



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آبرسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و گرم شبتاب در مدل Relopt (مطالعه موردی: شهرک شهرداری کرمان)

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

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه زابل، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل،

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: هزینه بالای اجرای سیستم‌های آبرسانی شهری، همراه با پیچیدگی‌های طراحی و مشکل‌های کارکرد حال حاضر آن‌ها، بهینه‌سازی طرح شبکه آبرسانی قابل جایگزینی این سیستم‌ها را، قبل از اعمال هر گونه تغییر و یا ساخت و اضافه نمودن هر انشعاب در آن‌ها را به نیاز اولیه و اساسی مدیران در این زمینه تبدیل کرده است. به دلیل پیچیدگی غیرخطی و منحصر به فرد طراحی شبکه‌های آبرسانی، مهندسان در سال‌های اخیر این مشکل را با استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم‌های جستجوگر حل می‌کنند. این الگوریتم‌ها با جستجوی جهت‌دار دامنه، در انتخاب مشخصات سیستم بهینه، مهندسان مطمئن می‌سازند که بهترین گزینه بهینه نهایی ممکن را یافته‌اند.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حال حاضر به مطالعه موردی در یکی از شهرک‌های شهر کرمان و پیدا کردن طرح شبکه آبرسانی بهینه آن به کمک الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و الگوریتم گرم شبتاب و سپس شبیه‌سازی شبکه با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS پرداخته شد. در این روش ابتدا شبکه آبرسانی منطقه مورد مطالعه در محیط WaterGEMS مدل شده و سپس مشخصات شبکه آبرسانی به الگوریتم‌های بهینه‌سازی وارد گشته و با استفاده از محدودیت‌های استاندارد فشار و سرعت، گزینه‌های بهینه این دو الگوریتم خارج شد. پس از اجرای مجدد نتایج به دست آمده از مدل‌های بهینه‌سازی شده در مدل WaterGEMS و کنترل محدودیت‌ها، به برآورد هزینه و مقایسه هوشمند آن‌ها با یکدیگر در زمینه شرایط هیدرولیکی و هزینه نهایی شبکه پرداخته شد. این گزینه‌ها شامل کنترل‌های هیدرولیکی و کنترل پاسخگویی سیستم در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌باشند. در مرحله کنترل هیدرولیکی، محدودیت سرعت جریان در لوله‌ها، حداقل فشار مورد نیاز در هر گره مصرف و قابلیت آبرسانی در ساعات مختلف شبانه‌روز که نیاز مصرف تغییر می‌کند، کنترل می‌شود. در مرحله کنترل‌های زمانی، مشخصات هیدرولیکی سیستم در ماه‌های مختلف سال و نیز در دوره طول عمر مفید مد نظر شبکه که شامل افزایش جمعیت منطقه و در نتیجه افزایش نیاز مصرف می‌شود، بررسی شد.

یافته‌ها: بررسی نتایج مدل‌های بهینه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک سریع آشفته به میزان ۳۷/۷ درصد و الگوریتم گرم شبتاب نیز به مقدار ۳۴/۴ درصد توانسته‌اند تابع هزینه را نسبت به حالت تعویض لوله‌ها و قطعات موجود شبکه و بدون بهینه‌سازی شبکه، کاهش دهند. این در حالی است که شبکه از لحاظ هیدرولیکی نیز در محدوده استاندارد بوده و در مواردی حتی به بهبود شرایط توزیع فشار نیز منجر شده است.

* مسئول مکاتبه: mohammadrezapour@uoz.ac.ir

نتیجه‌گیری: در نهایت می‌توان بیان نمود که هر دو الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده در این مطالعه توانسته‌اند به کاهش چشمگیر هزینه‌های پروژه ضمن بهبود شرایط هیدرولیکی تامین فشار و جریان آب متغیر مورد نیاز در ساعات مختلف شبانه‌روز، هفته، ماه و سال دست یابند.

واژه‌های کلیدی: شبکه آبرسانی، بهینه‌سازی، کرمان، WaterGEMS

مقدمه

مسأله حداقل نمودن هزینه ساخت شبکه‌های آبرسانی در چند دهه اخیر مد نظر بسیاری از طراحان و پژوهش‌گران قرار گرفته است. این امر از دو طریق ۱، بهینه‌سازی شبکه جهت دارا بودن حداقل لوله‌های مورد نیاز و یا ۲، بهینه‌سازی قطر لوله‌های موجود در شبکه به منظور کاهش هزینه‌های ساخت انجام می‌گردد (۲۱). مشکل اصلی در بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی پیدا کردن حداقل هزینه سیستم است، در حالی که سیستم قادر به تامین فشار و نیاز آب در هر گره باشد. در ضمن مسأله هزینه‌ها، رابطه غیرخطی بین دبی لوله، افت فشار و میزان دسترسی به سائزهای گسسته لوله، طراحی بهینه سیستم آبرسانی شهری را به وضعیت چالش برانگیزی برای ابزار بهینه‌ساز تبدیل می‌کند. در روش‌های بهینه‌سازی عمومی تنها به مینیمم‌سازی هزینه پرداخته می‌شود. اما این عمل در سیستم‌های آبرسانی ممکن است باعث کاهش عملکرد و راندمان سیستم شود. بنابراین مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه برای کاهش حجم زیادی از هزینه این سیستم‌ها و افزایش راندمان کارکرد آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر، از میان روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم‌های طبیعی برای جستجوی پاسخ مسایل چندهدفه که معمولاً راه‌حل تحلیلی ندارند، مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند. کارایی این الگوریتم‌ها بعد از چندین سال مواجهه با مسایل متفاوت و مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها، هر کدام در زمینه خاصی مورد اثبات قرار گرفتند. در این میان الگوریتم‌های تکاملی در زمینه مسایل آبرسانی مورد

تأیید کاربران و کارشناسان این رشته قرار گرفته‌اند. از الگوریتم‌های محبوب مورد استفاده در زمینه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک می‌باشد که در همه مسایل مهندسی استفاده‌های زیادی شده است. در خصوص بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی نیز بارها از آن استفاده شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. موسویان و همکاران (۲۰۰۹) با در نظر گرفتن حداقل فشار مورد نیاز در هر گره و حداکثر سرعت به انتخاب قطرهای مناسب در لوله‌ها پرداختند و با استفاده از سه الگوریتم فراابتکاری (ژنتیک، کلونی مورچه‌ها و جستجوی هارمونی) و یک الگوریتم هیبرید به مطالعه موردی شبکه آبرسانی تربت جام پرداختند (۱۲). آن‌ها پس از مقایسه نتایج با مشاهدات تجربی نشان دادند که الگوریتم هیبرید بهتر از سایر روش‌ها به جواب بهینه همگرا می‌شود و همچنین الگوریتم ژنتیک نیز بهتر از کلونی مورچه‌ها و جستجوی هارمونی توانایی رسیدن به پاسخ بهینه را دارد. از الگوریتم ژنتیک پارامترهای مؤثر بر تعیین نرخ شکست لوله‌های شبکه آبرسانی توسط سلطانی و طبری (۲۰۱۱) استفاده شد و همچنین ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی نیز تعیین شد (۱۹). نورانی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی لوله‌های پستاک سد بتنی پرداختند (۱۴). نتایج نشان از قابلیت بالای الگوریتم ژنتیک در کاهش ابعاد این لوله‌ها دارد. حقیقی (۲۰۱۳) با استفاده از عملگر آستانه پویا در الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی اقتصادی شبکه آبرسانی پرداخت (۵). نتایج این روش نشان از افزایش کارایی فرآیند جستجو و افزایش امید

