

به کارگیری الگوریتم رقابت استعماری در بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آبرسانی شهری (مطالعه موردی: شهرک شهرداری کرمان)

احسان معین‌الدینی^۱، ام‌البنی محمدرضاپور*^۲، محمدجواد زینلی^۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۹

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

۳- کارشناس ارشد مهندسی آب، دانش آموخته سابق دانشگاه زابل

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohammadrezapour@uoz.ac.ir & nm,ohammadrezapour@yahoo.com

چکیده

بسیاری از مطالعات در بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی به کاهش دادن هزینه‌های این زیرساخت‌ها اختصاص یافته است. در روش‌های بهینه‌سازی عمومی کمینه‌سازی هزینه تنها هدف موجود می‌باشد، اما این عمل در سیستم‌های آبرسانی ممکن است باعث کاهش عملکرد و راندمان سیستم شود. بنابراین مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه برای کاهش حجم زیادی از هزینه این سیستم‌ها و افزایش راندمان کارکرد آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تحقیق حال حاضر به مطالعه موردی در یکی از شهرک‌های شهر کرمان به منظور کاهش هزینه‌های احداث شبکه لوله‌های آب جایگزین به کمک الگوریتم رقابت استعماری و سپس شبیه‌سازی شبکه با استفاده از نرم‌افزار واتر جمز پرداخته شد. ابتدا شبکه آبرسانی منطقه مورد مطالعه در محیط واتر جمز مدل شده و سپس بر اساس نتایج شبیه‌سازی مشخصات شبکه آبرسانی به الگوریتم بهینه‌سازی وارد گشته و با استفاده از محدودیت‌های استاندارد فشار و سرعت، گزینه‌های بهینه توسط این الگوریتم تعیین شد. با اجرای مجدد نتایج حاصل از مدل بهینه‌سازی در مدل واتر جمز و کنترل محدودیت‌ها، به برآورد هزینه و مقایسه آن‌ها با یکدیگر پرداخته شد. بررسی نتایج مدل بهینه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم رقابت استعماری به میزان قابل توجهی توانسته است تابع هزینه را نسبت به حالت قبل از بهینه‌سازی شبکه کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم رقابت استعماری، بهینه‌سازی، شبکه آبرسانی، Water GEMS

Application of Imperialist Competitive Algorithm in Optimizations of Pipe Diameters for Urban Water Network (Case study: Shahr-dari town, Kerman)

E Moinaldini¹, O Mohamad Reza Pour^{*2}, MJ Zeynali³

Received: 2018-01-11

Accepted: 2018-09-10

¹ M.Sc. student of Water Resource Eng., Faculty of Water and Soil, Univ. of Zabol, Iran

² Assist. Prof., Faculty of Water and Soil, Univ. of Zabol, Zabol, Iran

³ M.Sc. Graduate, Faculty of Water and Soil, Univ. of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author, Email: mohammadrezapour@uoz.ac.ir

Abstract

Numerous studies in optimization of water supply networks have been allocated to cost reduction of these infrastructures. In general optimization methods, minimizing the costs is the unique purpose, but applying this view point for the case of water supply systems may lead to reduction of the utility and efficiency of the system. Therefore, some multi-objective optimization models have been used to decrease the large amount of costs in these systems and to increase their operation efficiency. The present study has attempted to illustrate a case study for a town of Kerman in order to decrease the costs of rebuilding pipe network using the Imperialistic Competition Optimization Algorithm. So, the network simulation was performed with Water GEMS software. Firstly, the water supply network of the study area was simulated in the Water GEMS model. Next, the properties of water supply network were inserted. Then, using the standard pressure and speed constraints, the optimal options of the algorithm were obtained. By re-running the results of this optimized model in the Water GEMS model and the limits' checkup, the total costs were estimated and compared. Analysis of the optimal model results showed that in comparison with the state prior to the network optimization, the Imperialistic Competition Algorithm has significantly reduced the cost function of the network.

Key words: Imperialistic competition algorithm, Kerman, Optimization, Water GEMS model, Water supply network

مقدمه

ممکن است از هزینه خود پروژه بیشتر شوند، جایگزینی یک‌باره کل شبکه وجود ندارد. با این حال نمی‌توان بدون یک برنامه و طرح مدون به تعمیر و بازسازی شبکه امیدوار بود. مشکل اصلی در بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی پیدا کردن کمترین هزینه سیستم است، در حالی که سیستم قادر به تأمین فشار و نیاز آب در هر گره باشد. در ضمن مساله هزینه، رابطه غیرخطی بین دبی لوله، افت فشار و میزان دسترسی به اندازه‌های گسسته لوله، طراحی بهینه

تعیین‌کردن مشخصات یک شبکه بهینه آبرسانی برای تمامی یک شهر نیازمند آغاز حرکت از جزء به کل است. بدین معنی که طراحان ابتدا می‌بایست از گره‌های مصرف به محاسبات و طراحی بپردازند و به سمت منبع اصلی طراحی را ادامه دهند. با توجه اینکه سیستم‌های آبرسانی حال حاضر قبل از در نظر گرفتن شرایط در سال‌های آینده ساخته شده‌اند و هم‌اکنون نیز امکان تغییر قطعات اصلی شبکه بدون هزینه‌های جانبی که

