



## Technical Note

Optimal Design of Urban Sewer Networks  
Underlining the Execution Aspects (Case  
Study: Sewer Network of Urmia City)A. Shirzad<sup>1\*</sup> and A. Abdollahi Pourarki<sup>2</sup>

## Abstract

In this paper a genetic algorithm method is applied for the optimal design of sewer networks. By studying the list price and the records and reports of contractors of sewer network construction, a cost function is derived. The variables in this function are the pipe diameter and the pipe slope. The results showed the capability of the presented model for the optimal design of sewer networks. Optimization of Urmia sewer network using the proposed model led to 13 percent decrease in construction cost. Among the advantages of the proposed model are considering the execution aspects and avoiding drop at pipe joints. Proposing a method for calculating rainwater, the impact of rainwater on design of sewer networks was also examined. According to the results for the case study of Urmia city, considerable discharge of rainwater (up to 10 times of sanitary sewer discharge) enters into the sewer network which is not consistent with the primary design criteria of the separate network. Considering the rainwater in design of sewer networks would lead to considerable increases in pipe sizes and network costs.

**Keywords:** Sewer network, Drop, Rainwater, Optimization, Genetic algorithm.

Received: June 28, 2016

Accepted: August 27, 2016

## یادداشت فنی

طراحی بهینه شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری با  
تأکید بر جنبه‌های اجرایی (مطالعه موردی: شبکه  
جمع‌آوری فاضلاب شهر ارومیه)اکبر شیرزاد<sup>۱\*</sup> و احمدرضا عبداله‌هی پور ارکی<sup>۲</sup>

## چکیده

پژوهش حاضر مبتنی بر ارائه روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب است. به منظور تدوین مدل بهینه‌سازی، با مطالعه فهرست بهای پایه شبکه جمع‌آوری فاضلاب، صورت‌جلسات کارگاهی و صورت‌وضعیت‌های پیمانکاران، تابع هزینه‌ای بر اساس متغیرهای شیب و قطر لوله‌ها استخراج شده و به عنوان تابع هدف کمینه‌سازی هزینه به کار گرفته شده است. نتایج حاصله نشان‌دهنده کارایی مدل بهینه‌سازی ارائه شده در کمینه‌سازی هزینه اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب است؛ به طوری که استفاده از این مدل در طراحی شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر ارومیه، کاهش ۱۳ درصدی هزینه اجرا را به دنبال دارد. از مزیت‌های این مدل، توجه به مسائل اجرایی و عدم ایجاد منهول ریزشی در نقاط اتصال لوله‌ها می‌باشد. در این پژوهش همچنین با ارائه روشی برای محاسبه آب باران، تأثیر آب باران در طراحی شبکه‌های فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله برای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر ارومیه بیانگر ورود مقادیر قابل توجه آب باران (تا ۱۰ برابر دبی فاضلاب) به داخل شبکه بوده و اعمال آب باران در محاسبات طراحی منجر به افزایش قابل توجه ساینز لوله‌ها و هزینه اجرای شبکه می‌شود.

**کلمات کلیدی:** شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، منهول ریزشی، آب باران، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۴/۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۶/۶

1- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran. E-mail: a.shirzad@uut.ac.ir

2- MSc. in Environmental Engineering, Expert of the Technical Office, West Azarbaijan Water and Wastewater Authority, Urmia, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه  
۲- کارشناس ارشد عمران - محیط زیست، کارشناس دفتر فنی شرکت آب و فاضلاب استان  
آذربایجان غربی

\*- نویسنده مسئول  
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پاییز ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

همچنین با ارائه روشی برای محاسبه دبی لحظه‌ای شبکه‌های فاضلاب مجزا در زمان بارندگی، تأثیر آب باران در طراحی این شبکه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. از ویژگی‌های مدل ارائه شده در این مقاله، عدم استفاده از منهول ریزشی یا دراپ در شبکه طراحی شده توسط آن است که خود موجب کاهش بیشتر هزینه می‌شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مطالعه موردی

شبکه مورد مطالعه در این پژوهش قسمتی از شبکه فاضلاب ارومیه است (شکل ۱). طبق مبانی طرح فاضلاب ارومیه، سرانه فاضلاب تولیدی برابر با ۲۱۰ لیتر در روز به ازای هر نفر، تراکم جمعیت برابر با ۱۵۰ نفر در هکتار، ضریب بهره‌برداری از شبکه برابر با ۱، ضرایب حداکثر ساعتی و روزانه به ترتیب برابر با  $(\frac{1}{1.67})$  (جمعیت بر حسب هزار نفر/۵) و ۱، حداقل عمق لوله‌ها برابر با ۲ متر، نشتاب برابر با ۲۳ مترمکعب در روز برای هر کیلومتر طول لوله، حداکثر سرعت جریان برابر با ۳/۵ متر در ثانیه و حداقل نسبت پرشدگی لوله برابر با ۰/۱ است (Report of Urmia sewer network project, 2006).

