



کاربرد الگوریتم های فراابتکاری در بهینه سازی شبکه های توزیع آب شهری

سید عبدالناصر موسویان، محمد باقر شریفی، حبیب رجبی مشهدی

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش آب دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد

Naser_moosavian@yahoo.com

خلاصه

شبکه های آبرسانی شهری از جمله زیر ساخت هایی هستند که با توجه به هزینه های زیادی که در زمینه های ساخت، مصالح و نگهداری دارند، مورد توجه محققین قرار گرفته اند. طیف وسیعی از تحقیقات در بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کاهش دادن هزینه این زیر ساخت ها اختصاص یافته است. در این مقاله شبکه آبرسانی شهر تربت جام مورد بررسی قرار می گیرد. این شبکه شامل ۹۷ لوله و ۷۹ گره می باشد که توسط دو منبع با ارتفاع هیدرولیکی ۹۵۰ متر و ۹۷۰ متر تغذیه می شود. در این شبکه با در نظر گرفتن قيود حداقل فشار و حداکثر سرعت، به انتخاب قطرهای مناسب در لوله ها پرداخته می شود. در این مقاله به کاربرد سه الگوریتم فراابتکاری و ارائه یک الگوریتم هایبرید (MMAS-GA-HS) در بهینه سازی شبکه آبرسانی شهر تربت جام پرداخته شده است. نتایج تجربی نشان داد که الگوریتم هایبرید بهتر از سایر روش های تکاملی به جواب بهینه همگرا می شود همچنین الگوریتم ژنتیک نیز نسبت به روش های کلونی مورچه ها و جستجوی هارمونی از توانایی بیشتری جهت رسیدن به جواب بهینه برخوردار است. در انتها نیز به چگونگی اتصال پویا بین دو نرم افزار MATLAB و EPANET پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: بهینه سازی- الگوریتم های فراابتکاری- شبکه های توزیع آب شهری.

۱. مقدمه

امروزه جوامع بشری هزینه های بسیاری را برای به حداقل رساندن سود و به حداقل رساندن هزینه صرف می کنند. برای نیل به این هدف مهندسی به طرح های مرتبط با روش های بهینه سازی قیمت ها متوسل می شوند. در عمل مهندسی با تجربه برای یافتن یک طرح با قیمت کم، به صورت سنتی از روش های آزمون و خطا مبتنی بر قضاوت مهندسی استفاده می کنند. به دلیل اینکه روش های سنتی هیچ تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه و یا حتی نزدیک به جواب بهینه ندارند، تحقیقات بسیاری در زمینه روش های بهینه سازی انجام شده است. طیف وسیعی از تحقیقات در بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کاهش دادن هزینه این زیر ساخت ها اختصاص یافته است. روش های فراابتکاری^۱ با توجه به قابلیت انطباق و انعطاف پذیری بسیاری که با انواع مسائل پیچیده دارند، برای به حداقل رساندن هزینه شبکه های آبرسانی که دارای متغیر های تصمیم گسسته (قطرهای موجود در بازار) می باشند، به نتایج مطلوبی رسیده اند.

۲. شبکه های توزیع آب

شبکه های توزیع آب شامل لوله ها، مخازن، پمپ و شیرها می باشند. به طور کلی شبکه های توزیع آب به چهار دسته شبکه سریال، شبکه شاخه ای، شبکه حلقوی و شبکه مرکب تقسیم می شوند. در شبکه سریال و شاخه ای، فقط یک مسیر انتقال آب از یک گره چشمه تا یک گره خاص وجود دارد. در این شبکه ها اگر برای تعمیر یا تعویض لوله ای، جریان به آن قطع شود، تمام گره های مصرف در پایین دست آن لوله به طور کامل ارتباطشان با گره چشمه قطع خواهد شد و بدون آب خواهند ماند. برعکس، در شبکه حلقوی از یک گره چشمه تا یک گره خاص مسیرهای مختلفی وجود دارند و چنانچه مسیری قطع شود، آب از دیگر مسیرها به آن گره منتقل می شود.