سیستم آبرسانی شهری را به وضعیت چالش برانگیزی برای ابزار بهینه‌ساز تبدیل می‌کند. در روش‌های بهینه‌سازی عمومی تنها به کمینه‌سازی هزینه پرداخته می‌شود. اما این عمل در سیستم‌های آبرسانی ممکن است باعث کاهش عملکرد و راندمان سیستم شود. بنابراین مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه برای کاهش حجم زیادی از هزینه این سیستم‌ها و افزایش راندمان کارکرد آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. تاریخچه تحقیقات در زمینه بهینه‌سازی سیستم‌های آبرسانی در سه دهه اخیر بسیار چشمگیر بوده است. این پیشرفت‌ها پس از پیدایش الگوریتم‌های فراابتکاری که عمدتاً الهام گرفته از طبیعت هستند، وارد مرحله تازه‌ای گردید. در ابتدا محققان تلاش داشتند با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی بپردازند، اما مشکل اصلی در مورد روش‌های ریاضی مربوط به فضای گسسته مسأله و خطر به دام افتادن در جواب‌های بهینه محلی بود. بنابراین محققان به روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی روی آوردند. در این تحقیقات فضای گسسته مسأله به فضای پیوسته تبدیل می‌شود. به طوری که مدل بهینه‌سازی در یک بازه حقیقی مشخص (بین کمینه و بیشینه قطر تجاری) به تعیین قطر لوله پرداختند (کدو و همکاران ۲۰۰۸). روش‌های ریاضی غیرخطی نیز در دام اکسترمم‌های محلی گرفتار می‌شوند و مقادیر قطرهای بهینه شده نیز باید به نزدیکترین قطر تجاری گرد شوند که این موضوع خود سبب خارج شدن پاسخ نهایی از حالت بهینه است (کدو و همکاران ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های فراکاوشی به‌طور روزافزون در حل مسائل پیچیده مهندسی دیده می‌شود. در خصوص بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی نیز به صورت متعدد از این الگوریتم استفاده شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. رحمانی و بهزادیان (۲۰۱۴) با استفاده از الگوریتم تفاضل تکاملی چندهدفه متوالی، به بهینه‌سازی طراحی شبکه آبرسانی شامل اندازه لوله‌ها، تغییر در مخازن و نصب شیرهای خودکار پرداختند. با توجه به این که اغلب روش‌های عمده و شناخته شده محاسبات تکاملی، شبیه‌سازی کامپیوتری فرآیندهای طبیعی و زیستی هستند، از

الگوریتم رقابت استعماری که بر مبنای تکامل اجتماعی و سیاسی انسان پایه‌گذاری شده است کمتر در زمینه‌های بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی استفاده شده است. آنچه که واضح است این است که تکامل فکری و فرهنگی بشر بسیار سریع‌تر از تکامل جسمی و ژنتیکی او صورت می‌پذیرد. بنابراین تکامل فرهنگی و دیدگاهی بشر نیز نادیده گرفته نشده و دسته‌ای از الگوریتم‌ها، موسوم به الگوریتم‌های فرهنگی معرفی شده‌اند. الگوریتم‌های فرهنگی در حقیقت یک دسته کاملاً جدید از الگوریتم‌ها نیستند. بلکه این الگوریتم‌ها با افزودن قابلیت تکامل فرهنگی (با افزودن امکان تبادل اطلاعات میان اعضای جمعیت) به الگوریتم‌های موجود، سرعت همگرایی آن‌ها را مطابق انتظار افزایش می‌دهند، که الگوریتم رقابت استعماری از این دسته است. از مطالعات انجام شده در این زمینه موسویان و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری در بهینه‌سازی شبکه آبرسانی شهری نشان دادند که نتایج الگوریتم ژنتیک بهتر از الگوریتم کلونی مورچگان و جستجوی هارمونی به جواب بهینه می‌رسد، در تحقیق دیگری نورانی و همکاران (۱۳۹۰) توانستند با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی قطر لوله‌های پستاک سدهای بتنی بپردازند و هزینه احداث را کمینه سازند؛ همچنین مهدوی و همکاران (۱۳۹۱) نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک به کاهش ۱۲/۱٪ هزینه‌ها دست یافتند، مقدم و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک به کمینه‌سازی هزینه شبکه‌های آبرسانی پرداختند و توانستند به کاهش هزینه به ترتیب ۲۱ و ۱۶ درصدی شبکه آبرسانی دست یابند. صدرزاده خراسانی و همکاران (۱۳۹۳) از شبکه عصبی مصنوعی به‌همراه الگوریتم رقابت استعماری به عنوان ابزار بهینه‌سازی لوله‌های انتقال گرما برای خنک‌سازی پنل فتوولتائیک استفاده کردند.

بارلوو و تانیمبو (۲۰۱۴) نیز در بهینه‌سازی شبکه آبرسانی، برتری الگوریتم ژنتیک جهش یافته را در هر مورد نسبت به الگوریتم ژنتیک معمولی نشان دادند. در این تحقیق از الگوریتم رقابت استعماری متصل شده با نرم‌افزار واترجمز، جهت طراحی بهینه شبکه آبرسانی شهر کرمان استفاده شده است. پارامترهای این مدل شامل تعیین فشار در گره‌ها، سرعت در لوله‌ها و هزینه

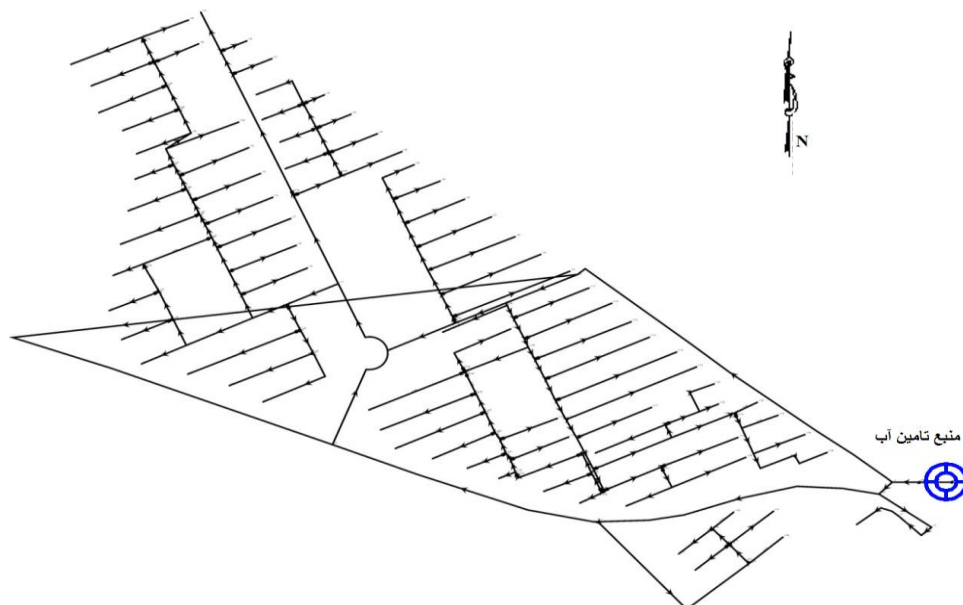
کل سیستم می‌باشد. لذا در این تحقیق از نرم‌افزار واتر جمز جهت مدل کردن هرچه بهتر شبکه همراه با تمامی جزئیات مورد نیاز استفاده گردید و سپس با استفاده از گزینه‌های تغییر سناریوی نرم افزار همگام با تعیین بهترین گزینه جایگزین با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به پیدا کردن و انتخاب کمترین هزینه سیستم ضمن کارآمدی آن پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

