

هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران

7th National Congress on Civil Engineering



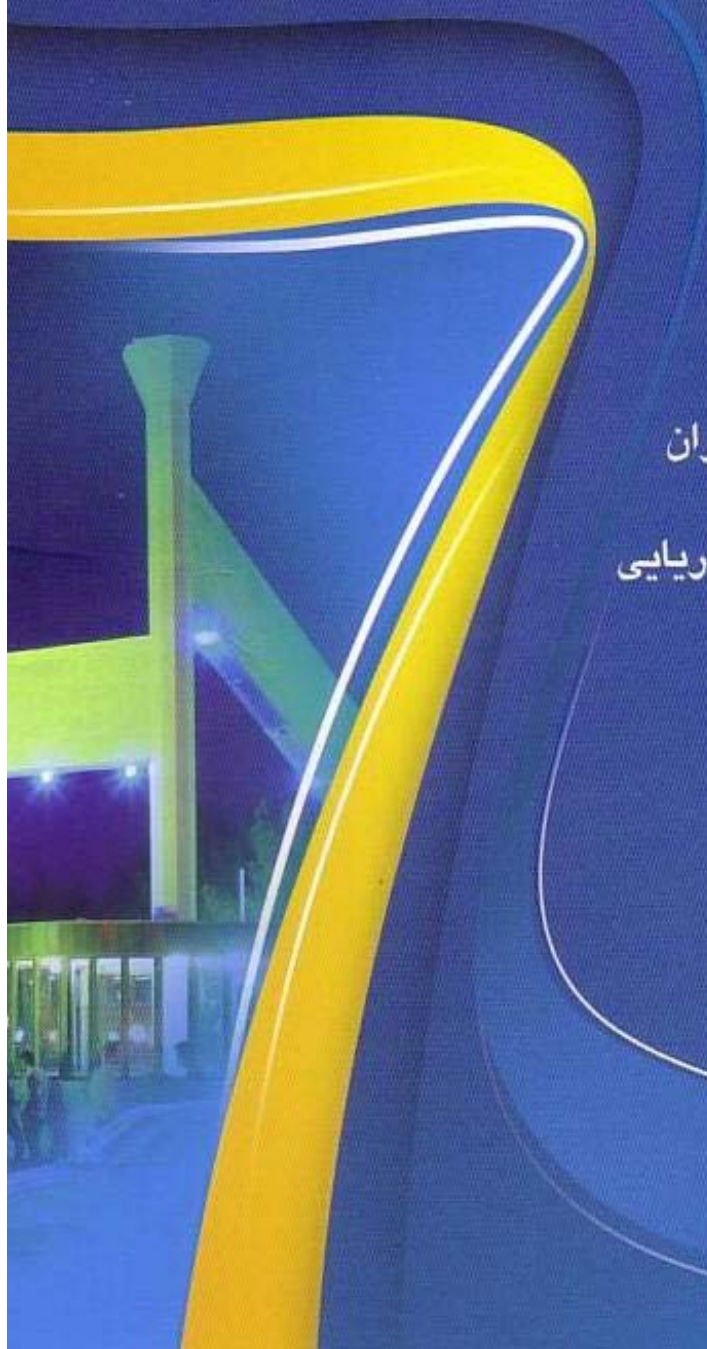
دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده مجموعه مقالات

روش های عددی در مهندسی عمران
مدیریت بحران و پدافند غیر عامل
مهندسی سازه های هیدرولیکی و دریایی
مهندسی محیط زیست
مهندسی و مدیریت منابع آب

جلد سوم

۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۲
دانشگاه سیستان و بلوچستان





کاربرد الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) در بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی بر روی شبکه آبرسانی شهر تربت جام)

بهروز شاهی^۱، محمدرضا جعفرزاده^۲، سیدناصر موسویان^۳

۱- کارشناسی ارشد طراحی سازه‌های هیدرولیکی-دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه عمران-دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکتری آب-گروه عمران-دانشگاه فردوسی مشهد