بنابراین، آبرسانی به شبکه های سریال و شاخه ای از قابلیت اطمینان کمتری نسبت به شبکه های حلقوی برخوردارند. شبکه های سریال و شاخه ای ارزانتر و معمولاً طرح و تحلیل آنها آسانتر از شبکه های حلقوی است. شبکه های سریال و شاخه ای برای آبرسانی صنعتی، آبیاری بارانی^۱ و توزیع آب در اجتماعات کوچک و روستاها کاربرد دارند [1].

در یک شبکه توزیع آب مجهولات عبارتند از:

دبی در لوله ها، میزان افت در لوله ها و مقادیر فشار در گره ها. در صورتیکه فرض شود شبکه مورد نظر دارای M لوله و N گره باشد، تعداد $2M+N$ مجهول وجود دارد، بنابراین به همین تعداد معادله احتیاج داریم. معادلات موجود در شبکه ها توزیع آب شامل معادله پیوستگی و معادله جریان می باشند. طبق قانون بقای ماده معادله پیوستگی بیان می دارد که جریان ورودی به یک نقطه با جریان خروجی از آن نقطه برابر است.

$$\sum_{i=1}^N Q_i = 0 \quad (1)$$

که N تعداد لوله های وارد بر گره و Q دبی در هر لوله می باشد.

رابطه جریان نیز همبستگی افت فشار و دبی جریان را با مشخصات هندسی لوله نشان می دهد.

۳. بهینه سازی شبکه های توزیع آب

در یک شبکه آبرسانی طراحی مسئله بهینه سازی برای به حداقل رساندن قیمت (هزینه) مطابق زیر است.

هدف به حداقل رساندن هزینه طرح شبکه آبرسانی است^۲ و قید های مسئله عبارتند از:

۱- معادله پیوستگی^۳

۲- معادله بقای انرژی^۴

۳- تأمین حداقل فشار^۵

۴- و دیگر قیود از جمله حداکثر فشار، حداقل و حداکثر سرعت^۶ و...

بصورت ریاضی تابع هدف، تابعی از هزینه قطر لوله و طول لوله فرض شده است.

$$C = \sum_{i=1}^N f(D_i, L_i) \quad (2)$$

که $f(D_i, L_i)$ هزینه لوله i ام به قطر D_i و طول L_i می باشد و N تعداد لوله ها در شبکه است.

در بعضی موارد به جای تابع هدف فوق یک جدول قیمت جایگزین می شود. تابع هدف باید تحت قید های داده شده حداقل شود [2].

۴. الگوریتم های فرا ابتکاری

در این بخش ابتدا به طور خلاصه به معرفی سه الگوریتم بهینه سازی می پردازیم سپس الگوریتم هایبرید پیشنهادی را شرح می دهیم. جهت بهینه سازی شبکه توزیع آب در این مقاله از الگوریتم ژنتیک^۷، الگوریتم کلونی مورچه ها^۸ و الگوریتم جستجوی هارمونی^۹ استفاده شده است. هر کدام از این روش

1- Sprinkler Irrigation

2- Minimize : Cost of the water network design

3- Continuity Equation

4- Conservation of energy equation

5- Minimum Pressure Requirements

6- Other constraints (maximum pressure; maximum and minimum velocity; reliability)

7- Genetic Algorithm

8- Ant Colony Algorithm

9- Harmony Search Algorithm



ها بوسیله عملگرهای مختلف تعریف شده در ساختارشان، قادر هستند یک مسئله بهینه سازی را به سوی جواب های بهینه راهنمایی کنند. برای توضیحات بیشتر به مقالات منتشر شده در این زمینه مراجعه نمایید [2]، [3]، [4].

در اینجا به الگوریتم بهینه سازی، مرکب از هر سه الگوریتم کلونی مورچه ها، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی هارمونی اشاره می شود که تمام مزیت های این سه روش را در بر دارد و جواب های به مراتب بهتری برای شبکه های آبرسانی بزرگ مقیاس نسبت به تک تک روش های فوق بدست می دهد.

