Journal of Water & Wastewater Science & Engineering (jwwse)
Vol. 3, No. 2., PP. 35-43, Summer 2018
DOI: 10.22112/jwwse.2018.128930.1083

نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال سوم، شماره ۲، صفحات ۳۵-۴۳، تابستان ۱۳۹۷

Optimization of Water Distribution Systems by Maximizing the Profit (Case Study: Homashahr)

Saeed Khalifeh[1]*, Kazem Esmaili[2] and Hamid Khalifeh[3]
1- Ph.D. of Science in Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Water Science and Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- M.Sc. in Mechanics Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
* Corresponding Author, Email: khalife_saeed@yahoo.com

Received: 28/4/2018
Revised: 25/10/2018
Accepted: 27/10/2018

Abstract

Human societies nowadays undergo huge expenses to meet the water requirements aiming at maximizing the benefits and minimizing the costs. The goal of reduced costs can substantially be met by reduction in the cost of network pipes while satisfying the minimum pressure at nodes; i.e. 14 meters. This study is a multi-objective optimization function that will be constructed in a part of the water distribution network of the Homashahr city in Kerman province. In optimization of water distribution network, in addition to financial problems, other aspects should also be noted such as pressure and velocity of water in pipes which play key role in network design. In this study, the pressure was considered as a second objective function and the velocity was set as a boundary condition. When the objective function is defined only on the basis of cost, the network can face inadequate pressure in consumers' connections. In this study "WaterGems" software is used for hydraulic simulation and also optimization process based on genetic algorithm. Based on the two objective functions defined in terms of cost reduction and improved network pressure, a scenario with suitable condition was derived. This scenario caused 15% reduction in total costs of the project.

Keywords: Genetic Algorithm, Homashahr, Optimization, Water Distribution Network, WaterGEMS.

بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با رویکرد بیشینه‌سازی سود (مطالعه موردی: هماشهر استان کرمان)

سعید خلیفه[۱*]، کاظم اسماعیلی[۲] و حمیدخلیفه[۳]
۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب گرایش سازه آبی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار، دانشکده علوم و مهندسی آب، گروه سازه آبی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران
* نویسنده مسئول، ایمیل: khalife_saeed@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۸
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۸/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵

چکیده

امروزه جوامع بشری هزینه‌های بسیاری را برای تأمین نیاز آبی خود با هدف به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن هزینه صرف می‌کنند. اگر هدف کاهش هزینه باشد، با کاهش هزینه لوله‌های مورد استفاده در شبکه به‌طوری‌که فشار آب در گره‌ها از حد پایین خود یعنی ۱۴ متر آب کمتر نباشد، بخش عمده‌ای از این هدف تأمین خواهد شد. در این پژوهش بهینه‌سازی براساس تابع هدف دومنظوره بخشی از شبکه توزیع آب هماشهر واقع در استان کرمان مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به اقلیم خاص منطقه حایز اهمیت است. در بهینه‌سازی یک شبکه توزیع آب علاوه بر بعد مالی مسأله، باید به ابعاد دیگری همچون فشار، سرعت آب در لوله‌ها که در طراحی شبکه نقش اساسی دارد توجه کرد. در این تحقیق بعد فشار به عنوان تابع هدف دوم و اعمال سرعت به عنوان قید محدودیت در نظر گرفته شده است. اگر در این شبکه تابع هدف تنها بر اساس هزینه در نظر گرفته شود شبکه از لحاظ تأمین فشار مناسب در محل‌های مصرف با مشکل مواجه خواهد شد. بدین منظور در این مطالعه شبکه توزیع توسط مدل Water-GEMS تحلیل هیدرولیکی شده و بعد با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی انجام گرفته است. در پایان بهینه‌سازی از بین چند سناریو براساس تابع دو هدفه انجام و سناریویی که از نظر کاهش هزینه و بهبود فشار شبکه در وضعیت مطلوبی قرار داشت انتخاب شد که بعد از بهینه‌سازی، در حدود ۱۵ درصد از هزینه کل پروژه صرفه‌جویی صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، WaterGEMS، مسائل هیدرولیکی، لوله، الگوریتم ژنتیک.

۱- مقدمه

یک شبکه توزیع آب سیستمی است که شامل لوله، مخزن آب، پمپ، شیرها با انواع مختلف که به‌هم متصل هستند تا آب را برای مصرف‌کننده فراهم کنند. این مسئله برای مصرف‌کننده و مجریان طرح حائز اهمیت است که طرح از نظر اقتصادی دارای کمترین هزینه و بیشترین سود باشد. اهمیت بهینه‌سازی شبکه توزیع آب باتوجه به افزایش روبه‌رشد جمعیت و در نتیجه افزایش نیاز جامعه به آب و محدودیت منابع آبی، نیاز به توضیح ندارد. درسال‌های اخیر در ایران اجرای طرح‌های انتقال آب به‌صورت جدی‌تری آغاز شده است. معمولا پس از تعیین مشخصات هر طرح از قبیل طول مسیرها، جمعیت مربوطه، مصرف سرانه، توپوگرافی منطقه و با رعایت ضوابط و معیارها، شبکه توزیع آب طراحی می‌شود. چنین طرحی معمولا سلیقه‌ای است و کسی نمی‌تواند ادعا کند که این طرح بهینه است، اگرچه طرحی قابل تایید و تصویب باشد. طرح بهینه سیستم‌های توزیع آب به‌عنوان مسئله‌ای که در آن حداقل هزینه مدنظر است، نگریسته می‌شود و قطر لوله‌ها به‌عنوان پارامتر اصلی بهینه‌سازی درنظر گرفته می‌شود.