### ۲-۲- مدل بهینه‌سازی

برای تدوین مدل بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک در محیط نرم‌افزار مطلب (Matlab 2008) استفاده شده است. در مدل ارائه شده انتخاب کروموزوم‌ها جهت تزیوج و جهش بر اساس چرخ رولت صورت گرفته است. همچنین عمل تزیوج به صورت یکنواخت و

شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب مدرن به دو روش مختلط و مجزا طراحی و اجرا می‌شوند. در ایران شبکه‌های مجزا به دلیل مزایای زیاد آنها نسبت به شبکه‌های مختلط در اکثر شهرها مورد توجه بوده است (Monzavi, 2004). طراحی، اجرا و بهره‌برداری از شبکه‌های مجزا با تمام مزایا دارای مشکلاتی است که همواره مهندسان طراح و شرکت‌های مجری و بهره‌بردار با آنها مواجه بوده‌اند. معضل عمده در شبکه‌های فاضلاب مجزا، مشکلات ناشی از ورود آب‌های حاصل از بارندگی به داخل شبکه‌های فاضلاب می‌باشد.

با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد اجرای تأسیسات جمع‌آوری فاضلاب، ارائه هر گونه روشی که بتواند حتی یک درصد از هزینه‌ها را کاهش دهد، موجب صرفه‌جویی میلیاردها تومان خواهد شد. روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی طراحی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب بکار گرفته شده است که از جمله آنها می‌توان به الگوریتم‌های فراکاشی نظیر الگوریتم ژنتیک (Afshar and Sotoodeh, 2008)، الگوریتم نورد شبیه‌سازی شده (Zefarino et al. 2010)، الگوریتم جامعه مورچگان (Moeini and Afshar, 2014) و الگوریتم اتوماتای سلولی (Afshar and Rohani, 2014) اشاره نمود.

در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با لحاظ نمودن جنبه‌های اجرایی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، مدل مناسبی برای کمی‌سازی هزینه اجرای این شبکه‌ها ارائه شود.

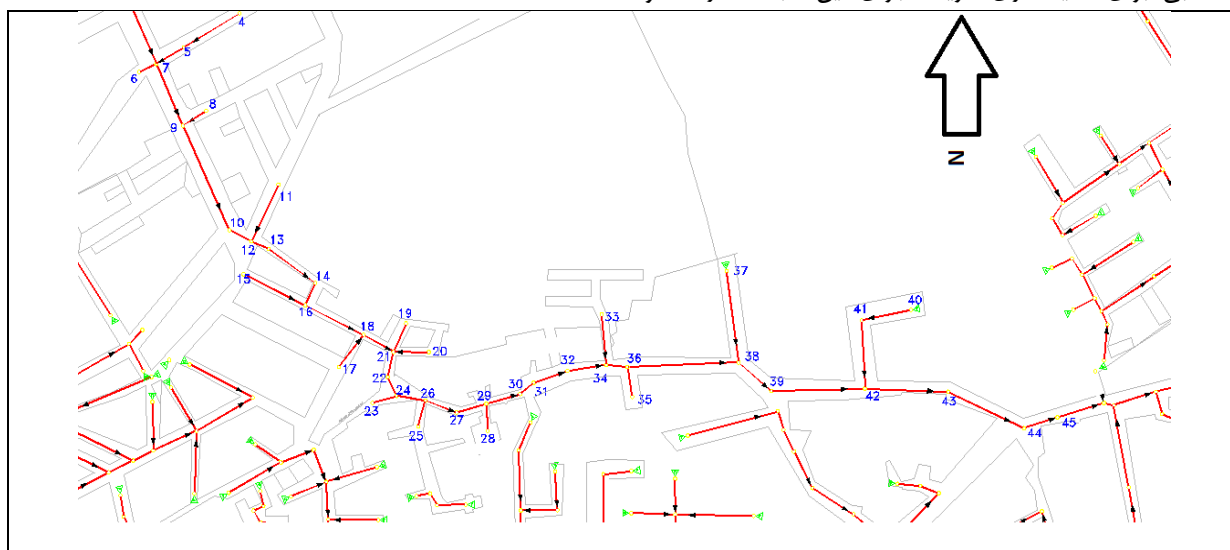


Fig. 1- The studied area of Urmia sewer network (Report of Urmia sewer network project, 2006)  
شکل ۱- محدوده مورد مطالعه از شبکه فاضلاب ارومیه (Report of Urmia sewer network project, 2006)