۵. معرفی الگوریتم هایبیرید

رویه الگوریتم پیشنهادی را به صورت گام به گام در زیر بیان می گردد:

گام ۱:

در مرحله اول کلیه پارامترهای موجود در الگوریتم هایبیرید تعیین می شود. این پارامترها شامل نرخ شکست، نرخ جهش، عملگر HMCR، عملگر PAR، تعداد مورچه ها، پارامترهای کنترلی α و β ، مقدار فرمون اولیه موجود در هر مسیر، تعریف راهنمای کاوشی، تعریف مقدار جریمه برای جواب های نشدنی و تعداد متغیرهای تصمیم و قیمت واحد طول هر یک از آنها می باشد و دیگر اطلاعات لازم برای شبکه آبرسانی عبارتند از: میزان تقاضا در هر گره و تعریف شبکه به صورت فایل قابل خواندن در نرم افزار MATLAB.

گام ۲:

در این مرحله قطرهای تجارتي در دسترس طبقه بندی می شوند و برای لوله های نزدیک به منبع احتمال انتخاب لوله ها با قطرهای بزرگتر، برای لوله های میانی شبکه احتمال انتخاب لوله با قطرهای متوسط و برای لوله های دور از منبع احتمال انتخاب قطرهای کوچکتر فراهم می آید. به عبارتی قضاوت مهندسی بر جمعیت اولیه وارد می شود تا فرایند جستجو در زمان کوتاهی به انجام برسد.

همچنین می توان کلیه انتخاب قطرها را به صورت تصادفی به عهده کامپیوتر قرار داد. البته برای افزایش سرعت همگرایی در ابتدای مرحله انتخاب، به قطرهای بیشتر، وزن بیشتری اختصاص می یابد و طی فرایند تولید بردارهای حل، وزن قطرهای انتخابی متعادل می شوند.

گام ۳:

در این مرحله به تحلیل هیدرولیکی شبکه آبرسانی پرداخته می شود. برای تک تک بردارهای حل تولید شده در گام ۲، بوسیله نرم افزار EPANET مقدار هد فشار در هر گره و سرعت در هر لوله محاسبه می شود. اگر در هر گره یا لوله حداقل فشار مورد نیاز و یا حداکثر سرعت مجاز ارضاً نشده باشد به هزینه لوله های انتخابی، مقدار جریمه اضافه می شود. می توان در همین گام جواب های نشدنی را حذف نمود و جواب های شدنی دیگری تولید و جایگزین کنیم. این کار دارای مزیت ها و معایبی است. مزیت آن اینست که سرعت همگرایی برای رسیدن به جواب بهینه بسیار بالا می رود و عیب آن اینست که ممکن است در جواب بهینه محلی قرار گیرد و امکان فرار از این موقعیت، برای یافتن جواب های بهتر را از دست بدهد.

گام ۴:

در گام ۳ مرحله انتخاب به انجام رسید. حال عملگرهای شکست، جهش و عملگرهای الگوریتم جستجوی هارمونی بر روی نسل اولیه به کار برده می شوند. برای این کار دو بردار حل از نسل اولیه به تصادف انتخاب کرده و همانند الگوریتم های ژنتیک عملیات شکست و جهش بر روی آن به انجام می رسد. پس از آن بر روی این دو جواب مرحله بداهه سرایی یک هارمونی جدید بکار برده می شود و دو بردار حل جدید تولید می شود.

گام ۵:

در این مرحله به تحلیل هیدرولیکی مسئله با توجه به دو بردار تولید شده در گام ۴ پرداخته می شود. و اگر حداقل فشار و حداکثر سرعت مورد نیاز ارضاً نشد به هزینه متناظر با این دو بردار حل، مقدار جریمه افزوده می شود. در این مرحله پس از محاسبه هزینه شبکه با توجه به قطرهای انتخابی؛ مرحله نخبه گرایی به انجام می رسد. بدین صورت که اگر دو جواب بدست آمده در گام ۴ از بدترین جواب های موجود در نسل اولیه بهتر بودند جایگزین آن ها می شوند [5].

گام ۶:

گام ۴ و ۵ به تعداد مورد نیاز تکرار می شوند.

گام ۷:



در این گام، بروز رسانی فرمون انجام می گیرد. یعنی مسئله به صورت حل برای الگوریتم کلونی مورچه ها تبدیل می شود. و به جای فرض اولیه برای فرمون، مقدار فرمون بهبود یافته که ناشی از بردارهای جواب بدست آمده از گام ۶ است، برای جستجوی مورچه ها بر روی مسیر به جای گذارده می شود.