پیدا کردن پاسخ بهینه مطلق بود. در سال ۲۰۱۳، شاهی و همکاران از الگوریتم تکامل تفاضلی در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهری پرداختند (۱۸). نتایج بیانگر عملکرد بهتر این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچه‌ها و روش هیبرید را نشان می‌دهد. سبازپور و همکاران (۲۰۱۲) الگوریتم فراابتکاری زنبورعسل را برای شبکه آبرسانی شهر "لنگرود" مورد استفاده قرار دادند و توانستند به تعیین ضریب هیزن- ویلیامز در طول لوله‌ها و اصلاح ضریب میزان برداشت گره‌های اصلی شهر پردازند (۱۷). کترین و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از استراتژی دولایه‌ای سنسورهای کنترل هیدرولیکی توانستند به بهبود شرایط هیدرولیکی و کیفی شبکه آبرسانی در طول زمان در ضمن کاهش فضای مورد نیاز حافظه این سنسورها دست یابند (۷). بیگی و همکاران (۲۰۱۴) با کاربرد برهم‌نهی مدل‌ها به نام مدل تضاد- صریح، استفاده از الگوریتم ژنتیک آشفته سریع (FMGA) و ترکیب مدل Nash و Young به این نتیجه رسیدند که در این روش ۸۰ درصد برنامه‌های سودمند احتمالی هر دو گروه به‌رمنند از شبکه به‌صورت همزمان به بازدهی می‌رسند (۲). مورلی و تریکاریکو (۲۰۱۴) با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی پایه- جمعیتی به افزایش کارایی و توسعه شبکه‌های توزیع آب پرداختند (۱۰). آن‌ها همچنین از شبیه‌ساز EPANET جهت اطمینان از عملی بودن مدل بهینه‌سازی و پیدا کردن نقاط و گره‌های نشستی از شبکه استفاده کردند. سوسا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از دو مدل بهینه‌سازی شامل مدل حداقل هزینه جهت پیدا کردن لوله‌های نیازمند تعویض و تعیین بهترین سایز آن‌ها جهت جایگزینی و مدل تعیین مشخصات بهینه برای پمپ و شیرهای خودکار به ارائه راهکارهایی در حل مشکل شبکه آبرسانی C-Town پرداختند (۲۰). این روش منجر به دستیابی نتایج خوبی در کاهش هزینه شبکه و مشکلات

محیطی و اقتصادی اتلاف آب شد. متولرا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات به بهینه‌سازی شبکه آبرسانی درختی پرداختند (۱۳). در مقایسه نتایج الگوریتم PSO با الگوریتم ژنتیک، جواب‌ها از کیفیت بهتر و زمان پاسخ‌دهی کوتاه‌تری برخوردار بودند. رحمانی و بهزادیان (۲۰۱۴) به بهینه‌سازی طراحی شبکه آبرسانی شامل سایز لوله‌ها، تغییر در مخازن و نصب شیرهای خودکار با استفاده از الگوریتم تفاضل تکاملی چندهدفه متوالی پرداختند (۱۵). بارلو و تانیمبو (۲۰۱۴) با استفاده از الگوریتم چندهدفه تقلیدی به بهینه‌سازی شبکه آبرسانی پرداختند (۱). الگوریتم تقلیدی نمونه‌ای از هیبرید قوی شده الگوریتم ژنتیک است که در این پژوهش جهت پیدا کردن حداقل هزینه استفاده شده است. این مدل در تمامی موارد پاسخ‌های بهتری از الگوریتم ژنتیک معمولی به‌دست داده است. راسخ (۲۰۱۴) با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی پویا به مدیریت انطباق‌پذیر شبکه آبرسانی شهری پرداخت (۱۶). با وجود مطالعات فراوانی که تاکنون در بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی انجام شده است، به دلیل تمایل پژوهش‌گران به کاهش خطا در محاسبات، این موضوع هنوز جای مطالعه و بررسی داشته و مورد علاقه پژوهش‌گران آب می‌باشد. در این راستا استفاده از توانمندی الگوریتم‌های فراکوشی در سال‌های اخیر به‌شدت مورد توجه واقع گردیده است. یکی از الگوریتم‌هایی که در حال حاضر توانایی خوبی در حل مسایل غیرخطی دارد، الگوریتم کرم شب‌تاب است. از پژوهش‌های استفاده شده در منابع آب با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب می‌توان به حسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) و مشتاقی‌یزدانی و شریعت‌پناهی (۲۰۱۲) برای بهبود عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب از روش تغییر پارامترها و برای برقراری تعادل بین جست‌وجوهای سراسری و محلی اشاره نمود (۶، ۱۰). همچنین گروسی‌نژاد و بزرگ‌حداد (۲۰۱۳)

پیدا کردن و انتخاب کم‌ترین هزینه سیستم ضمن کارآمدی آن پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل شبکه آبرسانی شهرک شهرداری واقع در قسمت شمال‌غربی شهر کرمان به فاصله در حدود ۱۰ کیلومتری از تصفیه‌خانه مرکزی قرار گرفته و با وسعت تقریبی ۱۰۰ هکتار، حدود ۲۵۰۰ قطعه زمین و در حال حاضر دارای جمعیت تخمینی ۵ هزار و پانصد نفر می‌باشد. این شهرک با تعداد ۱۷۳ خط لوله و حدود ۲۵۰۰ اشتراک مصرف یکی از بزرگ‌ترین شهرک‌های تحت پوشش سیستم آبرسانی شهر کرمان می‌باشد. میزان سرانه مصرف روزانه در نظر گرفته شده مطابق با اعلام شرکت آب منطقه‌ای استان، ۲۰۰ لیتر در شبانه‌روز است. این میزان در شهرهای بزرگ مانند تهران ۲۷۰ لیتر بر روز و در کشورهای کاملاً صنعتی حدود ۳۰۰ لیتر در ۲۴ ساعت می‌باشد.

در پژوهشی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب مسأله بهره‌برداری بهینه از مخزن سد آیدوغموش را مورد بررسی قرار دادند که نتایج به‌دست آمده از اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب با نتایج روش برنامه‌ریزی غیرخطی در مسأله بهره‌برداری از مخزن سد، کم‌تر از یک درصد اختلاف داشته است (۳). در این پژوهش از الگوریتم‌های ژنتیک سریع آشفته و کرم شب‌تاب متصل شده با نرم‌افزار WaterGEMS، 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. بنابراین در پژوهش پیش‌رو از نرم‌افزار WaterGEMS جهت مدل کردن هرچه بهتر شبکه همراه با تمامی جزئیات مورد نیاز استفاده گردید و سپس با استفاده از گزینه‌های تغییر سناریوی نرم‌افزار همگام با تعیین بهترین گزینه جایگزین با استفاده از الگوریتم‌های مذکور که کارایی و همخوانی خود در این‌گونه مسایل را قبلاً به اثبات رسانده‌اند، به

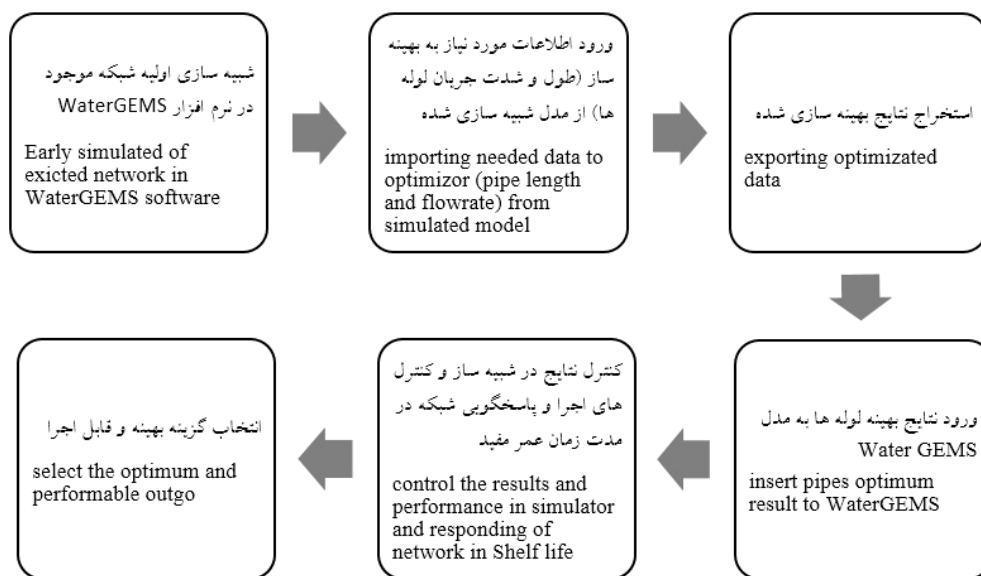


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the study area.