گرچه استفاده از تکنیک‌های پیشرفته‌ای که در علوم مختلف از جمله هیدرولیک و علوم مرتبط به‌آن پدید آمده است، طراحی سازه‌های هیدرولیکی را پیچیده‌تر می‌نماید، اما می‌توان اذعان نمود با پیشرفت علم هیدرولیک و علوم وابسته به‌آن و هم‌زمان با مشخص شدن این نوع مسائل، کاربرد ریاضیات و نیز استفاده از رایانه به‌عنوان یک ابزار قوی در حل بسیار دقیق پدیده‌های هیدرولیکی به‌سرعت گسترش یافته است. دراین پژوهش با تکیه بر مدل الگوریتم ژنتیک و تحلیل شبکه با نرم افزار WaterGEMS، از آن برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهر هماشهر استفاده شده است.

با مروری بر مطالعات گذشته Dandy et al. (1996) روشی را ارائه نمودند که درآن از الگوریتم ژنتیک به‌صورت تکامل‌یافته‌تری استفاده شد. آن‌ها در این روش از کدگذاری خاکستری استفاده کردند و عمل‌گر جهش الگوریتم ژنتیک را به صورت تابع گوسی درنظر گرفتند. برای نشان‌دادن مزایای این روش نسبت به روش‌های قبلی، شبکه توزیع آب شهر نیویورک مورد بهینه‌سازی قرار گرفت، نتایج محاسبات نمایان‌گر عملکرد بهتر این‌روش نسبت به‌روش الگوریتم ساده و روش‌های قبلی بود.

Alperovits and Shamir (1977) از یک برنامه‌ریزی خطی[1] (LPG) دربهینه‌سازی شبکه توزیع آب استفاده کردند. در این طرح طول و قطر لوله‌ها به‌عنوان متغیرهای طراحی به‌کار گرفته شد. برنامه‌ریزی خطی، یا همان بهینه‌سازی خطی، روشی در ریاضیات است که به پیدا کردن مقدار کمینه یا بیشینه از یک تابع خطی روی یک چندضلعی محدب می‌پردازد. این چندضلعی محدب در حقیقت نمایش نموداری تعدادی محدودیت از نوع نامعادله روی متغیرهای تابع است. به بیان ساده‌تر به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی می‌توان بهترین نتیجه (مثلاً بیشترین سود یا کمترین هزینه) را در شرایط و با محدودیت‌های خاص به‌دست آورد.

Kapelan et al. (2003)، Tolson et al. (2004) و Babayan et al. (2005) روش‌های بهینه‌سازی چندمنظوره شبکه‌های توزیع آب را با استفاده از الگوریتم ژنتیک را ارائه نمودند. بهزادیان و اردشیر (۱۳۸۷)، طرح نمونه‌گیری چندمنظوره برای کالیبراسیون شبکه‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی را ارایه کردند. Korkana et al. (2016) الگوریتم بهینه‌سازی را برای ایجاد مناطق اندازه‌گیری مجزا[2] (DMA) در یک سیستم توزیع آب را درنظر گرفتند.

معین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۵)، بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آبرسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و کرم شب‌تاب در مدل Relopt را ارایه دادند. Celi et al., (2017) بهینه‌سازی انرژی ایستگاه‌های پمپاژ چندگانه در شبکه‌های توزیع آب را انجام دادند. Lima et al. (2018) طراحی مطلوب شبکه‌های آبرسانی با استفاده از یک روش بهبود انرژی را مورد مطالعه قرار دادند. باتوجه به تحقیقات صورت‌گرفته و با توجه به راحتی کار با عملگر Darwin Designer که برای حل مساله از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار WaterGEMS نوشته شده، این روش مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهر هماشهر استان کرمان در شرایط واقعی براساس هزینه کل سیستم با مدل مذکور صورت گرفته است. بهینه‌سازی با هدف برقراری تعادل بین دو پارامتر سود و هزینه انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی دراین پژوهش، هماشهر یکی از شهرستان‌های استان کرمان است که در جنوب غربی استان کرمان واقع شده است (شکل ۱).

