



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

گروه عمران - سازه های هیدرولیکی

بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کمک الگوریتم ژنتیک

دانشجو : محسن گلزار

استاد راهنما :

دکتر سید فضل الله ساغروانی

دکتر وحیدرضا کلات جاری

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : عمران و معماری

گروه : عمران - سازه های هیدرولیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن گلزار

تحت عنوان:

بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کمک الگوریتم ژنتیک

در تاریخ ۱۳۸۸/۰۶/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه عالی (۱۸.۵) مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			نام و نام خانوادگی : دکتر فضل الله ساغروانی
			نام و نام خانوادگی : دکتر وحیدرضا کلات جاری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : مهندس عباس محمدی		نام و نام خانوادگی : دکتر رامین امینی
			نام و نام خانوادگی : دکتر علی اکبر پویان

تقدیم به تمامی شهدای دوران دفاع مقدس

که باگذشتن از بزرگترین سرمایه زندگی خود

که همانا جانشان بود

توانستن از تمامیت ارضی ایران دفاع کنند.

تشکر و قدردانی

اکنون که در سایه یاری و لطف خدواند بزرگ و مهربان توانستم این تحقیق را به پایان برسانم وظیفه خود می دانم از زحمات اساتید ارجمندم جناب آقایان، دکتر سید فضل الله ساغروانی و دکتر وحیدرضا کلات جاری که در تمام مراحل انجام این پایان نامه با صبر، حوصله و دقت نظر بر انجام کار نظارت داشتند و بی شک تنها در سایه دانش و تجارب گرانبهای آنان توانستم این اثر را به پایان برسانم، خالصانه تشکر و سپاسگذاری می نمایم.

همچنین مراتب سپاس و امتنان خود را از زحمات بی دریغ اولین معلمان زندگییم، پدر و مادر مهربانم که از ابتدای تحصیل تاکنون همواره یاری گر و پشتوانه من بوده اند، ابراز می دارم.

تعهد نامه

• اینجانب محسن گلزار دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران (سازه های هیدرولیکی) دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحت عنوان « بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کمک الگوریتم ژنتیک » با راهنمایی آقای دکتر فضل الله ساغروانی به عنوان استاد راهنمای اول و آقای دکتر وحیدرضا کلات جاری به عنوان استاد راهنمای دوم متعهد می شوم:

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « shahrood university of technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه یکی از مهمترین اهداف مهندسی در جوامع بشری، به حداکثر رساندن سود و یا به حداقل رساندن هزینه در طرح ها و پروژه ها می باشد. این هدف سبب تولید و توسعه علم بهینه سازی در میان سایر علوم مهندسی شده است. آب آشامیدنی به عنوان یکی از نیازهای اساسی بشر، تامین آن مستلزم احداث شبکه های آبرسانی جدید و گسترش و بازسازی شبکه های موجود می باشد. اجرای شبکه های آبرسانی همواره با هزینه بسیار بالا همراه است و از آنجایی که طراحی بهینه می تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه های چنین طرحهای را در برداشته باشد، لذا استفاده از نرم افزارهای طراحی بهینه امری ضروری به نظر می رسد.

چگونگی تحلیل هیدرولیکی هر شبکه آبرسانی بزرگ مقیاس در حین فرآیند بهینه سازی که مهمترین بخش یک الگوریتم بهینه سازی است و چگونگی مدل سازی مسئله بهینه سازی توسط روش های گوناگون، از جمله مواردی هستند که می بایست به آنها توجه گردد. در این رساله سعی شده است از ترکیب یک برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2) جهت تحلیل هیدرولیکی شبکه آبرسانی و استفاده از روش بهینه یابی GA به عنوان یک تکنیک جستجو، نرم افزاری برای بهینه سازی شبکه های آبرسانی تهیه گردد.