شهرک شهرداری واقع در قسمت شمال غربی شهر کرمان به فاصله حدوداً ۱۰ کیلومتری از تصفیه‌خانه مرکزی قرار گرفته و با وسعت تقریبی ۱۰۰ هکتار شامل حدود ۲۵۰۰ قطعه زمین تفکیکی و در حال حاضر دارای جمعیت تخمینی ۵ هزار و پانصد نفر می‌باشد. شبکه آبرسانی این شهرک با تعداد ۱۷۳ خط لوله که در حال حاضر جنس لوله‌های اصلی توزیع آب عموماً آزبست هستند. لوله‌های آزبست از سیمان، ماسه و الیافی معدنی به نام آزبست (پنبه نسوز) ساخته می‌شوند. این شبکه همچنین با حدود ۲۵۰۰ اشتراک مصرف، یکی از بزرگترین شهرک‌های تحت پوشش

ساخت مدل شبکه آبرسانی در نرم‌افزار واترجمز

نرم‌افزار واترجمز با قابلیت اتصال به نرم افزارهای Arc GIS، اتوکد و نرم‌افزارهای شرکت مایکروسافت یک پل ارتباطی کامل در زمینه طراحی شبکه‌های آبرسانی را به وجود آورده که ضمن قابلیت بالا در شبیه‌سازی سیستم شامل انواع لوله‌ها، مخازن، اتصالات و کلیه جزئیات فیزیکی و شیمیایی موجود، توانایی مدل کردن شبکه آبرسانی تا حد امکان نزدیک به واقعیت را به کاربر می‌دهد. نرم‌افزار واترجمز به مدل‌سازی سیستم‌های انتقال آب تحت فشار اختصاص دارد.



شکل ۱- مسیر مدل شده از شهرک در فضای واترجمز.

تابع هدف و قیود

الف) تابع هدف در این تحقیق کمینه کردن هزینه‌های سیستم آبرسانی می‌باشد که در رابطه (۱) نشان داده شده است:

$$C = \sum_{i \in D} \sum_{j=1}^{np} C_i L_{ij} \quad [1]$$

$$D = (d_i, i=1, \dots, nd)$$

C_i : هزینه واحد طول (با توجه به وزن واحد طول لوله یعنی مقدار ماده مصرفی در طول لوله تعیین می‌گردد) (هزار ریال)

L_{ij} : طول لوله (با توجه به خیابان‌کشی و محدودیت در مسیرهای حفاری و نوع سیستم خطی آبرسانی، برای هر لوله مشخص و مقداری ثابت است) (متر طول)

nd : قطر لوله در دسترس (قطرهای استاندارد لوله‌های پلی‌اتیلن از قطر ۴۰ الی ۴۰۰ میلی‌متر) (لیست لوله تولیدی کارخانه)

np : تعداد لوله‌های درون شبکه (تعداد ۱۷۰ خط لوله)

ب) قیود:

۱. قطرهای ممکن برای لوله‌ها (قید ناپیوسته اندازه لوله-ها)

$$d_{\min} \leq d_i \leq d_{\max} \quad i = 1, \dots, np \quad [2]$$

با استفاده از این قید مدل تنها به استفاده از قطرهای موجود لوله (۴۰، ۵۰، ۶۳، ۷۵ میلی‌متر الی آخر) در انجام مدل سازی و ادامه محاسبات ملزم می‌شود.

۲. فشار کمینه مورد نیاز و فشار بیشینه در نظر گرفته شده در ریسک شکست، کمینه فشار حدود ۱۵۰ کیلو پاسکال در نقاط مصرف می‌باشد، و بیشینه فشار در لوله‌ها با توجه به فشار قابل تحمل لوله مورد استفاده تعیین می‌شود (قید فشار)

$$P_{\min} \leq P_{rj} \leq P_{\max} \quad j = 1, \dots, n \quad [3]$$

n : تعداد گره‌های با فشار مورد نیاز مشابه (۲۵۰۰ گره مصرف که تعدادی از آنها با نیاز مصرف مساوی از تعداد کل کاسته شده‌اند تا از محاسبات تکراری پرهیز و زمان انجام محاسبات نیز کم شود)

۳. محدوده سرعت در لوله‌ها (لانسو و میس ۱۹۸۹). این محدوده در لوله‌های آبرسانی حدود کمینه ۰/۵ متر بر ثانیه جهت جلوگیری از رسوب گذاری و ایست

مراحل تجزیه و تحلیل مدل با استفاده از روش‌های بهینه‌ساز

جمع‌آوری اطلاعات سیستم که شامل تعیین اجزاء شبکه آبرسانی مانند تعداد لوله‌ها، اتصالات، پمپ، منبع و غیره و همچنین مشخص کردن مکان آنها می‌باشد.

- استخراج داده‌های طول، قطر لوله، سرعت جریان و فشار اولیه از واترجمز و وارد کردن به مدل الگوریتم‌های بهینه سازی و سپس استخراج گزینه‌های بهینه قطر لوله در اجراهای مکرر و کنترل و تنظیم آنها جهت ورود به واترجمز.
- اجرای مدل و به دست آوردن بهترین گزینه‌های خروجی.
- بررسی تفاوت‌های نتایج مختلف و تحلیل دلایل برتری این گزینه‌ها نسبت به شبکه‌های دیگر.
- تجزیه و تحلیل نتایج و خروجی‌های مدل از دیدگاه مهندسی و ارائه پیشنهادات.

پس از مدل‌کردن تمامی اجزاء شبکه، لیست لوله‌های سیستم که بخش اساسی هزینه و نقش اصلی در تعیین میزان افت فشار در شبکه را ایفا می‌کنند، به مدل الگوریتم بهینه‌ساز ایجاد شده در نرم‌افزار متلب^۱ وارد می‌شود. مدل طراحی شده با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، تمامی گزینه‌های ممکن بهینه را تعیین کرده و بهترین گزینه با مقایسه مهندسی انتخاب می‌شود (کنترل اجرایی بودن طرح و رعایت قطر لوله در مسیر لوله‌های فرعی به اصلی). بهترین گزینه بهینه ممکن خروجی مدل دوباره به مدل واترجمز وارد شده و صحت محاسبات پس از اجرای شبکه، تایید می‌شود. سپس با استفاده از توانایی این نرم‌افزار در برآورد ریالی پروژه، کمترین هزینه در بهترین شرایط هیدرولیکی شبکه آبرسانی با نگاه کارشناسی انتخاب خواهد شد.

