



شرکت مهندسی آب، فاضلاب و نیرو

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



1122P-NWWCE

## رویکرد شبیه‌سازی – بهینه‌سازی در طراحی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از

### WaterGEMS (مطالعه موردی: ناحیه یک شهر ایلام)

ستاره حیدری<sup>۱</sup>، جعفر مامی زاده<sup>۲</sup>، جواد سروریان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه ایلام

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ایلام

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ایلام

Heidari1269@gmail.com

#### خلاصه

شبکه‌های آبرسانی شهری به دلیل وسعت بالایی که دارند، هزینه‌های هنگفتی را به خود اختصاص می‌دهند. از آنجا که طراحی مطلوب و بهینه دارای تأثیر بسزایی در کاهش هزینه چنین طرح‌های عظیمی می‌باشد، طراحان همواره به دنبال یافتن روشی هستند که ضمن تأمین قیود و معیارهای فنی طرح کمترین هزینه را داشته باشد. تاکنون روش‌های بسیار زیادی برای طراحی بهینه شبکه‌های آبرسانی ارائه شده است. یکی از این روش‌ها بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در این مقاله از تلفیق مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی WaterGEMS V8i در شبکه‌های توزیع آب شهری استفاده شد. سناریوها و پارامترهای تأثیرگذار الگوریتم ژنتیک در یک شبکه مینا و بخشی از شبکه توزیع آب شهر ایلام (ناحیه یک شهر ایلام) مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. سناریوهای پیش‌بینی شده جهت یافتن بهترین آرایش شبکه لحاظ گردید. نتایج حاصل از آنالیز شبکه توزیع آب نشان داد هزینه سرمایه‌گذاری پس از تکنیک بهینه‌سازی در سناریوی اول ۴۷ درصد و در سناریوی دوم ۷ درصد نسبت به طراحی مهندسیین مشاور کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، شبکه توزیع آب، الگوریتم ژنتیک، WaterGEMS

#### ۱. مقدمه

ایران کشوری با اقلیم گرم و خشک است و عواملی همچون رشد روزافزون جمعیت، گسترش شهرنشینی، توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعت و پدیده‌های اکوسیستمی، باعث کاهش منابع آب تجدیدپذیر در قرن گذشته شده است. میزان سرانه آب تجدیدپذیر سالانه کشور از میزان حدود ۱۳۰۰۰ متر مکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۰۰، به حدود ۱۴۰۰ متر مکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۳، تقلیل یافته و در صورت ادامه این روند، وضعیت در آینده به مراتب حادتر خواهد شد. با توجه به میزان منابع آب و سرانه مصرف، ایران از جمله کشورهایی است که در گروه کشورهای مواجه با کمبود فیزیکی آب قرار دارد این گروه شامل کشورهایی است که در سال ۲۰۲۵ با کمبود فیزیکی آب مواجه هستند. این بدان معناست که این کشورها، حتی بالاترین راندمان و بهره‌وری ممکن در مصرف آب، برای تأمین نیازهایشان آب کافی در اختیار نخواهند داشت. از این رو لازم است دست‌اندرکاران بخش آب توجه ویژه‌ای به کنترل مصرف آب و استفاده بهینه از آن معطوف دارند.

در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع آب افزایش یافته است. گلدبرگ و کو (۱۹۸۷) روش الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی خطوط لوله به کار گرفتند که این اولین فعالیت در بکارگیری الگوریتم ژنتیک در حل مسائل سیستم‌های منابع آب بود. [1]



