

به‌کارگیری الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب (مطالعه موردی: شبکه آبیاری تحت فشار اسماعیل آباد)

رامین منصوری^۱، حسن ترابی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۲۲

^۱ - دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه لرستان

^۲ - استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: torabi1976@gmail.com

چکیده

در این تحقیق از الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) برای حل بهینه‌سازی شبکه توزیع آب اسماعیل‌آباد استفاده گردید؛ این شبکه یک شبکه تحت‌فشار بوده و شامل ۱۸ لوله و ۱۹ گره هست. بهینه‌سازی این شبکه با توسعه یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم DE در محیط نرم‌افزار Matlab و اتصال پویای آن با نرم‌افزار EPANET جهت انجام محاسبات هیدرولیکی شبکه انجام شده است. مدل توسعه‌یافته مذکور برای ضرایب مقیاس و ثابت ترکیب، جمعیت اولیه و تعداد نسل‌های متفاوت به‌عنوان متغیرهای تصمیم، اجرا گردیده و مشخص شد که الگوریتم موردنظر با ضرایب مقیاس و ثابت ترکیب (F و Cr) برابر ۰/۶ و ۰/۵ و جمعیت اولیه ۱۰۰ عضوی و نسل ۲۰۰ تایی بهترین حالت از نظر زمان و کارایی (برآورد هزینه کم‌تر) هست. همچنین حل بهینه به‌دست‌آمده برای شبکه مذکور توسط مدل توسعه داده شده با روش کلاسیک تجربی مقایسه و نتایج نشان داد که شبکه طراحی‌شده توسط مدل بهینه‌ساز تلفیقی مبتنی بر الگوریتم DE نسبت به روش کلاسیک تجربی دارای هزینه اجرای ۱۰/۶۶ درصد کمتر هست.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم تکامل تفاضلی، بهینه‌سازی، شبکه توزیع آب، ضریب احتمال ترکیب، ضریب مقیاس

Application of Differential Evolution (DE) Algorithm for Optimizing Water Distribution Networks (Case Study: Ismail Abad Pressurized Irrigation Network)

R Mansouri ¹, H Torabi ^{*2}

Received: 28 August 2014

Accepted: 12 May 2015

¹- Ph. D. Student; Water Eng. Dep., Lorestan University, KhoramAbad, Iran

²- Assist. Prof., Water Eng. Dep., Lorestan University, KhoramAbad, Iran

*- Corresponding Author Email: torabi1976@gmail.com

Abstract

In this research, the differential evolution algorithm (DE) is used to optimize Ismail Abad water distribution network. This network is a pressurized network and includes 18 pipes and 19 nodes. Optimization of the network has been conducted by developing an optimization model based on the DE algorithm in MATLAB by establishing a dynamic connection with EPANET software for hydraulic calculation of the network. The developed model was run for decision variables including the scale factor (F), the crossover constant (Cr), initial population (N) and the number of generations (G) and their values for the best adeptness of DE algorithm were identified as 0.6, 0.5, 100 and 200, respectively. The optimal solution was compared with the classical empirical method and results showed that implementation cost of the designed network by the DE algorithm was 10.66% lower than that by the classical empirical method.

Keywords: Crossover constant, Differential evolution algorithm, Optimization, Scale factor, Water distribution network

مقدمه

ندارد (یا حل تحلیلی بسیار مشکلی دارند) و یا پیچیدگی متغیرها و پارامترهای بسیار مسئله، انبوهی از راه‌حل‌ها و نه لزوماً جواب مسئله را پیشروی مهندس می‌گذارد که امکان محک و ارزیابی تمام راه‌حل‌ها به دلیل تعداد بسیار زیاد وجود ندارد. الگوریتم‌های تکامل‌پذیر روش‌های مبتنی بر جستجوی تصادفی‌اند که از مدل‌سازی تکامل بیولوژیکی طبیعی الگوبرداری شده‌اند. آن‌ها بر روی پاسخ‌های ممکن کار می‌کنند که از ویژگی برتری برخوردار و نیز بقای نسل بیش‌تری دارند، لذا تخمین نزدیک‌تری از پاسخ بهینه به‌دست می‌دهند.

یکی از این مسائل مربوط می‌شود به بهینه کردن شبکه‌های آبرسانی که به‌صورت عادی نمی‌توان به

یکی از پارامترهای مهم در بخش کشاورزی شبکه توزیع آب هست. با توجه به اینکه شبکه‌های آبرسانی به دلیل وسعت بالایی که دارند هزینه‌های هنگفتی را به‌خود اختصاص می‌دهند و از آنجاکه طراحی حساب‌شده و بهینه می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های چنین طرح‌های عظیمی را به دنبال داشته باشد، طراحان همواره به دنبال یافتن روشی هستند که ضمن تأمین ضوابط و معیارهای فنی طرح، کم‌ترین هزینه را در برداشته باشد.

در مسائل مهندسی و بهینه‌سازی، مواردی وجود دارند که راه‌حل‌های عادی و متعارف برای آن‌ها چاره‌ساز نیستند. زیرا که یا تحلیلی برای آن‌ها وجود

سازی کارآمد در محیط‌های پیوسته است و در طیف وسیعی از مسائل مهندسی بکار می‌رود. استورن و پرایس (۱۹۹۷) در کار بعدی خود با استفاده از توابع محک بسیار متنوعی عملکرد الگوریتم خود را با تعدادی از مشهورترین روش‌های بهینه‌سازی مقایسه کردند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان‌دهنده برتری الگوریتم DE بود. از آن زمان تاکنون، این الگوریتم موضوع بسیاری از مقالات علمی در ادبیات الگوریتم‌های تکاملی بوده است. این الگوریتم در مسائل مهندسی آب به‌ویژه در مسائل بهینه‌سازی شبکه‌های لوله، واسنجی مدل‌های بارش- رواناب، آب‌های زیرزمینی، سیستم‌های با چند مخزن و سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار مورد استفاده قرار گرفته است (بابو و آنگیرا ۲۰۰۳، ردی و کومار ۲۰۰۷، واسان و راجو ۲۰۰۷، سوری‌بابو ۲۰۱۰ و منصور و همکاران ۲۰۱۴).

یکی از روش‌های بهینه‌سازی در شبکه‌های درختی که منجر به دستیابی بهینه مطلق می‌شود روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط هست. در این راستا شاهی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) از یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای به‌دست آوردن قطر بهینه (قطری که کم‌ترین هزینه اجرا را دارد) استفاده کردند. این روش با حداقل زمان و حافظه بهینه‌ترین جواب را ارائه می‌دهد. در تحقیق یادشده برای محاسبه اتلاف بار شبکه بر اساس پیوستگی گره‌ها و معادله هیزن‌ویلیام تجزیه و تحلیل هیدرولیکی انجام یافته است. در مقاله حاضر شبکه توزیع آب اسماعیل‌آباد توسط الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) از نظر هزینه اجرا، بهینه‌سازی گردیده و نتایج حاصل از آن با نتایج تجربی اجراشده این شبکه توزیع آب مورد مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