شکل ۱- منطقه مطالعاتی هماشهر (نقشه سایت google)

هماشهر یکی از شهرهای تازه تاسیس است که در فاصله ۲۳ کیلومتری شهرستان سیرجان در محور کرمان - سیرجان واقع شده است. این شهر از به‌هم پیوستن روستاهای سعادت‌آباد، یحیی‌آباد، دهنو، دولت‌آباد و حسین‌آباد تشکیل شده و حدود ۲۸۰۰ نفر جمعیت دارد. موقعیت جغرافیایی هماشهر از شمال به بخش پاریز و شهرستان رفسنجان و از جنوب به بخش بلورد و از شرق به شهرستان بردسیر و از غرب به شهرستان سیرجان منتهی می‌شود. این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ دارای جمعیتی برابر با ۳۱۹۵ نفر بوده و در سال ۱۳۹۰ جمعیت این شهر به ۲۸۰۰ نفر رسیده است. درصد نرخ رشد سالانه جمعیت هماشهر در دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۵ برابر ۶/۲- درصد بوده است.

تأسیسات موجودآب مشروب هماشهر از یک حلقه چاه عمیق تجهیز شده، یک دستگاه مخزن موجود زمینی سنگی- سیمانی به‌ظرفیت ۵۰۰ مترمکعب و یک دستگاه مخزن پیشنهادی برای ذخیره آب استحصالی از چاه، خط انتقالی به‌طول تقریبی ۷ کیلومتر و حدود ۲۸ کیلومتر شبکه توزیع تشکیل شده است (شکل ۲).

لوله‌های شبکه توزیع از جنس پلی‌اتیلن از قطرهای ۶۳ الی ۲۵۰ میلی‌متر تشکیل شده که این لوله‌ها به‌صورت حلقه‌ای و شاخه‌ای اتصال داده شده است. طراحی شبکه توزیع آب براساس مبانی زیر صورت می‌پذیرد:

۱- جمعیت شهر و چگونگی توزیع وتراکم جمعیت ۲- مصرف سرانه آب و نوسانات آن ۳- فشار مجاز مورد نیاز شبکه ۴- سرعت آب در لوله‌ها ۵- تناسب طرح با ویژگی‌های محل ۶- اطمینان از کارکرد دائمی.

با توجه به جمعیت هماشهر در سال‌های طرح در نهایت میزان کل آب مصرفی با توجه به مصارف به‌دست آمده در طی سال‌های دوره طرح به شرح جدول ۱ برآورد می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از جدول ۱ نشان می‌دهد که حداکثر مصرف ساعتی در سال افق طرح (۱۴۲۰) با توجه به آمار اخذ شده و با توجه به متوسط مقدار نشریه ۱۱۷-۳ بازنگری اول (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲) حدود ۴۸ لیتر بر ثانیه است. همچنین با توجه به ساختار روستاگونه شهر تعداد متوسط طبقات برابر یک درنظر گرفته شده است.

۳- هیدرولیک خطوط انتقال و شبکهٔ توزیع

اصولا بین سه مشخصه مهم هیدرولیکی لوله‌ها شامل سرعت، قطر و افت اصطکاک، رابطه (۱) برقرار است:

$$h = f(d, v) \qquad (۱)$$

که h: ارتفاع نظیر افت، d: قطر لوله و v: سرعت جریان هستند.

هنگامی‌که انرژی پتانسیل سیال در ابتدای لوله بیش از انتهای آن باشد سیال در لوله به جریان خواهد افتاد. اختلاف انرژی پتانسیل لازم جهت حرکت سیال را می‌توان به‌روش‌های گوناگون محاسبه نمود. این روش‌ها بر پایه رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$Q = KS^a R^b \qquad (۲)$$

که K: ضریبی است که به جنس لوله بستگی دارد. S: شیب و R: شعاع هیدرولیکی هستند. a و b: ضرایب ثابتی هستند که در شرایط خاص سیال قابل محاسبه‌اند (منزوی، ۱۳۹۰).

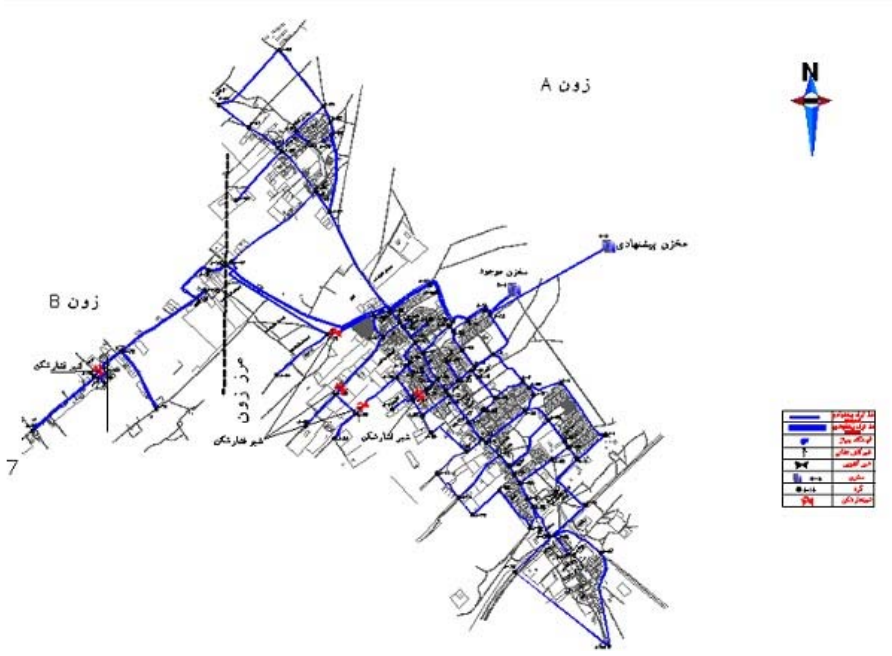
برای محاسبه افت هدد از فرمول هیزن ویلیامز (رابطه (۳)) استفاده شده است.