شرکت مهندسی آب، فاضلاب و نیرو

## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



سیمپسون و همکاران (۱۹۹۴) یک الگوریتم ژنتیک باینری را جهت بهینه‌سازی خطوط لوله توسعه دادند و آن را با برنامه‌ریزی غیرخطی مقایسه نمودند از سه عملگر مختلف جهت فرایند انتخاب، تقاطع و جهش استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که در روش الگوریتم ژنتیک تعداد تکرارهای کمتری جهت رسیدن به جواب بهینه مورد نیاز است [2]. کاتی یار (۲۰۰۵) از الگوریتم ژنتیک در مطالعه شبکه توزیع آب شهر Chandler ایالت آریزونا جهت پیدا کردن حالت بهینه طراحی استفاده نمود و نشان داد که این روش نسبت به استفاده از مدل سازی با EPANET و MODFLOW نتیجه بهتری دارد [3]. نورانی و همکاران (۱۳۸۷) به بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شهر سرعین با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) پرداختند. در روش معمول برای طراحی شبکه توزیع آب از حل معادلات غیرخطی موجود بصورت روش تکرار نیوتن -رافسون بصورت حل عددی استفاده کردند و در روش GA با انتخاب تصادفی متغیرها، مقادیر پارامترها مستقیماً انتخاب می‌شوند و محدودیت‌های بیشتری را به معادلات اعمال می‌کنند و به این نتیجه رسیدند که طراحی به روش GA برای شهر سرعین، حدود ۱۰-۱۲ درصد باعث کاهش هزینه‌های طراحی شده است [4]. تابش و ذبیحی (۱۳۸۷) برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب علاوه بر قیود قطر، فشار و سرعت، قید کیفیت آب شبکه را در نظر گرفتند. آنها علاوه بر تحلیل هیدرولیکی به تحلیل کیفی شبکه نیز پرداختند که برای بهینه‌سازی از روش الگوریتم ژنتیک و برای تحلیل کیفی از روش TDM استفاده کردند [5]. موسویان و همکاران (۱۳۸۸) شبکه آبرسانی شهر تربت جام را بررسی کردند و با توجه به حداقل فشار و حداکثر سرعت، قطر مناسب در لوله‌ها را بدست آوردند. با استفاده از سه الگوریتم فرا ابتکاری (الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچه و هارمونی) و یک الگوریتم هایبرید به این نتیجه رسیدند که الگوریتم هایبرید بهتر از روش‌های تکاملی به جواب بهینه همگرا می‌رسد و الگوریتم ژنتیک نسبت به روش الگوریتم کلونی مورچه و هارمونی زودتر به جواب بهینه می‌رسد [6]. دندی و همکاران (۲۰۱۴) کارایی الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از یک روش ابداعی در تعیین جمعیت اولیه بهبود دادند. روش پیشنهادی در هفت شبکه توزیع آب مورد آزمون قرار گرفت و نتایج تحقیق نشان‌دهنده بازدهی مناسب الگوریتم در قیاس با سایر روش‌های مرسوم بود. [7]

هدف از این تحقیق بهینه‌سازی ابعاد شبکه توزیع آب شهر ایلام با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی-بهینه‌سازی و استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی هیدرولیک شبکه توزیع آب شهری و الگوریتم ژنتیک موجود در نرم افزار WaterGEMS می‌باشد. سناریوها و پارامترهای الگوریتم مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت به مقایسه اقتصادی شبکه طراحی شده توسط مشاور و رویکرد پیشنهادی در این تحقیق پرداخته است.

## ۲. مواد و روش‌ها

منظور از طراحی بهینه یک سیستم توزیع و تأمین آب، تخمین بهترین ترکیب از اندازه و آرایش مولفه‌هایی مانند اندازه قطر لوله‌ها، انواع پمپ‌ها، محل قرارگیری و ماکزیمم توان آنها، حجم مخزن ذخیره و ... است به گونه‌ای که مینیمم هزینه برای شبکه حاصل شود. الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی تصادفی جامع می‌باشد که اصول آن تقلیدی از تکامل بیولوژی و طبیعی موجودات زنده است که با به کارگیری اصل بقا اصلح بر روی جمعیتی از جواب‌های امکان‌پذیر، جواب‌های بهتری را می‌یابد. در این روش ابتدا جمعیتی از نقاط، بصورت تصادفی از میان فضای جواب‌ها انتخاب و سپس مقدار تابع هدف به ازاء تک تک نقاط جمعیت محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی که مرحله تولید جمعیت جدید است، با کمک جمعیت موجود و استفاده از تابع توزیع احتمال مشخص و یا هر عملگر تصادفی دیگر، جمعیت دیگری تولید و مقدار تابع هدف به ازاء هر یک از نقاط جمعیت بوجود آمده، محاسبه می‌شود. در اینجا جمعیت جدید با جمعیت والد سنجیده شده و بر اساس این سنجش، جمعیت نقاط جدید برای مرحله بعدی انتخاب می‌شود. الگوریتم ژنتیک زمانی که برخی معیارهای خاص مانند تعداد معینی تولید نسل و با اختلاف انحراف معیار عملکرد افراد جمعیت به حد مقرر برسد به پایان می‌رسد و بهترین رشته را باز می‌گرداند.