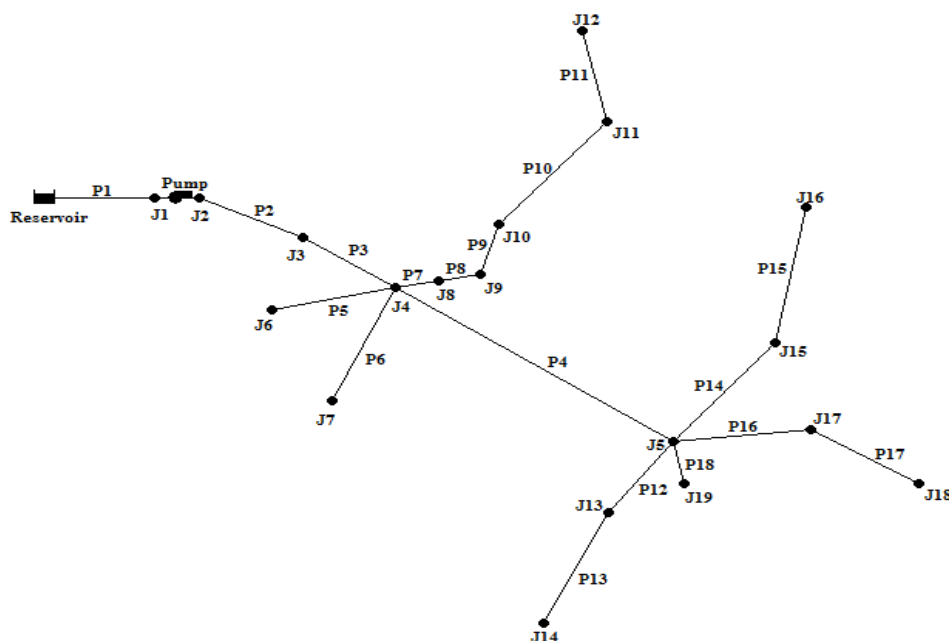
شبکه مورد مطالعه

در این پژوهش شبکه توزیع آب که شاهی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط به‌صورت بهینه مطلق طراحی کردند مورد ارزیابی قرار گرفته است. این شبکه دارای وسعتی

بهینه‌ترین حالت شبکه آبرسانی رسید. از این رو تحقیقات زیادی بر روی بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی در منابع مختلف دیده می‌شود. در مدل بهینه شبکه آبرسانی برای قطرهای پیوسته محققینی مانند پیت‌چائی (۱۹۶۶)، جاکوبی (۱۹۶۸) و وارما و همکاران (۱۹۹۷) تحقیق کرده‌اند و برای قطرهای گسسته می‌توان به تحقیقات آلپرو ویت و شمیر (۱۹۷۷)، کوآندری و همکاران (۱۹۷۹)، گولتر و همکاران (۱۹۸۶)، فوجی‌وارا و همکاران (۱۹۸۷)، کسلر و شمیر (۱۹۸۹) و بی‌هاوی و سوناک (۱۹۹۲) اشاره کرد. در ادامه با ارائه مدل الگوریتم ژنتیک برای مسائل بهینه‌سازی، دندی و همکاران (۱۹۹۶)، ساویک و والتر (۱۹۹۷) و ایراوامورسی و علی (۲۰۰۰، ۲۰۰۵) از الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی شبکه‌ها استفاده کردند. همچنین مانتسینوس و همکاران (۱۹۹۹)، نیلاکانتن و سوربابو (۲۰۰۵) و کادوو و همکاران (۲۰۰۸) اقدام به اصلاح در الگوریتم ژنتیک و بکار بردن الگوریتم ژنتیک اصلاح‌شده برای بهینه‌سازی مسائل مربوط به آب کردند. با پیشرفت علم بهینه‌سازی، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی معرفی گردید و چون ها و سوسا (۱۹۹۹) این الگوریتم را برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب به‌کار بردند. به‌همین صورت با معرفی الگوریتم‌های جدید این الگوریتم‌ها برای مسائل مربوط به آب استفاده شدند. از جمله می‌توان به بهینه‌سازی شبکه آبرسانی توسط ایوسف و لانس (۲۰۰۳) با استفاده از الگوریتم پرش قورباغه (SFL) و کید-ول و خو (۲۰۰۶) با استفاده از الگوریتم اوتاماتی سلولی و سوری‌بابو و نیلاکانتان (۲۰۰۶a, b) با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (PSO) اشاره کرد. استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان (ACO) برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب توسط مایر و همکاران (۲۰۰۳) و زکچین و همکاران (۲۰۰۷) صورت گرفت. در این مقاله شبکه آبرسانی با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) به‌صورت بهینه طراحی می‌شود. این الگوریتم که اولین بار توسط استورن و پرایس (۱۹۹۵) معرفی شد، کلاسی از الگوریتم‌های تکاملی هست که ساختار آن از نظر مفهوم و پیاده‌سازی، بسیار ساده است. این الگوریتم یک روش بهینه-

لرستان واقع شده است. نمای شماتیک شبکه توزیع آب آبیاری این روستا در شکل ۱ نشان داده شده است.

برابر ۱۰۰۰ هکتار هست که در روستای اسماعیل آباد در ۷ کیلومتری شمال غرب شهر نورآباد در استان



شکل ۱- نقشه شماتیک شبکه توزیع آب آبیاری اسماعیل آباد.

گره‌ای و سرعت طراحی در لوله‌ها هست. بر اساس این معادلات، محدودیت‌های حاکم بر شبکه شامل موارد زیر می‌باشند:

- محدودیت فشار در گره‌ها

- محدودیت سرعت در لوله‌ها

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد فشار و سرعت موجود در شبکه‌های توزیع آب همواره باید در یک محدوده معینی قرار داشته باشد. این محدوده معین دارای یک کرانه پایین (حداقل فشار یا سرعت مجاز) و یک کرانه بالا (حداکثر فشار یا سرعت مجاز) است که بسته به نیاز و موقعیت شبکه ممکن است تغییر نماید. در این تحقیق حداقل فشار مجاز برای هر گره ۵۰ متر و همچنین حداقل و حداکثر سرعت جریان مجاز در لوله‌ها به ترتیب ۰/۷ و ۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

این شبکه شامل ۱۸ لوله و ۱۹ گره هست. در این پروژه از دو نوع جنس لوله پلی‌اتیلن^۱ (لوله‌های تا قطر ۵۰۰ میلی‌متر) و جی‌آر پی^۲ (قطرهای بالاتر) استفاده شده است. در ادامه اطلاعات مربوط به شبکه ارائه گردیده است. در جدول ۱ اطلاعات هیدرولیکی و آرایش لوله‌ها برای شبکه مورد مطالعه ارائه شده است. در جدول ۲ نیز اطلاعات مربوط به لوله‌های تجاری موجود در بازار به همراه هزینه‌های واحد طول آن‌ها که در این بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است، ارائه شده است.

محدودیت‌های شبکه توزیع آب

معادلات هیدرولیکی حاکم بر شبکه‌های تحت-فشار، شامل دو معادله اساسی پیوستگی و بقای انرژی و دو معادله مشتق شده از این‌ها یعنی محدودیت فشار

^۱ Polyethylene (PE)

^۲ GRP

جدول ۱- داده‌های مربوط به خطوط اصلی و فرعی شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد.

| لوله | شماره لوله | ارتفاع انتهایی لوله (m) | ارتفاع ابتدایی لوله (m) | دبی ($L S^{-1}$) | طول لوله (m) |
|---------|------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|--------------|
| Res.-J1 | P1 | - | - | - | - |
| J2-J3 | P2 | ۱۸۱۶/۵۴ | ۱۷۹۱ | ۸۵۶/۵۶ | ۵۵۸ |
| J3-J4 | P3 | ۱۸۴۲/۰۸ | ۱۸۱۶/۵۴ | ۸۵۶/۵۶ | ۵۵۸ |
| J4-J5 | P4 | ۱۸۴۷/۵۷ | ۱۸۴۲/۰۸ | ۴۲۹/۸ | ۱۴۳۰ |
| J4-J6 | P5 | ۱۸۳۸/۷۱ | ۱۸۴۲/۰۸ | ۵۲/۹ | ۹۵۵ |
| J4-J7 | P6 | ۱۸۵۶/۵۲ | ۱۸۴۲/۰۸ | ۱۲۸/۹۴ | ۱۱۰۰ |
| J4-J8 | P7 | ۱۸۴۷/۰۵ | ۱۸۴۲/۰۸ | ۲۴۴/۹۲ | ۲۰۰ |
| J8-J9 | P8 | ۱۸۴۶/۳۲ | ۱۸۴۷/۰۵ | ۱۹۰/۳۴ | ۲۰۱ |
| J9-J10 | P9 | ۱۸۴۱/۱۸ | ۱۸۴۶/۳۲ | ۱۲۸/۹۴ | ۳۹۰ |
| J10-J11 | P10 | ۱۸۱۱/۳۲ | ۱۸۴۱/۱۸ | ۵۸/۳۳ | ۸۰۶ |
| J11-J12 | P11 | ۱۸۱۰/۹۴ | ۱۸۱۱/۳۲ | ۲۱/۴۹ | ۵۷۵ |
| J5-J13 | P12 | ۱۸۵۳/۲۱ | ۱۸۴۷/۵۷ | ۱۶۵/۸ | ۵۵۰ |
| J13-J14 | P13 | ۱۸۶۱/۸۹ | ۱۸۵۳/۲۱ | ۱۳۲ | ۷۰۰ |
| J5-J15 | P14 | ۱۸۲۱/۴۸ | ۱۸۴۷/۵۷ | ۹۸/۲۴ | ۶۷۰ |
| J15-J16 | P15 | ۱۸۱۴/۴۳ | ۱۸۲۱/۴۸ | ۳۳/۷۷ | ۸۴۰ |
| J5-J17 | P16 | ۱۸۲۶/۴۷ | ۱۸۴۷/۵۷ | ۱۱۹/۷۳ | ۷۲۰ |
| J17-J18 | P17 | ۱۸۴۷/۹۵ | ۱۸۲۶/۴۷ | ۴۹/۱۲ | ۶۶۰ |
| J5-J19 | P18 | ۱۸۴۷/۵۷ | ۱۸۴۷/۵۷ | ۴۶/۰۵ | ۱۱۰ |