behrooz_6ahi@yahoo.com

چکیده

امروزه جوامع بشری هزینه‌های بسیاری را برای به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن هزینه صرف می‌کنند. برای نیل به این هدف مهندسی به طرح‌های مرتبط با روش‌های بهینه‌سازی قیمت‌ها متوسل می‌شوند. در عمل مهندسی با تجربه برای یافتن یک طرح با قیمت کم، به صورت سنتی از روش‌های آزمون و خطا مبتنی بر قضاوت مهندسی استفاده می‌کنند. به دلیل اینکه روش‌های سنتی هیچ تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه و یا حتی نزدیک به جواب بهینه ندارند، تحقیقات بسیاری در زمینه روش‌های بهینه‌سازی انجام شده است. طیف وسیعی از تحقیقات در بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی به کاهش دادن هزینه این زیر ساخت‌ها اختصاص یافته است. روش‌های فراابتکاری با توجه به قابلیت انطباق و انعطاف‌پذیری بسیاری که با انواع مسائل پیچیده دارند، برای به حداقل رساندن هزینه شبکه‌های آبرسانی که دارای متغیرهای تصمیم گسسته (قطرهای موجود در بازار) می‌باشند، به نتایج مطلوبی رسیده‌اند. این پژوهش در مورد الگوریتم تکامل تفاضلی، که سوریبابو در سال ۲۰۱۰ آن را بر روی چند شبکه معروف استفاده کرد، پایه‌گذاری شده است. روش کار الگوریتم تکامل تفاضلی مورد بررسی قرار گرفته، سپس با استفاده از نرم افزار MATLAB کدنویسی شده است. در نهایت کاربرد آن برای بهینه‌سازی شبکه آبرسانی تربت جام (مطالعه موردی) که با استفاده از EPANET تحلیل شده، نشان داده شده است و با نتایج روش‌های گذشته (الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچه‌ها و روش هیبرید) مقایسه گردیده است این مطالعه نشان می‌دهد این روش جواب بهینه‌تری را در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: الگوریتم تکامل تفاضلی - بهینه‌سازی - شبکه آبرسانی.



کاربرد الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) در بهینه‌سازی سیستمهای توزیع آب شهری (مطالعه موردی بر روی شبکه آبرسانی شهر تربت جام)

بهروز شاهی^۱، محمدرضا جعفرزاده^۲، سیدناصر موسویان^۳

۱- کارشناسی ارشد طراحی سازه‌های هیدرولیکی-دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه عمران-دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکتری آب-گروه عمران-دانشگاه فردوسی مشهد

behrooz_6ahi@yahoo.com

خلاصه

روش‌های فراابتکاری با توجه به قابلیت انطباق و انعطاف‌پذیری بسیاری که با انواع مسائل پیچیده دارند، می‌توانند به خوبی در بهینه‌سازی هزینه شبکه‌های آبرسانی که دارای متغیرهای تصمیم گسسته (اندازه لوله‌های موجود در بازار) می‌باشند، استفاده شوند. در این مقاله الگوریتم تکامل تفاضلی در محیط نرم افزار MATLAB کدنویسی و برای بهینه‌سازی شبکه آبرسانی تربت جام استفاده شده است. مقایسه نتایج با روش‌های الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچه‌ها و روش هیبرید نشان می‌دهد این روش جواب‌های بهتری را ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: الگوریتم تکامل تفاضلی، بهینه‌سازی، شبکه آبرسانی

۱. مقدمه

یکی از روش‌های فراابتکاری الگوریتم تکامل تفاضلی^۱ DE است که اخیراً در شبکه‌های آبرسانی استفاده شده است. الگوریتم تکامل تفاضلی نخستین بار در سال ۱۹۹۵ توسط استورن و پرایس [1] ارائه شد. از آن زمان به بعد مزایای این روش در رقابت‌هایی مانند مسابقه بین‌المللی^۲ IEEE در بهینه‌سازی تکاملی در سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ به مشخص شد. تقریباً همچون تمام الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم تکامل تفاضلی نیز یک بهینه‌ساز مبتنی بر جمعیت و دارای رفتاری تصادفی است که با یک سری پاسخ پیشنهادی کار خود را شروع می‌کند و در تکرارهای متوالی سعی در بهبود جواب دارد. تاکنون این الگوریتم توسط سوریابو در سال ۲۰۱۰ [2] و ویسن و همکاران در سال ۲۰۱۰ [3] در بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی استفاده شده است. در این مقاله الگوریتم تکامل تفاضلی برای بهینه‌سازی شبکه آبرسانی شهر تربت جام استفاده می‌شود و نتایج حاصله با تحقیقات مشابه مقایسه می‌گردد.

