ارائه راهکارهای مدیریتی در بهبود شرایط شبکه آبرسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: شهرک شهرداری کرمان)

احسان معین الدینی[۱]، ام البنی محمد رضاپور[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه زابل
۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

چکیده

امروزه با رشد سرانه مصرف آب به دلیل افزایش جمعیت شهرها و صنعتی شدن کشور، همزمان با بالا رفتن سن سیستم‌های آبرسانی شهری باعث استهلاک و بعضاً از کار افتادگی این سیستم‌ها شده است. این مساله مشکلاتی در زندگی روزمره مردم بوجود می‌آورد. در راستای حل این مشکل کارشناسان با شبیه سازی و مدل کردن این شبکه‌ها به پیش بینی و حل اینگونه مشکلات پیش از احداث و یا در زمان ترمیم آنها می‌پردازند. در تحقیق پیش رو با بهره گیری از بهینه سازی با قابلیت اطمینان توزیع آب، شامل ۴ مرحله: ۱. تعریف اجزاء ریسک، ۲. اعتبار آنالیز و ارزیابی، ۳. رفتار قابل اعتماد و ۴. انتخاب راه‌حل بهینه پایه اعتباری با استفاده از یک روش جستجوی خودکار، به آنالیز و بررسی شبکه آبرسانی شهرک شهرداری شهر کرمان پرداخته می‌شود. طراحی بهینه شبکه‌های آبرسانی متأثر از هر دو عامل مزیت فشار مصرف و عوامل سرمایه گذاری اقتصادی می‌باشد. عناوین فوق اغلب متضاد یکدیگرند، بنابراین پیدا کردن راه حل بهینه برای یکی از آن دو موضوع باعث کاهش در سودمندی موضوع دیگر می‌شود. در چنین وضعیتی، تعداد زیادی راه حل بدون تسلط وجود دارد، هر راه حل مشخص کننده یک پیشنهاد است که نمی‌تواند بر هدف هر دو عنوان ترجیح داده شود. بنابراین برای رسیدن به یک گزینه درخور برای برآوردن هر دو عنوان و راضی کردن تصمیم گیرندگان شرایط و رسیدن به هدف طراحی در یک محدوده مرغوب، مستلزم استفاده‌ی همگام مدل‌هاست که به نام مدل‌های تضاد – تفکیک شناخته می‌شوند. جهت مرتفع ساختن این مشکل از الگوریتم‌های ژنتیک و تکامل تفاضلی برای بهینه‌سازی در جهت کاهش هزینه اولیه و بهبود شرایط هیدرولیکی در ضمن تامین نیازهای شبکه پرداخته شده است. در انتها پس از اطمینان از کارایی کامل قسمت اعظم شبکه (لوله‌ها)، گزینه‌های احداث مخزن هوایی، ایستگاه پمپاژ و تبدیل شبکه خطی به حلقوی به مدل وارد شدند تا نسبت به انتخاب بهترین گزینه اقدام شود. سپس با توجه به ایجاد ثبات فشار در شبکه توسط مخزن هوایی و کمتر بودن هزینه و عملیات اجرایی آن نسبت به دو گزینه دیگر، این راهکار به دیگر موارد ترجیح داده شد.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، شبکه آبرسانی، Water GEMS.

Management Strategies for Improving the Conditions of Urban Water Supply Networks Using Genetic Algorithms (Case Study: Kerman Municipal City)

Ehsan Moenodini*[1], Omolbani Mohammad Rezapur[2]

1- MSc of Water Engineering, Zabol University

2- Assistant Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Zabol University