$$h_l = \frac{6.78V^{1.85}}{1.165CD} \qquad (۳)$$

که h_l: افت فشار نظیر ارتفاع در واحد طول برحسب متر، V: سرعت جریان سیال برحسب متر در ثانیه، D: قطر خط لوله برحسب متر و C: ضریب هیزن ویلیامز هستند. با تغییر قطر و جنس لوله این ضریب تغییر می‌کند (تائبی و چمنی، ۱۳۹۱).

جدول ۱- نیاز آبی هماشهر در طی سال‌های دوره طرح

نام شهر	سال	جمعیت (نفر)	ضریب حداکثر مصرف ساعتی	نیاز آبی حداکثر مصرف ساعتی (L/s)	
				بدون تلفات و دام	با تلفات و دام و طیور
هماشهر	۱۳۹۵	۴۵۰۰	۲/۵	۴۳/۴	۴۶/۸
	۱۴۰۰	۵۲۴۹	۲/۴	۳۳	۳۶/۳
	۱۴۰۵	۵۸۷۵	۲/۳	۳۸	۴۰/۷
	۱۴۱۰	۶۵۰۰	۲/۲	۳۸	۴۰/۲
	۱۴۱۵	۷۱۳۴	۲/۱	۴۳/۶	۴۶/۱
	۱۴۲۰	۷۷۴۹	۲	۴۵/۱	۴۸



شکل ۲- شبکه توزیع آب شهری هماشهر (مطالعات مرحله اول شرکت هلیل‌آب، ۱۳۹۵)

۳-۱- مقدار ضریب C پیشنهادی در طرح

میزان ضریب هیزن ویلیامز در طول زمان بهره‌برداری از خطوط لوله، تغییر می‌کند و به‌طور کلی رابطه‌ای که بتواند بیان‌گر این تغییرات باشد در حال حاضر وجود ندارد و دانستن وضعیت تغییرات را در هر مورد باید توسط آزمایش‌های متعدد مشخص نمود. تغییرات ضریب C در رابطه هیزن ویلیامز به کیفیت آب مورد انتقال و شرایط هیدرولیکی جریان و جنس لوله‌ها و پوشش داخلی لوله و نوع آن بستگی دارد. از عوامل مؤثر در تغییر ضریب، پوشش داخلی لوله و نوع آن است که از اهمیت خاص برخوردار است، بدین‌معنی که کیفیت انجام پوشش و نوع آن می‌تواند تقریباً این ضریب را در طول زمان ثابت نگهدارد و تنها سبب ایجاد افت و خیزهای نسبتاً جزئی شود. بنابراین، عدد مشخصی تاکنون برای این ضریب تعیین نشده است. با توجه به منابع مختلف از جمله نشریه ۱۱۷-۳ بازنگری اول (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲)، ضریب C برای لوله‌های پلی‌اتیلن با توجه به صافی لوله ۱۴۰ منظور شده است. طراحی هیدرولیکی شبکه توزیع موجود هماشهر (سال ۱۳۹۵) مطابق جدول ۲ بیان شده است.

استفاده از مدل‌سازی در WaterGEMS و بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک علاوه بر تحلیل هیدرولیکی، شبکه توزیع آب را به صورت دوهدفه بهینه‌سازی کرده و علاوه‌بر این‌که زمان برای رسیدن به جواب بهینه را کاهش داده، از لحاظ دقت نیز عملکرد بالایی دارد. هدف از بهینه‌سازی سیستم، بالابردن سود و پایین آوردن هزینه‌ها است. در مدل مذکور فقط عامل سود