^۱ MATLAB

جدید در زمینه محاسبات تکاملی معرفی می‌شود که بر مبنای تکامل اجتماعی و سیاسی انسان پایه‌گذاری شده است (آتش‌پز گرگری ۱۳۸۷).

همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک "کشور" نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید، به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل‌دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا از کاهش نفوذ آن جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب، و به سیطره در آوردن آن‌ها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگتر افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر، حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات، از لحاظ قدرت به امپراطوری‌ها نزدیک‌تر خواهند شد و یک نوع همگرایی ایجاد می‌گردد. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد در دنیا وجود داشته باشد، با مستمراتی که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست، خیلی نزدیک هستند (آتش‌پز گرگری ۱۳۸۷).

جریان و بیشینه ۲ متر بر ثانیه جهت جلوگیری از آسیب‌های فرسایش و تشدید امواج و ضربه قوچ می‌باشد (قید سرعت)

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad i = 1, \dots, np \quad [4]$$

(بر حسب متر بر ثانیه)

پ) معادله پیوستگی در n گره (این معادله و معادله بعدی به صورت خودکار در نرم‌افزار اجرا می‌شود)

$$\sum_{i \in \pi_{1k}} Q_i - \sum_{i \in \pi_{2k}} Q_j = Q_{extk} \quad [5]$$

k = 1, \dots, n

Q_i : دبی لوله n_1 که به گره k ام وارد می‌شود (بر حسب لیتر بر ثانیه)

Q_j : دبی لوله n_2 که از گره k ام خارج می‌شود (بر حسب لیتر بر ثانیه)

Q_{extk} : مقدار مصرف (مثبت) و یا تأمین آب (منفی) در شبکه (بر حسب لیتر بر ثانیه)

ت) معادله بقاء انرژی در m حلقه و یا دو گره با بارآبی معلوم که یعنی یک حلقه باز (حلقه از یک سیستم لوله که در آن تمامی گره‌های مصرف به دو خط لوله متصل می‌باشند تشکیل شده است، و منظور از سیستم حلقه باز اضافه شدن کمینه دو گره مصرف که تنها به یک خط لوله متصل هستند به حالت اول می‌باشد).

$$\sum_{i \in \pi_{3j}} K_{li} Q_i^\alpha = \Delta E_j \quad j = 1, \dots, m \quad [6]$$

K_{li} : مقاومت هیدرولیکی برای n_{3j} مجموعه لوله متعلق به حلقه j.

α : ضریب افت در معادله مورد استفاده (مقدار افت در طول لوله)

ΔE_j : مجموع افت در حلقه j که اگر حلقه بسته باشد برابر با صفر است و در حلقه باز معادل با اختلاف انرژی در دو نقطه ابتدایی و انتهایی.

معادله های قسمت پ و ت در نرم‌افزار مدل‌سازی به صورت خودکار محاسبه می‌شوند.

الگوریتم رقابت استعماری^۱

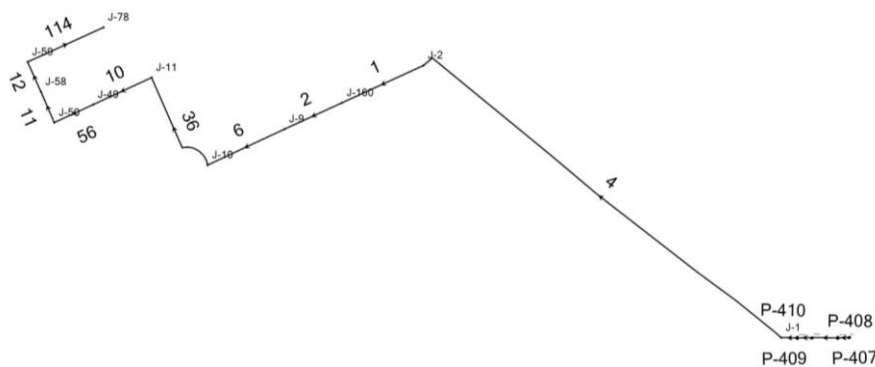
با توجه به این که اغلب روش‌های عمده و شناخته شده محاسبات تکاملی، شبیه‌سازی کامپیوتری فرآیندهای طبیعی و زیستی هستند، در این نوشتار یک الگوریتم

¹ Imperialist competitive algorithm

نتایج و بحث

نوع لوله های موجود در شبکه آبرسانی به علت قیمت تمام شده پائین در سال های گذشته بیشترین مورد مصرف را در شبکه های آبرسانی داشته است و هم اکنون نیز با توجه به تنوع لوله های ساخته شده در داخل کشور لوله آزرست بیشترین مورد مصرف را دارا است. لوله های آزرست در برابر فشار داخلی، خارجی و همچنین ضربه آسیب پذیر بوده و دارای خاصیت رسوب پذیری نسبتاً بالائی می باشند، ولی در برابر عوامل شیمیائی و خوردگی بسیار مقاومند. همچنین به علت وجود سیمان در این نوع از لوله، در مجاورت آب بر مقاومت و استحکام آن افزوده شده و به همان نسبت در برابر آفتاب و خشکی هوا از مقاومت و استحکام آن کم می شود. اما برتری های این نوع لوله اهمیت زیادی در سیستم آبرسانی ندارد، ولی ضریب شکست بالا و همچنین فرسایش پذیری آنها، این لوله ها را غیر قابل-