Abstract

Today, water consumption increase per capita causes to depreciate and disable some of the systems due to population growth and industrialized cities along with urban supply system aging. This issue will bring about some problems for daily life. I order to resolve this problem, experts try to predict such problems by simulating and modeling these systems to solve them before constructing or during their restoration. This research studies and analyses the water supply system in Kerman municipal city using the reliable water distribution including 4 stages: 1. defining the risk components, 2. crediting the analysis and assessment 3. the reliable behavior 4. Selecting the optimal solution of credit basis using an automatic search method. Optimal development of water supply is affected by both advantages of consumption stress and economic investment factors. These factors are often conflicting, thus, finding the optimal way for one of them cause to reduce the other benefit. In such condition, there are many non-dominated solutions, each solution is determining a suggestion which cannot be preferred by both factors' goals. Thus, selecting a suitable option for estimating both of them and satisfying the decision makers 'conditions as well as reaching to the aim of developing in a suitable limit require consistent use of the models known as conflict-resolution models. In order to solve this problem, genetic algorithms and differential evolution are used to reduce the primary cost and improve hydraulic conditions and satisfy the network needs. Finally, after ensuring the complete efficiency of most parts of the system (pipes), constructing air tank, pumping station and linear system conversion into ring network to select the best option. This strategy is preferred regarding the stable stress in network by air tank and its less cost and executive operation.

Keywords: Genetic algorithm, optimization, water supply network, Water GEMS.

الف- مقدمه

مشکل کلی در بهینه سازی 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 رابطه غیر خطی بین دبی لوله، افت فشار و میزان دسترسی به سایزهای گسسته لوله، طراحی بهینه سیستم آبرسانی شهری را به وضعیت چالش برانگیزی برای ابزار بهینه ساز تبدیل می‌کند. دو مسیر کلی برای طراحی شبکه ها وجود دارد. نخست با استفاده از دانش و تجربه مهندسین و روش سعی و خطا اقدام به شبیه سازی شبکه می‌شود. اگر چه ممکن است از این طریق به شبکه بهینه رسید اما این روش نیازمند زمان بوده و بایستی تمامی شبکه‌های طراحی شده با یکدیگر مقایسه و بهترین شبکه انتخاب شود. در روش دوم استفاده از شبیه سازی و بهینه سازی همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش‌های بهینه سازی عمومی تنها به مینیمم سازی هزینه پرداخته می شود. اما این عمل در سیستم‌های آبرسانی ممکن است باعث کاهش

* Corresponding Author's E-mail (ehsan65mns@gmail.com)

عملکرد و راندمان سیستم شود. بنابراین مدل‌های بهینه سازی چند هدفه برای کاهش حجم زیادی از هزینه این سیستم‌ها و افزایش راندمان کارکرد آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این تحقیق با بررسی شبکه آبرسانی شهرک شهرداری شهر کرمان و مدل کردن آن توسط نرم افزار Water GEMS به جستجوی شبکه بهینه با توجه به گزینه‌های مشخص شده توسط مدل Relopt و الگوریتم ژنتیک پرداخته خواهد شد تا در مورد پاسخگویی سیستم در آینده و راندمان آن نتایج قابل اعتمادی به دست آورد. مطالعه‌ی پیش رو با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل مشکل شناخته شده‌ی طراحی شبکه آبرسانی با حداقل هزینه می‌پردازد.

ب- مواد و روش‌ها

ساخت مدل شبکه آبرسانی در نرم افزار Water GEMS که مدل سازی سیستم‌های انتقال آب تحت فشار را به عهده دارد و سپس تجزیه و تحلیل آن با استفاده از روش‌های بهینه ساز مستلزم پیمودن مراحل زیر است:

۱. جمع آوری اطلاعات سیستم که شامل تعیین اجزاء شبکه آبرسانی مانند تعداد لوله‌ها، اتصالات، پمپ، منبع و غیره و مشخص کردن مکان آنها می‌شود.

۲. استفاده از Water GEMS به عنوان نرم افزار شبیه ساز بهینه سازی. نرم افزار Water GEMS با قابلیت اتصال به نرم افزارهای Arc-GIS، Auto CAD و نرم افزارهای شرکت Microsoft یک پل ارتباطی کامل در زمینه طراحی شبکه‌های آبرسانی را به وجود آورده که ضمن قابلیت بالای خود نرم افزار در شبیه سازی سیستم شامل انواع لوله‌ها، مخازن، اتصالات و کلیه جزئیات فیزیکی و شیمیایی موجود، توانایی مدل کردن شبکه آبرسانی تا حد امکان نزدیک به واقعیت را به کاربر می‌دهد.