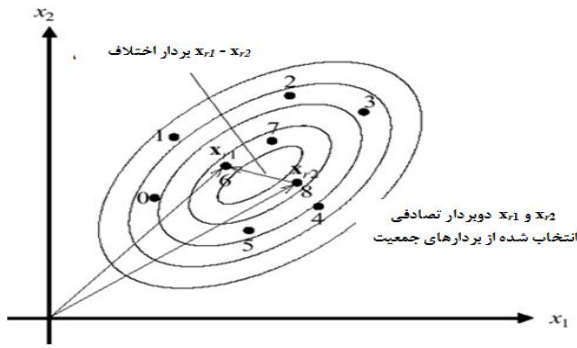
۲. مفهوم کلی الگوریتم تکامل تفاضلی

شکل ۱ را در نظر بگیرید که در آن منحنی‌های تراز تابع هزینه Y بر محورهای مختصات X_1 و X_2 ترسیم شده است. نقطه حداقل هزینه در مرکز منحنی‌های تراز قرار دارد. هدف حرکت به سوی این نقطه می‌باشد. در ابتدا کران محدود در فواصل $X_{1,min} < X_1 < X_{1,max}$ و $X_{2,min} < X_2 < X_{2,max}$ برای جمعیت اولیه تعریف می‌شود. سپس N_p بردار از این جمعیت انتخاب می‌شود. هر بردار با عددی از 0 تا $N_p - 1$ شماره‌گذاری می‌شود. در شکل ۱ بردارهای اعضای جمعیت از 0 تا 8 با مختصات منحصر به فرد مشخص شده است. بر اساس الگوریتم تکامل تفاضلی بردار تفاضل، از دو بردار جمعیت اولیه ساخته می‌شود. در شکل ۲ بردار تفاضل دو بردار X_{r1} و X_{r2} از عضوهای 6 و 8 نشان داده شده است. بردار تفاضل را در پارامتری به نام ضریب جهش F یا بردار مقیاس ضرب می‌کنند حاصل، بردار تفاضل وزنی نامیده می‌شود. بردار تفاضل وزنی به بردار X_{r3} از جمعیت اولیه که بردار پایه نامیده می‌شود (عضو 4 در شکل ۳) اضافه

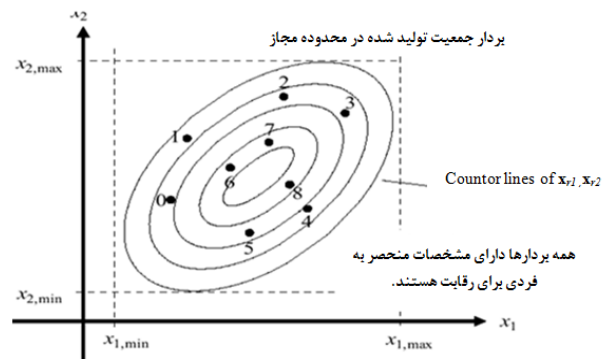
^۴ Differential Evolution

^۵ Institute of Electrical and Electronics Engineers

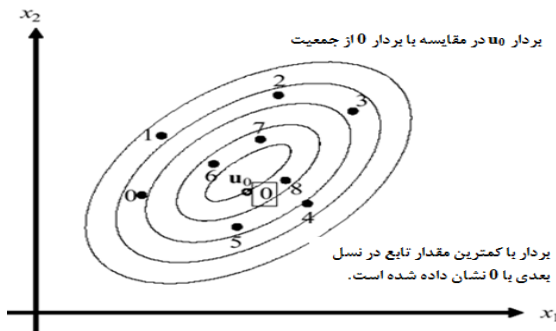
می‌گردد. تا بردار آزمایشی u_0 تولید شود. بردار آزمایشی و برداری از جمعیت اولیه با اسمی مشابه اندیس بردار آزمایشی (بردار هدف) مقایسه می‌شوند تا برداری با کمترین تابع هزینه انتخاب شود و به عنوان عضوی از نسل بعد برگزیده شود مطابق شکل ۴ بردار آزمایشی u_0 در مقابل بردار هدف ۰ پیروز شده به



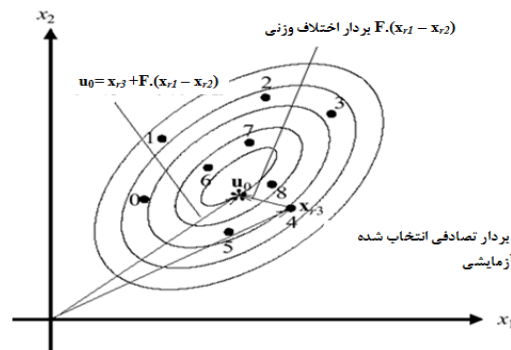
شکل ۲. تولید $x_{r1} - x_{r2}$



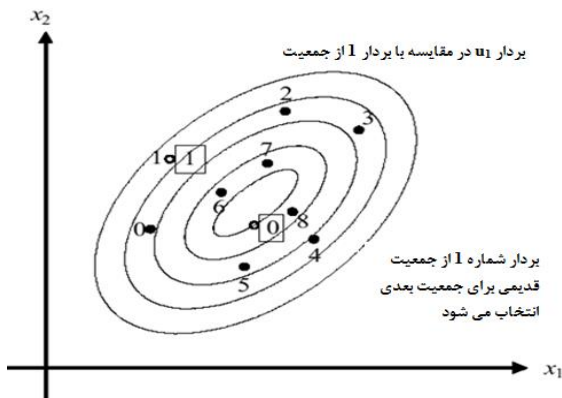
شکل ۱. شروع جمعیت DE



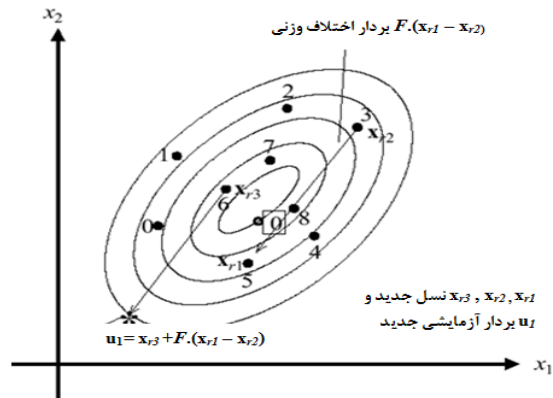
شکل ۴. انتخاب



شکل ۳. جهش



شکل ۶. انتخاب. این بار، بردار آزمایشی u_1 می‌بازد.