مجاز آن و  $\frac{h}{d}$  ،  $(\frac{h}{d})_{\min}$  و  $(\frac{h}{d})_{\max}$  : نسبت پرشدهگی، حداقل و حداکثر نسبت پرشدهگی مجاز لوله،  $R$  : شعاع هیدرولیکی لوله و  $l$  : ضریب مانینگ بوده که برای لوله‌های پلی‌اتیلن با توجه به سطح صاف و صیقلی بودن آنها ۰/۱۱ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است قطر لوله‌ها با افزایش تلسکوپي در جهت جریان در نظر گرفته شده‌اند. یعنی در جهت جریان قطر لوله‌ها به تدریج افزایش می‌یابد. فلوجارت محاسباتی مدل بهینه‌سازی در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای بهینه‌سازی طراحی شبکه فاضلاب ارومیه، حداکثر سرعت جریان برابر با ۳/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده و برای شیب لوله‌ها نیز محدوده ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۳، برای قطر لوله‌ها محدوده ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر و برای پرشدهگی لوله‌ها محدوده ۰/۱ تا ۰/۹۹۹ نظر گرفته شده است.

عمل جهش نیز به صورت استفاده از کد حقیقی بوده است. تابع هدف و محدودیت‌های مدل کمینه‌سازی هزینه اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب به صورت روابط (۱) و (۲) نوشته می‌شود.

$$\text{Objective function: Minimize}(Cost = f(D, S)) \quad (1)$$

Subjected to :

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, D_{\min} \leq D \leq D_{\max}, V \leq V_{\max}, \left(\frac{h}{d}\right)_{\min} \leq \frac{h}{d} \leq \left(\frac{h}{d}\right)_{\max}, V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

که در آن Cost: هزینه اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب به عنوان تابعی از قطر لوله (D) و شیب لوله (S) است،  $d$ : عمق لوله،  $S_{\min}$  و  $S_{\max}$ : به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار مجاز شیب طولی لوله‌ها،  $D_{\min}$  و  $D_{\max}$ : به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار مجاز قطر لوله‌ها،  $V$  و  $V_{\max}$ : به ترتیب سرعت جریان در داخل لوله و حداکثر مقدار