گام ۸:

از الگوریتم MAX-MIN ANT SYSTEM، که جدیدترین و بهترین نوع الگوریتم کلونی مورچه ها می باشد برای این مرحله استفاده می شود [6]. پس از بروز رسانی فرمون در مسیر الگوریتم MMAS به جستجو بر روی مسیر می پردازد و جواب های بدست آمده توسط مورچه ها در این مرحله ذخیره می شوند.

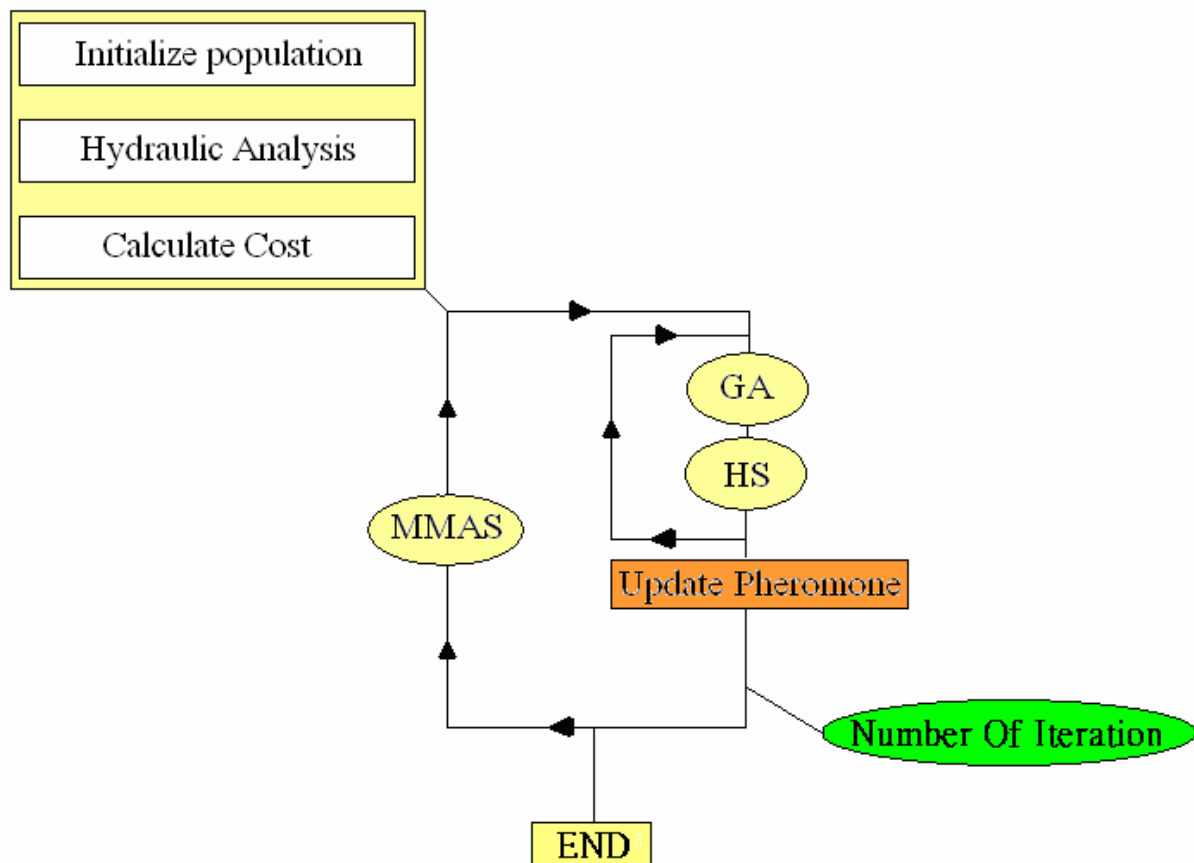
گام ۹:

در این مرحله بردارهای جواب بدست آمده توسط مورچه ها با بردارهای جواب موجود در نسل اولیه مقایسه می شوند. هر کدام از بردارهای جواب بهتر بود در نسل اولیه جایگزین می شود.

گام ۱۰:

گام ۴ تا ۹ به تعداد مورد نیاز تکرار می شوند.

شکل (۱)، فرایند بهینه سازی بوسیله الگوریتم پیشنهادی را نشان می دهد.