۱. جمع‌آوری اطلاعات سیستم که شامل تعیین اجزاء شبکه آبرسانی مانند تعداد لوله‌ها، اتصالات، پمپ، منبع و غیره و مشخص کردن مکان آن‌ها می‌شود.
۲. استخراج داده‌های مورد نیاز از WaterGEMS و وارد کردن به مدل الگوریتم‌های بهینه‌سازی و سپس استخراج گزینه‌های بهینه و کنترل و تنظیم آن‌ها جهت ورود به WaterGEMS.
۳. اجرای مدل و به‌دست آوردن بهترین گزینه‌های خروجی.
۴. بررسی تفاوت‌های نتایج مختلف و آنالیز دلایل برتری این گزینه‌ها نسبت به شبکه‌های دیگر.
۵. تجزیه و تحلیل نتایج و خروجی‌های مدل از دیدگاه مهندسی و ارائه پیشنهادات.

ساخت مدل شبکه آبرسانی در نرم‌افزار WaterGEMS: نرم‌افزار WaterGEMS با قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای Auto CAD, Arc-GIS و نرم‌افزارهای شرکت Microsoft یک پل ارتباطی کامل در زمینه طراحی شبکه‌های آبرسانی را به وجود آورده که ضمن قابلیت بالای خود نرم‌افزار در شبیه‌سازی سیستم شامل انواع لوله‌ها، مخازن، اتصالات و همه جزئیات فیزیکی و شیمیایی موجود، توانایی مدل کردن شبکه آبرسانی تا حد امکان نزدیک به واقعیت را به کاربر می‌دهد. ساخت مدل شبکه آبرسانی در نرم‌افزار WaterGEMS که مدل‌سازی سیستم‌های انتقال آب تحت فشار را به عهده دارد و سپس تجزیه و تحلیل آن با استفاده از روش‌های بهینه‌ساز مستلزم پی‌مودن مراحل زیر است که به‌صورت خلاصه در شکل ۲ نشان داده شده است:



شکل ۲- مراحل اجرای مدل Relopt.

Figure 2. Relopt model run steps.

MATLAB وارد می‌شود. مدل طراحی شده با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک سریع آشفته و کرم شبتاب، تمامی گزینه‌های ممکن بهینه را تعیین کرده و بهترین گزینه با مقایسه مهندسی انتخاب می‌شود.

پس از مدل کردن 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 الگوریتم‌های بهینه‌ساز ساخته شده در نرم‌افزار

که در آن، n_4 تعداد گره‌های با فشار مورد نیاز مشابه.

۳. محدوده سرعت در لوله‌ها: این محدوده در لوله‌های آبرسانی حدود حداقل ۰/۵ متر بر ثانیه جهت جلوگیری از رسوب‌گذاری و ایست جریان و حداکثر ۲ متر بر ثانیه جهت جلوگیری از آسیب‌های فرسایش و تشدید امواج و ضربه قوچ می‌باشد (قید سرعت).

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad i = 1, \dots, n_p \quad (۴)$$

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

$$\sum_{i \in n1k} Q_i - \sum_{i \in n2k} Q_j = Q_{extk} \quad k = 1, \dots, n \quad (۵)$$

که در آن، Q_i دبی لوله n_1 که به گره k ام وارد می‌شود، Q_j دبی لوله n_2 که از گره k ام خارج می‌شود، Q_{extk} مقدار مصرف (مثبت) و یا تامین آب (منفی) در شبکه.

ت) معادله بقاء انرژی در m حلقه و یا دو گره با هد معلوم که یعنی یک حلقه باز.

$$\sum_{i \in n_sj} K_{1i} Q_i^\alpha = \Delta E_j \quad j = 1, \dots, m \quad (۶)$$

که در آن، K_{1i} مقاومت هیدرولیکی برای n_{3j} مجموعه لوله متعلق به حلقه j ، ضریب افت در معادله مورد استفاده، 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.

الگوریتم ژنتیک سریع آشفته (FMGA): ایده اصلی الگوریتم‌های تکاملی^۱ در سال ۱۹۶۰ میلادی توسط ریچنبرگ مطرح گردید. الگوریتم‌های ژنتیک که منشعب از این نوع الگوریتم‌ها می‌باشد، در حقیقت

بهترین گزینه بهینه ممکن خروجی مدل، دوباره به مدل WaterGEMS وارد شده و صحت محاسبات پس از اجرای شبکه، تأیید می‌شود. سپس با استفاده از توانایی نرم‌افزار در برآورد ریالی پروژه، کم‌ترین هزینه در بهترین شرایط هیدرولیکی شبکه آبرسانی با نگاه کارشناسی انتخاب خواهد شد.

تابع برازش یا همان تابع هدف همراه با قیود مؤثر بر سیستم آبرسانی در ادامه توضیح داده شده‌اند.
الف) تابع هدف

$$C = \sum_{i \in D} \sum_{j=1}^{n_p} c_i L_{ij} \quad (۱)$$

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

که در آن، c_i هزینه واحد طول (هدف نهایی مدل، مینیمم‌سازی این مقدار است)، 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)، n_d قطر لوله در دسترس (قطرهای استاندارد لوله‌های پلی‌اتیلن از سایز ۴۰ الی ۴۰۰ میلی‌متر) و n_p تعداد لوله‌های درون شبکه (تعداد ۱۷۰ خط لوله).

ب) قیود:

۱. قطرهای ممکن برای لوله‌ها (قید ناپیوسته سایز لوله‌ها).

$$d_{\min} \leq d_i \leq d_{\max} \quad i = 1, \dots, n_p \quad (۲)$$

۲. فشار حداقل مورد نیاز و فشار حداکثر در نظر گرفته شده در ریسک شکست، حداقل حدود ۱۵۰ کیلوپاسکال در نقاط مصرف، حداکثر فشار در لوله‌ها با توجه به فشار قابل تحمل لوله مورد استفاده تعیین می‌شود (قید فشار).

$$\text{Pr}_{\min} \leq \text{Pr}_j \leq \text{Pr}_{\max} \quad j = 1, \dots, n_4 \quad (۳)$$

روش جستجوی کامپیوتری بر پایه الگوریتم‌های بهینه‌سازی و براساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌ها است که توسط جان هلند (۱۹۷۰) در دانشگاه میشیگان مطرح شد (۲). در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته استفاده شده که در اینجا به تفاوت‌های اصلی آن با الگوریتم ژنتیک اشاره می‌شود. در الگوریتم ژنتیک معمولی محل ژن ویژه در کروموزوم مشخص است، اما در الگوریتم ژنتیک سریع آشفته محل و مقدار ژن به کروموزوم بستگی دارد. بنابراین یک کروموزوم می‌تواند بیش از یک مقدار برای یک جایگاه داشته باشد. به این مورد بیش تشخیص می‌گویند. در این موارد معمولاً گزینه اول استفاده می‌شود. در موارد کم تشخیص، تمامی جایگاه‌های کروموزوم پوشیده نشده‌اند. در این موارد مقادیر موجود در یک کروموزوم قالب اصلی قرار می‌گیرند که یک مقدار برای تمامی جایگاه‌ها دارد، سپس این قالب مکان‌های خالی ژن را پر می‌کند. در مورد جمعیت، تفاوت با الگوریتم ژنتیک معمولی این است که تمامی پاسخ‌های ممکن در جمعیت اولیه پخش می‌شوند. از آن‌جا که در الگوریتم ژنتیک سریع آشفته این امر می‌تواند زمان بر باشد، یک مدل ابداع شده به انتخاب زیرمجموعه‌های احتمالی پاسخ و استفاده از آن‌ها در ایجاد جمعیت می‌نماید (۴). در قسمت تولید نسل جدید که بخش مهم و حساس الگوریتم ژنتیک است، در الگوریتم ژنتیک آشفته سریع این قسمت توسط روشی به نام قطع-پیوند جایگزین شده که اساساً مشابه روش معمول است با این تفاوت که نقطه جدایی در هر کروموزوم را بر حسب تصادف انتخاب می‌کند. این روش با توجه به اندازه متفاوت کروموزوم‌ها، استفاده می‌شود و در ضمن این نقطه بر اساس مرغوبیت کروموزوم انتخاب می‌شود (۲).