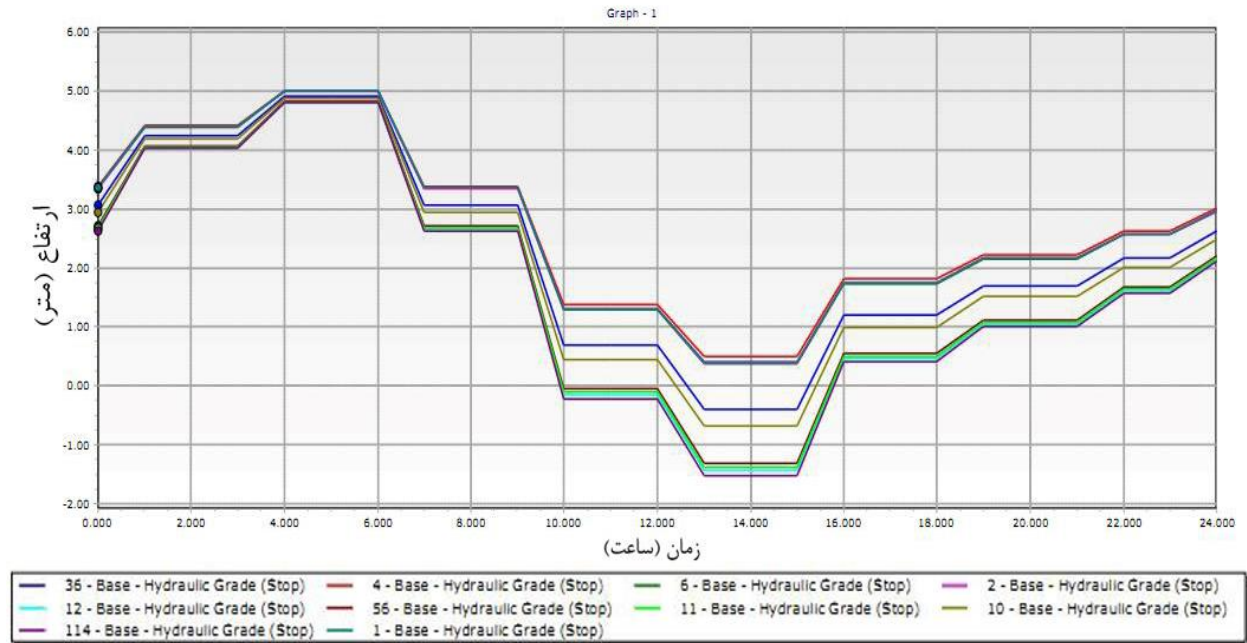
اعتماد می سازد. این نواقص، مدیران را در تصمیم گیری دچار مشکل ساخته است. هدف کلی از تهیه یک شبکه بهینه جایگزین، داشتن یک طرح کامل و جامع با آینده نگری است تا در زمان تغییرات یا تعویض لوله ها از سعی و خطا جلوگیری شود و طبق طرح های موجود به اصلاح سیستم پرداخته شود. در این تحقیق، بهینه سازی برای کل سیستم لوله های شبکه منطقه مورد مطالعه انجام شده است ولی با توجه به اینکه بررسی نتایج هیدرولیکی کل شبکه بسیار حجیم و زمان بر می باشد، در نتیجه اقدام به انتخاب مسیری شده است که شامل تمام اندازه لوله های مورد استفاده در شبکه می باشد و همچنین تعدادی نقاط بحرانی نیز در این مسیر وجود دارد. شکل ۲ مسیر انتخابی از شبکه آبرسانی جهت ترسیم شکل فشار، سرعت و اندازه لوله ها را نشان می دهد.



شکل ۲- مسیر انتخابی از شبکه آبرسانی جهت تعیین فشار و سرعت و اندازه لوله ها.

نمایان گر خوبی از شرایط هیدرولیکی شبکه می باشد. شکل ۳ شکل فشار هیدرولیکی در گره های واقع شده در این مسیر را قبل از بهینه سازی نشان می دهد.

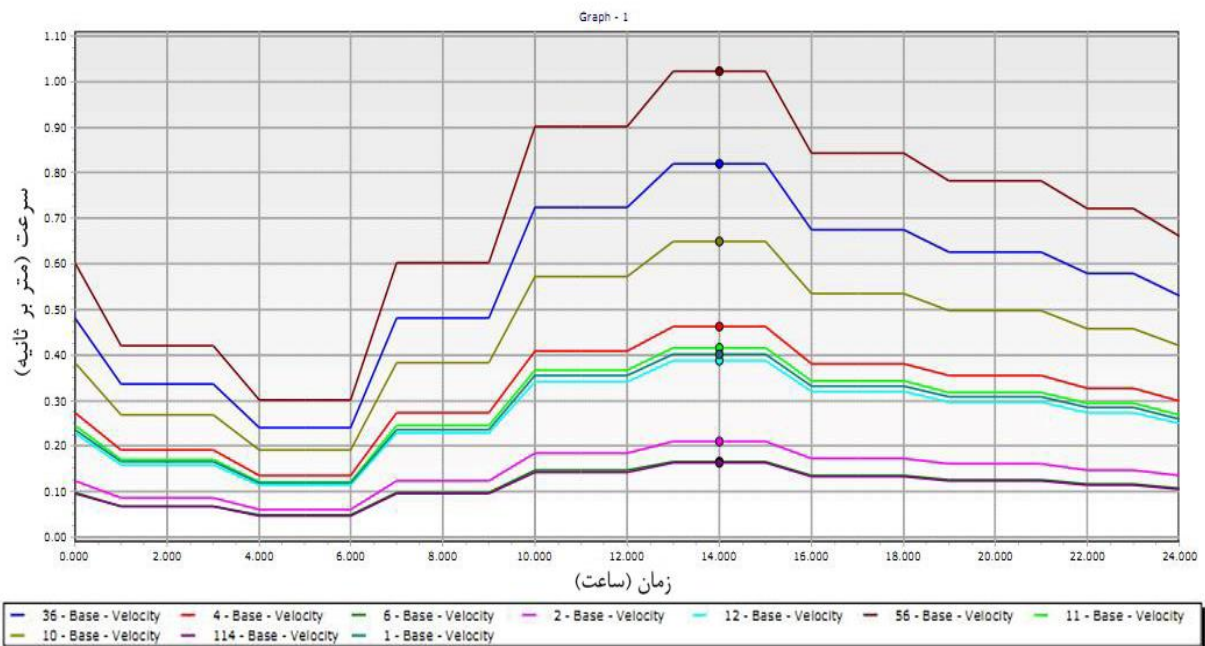
این مسیر به گونه ای انتخاب شده است که شامل لوله اصلی آبرسانی شهرک و لوله های نیمه اصلی تا رسیدن به یک گره مصرف باشد. این اندازه مختلف لوله ها



شکل ۳- فشار هیدرولیکی لوله‌های یک مسیر انتخابی در مدت ۲۴ ساعت قبل از بهینه‌سازی.