مثال های استاندارد ارائه شده در پژوهش هایی که از (EPANET v.2) جهت تحلیل هیدرولیکی استفاده نموده اند، با در نظر گرفتن معیار تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای بوده است. به جهت کاربردی شدن این تحقیق علاوه بر معیار تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای، معیار نگهداری مقدار سرعت جریان در داخل لوله ها یک شبکه آبرسانی در محدوده مجاز نیز مورد توجه قرار گرفته شده

است. بنابراین در این رساله دو حالت طراحی، حالت ۱ (در نظر گرفتن تنها یک معیار طراحی، تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای) و حالت ۲ (با در نظر گرفتن دو معیار طراحی، تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای و نگهداری مقدار سرعت جریان در داخل لوله ها در محدوده مجاز) جهت طراحی شبکه های آبرسانی در نظر گرفته شده است. در این رساله همچنین به منظور بررسی پارامترهای دخیل در بهینه یابی با GA، دو نوع تابع هدف اصلاح شده پیشنهادی متفاوت (ایستا و پویا)، دو نوع عملگر انتخاب (چرخ گردان و مسابقه ای) و سه نوع عملگر پیوند (یکنواخت و یک نقطه ای و دونقطه ای) مورد بررسی قرار گرفته اند. بدین ترتیب ۱۲ نوع برنامه رایانه ای مختلف برای هر یک از دو حالت طراحی (در مجموع ۲۴ برنامه رایانه ای) تهیه و برای ارزیابی عملکرد این برنامه های رایانه ای، هر یک از این برنامه های رایانه ای ۱۰۰ بار بر روی هر شبکه آبرسانی جهت یافتن جواب (طرح) بهینه اجرا شده اند.

با اجرا شدن این برنامه های رایانه ای بر روی چهار شبکه آبرسانی (سه شبکه آبرسانی استاندارد و یک شبکه آبرسانی ارائه شده توسط مولف) توانمندی خود را در یافتن جواب بهینه را به نمایش گذاشتند. برای نمونه یکی از برنامه های رایانه ای توانست از ۱۰۰ بار اجرا بر روی یکی از شبکه های آبرسانی ۹۴ بار به جواب بهینه دست یابد. این برنامه های رایانه ای نیز قادر هستند جواب بهینه ارائه شده توسط سایر محققین برای سه شبکه آبرسانی استاندارد که از روش های بهینه یابی غیر از روش بهینه یابی GA و یا بدون استفاده از برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2) استفاده کرده بودند، را با ارزیابی تعداد شبکه آبرسانی کمتر و در یک زمان محدودتر تکرار نمایند.

واژگان کلیدی:

بهینه یابی، الگوریتم ژنتیک، طراحی بهینه، شبکه های آبرسانی، برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2)

عنوان

صفحه

تصویب نامه.....	سه
تقدیم.....	چهار
تقدیر و تشکر.....	پنج
اقرارنامه.....	شش
چکیده.....	هفت
فهرست مطالب.....	نه
فهرست اشکال.....	چهارده
فهرست جداول.....	هفده

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- تعاریف.....	۲
۱-۲-۱- بهینه سازی.....	۲
۲-۲-۱- بهینه سازی خطی و غیر خطی.....	۳
۳-۲-۱- متغیرهای مسئله.....	۳
۴-۲-۱- تابع هدف $F(x)$	۴
۵-۲-۱- قیود $g(x) \leq b$	۴
۶-۲-۱- روش های بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت (فرااکتشافی).....	۴
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۶
۴-۱- هدف از انجام تحقیق.....	۷
۵-۱- فصل بندی پایان نامه.....	۷