الگوریتم تکامل تفاضلی (DE)

الگوریتم‌های تکاملی^۳ عموماً به‌عنوان الگوریتم‌های بهینه‌سازی همه‌منظوره شناخته می‌شوند که قادر به پیدا کردن جواب‌های نزدیک به بهینه برای مسائل ریاضی و واقعی می‌باشند، درحالی‌که روش‌های کلاسیک و تحلیلی قادر به پیدا کردن جواب بهینه در یک زمان محاسباتی منطقی نمی‌باشند. یکی از این الگوریتم‌های تکاملی که اخیراً ارائه شده الگوریتم تکامل تفاضلی است. این الگوریتم جهت غلبه بر عیب اصلی الگوریتم‌های ژنتیکی یعنی فقدان جستجوی محلی در این الگوریتم‌ها ارائه شده است. تفاوت اصلی بین الگوریتم‌های ژنتیکی و الگوریتم DE در ترتیب عملگرهای جهش^۴ و تلاقی (بازترکیبی)^۵ و همچنین در نحوه کار عملگر انتخاب^۶ است (شکل ۲). این الگوریتم از یک اپراتور تفاضلی جهت تولید جواب‌های جدید بهره می‌گیرد که این اپراتور باعث مبادله اطلاعات بین

اعضای جمعیت می‌شود. یکی از مزایای این الگوریتم داشتن حافظه هست که اطلاعات جواب‌های مناسب را در جمعیت فعلی حفظ می‌کند. دیگر مزیت این الگوریتم مربوط به عملگر انتخاب آن هست. در این الگوریتم همه اعضای یک جمعیت شانس مساوی برای انتخاب شدن به‌عنوان یکی از والدین را دارند. به این‌صورت که نسل نوزاد با نسل والد از نظر میزان شایستگی که توسط تابع هدف سنجیده می‌شود، مقایسه می‌گردد. سپس بهترین اعضا به‌عنوان نسل بعدی وارد مرحله بعد می‌گردند.

³ Evolutionary algorithms

⁴ Mutation

⁵ Crossover

⁶ Selection

جدول ۲- مشخصات و قیمت لوله‌های تجاری.

| شماره | قطر خارجی (mm) | قطر داخلی (mm) | جنس لوله | قیمت (Rial m ⁻¹) |
|-------|----------------|----------------|----------|------------------------------|
| ۱ | ۱۱۰ | ۹۳/۸ | PE80 | ۱۷۶۸۵۰ |
| ۲ | ۱۲۵ | ۱۰۶/۶ | PE80 | ۲۳۶۸۵۰ |
| ۳ | ۱۴۰ | ۱۱۹/۴ | PE80 | ۲۸۴۸۵۰ |
| ۴ | ۱۶۰ | ۱۳۶/۴ | PE80 | ۳۷۱۲۵۰ |
| ۵ | ۱۸۰ | ۱۵۳/۴ | PE80 | ۴۷۱۱۵۰ |
| ۶ | ۲۰۰ | ۱۷۰/۶ | PE80 | ۵۷۹۱۵۰ |
| ۷ | ۲۲۵ | ۱۹۱/۸ | PE80 | ۷۳۵۷۵۰ |
| ۸ | ۲۵۰ | ۲۱۳/۲ | PE80 | ۹۰۴۵۰۰ |
| ۹ | ۲۸۰ | ۲۳۸/۸ | PE80 | ۱۱۳۴۰۰۰ |
| ۱۰ | ۳۱۵ | ۲۶۸/۶ | PE80 | ۱۴۳۱۰۰۰ |
| ۱۱ | ۳۵۵ | ۳۰۲/۸ | PE80 | ۱۸۱۵۷۵۰ |
| ۱۲ | ۴۰۰ | ۳۴۱/۲ | PE80 | ۲۳۰۱۷۵۰ |
| ۱۳ | ۴۵۰ | ۳۸۳/۸ | PE80 | ۲۹۱۶۰۰۰ |
| ۱۴ | ۵۰۰ | ۴۲۶/۴ | PE80 | ۳۲۶۴۶۰۰ |
| ۱۵ | ۶۰۰ | ۶۰۰ | GRP | ۳۳۳۹۶۹۰ |
| ۱۶ | ۷۰۰ | ۷۰۰ | GRP | ۴۱۳۹۹۱۰ |
| ۱۷ | ۸۰۰ | ۸۰۰ | GRP | ۵۱۱۸۹۹۰ |
| ۱۸ | ۹۰۰ | ۹۰۰ | GRP | ۶۱۲۸۶۷۰ |

نهایت انتخاب هست که به تفصیل هر مرحله در زیر شرح داده شده است.

مرحله اول: عملگر ارزش‌دهی

این الگوریتم، ابتدا جمعیتی به‌اندازه مقادیر تصادفی (NP) در محدوده مقادیر مسئله مربوطه ایجاد می‌کند. در این مرحله مرزهای مقادیر مشخص می‌گردد. گام بعدی در این مرحله انتخاب چهار عضو از جمعیت به‌صورت تصادفی هست. از این چهار عضو یک عضو به‌عنوان عضو هدف^۹ و سه عضو دیگر به‌عنوان بردارهای ۱، ۲ و ۳ به‌صورت تصادفی جدا می‌شوند.

مرحله دوم: عملگر جهش

در این مرحله برای تولید بردار جهش‌یافته در ابتدا اختلاف دو بردار ۲ و ۳ در ضریب F با بردار ۱ جمع می‌شود. بردار جهش‌یافته^{۱۰} به‌صورت رابطه ۱ در هر عمل جهش درون جمعیت ایجاد می‌شود.

$$V_{i,G+1} = x_{r1,G} + F \times (x_{r2,G} - x_{r3,G}) \quad [1]$$



شکل ۲- روند کار عملگرهای الگوریتم تکامل تفاضلی.