در این تحقیق از تلفیق مدل شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و الگوریتم بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در گزینه Darwin designer موجود در نرم افزار WaterGEMS به منظور طراحی یک شبکه میناء و بخشی از شبکه آب شرب شهر ایلام (ناحیه یک) استفاده شده است. در بهینه‌سازی طراحی شبکه توزیع آب با رویکرد پیشنهادی تحقیق حاضر، قطر لوله‌ها به عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شده و تابع هدف مسئله، تابع هزینه لوله‌ها (تابعی از قطر و طول لوله) به صورت زیر تعریف گردید.

$$f(D_1, \dots, D_N) = \sum_{i=1}^N C(D_i, L_i) \quad (1)$$

$C(D_i, L_i)$ : هزینه لوله  $i$  ام با قطر  $D_i$  و طول  $L_i$ ،  $N$  تعداد کل لوله های شبکه است. هزینه تهیه و اجرای لوله های شبکه با توجه به فهرست بهای خطوط انتقال آب سال ۱۳۹۵ محاسبه گردیده است. تابع فوق باید تحت محدودیت های زیر به حداقل رسانده شود:

۱- برای هر گره (به غیر از منبع) یک محدودیت پیوستگی اعمال می شود:

$$\sum Q^{in} - \sum Q^{out} = Q_t \quad (2)$$

$Q_{in}$  جریان ورودی به گره،  $Q_{out}$  جریان خروجی از گره،  $Q_t$  تقاضا در محل گره می باشد.

۲- برای هر حلقه در شبکه قید انرژی بصورت زیر اعمال می شود.

$$\sum hf - \sum Ep = 0 \quad (3)$$

$hf$  افت بار و  $Ep$  انرژی که بوسیله پمپ به آب وارد می شود.

۳- محدودیت حداقل فشار به ازای هر گره در شبکه به صورت زیر داده می شود.

$$H_j \geq H_j^{\min} \quad (4)$$

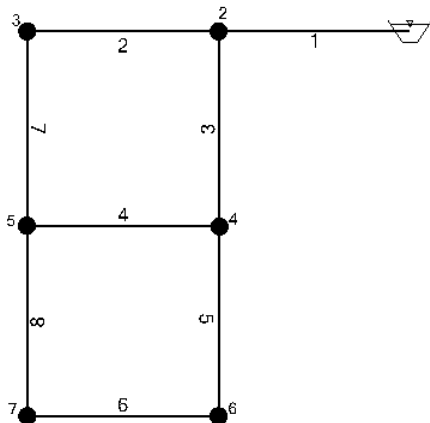
$H_j$  بار فشار در گره  $j$  (متر)،  $H_j^{\min}$  حداقل بار فشار مورد نیاز در گره  $j$  (متر) و  $m$  تعداد گره های سیستم می باشد. لازم به ذکر است که در این تحقیق تنها قید فشار در نظر گرفته شده است.

پارامترهای الگوریتم ژنتیک از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند و مقدار آنها برای هر شبکه ای متفاوت بوده و نیاز به ارزیابی دارند. پارامترهای مختلفی از جمله حداکثر تعداد حلقه های خارجی، تعداد نسل های هر حلقه، اندازه جمعیت، احتمال برش، احتمال پیوند، احتمال جهش، تعداد سعی و خطا و فاکتور پنالٹی در الگوریتم ژنتیک موثر می باشند که در این تحقیق آنالیز حساسیت بر روی آنها انجام گرفته است.

### ۳. بحث و نتایج

#### ۳-۱- شبکه دو حلقه ای

شبکه دو حلقه ای که در ابتدا توسط آلپروویتز و شامیر (۱۹۹۷) معرفی شد در شکل ۱ نشان داده شده است [8]. این شبکه شامل دو حلقه می باشد که از ۷ گره و ۸ لوله تشکیل شده است و از یک مخزن با هد ثابت ۲۱۰ متر تغذیه می شود. طول تمامی لوله ها ۱۰۰۰ متر و ضریب هیزن ویلیامز آنها ۱۳۰ می باشد. مینیمم فشار مجاز در هر گره ۳۰ متر در نظر گرفته شده است. مصارف و ارتفاع گره ها در جدول ۱ و ۱۴ قطر تجاری برای طراحی شبکه معرفی شده اند که به همراه هزینه در واحد طول آنها در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۱- شبکه توزیع آب دو حلقه ای

جدول ۱- مشخصات گره ها برای شبکه دو حلقه ای

مصرف (m <sup>3</sup> /h)	ارتفاع (m)	شماره گره (ID)
۱۰۰	۱۸۰	۲
۱۰۰	۱۹۰	۳
۱۲۰	۱۸۵	۴
۲۷۰	۱۸۰	۵
۳۳۰	۱۹۵	۶
۲۰۰	۱۹۰	۷
-۱۱۲۰	۲۱۰	۱ (مخزن)