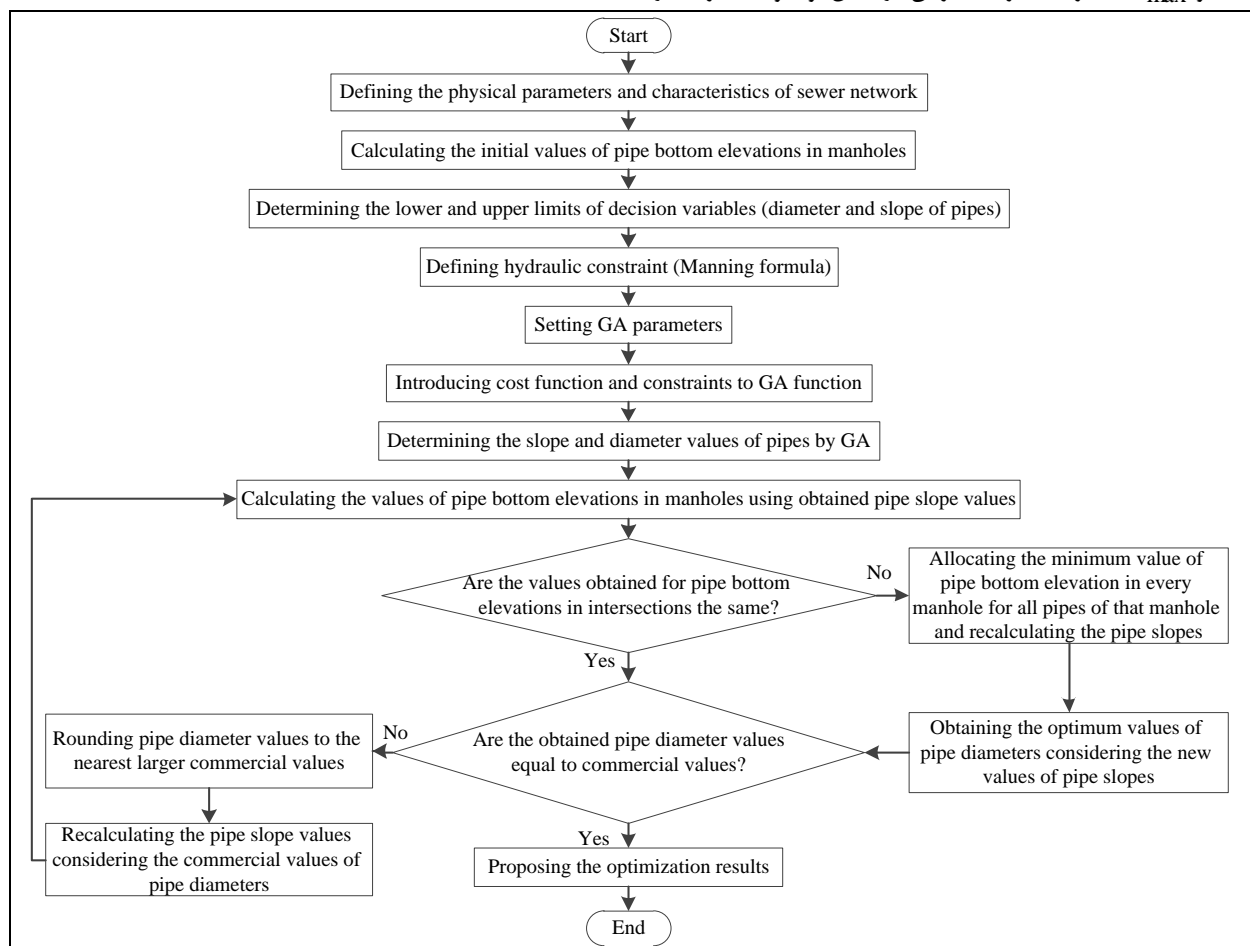


Fig. 2- Computational flowchart for the proposed optimization model

شکل ۲- فلوجارت محاسباتی مدل بهینه‌سازی ارائه شده

### ۳- نتایج و بحث

در اولین گام از این پژوهش اقدام به استخراج تابع هزینه اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شد. ارائه تابعی که به صورت کلی و همواره نشان‌گر هزینه‌های اجرا و بهره‌برداری از شبکه‌های فاضلاب باشد غیرممکن است؛ چرا که در هر منطقه با توجه به خصوصیات آن هزینه‌های متفاوتی ایجاد می‌شود. در این پژوهش بر اساس فهرست بهای پایه شبکه جمع‌آوری فاضلاب و با استفاده از صورت‌جلسات کارگاهی و صورت‌وضعیت‌های پیمانکاران در آن منطقه خاص، تابع هزینه‌ای مختص منطقه‌ای با بافت زمین دج با ۳۰٪ سنگ استخراج شد.

برای این منظور در محیط نرم‌افزار مطلب با برآزش یک معادله (صفحه) بر مقادیر واقعی شیب، قطر و هزینه اجرای واحد طول شبکه فاضلاب، تابع برآورد هزینه به صورت رابطه (۳) به دست آمد. در این برآزش مقدار شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۷۲۶۳/۵۴ تومان بوده است. یعنی با تقریب می‌توان گفت در برآورد هزینه اجرای واحد طول شبکه فاضلاب با استفاده از رابطه ارائه شده، به طور متوسط حدود ۷۰۰۰ تومان خطا می‌تواند وجود داشته باشد که با توجه به هزینه بالای اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، این مقدار خطا مقدار قابل قبولی می‌تواند باشد.

$$\begin{aligned} UnitCost = & (2.7753 \times 10^5) D^2 \\ & + (1.9195 \times 10^8) S^2 \\ & - 56593D + (1.4928 \times 10^5) \end{aligned} \quad (3)$$

در رابطه بالا  $D$ : قطر لوله (متر)،  $S$ : شیب لوله و  $UnitCost$ : هزینه اجرا (تومان به ازای هر متر طول لوله) است.