الگوریتم کرم شب‌تاب (FA): الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع کرم شب‌تاب در سال ۲۰۰۵ توسط کریشنا ناند و گهوز ارائه شده است (۳). کریشنا ناند و گهوز در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ مبانی نظری این الگوریتم را توسعه داده‌اند. نوری که کرم‌های شب‌تاب از خود ساطع می‌نمایند می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. به‌عنوان مثال برای جذب طعمه و شکار آن، یا برای جذب سایر اعضای گروه (جذب جنس مخالف) مورد استفاده قرار گیرد. به هر حال، این نور جذاب کرم‌های شب‌تاب، پدیده قابل توجه و جالبی بوده است که با الهام از آن یک الگوریتم فراابتکاری توسعه داده شده است. در الگوریتم کرم شب‌تاب، کرم‌های شب‌تاب به‌صورت تصادفی در فضا حرکت می‌کنند و میزان نور ساطع شده بیش‌تر باعث جذابیت بیش‌تر آن کرم شب‌تاب می‌شود و از طرفی با افزایش فاصله از میزان این نورانیت و در نتیجه از جذابیت کرم شب‌تاب کاسته می‌شود. به همین دلیل یک کرم شب‌تاب حتی با نورانیت بیش‌تر ولی در فاصله بسیار دور جذابیت کم‌تری برای افراد دیگر گروه یا طعمه می‌تواند داشته باشد. شدت نور در فاصله r به‌صورت $I = I_0 e^{-\gamma r}$ می‌باشد (۲۲).

میزان نورانیت و جذابیت از ویژگی‌های کرم‌های شب‌تاب در الگوریتم کرم شب‌تاب است. میزان شدت نور در فاصله r یک منبع نوری نقطه‌ای که شدت نور آن I_0 است برابر با I_0 / r^2 می‌باشد. که در الگوریتم کرم شب‌تاب را منبع نور نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود. با ترکیب دو فرمول جذب نور $I = I_0 e^{-\gamma r}$ و تضعیف نور $I = I_0 / r^2$ در نهایت رابطه ۶ به‌دست خواهد آمد و برای نشان دادن میزان جذابیت (β) دقیقاً فرمول‌ها شبیه فرمول‌های بالا و رابطه ۷ بوده که و در حالت کلی به‌صورت رابطه ۸:

نتایج و بحث

در حال حاضر جنس لوله‌های اصلی توزیع آب به‌طور عموم آزیست بوده، لوله‌های آزیست از سیمان، ماسه و الیافی معدنی به نام آزیست (پنبه نسوز) ساخته می‌شوند. این نوع لوله به‌علت قیمت تمام شده پایین در سال‌های گذشته بیش‌ترین مورد مصرف را در شبکه‌های آبرسانی داشته است و هم‌اکنون نیز با توجه به تنوع لوله‌های ساخته شده در داخل کشور لوله آزیست بیش‌ترین مورد مصرف را دارا است. لوله‌های آزیست در برابر فشار داخلی و خارجی و همچنین ضربه آسیب‌پذیر بوده و دارای خاصیت رسوب‌پذیری به‌نسبت بالایی می‌باشند، ولی در برابر عوامل شیمیایی و خوردگی بسیار مقاومند. همچنین به‌علت 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 می‌شود. اما برتری‌های این نوع لوله اهمیت زیادی در سیستم آبرسانی ندارد، ولی ضریب شکست بالا و همچنین فرسایش‌پذیری آن‌ها، این لوله‌ها را غیرقابل اعتماد می‌سازد. این نواقص، مدیران را در تصمیم‌گیری دچار مشکل ساخته است.

هدف کلی از تهیه یک شبکه بهینه جایگزین، داشتن یک طرح کامل و جامع با آینده‌نگری است تا در زمان تغییرات یا تعویض لوله‌ها از سعی و خطا جلوگیری شود و طبق طرح‌های موجود به اصلاح سیستم پرداخته شود. سیستم آبرسانی مدل شده شامل ۱۷۳ خط لوله مجزا و ۱۶۴ گره است. همان‌گونه که در مواد و روش‌ها توضیح داده شد، حداکثر تراکم جمعیت این منطقه طبق قوانین شهرسازی شهرداری (تعداد طبقات در خیابان‌کشی‌های ۸، ۱۰ و ۱۲ متری) و اعلام نرخ جمعیتی سازمان ثبت و احوال استان (تعداد افراد در هر خانواده)، حداکثر جمعیت این منطقه در طول دوره ۱۰ ساله (حداقل طول عمر مفید شبکه) به حدود حداکثر ۸/۵ هزار نفر خواهد رسید. محاسبات و طراحی‌های پیش‌رو بر طبق این آمار

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \approx \frac{I_0}{1 + \gamma r^2} \quad (7)$$

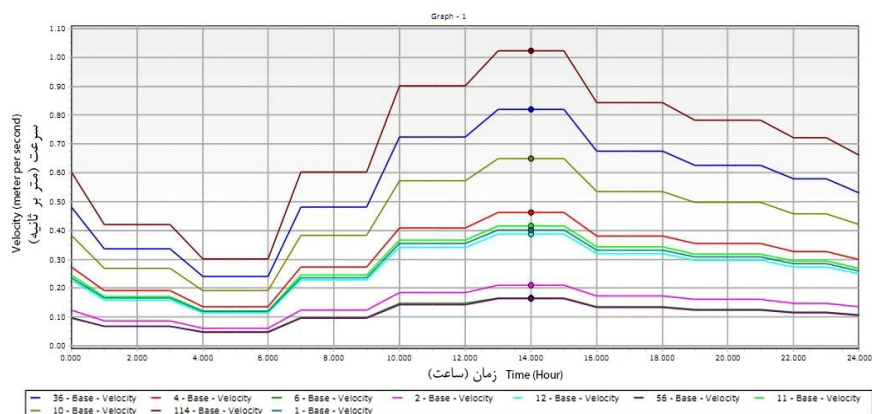
$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^m} \approx \frac{\beta_0}{1 + \gamma r^m} \quad (8)$$

در این رابطه m یک عدد نامنفی بوده و $m=0$ به این معنی است که میزان جذابیت در هر فاصله‌ای به یک اندازه است و هرچه مقدار m بیش‌تر باشد نشان‌دهنده این است که با افزایش فاصله، از میزان جذابیت کرم شبتاب به مقدار بیش‌تری کاسته می‌شود. یا به‌عبارت دیگر با افزایش فاصله از میزان جذابیت کاسته نمی‌شود (m هیچ‌گاه صفر نمی‌شود و مقدار آن را همیشه بزرگ‌تر از یک در نظر می‌گیرند). در فرمول‌های بالا از γ استفاده شده است و به‌دلیل این‌که γ تابعی از موقعیت فضایی است و از جنس عکس مجذور فاصله است؛ بنابراین توصیه می‌شود که از پارامتر Γ که $\Gamma = \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$ استفاده شود زیرا این پارامتر دیگر به موقعیت فضایی وابسته نبوده و از جنس فاصله است (۲۲). بنابراین موقعیت جدید کرم شبتاب، x_i' ، که موقعیت قبلی آن x_i بوده است و به‌سمت کرم شبتابی با میزان نور بیش‌تر که در موقعیت x_j قرار دارد، در حال جذب شدن است، به‌صورت رابطه ۹ محاسبه می‌شود که در این رابطه یک بردار تصادفی با توزیع یکنواخت یا گوسی می‌باشد. γ ضریب جذب نور بوده و α ضریبی است که به‌عنوان ضریب جهش شناخته می‌شود و می‌توان مقدار آن را در هر تکرار تغییر داد (کم‌کرد) تا الگوریتم به همگرایی برسد و این تغییر می‌تواند به‌صورت تغییرات خطی یا نمایی باشد (۲۲):

$$x_i' = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^m} (x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i \quad (9)$$

منطقه‌ای کرمان از عوامل افزایش ناگهانی مصرف در ساعات ابتدایی وصل شدن آب، خواهد شد. شکل ۵ نمودار سرعت در لوله‌های مسیر انتخابی را قبل از بهینه‌سازی نشان می‌دهد.

همان‌طور که شکل نشان می‌دهد در ساعات اوج مصرف (۱۴:۰۰) در برخی از نقاط مصرف فشار به صفر و گاهی فشار منفی ایجاد می‌شود و باعث قطعی آب می‌گردد که این امر طبق اعلام سازمان آب



شکل ۵- سرعت حرکت آب در لوله‌های مسیر انتخابی در طول ۲۴ ساعت قبل از بهینه‌سازی.
Figure 5. Water velocity in selected path pipes for 24 hour before optimization.