جدول ۲- سایز و هزینه لوله های قابل انتخاب برای شبکه دو حلقه ای

ردیف	قطر (mm)	هزینه (\$/m)	ردیف	قطر (mm)	هزینه (\$/m)
۱	۲۵,۴	۲	۸	۳۰۴,۸	۵۰
۲	۵۰,۸	۵	۹	۳۵۵,۶	۶۰
۳	۷۶,۲	۸	۱۰	۴۰۶,۴	۹۰
۴	۱۰۱,۶	۱۱	۱۱	۴۵۷,۲	۱۳۰
۵	۱۵۲,۴	۱۶	۱۲	۵۰۸	۱۷۰
۶	۲۰۳,۲	۲۳	۱۳	۵۵۸,۸	۳۰۰
۷	۲۵۴	۳۲	۱۴	۶۰۹,۶	۵۵۰

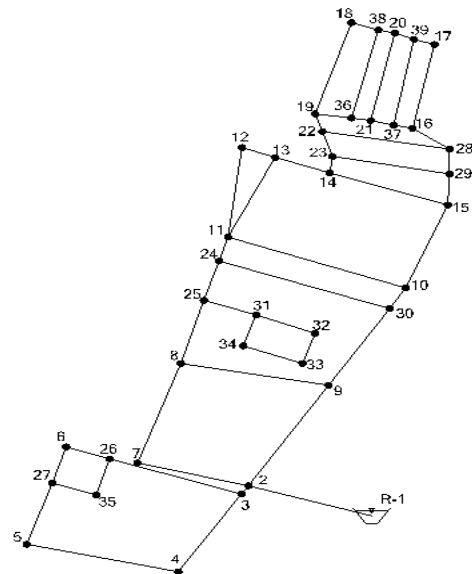
این مطالعه در پژوهش های قبلی با الگوریتم های تکاملی از قبیل الگوریتم شبیه سازی تبرید (SA) [9]، الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه (SFLA) [10]، الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) [11]، الگوریتم بهینه سازی جفت گیری زنبور عسل (HBMO) [12] نیز حل شده است هزینه بدست آمده با استفاده از الگوریتم ژنتیک پس از آنالیز حساسیت ۴۱۹۰۰۰ دلار بدست آمد که با حداقل هزینه بدست آمده از سایر روش های بهینه سازی برابر است. این شبکه با استفاده از تکنیک داروین دیزاینر ۵,۶ درصد کاهش هزینه داشته است.

### ۲-۳- شبکه توزیع آب ایلام

شبکه توزیع آب ایلام در شکل ۲ نشان داده شده است. این شبکه از ۵۳ لوله و ۳۸ گره با مشخصات داده شده در جدول ۴ و یک مخزن آب در ارتفاع ۱۱۱۵ متر تشکیل شده است. حداقل فشار مجاز برای تمامی گره ها ۱۰ متر و ضریب هیزن ویلیامز تمامی لوله ها برابر ۱۳۰ می باشد. در جدول ۳ مقادیر هزینه در واحد طول هر لوله برای قطرهای تجاری قابل انتخاب ارائه شده است.

جدول ۳- سایز و هزینه لوله های قابل انتخاب برای شبکه توزیع آب ایلام

ردیف	قطر (mm)	هزینه (Rial)
۱	۶۰,۰	۲۵۲,۱۰۰,۰۰
۲	۸۰,۰	۲۵۲,۱۰۰,۰۰
۳	۹۰,۰	۲۵۵,۶۰۰,۰۰
۴	۱۰۰,۰	۲۵۵,۹۰۰,۰۰
۵	۱۵۰,۰	۲۶۸,۱۰۰,۰۰
۶	۲۰۰,۰	۳۳۹,۱۰۰,۰۰
۷	۲۵۰,۰	۳۵۷,۱۰۰,۰۰
۸	۳۰۰,۰	۴۰۴,۱۰۰,۰۰
۹	۳۵۰,۰	۴۲۷,۱۰۰,۰۰
۱۰	۴۰۰,۰	۴۸۴,۱۰۰,۰۰
۱۱	۴۵۰,۰	۵۵۴,۱۰۰,۰۰
۱۲	۵۰۰,۰	۶۲۸,۱۰۰,۰۰
۱۳	۰,۰	۰,۰۰