جدول ۲- مشخصات لوله‌های شبکه توزیع آب هماشهر قبل از بهینه‌سازی

قطر لوله (میلیمتر)	طول لوله (متر)	قیمت هر متر (ریال)	قیمت کل (ریال)
۶۳	۱۰۴۴۰	۱۱۴۰۰۰	۱۱۹۰۱۶۰۰۰۰
۹۰	۵۹۹۳	۱۱۹۵۰۰	۷۱۶۱۶۳۵۰۰
۱۱۰	۷۹۴۵	۱۲۸۰۰۰	۱۰۱۶۹۶۰۰۰۰
۱۶۰	۴۲۳۲	۱۶۶۵۰۰	۷۰۴۶۲۸۰۰۰
۲۰۰	۴۳۴۸	۱۷۳۵۰۰	۷۵۴۳۷۸۰۰۰
۲۵۰	۶۵۴	۲۰۷۰۰۰	۱۳۵۳۷۸۰۰۰
۳۱۵	۱۶۱۴	۲۵۶۵۰۰	۴۱۳۹۹۱۰۰۰
جمع			۴۹۳۱۶۵۸۵۰۰

فشار در بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. سود فشار به‌وسیله تغییر فشار گره در طراحی اندازه‌گیری می‌شود. اگر فشار یک گره کم باشد، ظرفیت سیستم بالا رفته و در نتیجه سود نیز بالا می‌رود.

۴- مدل‌سازی مسئله

۴-۱- انواع سود فشار گره

سود فشار بدون بعد: در این حالت تغییر فشار به‌عنوان نسبتی از تفاوت فشار واقعی و فشار تعریف شده مطرح می‌شود. در این قسمت سود کل طرح به مصرف گره (JQ) وابسته است (نظری و میسمی، ۱۳۸۷).

$$HYbenefit = \sum_{i=1}^{ND}\left\{a\sum_{i=1}^{NJ}\left(\frac{JQ_{i,k}}{JQ_{total}}\right)\left[\frac{P_{i,k}-P^{ref}{}_{i,k}}{P^{ref}{}_{i,k}}\right]^{b}\right\} \quad (۴)$$

که NJ: تعداد گره‌های سود فشار، ND: تعداد حالات طراحی برای سود فشار مورد نظر، $JQ_{i,k}$: مصرف گره i در دوره تناوب K، JQ_{total}: مصرف گره کل در دوره تناوب K، $P_{i,k}$: فشار ایجاد شده گره i در دوره تناوب K، P^{ref}: فشار حداقل که توسط طراح برای هر گره تعریف می‌شود، a و b: فاکتورهایی که فشار را به‌عنوان یک پارامتر هیدرولیکی که در بهینه کردن شبکه مؤثر است تعریف می‌کنند (a پارامتری خطی و b پارامتری است که باید کمتر از ۱ باشد (حدوداً ۰/۰۵)) و K: شمارنده تعداد حالات طراحی هستند.

۴-۲- قیود طراحی

هر فرآیند طراحی از تعدادی شبیه‌ساز هیدرولیکی استفاده می‌کند که باید پاسخگوی شرایط مصرف باشد.

۴-۲-۱-اندازه لوله‌ها

قطر لوله از بین قطرهای تجاری موجود بین ۶۳ تا ۳۰۰ میلیمتر در بازار انتخاب می‌شود.

$$D_i^{\min} \le d_i \le D_i^{\max}, \forall_i \quad (۵)$$

۴-۲-۲-فشار در گره‌ها

فشار در هر گره معمولاً باید برای فراهم کردن آب مورد نیاز، بزرگ‌تر از حد فشار حداقل که ۱/۴ بار است نگه‌داشته شود و همچنین کمتر از مقدار حداکثر که ۵ بار است باشد تا نشت آب را در سیستم کاهش دهد. قیود فشار در گره‌ها به‌صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود.

$$H_{ij}^{\min} \le H_{ij} \le H_{ij}^{\max}, \forall t, i = 1,...,NJ; j = 1,...,NDM \quad (۶)$$

۴-۲-۳- میزان دبی جریان در لوله‌ها

میزان دبی جریان در لوله‌ها به سرعت آب در آن‌ها و همچنین گرادیان هیدرولیکی وابسته هستند.

$$V_{i,j} \le V_{i,j}^{\max}, i = 1,2,...,NP, j = 1,2,...,NDM \quad (۷)$$

$$HG_{i,j} \le HG_{i,j}^{\max}, i = 1,2,...,NP, j = 1,2,...,NDM \quad (۸)$$

که V_{ij}: سرعت جریان در لوله i برای مقدار مصرف j، V^{max}: سرعت مجاز ماکزیمم، NP: تعداد لوله‌های مفید در سیستم، HG_{ij}: گرادیان هیدرولیکی (شیب) لوله i برای مقدار مصرف j و HG^{max}: گرادیان مجاز هیدرولیکی ماکزیمم هستند.

۴-۲-۴- هزینه‌ها

هزینه کل طراحی یک شبکه شامل مجموع هزینه لوله‌های جدید (C_{new}) و هزینه لوله‌های بازسازی شده (C_{rehab}) است.

$$C_{total} = C_{new} + C_{rehab} \qquad (۹)$$

۴-۲-۵- هزینه لوله جدید

هزینه لوله جدید تابع طول لوله است (رابطه (۱۰)).

$$c_{cnew} = \sum_{k=1}^{D_p} c_k(d_k) L_k \qquad (۱۰)$$

که D_p: تعداد کل لوله‌های طراحی، $C_k(d_k)$: هزینه به ازای هر واحد طول لوله و L_k: طول لوله k ام است.