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

مشاهده می‌شود که سرعت در لوله‌ها از حد مجاز عبور نکرده است، اما با توجه به سقف قابل قبول سرعت، می‌توان با کاهش سایز لوله و هزینه آن، تا حد مجاز سرعت را بالاتر برد. لازم به ذکر است لوله‌های آزیست در مقایسه با لوله‌های پلی‌اتیلن دارای افت انرژی جریان بیشتری بوده (به‌دلیل بیشتر بودن ضریب زبری و کم‌تر بودن ضریب هیزن ویلیامز) و

جدول ۱- مشخصات لوله‌های مسیر انتخابی در حالت قبل از شبیه‌سازی.

Table 1. Pipes propertice in selected path before optimization.

قطر (میلی‌متر) Diameter (mili meter)	ضریب هیزن- ویلیامز Hezen – Williams friction	جنس لوله Pipe kind	طول لوله (متر) Pipe length (meter)	برچسب Lable
300	140	آزیست Asbestos	786	p-4
300	140	آزیست Asbestos	154	p-1
300	140	آزیست Asbestos	105	p-2
300	140	آزیست Asbestos	146	p-6
250	140	آزیست Asbestos	190	p-36

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

قطر (میلی‌متر) Diameter (mili meter)	ضریب هیزن- ویلیامز Hezen – Williams friction	جنس لوله Pipe kind	طول لوله (متر) Pipe length (meter)	برچسب Lable
160	150	پلی اتیلن Polyethylene	110	p-10
160	150	پلی اتیلن Polyethylene	74	p-56
125	150	پلی اتیلن Polyethylene	57	p-11
125	150	پلی اتیلن Polyethylene	56	p-12
63	150	پلی اتیلن Polyethylene	143	p-114

کروموزوم، از کدینگ باینری استفاده شده است. الگوریتم نسبت به تغییرات این پارامترها حساس بوده و با تغییر آن‌ها روند بهینه‌سازی نیز تغییر می‌یابد. بنابراین 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 آورده شده است.

نتایج الگوریتم ژنتیک سریع آشفته (FMGA): در الگوریتم ژنتیک پارامترهای زیادی بر عملکرد این الگوریتم تأثیرگذار هستند. از جمله آن‌ها می‌توان به تعداد اعضای جمعیت اولیه، جهش، تعداد والدین، نوع ترکیب کروموزوم‌ها، نوع کروموزوم‌ها، نحوه انتخاب و غیره اشاره نمود. برای انجام عمل برش از نوع برش چند نقطه‌ای با طول متغیر استفاده شده و برای نوع

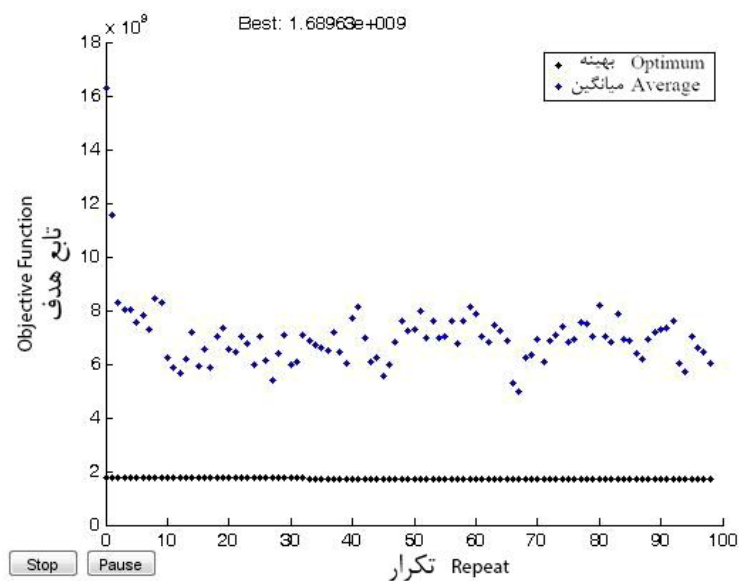
جدول ۲- مقادیر تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک سریع آشفته در پنج مرتبه اجرا.

Table 2. Objective function values for fast messy genetic algorithm in five run..

مقدار تابع هدف ($10^9 \times$) Objective function value ($\times 109$)	تکرار Repeat
1.69	1
1.72	2
1.73	3
1.71	4
1.74	5

در شکل ۶ نشان داده شده است که میانگین و مینیمم مقدار تابع هدف در شکل دیده می‌شود. در جدول ۳ مشخصات لوله‌های مسیر انتخابی را با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک سریع آشفته آورده شده است.

نتایج حداکثر و حداقل مقدار تابع هدف الگوریتم ژنتیک سریع آشفته ذکر شده در جدول مقادیر ۱/۷۴ و ۱/۶۸۵ میلیارد تومان می‌باشند که به ترتیب به میزان ۳۵/۵ و ۳۷/۶ درصد کاهش در هزینه شبکه را به دست داده است. نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک سریع آشفته



شکل ۶- نمودار خروجی هزینه کل شبکه در الگوریتم ژنتیک سریع آشفته.
Figure 6. Total price result graph of network in fast messy genetic algorithm.

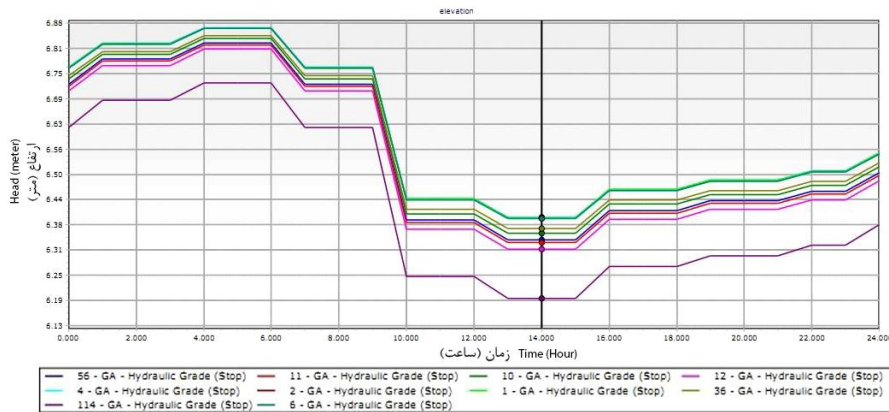
جدول ۳- مشخصات خروجی مدل از نتیجه بهینه الگوریتم ژنتیک سریع آشفته.

Table 3. Result propertice of model output for fast messy genetic algorithm.

قطر (میلی متر) Diameter (mili meter)	ضریب هیزن - ویلیامز Hezen - Williams friction	جنس لوله Pipe kind	طول لوله (متر) Pipe length (meter)	برچسب Lable
200	150	پلی اتیلن Polyethylene	786	p-4
200	150	پلی اتیلن Polyethylene	154	p-1
200	150	پلی اتیلن Polyethylene	105	p-2
200	150	پلی اتیلن Polyethylene	146	p-6
160	150	پلی اتیلن Polyethylene	190	p-36
110	150	پلی اتیلن Polyethylene	110	p-10
110	150	پلی اتیلن Polyethylene	74	p-56
90	150	پلی اتیلن Polyethylene	57	p-11
75	150	پلی اتیلن Polyethylene	56	p-12
63	150	پلی اتیلن Polyethylene	143	p-114

۷۵ میلی‌متر کاهش سایز داشته است. شکل‌های ۷ و ۸ نمودار شبکه بهینه به دست آمده فشار هیدرولیکی و مقدار سرعت در لوله را نشان می‌دهد. این میزان بدون تخطی از قیود بوده است.