شکل ۲- شبکه توزیع آب ایلام

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

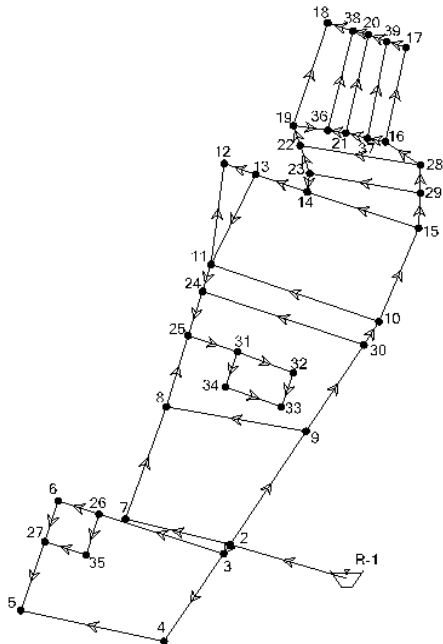
جدول ۴- مشخصات لوله‌ها و گره‌ها برای شبکه توزیع آب ایلام

مشخصات گره‌ها				مشخصات لوله‌ها					
مصرف (m <sup>3</sup> /h)	شماره گره	مصرف (m <sup>3</sup> /h)	شماره گره	طول لوله (m)	شماره لوله	طول لوله (m)	شماره لوله	طول لوله (m)	شماره لوله
۰,۲۴۸	۲۱	-۲۹,۶۵۱	۱(مخزن)	۳۱۲,۴	۳۶	۶۶	۱۹	۳۰۸	۱
۰,۴۷۵	۲۲	۱,۲۱۱	۲	۱۱۰	۳۷	۵۹,۴	۲۰	۱۱	۲
۰,۴۸۴	۲۳	۱,۲۱۱	۳	۶۶	۳۸	۶۳,۸	۲۱	۲۰۲,۴	۳
۰,۷۲۷	۲۴	۱,۳۹۱	۴	۱۱۰	۳۹	۲۰۴,۶	۲۲	۲۶۴	۴
۰,۹۱۲	۲۵	۱,۱۵۳	۵	۷۰,۴	۴۰	۴۸,۴	۲۳	۲۱۷,۸	۵
۰,۷۹۸	۲۶	۰,۱۶۱	۶	۹۹	۴۱	۱۸۷	۲۴	۲۴۲	۶
۰,۵۰۸	۲۷	۱,۵۱۲	۷	۳۰,۸	۴۲	۳۹,۶	۲۵	۲۲۴,۴	۷
۰,۵۵۰	۲۸	۲,۲۸۴	۸	۸۱,۴	۴۳	۹۴,۶	۲۶	۲۶۴	۸
۰,۴۶۵	۲۹	۱,۷۷۸	۹	۸۱,۴	۴۴	۴۶,۲	۲۷	۲۶۴	۹
۰,۷۵۰	۳۰	۱,۵۹۰	۱۰	۱۸۷	۴۵	۷۷	۲۸	۱۹۸	۱۰
۰,۸۵۲	۳۱	۱,۸۹۷	۱۱	۱۹۳,۶	۴۶	۷۷	۲۹	۳۲۵	۱۱
۰,۸۳۸	۳۲	۰,۳۰۶	۱۲	۲۳	۴۷	۱۹۳,۶	۳۰	۱۴۳	۱۲
۰,۴۷۷	۳۳	۰,۸۱۹	۱۳	۲۳	۴۸	۳۳	۳۱	۲۳۵,۴	۱۳
۰,۲۷۳	۳۴	۱,۰۹۲	۱۴	۲۶,۴	۴۹	۴۴	۳۲	۱۸۷	۱۴
۰,۲۶۶	۳۵	۱,۳۴۶	۱۵	۳۵,۲	۵۰	۱۹۳,۶	۳۳	۶۱,۴	۱۵
۰,۳۴۴	۳۶	۰,۷۱۴	۱۶	۵۰,۶	۵۱	۲۳۳	۳۴	۱۰۳,۴	۱۶
۰,۲۷۳	۳۷	۰,۵۲۹	۱۷	۹۹	۵۲	۲۰۴,۶	۳۴	۲۱۵,۶	۱۷
۰,۳۲۱	۳۸	۰,۳۱۸	۱۸	۵۵	۵۳	۳۱۲,۴	۳۵	۱۹۱,۴	۱۸
۰,۲۴۰	۳۹	۰,۳۴۹	۱۹						
		۰,۲۴۷	۲۰						