از عوامل افزایش ناگهانی مصرف در ساعات ابتدایی وصل‌شدن آب، خواهد شد. شکل ۴، سرعت در لوله‌های مسیر انتخابی را قبل از بهینه‌سازی نشان می‌دهد.

شکل ۳، نشان می‌دهد که در ساعات اوج مصرف (۱۴:۰۰) در برخی از نقاط مصرف فشار به‌صفر و گاهی فشار منفی ایجاد می‌شود و باعث قطعی آب می‌گردد که این امر طبق اعلام سازمان آب منطقه‌ای کرمان



شکل ۴- سرعت حرکت آب در لوله‌های یک مسیر انتخابی در مدت ۲۴ ساعت قبل از بهینه‌سازی.

و همچنین دارای کلاس تحمل فشار خارجی متفاوت و مشکلاتی از قبیل نصب، تعویض، تخریب زیست محیطی و غیره هستند که این عوامل باعث کنار گذاشته شدن این جنس لوله به صورت کلی از سیستم‌های آبرسانی شده است و هم‌اکنون استفاده از این نوع لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی مجاز نمی‌باشد.

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که سرعت در لوله‌ها از حد مجاز عبور نکرده است، اما با توجه به سقف قابل قبول سرعت (۲ متر بر ثانیه)، می‌توان با کاهش اندازه لوله و هزینه آن، تا حد مجاز سرعت را بالاتر برد. لازم به ذکر است لوله‌های آزیست در مقایسه با لوله‌های پلی اتیلن دارای افت انرژی جریان بیشتری بوده (به دلیل بیشتر بودن ضریب زبری و کمتر بودن ضریب هیزن ویلیامز)،

جدول ۱- مشخصات لوله‌های مسیر انتخابی در حالت موجود.

برچسب	طول لوله (m)	جنس لوله	ضریب هیزن - ویلیامز	قطر (mm)
p-4	۷۸۶	آزیست	۱۴۰	۳۰۰
p-1	۱۵۴	آزیست	۱۴۰	۳۰۰
p-2	۱۰۵	آزیست	۱۴۰	۳۰۰
p-6	۱۴۶	آزیست	۱۴۰	۳۰۰
p-36	۱۹۰	آزیست	۱۴۰	۲۵۰
p-10	۱۱۰	پلی اتیلن	۱۵۰	۱۶۰
p-56	۷۴	پلی اتیلن	۱۵۰	۱۶۰
p-11	۵۷	پلی اتیلن	۱۵۰	۱۲۵
p-12	۵۶	پلی اتیلن	۱۵۰	۱۲۵
p-114	۱۴۳	پلی اتیلن	۱۵۰	۶۳

نیز تغییر می‌یابد. لذا جهت اجرای صحیح الگوریتم لازم است مقدار مناسب این پارامترها تعیین گردد. با چند-مرتبه اجرای الگوریتم و مقایسه نتایج، مقدار بهینه این پارامترها مطابق جدول ۲ به دست آمد.

نتایج الگوریتم رقابت استعماری

در الگوریتم رقابت استعماری تعداد پارامترهای طراحی بسیار زیاد می‌باشد که به عنوان مثال می‌توان به تعداد کشورها، تعداد دهه‌ها، نرخ وقوع انقلاب و ضریب جذب اشاره نمود. الگوریتم نسبت به تغییرات این پارامترها حساس بوده و با تغییر آن‌ها روند بهینه‌سازی

جدول ۲- مقدار مناسب پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری.

UT	ζ	AAc	AC	RC	ND	NI	NC
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۵	۲	۰/۳	۲۰۰	۲۰	۱۰۰

استعمارگر به کار برده می‌شود و UT درصدی از محدوده فضای جست‌وجو که دو استعمارگر می‌توانند در آن هم‌زمان حضور داشته باشند و اگر فاصله آن دو از هم کم‌تر از این مقدار شود استعمارگر ضعیف‌تر، مستعمره استعمارگر قوی‌تر خواهد شد. نتایج حاصل از

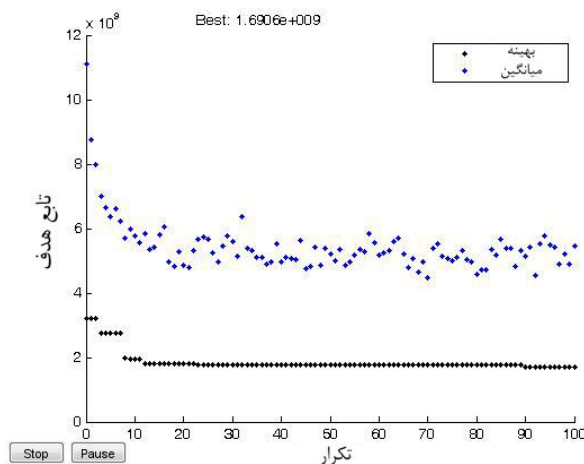
C تعداد کشورها، NI تعداد کشورهای استعمارگر، ND تعداد دهه‌ها (تکرارها)، RC نرخ وقوع انقلاب، AC ضریب جذب، AAC ضریب زاویه جذب، ضریب زتا^۱ که برای تعیین درصدی از قدرت مستعمرات یک

¹ Zeta

ده مرتبه اجرای الگوریتم رقابت استعماری در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم.