۳. استخراج گزینه‌های بهینه و تنظیم آنها.

۴. کالیبره کردن مدل با استفاده از مدل‌های Nash و Young، این دو مدل به صورت همزمان به کمینه سازی هزینه (سایز لوله) و افزایش فشار و بهبود شرایط هیدرلیکی شبکه می‌پردازند.

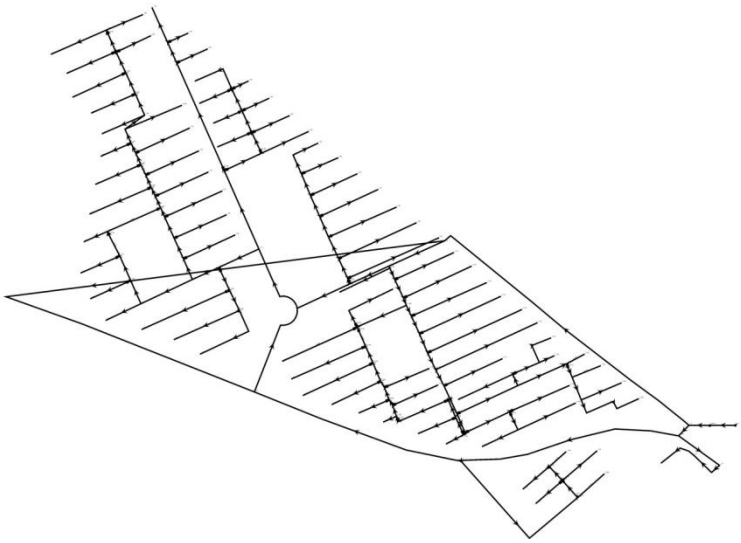
۵. اجرای مدل و بدست آوردن بهترین گزینه‌های خروجی.

۶. بررسی تفاوت‌های نتایج مختلف و آنالیز دلایل برتری این گزینه‌ها نسبت به شبکه‌های دیگر.

۷. تجزیه و تحلیل نتایج و خروجی‌های مدل از دیدگاه مهندسی و ارائه پیشنهادات.

۱-منطقه مورد مطالعه

شبکه آبرسانی شهرک مورد مطالعه در قسمت شمال غربی شهر کرمان به فاصله حدوداً ۱۰ کیلومتر از تصفیه خانه مرکزی قرار گرفته و دارای وسعت تقریبی ۱۰۰ هکتار، حدود ۲۵۰۰ قطعه زمین و جمعیت تخمینی ۸ هزار نفر است. این شهرک با تعداد ۱۷۰ خط لوله و ۸۷ انشعاب مصرف کلی (حدود ۲۵۰۰ اشتراک) یکی از بزرگترین شهرک‌های تحت پوشش سیستم آبرسانی شهر کرمان می‌باشد. میزان سرانه مصرف در نظر گرفته شده مطابق اعلام شرکت آب منطقه‌ای استان، ۲۰۰ لیتر در شبانه روز است. این میزان در شهرهای بزرگ مانند تهران ۲۷۰ لیتر بر روز و در کشورهای کاملا صنعتی مانند آمریکا حدود ۳۰۰ لیتر در ۲۴ ساعت می‌باشد. مشکل اصلی این منطقه عدم فشار مناسب در نقاط مصرف است به گونه‌ای که در حدود ۷۰ درصد از محل‌های مصرف، مشترکین بدون استفاده از پمپ‌های خانگی نمی‌توانند آب مصرفی خود را به نحو مناسبی دریافت کنند. این مساله باعث افزایش مصرف تا حد ۲ برابر در زمان حصول آب از شبکه می‌شود. مشکل دوم میزان هدر رفت آب سیستم است، که طبق اعلام سازمان آب منطقه-ای شهرستان حدود ۱۲ درصد از میزان آب پمپاژ شده به شبکه را به خود اختصاص داده است.