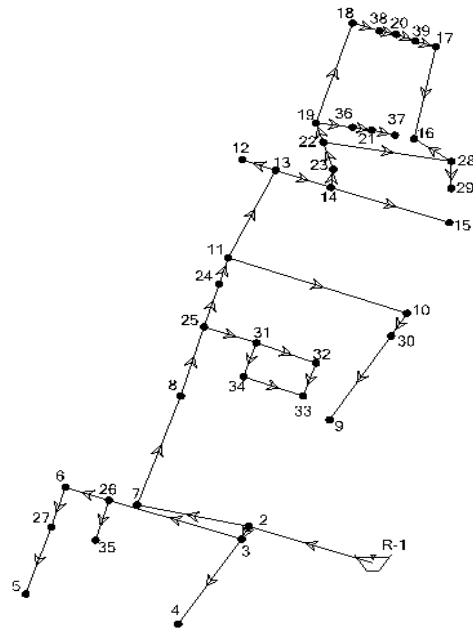
به منظور یافتن بهترین آرایش شبکه و مقایسه آن با طراحی انجام گرفته توسط مهندسين مشاور از دو سناریوی مختلف برای قطر لوله‌ها استفاده شد. سناریوی اول شامل کل قطر لوله‌های داده شده در جدول (۳) می‌باشد. سناریوی دوم فاقد قطر لوله صفر در جدول مذکور می‌باشد. نتایج دو سناریو در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در سناریوی اول، الگوریتم ژنتیک می‌تواند برخی از لوله‌های اضافه در شبکه را حذف کند، بهترین آرایش شبکه مطابق با شکل ۳ بدست آمده است. در سناریوی دوم که فاقد لوله‌ای به قطر صفر می‌باشد، هیچ لوله‌ای حذف نشده است (شکل ۴). نتایج سناریوی اول و دوم در کاهش هزینه نسبت به طراحی مشاور در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- نتایج سناریوی اول و دوم

بدون احتساب قطر صفر (سناریوی ۲)	با احتساب قطر صفر (سناریوی ۱)	طراحی مشاور	هزینه (ریال)
۱۸۲۱۳۴۰۸۰۰	۱۰۴۱۹۰۲۶۵۶	۱۹۵۷۴۶۸۰۴۰	
۷	۴۷	-	کاهش هزینه نسبت به طراحی مشاور (درصد)