۴-۲-۶- هزینه لوله بازسازی شده

هزینه لوله بازسازی شده به قطر لوله و هدف از بازسازی وابسته است (رابطه (۱۱)).

$$c_{rehab} = \sum_{k=1}^{R_p} c_k(d_k, e_k) L_k \qquad (۱۱)$$

که R_p: تعداد لوله‌های ایجاد شده شده و e_k: پارامتری است و به‌وسیله هدف طراح از بازسازی تعریف می‌شود.

۵- نتایج و بحث

در این پژوهش بهینه‌سازی شبکه توزیع آب هماشهر مطابق تحلیل صورت‌گرفته شامل ۷۶ لوله و ۷۳ گره در شرایط واقعی براساس هزینه کل سیستم با نرم‌افزار WaterGEMS و استفاده از ابزار Darwin Designer که بر مبنای الگوریتم ژنتیک عمل می‌کند انجام شد. بهینه‌سازی توسط این ابزار با هدف برقراری تعادل بین دو پارامتر سود و هزینه انجام گرفت. بدین منظور یک بهینه‌سازی چندهدفه انجام و برای اعمال محدودیت‌های فیزیکی و طبیعی، قیود موجود به تابع هدف افزوده شده‌اند.

اشاره به این نکته ضروری است که الگوریتم ژنتیک زمانی صحیح عمل می‌کند که پارامترهای آن به‌طور صحیح انتخاب شوند. پارامترهایی که بیشترین تاثیر را در عملکرد ژنتیک دوهدفه دارند عبارت‌اند از مقدار عددی حداکثر نقطه شروع و اندازه جمعیت که با افزایش آن‌ها تعداد جواب‌های حاصله بیشتر خواهد بود و فاکتور جریمه.

درمورد پارامتر مقدار عددی حداکثر نقطه شروع بهتراست اول از اعداد ۱ و ۲ شروع کرده و درهر تکرار با توجه به اندازه جمعیت، مقدار آن افزایش داده شود. در پارامتر اندازه جمعیت نیز ابتدا از اعداد کمتر مانند ۱۵۰ شروع کرده و در تکرارهای بعدی مقدار آن را افزایش داده می‌شود تا تعداد جواب‌های به دست آمده افزایش یابد. جدول ۳ به این پارامترها و عملکرد آنها اشاره می‌کند. هرقدر عدد اختصاص داده شده به پارامتر جریمه بزرگ‌تر باشد، الگوریتم ژنتیک بر روی جواب‌های عملی که از محدودیت‌های تعیین شده تجاوز پیدا نمی‌کنند، تمرکز خواهد داشت و اگر این مقدار کمتر باشد (۵۰۰۰۰ یا کمتر)، جواب‌ها در مرز عملی و غیرعملی خواهند بود. منظور از جواب

جدول ۳- دامنه پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

پارامتر	اصطلاح انگلیسی	حد پایین	حد بالا
مقدار عددی حداکثر نقطه شروع	Maximum Era Number	۱	۱۰
مقدار عددی نسل اول	Era Generation Number	۱	متناسب با دیگر معیارهای عددی بزرگتر از ۱
اندازه جمعیت	Population Size	۵۰	۱۵۰
احتمال قطع شدن	Cut Probability	٪۱	٪۱۰
احتمال اتصال	Splice Probability	٪۵۰	٪۹۰
احتمال جهش	Mutation Probability	٪۱	٪۱۰
کاوش تصادفی	Random Seed	۰	۱
فاکتور جریمه	Penalty Factor	۱۰۰۰	با بزرگتر شدن این معیار محدودیت‌ها تاثیر بیشتری خواهند داشت

عملی، جوابی است که منطقا قابل اجرا باشد.

توابع هدف الگوریتم ژنتیک از لحاظ همگرایی آزموده شدند. نتایج نشان داد که هر دو تابع هدف در نهایت به همگرایی رسیدند و نتیجه آزمون مثبت بود.

جدول ۴ تحلیل اقتصادی طراحی بعد از بهینه‌سازی در ۸ گزینه را نشان می‌دهد. در پایان بعد از تحلیل گزینه‌ها براساس تابع هدف دوهدفه، بهترین گزینه در بین ۸ گزینه انتخاب می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به بهینه‌سازی، تعداد ۸ گزینه برای بهینه‌کردن شبکه در نظر گرفته شد که شامل قطرهای جدید برای لوله‌های شبکه است. با انتقال داده‌ها به سناریو، نرم افزار قادر است تأثیر این تغییرات قطر را بر روی شبکه اعمال کند. براین اساس تحلیل اقتصادی برای انتخاب روش بهینه، در ۸ گزینه صورت می‌پذیرد (شکل ۳). براساس جدول ۵ و قیمت اولیه طرح قبل از بهینه‌سازی، می‌توان به این نتیجه رسید که مبلغ کل طرح پس از بهینه‌سازی به میزان ۱۴ تا ۱۶ درصد کاهش یافته است. اما از بین ۸ گزینه محاسبه شده، گزینه پنجم به‌دلیل برقراری تعادل بین دو پارامتر سود و فشار، به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود.