مهم‌ترین ویژگی‌های الگوریتم DE، سرعت بالا، سادگی و قدرتمند بودن آن است. این روش تنها با تنظیم سه پارامتر شروع به‌کار می‌کند. پارامتر NP اندازه جمعیت^۷، پارامتر F وزن جهش و پارامتر Cr احتمال انجام بازترکیبی یا تقاطع است، که در تفاضل دو بردار ضرب می‌شود و به بردار سوم اضافه می‌شود. به گفته استورن و پرایس (۱۹۹۵)، پارامتر F معمولاً بین ۰ تا ۲ تنظیم و پارامتر Cr مقداری بین ۰ تا ۱ می‌گیرد. به‌طورکلی این الگوریتم دارای چهار مرحله اساسی ارزش‌دهی^۸، جهش، تقاطع یا بازترکیبی و در

⁹ Target Vector

¹⁰ Noisy (Donor) Vector

⁷ Number of Population

⁸ Initialization

با توجه به بررسی منابع در مورد الگوریتم تکامل تفاضلی و دیگر الگوریتم‌های تکاملی برای یافتن بهترین شرایط برای بهینه‌سازی، در این تحقیق در ابتدا با در نظر گرفتن جمعیت اولیه ۱۰۰ عضوی ($N=100$) و تعداد نسل ۵۰۰ تایی ($G=500$) برای پیدا کردن ضرایب F و C_r ، ۱۸ ترکیب مختلف از این دو ضریب مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است در بررسی هر یک از شرایط در این الگوریتم سه اجرا صورت گرفت. سپس بهینه‌ترین حالت این سه اجرا برای آن شرایط در نظر گرفته شد.

در ادامه با پیدا کردن بهترین ترکیب ضرایب F و C_r به بررسی اثر تعداد جمعیت بر روی جواب بهینه و زمان اجرای الگوریتم پرداخته شد. در این حالت نیز برای دو تعداد نسل ثابت ۵۰ و ۱۰۰ تایی، ۶ جمعیت مورد بررسی قرار گرفت (۴، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ عضوی). همچنین مانند حالت قبل برای هر جمعیت سه بار الگوریتم اجرا گردید و بهینه‌ترین حالت برای جمعیت مورد نظر ثبت گردید.

در مرحله بعد این تحقیق اثر تعداد نسل بر جواب بهینه و زمان اجرای الگوریتم مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تعداد نسل برای جمعیت ۱۰۰ عضوی، نسل‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ تایی مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر گردید برای هر نسل نیز سه بار الگوریتم اجرا گردید و بهینه‌ترین حالت برای نسل مورد نظر در نظر گرفته شد. در بررسی اثر تعداد نسل ۳۰ اجرا صورت گرفت که بهینه‌ترین جواب‌ها و زمان اجرای الگوریتم برای هر نسل در ادامه نشان داده شده است.

به صورت کلی در این تحقیق در مجموع ۱۲۰ بار با شرایط متفاوت الگوریتم توسط لبتاپ دوهسته‌ای با ۴ گیگ رم اجرا گردید تا بتوان بهینه‌ترین حالت ممکن برای بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی را به دست آورد.

ثابت F که ضریب مقیاس^{۱۱} نام دارد همان‌طور که اشاره شد مقداری بین ۰ تا ۲ به خود می‌گیرد. این ضریب طول گام جهش را مشخص می‌کند.

مرحله سوم: عملگر تقاطع (باز ترکیبی)

در این بخش بین بردار جهش‌یافته و عضو هدف که در مرحله اول انتخاب شد، یک ترکیب صورت می‌گیرد و بردار سنجش^{۱۲} تولید می‌شود. اساس این ترکیب بر پایه ضریب C_r هست و همان‌طور که اشاره شد ضریبی در بازه ۰ تا ۱ هست. به این صورت که هر یک از مؤلفه‌های این بردار جهش‌یافته با احتمال C_r به بردار کاندیدا منتقل می‌گردد و در غیر این صورت، مؤلفه معادل در بردار اصلی جایگزین می‌گردد. رابطه ۲ نشان‌دهنده این عملگر هست.

$$u_{ji,G+1} = \begin{cases} V_{ji,G+1} & \text{If } \text{rand}(j) \leq C_r \text{ or } j = \text{randb}() \\ x_{ji,G} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [2]$$

مرحله چهارم: انتخاب

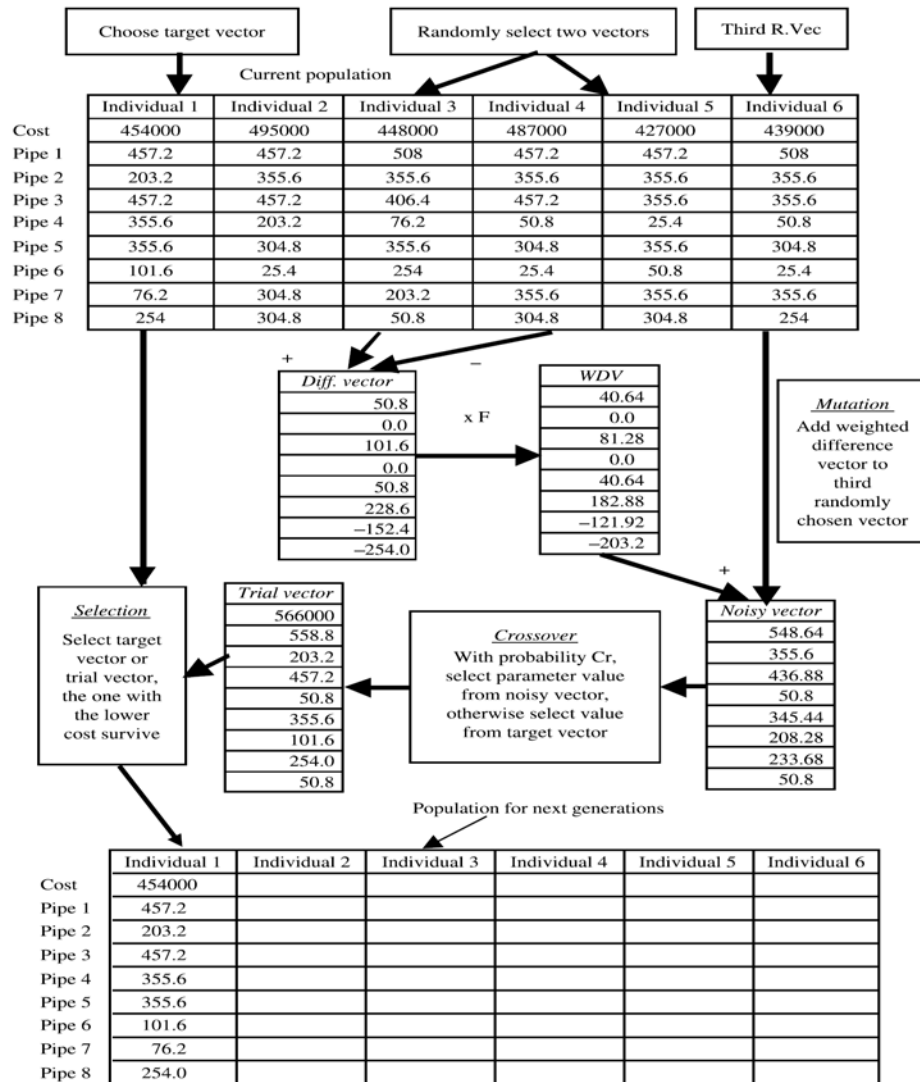
در این مرحله، بردار سنجش به دست آمده از مرحله قبل و عضو هدف که در مرحله اول انتخاب شد بود، با توجه به تابع هدف، ارزش‌دهی می‌شوند و در صورتی که بردار سنجش، ارزشی بیش از عضو هدف داشته باشد، یکی از اعضای نسل بعد قرار می‌گیرد. در غیر این صورت، عضو هدف خود یکی از جمعیت نسل بعد می‌شود. رابطه ۳ بیان‌کننده انتخاب بین بردار سنجش و عضو هدف هست.

$$x_{ji,G+1} = \begin{cases} u_{ji,G+1} & \text{If } f(u_{i,G+1}) \leq f(x_{i,G}) \\ x_{ji,G} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [3]$$

در نهایت این روند ادامه می‌یابد تا نسل جدید به تعداد NP برسد. سپس به همین صورت این روند تکرار می‌گردد تا شرایط خاتمه وصول گردد. شکل ۳ نمایی کلی از مدل عددی الگوریتم تکامل تفاضلی مورد استفاده در این مقاله را به صورت شماتیک ارائه می‌کند، که تمامی مراحل بالا در این شکل به صورت عددی مشخص شده است.

¹¹ Scale Factor

¹² Trial Vector



شکل ۳- مدل عددی الگوریتم تکامل تفاضلی (سوری بابو و ۲۰۱۰).