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، تغییر سایز لوله‌های اصلی و نیمه اصلی از ۳۰۰ به ۲۰۰ میلی‌متر و لوله‌های میانی مسیر از ۱۶۰، ۱۲۵ و ۱۱۰ میلی‌متر به ۱۲۵، ۱۱۰ و ۹۰ و در قسمتی از مسیر به

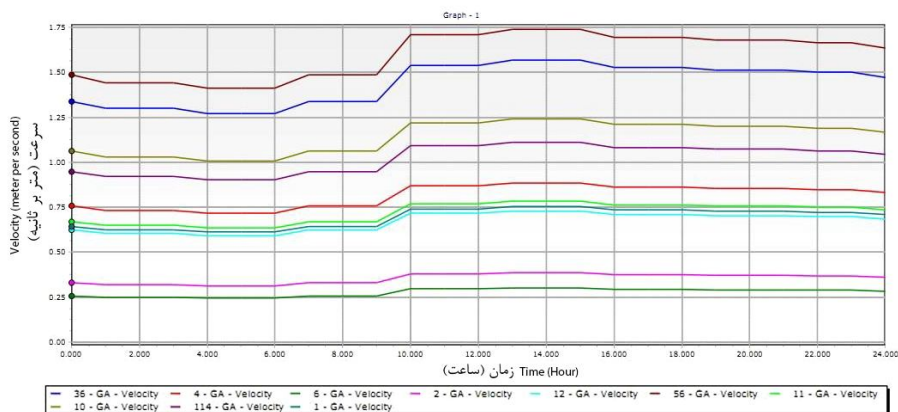


شکل ۷- فشار هیدرولیکی لوله‌های مسیر انتخابی در طول ۲۴ ساعت با استفاده از نتایج الگوریتم ژنتیک سریع آشفته.

Figure 7. Hydraulic pressure at selected path pipes in 24 hour for result of fast messy genetic algorithm.

۶/۱۹ متر محاسبه شده، این مقدار در مقایسه با حالت قبل از بهینه‌سازی که منفی ۱ متر ثبت شده بود، افزایش خوبی داشته است.

محدوده تغییرات فشار در نتایج الگوریتم ژنتیک سریع آشفته به حدود ۰/۷ متر رسیده است که مقدار حداقل فشار در ساعت اوج مصرف ۱۴:۰۰ به میزان



شکل ۸- سرعت در لوله‌های مسیر انتخابی در طول ۲۴ ساعت با استفاده از نتایج الگوریتم ژنتیک سریع آشفته.

Figure 8. Velocity at selected path pipes in 24 hour for result of fast messy genetic algorithm.

۱) متر بر ثانیه قبل از بهینه‌سازی و ۱/۷۵ متر بر ثانیه بر طبق الگوریتم ژنتیک سریع آشفته) است.

محدوده سرعت در نتیجه بهینه مدل شده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته بیانگر افزایش فشار در ساعت اوج مصرف ۱۴:۰۰ به میزان ۰/۷۵ متر بر ثانیه

بزرگ‌تر از یک در نظر می‌گیرند). الگوریتم نسبت به تغییرات این پارامترها حساس بوده و با تغییر آن‌ها روند بهینه‌سازی نیز تغییر می‌یابد. بنابراین 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 ۴ به دست آورده شده است.

جدول ۵ نتایج به دست آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب را نشان می‌دهد.

نتایج الگوریتم کرم شب‌تاب (FA): محدوده تغییرات پارامترهای α و γ به ترتیب، $[0, 1]$ و $[0, \infty)$ می‌باشد. m یک عدد نامنفی بوده و هرچه میزان m بیش‌تر باشد نشان‌دهنده این است که با افزایش فاصله، از میزان جذابیت به صورت صعودی کم می‌شود و $m=0$ به این معنی است که میزان جذابیت در هر فاصله‌ای به یک اندازه است. یا به عبارت دیگر با افزایش فاصله از میزان جذابیت کاسته نمی‌شود (m هیچ‌گاه صفر نمی‌شود و مقدار آن را همیشه

جدول ۴- مقادیر پارامترهای مناسب الگوریتم کرم شب‌تاب.

Table 4. Optimum parameter values for firefly algorithm.

m	β	γ	α	تعداد کرم شب‌تاب Number of Firefly
1	2	1	2	100

جدول ۵- نتایج به دست آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب.

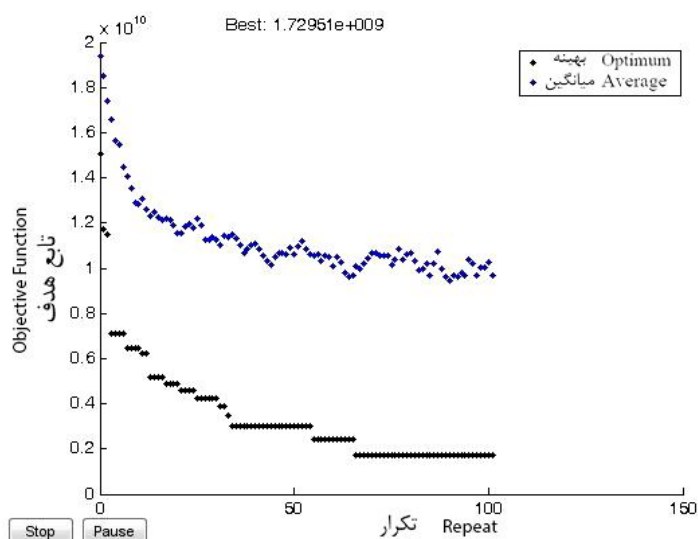
Table 5. Objective function values for firefly algorithm in five run.

مقدار تابع هدف ($\times 10^9$) Objective function value ($\times 109$)	تکرار Repeat
1.75	1
1.73	2
1.74	3
1.76	4
1.77	5

در بهینه‌سازی هزینه شبکه می‌باشد. نحوه عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب در شکل ۹ نشان داده شده است.

مشخصات خروجی لوله‌های شبکه مدل از نتیجه بهینه الگوریتم کرم شب‌تاب در جدول ۶ نشان داده شده است.

همان‌طور که از جدول مشخص است، الگوریتم کرم شب‌تاب با بیش‌ترین مقدار تابع هدف با مقدار توانسته است به میزان $34/4$ درصد و کم‌ترین مقدار تابع هدف با مقدار $1/73$ توانسته است به میزان $35/9$ درصد توانسته است هزینه‌ها را کاهش دهد، که این نتایج نشان‌دهنده توانایی بالای الگوریتم کرم شب‌تاب



شکل ۹- نمودار خروجی هزینه کل شبکه در الگوریتم کرم شب تاب.

Figure 9. Total price result graph of network in firefly algorithm.

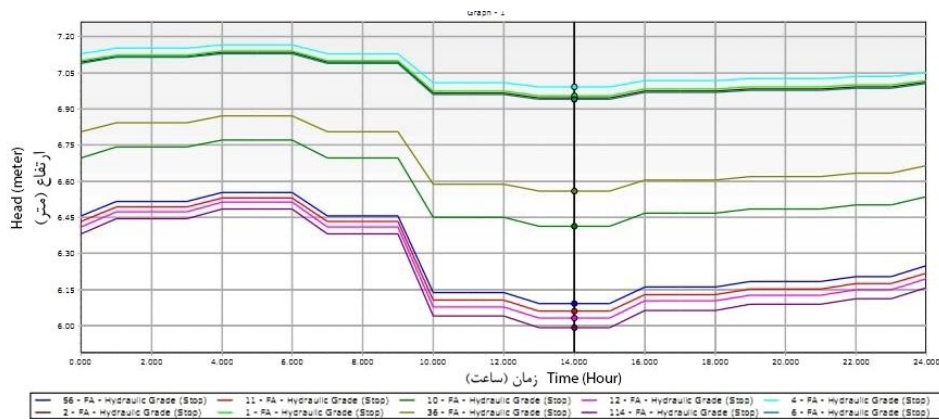
جدول ۶- مشخصات خروجی مدل از نتیجه بهینه الگوریتم کرم شب تاب.

Table 6. Result proptertice of model output for fast firefly algorithm.

قطر (میلی متر) Diameter (mili meter)	ضریب هیزن - ویلیامز Hezen - Williams friction	جنس لوله Pipe kind	طول لوله (متر) Pipe length (meter)	برچسب Lable
250	150	پلی اتیلن Polyethylene	786	p-4
200	150	پلی اتیلن Polyethylene	154	p-1
200	150	پلی اتیلن Polyethylene	105	p-2
200	150	پلی اتیلن Polyethylene	146	p-6
160	150	پلی اتیلن Polyethylene	190	p-36
125	150	پلی اتیلن Polyethylene	110	p-10
125	150	پلی اتیلن Polyethylene	74	p-56
110	150	پلی اتیلن Polyethylene	57	p-11
110	150	پلی اتیلن Polyethylene	56	p-12
63	150	پلی اتیلن Polyethylene	143	p-114

بدون تغییر سایز باقی مانده است. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نتایج رهاسازی بهینه به دست آمده از اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب، میزان فشار هیدرولیکی و مقدار سرعت در لوله را نشان می‌دهد. این میزان بدون تخطی از قیود بوده است.