شکل (۱) نقشه مدل شده از شهرک در فضای WaterGEMS

۲-معادلات بهینه سازی

الف) تابع هدف

$$C = \sum_{i \in D} \sum_{j=1}^{np} c_i L_{ij} \qquad D = (d_i, i=1, \ldots, nd)$$

c_i هزینه واحد طول (هدف نهایی مدل، مینیمم سازی این مقدار است)

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

nd قطر لوله در دسترس (قطرهای استاندارد لوله‌های پلی اتیلن از سایز ۴۰ الی ۴۰۰ میلی‌متر)

np تعداد لوله های درون شبکه (تعداد ۲۳۹ خط لوله)

ب) قطرهای ممکن برای لوله‌ها (قید ناپیوسته سایز لوله‌ها)

$$d_{min} \leq d_i \leq d_{max} \qquad i = 1, \ldots, np$$

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

$$P_{rmin} \leq P_{rj} \leq P_{rmax} \qquad j = 1, \ldots, n_4$$

n_4 تعداد گره‌های با فشار مورد نیاز مشابه

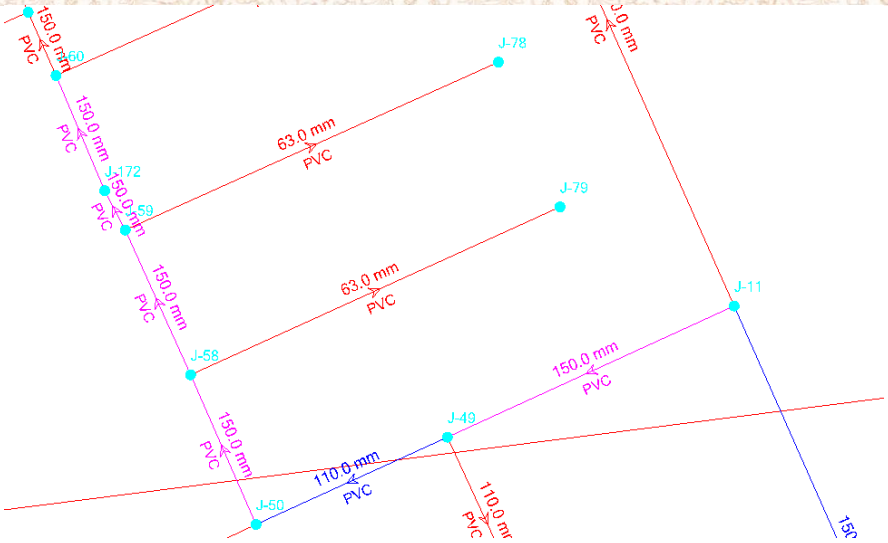
ت) محدوده سرعت در لوله‌ها (Lansey and Mays, 1989) (این محدوده در لوله‌های آبرسانی حداقل ۰.۵ تا ۱ متر بر ثانیه جهت جلوگیری از رسوب گذاری و ایست جریان و حداکثر ۲ متر بر ثانیه جهت جلوگیری از آسیب‌های فرسایش و تشدید امواج و ضربه قوچ می‌باشد)