فصل دوم: بررسی پیش زمینه و کارهای انجام شده

- ۹-۱-۲-۱- مقدمه..... ۹
- ۹-۲-۲- شبکه های آبرسانی شهری..... ۹
- ۱۰-۱-۲-۲- وظایف شبکه آبرسانی..... ۱۰
- ۱۱-۲-۲-۲- محاسبه ی شبکه های توزیع آب..... ۱۱
- ۱۱-۱-۲-۲-۲- مبانی طراحی شبکه های توزیع آب..... ۱۱
- ۱۲-۲-۲-۲- روش ها تحلیل شبکه های توزیع آب..... ۱۲
- ۱۳-۳-۲- الگوریتم های فراکاوشی..... ۱۳
- ۱۵-۱-۳-۲- تقسیم بندی الگوریتم های فراکاوشی..... ۱۵
- ۱۶-۱-۱-۳-۲- روش های خط سیر..... ۱۶
- ۱۶-۱-۱-۳-۲- جستجوی موضعی پایه..... ۱۶
- ۱۷-۲-۱-۱-۳-۲- شبیه سازی شده بازپخت..... ۱۷
- ۱۸-۳-۱-۱-۳-۲- جستجوی ممنوعه..... ۱۸
- ۲۰-۴-۱-۱-۳-۲- روش های جستجوی موضعی اکتشافی..... ۲۰
- ۲۱-۲-۱-۳-۲- روشهای برپایه جمعیت..... ۲۱
- ۲۲-۱-۲-۱-۳-۲- محاسبات تکاملی..... ۲۲
- ۲۴-۲-۲-۱-۳-۲- الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها (ACO)..... ۲۴
- ۲۴-۱-۲-۲-۱-۳-۲- پایه و اساس بیولوژیکی..... ۲۴
- ۲۶-۲-۲-۲-۱-۳-۲- کاربرد الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها..... ۲۶
- ۲۷-۳-۲-۱-۳-۲- الگوریتم بهینه سازی ژنتیک (GA)..... ۲۷
- ۲۸-۱-۳-۲-۱-۳-۲- پایه و اساس بیولوژیکی..... ۲۸
- ۲۹-۲-۳-۲-۱-۳-۲- بهینه سازی با الگوریتم های ژنتیک..... ۲۹

۳۱.....	کاربرد الگوریتم بهینه سازی ژنتیک در طراحی شبکه آبرسانی شهری
۳۳.....	آشنایی با الگوریتم ژنتیک
۳۳.....	روش کدگذاری شبه باینری
۳۴.....	شایستگی هر کروموزوم
۳۶.....	تولید مثل
۳۶.....	انواع روش های انتخاب
۳۸.....	عملگر پیوند
۴۰.....	نرخ پیوند
۴۰.....	جهش
۴۲.....	نرخ جهش (P _m)

فصل سوم : روش بهینه یابی شبکه های آبرسانی، ابزار و روش ها

۴۳.....	مقدمه
۴۳.....	برنامه های نرم افزاری بکار رفته در این رساله
۴۳.....	برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2)
۴۴.....	قابلیت مدل سازی هیدرولیکی
۴۵.....	مثال های حل شده موجود
۵۳.....	آشنای با برنامه رایانه ای GAWaDiNO
۵۵.....	مشخصات کامپیوتر مورد استفاده شده در رساله
۵۵.....	انواع اجرای برنامه رایانه ای GAWaDiNO

فصل چهارم : نتایج حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای

۵۹.....	مقدمه
۵۹.....	نتایج حاصل از برنامه های رایانه ای

- ۶۰-۲-۴-۱- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای.....
- ۶۱-۲-۴-۲- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی دوم.....
- ۶۲-۲-۴-۳- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک.....
- ۶۴-۲-۴-۴- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی شهر هانوی.....
- ۶۷-۳-۴- برنامه های رایانه ای پیشنهادی.....
- ۶۹-۳-۴-۱- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۱و۲و۳و۴و۵و۶ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای.....
- ۷۱-۳-۴-۲- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۱و۲و۳و۴و۵و۶ بر روی شبکه آبرسانی دوم.....
- ۷۴-۳-۴-۳- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۱و۲و۳و۴و۵و۶ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک.....
- ۷۵-۳-۴-۴- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۱و۲و۳و۴و۵و۶ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی.....
- ۸۰-۳-۴-۵- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷و۸و۹و۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای.....
- ۸۱-۳-۴-۶- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷و۸و۹و۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه آبرسانی دوم.....
- ۸۳-۳-۴-۷- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷و۸و۹و۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک.....
- ۸۵-۳-۴-۸- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷و۸و۹و۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی.....

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات کارهای آتی

- ۹۶-۱-۵- مقدمه.....
- ۹۷-۲-۵- نتیجه گیری.....
- ۹۷-۲-۵-۱- مقایسه بین نتایج اجرای برنامه های رایانه ای مختلف.....