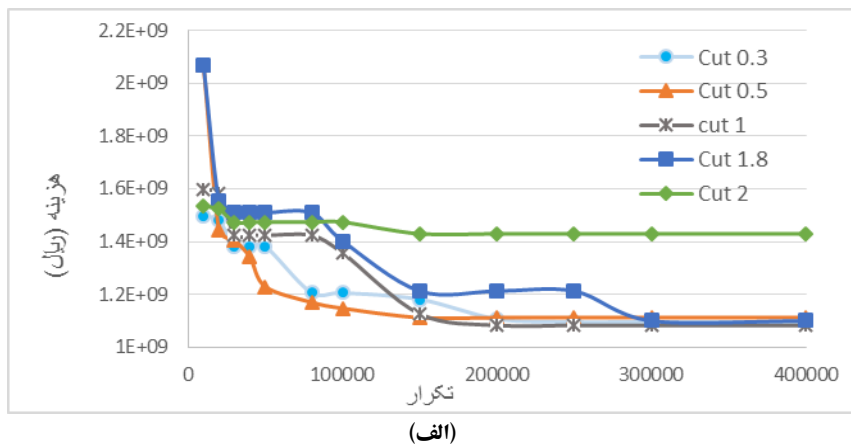
شکل ۲- سناریوی ۲



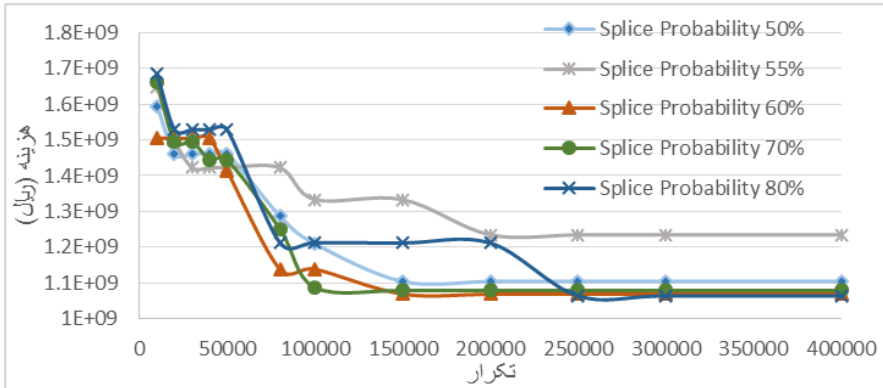
شکل ۳- سناریوی ۱

در بخش دیگر این تحقیق، آنالیز حساسیت بر روی مهم‌ترین پارامترهای الگوریتم ژنتیک انجام گرفت که نتایج سناریوی ۱ در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق با شکل ۵ (الف) احتمال برش (Cut Probability) را به تدریج از ۰,۳ تا ۲ درصد افزایش داده و تاثیر آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد حساسیت این پارامتر زیاد بوده و با تغییر اندکی در مقدار آن، تفاوت زیادی در هزینه مشاهده می‌شود. بهترین مقدار انتخاب شده برای این شبکه ۱ درصد می باشد.

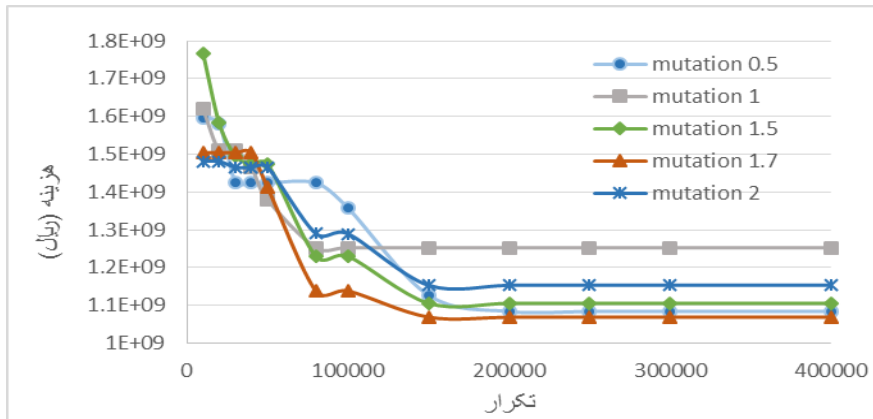
برای بررسی احتمال پیوند (Splice Probability) پیشنهاد شده این مقادیر از ۵۰ تا ۸۰ درصد تغییر کند [13]. در این مطالعه بازه مقادیر ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل ۵ (ب) نشان داده شده است. بهترین مقدار مورد نظر ۶۰ درصد به دست آمد. احتمال جهش (Mutation Probability) در محدوده ۰,۵ تا ۲ درصد مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵ ج). پس از تکرار ۱۵۰۰۰۰، احتمال جهش در اکثر نمودارها روند ثابتی داشته است. این پارامتر با توجه به تغییرات حاصل شده جز پارامترهای حساس می باشد. بهترین مقدار انتخاب شده برای این شبکه ۱,۷ درصد می باشد. تعداد نسل در هر حلقه (Era Generation Number) نیز بین ۵۰ تا ۲۰۰ تغییر داده شد (شکل ۵ د). و بهترین مقدار برای این شبکه برابر ۱۰۰ بدست آمد. همچنین تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای الگوریتم در سناریوی دوم مشابه با سناریوی اول انجام گرفت. در این حالت مقدار احتمال برش برابر ۰,۷ درصد، احتمال پیوند برابر ۷۵ درصد، احتمال جهش برابر ۰,۶ درصد و تعداد نسل هر حلقه برابر ۸۰ بدست آمد.



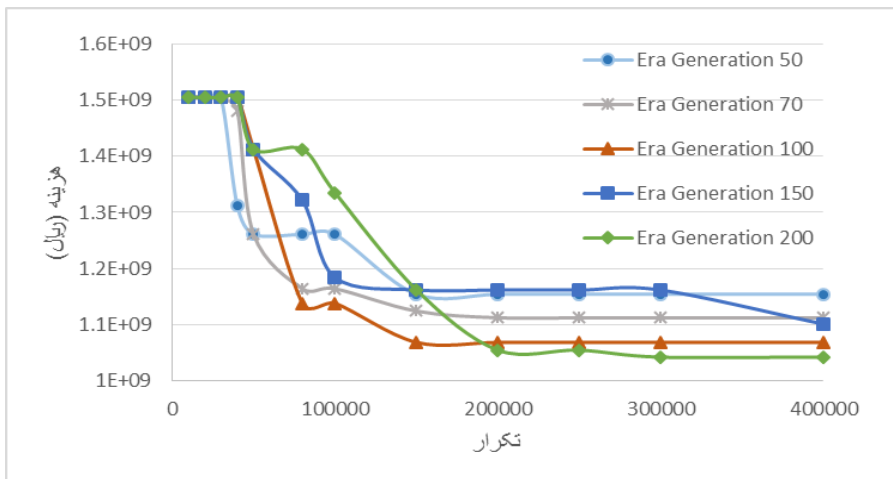
کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران  
دانشگاه تهران، تهران  
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۵ - آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای GA در شبکه توزیع آب ایلام. الف) احتمال برش، ب) احتمال پیوند، ج) احتمال جهش، د) تعداد نسل هر حلقه