شکل (۱): فرایند بهینه سازی بوسیله الگوریتم پیشنهادی

۵. مطالعه موردی

در اینجا به عنوان مورد مطالعاتی شبکه آبرسانی شهر تربت جام مورد بررسی قرار می گیرد. این شبکه شامل ۹۷ لوله و ۷۹ گره می باشد که توسط دو منبع با ارتفاع هیدرولیکی ۳۱۱۶/۸ فوت و ۳۱۸۲/۴ فوت تغذیه می شود. شکل (۲) شبکه آبرسانی این شهر را همراه با شماره گره ها و لوله ها نشان می دهد.



قیدهای موجود در این تحقیق شامل حداقل فشار و حداکثر سرعت مجاز می‌باشد. 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 که باید در کلیه گره‌ها این قیدها ارضا شوند. علت اینکه حداقل فشار مجاز ۷ متر آب در نظر گرفته شده است، میزان محدود ارتفاع هیدرولیکی آب در مخازن تغذیه است که نمی‌تواند حداقل فشار مجاز موجود در آیین نامه‌ها، در کلیه گره‌ها را با بزرگترین اندازه قطرها تأمین نماید. با توجه به تعداد زیاد لوله‌ها در شبکه تعداد متغیرهای تصمیم یا همان قطرهای قابل انتخاب برابر ۱۰ نوع قطر 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 و البته کارایی راه حل ارائه شده کمتر خواهد بود.

قطرهای انتخابی مطابق زیر می‌باشند:

[63mm, 110mm, 160mm, 200mm, 250mm, 315mm, 400mm, 500mm, 630mm, 710mm]

۶. تحلیل هیدرولیکی

در این مقاله جهت تحلیل هیدرولیکی، از فایل تحلیل شبکه نرم افزار EPANET استفاده شده است که به طور همزمان در حین فرایند بهینه سازی و در هر تکرار این عملیات را انجام می‌دهد. این فایل به طور پویا با نرم افزار برنامه نویسی MATLAB در ارتباط است. جهت دریافت فایل های مورد نیاز برای اتصال این دو نرم افزار می‌توان به وب سایت رسمی نرم افزار EPANET مراجعه نمود و برای دریافت برنامه های مورد نیاز تحلیل هیدرولیکی به پست الکترونیکی نگارنده مراجعه نمایید.