شکل ۵. بردار جمعیت جدیدی با تبدیل تصادفی جهش داده می‌شود

نسل بعد می‌رود این بردار در نسل بعدی با ۰ نشان داده می‌شود. این روش تا زمانی که تمام بردارهای جمعیت اولیه با بردارهای آزمایشی تصادفی تولید شده رقابت کنند تکرار می‌شود. در شکل ۵ بردار آزمایشی u_1 از بردار جمعیت اولیه ۱ شکست خورده بردار هدف ۱ به نسل بعد می‌رود (شکل ۶). این بردار در

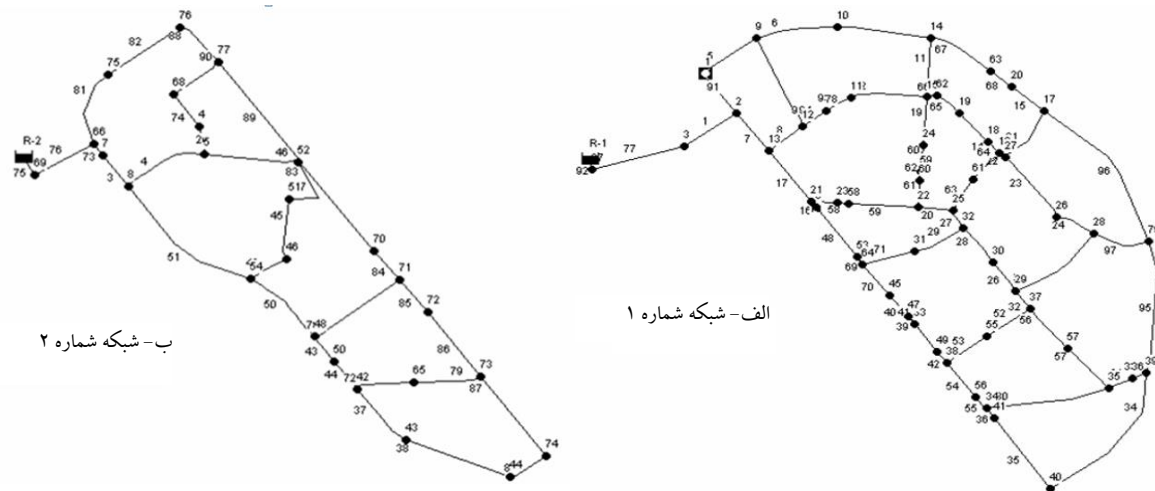
نسل بعد با 1 نشان داده می شود. هنگامی که آخرین بردار آزمایشی امتحان شد، نسل بعدی تکامل یافته، با همان تعداد بردار جمعیت اولیه به وجود می آید (توضیحات بیشتر در خصوص الگوریتم تکامل تفاضلی در مراجع [4-8] یافت می شود).

۳. مشخصات شبکه آبرسانی مورد مطالعه (شهر تربت جام)

شهر تربت جام در قرن سوم هجری در نزدیکی ویرانه های شهر باستانی بوزیکان بنا شد و تدریجاً توسعه یافت. در حال حاضر شهرستان تربت جام تابع استان خراسان رضوی است که در مسیر راه آسفالت (مشهد- اسلام قلعه) مرز مشترک ایران و افغانستان در ۳۷-۶۰ طول شرقی و در ۱۵-۳۵ عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا حدود ۹۱۰ متر و وسعت آن بیشتر از ۱۰ کیلومتر مربع است. محدوده ۱۰ ساله طرح جامع شهر پهنه وسیعی است که از جنوب تا شمال حدود ۴۰ متر اختلاف ارتفاع دارد. آبرسانی به کلیه واحدهای مسکونی چنین شهر وسیعی با یک شبکه توزیع، موجب افزایش قطر لوله و تغییرات شدید و نامطلوب فشار آب می شود.

با توجه به شیب طبیعی زمین و شبکه عبور و مرور موجود، دو شبکه توزیع جداگانه برای تربت جام در نظر گرفته شده است. مساحت زیر پوشش شبکه توزیع شماره ۱ بدون احتساب فضاهای سبز عمومی حدود ۵۱۶ هکتار و مساحت زیر پوشش شبکه توزیع شماره ۲ حدود ۸۶۸ هکتار می باشد. شکل ۷ محدودده شبکه های توزیع آب شهر تربت جام را نشان می دهد. این شبکه به دو قسمت تقسیم شده است که هر یک توسط یک منبع مشخص تغذیه می شوند، این شبکه مجموعاً شامل ۹۷ لوله و ۷۹ گره می باشد (شکل ۷).