نتایج و بحث

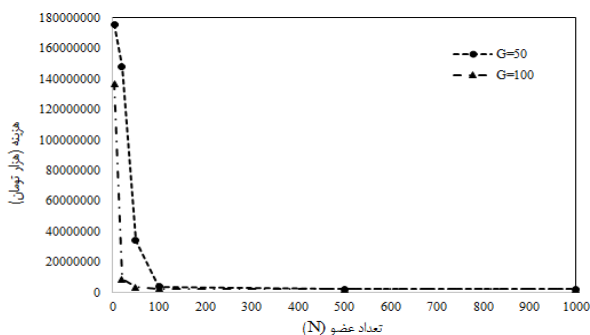
توجه به تحقیقات گذشته برای جمعیت ۱۰۰ عضوی و تعداد ۵۰۰ نسل، ۱۸ حالت ترکیب این دو ضریب مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد مقادیر میانی برای ضرایب F و C_r بهینه‌ترین حالت را ارائه می‌کنند و باعث می‌گردند الگوریتم در دام بهینه‌های موضعی گیر نکند. بهینه‌ترین جواب برای ترکیب ضرایب $0/6$ و $0/5$ به ترتیب برای ضرایب F و C_r به دست آمد که این مقادیر با نتایج حاصل از تحقیقات سوری بابو (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد.

در بحث بهینه‌سازی دو مسئله بسیار مهم وجود دارد که یکی توانایی الگوریتم برای یافتن بهینه‌ترین جواب بوده و دیگری زمان اجرای الگوریتم هست. در این تحقیق برای به دست آوردن بهترین شرایط الگوریتم، شرایط مختلف کنترل گردید و بهترین حالت که بهینه‌ترین جواب را در یک زمان منطقی ارائه دهد مشخص شد.

بررسی اثر مقادیر F و C_r

به منظور ارزیابی صحیحی از این ضرایب، ۱۸ حالت از ترکیب این ضرایب مورد بررسی قرار گرفت. با



شکل ۴- هزینه بهینه در جمعیت‌های متفاوت.

اثر تعداد نسل (G)

در الگوریتم تکامل تفاضلی نیز مانند دیگر الگوریتم‌ها پارامتر تعداد نسل بسیار مهم هست. از این رو در این تحقیق به منظور بررسی اثر نسل با یک جمعیت ثابت ۱۰۰ عضوی و ضرایب $C_r=0.5$ و $F=0.6$ ، الگوریتم با ده نسل با تعداد متفاوت اجرا گردید. در این تحقیق کمترین تعداد نسل ۳۰ عدد و بیشترین ۳۰۰۰ عدد هست، که نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۴ مشخص است که از تعداد نسل ۲۰۰ به بعد تغییرات نتایج هزینه بهینه نوسانات کمتری را نشان می‌دهد. این همگرایی نتایج به مقدار $2,213,760,000$ تومان نشان‌دهنده این است که الگوریتم تکامل تفاضلی برای بهینه‌سازی مسائل شبکه آبرسانی در تعداد نسل ۲۰۰ تایی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

اثر جمعیت و نسل بر زمان

روند افزایش زمان نسبت به تعداد جمعیت تقریباً یک روند خطی را طی می‌کند که این نشان‌دهنده تأثیرپذیری زمان اجرای الگوریتم از جمعیت هست. از این رو مشخص کردن یک جمعیت مناسب برای به دست آوردن جواب‌های بهینه بسیار اهمیت دارد. در این تحقیق جمعیت ۱۰۰ عضوی بعد از بررسی‌های صورت گرفته مورد تأیید قرار گرفت (شکل ۵).

انتخاب صحیح ضریب مقیاس (F) باعث افزایش

در دقت محیط جستجو می‌شود. هرچه این ضریب کوچک‌تر باشد باعث می‌شود گام‌های کوتاه‌تری برای جستجو برداشته شود (بردار جهش‌یافته مقادیر کمتری به خود می‌گیرد) و محدوده موردنظر دقیق‌تر مورد جستجو قرار می‌گیرد، ولی این مشکل به وجود می‌آید که ممکن است الگوریتم در دام بهینه موضعی قرار گیرد و نتواند از آن خارج شود. از طرف دیگر و هرچه این ضریب بیش‌تر باشد، باعث می‌گردد محدوده بیش‌تری جستجو گردد و احتمال این وجود دارد با توجه به بالا بودن ضریب مقیاس مقدار بردار جهش‌یافته یا همان عضو جهش‌یافته گام بلندتری را برداشته و نتوان به بهینه مورد نظر رسید.

اثر جمعیت اولیه (N)

در الگوریتم تکامل تفاضلی کمترین تعداد عضوی که می‌تواند انتخاب شود، یک جمعیت چهار عضوی هست. به منظور بررسی اثر تعداد عضو ابتدایی برای شروع اجرای الگوریتم برای دو تعداد نسل ثابت (۵۰ و ۱۰۰ تایی) و ضرایب $C_r=0.5$ و $F=0.6$ ، الگوریتم با شش جمعیت با تعداد عضوهای متفاوت اجرا گردید که نتایج حاصل از این بررسی نشان داد الگوریتم در نسل ۵۰ تایی، جمعیت ۴، ۲۰ و ۵۰ عضوی و در نسل ۱۰۰ تایی، جمعیت ۴ و ۲۰ عضوی همگرا نشده و الگوریتم نتوانسته از تابع پنالیتی (تابعی که مربوط به محدودیت‌های هیدرولیکی شبکه هست) خارج گردد. دلیل این مشکل کم بودن تعداد عضوهای اولیه هست. با توجه به روند کار الگوریتم، جمعیت اولیه برای انتخاب سه عضو ابتدایی خیلی اهمیت دارد به طوری که هرچه این جمعیت بیش‌تر باشد، انتخاب چهار عضو اولیه با گستره بیش‌تری صورت می‌گیرد که باعث می‌شود الگوریتم به همگرایی برسد.

با افزایش جمعیت با توجه به شکل ۴ مشخص است که هزینه بهینه کم می‌شود، این امر ثابت‌کننده گفته بالا است که افزایش جمعیت علاوه بر اینکه گستره جستجو را بیش‌تر می‌کند، تعداد عضوهای موردبررسی برای طراحی نیز بیش‌تر شده که خود منجر به رسیدن به جواب بهینه می‌گردد.

جدول ۳- مقادیر بهینه ترکیبات مختلف ضرایب F و C_r .

| شماره ترکیب | ضریب C_r | ضریب F | بهینه‌ترین هزینه (10000 Rial) |
|-------------|-------------|-----------|-------------------------------|
| ۱ | $C_r = 0/1$ | $F = 0/1$ | ۳۴۶۲۸۲۱۷۹ |
| ۲ | $C_r = 0/۳$ | | ۲۴۹۷۸۸۴ |
| ۳ | $C_r = 0/۴$ | $F = 0/۵$ | ۲۳۰۵۶۸۳ |
| ۴ | $C_r = 0/۵$ | | ۲۲۷۶۷۵۱ |
| ۵ | $C_r = 0/۶$ | | ۲۲۲۰۰۰۰ |
| ۶ | $C_r = 0/۳$ | | ۲۲۱۴۱۱۷ |
| ۷ | $C_r = 0/۴$ | $F = 0/۶$ | ۲۲۱۳۷۹۳ |
| ۸ | $C_r = 0/۵$ | | ۲۲۱۳۷۶۰ |
| ۹ | $C_r = 0/۶$ | | ۲۲۱۳۹۷۶ |
| ۱۰ | $C_r = 0/۳$ | | ۲۲۱۳۷۷۲ |
| ۱۱ | $C_r = 0/۴$ | $F = 0/۷$ | ۲۲۱۳۹۶۴ |
| ۱۲ | $C_r = 0/۵$ | | ۲۲۲۱۷۶۴ |
| ۱۳ | $C_r = 0/۶$ | | ۲۲۷۴۰۸۴ |
| ۱۴ | $C_r = 0/۳$ | | ۲۳۵۹۲۴۸ |
| ۱۵ | $C_r = 0/۴$ | $F = 0/۸$ | ۲۴۷۴۵۵۰ |
| ۱۶ | $C_r = 0/۵$ | | ۲۴۹۷۸۸۴ |
| ۱۷ | $C_r = 0/۶$ | | ۲۵۰۰۳۶۵ |
| ۱۸ | $C_r = 1$ | $F = 1$ | ۱۶۵۸۸۱۷۰۶ |