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \qquad i = 1, \ldots, np$$

ج- بحث و نتیجه گیری

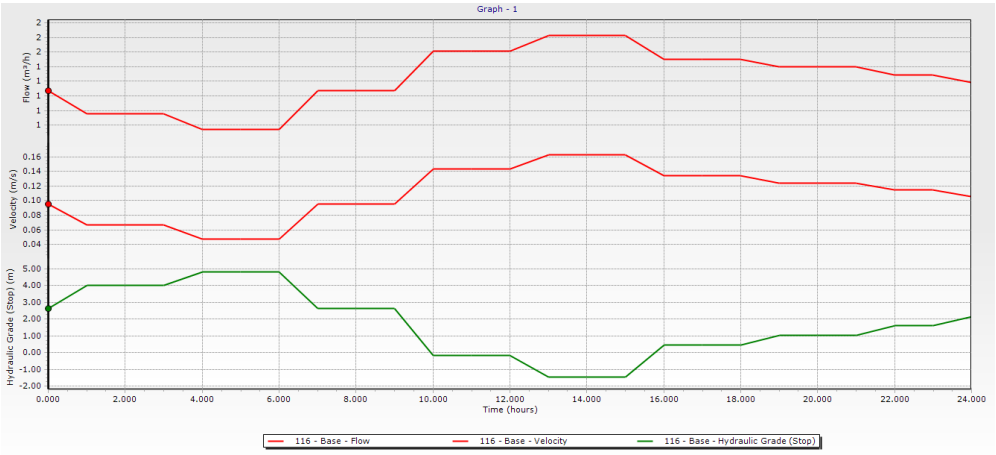
در حال حاضر جنس لوله‌های اصلی توزیع آب عموماً آزبست بوده، لوله‌های آزبست از سیمان، ماسه و الیافی معدنی به نام آزبست (پنبه نسوز) ساخته می‌شوند. این نوع لوله به علت قیمت تمام شده پائین در سال‌های گذشته بیشترین مورد مصرف را در شبکه های آبرسانی داشته است و هم اکنون نیز با توجه به تنوع لوله‌های ساخته شده در داخل کشور لوله آزبست بیشترین مورد مصرف را دارا است. لوله‌های آزبست در برابر فشار داخلی و خارجی و همچنین ضربه آسیب پذیر بوده و دارای خاصیت رسوب پذیری نسبتاً بالائی می‌باشند ولی در برابر عوامل شیمیائی و خوردگی بسیار مقاومند. همچین به علت وجود سیمان در این نوع از لوله در مجاورت آب بر مقاومت و استحکام آن افزوده شده و به همان نسبت در برابر آفتاب و خشکی هوا از مقاومت و استحکام آن کم می‌شود. اما برتری‌های این نوع لوله اهمیت زیادی در سیستم آبرسانی ندارد، ولی ضریب شکست بالا و همچنین فرسایش پذیری آنها، این لوله‌ها را غیر قابل اعتماد می‌سازد. این نواقص دست مدیران را در تصمیم گیری بسته است.

هدف کلی از تهیه یک شبکه بهینه جایگزین، داشتن یک طرح کامل و جامع با آینده نگری است تا در زمان تغییرات یا تعویض لوله‌ها از سعی و خطا جلوگیری شود و طبق طرح‌های موجود به اصلاح سیستم پرداخته شود. در نهایت به موجب اینکه تعویض و جایگزینی کل سیستم به صورت یکجا و همزمان وجود ندارد (این امر نیاز به انتقال کل جمعیت محدوده مورد نظر به یک مکان موقتی و سپس حفاری در سطح وسیع جهت برداشتن سیستم قبلی و جانشینی سیستم جدید دارد، که این عملیات بسیار هزینه بر بوده که ممکن است از هزینه اجرای طرح نیز بیشتر شود در ضمن اینکه این کار منجر به از فعالیت خارج شدن قسمتی از محدوده شهری می‌شود که این مساله نیز قابل قبول و اصولاً امکان پذیر نمی‌باشد)، طراحان و جریان بایستی در پی یافتن راهکاری جهت تعویض سیستم باشند. لذا پیشنهاد می‌شود که تعویض سیستم به صورت یک خط لوله در هر اجرا صورت گیرد. بدین ترتیب در هر مرحله تنها یک کوچه و یا قسمتی از یک خیابان از خدمات آب شهری در مقطع زمانی محدود که قبلا طی یک برنامه زمانی به اطلاع عموم رسیده، جدا می‌شوند. در این زمان نیز می‌توان به آبرسانی از طریق مخازن متحرک پرداخت. توجه شود که این کار به دلیل کم شدن جمعیت منطقه در محدوده هر اجرا امکان پذیر است.