هدف تحقیق حاضر، یافتن مناسب ترین اندازه برای لوله های شبکه آبرسانی شهر تربت جام می باشد به طوری که هزینه لوله گذاری شبکه به حداقل ممکن برسد. کلیه مصارف آب در گره ها و طول تمام لوله ها معلوم هستند [9].



شکل ۷- محدوده شبکه های توزیع آب شهر تربت جام

۴. قیدهای طراحی شبکه آبرسانی شهر تربت جام

قیدهای موجود در این تحقیق شامل حداقل فشار و حداکثر سرعت مجاز می باشد. در این شبکه حداقل فشار در هر گره برابر ۷ متر آب و حداکثر سرعت در هر لوله ۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است این قیدها باید در کلیه گره ها و لوله ها ارضاء شوند. علت اینکه حداقل فشار مجاز ۷ متر آب در نظر گرفته شده است، محدودیت ارتفاع هیدرولیکی آب در مخازن تغذیه است که نمی تواند حداقل فشار مجاز توصیه شده در آیین نامه ها را، در کلیه گره ها با بزرگترین اندازه قطر ارضا نماید.



با توجه به تعداد زیاد لوله‌ها در شبکه تعداد متغیرهای تصمیم یا همان اندازه‌های قابل انتخاب برای هر لوله برابر ۱۰ عدد است که به دلخواه انتخاب شده است. بدیهی است که اگر تعداد متغیرهای تصمیم کمتر باشد سرعت حل مسئله و رسیدن به جواب بهینه بیشتر می‌شود و البته کارایی راه حل ارائه شده کمتر خواهد شد. در این تحقیق از فهرست بهای سال ۸۶ استفاده شده است [11] تا نتایج با کار موسویان [10] قابل مقایسه باشد.

۵. تعیین پارامترهای مسئله

مطالعات سوریبابو [2] بر روی چهار شبکه آبرسانی به نام‌های شبکه دو حلقه‌ای، شبکه هانوی، شبکه نیویورک و شبکه ۱۴ لوله‌ای انجام شد. سوریبابو هر شبکه را با ده ترکیب مختلف پارامترهای ضریب جهش و پیوند حل کرد. محدوده پارامترهای انتخاب شده برای هر شبکه متفاوت بود [2]. بهترین پارامترها که بیشترین جواب بهینه را در میان ۳۰ تلاش داشتند نیز مشخص شد. سوریبابو ملاک خاتمه بهینه‌سازی را حداکثر تعداد نسل در نظر گرفت. در مطالعات سوریبابو بهترین نتایج به ازای ضریب پیوند ۰/۴ یا ۰/۵ بدست آمد [2]. برای ضریب جهش اظهار نظر خاصی نمی‌توان داشت چرا که هر شبکه با ضرایب جهش متفاوتی به بهترین نتیجه رسید. در تحقیق حاضر یک جواب شدنی با رعایت کلیه قیود با هزینه ۱۷۵۲ هزار ریال در جمعیت اولیه گنجانده شد تا سرعت رسیدن به جواب بهینه افزایش یابد [10]. برای تحلیل شبکه آبرسانی تربت‌جام جمعیت اولیه ۲۰ برداری هر بردار شامل ۹۷ لوله با اندازه‌های مختلف در نظر گرفته شد. ضریب پیوند ۰/۵ و ضریب جهش مقداری تصادفی بین ۰/۵ تا ۰/۹ فرض شد. در این حالت برای هر پارامتر در هر بردار مقدار ضریب جهش متغیر است و عددی تصادفی در بازه ۰/۵ تا ۰/۹ انتخاب می‌شود.

۶. تشریح الگوریتم تکامل تفاضلی در شبکه آبرسانی شهر تربت جام

کد اصلی برنامه در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شد اما برای تحلیل شبکه از نرم افزار EPANET استفاده گردید، معمولا ارتباط بین محیط نرم افزار MATLAB به هنگام انتخاب قطر لوله‌ها و EPANET برای تحلیل شبکه بسیار زمان بر است. مراحل اجرای برنامه به شرح زیر می‌باشد.

گام اول: تعیین پارامترهای مسئله شامل حداکثر تعداد نسل g_{Max} ، اندازه جمعیت هر نسل n_{pop} ، تعداد لوله‌های شبکه n_{var} ، ضریب جهش F ، ضریب پیوند Cr ، تعداد متغیرهای تصمیم و قیمت واحد طول هر یک از آنها می‌باشد. اطلاعات لازم دیگر شبکه آبرسانی میزان تقاضا در هر گره، طول لوله‌های شبکه و تعریف شبکه در یک فایل قابل خواندن در MATLAB می‌باشد.

گام دوم: در این گام اندازه‌های لوله‌های تجاری در دسترس با قضاوت مهندسی طبقه‌بندی می‌شوند به این صورت که لوله‌های نزدیک به از لوله‌های بزرگتر، لوله‌های میانی از لوله با قطرهای متوسط و لوله‌های دور از منبع کوچکتر انتخاب می‌شوند. قضاوت مهندسی با توجه به میزان مصرف گره‌ای و فاصله از منبع انجام می‌شود تا فرایند جستجو در زمان کوتاهتری به نتیجه برسد.