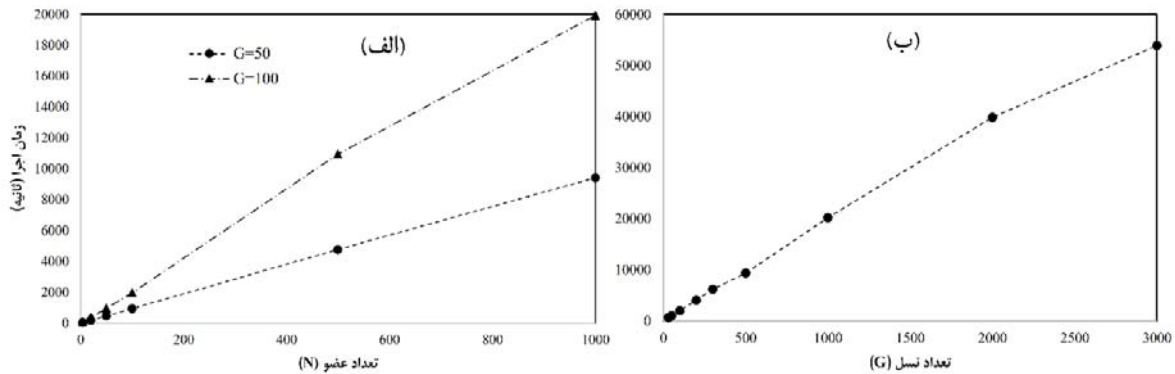
جدول ۴- بررسی اثر تعداد نسل بر هزینه بهینه.

| تعداد نسل (G) | بهینه‌ترین هزینه (10000 Rial) |
|---------------|-------------------------------|
| ۳۰ | ۱۶۵۸۸۱۷۰۶ |
| ۴۰ | ۶۱۹۶۰۴۱ |
| ۵۰ | ۳۶۶۸۴۶۹ |
| ۱۰۰ | ۲۳۵۹۲۴۸ |
| ۲۰۰ | ۲۲۱۳۷۶۰ |
| ۳۰۰ | ۲۲۱۳۷۹۳ |
| ۵۰۰ | ۲۲۱۳۷۶۰ |
| ۱۰۰۰ | ۲۲۱۳۷۷۲ |
| ۲۰۰۰ | ۲۲۱۳۷۶۰ |
| ۳۰۰۰ | ۲۲۱۳۷۶۰ |

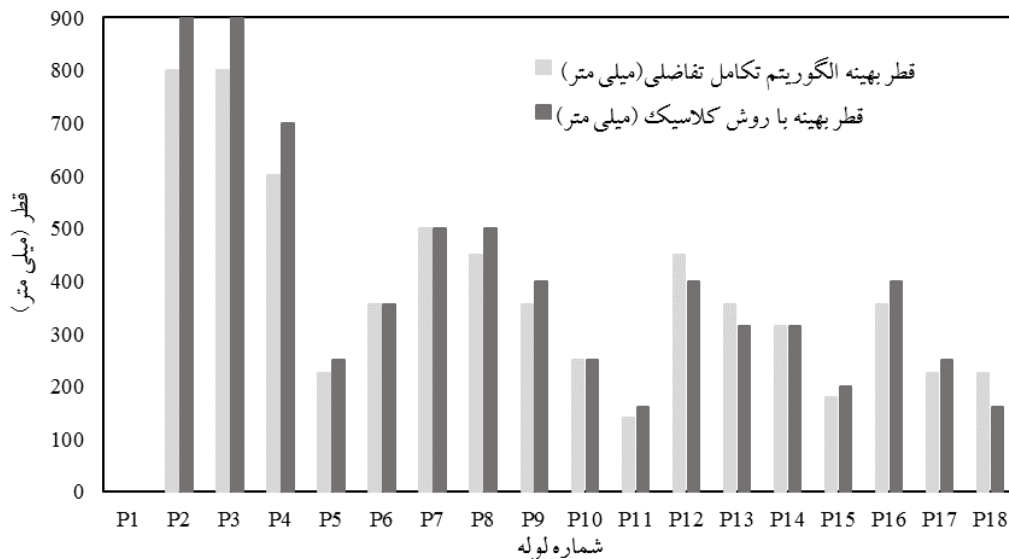
یافتن به زمان بهینه، اثر تعداد نسل بر زمان موردبررسی قرار گرفت. نتایج شکل ۵ نشان‌دهنده اثر تعداد نسل بر زمان برای جمعیت ۱۰۰ عضوی (جمعیت بهینه) هست. نتایج این شکل نیز نشان‌دهنده رابطه نسبتاً خطی مستقیم بین زمان اجرا و تعداد نسل دارد.

در کل می‌توان گفت بهترین جمعیت و تعداد نسل برای اجرای الگوریتم به‌منظور بهینه‌سازی شبکه توزیع آب به‌ترتیب برابر ۱۰۰ و ۲۰۰ عدد هست. که برای رسیدن به جواب بهینه زمانی تقریباً یک ساعت نیاز دارد که با توجه به تعداد لوله‌ها در شبکه موردنظر نسبت به سایر الگوریتم‌ها از سرعت بالاتری برخوردار است. پس می‌توان یکی از مزیت‌های این الگوریتم سرعت بالای آن را ذکر کرد. همچنین یکی دیگر از مزیت‌های این الگوریتم همگرایی سریع آن هست که در زمان برابر ۱۶ دقیقه ($G=50$ و $N=100$) به همگرایی می‌رسد.

زمان اجرای الگوریتم برای جمعیت ۱۰۰ عضوی برای تعداد نسل ۵۰ تا ۹۳۵ ثانیه و برای نسل ۱۰۰ تا ۱۹۵۰ ثانیه طول می‌کشد. با توجه به اعداد به‌دست‌آمده زمان اجرای الگوریتم برای رسیدن به هر عضو جدید در هر نسل به‌طور متوسط ۰/۱۹ ثانیه هست. پس از بررسی اثر جمعیت بر زمان اجرا و دست



شکل ۵- زمان اجرا در (الف) جمعیت‌های متفاوت و (ب) نسل‌های متفاوت.



شکل ۶- قطر بهینه روش الگوریتم تکامل تفاضلی و روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط.

با توجه به شرایط هیدرولیکی در لوله از جدول ۶ مشاهده می‌شود تک‌تک لوله‌ها در شرایط استاندارد می‌باشند و سرعت جریان آب در هر لوله در شرایط مجاز است. به‌منظور بررسی فشار در گره‌ها جدول ۷ مشخصات هیدرولیکی شبکه در گره‌ها را نشان می‌دهد. در شکل ۶ قطرهای بهینه تولیدشده توسط الگوریتم تکامل تفاضلی و روش کلاسیک به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد، اختلاف بین قطرهای بهینه در دو روش کلاسیک و الگوریتم تکامل تفاضلی بسیار زیاد است. این نشان‌دهنده آن است که روش‌های کلاسیک و تجربی از دقت بسیار پایین برخوردار بوده و امروزه

بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی

شبکه موردنظر با شرایط $F=0.6$ ، $C_r=0.5$ جمعیت ۱۰۰ عضوی و نسل ۲۰۰ تایی در الگوریتم تکامل تفاضلی بهینه گردید. این الگوریتم با برقرار کردن ارتباط بین نرم‌افزار Epanet و Matlab، شبکه توزیع آب موردنظر را بهینه کرد. ترکیب قطر لوله بهینه به‌دست آمده مطابق جدول ۵ است.