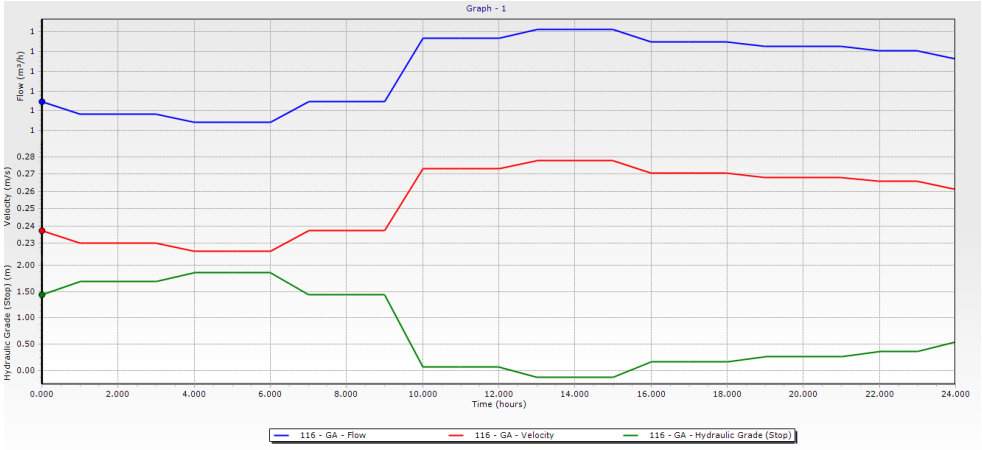
شکل (۲) محدوده لوله شماره ۱۱۶

شکل ۳ نمودار سرعت و فشار را طی یک شبانه روز و طبق الگوی مصرف اندازه گیری شده سازمان آب منطقه‌ای را نشان می‌دهد. اولین خط افقی از بالا نمایش دهنده میزان مصرف، خط دوم سرعت جریان در لوله و خط سوم میزان هد در نقطه انتهای خط لوله است. با توجه به شکل دیده می‌شود که فشار در زمان اوج مصرف به شدت کاهش یافته و در مقطعی نیز ممکن است به قطع جریان منجر شود.



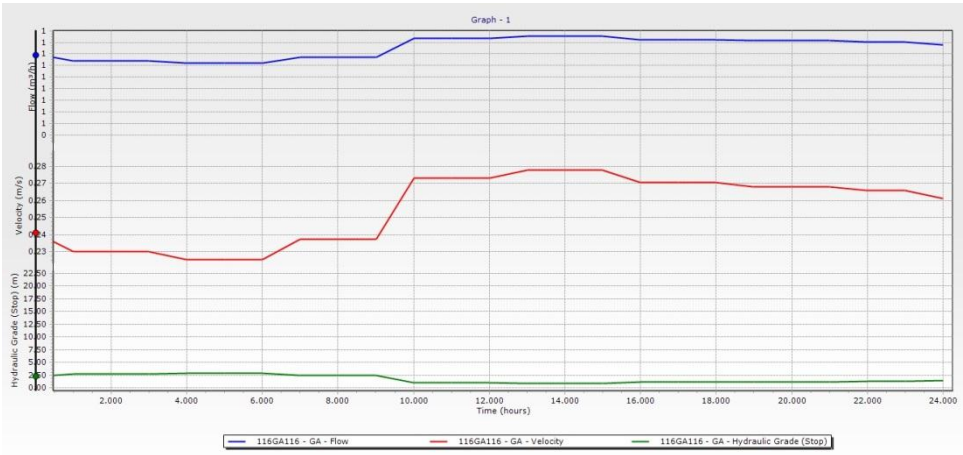
شکل (۳) نمودار خط لوله ۱۱۶ قبل از بهینه سازی

لازم به تذکر است این نمودار در ساعت اوج مصرف رسم شده است. با توجه به میزان افت فشار و حداکثر فشار در مقابل حداکثر فشار قابل تحمل لوله، در ضمن هزینه افزایش فشار با تغییر پمپ، بایستی راهکاری جهت تعدیل فشار اندیشیده شود. در این راستا می‌توان با احداث یک مخزن هوایی به متعادل شدن فشار در ضمن تامین دبی مورد نیاز در ساعات مختلف پرداخت.