۵-۲-۲-	مقایسه بین جواب بهینه (شبکه های آبرسانی بهینه) حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای با شبکه های آبرسانی بهینه ارائه شده توسط سایر محققین.....	۱۰۲
۵-۳-	پیشنهاد کارهای آتی.....	۱۰۶
۵-۳-۱-	زمینه توسعه الگوریتم.....	۱۰۶
۵-۳-۲-	زمینه کاربرد ادامه الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی شبکه آبرسانی.....	۱۰۷
	فهرست منابع.....	۱۰۹
	چکیده انگلیسی.....	۱۱۴

عنوان شکل.....صفحه

فصل دوم: بررسی پیش زمینه و کارهای انجام شده

- شکل (۱-۲) - نمایی از کروموزوم..... ۲۸
- شکل (۲-۲) - فلوجارت تبدیل کد باینری به کد شبه باینری..... ۳۴
- شکل (۳-۲) - مدلی از چرخ گردان..... ۳۷
- شکل (۴-۲) - روش پیوند تک نقطه ای..... ۳۹
- شکل (۵-۲) - روش پیوند دو نقطه ای..... ۳۹
- شکل (۶-۲) - قبل از جهش، نیاز یک جمعیت به بیت ۱..... ۴۱
- شکل (۷-۲) - بعد از جهش، تاثیر عملگر جهش..... ۴۱

فصل سوم : روش بهینه یابی شبکه های آبرسانی، ابزار و روش ها

- شکل (۱-۳) - طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دو حلقه ای..... ۴۶
- شکل (۲-۳) - طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دوم..... ۴۷
- شکل (۳-۳) - طرح پیکربندی شبکه آبرسانی شهر نیویورک..... ۴۹
- شکل (۴-۳) - طرح پیکربندی شبکه شهر هانوی..... ۵۱
- شکل (۵-۳) - فلوجارت فرآیند بهینه سازی شبکه آبرسانی با الگوریتم ژنتیک..... ۵۴

فصل چهارم : نتایج حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای

- شکل (۱-۴) - مقادیر فشار گره ای و سرعت جریان آب در داخل لوله های در شبکه آبرسانی دو حلقه ای در حالت بهینه..... ۶۰
- شکل (۲-۴) - مقادیر قطر لوله های آب و میزان تقاضا آب در گره ها در شبکه آبرسانی دو حلقه ای در حالت بهینه..... ۶۰
- شکل (۳-۴) - طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دوم..... ۶۱

- شکل (۴-۴) - طرح پیکربندی شبکه شهر نیویورک ۶۲
- شکل (۵-۴) - طرح پیکربندی شبکه شهر هانوی ۶۴
- شکل (۶-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای ۸۷
- شکل (۷-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای ۸۸
- شکل (۸-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۱ ۸۸
- شکل (۹-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۱ ۸۹
- شکل (۱۰-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۲ ۸۹
- شکل (۱۱-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۲ ۹۰
- شکل (۱۲-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۱ ۹۰
- شکل (۱۳-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۱ ۹۱
- شکل (۱۴-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۲ ۹۱
- شکل (۱۵-۴) - نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۲ ۹۲

شکل (۴-۱۶) - نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای

برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۱..... ۹۲

شکل (۴-۱۷) - نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه

های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۱..... ۹۳

شکل (۴-۱۸) - نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای

برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۲..... ۹۳

شکل (۴-۱۹) - نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه

های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۲..... ۹۴

عنوان جدول.....صفحه

فصل دوم: بررسی پیش زمینه و کارهای انجام شده

جدول (۱-۲) - کم ترین فشار مناسب در شبکه، برحسب متر ارتفاع آب در برابر هر ساختمان..... ۱۲

جدول (۲-۲) - شباهت بین فرآیند فیزیکی و روش بهینه سازی شبیه سازی بازپخت..... ۱۸

فصل سوم : روش بهینه یابی شبکه های آبرسانی، ابزار و روش ها

جدول (۱-۳) - مشخصات هر یک از گره های شبکه آبرسانی دو حلقه ای..... ۴۶

جدول (۲-۳) - سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای شبکه آبرسانی

دو حلقه ای..... ۴۶

جدول (۳-۳) - مشخصات هر یک از گره های شبکه آبرسانی دوم..... ۴۷

جدول (۴-۳) - سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای شبکه

آبرسانی دوم..... ۴۸

جدول (۵-۳) - مشخصات هر یک از گره ها و لوله ها شبکه آبرسانی شهر نیویورک..... ۵۰

جدول (۶-۳) - سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای آبرسانی

شهر نیویورک..... ۵۰

جدول (۷-۳) - مشخصات هر یک از گره ها و لوله ها شبکه آبرسانی شهر هانوی..... ۵۲

جدول (۸-۳) - سایز لوله های قابل انتخاب برای حالت ۱ و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای

شبکه آبرسانی هانوی..... ۵۲

جدول (۹-۳) - سایز لوله های قابل انتخاب برای حالت ۲ و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای

شبکه آبرسانی هانوی..... ۵۲

فصل چهارم : نتایج حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای

جدول (۱-۴) - نتایج حاصل برای حالت بهینه شبکه آبرسانی دوم برای حالت ۱..... ۶۱

- جدول (۲-۴) - نتایج حاصل برای حالت بهینه شبکه آبرسانی دوم برای حالت ۲..... ۶۲
- جدول (۳-۴) - نتایج حاصل برای شبکه آبرسانی بهینه شهر نیویورک برای حالت ۱..... ۶۳
- جدول (۴-۴) - نتایج حاصل برای شبکه آبرسانی بهینه شهر نیویورک برای حالت ۲..... ۶۴
- جدول (۵-۴) - نتایج حاصل برای شبکه بهینه آبرسانی شهر هانوی برای حالت ۱..... ۶۵
- جدول (۶-۴) - نتایج حاصل برای شبکه بهینه آبرسانی شهر هانوی برای حالت ۲..... ۶۶
- جدول (۷-۴) - تعداد جمعیت اولیه و تعداد تولید نسل برای هریک شبکه های آبرسانی..... ۶۷
- جدول (۸-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه رایانه ای ۱ بر روی شبکه دو حلقه ای..... ۷۰
- جدول (۹-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای..... ۷۱
- جدول (۱۰-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای..... ۷۱
- جدول (۱۱-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ بر روی شبکه آبرسانی دوم..... ۷۲
- جدول (۱۲-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ بر روی شبکه آبرسانی دوم..... ۷۲
- جدول (۱۳-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ بر روی شبکه آبرسانی دوم..... ۷۳
- جدول (۱۴-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ بر روی شبکه آبرسانی دوم..... ۷۳
- جدول (۱۵-۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک..... ۷۴

- جدول (۴-۱۶) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه
آبرسانی شهر نیویورک..... ۷۴
- جدول (۴-۱۷) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ بر روی شبکه
آبرسانی شهر نیویورک..... ۷۵
- جدول (۴-۱۸) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه
آبرسانی شهر نیویورک..... ۷۵
- جدول (۴-۱۹) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ بر روی شبکه
آبرسانی شهر هانوی..... ۷۶
- جدول (۴-۲۰) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه
آبرسانی شهر هانوی..... ۷۶
- جدول (۴-۲۱) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ بر روی شبکه
آبرسانی شهر هانوی..... ۷۷
- جدول (۴-۲۲) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه
آبرسانی شهر هانوی..... ۷۷
- جدول (۴-۲۳) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه
آبرسانی دو حلقه ای..... ۸۰
- جدول (۴-۲۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه
آبرسانی دو حلقه ای..... ۸۰
- جدول (۴-۲۵) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه
آبرسانی دوم..... ۸۱
- جدول (۴-۲۶) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه
آبرسانی دوم..... ۸۱

- جدول (۴-۲۷) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه
 آبرسانی دوم..... ۸۲
- جدول (۴-۲۸) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه
 آبرسانی دوم..... ۸۲
- جدول (۴-۲۹) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر نیویورک..... ۸۳
- جدول (۴-۳۰) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر نیویورک..... ۸۳
- جدول (۴-۳۱) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر نیویورک..... ۸۴
- جدول (۴-۳۲) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر نیویورک..... ۸۴
- جدول (۴-۳۳) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر هانوی..... ۸۵
- جدول (۴-۳۴) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر هانوی..... ۸۵
- جدول (۴-۳۵) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر هانوی..... ۸۶
- جدول (۴-۳۶) - نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه
 آبرسانی شهر هانوی..... ۸۶