در مطالعه حاضر پس از انجام بهینه‌سازی طرح مذکور از میان تحلیل‌های انجام شده توسط نرم‌افزار، تعداد چهار گزینه با توجه به درصد کاهش قیمت بیشتر نسبت به دیگر گزینه‌ها انتخاب شد. با توجه به چندهدفه بودن بهینه‌سازی صورت گرفته و این‌که علاوه‌برکاهش قیمت به عنوان یکی از اهداف، وضعیت بهبود فشار در شبکه به‌عنوان تابع هدف دوم مطرح است، بنابراین به‌منظور انتخاب گزینه بهینه از منحنی سود- هزینه استفاده شده است.

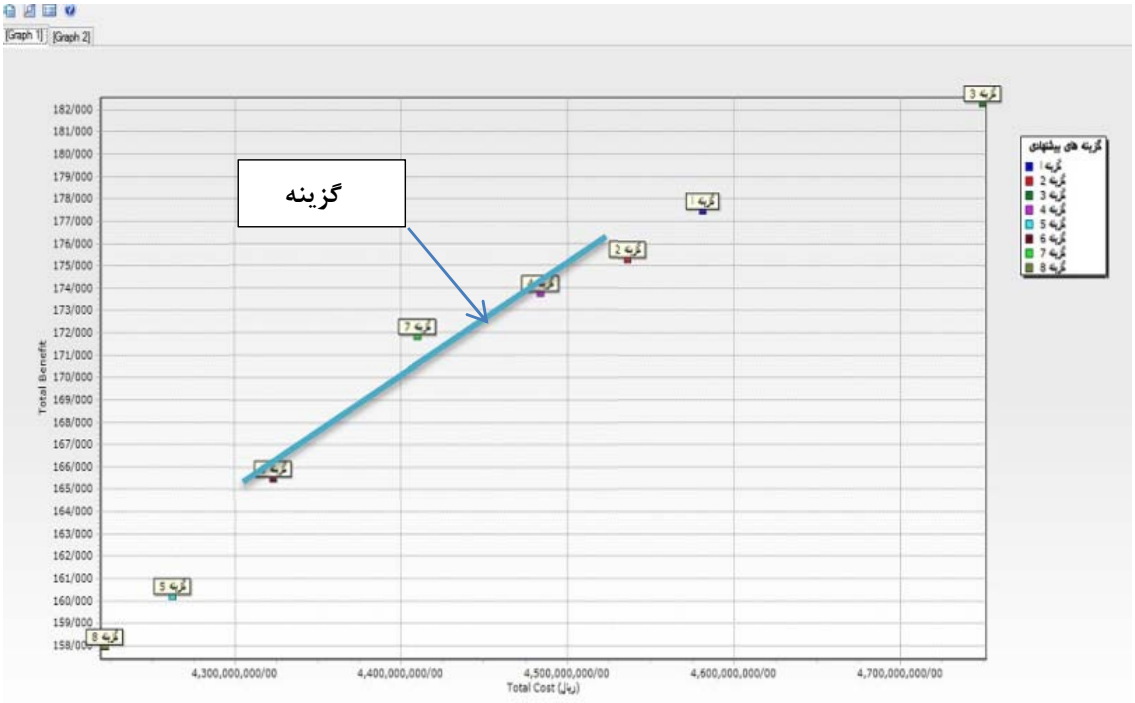
با توجه به شکل ۳ و استفاده از منحنی (سود - هزینه)، گزینه شماره هفت به‌دلیل این‌که از نظر کاهش هزینه و بهبود فشار شبکه در وضعیت مطلوبی است به‌عنوان گزینه بهینه انتخاب شد. پس از اعمال این گزینه در نرم‌افزار و تحلیل هیدرولیکی طرح مشاهده می‌شود که سرعت در تمامی لوله‌ها کمتر از ماکزیمم سرعت مجاز در طراحی (۲ متر بر ثانیه) است. همچنین فشار در گره‌های شبکه بین ۱۴ تا ۵۰ متر است که نشان‌دهنده ارضا شدن طرح از لحاظ هیدرولیکی است.