شکل (۴) شراایط بهبود یافته لوله شماره ۱۱۶ پس از بهینه سازی قطر لوله

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که گرچه پس از بهینه سازی قطر لوله‌ها شرایط هیدرولیکی بهبود یافته، اما همچنان در ساعات اوج مصرف شاهد کاهش فشار هستیم که در برخی مناطق انتهایی شبکه مشترکین را به استفاده از پمپ‌های خانگی محتاج می‌کند. پس از ایجاد یک تانک در شبکه مدل شده، شاهد تعدیل فشار در محدوده ۲ متر هستیم. نمودار میزان مصرف، سرعت و فشار شبکه نهایی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل (۵) نمودار فشار در لوله ۱۱۶ پس از استفاده از مخزن در شبکه جهت ثبات فشار

مشاهده می‌شود که سرعت در محدوده ۱ متر بر ثانیه و فشار حداقل ۱.۱ متر در طول ۲۴ ساعت به ثبت رسیده است که شرایط مناسبی برای مصرف کنندگان و نیز شرایط هیدرولیکی شبکه می‌باشد.

هزینه کل سیستم لوله‌های پلی اتیلن بهینه ذکر شده: ۱/۳۲۷/۸۰۸/۵۰۰ ریال (هزینه حفاری، نصب و دیگر هزینه‌های جانبی در محاسبات وارد نشده‌اند) طبق قیمت‌های شرکت پارسیان می‌باشد. این رقم نسبت به گزینه‌های بهینه دیگر مینیمم نبود اما شرایط هیدرولیکی آن در مقایسه با دیگر شبکه‌ها در شرایط بهتری قرار دارد. در نهایت این شبکه با طراحی بهینه الگوریتم ژنتیک نرم افزار Water GEMS نیز مقایسه شد که پس از اجرا تغییری مشاهده نگردید. بدین معنی که الگوریتم داخلی نرم افزار نتوانست گزینه بهتری برای هیچکدام از لوله‌ها ایجاد کند.

۵- منابع

تابش، م. و کریم زاده، آ. ۱۳۸۲. بهینه سازی شبکه‌های آبرسانی شهری با در نظر گرفتن قید قابلیت اطمینان و رابطه دبی – فشار در گره-ها. *نشریه دانشکده فنی*، ۳۷ (۲)، شهریور ۱۳۸۲: ۱۹۹ – ۲۱۱.

موسویان، س. ع. شریفی، م. ب. و رجبی مشهدی، ح. ۱۳۸۸. کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه سازی شبکه‌های توزیع آب شـهری. *هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران*. اردیبهشت ۱۳۸۸. شیراز.

Alperovits, E., and Shamir, U. 1977. Design of optimal water distribution system. *Water Resource Research*, 13(6): 885 – 900.

Bazargan-Lari, M. R., Kerachian, R., and Mansoori, A. 2009. A conflict-resolution model for the conjunctive use of surface and groundwater resources that considers water-quality issues: A case study. *Journal of Environment Management*, 43(3): 470 – 482.

Beygi, S., Bozorg Haddad, O., Fallah-Mehdipour, E., and Mariño, M. A. 2014. Bargaining Models for Optimal Design of Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(1): 92 – 99.

Bozorg Haddad, O., Adams, B. J., and Mariño, M. A. 2008. Optimum rehabilitation strategy of water distribution systems using the HBMO algorithm. *Journal of Water Supply Research and Technology-AQUA*, 57(5): 337– 350.

Fujiwara, O., and Khang, D. B. 1990. A two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resource Research*, 26(4): 539 – 549.

Ganji, A., Khalili, D., and Karamouz, M. 2007. Development of stochastic dynamic nash game model for reservoir operation. I. The symmetric stochastic model with perfect information. *Advances in Water Resources*, 30(3): 528 – 542.

Geem, Z. W. 2009. Particle-swarm harmony search for water network design. *Engineering Optimization*, 41(4): 297 – 311.

Ghajarnia, N., Bozorg Haddad, O., and Mariño, M. A. 2011. Performance of a novel hybrid algorithm in the design of water networks. *Proceeding Institution of Civil Engineering - Water Management*, 164(4): 173 – 191.

Goldberg, D. E., Korb, B., and Deb, K. 1989. Messy genetic algorithms: Motivation, analysis, and first results. *Complex Systems*, 3(5): 493 – 530.