بهترین نتیجه الگوریتم تکامل تفاضلی برای شبکه موردنظر در جدول ۵ مشاهده می‌گردد که این ترکیب قطر بهینه‌ترین ترکیب قطر از نظر هزینه اجرا است. بر اساس این ترکیب قطر، شرایط هیدرولیکی شبکه به‌صورت جدول ۶ و ۷ برای لوله‌ها و گره‌ها است.

در پروژه‌های عمرانی استفاده از این روش‌ها منسوخ شده است.

جدول ۵- قطر بهینه تولیدشده توسط الگوریتم تکامل تفاضلی.

| لوله | شماره لوله | قطر بهینه (inch) | قطر بهینه داخلی (mm) | قطر بهینه خارجی (mm) |
|-------------------------|------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Res.-J1 | P1 | ۱۰/۵۷۵ | ۲۶۸/۶ | ۳۱۵ |
| J2-J3 | P2 | ۳۱/۴۹۶ | ۸۰۰ | ۸۰۰ |
| J3-J4 | P3 | ۳۱/۴۹۶ | ۸۰۰ | ۸۰۰ |
| J4-J5 | P4 | ۲۳/۶۲۲ | ۶۰۰ | ۶۰۰ |
| J4-J6 | P5 | ۷/۵۵۱ | ۱۹۱/۸ | ۲۲۵ |
| J4-J7 | P6 | ۱۱/۹۲۱ | ۳۰۲/۸ | ۳۵۵ |
| J4-J8 | P7 | ۱۶/۷۸۷ | ۴۲۶/۴ | ۵۰۰ |
| J8-J9 | P8 | ۱۵/۱۱۰ | ۳۸۳/۸ | ۴۵۰ |
| J9-J10 | P9 | ۱۱/۹۲۱ | ۳۰۲/۸ | ۳۵۵ |
| J10-J11 | P10 | ۸/۳۹۴ | ۲۱۳/۲ | ۲۵۰ |
| J11-J12 | P11 | ۴/۷۰۱ | ۱۱۹/۴ | ۱۴۰ |
| J5-J13 | P12 | ۱۵/۱۱۰ | ۳۸۳/۸ | ۴۵۰ |
| J13-J14 | P13 | ۱۱/۹۲۱ | ۳۰۲/۸ | ۳۵۵ |
| J5-J15 | P14 | ۱۰/۵۷۵ | ۲۶۸/۶ | ۳۱۵ |
| J15-J16 | P15 | ۶/۰۳۹ | ۱۵۳/۴ | ۱۸۰ |
| J5-J17 | P16 | ۱۱/۹۲۱ | ۳۰۲/۸ | ۳۵۵ |
| J17-J18 | P17 | ۷/۵۵۱ | ۱۹۱/۸ | ۲۲۵ |
| J5-J19 | P18 | ۷/۵۵۱ | ۱۹۱/۸ | ۲۲۵ |
| بهینه‌ترین هزینه (دلار) | | ۷۳۷۹۲۰ | زمان اجرا | ۱:۰۷:۰۰ |

جدول ۶- شرایط هیدرولیکی قطر بهینه در لوله‌ها.

| لوله | شماره لوله | قطر بهینه (mm) | دبی ($L \cdot S^{-1}$) | سرعت ($m \cdot s^{-1}$) | افت در ۱۰۰۰ (m) |
|---------|------------|----------------|--------------------------|---------------------------|-----------------|
| Res.-J1 | P1 | ۳۱۵ | - | - | - |
| J2-J3 | P2 | ۸۰۰ | ۸۵۶/۵۶ | ۱/۷۰ | ۰/۷۲ |
| J3-J4 | P3 | ۸۰۰ | ۸۵۶/۵۶ | ۱/۷۰ | ۰/۷۲ |
| J4-J5 | P4 | ۶۰۰ | ۴۲۹/۸ | ۱/۵۲ | ۰/۸۱ |
| J4-J6 | P5 | ۲۲۵ | ۹/۵۲ | ۱/۸۳ | ۴/۶۴ |
| J4-J7 | P6 | ۳۵۵ | ۱۲۸/۹۴ | ۱/۷۹ | ۲/۴۵ |
| J4-J8 | P7 | ۵۰۰ | ۲۴۴/۹۲ | ۱/۷۲ | ۱/۶۲ |
| J8-J9 | P8 | ۴۵۰ | ۱۹۰/۳۴ | ۱/۶۵ | ۱/۶۹ |
| J9-J10 | P9 | ۳۵۵ | ۱۲۸/۹۴ | ۱/۷۹ | ۲/۶۱ |
| J10-J11 | P10 | ۲۵۰ | ۵۸/۳۳ | ۱/۶۳ | ۳/۳۲ |
| J11-J12 | P11 | ۱۴۰ | ۲۱/۴۹ | ۱/۹۲ | ۸/۸۰ |
| J5-J13 | P12 | ۴۵۰ | ۱۶۵/۸ | ۱/۴۳ | ۱/۳۱ |
| J13-J14 | P13 | ۳۵۵ | ۱۳۲ | ۱/۸۳ | ۲/۷۳ |
| J5-J15 | P14 | ۳۱۵ | ۹۸/۲۴ | ۱/۷۳ | ۲/۸۴ |
| J15-J16 | P15 | ۱۸۰ | ۳۳/۷۷ | ۱/۸۳ | ۶/۰۰ |
| J5-J17 | P16 | ۳۵۵ | ۱۱۹/۷۳ | ۱/۶۶ | ۲/۲۸ |
| J17-J18 | P17 | ۲۲۵ | ۱۲/۴۹ | ۱/۷۰ | ۴/۰۴ |
| J5-J19 | P18 | ۲۲۵ | ۵/۴۶ | ۱/۵۹ | ۳/۵۹ |

جدول ۷. شرایط هیدرولیکی قطر بهینه در گره‌ها.

| شماره گره | دبی خروجی ($L S^{-1}$) | تراز هیدرولیکی (m) | فشار ($m H_2O$) |
|-----------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| Res. | -۸۵۶/۶۹ | ۱۷۸۹ | ۰ |
| J1 | ۰ | ۱۷۸۸/۷۱ | -۱/۲۹ |
| J2 | ۰ | ۱۹۲۶/۰۲ | ۱۳۴/۶۹ |
| J3 | ۰ | ۱۹۲۴/۷۱ | ۱۰۹/۴۴ |
| J4 | ۰ | ۱۹۲۳/۳۹ | ۸۴/۹۸ |
| J5 | ۰ | ۱۹۱۹/۵۷ | ۷۳/۱۹ |
| J6 | ۵۲/۹۰ | ۱۹۰۸/۸۵ | ۷۳/۷۳ |
| J7 | ۱۲۸/۹۴ | ۱۹۱۴/۵۵ | ۶۰/۲۰ |
| J8 | ۵۴/۵۸ | ۱۹۲۲/۳۲ | ۸۰/۹۲ |
| J9 | ۶۱/۴۰ | ۱۹۲۱/۲۱ | ۷۷/۹۱ |
| J10 | ۷۰/۶۱ | ۱۹۱۷/۸۶ | ۷۹/۳۷ |
| J11 | ۳۶/۸۴ | ۱۹۰۹/۰۸ | ۱۰۰/۰۳ |
| J12 | ۲۱/۴۹ | ۱۸۹۲/۴۸ | ۸۴/۹۷ |
| J13 | ۳۳/۸۰ | ۱۹۱۷/۲۰ | ۶۵/۵۱ |
| J14 | ۱۳۲/۰۱ | ۱۹۱۰/۹۲ | ۵۰/۴۸ |
| J15 | ۶۴/۵۷ | ۱۹۱۳/۳۳ | ۹۱/۹۰ |
| J16 | ۳۳/۷۷ | ۱۸۹۶/۷۹ | ۸۳/۳۹ |
| J17 | ۷۰/۶۱ | ۱۹۱۴/۱۸ | ۸۸/۷۷ |
| J18 | ۴۹/۱۲ | ۱۹۰۵/۴۲ | ۵۹/۰۸ |
| J19 | ۴۶/۰۵ | ۱۹۱۸/۲۷ | ۷۰/۲۵ |

بار فشار ورودی در دو روش گفته شده نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۸ می‌توان گفت روش الگوریتم تکامل تفاضلی نتایج بسیار خوبی را برای بهینه کردن شبکه توزیع آب ارائه می‌دهد. به طوری که در شبکه مذکور روش الگوریتم تکامل تفاضلی هزینه را ۱۰/۶۶ درصد نسبت به روش کلاسیک تجربی کاهش می‌دهد.