برای محاسبه میزان آب باران ورودی به شبکه، دوره بازگشت بارش طرح با توجه به شیب کم سطح زمین، برابر با ۵ سال در نظر گرفته شده است (Monzavi, 2004). با استفاده از زمان تمرکز محاسبه شده با رابطه کریپیج (Mahdavi, 1999)، شدت بارش متناظر با دوره بازگشت ۵ ساله استخراج شده است. نکته قابل ذکر این است که فقط بارش مربوط به سطح پشت بام یا حیاط منازل که ناودان‌های خود را به شبکه فاضلاب وصل کرده‌اند، وارد فاضلاب‌روها خواهد شد. بر اساس آمار ارائه شده توسط شرکت آب و فاضلاب آذربایجان غربی، حدود ۸۰٪ منازل مسکونی ناودان‌های خود را به صورت غیرمجاز به شبکه فاضلاب وصل نموده‌اند. نسبت سطح پشت بام منازل به سطح کل مناطق شهری مطابق با نقشه‌ای که از عکس

هوایی شهر ارومیه تهیه شده است، حدود ۰/۳ می‌باشد. بنابراین مقدار آب باران وارد شده به شبکه فاضلاب برابر با حاصل ضرب مقدار (۰/۳ × ۰/۸) در دبی حاصل از بارش منطقه خواهد بود که نمونه‌ای از نتایج محاسبات در جدول ۱ آمده است. در این جدول مقادیر دبی فاضلاب و نشتاب از گزارش طرح فاضلاب ارومیه (Report of Urmia sewer network project, 2006) برگرفته شده است. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید دبی حاصل از باران بسیار بیشتر از دبی فاضلاب تولیدی بوده و در برخی نقاط حدود ۱۰ برابر دبی فاضلاب تولیدی است. با توجه به طراحی شبکه‌های فاضلاب مجزا صرفاً جهت جمع‌آوری و انتقال فاضلاب بهداشتی، بدیهی است که ورود این میزان دبی باران به این شبکه‌ها خارج از ظرفیت آنها خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت که مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های فاضلاب مجزا با واقعیت‌های موجود تطابق نداشته و اصلاح ضوابط و یا اصلاح روش‌های نصب انشعاب فاضلاب امری ضروری است.

مقادیر پارامترهای مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای شبکه جمع‌آوری فاضلاب ارومیه که با تحلیل حساسیت تعیین شده‌اند، عبارتند از: اندازه جمعیت (برابر با ۵۰)، تعداد نسل (برابر با ۲۵۰)، احتمال تزویج (برابر با ۰/۸) و تعداد نخه (برابر با ۷). نمونه‌ای از نتایج به دست آمده برای بهینه‌سازی شبکه فاضلاب ارومیه بدون لحاظ آب باران در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق این جدول در شبکه بهینه به دست آمده اثری از منهول‌های ریزشی دیده نمی‌شود. بنابراین نیازی به ساخت منهول ریزشی و هزینه‌کرد اضافه نخواهد بود که از ویژگی‌های مثبت مدل ارائه شده در این پژوهش به حساب می‌آید.

مقادیر قطر به دست آمده برای شبکه فاضلاب ارومیه و هزینه اجرا در وضعیت موجود طرح، حالت بهینه بدون لحاظ آب باران و حالت بهینه با لحاظ آب باران در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. طبق این جداول طرح بهینه ارائه شده برای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر ارومیه در حالت خشک (بدون باران) حدود ۱۳ درصد ارزان‌تر از طرح موجود آن است. این مقدار کاهش هزینه توسط مدل بهینه‌سازی در عین رعایت قیود هیدرولیکی و اجرایی، می‌تواند نشان‌دهنده کارآمدی آن باشد. در حالت اعمال دبی آب باران نفوذ کرده به شبکه، ایجاد یک شبکه متناسب با آن دبی مستلزم هزینه‌کرد بیش از دو برابر (۲۲۴ درصد افزایش هزینه) در اجرای شبکه است که با توجه به هزینه‌های بالای اجرای شبکه‌های فاضلاب رقم قابل توجهی خواهد بود.

**Table 1- Discharges of sanitary sewage and rainwater in the studied area of Urmia sewer network**

جدول ۱- دبی فاضلاب و آب باران در محدوده مورد مطالعه از شبکه فاضلاب ارومیه

Path No.	4	5	6	7	8	9	...	40	41	42	43	44	45
Rainwater Discharge (l/s)	4.58	12.11	10.31	416.53	2.15	46.44	...	3.10	6.13	477.20	517.11	1491.15	1500.30
Sewage and infiltration Discharge (l/s)	3.90	5.50	3.80	38.10	6.90	38.70	...	3.10	6.90	64.00	64.20	152.30	153.00