گام سوم: در نسل اول یک بردار کاملا تصادفی از میان اندازه‌های لوله‌های تجاری تعیین می‌شود. برای اجرای سریعتر برنامه بردار هدف اولیه را یک جواب شدنی قرار می‌دهیم تا نیازی به پیدا کردن آن توسط خود برنامه نباشد. در تحقیق حاضر نیز برای مقایسه هر چه دقیق‌تر از جواب اولیه موسویان [10] استفاده شده است. همچنین می‌توان انتخاب قطرها را به صورت تصادفی به عهده کامپیوتر گذاشت.

گام چهارم: شبکه مشخص شده در گام سوم، با استفاده از اتصال به EPANET تحلیل هیدرولیکی می‌شود. قید کمینه فشار گرهی ۷ متر و بیشینه سرعت لوله ۲ متر بر ثانیه باید رعایت شود در غیر این صورت به گام دوم برمی‌گردیم. در صورتی که از جواب اولیه استفاده شود دیگر نیازی به برگشت به مراحل قبل نیست چرا که جواب اولیه تمامی قیدها را برآورده می‌کند.

گام پنجم: بردار بدست آمده به عنوان بردار هدف قرار داده می‌شود.

گام ششم: هزینه شبکه طراحی شده، شامل مجموع هزینه لوله‌ها محاسبه می‌گردد $f(X_i, g)$.

گام هفتم: جمعیت نسل اول تکمیل می‌شود و سه بردار ۹۷ مولفه‌ای نابرابر با اندازه لوله‌های تجاری مشخص X_{F1} , X_{F2} , X_{F3} از میان جمعیت بطور تصادفی انتخاب می‌شود. (شبکه آبرسانی تربت‌جام از دو شبکه مجزا تشکیل شده است اما بصورت یکجا و تحت عنوان یک شبکه بهینه‌سازی شده است).

گام هشتم: بردار واسط بدست می آید .

$$V_{i,g} = X_{r3,g} + F \cdot (X_{r1,g} - X_{r2,g}) \quad (1)$$

گام نهم: عملیات پیوند تا زمانی که تمام پارامترهای بردار هدف و بردار واسط پیوند بخورند ادامه می یابد (n_{var} تعداد لوله های شبکه آبرسانی برابر ۹۷ لوله است). در این مرحله پارامترهایی که از بردار واسط بدست آمده اند با توجه به اعمال ضرب F قطرهای لوله های تجاری نیستند لذا به قطرهای تجاری نزدیک تبدیل می شوند (در تحقیق حاضر از روش نزدیک ترین عدد صحیح استفاده می شود [4]).

$$u_{i,j,g+1} = \begin{cases} v_{i,j,g} & \text{if } \text{Rand}_{i,j} \leq Cr \\ x_{i,j,g} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

گام دهم: هزینه شبکه جدید (بردار آزمایشی) و شبکه قدیم مقایسه می شد و شبکه بهینه به عنوان بردار هدف نسل بعدی انتخاب می شود.

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

گام یازدهم: هزینه شبکه طراحی شده ($f(x_{i,g+1})$) بررسی می شود.

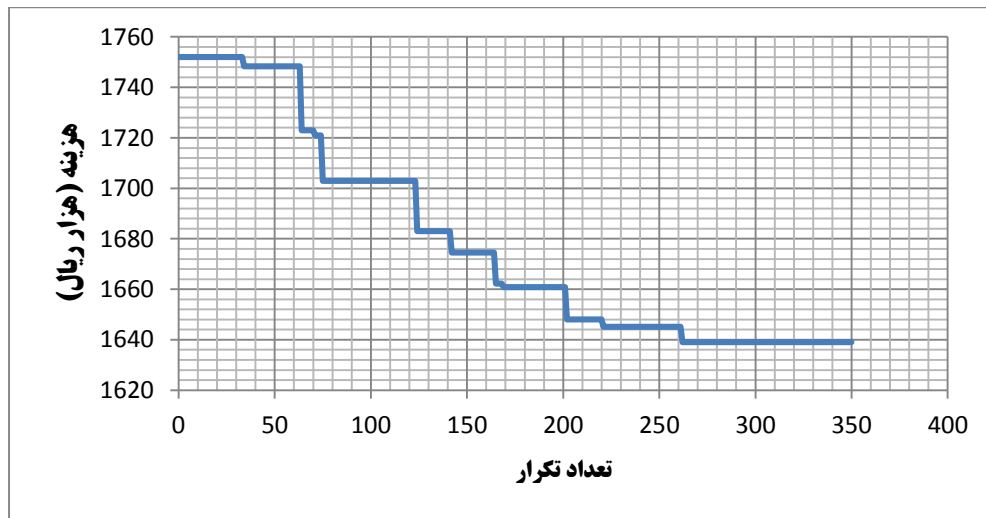
گام دوازدهم: قیدهای فشار و سرعت توسط تحلیل هیدرولیکی شبکه با نرم افزار EPANET کنترل می شود. چنانچه قیدها برآورده نشدند به گام ۷ برمی گردیم و در صورت رعایت تمامی قیدها بردار بعدی جمعیت را بدست می آوریم.

