-دهند
.

جدول (۵): میزان نشت متوسط در شبکه بصورت قبل از کنترل و بعد از کنترل

	میزان نشت متوسط (لیتر بر ثانیه)	
	قبل از کنترل	**پس از کنترل**
Load 1	۲۹/۲	**۲۳/۴۲**
Load 2	۲۷/۵۸	**۲۳/۵۶**
Load 3	۲۵/۵	**۲۳/۱۷**
مجموع نشت متوسط شبکه	۸۲/۲۸	**۷۰/۱۵**



شکل (۴): نمودار میزان نشت متوسط در شبکه بصورت قبل و بعد از کنترل

چنانچه ملاحظه می‌شود میزان نشت متوسط در سه دوره شرایط نیاز آبی ماکزیمم، متوسط و مینیمم تقریبا به میزان ۱۴/۷۵ درصد کاهش یافته است که نشان می‌دهد، روش ارائه شده در تنظیم سطح فشار برای حداقل کردن نشت در شبکه موفق بوده است. (Nicolini and Zovatto, 2009) از الگوریتم GA برای تعیین جانمایی بهینه شیرهای فشارشکن از فرمول‌بندی مشابه آنچه در این پژوهش استفاده شده است، استفاده کردند و پس از ۱۰ بار حل مقدار نشت مجموع در بهترین پاسخ به دست آمده برابر ۶۸/۸۵ لیتر در ثانیه به دست آمد. همچنین جعفری‌اصل و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از الگوریتم ICA و جعفری‌اصل و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری بهترین پاسخ را به ترتیب برابر ۷۲/۵۶ و ۷۴/۳۵ لیتر بر ثانیه به‌دست آوردند. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ABC پس از پنج بار حل بهترین پاسخ برابر ۷۰/۱۵ لیتر در ثانیه به‌دست آمد. نتایج مقایسه این پژوهش با پژوهش‌های پیشین در جدول ۶ آورده شده است.

جدول (۶): مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های پیشین – بهینه‌سازی جانمایی شیرهای فشار شکن

اجزاء (تعداد جمعیت)	تعداد دفعات تکرار تابع هدف	مقدار تابع هدف (lit/s)	لوله‌های انتخاب شده برای نصب PRVs	
۱۰۰	۱۰۰۰	۶۸/۸۵	۲۹,۲۱,۲۰,۱۱,۱	GA (Nicolini and Zovatto, 2009)
۱۰۰	۱۰۰۰	۷۰/۱۵	۲۶,۲۷,۲۰,۱۱,۱	ABC
۱۰۰	۱۰۰۰	۷۲/۵۶	۳۷,۲۴,۲۰,۱۱,۱	ICA
۱۰۰	۱۰۰۰	۷۴/۳۵	۲۰,۳۷,۲۶,۲۹,۱	CA

همانطور که از جدول ۶ مشخص است نتایج الگوریتم‌های نزدیک به هم بوده و اختلاف اندکی بین نتایج آن‌ها وجود دارد که دلیل نزدیک بودن پاسخ‌ها به یکدیگر به سبب هم خانواده بودن این الگوریتم‌ها و داشتن ساختاری تقریبا یکسان می‌باشد و ممکن است در تعداد اجراهای بیشتر نتایج تغییر کند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مسئله مدیریت بهینه فشار در شبکه‌های توزیع آب در جهت حداقل سازی نشت مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور برای در نظر گرفتن مسائل جانمایی و تنظیمات بهینه شیرها کنترل فشار رویکردی دومرحله‌ای ارائه شد که در آن بهینه‌سازی جانمایی شیرها در گام اول و تنظیمات شیرها در گام دوم مورد توجه قرار گرفت. در هر دو مرحله با در نظر گرفتن فرمول‌بندی متفاوت از مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر الگوریتم ABC به عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده شده است. در این مدل الگوریتم بهینه‌سازی ABC در محیط Matlab با شبیه‌ساز هیدرولیکی مدل Epanet تلفیق شد. مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر الگوریتم ABC پس از پنج بار حل با تعداد جمعیت ۱۰۰ و تعداد دفعات تکرار ۱۰۰۰ بهترین پاسخ برای میزان نشت متوسط از شبکه برابر ۷۰/۱۵ لیتر در ثانیه به‌دست آمد. همچنین میزان نشت متوسط شبکه در سه دوره شرایط نیاز آبی ماکزیمم، متوسط و مینیمم تقریبا به میزان ۱۴/۷۵ درصد کاهش یافت که نشان می‌دهد، روش ارائه شده در تنظیم سطح فشار برای حداقل کردن نشت در شبکه موفق بوده است. مسئله مورد بررسی در پژوهش‌های پیشین توسط الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم فرهنگی نیز مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است. مقایسه بهترین پاسخ‌ها نشان می‌دهد که GA نسبت به ABC و ICA عملکرد بهتری داشته است. با توجه به اثبات عملکرد خوب الگوریتم‌های فراکاشی در مدیریت فشار با هدف کمینه کردن نشت از سیستم‌های توزیع آب در مطالعه حاضر، پیشنهاد می‌شود از جدیدترین الگوریتم‌های توسعه داده شده نظیر WOA نیز به این منظور استفاده گردد.

منابع

تابش م. واسطی. م . ۱۳۸۵. کاهش میزان نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری با حداقل کردن فشار اضافی در شبکه، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال دوم، شماره ۲، صفحات ۵۳ -۶۶.