تکرار	مقدار تابع هدف ($\times 10^8$) (B Rials)
۱	۱/۷۳
۲	۱/۷۴
۳	۱/۷۶
۴	۱/۷۲
۵	۱/۶۹



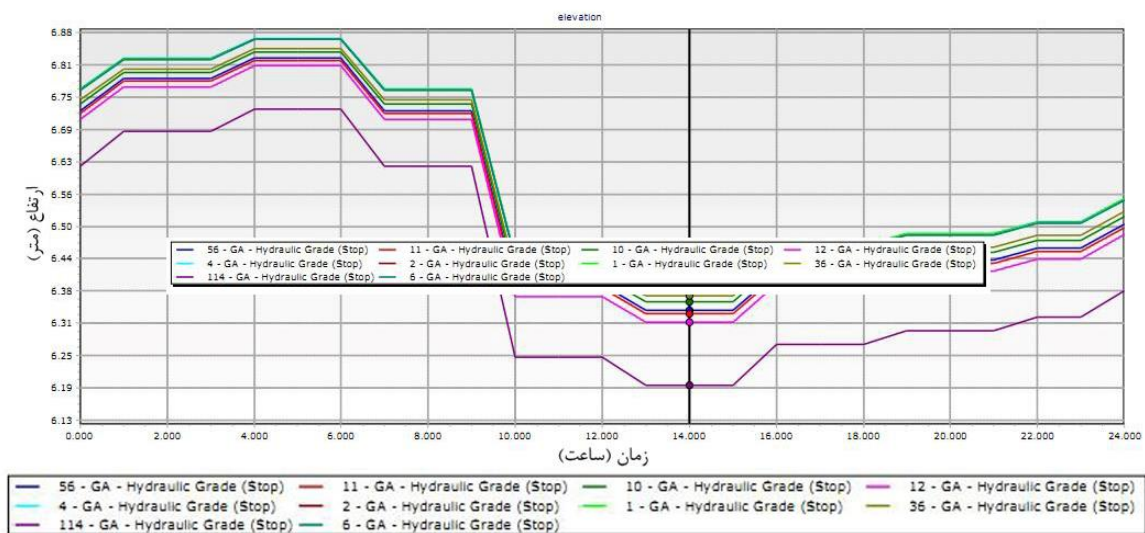
شکل ۵- شکل خروجی هزینه کل شبکه در الگوریتم رقابت استعماری.

انتخاب شده است. جدول ۴ مشخصات لوله‌های خروجی از الگوریتم رقابت استعماری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، نتیجه الگوریتم رقابت استعماری منجر به کاهش اندازه لوله در مسیر اصلی و نیمه‌اصلی از اندازه ۳۰۰ به ۲۰۰ میلی‌متر، شده است ($p-4$ تا $p-6$) و ادامه مسیر نیز با کاهش قطر مواجه شده‌اند. تنها لوله‌های آبرسان به مشترکین بدون تغییر اندازه باقی مانده‌اند. نتایج خروجی فشار هیدرولیکی و مقدار سرعت جریان آب در لوله از مدل و اترجمز در شکل‌های ۶ و ۷ دیده می‌شود.

همان‌طور که از جدول مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار خروجی الگوریتم رقابت استعماری با مقدار تابع هدف ۱/۷۶ به میزان ۳۴/۸٪ کاهش هزینه و کمترین مقدار تابع هدف ۱/۶۹ به میزان ۳۷٪ در کاهش هزینه نسبت به- حالت قبل از بهینه‌سازی را به دست آورده است. نحوه عملکرد الگوریتم رقابت استعماری در شکل ۵ نشان داده شده است که میانگین و کمینه مقدار تابع هدف در آن مشاهده می‌شود. اجرای این الگوریتم در ۱۰۰ تکرار انجام شده و در- نهایت بهترین جواب (راه حل) بدون تخطی از قیود برای این الگوریتم به‌عنوان جواب نهایی (خروجی الگوریتم)

جدول ۴- خروجی مدل از نتیجه بهینه الگوریتم رقابت استعماری.

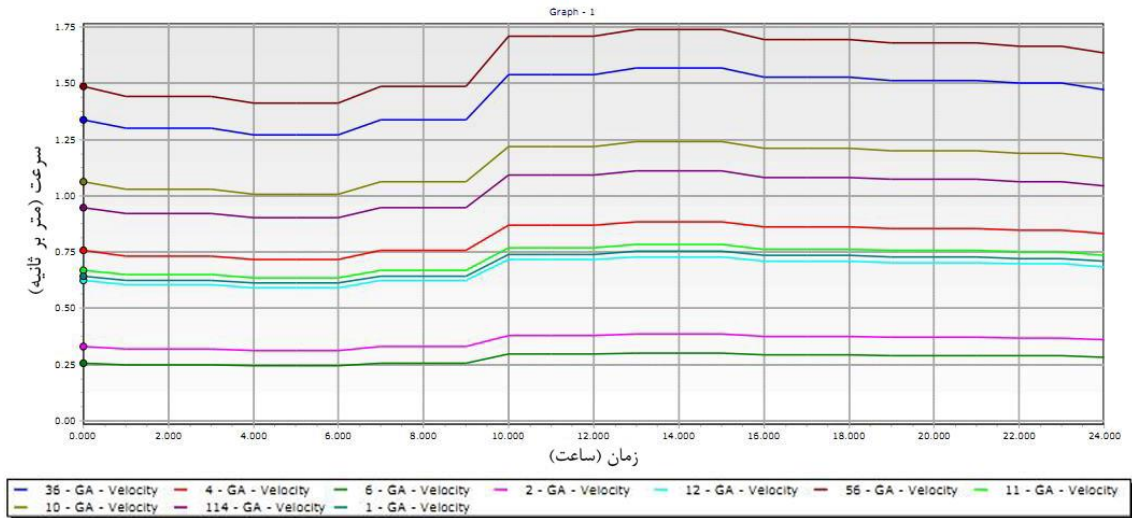
برچسب	طول لوله (m)	جنس لوله	ضریب هیزن - ویلیامز	قطر (mm)
p-4	۷۸۶	پلی اتیلن	۱۵۰	۲۰۰
p-1	۱۵۴	پلی اتیلن	۱۵۰	۲۰۰
p-2	۱۰۵	پلی اتیلن	۱۵۰	۲۰۰
p-6	۱۴۶	پلی اتیلن	۱۵۰	۲۰۰
p-36	۱۹۰	پلی اتیلن	۱۵۰	۱۶۰
p-10	۱۱۰	پلی اتیلن	۱۵۰	۱۱۰
p-56	۷۴	پلی اتیلن	۱۵۰	۱۱۰
p-11	۵۷	پلی اتیلن	۱۵۰	۹۰
p-12	۵۶	پلی اتیلن	۱۵۰	۹۰
p-114	۱۴۳	پلی اتیلن	۱۵۰	۶۳



شکل ۶- فشار هیدرولیکی لوله های مسیر انتخابی در مدت ۲۴ ساعت با استفاده از نتایج الگوریتم رقابت استعماری.