گام سیزدهم: در صورتی که جمعیت کامل نشده باشد به گام ۶ باز می گردیم.

گام چهاردهم: چنانچه به حداکثر تعداد نسل نرسیده باشیم به گام ۵ باز می گردیم و در صورتی که به حداکثر تعداد نسل برسیم بهترین جواب را خواهیم داشت.

۷. نتایج

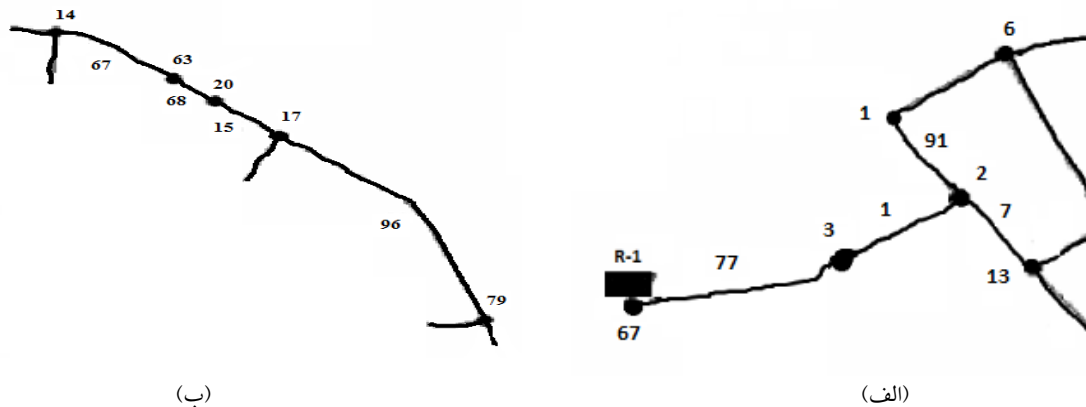
در شکل ۱۰ تاریخچه حرکت به سمت جواب بهینه به صورت نمودار تعداد تکرار- هزینه نشان داده شده است. در این نمودار در نسل اول هزینه شبکه ۱۷۵۲ هزار ریال قرار داده شد، پس از ۲۶۱ نسل هزینه شبکه ۱۶۳۹/۱ هزار ریال شد و تا نسل ۳۵۰ ام تغییری در جواب حاصل نشد [9].



شکل ۱۰- نمودار تعداد تکرار- هزینه با استفاده از روش تکامل تفاضلی

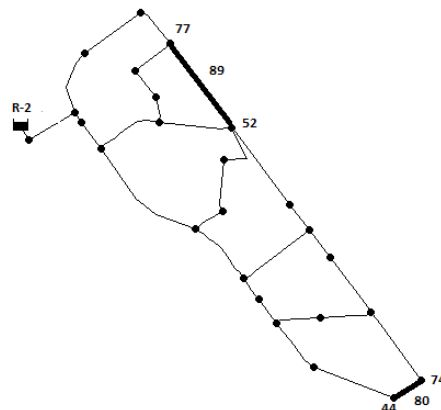
۸. تحلیل جواب

یکی از نقاط بحرانی شبکه آبرسانی، گره شماره ۶۷ در شکل ۱۱-الف با فشار ۷/۱۱ متر آب است که دقیقاً اولین گره اتصالی به مخزن شماره ۱ می‌باشد. هرگونه کاهش قطر در شبکه متصل به مخزن شماره ۱، موجب کاهش فشار در این گره خواهد شد. همچنین سرعت در لوله شماره ۷۷ برابر ۱/۸ متر بر ثانیه می‌باشد. این موضوع نیز نشان می‌دهد که جواب بدست آمده از بهینه‌سازی، یک جواب بسیار خوب می‌باشد چرا که با هر تغییر قطر در شبکه الف سرعت لوله ۷۷ از سرعت مجاز بیشتر و فشار گره ۶۷ از فشار مجاز کمتر می‌شود [9].



شکل ۱۱- قسمت هایی از شبکه آبرسانی شماره ۱ شهر تربت جام

گره‌های نشان داده شده در شکل ۱۱-ب، گره‌های بحرانی در شبکه شماره ۱ شکل ۱۱-الف هستند که در تعیین نتیجه موثر می‌باشند چرا که در لوله‌های ۱۵، ۶۷، ۶۸ و ۹۶ سرعت آب کمتر از ۰/۳ متر بر ثانیه است. اگرچه سرعت حداقل جزء قیود مسئله نبود. به نظر می‌رسد ظاهراً تقاضای کم گره‌های ۶۳ و ۲۰ و هد فشار حداقل در نزدیکترین گره متصل به مخزن که ۷/۱۱ متر است عامل کم شدن سرعت در لوله‌های مذکور می‌باشد. با مقایسه قطر لوله‌های بدست آمده در روش هیبرید توسط موسویان [10] و تکامل تفاضلی [9]، قطر لوله‌های شماره ۸۰ و ۸۹ در شکل ۱۲ از ۱۱۰ و ۲۵۰ میلیمتر به ۶۳ و ۲۰۰ میلیمتر کاهش یافته‌اند که باعث کمتر شدن هزینه روش تکامل تفاضلی گردیده است. روش تکامل تفاضلی هزینه شبکه شکل ۱۲-ب را بهبود بخشیده است و تأثیری در نتایج شبکه شکل ۱۱-الف نداشته است.