**Table 2- Results obtained for the optimization of Urmia sewer network not considering rainwater**

جدول ۲- نتایج به دست آمده برای بهینه سازی شبکه فاضلاب ارومیه بدون لحاظ آب باران

Path No.	Bottom elevation of pipe's start node (m)	Bottom elevation of pipe's end node (m)	Pipe filling ratio	Pipe diameter (mm)	Pipe slope (m/m)	Velocity (m/s)
4	25.6300	25.6050	0.4702	200	0.0005	0.27
5	25.6050	25.0370	0.1972	200	0.0005	1.26
6	25.0400	25.0370	0.4633	200	0.0005	0.27
□	□	□	□	□	□	□
43	23.2218	23.1843	0.8193	400	0.0007	0.58
44	23.1843	23.0894	0.9985	400	0.0038	1.00
45	23.0894	22.9327	0.8138	400	0.0039	1.40

**Table 3- Optimum diameter values for pipes of Urmia sewer network in different states**

جدول ۳- مقادیر قطر بهینه لوله های شبکه فاضلاب ارومیه در حالت های مختلف

Commercial pipe diameters (mm)		200	250	315	355	400	500	600	800	1000	1200
Lengths of pipes with different diameter values (m)	present state of Urmia sewer network	503.0	-	62.0	-	696.5	65.0	-	-	-	-
	Optimum case not considering rainwater	533.0	-	114.5	132.0	547.0	-	-	-	-	-
	Optimum case considering rainwater	503.0	-	-	-	-	-	30.0	114.5	679.0	-

**Table 4- Costs of Urmia sewer network in different states**

جدول ۴- هزینه های به دست آمده برای شبکه فاضلاب ارومیه در حالت های مختلف

Costs (Toman)	Present state	Optimum design not considering rainwater	Optimum design considering rainwater
Execution cost	121242163	104396641 (86.11% of present state)	154952053 (127.80% of present state)
Purchase cost of pipes	23248180	21002880 (90.34% of present state)	169754480 (730.18% of present state)
Total cost	144490343	125399521 (86.79% of present state)	324706533 (224.73% of present state)

#### ۴- نتیجه گیری

همچنین در پژوهش حاضر تأثیر آب باران در محاسبه طرح بهینه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله بیانگر ورود آب باران به میزان قابل توجه (تا ۱۰ برابر دبی فاضلاب) به داخل شبکه بوده و اعمال آب باران در محاسبات طراحی منجر به افزایش قابل توجه سائز لوله ها و در نتیجه افزایش هزینه اجرای شبکه به بیش از دو برابر می شود.

در این پژوهش پس از جمع آوری آمار و اطلاعات مربوط به اجرای شبکه جمع آوری فاضلاب شهر ارومیه، تابع هزینه ای بر اساس متغیرهای شیب و قطر لوله ها استخراج شده است. سپس مدلی برای کمینه سازی هزینه اجرای شبکه جمع آوری فاضلاب با استفاده از الگوریتم ژنتیک تدوین شده است. نتایج حاصله نشان دهنده کارایی این مدل در کمینه سازی هزینه اجرای شبکه های جمع آوری فاضلاب است. از مزیت های مدل بهینه سازی ارائه شده، در نظر گرفتن مسائل اجرایی و عدم ایجاد منهول ریزشی در نقاط اتصال لوله ها می باشد.

#### پی نوشت ها

- 1- Genetic Algorithm
- 2- Particle Swarm Optimization
- 3- Simulated Annealing

Moeini R, Afshar MH (2014) Optimization of integrated design of wastewater treatment and sanitary sewer network using ant colony optimization algorithm. Journal of Water and Wastewater 25(89):14-24 (In Persian)

Afshar MH, Rohani M (2014) Optimal design of gravitational sewer networks with general cellular automata. Journal of Water and Wastewater 25(90):12-25 (In Persian)

Technical office of West Azarbaijan water and wastewater authority (2006) Report of Urmia sewer network project. (In Persian)

Mahdavi M (1999) Applied hydrology. Tehran University Press, Tehran, Iran (In Persian)

4- Ant Colony Optimization

5- Cellular Automata

## ۵- مراجع

Monzavi MT (2004) Community wastewater-Wastewater collection. Tehran University Press, Tehran, Iran (In Persian)

Afshar MH, Sotoodeh MH (2008) Optimal design of the sewer networks with the genetic algorithm. Journal of Engineering Science, Iran University of Science and Technology 19(2):37-48 (In Persian)

Zeferino JA, Antunes AP, Cunha MC (2010) Multi-objective model for regional wastewater systems plane. Journal of Civil Engineering and Environmental Systems 27(2):95-106