این در حالی است که روش‌های بهینه‌سازی هر روز با سرعت و دقت بالا توسط محققان ارائه می‌گردد. یکی از این روش‌های بهینه‌سازی که از نظر سرعت نسبت به سایر الگوریتم‌های تکاملی در جایگاه بالاتری قرار دارد الگوریتم تکامل تفاضلی است. الگوریتم تکامل تفاضلی با صرف زمان بسیار کمتر می‌تواند جواب بهینه‌ای بسیار خوب را ارائه دهد. در جدول ۸ هزینه‌های بهینه طراحی شبکه موردنظر و

جدول ۸- بار فشار ورودی و هزینه کل شبکه توسط الگوریتم تکامل تفاضلی و روش کلاسیک.

| روش طراحی | بار فشار ورودی (m) | هزینه کل (10000 Rial) |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| الگوریتم تکامل تفاضلی | ۱۳۴/۶۹ | ۲۲۱۳۷۶۰ |
| روش کلاسیک | ۱۴۰ | ۲۴۷۷۸۰۵ |

جمعیت اولیه ۱۰۰ عضوی و نسل ۲۰۰ تایی بهترین حالت از نظر زمان و کارایی هست. همچنین نتایج نشان داد در این شرایط الگوریتم با زمانی برابر یک ساعت بهینه‌ترین ترکیب لوله شبکه موردنظر را ارائه می‌دهد. با توجه به اعداد به دست آمده زمان اجرای الگوریتم

نتیجه‌گیری کلی

در مسائل بهینه‌سازی مربوط به شبکه‌های آبرسانی که گسسته نیز هست، نتیجه شد که ضرایب مقیاس و احتمال ترکیب (F و C_r) برابر ۰/۶ و ۰/۵ بهترین حالت می‌باشند. در مورد بهترین جمعیت اولیه و بهترین تعداد نسل نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که

اجرای الگوریتم بهینه‌سازی DE نسبت به روش تجربی بسیار کمتر است. این در حالی است که حالت بهینه به دست آمده توسط الگوریتم تکامل تفاضلی (۲,۲۱۳,۷۶۰,۰۰۰ تومان) نسبت به روش تجربی هزینه اجرا شبکه را ۱۰/۶۶ درصد کمتر تخمین می‌زند.

برای رسیدن به هر عضو جدید در هر نسل به‌طور متوسط ۰/۱۹ ثانیه هست.

نتیجه‌گیری حاصل شده از مقایسه نتایج بهینه شبکه توزیع آب با الگوریتم تکاملی تفاضلی در مقابل روش کلاسیک تجربی، حاکی از آن است که زمان

منابع مورد استفاده

شاهی‌نژاد ب، محمولی سامانی ح و موسوی جهرمی سح، ۱۳۹۰. طراحی بهینه سیستم‌های انتقال و توزیع شبکه‌های تحت فشار با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مختلط اعداد حقیقی و صحیح. رساله دکترا، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- Alperovits E and Shamir U, 1977. Design of optimal water distribution systems. *Water Resour Res*, 13(6): 885–900.
- Babu BV and Angira R, 2003. Optimization of water pumping system using differential evolution strategies. In: *Proceedings of the Second International Conference on Computational Intelligence, Robotics, and Autonomous Systems (CIRAS- 2003)*, Singapore, 25–30.
- Bhave PR and Sonak VV, 1992. A critical study of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. *Water Resour Res* 28(6): 1577–1584.
- Cunha M and Sousa J, 1999. Water distribution network design optimization: simulated annealing approach. *J Water Resour Plann Manage* 125(4): 215–221.
- Dandy GC, Simpson AR and Murphy LJ, 1996. An improved genetic algorithm for pipe network optimization. *Water Resour Res* 32(2): 449–458.
- Eusuff MM and Lansey KE, 2003. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. *J Water Resour Plann Manage* 129(3): 210–225.
- Fujiwara O, Jenchaimahakoon B and Edirisinghe NCP, 1987. A modified linear programming gradient method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resour Res* 23(6): 977–982.
- Jacoby SLS, 1968. Design of optimal hydraulic networks. *J Hydraul Div* 94(3): 641–661.
- Reddy, M, and Kumar, D, 2007 Multi-objective differential evolution with application to reservoir system optimization. *J Comput Civil Eng* 21 (2): 136–146.
- Kadu, M S, Rajesh, G and Bhave, P R 2008. Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space. *J Water Resour Plann Manage* 134 (2): 147–160.
- Keedwell E and Khu ST, 2006. Novel cellular automata approach to optimal water distribution network design. *J Comput Civil Eng* 20(1): 49–56.
- Kessler A and Shamir U, 1989. Analysis of linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. *Water Resour Res* 25(7): 1469–1480.
- Maier HR, Simpson AR, Zecchin AC, Foong WK, Phang KY, Seah HY and Tan CL, 2003. Ant colony optimization for design of water distribution systems. *J Water Resour Plann Manage* 129(3): 200–209.
- Mansouri R, Torabi H and Mirshahi D, 2014. Differential Evolution Algorithm (DE) to Estimate the Coefficients of Uniformity of Water Distribution in Sprinkler Irrigation. *Sci J of Pure and Appl Sci* 3(6): 335–342.
- Montesinos P, Guzman AG and Ayuso JL, 1999. Water distribution network optimization using a modified genetic algorithm. *Water Resour Res* 35(11): 3467–3473.
- Neelakantan, T R and Suribabu, C R 2005. Optimal design of water distribution networks by a modified genetic algorithm. *J Civil Environ Eng* 1 (1): 20–34.
- Pitchai R, 1966. A Model for Designing Water Distribution Pipe Networks. PhD Thesis, Harvard University, Cambridge, MA.
- Quindry G, Brill ED and Lienman J, 1979. Water Distribution System Design Criteria. Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- Savic DA and Walters GA, 1997. Genetic algorithms for least cost design of water distribution networks. *J Water Resour Plann Manage* 123(2): 67–77.
- Storn R and Price K, 1997. Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *J of Global Optim* 11: 341–359.
- Storn R and Price K, 1995. Differential Evolution - A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces. Technical report, International Computer Science Institute, Berkeley, CA.
- Suribabu CR, 2010. Differential evolution algorithm for optimal design of water distribution networks. *J of Hydro infor*, 12(1): 66–82.
- Suribabu CR and Neelakantan TR, 2006a. Design of water distribution networks using particle swarm optimization. *J Urban Water* 3(2): 111–120.

- Suribabu CR and Neelakantan TR, 2006b. Particle swarm optimization compared to other heuristic search techniques for pipe sizing. *J Environ Infor* 8(1): 1–9.
- Vairavamoorthy K and Ali M, 2005. Pipe index vector: a method to improve genetic-algorithm-based pipe optimization. *J Hydraul Eng* 131(12): 1117–1125.
- Vairavamoorthy K and Ali M, 2000. Optimal design of water distribution systems using genetic algorithms. *Comput Aided Civil Infrastruc Eng* 15(2): 374–382.
- Varma KV, Narasimhan S and Bhallamudi SM, 1997. Optimal design of water distribution systems using an NLP method. *J Environ Eng* 123(4): 381–388.
- Vasan A and Raju K, 2007. Application of differential evolution for irrigation planning: an Indian case study. *Water Res Manage* 21(8): 1393–1407.
- Zecchin AC, Maier HC, Simpson AR, Leonard M and Nixon JB, 2007. Ant colony optimization applied to water distribution system design: comparative study of five algorithms. *J Water Resour Plann Manage* 133(1): 87–92.