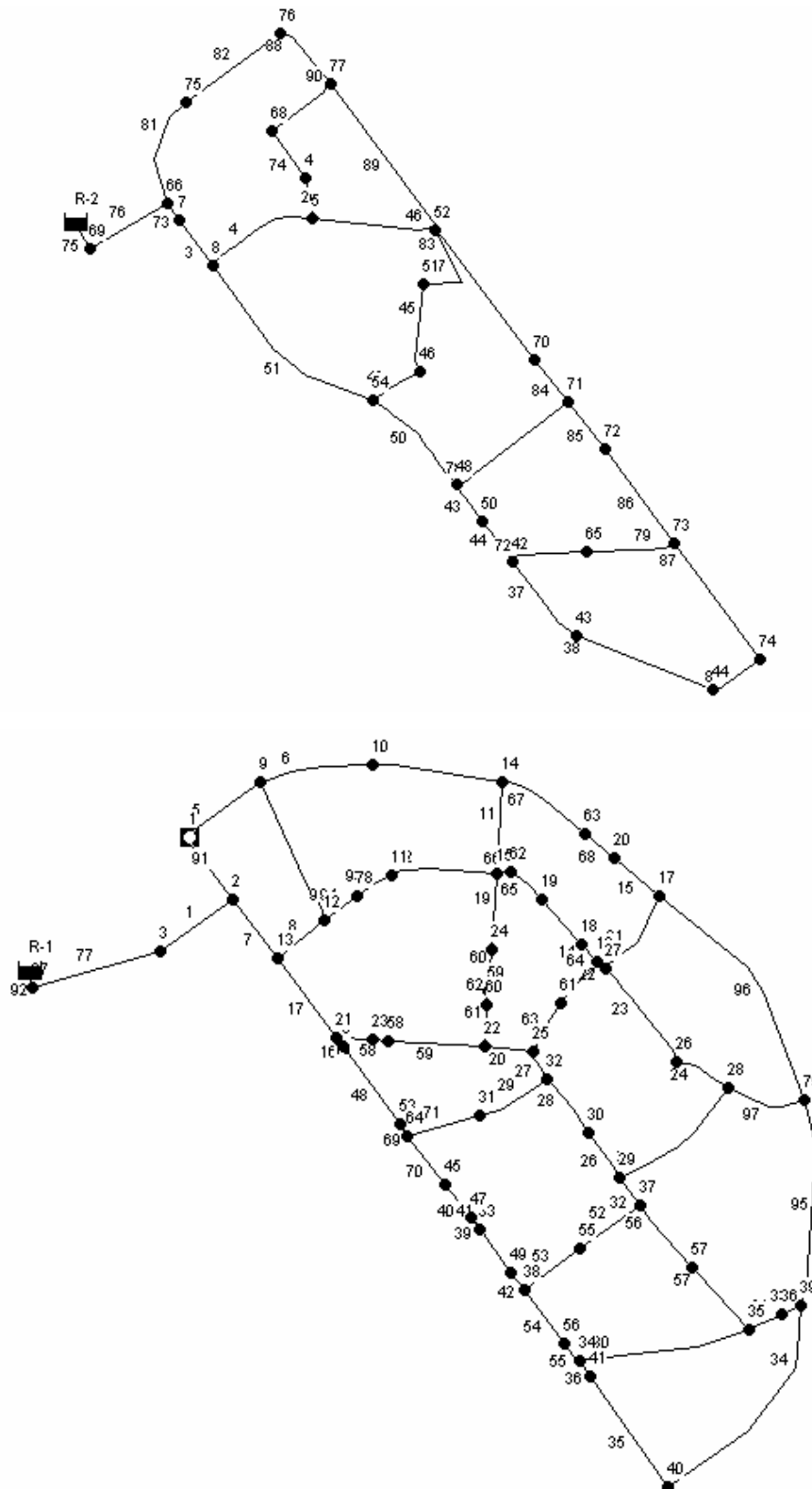
۷. نتایج

در این بخش جواب های بدست آمده بوسیله روش های مورد بررسی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. با توجه به زمان طولانی روند یافتن جواب بهینه، در ابتدای حل برای هر کدام از روش ها یک جواب خوب به عنوان راهنما قرار داده شده است. این کار سبب می‌شود تا برنامه زودتر به جواب بهینه سراسری دست یابد. جدول (۱) جواب های بدست آمده توسط روش های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

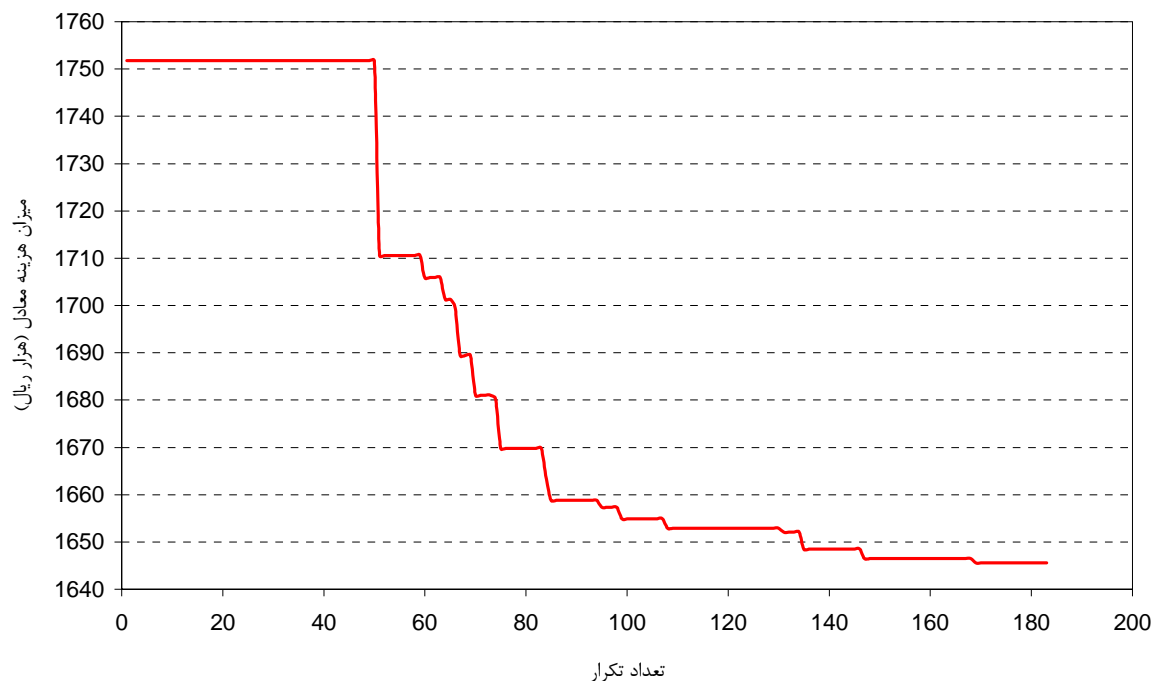
جدول (۱): جواب های بهینه مسئله شبکه آبرسانی شهر تربت جام توسط روش های مختلف