شرکت مهندسی آب، فاضلاب و کهر

## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



### ۴. نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از اجرای مدل بهینه سازی به روش الگوریتم ژنتیک در شبکه توزیع آب شهر ایلام نشان می دهد که از الگوریتم ژنتیک می توان به عنوان یک الگوریتم بهینه سازی مناسب در طراحی مسائل پیچیده شبکه توزیع آب شهری استفاده نمود. نتایج حاصل از آنالیز شبکه توزیع آب شهر ایلام پس از استفاده از تکنیک بهینه سازی، نشان داد هزینه های طراحی قطر لوله های شهر ایلام در سناریوی اول ۴۷ درصد و سناریوی دوم ۷ درصد کاهش می یابد. این کاهش هزینه شامل هزینه های خرید و لوله گذاری می باشد. در سناریوی اول مشخص شد که نزدیک به ۲٫۵ کیلومتر از خطوط لوله های این شبکه اضافه هستند و بدون آن ها می توان نیاز شبکه را تأمین نمود. در این سناریو هم کاهش قطر و هم طول لوله حاصل گردید. مقادیر احتمال پارامترهای برش، پیوند و جهش به ترتیب برابر ۱ درصد، ۶۰ درصد، ۱٫۷ درصد بدست آمد. در سناریوی دوم تنها کاهش قطر لوله ها بدست آمد و هیچ لوله ای از شبکه حذف نگردید. در راستای این تحقیق پیشنهاد می گردد که تاثیر سایر محدودیت ها مانند قید سرعت نیز مورد بررسی و آزمون قرار گیرد.

### ۵. مراجع

- Goldberg, D. and Kuo, C., (1987). Genetic algorithm in pipeline optimization. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1(2), pp.128-141.
- Simpson, A.R., Dandy, G.C., and Murphy, L.J., (1994). Genetic algorithm compared to other techniques for pipe optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 120(4), pp.423-443.
- Katiyar, V., (2005). *Production well operations optimization in water distribution systems using Genetic Algorithms*. MSc thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, B.T., Indian Institute of Technology Roorkee.
- نورانی، و. اعلمی، م.ت. ذوالنون، آ. (۱۳۸۷)، بهینه سازی طراحی شبکه های توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطالعه موردی شهر سرعین، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران تبریز.
- تابش، م. ذبیحی، م. (۱۳۸۷)، تاثیر قیود کیفی در بهینه سازی شبکه های توزیع آب، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
- موسویان، س.ع. شریفی، م.ب. رجیبی مشهدی، ح. (۱۳۸۸)، کاربرد الگوریتم های فرا ابتکاری در بهینه سازی شبکه های توزیع آب شهری، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
- Dandy, G.C., Bi, W. and Maier, H.R., (2014) Improved genetic algorithm optimization of water distribution system design by incorporating domain knowledge. *Environmental Modelling & Software 2014*.
- Alperovits, E. and Shamir, U., (1977). Design of optimal water distribution systems, *Journal of Water Resources Research, ASCE*, 13(6), pp.885-900.
- Cunha, M., and Sousa, J., (1999). Water distribution network design optimization: Simulated Annealing Approach, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(4), pp.215-221.
- Eusuff, M.M. and Lansey, E.K., (2003). Optimization of water distribution network design using the shuffled frog-leaping algorithm, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(3), pp.210-225.
- Geem, Z.W., (2006). Optimal cost design of water distribution networks using harmony search, *Optimization and Engineering*, 38(3), pp.259-280.
- Ghajarnia, N., Haddad, O.B. and Marino, M.A., (2011). Performance of a novel hybrid algorithm in the design of water networks. *Proceedings of the ICE-Water Management*, 164(4), pp.173-191.
- Bentley Systems (2015). "WaterGEMS V8i Users Guide", pp.641-650.