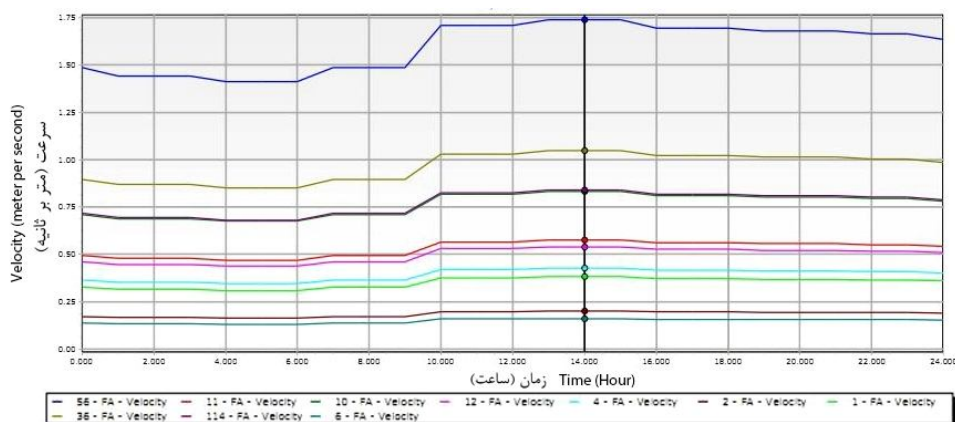
همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، نتیجه الگوریتم کرم شب‌تاب نیز منجر به کاهش سایز لوله در مسیر اصلی از ۳۰۰ به ۲۵۰ میلی‌متر و در مسیر نیمه اصلی از سایز ۳۰۰ به ۲۰۰ میلی‌متر، شده است (لوله‌های p-4 تا p-56)، و ادامه مسیر نیز با کاهش قطر مواجه شده‌اند. تنها لوله‌های آبرسان به مشترکان



شکل ۱۰- فشار هیدرولیکی لوله‌های مسیر انتخابی در طول ۲۴ ساعت با استفاده از نتایج الگوریتم کرم شب‌تاب.
Figure 10. Hydraulic pressure at selected path pipes in 24 hour for result of firefly algorithm.

حداقل میزان فشار در این حالت نیز در گره مصرف متصل به لوله p-114 می‌باشد که مقدار آن در ساعت ۱۴:۰۰ به میزان ۶ متر ثبت شده و در مقایسه با حالت قبل از بهینه‌سازی که فشار منفی ۱ متر را مشاهده کرده بودیم، بهبود چشم‌گیری داشته است.

همان‌طور که از شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، مدل شبیه‌سازی شده از خروجی نتایج الگوریتم کرم شب‌تاب در نرم‌افزار WaterGEMS توانسته است تغییرات فشار در گره‌های مسیر انتخابی را از حدود ۵ متر (قبل از بهینه‌سازی) به ۰/۴ متر کاهش دهد.



شکل ۱۱- سرعت در لوله‌های مسیر انتخابی در طول ۲۴ ساعت با استفاده از نتایج الگوریتم کرم شب‌تاب.
Figure 11. Velocity at selected path pipes in 24 hour for result of firefly algorithm.

افزایش ۰/۷۵ متر بر ثانیه‌ای سرعت را در پی داشته است. این مقدار سرعت همچنان در حد مجاز باقی مانده است.

مقایسه مدل‌های بهینه‌سازی: مقایسه هزینه‌های احداث شبکه در حالت بهینه با استفاده از دو الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و کرم شب‌تاب پس از مدل‌سازی در جدول ۷ آورده شده است.

همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود، مدل شبیه‌سازی شده از خروجی نتایج الگوریتم کرم شب‌تاب در نرم‌افزار WaterGEMS توانسته است ضمن افزایش سرعت در محدوده مجاز که منجر به کاهش هزینه می‌شود، تغییرات سرعت در لوله‌های مسیر انتخابی را از حدود ۰/۷ متر بر ثانیه (قبل از بهینه‌سازی) به ۰/۲۵ متر بر ثانیه کاهش دهد. حداکثر سرعت در این حالت مقدار ۱/۷۵ متر بر ثانیه

جدول ۷- مقدار تابع هدف در بهترین خروجی دو الگوریتم استفاده شده.

Table 7. Objective function values for both used algorithms.

تابع هدف $\times 10^9$ (میلیارد تومان)		
Objective function $\times 10^9$ (Billion tomans)		
بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک سریع آشفته Optimization with fast messy genetic algorithm	بهینه‌سازی با الگوریتم کرم شب‌تاب Optimization with firefly algorithm	قبل از بهینه‌سازی Before optimization
1.68	1.73	2.7

مقایسه کارایی دو الگوریتم بر اساس تابع هدف صورت گرفته است. با توجه به ارقام تابع هدف در جدول ۹، مشاهده می‌شود که مدل تولید شده الگوریتم ژنتیک سریع آشفته با توجه به محدودیت‌های استاندارد سرعت و فشار، بدون عبور از قیود، توانسته است هزینه کم‌تری نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب به‌دست آورد.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش به‌دست آوردن ساینز لوله‌های پلی‌اتیلن برای کارکرد ایده‌آل شبکه در شهرک هوانیروز با استفاده مدل‌های بهینه‌سازی الگوریتم‌های ژنتیک سریع آشفته و کرم شب‌تاب و مدل شبیه‌ساز WaterGEMS بوده است. بدین منظور ابتدا شبکه موجود را در محیط WaterGEMS شبیه‌سازی کرده و مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها از قبیل شدت جریان، سرعت جریان در لوله‌ها و افت

مشاهده می‌شود که خروجی مدل الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و الگوریتم کرم شب‌تاب با میانگین تفاوت حدود ۵ درصد هزینه کم‌تری را برای شبکه محاسبه می‌کنند. مقادیر بهینه (حداقل) نهایی مدل الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و الگوریتم کرم شب‌تاب به‌ترتیب به‌میزان ۳۷/۷ و ۳۴/۴ درصد را حاصل داده‌اند. حداقل فشار این دو الگوریتم در ساعت اوج مصرف ۱۴:۰۰ به همین ترتیب مقادیر ۶/۱۹ و ۶ متر در لوله شماره p-114 ثبت شده که سرعت جریان نیز در همین لوله و همین زمان به‌ترتیب در الگوریتم ژنتیک سریع آشفته ۱/۷۵ متر بر ثانیه و الگوریتم کرم شب‌تاب ۱/۷۵ متر بر ثانیه می‌باشند. لازم به ذکر است که این نمونه مثال توضیح داده شده، یک مسیر انتخابی لوله از کل شبکه آبرسانی بوده است تا نمایشگر کیفی نحوه تغییرات سرعت و فشار شبکه در دو الگوریتم ذکر شده باشد. در صورتی که تابع هدف این پژوهش کمینه کردن هزینه کل شبکه بوده است و

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 (۱۲). در پژوهش دیگری نورانی و همکاران (۲۰۱۱) توانستند با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی سایز لوله‌های پستاک سدهای بتنی بپردازند و هزینه احداث را حداقل سازند (۱۴) و همچنین مهدوی و همکاران (۲۰۱۲) نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک به کاهش ۱۲/۱ درصد هزینه‌ها دست یافتند (۸)، مقدم و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک به کمینه‌سازی هزینه شبکه‌های آبرسانی پرداختند و توانستند به کاهش هزینه ۲۱ و ۱۶ درصدی شبکه آبرسانی دست یابند (۹). همچنین بارلو و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بهینه‌سازی شبکه آبرسانی، برتری الگوریتم ژنتیک جهش یافته را در هر مورد نسبت به الگوریتم ژنتیک معمولی نشان دادند (۱). همگی این نتایج به کارایی مناسب الگوریتم‌های تکاملی و به‌خصوص الگوریتم ژنتیک (که در این پژوهش از نوع سریع آشفته آن استفاده شد) را در کاهش هزینه سیستم آبرسانی نسبت به وضعیت طراحی سنتی، در ضمن رعایت ضوابط و معیارهای طراحی نشان می‌دهند.