روش بهینه سازی	GA	HS	ACO	HYBRID
هزینه (هزار ریال)	1662.9	1700.8	1676.9	1645.6

با توجه به جدول (۱) مشاهده می‌شود روش پیشنهادی جواب های به مراتب بهتری از سایر روش ها را تولید می‌کند. همچنین در مقایسه میان روش های فراابتکاری الگوریتم ژنتیک دارای کاربرد بیشتری می‌باشد و مدل سازی آن نیز نسبت به سایر روش ها ساده تر است. الگوریتم جستجوی هارمونی در تعداد تکرار مورد نظر قادر به رقابت با سایر روش ها نمی‌باشد. روند همگرایی جواب ها در الگوریتم هایبرید مطابق شکل (۳) می‌باشد.



شکل (۲): شبکه آبرسانی شهر تربت جام



شکل (۳): نمودار همگرایی جواب ها برای الگوریتم هایبرید پیشنهادی

۸. نتیجه گیری

در این مقاله به مقایسه جواب های بدست آمده توسط الگوریتم های فراابتکاری جهت بهینه سازی شبکه های توزیع آب پرداخته شد. با بررسی به عمل آمده مشخص شد که در میان این روش ها الگوریتم ژنتیک از قابلیت های بیشتری جهت عملیات بهینه سازی برخوردار است. پس از آن الگوریتم کلونی مورچه ها نیز جواب های قابل قبولی را ارائه می دهد. همچنین با استفاده از خصوصیات مثبت هر یک از این روش ها به ارائه یک الگوریتم هایبرید پرداخته شد که جهت عملیات بهینه سازی از عملگرهای الگوریتم ژنتیک شامل عملگرهای شکست و جهش و عملگر الگوریتم جستجوی هارمونی استفاده می کند و ترکیب آن ها با ویژگی های قدرتمند الگوریتم کلونی مورچه ها در نهایت مسئله را به سرعت به سوی جواب های بهینه راهنمایی می کند که در مقایسه با هر کدام از روش ها جواب های به مراتب بهتری را ارائه می دهد.

۹. مراجع

- [1]. امیر تائبی و محمد رضا چمنی، "شبکه های توزیع آب شهری". اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان. مرکز نشر، ۱۳۸۴.
- [2]. Geem Z.W., Kim J-H, Loganathan G.V. "Harmony search optimization: Application to pipe network design". *Int J Modell Simulat*; 22(2): 125-33, 2002.
- [3]. Savic, D. A., Walters, G. A., "Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks". *Journal of Water Resources Planning, Management, ASCE*, 123(2), 67-77, 1997.
- [4]. Maier, H.R., Simpson, A.R., Zecchin, A.C., Foong, W.K., Phang, K.Y., Seah, H.Y., Tan, C.L. "Ant colony optimization for design of water distribution systems." *J. Water Resour. Plng., Mgmt.*, 129(3), 200-209, 2003.



[5].Gupta, A., Gupta, P., Khanna. "Genetic algorithm for optimization of water distribution systems". National Environmental Engineering Research Institute, Nagpur-440020, India. 1364-8152/99/\$,1999.

[6].Zecchin, A. C., Maier, H. R., Simpson, A. R., Leonard, M., Roberts, A. J., Berrisford, M. J. "Application of two ant colony optimization algorithms to water distribution system optimisation." *Math.Comput. Modell.*, 44, 451-468, 2006.