جعفری‌اصل ج. سامی کشکولی ب. بهرامی م. ۱۳۹۴. مدیریت بهینه فشار در جهت حداقل سازی نشت در سیستم‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری، فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۱۲، صفحات ۶۹-۸۲.

جعفری‌اصل ج. سامی کشکولی ب. بهرامی م. ۱۳۹۶. کنترل بهینه فشار با هدف حداقل‌سازی نشت در شبکه‌های توزیع آب، نشریه آب و توسعه پایدار، دوره ۴، شماره ۲، صفحات ۴۹-۵۶.

Berg, S., & Corton, M. (2007). Benchmarking Water Utilities: Central America. Gainesville, FL, USA: University of Florida, Public Utility Research Center. Birmingham, UK.

Desalegn, W. d. B. (2005). "Water supply coverage and water loss in distribution systems the case of Addis Ababa," MSc, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

Jowitt, P. W., and Xu, C. (1990). "Optimal valve control in water distribution networks." J. Water Resource. Plann. Manage., 116(4), 455–472.

Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Vol. 200). Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.

Karaboga,D. and Bahriye, A.(2009)."A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm ", Journal of Applied Mathematics and Computation, 214, 108132-

Marunga A, Hoko Z, Kaseke E (2006) Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool: The case of the City of Mutare, Zimbabwe. Phys Chem Earth 31:763–770.

Najafi, A. (2015)." Optimal Pressure Control for Leakage Minimization in Water Distribution Systems Management Using PSO Algorithm". M.Sc. Thesis. Islamic Azad University, Marvdasht Branch.

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.

OFWAT. (2006). "Security of supply, leakage and water efficiency." 2005-06 Report, Ofwat, Pampara, G. and Engelbrecht, A. P. (2011). Binary artificial bee colony optimization, in 2011 IEEE Symposium on Swarm Intelligence (SIS), pp. 1–8.

Rogers, D. (2005) "Reducing leakage in Jakarta, Indonesia." Leakage 2005, 12-14 September, Nova Scotia, Canada.

Roshani, E., & Filion, Y. (2014). WDS leakage management through pressure control and pipes rehabilitation using an optimization approach. Procedia Engineering, 89, 21-28.

Rossman, L. A. (2000). Epanet 2, user's manual, EPA/600/R-00/057, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

Sterling, M. J. H. and Bargiela, A. (1984) Leakage reduction by optimized control of valves in water networks. Trans Inst M C, 6(6), 293-298.

Tabesh, M. Homehr, S. (2006)" Leakage management in water distribution Systems by using genetic algorithms to optimization setting pressure reducing valves" 2th Conference on Water Resources Management, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iranian Water Resources Association.

Tavakoli, R. Golkar, R, H. Tavoosi, M. (2015)" PRESSURE MANAGEMENT TO REDUCE LEAKS IN WATER SUPPLY NETWORKS" Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 2015 Vol. 5 (S4), pp. 795-802.

Ulanicki, B., Abdel Meguid, 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.

Optimal Management of Pressure for Leakage Minimization in Water Distribution Systems by Pressure Reduction Valves (PRVs)

Jafar Jafari-Asl[1], Mehdi Malekmahmoudi[2], Bahram Sami Kashkooli[3], Hossein Montaseri[4], Mehdi Bahrami[5]

Abstract

One of the key factors affecting leakage in water distribution systems is network pressure management. The main objective of pressure management in water distribution system is to minimize water leakages along with maintaining the required pressure at every node. A common way to reduce pressure is to locate flow or pressure reducing valves (PRV) and optimal regulation of these vales in water networks. This study aimed at investigating optimal pressure management problems so as to minimize leakage in water distribution networks. To do so, a two-phase approach was proposed for both optimal positioning and setting of pressure reduction valves (PRVs), where location optimization was addressed at the first stage and optimal operation issue of valves was considered in the next step. In the present research, in order to resolve these problems, an optimization model—a simulation based on an emerging algorithms inspired by honeybees' behavior called as Artificial Bee Colony (ABC)—was utilized. In this model, ABC optimization in MATLAB environment was integrated with hydraulic simulation of EPANET model. In the next step, the obtained results were compared with those of the previous studies. The results revealed that in case all the limitations of the problem are observed, employing this method to determine the position of the pressure reduction valves and regulate them lowered the mean leakage rate of the network from 82.28 to 72.15 lit/sec by 14.75% in three phases of maximum, average and minimum aquatic need periods. This means that the proposed method was effective in regulating the pressure level to minimize leakage in networks. Comparing the results of the present method with those of the previous approaches revealed that GA algorithm reached better response in fewer times than ICA, CA and ABC methods.

Key words: Artificial Bee Colony Algorithm, water distribution systems, pressure Management, leakage, Epanet

1 PhD student of Civil Engineering in Water Resources Management, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: Jafar.Jafariasl@pgs.usb.ac.ir.

۲ M.Sc. Graduate, Faculty of Civil Engineering, University of Yasouj, Yasouj, Iran. mehdi_m_1992@yahoo.com.

۳ M.Sc. Graduate, Hydraulic Structures Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: bahramsk@yahoo.com.

۴ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasuj, Iran. Email: hmontaseri@yu.ac.ir (Corresponding Author).

۵ Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran. Email: mehdibahrami121@gmail.com.