فشار در گره‌ها مشخص و نقاط بحرانی شرایط هیدرولیکی بررسی گردید و همچنین هزینه‌های کل شبکه برآورد گردید. سپس به بهینه‌سازی سایز لوله‌ها با رعایت همه قیدها با استفاده از الگوریتم‌های معرفی شده پرداخته شد.

پس از پیدا کردن سایز بهینه کل لوله‌های شبکه، با استفاده از نتایج مدل‌های بهینه ساز به اجرای مجدد شبکه در محیط WaterGEMS پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده از اجرای این مدل‌ها در WaterGEMS نشان داد که مشکلات اصلی شبکه مورد مطالعه که شامل افت فشار و قطع جریان در ساعات پیک مصرف و هزینه بالای اجرای شبکه بوده است، با استفاده از همه مدل‌های بهینه سازی بسیار کاهش پیدا کرده است. بررسی نتایج مدل‌های بهینه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک سریع آشفته به‌میزان ۳۷/۷ درصد توانسته است تابع هزینه را کاهش دهد. همچنین الگوریتم کرم شب‌تاب نیز به مقدار ۳۴/۴ درصد توانسته است هزینه‌ها را کاهش دهد. در همین زمینه، نورانی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به کاهش ۱۱ درصدی هزینه شبکه آبرسانی شهر سرعین دست یافتند (۱۴). همچنین موسویان و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از الگوریتم‌های

منابع

1. Barlow, E., and Tanyimboh, T.T. 2014. Multiobjective Memetic Algorithm Applied to the Optimisation of Water Distribution Systems. *Water Resource Management*. 28: 2229-2242.
2. Beygi, S., Bozorg Haddad, O., Fallah-Mehdipour, E., and Mariño, M.A. 2014. Bargaining Models for Optimal Design of Water Distribution Networks. *J. Water Resour. Plan. Manage.* 140: 1. 92-99.
3. Gerosinejad, A., and Bozorg hadad, A. 2013. Optimal operation of reservoir using firefly Algorithm. Fifth conference of water resource management. University of Shahid Beheshti, Iran. (In Persian)
4. Goldberg, D.E., Korb, B., and Deb, K. 1989. Messy genetic algorithms: Motivation, analysis, and first results. *Complex Systems*. 3: 5. 493-530.
5. Haghghi, A. 2014. GA-DTO method for design of economic water distribution network. *J. Hydr.* 1: 8. 19-37. (In Persian)
6. Hassanzadeh, T., meibodi, M.R., and Mahmodi, F. 2011. Improved firefly Algorithm for optimization in static sphere. Fifth conference of data search. Amir Kabir University of Technology, Iran. (In Persian)

7. Klise, K., Phillips, C., and Janke, R. 2013. Two-Tiered Sensor Placement for Large Water Distribution Network Models. *J. Infrastructure Syst.* 19: 4. 465-473.
8. Mahdavi, F., Tiara, A., Galal Kamali, N., and Galal Kamali, A. 2012. Optimization of water distribution network using particle swarm algorithm. Case study: Hormozgan province water distribution network. (In Persian)
9. Moghadam, E., Alizadeh, A., and Faridhoseini, A.R. 2013. Comparison an assessment of Genetic and Particle swarm Algorithms in optimal design of urban water distribution networks. M.Sc. thesis, Faculty of Agricultural, University of Tabriz. (In Persian)
10. Moshtaghi Yazdani, N., Shariat Panahi, M., Moetamedzadeh, H.R., and Afrand, P. 2012. Improving of firefly algorithm using change in parameters. First conference of industry engineering and systems. Islamic Azad University, Nagafabad branch, Iran. (In Persian)
11. Morley, M.S., and Tricaricob, C. 2014. A Comparison of Population-based Optimization Techniques for Water Distribution System Expansion and Operation. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, July 2014.
12. Mosavian, C.A., Sharify, M.B., and Ragabi Mashhadi, H. 2009. Application of meta-heuristic algorithms in optimization of water distribution network. Eighth international conference of civil engineering, Shiraz. (In Persian)
13. Mtolera, I., Haibin, L., Ye, L., Feng, B.S., Xue, D., and Yi, M. 2014. Optimization of Tree Pipe Networks Layout and Size, Using Particle Swarm Optimization. *WSEAS Transactions on Computers*, 13: 219-230.
14. Norani, V., keinejad, M.A., and Kardan, N. 2011. Application of Genetic Algorithm in optimization of penstock in concrete dams. *J. Civil Environ.* 3: 40. 85-95. (In Persian)
15. 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 2014, Bari, Italy.
16. Rasekh, A., and Brumbelow, K. 2014. A Dynamic Simulation-Optimization Model for Adaptive Management of Urban Water Distribution System Contamination Threats. *Applied Soft Computing*, June 30 2014.
17. Sabbaghpour, S., Naghashzadehgan, M., Javaherdeh, K., and Bozorg Haddad, O. 2012. HBMO algorithm for calibrating water distribution network of Langarud city. *Water Science and Technology.* 65: 9. 1564-1569.
18. Shahi, B., Jafarzadeh, M.R., and Mosavian, C.N. 2013. Application of Differential Evolution in urban water distribution (case study: Torbat Gam water network). Seventh civil conference, Zahedan. (In Persian)
19. Soltani, G., and Mohammadrezapour Tabary, M. 2011. Appointment of effective elements in pipe brake rate in water distribution networks using artificial Neural Network and Genetic Algorithm. *J. Water Wastewater.* 3: 2-15. (In Persian)
20. Sousa, J., Muranho, J., Sá Marques, A., and Gomes, R. 2014. WaterNetGen HELPS C-Town. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, July 2014, Bari, Italy.
21. Tabesh, M., and Karimzadeh, A. 2003. Optimal urban distribution network using reliability constraint and discharge–pressure relation in nods. *J. Technic. College.* 37: 2. 199-211. (In Persian)
22. Yang, X.Sh. 2010. *Engineering Optimization an Introduction with Meta-heuristic Applications.* Wiley Inter-science, New York, 222p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Optimization of water network distribution using fast messy genetic and firefly algorithms in Relopt Model (Case study: Shahrdari Town, Kerman)

E. Moinaldini¹, *O. Mohamad Reza Pour² and M.J. Zeinali³

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Resource Engineering, University of Zabol,

²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zabol,

³M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resource Engineering, University of Zabol

Received: 05/05/2015; Accepted: 01/05/2016

Abstract

Background and Objectives: The high cost of implementing urban water supply systems, along with the complexity of the design and function problems in present, create the optimization of water supply scheme to replace these systems before making any change or addition of branch in them, has become basic needs in this area for administrators. Due to the complexity and unique non-linear design of water supply networks, engineers in recent year's solving this problem by using artificial intelligence and Checker algorithms. This algorithms searches the range oriented to choose the optimal system specifications, engineers ensure that they find the best option may be to have the final optimization.

Materials and Methods: In the present study, a case study in a town of Kerman was done to find the optimal design of water supply network using fast messy genetic algorithm and Firefly algorithm and then using network simulation software WaterGEMS. In this method, first the water supply network in the study area model in WaterGEMS environment and then enter the water supply network to algorithms have been optimized using standard pressure and speed limits, out of options to optimize the algorithm. After the replay results of optimization models in to WaterGEMS model and control restrictions, to estimate the costs were compared with each other in the field of intelligent network hydraulic conditions and the final cost of them. These include control of hydraulic and control system to meet their short-term and long-term. The hydraulic control, speed limits flow in pipes, minimum pressure required at each node and the ability to use water at different hours of the day when demand is controlled. The time control, hydraulic characteristics of the system in different months of the year and also during the lifetime of the network considered, including population growth and in result increasing demand in the region were reviewed.

Results: The results show that genetic algorithm optimization models quickly disturbed by 37.7% and 34.4%. Firefly algorithm also have to value the cost to replace the pipes and components in the network and optimization of the network reduce. However, the network of Hydro's standards and in some cases also led to improved pressure distribution.

Conclusion: Finally, it can be said that both the optimization algorithm used in this study have been able to significantly reduce project costs while improving hydraulic variable pressure and water flow required at different hours of the day, week, month and year.

Keywords: Water network, Optimization, Kerman, WaterGEMS

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