به میزان $0/85$ متر بر ثانیه نسبت به حالت قبل از بهینه سازی افزایش داشته است که همچنان در محدوده مجاز (کمتر از ۲ متر بر ثانیه) قرار دارد. لازم به ذکر است که مقدار سرعت و فشار شبیه سازی شده در نرم افزار شبیه ساز واتر جزم، با مقدار محاسباتی در الگوریتم ها ممکن است مقدار ناچیزی تفاوت داشته باشد که این امر به دلیل تغییر جزئی شدت جریان در برخی لوله هایی که در مسیرهای حلقوی وجود دارند، است.

در شکل ۶ فشار مسیر انتخابی مدل شبیه سازی شده بر اساس نتایج الگوریتم رقابت استعماری (شکل ۶)، افزایش فشار در ساعت اوج مصرف $14:00$ در گره های ابتدایی (گره های انتهایی لوله های p-4 تا p-56) مسیر به حدود $6/7$ متر مشاهده می شود که این مقدار در همین ساعت در حالت قبل از بهینه سازی منفی، ۱ متر بوده است. همان طور که در شکل ۷ دیده می شود بیشترین سرعت در لوله های مسیر انتخابی نیز در لوله شماره p-114 متصل به گره های مصرف به میزان $1/85$ متر بر ثانیه است که



شکل ۷- سرعت در لوله‌های مسیر انتخابی در مدت ۲۴ ساعت با استفاده از نتایج الگوریتم رقابت استعماری.

جدول ۵- مقدار تابع هدف در بهترین خروجی الگوریتم استفاده شده

تابع هدف $\times 10^{10}$ (B Rial)

الگوریتم رقابت استعماری	قبل از بهینه‌سازی
۱/۶۹	۲/۷

نتیجه‌گیری کلی

هدف از انجام این تحقیق به دست آوردن اندازه قطر لوله‌های پلی اتیلن برای کارکرد ایده‌آل شبکه در ۱۰ سال آینده در شهرک شهرداری کرمان با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم رقابت استعماری و مدل شبیه‌ساز واترجمز بوده است. بدین‌منظور ابتدا شبکه موجود را در محیط واترجمز شبیه‌سازی کرده و مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها از قبیل شدت جریان، سرعت جریان در لوله‌ها و افت فشار در گره‌ها مشخص و نقاط بحرانی شرایط هیدرولیکی بررسی گردید و همچنین هزینه‌های کل شبکه برآورد گردید. سپس به بهینه‌سازی قطر لوله‌ها با رعایت همه قیودها با استفاده از الگوریتم معرفی شده پرداخته شد. پس از پیدا کردن قطر بهینه کل لوله‌های شبکه، با استفاده از نتایج مدل بهینه‌ساز به اجرای مجدد شبکه در محیط واترجمز پرداخته شد. نتایج حاصل از اجرای این مدل در واتر جمز نشان داد که مشکلات اصلی شبکه مورد مطالعه که

همان‌طورکه از جدول ۵ مشاهده می‌شود مدل الگوریتم رقابت استعماری توانسته است به‌میزان ۳۷/۱٪ هزینه کمتری را برای شبکه محاسبه کند. کمینه فشار شبکه پس از بهینه‌سازی با این الگوریتم در ساعت اوج مصرف ۱۴:۰۰ به مقدار ۴/۲۵ متر در لوله شماره p-114 ثبت شده که سرعت جریان نیز در همین لوله و همین زمان در الگوریتم رقابت استعماری مقدار ۱/۸۵ متر بر ثانیه می‌باشد. لازم به ذکر است که این نمونه مثال توضیح داده شده، یک مسیر انتخابی لوله از کل شبکه آبرسانی بوده است تا نشان‌دهنده کیفی نحوه تغییرات سرعت و فشار شبکه پس از بهینه‌سازی با الگوریتم ذکر شده باشد.

مقایسه هزینه‌های احداث شبکه در حالت قبل از بهینه‌سازی و بعد از بهینه‌شدن با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری پس از مدل‌سازی در جدول ۵ آورده شده است.

کاهش دهد. این نتایج کارایی مناسب الگوریتم‌های تکاملی در کاهش هزینه سیستم آبرسانی نسبت به وضعیت طراحی سنتی، در ضمن رعایت ضوابط و معیارهای طراحی را نشان می‌دهند.

شامل افت فشار و قطع جریان در ساعات اوج مصرف و هزینه بالای اجرای شبکه بوده است، با استفاده از مدل بهینه‌سازی بسیار کاهش پیدا کرده است. بررسی نتایج مدل بهینه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم رقابت استعماری به میزان ۳۷/۱٪ توانسته است تابع هزینه را

منابع مورد استفاده

- Atashpaz Gorgri E, 2008. Developing a socially inspired optimization algorithm and investigation of its performance. Master Thesis. University of Tehran.
- Barlow E and Tanyimboh TT, 2014. Multiobjective memetic algorithm applied to the optimisation of water distribution systems. *Water Resource Management*, 28: 2229–2242.
- Kadu MS, Gupta R and Bhave P R, 2008. Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space, *Journal of water resource. Plan. Manage.* 134(2): 147-160.
- Moghadam E, Alizadeh A and farid Hoseini ER. 2013. Comparison and evaluation of genetic algorithms and optimization of particle swarm in optimal design of urban water distribution networks. Master Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- Mahdavi FE, Tiari E, Galal Kamali N and Galal Kamali A, 2012. Optimization of the water distribution network using the Bird community algorithm. A Case Study of Hormozgan Province Graduate Water Supply Network. National Conference of Water and Wastewater Engineering Sciences. Shahid Bahonar University of Kerman .
- Mosavian S E, Sharifi MB and Ragabi Mashhadi H. 2009. Application of Meta-Huristic algorithms for optimization of urban water distribution networks. Eighth International Civil Engineering Congress. Shiraz.
- Norani V, Keinejad M E and Kardan N. 2011. Use of genetic algorithms to optimize the penstock of concrete dams. *Journal of Civil and Environmental Engineering University of Tabriz*, 40(3): 85-95.
- Rahmani F and Behzadian K, 2014. Sequential multi-objective evolutionary algorithm for a real-world water distribution system design. 16th conference on water distribution system analysis, July, Bari, Italy.
- Sadrzadeh Khorasani MG, Nasrallah Z Adeh B and Noei SM. 2014. Modeling and Optimization of Working Conditions of Heat Pipes by Artificial Intelligence for Cooling the Photovoltaic Panel. The sixth conference of renewable, clean and effective energy. Tehran. 707-717.