جدول ۴- آنالیز اقتصادی طراحی بعد از بهینه سازی در ۸ گزینه

قطر لوله میلی متر	طول لوله(متر)	قیمت کل (ریال)
گزینه اول	۲۷۸۱۳	۴۵۸۱۳۵۱۹۵۳
گزینه دوم	۲۷۸۴۰	۴۵۳۶۰۶۳۹۳۹
گزینه سوم	۲۸۵۰۹	۴۷۴۹۵۶۹۶۴۳
گزینه چهارم	۲۷۲۷۳	۴۴۸۳۵۲۱۹۰۱
گزینه پنجم	۲۶۹۵۸	۴۲۶۲۵۲۴۳۸۵
گزینه ششم	۲۶۷۵۴	۴۳۲۳۶۵۲۶۳۸
گزینه هفتم	۲۷۲۹۳	۴۴۴۰۹۹۲۷۵۰۰
گزینه هشتم	۲۶۹۵۸	۴۲۲۱۸۱۸۱۸۹

جدول ۵- هشت گزینه پیشنهادی جهت بهینه‌سازی همراه با هزینه اجرای آن‌ها

گزینه‌های بهینه‌سازی	برازش	مجموع سود	مجموع کل هزینه (ریال)
گزینه اول	۱/۱۶۴	۱۷۷/۴۸۴	۴۵۸۱۳۵۱۹۳۶
گزینه دوم	۱/۲۵۰	۱۷۵/۳۵۰	۴۵۳۶۰۶۴۰۰۰
گزینه سوم	۱/۰۰۲	۱۸۲/۳۱۶	۴۷۴۹۵۶۹۵۳۶
گزینه چهارم	۱/۲۹۹	۱۷۳/۸۱۵	۴۴۸۳۵۲۲۰۴۸
گزینه پنجم	۱/۱۷۶	۱۶۰/۲۵۵	۴۲۶۲۵۲۴۴۱۶
گزینه ششم	۱/۳۳۳	۱۶۵/۵۳۹	۴۳۲۳۶۵۲۶۰۸
گزینه هفتم	۱/۲۸۹	۱۷۱/۸۸۲	۴۴۰۹۹۲۷۶۸۰
گزینه هشتم	۱/۰۵۶	۱۵۷/۹۸۵	۴۲۲۱۸۱۸۱۱۲



شکل ۳- بهترین گزینه پیشنهادی منحنی سود- هزینه مطالعه حاضر

۷- پی‌نوشت‌ها

1- Linear Programming Gradient
2- District Metered Areas

۸- مراجع

بهزادیان، ک.، و اردشیر، ع.، (۱۳۸۷)، "طراحی نمونه‌برداری چندهدفه برای واسنجی مدل شبکه توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی"، مجله آب و فاضلاب، ۱۹(۱)، ۲۲-۱۳.

تائبی، ا.، و چمنی، م. (۱۳۸۴)، *شبکه‌های توزیع آب شهری*، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

خلیفه، س.، (۱۳۹۵)، *مطالعات مرحله اول و دوم پروژه شبکه توزیع آب شهر هماشهر*، مهندسین مشاور هلیل آب کرمان.

معین‌الدینی، ا.، محمدرضاپور، ا.ا.، و زینعلی، م.ج.، (۱۳۹۵)، "بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آبرسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و کرم شب‌تاب در مدل Relopt، مطالعه موردی: شهرک شهرداری کرمان"، *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۴)، ۴۵-۶۴.

معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، "ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی"، نشریه ۳۸۰-الف، طرح استانداردهای وزارت نیرو).

منزوی، م.ت.، (۱۳۸۸)، *آبرسانی شهری*، انتشارات دانشگاه تهران.

نظری، ع.، و میسمی، ح.، (۱۳۸۷)، *آموزش کاربردی نرم افزار WaterGEMS*، انتشارات مرکز ملی مقاوم‌سازی ایران، چاپ اول.

Alperovits, E., and Shamir, U., (1977), "Design of optimal water distribution systems", *Journal of Water Resources Research*, 13(6), 885-900.

Babayan, A., Kapelan, Z., Savic, D., and Walters, G., (2005), "Least-cost design of water distribution networks under demand uncertainty", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(5), 375-382.

Celi, C.F.L., Iglesias-Rey, P.L., and Solano, F.J.M., (2017), "Energy optimization of supplied flows from multiple pumping stations in water distributions networks", Procedia Engineering, 186, 93-100.

Dandy, G.C., Simpson, A.R., and Murphy, L.J., (1996), "An improved Genetic Algorithm for pipe network optimization", *Journal of Water Resources Research*, 32(2), 449-458.

Kapelan, Z., Savic, D., and Walters, G.A., (2003), "Robust least cost design of water distribution systems using Gas", *Proceedings of Computer Control for Water Industry (CCWI)*, London (UK), 147-155.

Korkana, P., Kanakoudis, V., Makrysopoulos, A., Patelis, M., and Gonelas, K., (2016), "Developing an optimization algorithm to form district metered areas in a water distribution system", *Procedia Engineering*, 162, 530-536.

Lima, G.M., Brentan, B.M., and Luvizotto Jr, E., (2018), "Optimal design of water supply networks using an energy recovery approach", *Renewable Energy*, 117, 404-413.

Tolson, B.A., Maier, H.R., Simpson, A.R., and Lence, B.J., (2004). "Genetic Algorithms for reliability-based optimization of water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 63-72.