شکل ۱۲- لوله‌های بهبود یافته در شبکه آبرسانی شماره ۲ شهر تربت جام



۹. ارزیابی هزینه‌ها در روش تکامل تفاضلی با سایر روش‌های بهینه‌سازی

موسویان [10] شبکه آبرسانی تربت‌جام را با روشهای الگوریتم ژنتیک، جستجوی هارمونی، کلونی مورچه‌ها و روش ابتکاری هیبرید که از ادغام این سه الگوریتم بدست آمده است تحلیل نمود. هزینه بهینه‌سازی شده شبکه تربت‌جام با هر یک از روش‌های ذکر شده در جدول ۲ درج شده است. هزینه روش تکامل تفاضلی محاسبه شده برای شبکه آبرسانی تربت‌جام از تحقیق حاضر نیز در این جدول آمده است. الگوریتم تکامل تفاضلی از چهار روش ارائه شده توسط موسویان هزینه کمتری بدست می‌دهد. الگوریتم تکامل تفاضلی با ۳۵۰ تکرار در مقایسه با روش جستجوی هارمونی و الگوریتم ژنتیک با ۱۶۰۰ تکرار، با تعداد تکرار کمتری به جواب بهینه می‌رسد اما روش‌های کلونی مورچه‌ها و هیبرید با ۱۸۰ و ۱۶۰ تکرار به جواب بهینه رسیده‌اند.

جدول ۲- مقایسه چند روش بهینه‌سازی بر روی شبکه آبرسانی تربت‌جام

روش بهینه سازی	الگوریتم ژنتیک GA	جستجوی هارمونی HS	کلونی مورچه‌ها ACO	هیبرید HYBRID	تکامل تفاضلی DE
هزینه (هزارریال)	۱۶۶۲/۹	۱۷۰۰/۸	۱۶۷۶/۹	۱۶۴۵/۶	۱۶۳۹/۱
تعداد تکرار	۱۶۰۰	۱۶۰۰	۱۶۰	۱۸۰	۳۵۰

۱۰. نتیجه‌گیری

الگوریتم تکامل تفاضلی در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب رسانی تربت‌جام با ۹۷ لوله و ۷۹ گره با اعمال قیود حداقل فشار و حداکثر سرعت با موفقیت به کار گرفته شد. طرح بهینه در مقایسه با الگوریتم‌های ژنتیک، کلونی مورچه‌ها، جستجوی هارمونی و روش هیبرید مقرون به صرفه‌تر بود. تعداد تکرار روش تکامل تفاضلی از جستجوی هارمونی و الگوریتم ژنتیک به مراتب کمتر و از کلونی مورچه‌ها و روش هیبرید کمی بیشتر بود.

۱۱. مراجع

- [1] Price, K., Storn, R. and Lampinen, A. 2005. *Differential Evolution a Practical Approach to Global Optimization*. Springer, New York.
- [2] Suribabu, C. 2010. Differential Evolution Algorithm for Optimal Design of Water Distribution Networks. *Hydroinformatics*, 12(1), 66-81.
- [3] Vasan, A., Slobodan, P., and Simonovic. 2010. Optimization of Water Distribution Network Design using Differential Evolution. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(2): 279-287.
- [4] Godfrey, C. and Donald, S. 2009. *Differential Evolution: A Handbook for Global Permutation-Based Combinatorial Optimization*. 1st edition, Springer, New York.
- [5] Price, K., Storn, R. and Lampinen, A. 2005. *Differential Evolution a Practical Approach to Global Optimization*. Springer, New York.
- [6] Price, K., Storn, R. 2001. Differential Evolution homepage, <http://www.ICSI.Berkeley.edu/~storn/code.html>. Visited: 2008/9.
- [7] Price, K. 1999. An Introduction to Differential Evolution. in *New Ideas in Optimization*, D. Corne (ed.), McGraw Hill Inc., USA, 79-108
- [8] کلامی، م. ۱۳۹۰. الگوریتم تکامل تفاضلی (www.Matlab.com, Visited: 2011/11).
- [9] شاهی، ب. ۱۳۹۱. کاربرد الگوریتم تکامل تفاضلی در بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی بر روی شبکه آبرسانی شهر تربت‌جام). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد
- [10] موسویان، م. ن. ۱۳۸۶. بررسی الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی بر روی شبکه آبرسانی شهر تربت‌جام). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد
- [11] فهرست بها ۱۳۸۶