Halhal, D., Walters, G. A., Ouzar, D., and Savic, D. A. 1997. Water network rehabilitation with structured messy genetic algorithm. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 123(3): 137-146.

Harsanyi, J., and Selten, R. 1972. A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. *Management Science*, 18(5): 80 – 106.

Karamouz, M., Akhbari, M., and Moridi, A. 2011. Resolving disputes over reservoir-river operation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(5): 327 – 339.

Katherine A. Klise, C ynthia A. Phillips and Robert J. Janke. 2013. Two-Tiered Sensor Placement for Large Water Distribution Network Models. *Journal of Infrastructure Systems*, 19(4): 465 - 473.

Kerachian, R., and Karamouz, M. 2007. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. *Advances in Water Resources*, 30(4): 866 – 882.

Kessler, A., and Shamir, U. 1989. Analysis of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. *Water Resource Research*, 25(7): 1469 – 1480.

Madani, K. 2011. Hydropower licensing and climate change: Insights from cooperative game theory. *Advances in Water Resources*, 34(2): 174 – 183.

Moghaddam, P. P., Kerachian, R., and Abed-Elmdoust, A. 2012. Developing evolutionary stable strategies for groundwater resources exploitation: Application of game theory. *International Conference on Ecological, Environmental and Biological Science*, jan 7-8: 450 – 454.

Moneim, M.A., Moawad, A.K., Molla, A.A., and Selawy, A.A. 2010. Relopt: Model Application for Reliability-based Optimization of Water Distribution Network. *World Engineering and Applied Sciences Journal*, 1(1): 1 – 8.

Nash, J. 1950. The bargaining problem. *Econometrica*, 18(2): 155 –162.

Niksokhan, M. R., Kerachian, R., and Amin, P. 2009. A stochastic conflict resolution model for trading pollutant discharge permits in river systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 154(1– 4): 219 – 232.

Prasad, T. D., and Park, N. S. 2004. Multi-objective genetic algorithms for design of water distribution networks. *Journal of Water Resource Planning Management*, 1(73): 73– 82.

Prasad, T. D., Walters, G. A., and Savic, D. A. 2004. Booster disinfection of water supply network: Multiobjective approach. *Journal of Water Resource Planning Management*, 5(367): 367–37 6.

Raad, D., Sinske, A., and Vuuren, J. V. 2010. Multiobjective optimiza-tion for water distribution system design using a hyperheuristic. *Journal of Water Resource Planning Management*, 136(5): 592 – 596.

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.

Salazar, R., Szidarovszky, F., and Rojano, A. 2010. Water distribution scenarios in the Mexican valley. *Water Resources Management*, 24(12): 2959 – 2970.

Savic, D. A., Walters G. A., Randall-Smith M. and Atkinson R. M. 2000. Large water distribution systems design through genetic algorithm optimization. *Proceeding of 2000 Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resource Planning And Management*, July 30-August 2, Minneapolis, USA.

Seifollahi-Aghmiuni, S., Bozorg Haddad, O., Omid, M. H., and Mariño, M. A. 2011. Long-term efficiency of water networks with demand uncertainty. *Proceeding Institution of Civil Engineering - Water Management*,164(3): 147 – 159.

Shirangi, E., Kerachian, R., and Shafai Bajestam, M. 2008. A simplified model for reservoir operation considering the water quality issues: Application of the young conflict resolution theory. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146(1– 3): 77 – 89.

Soltanjalili, M., Bozorg-Haddad, O., and Mariño, M. A. 2011. Effect of breakage level one in design of water distribution networks. *Water Resources Management*, 25(1): 311– 337.

Wu, Z. Y., Walski, T., Mankowski, R., Cook, J., Tryby, M., and Herrin, G. 2002. Optimal capacity of water distribution systems. *Proceeding of 1st Annual Environmental and Water Resource System Analysis*, may 19-22, USA.

Young, H. P. 1993. An evolutionary model of bargaining. *Journal of Economic Theory*, 59(1): 145 – 168.