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات کارهای آتی

- جدول (۱-۵) - نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر تابع هدف اصلاح شده..... ۹۸
- جدول (۲-۵) - نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر تابع هدف اصلاح شده..... ۹۸
- جدول (۳-۵) - نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر انتخاب..... ۹۹
- جدول (۴-۵) - نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر انتخاب..... ۱۰۰
- جدول (۵-۵) - نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند..... ۱۰۱
- جدول (۶-۵) - ادامه نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند..... ۱۰۱
- جدول (۷-۵) - نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند..... ۱۰۲
- جدول (۸-۵) - ادامه نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند..... ۱۰۲
- جدول (۹-۵) - مقایسه نتایج طرح های بهینه برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای..... ۱۰۳
- جدول (۱۰-۵) - مقایسه نتایج طرح های بهینه برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک..... ۱۰۴
- جدول (۱۱-۵) - مقایسه نتایج طرح های بهینه برای شبکه آبرسانی شهر هانوی..... ۱۰۵

فصل اول: کلیات

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه یکی از مهمترین اهداف مهندسی در جوامع بشری، به حداکثر رساندن سود و یا به حداقل رساندن هزینه در طرح ها و پروژه ها می باشد. شبکه های آبرسانی شهری به دلیل وسعت بالایی که دارند، هزینه هنگفتی را به خود اختصاص می دهند و از آنجا که طراحی بهینه می تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه های چنین طرحهای را در برداشته باشد، این مسئله بخصوص در چند دهه اخیر مد نظر بسیاری از محققین و طراحان قرار گرفته است. طراحان همواره به دنبال یافتن روشی هستند که ضمن تأمین ضوابط و معیارهای فنی طرح کمترین هزینه را در برداشته باشد. در عمل مهندسين با تجربه برای یافتن یک طرح اقتصادی، از روش های سنتی مبتنی بر آزمون و خطا و قضاوت مهندسی استفاده می کنند. به دلیل اینکه در روش های سنتی هیچ تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه و یا حتی نزدیک به جواب بهینه وجود ندارد، تحقیقات بسیاری در زمینه ابداع و گسترش روش های بهینه سازی انجام شده است.

تاکنون روشهای بسیار زیادی برای طراحی بهینه شبکه های آبرسانی ارائه شده است که با فراهم شدن امکانات رایانه ای پیشرفته راه حل بهینه سازی ساده تر و جواب های بدست آمده به پاسخ بهینه نزدیکتر می شوند. روش های مطلقاً ریاضی بهینه سازی در مسائلی که توابع مربوطه پیوسته نیستند دارای کاربرد نیستند. روش های الهام گرفته از طبیعت (فرااکتشافی^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 متغیرهای تصمیم گیری گسسته (قطر لوله های موجود در بازار) می باشند، به نتایج مطلوبی رسیده اند. از جمله این روش ها می توان به موارد زیر اشاره نمود :

۱- الگوریتم جامعه مورچه ها^۲

۱. Meta heuristic

۲. Ant Colony Algorithm

۲- الگوریتم ژنتیک^۱

۳- الگوریتم جستجوی هارمونی^۲

۴- الگوریتم نورد شبیه سازی شده^۳

در این رساله به بررسی روش فرااکتشافی الگوریتم ژنتیک برای طراحی قطر لوله ها با کمترین هزینه و با هدف تأمین حداقل فشار و رعایت حداقل و حداکثر سرعت مورد نیاز برای مصرف کنندگان پرداخته می شود.

۲-۱- تعاریف

۱-۲-۱- بهینه سازی

بهینه سازی روشی است که بوسیله آن بهترین جواب ممکن برای یک مسئله با توجه به هدف تعیین شده و قیدهای موجود که همه با توابع و روابط ریاضی مشخص شده اند تعیین می شود. مسئله بهینه دارای یک تابع هدف^۴ (تابع معیار) و احتمالاً چندین قید می باشد که مجموعاً خصوصیات سیستم مورد نظر را در برمی گیرند.

منظور از بهینه سازی در یک مورد خاص ممکن است به حداکثر رساندن تابع هدف (نظیر به حداکثر رساندن سود یک کارخانه) و یا حداقل رساندن (نظیر به حداقل رساندن هزینه تولید و یا هزینه ساخت یک سد) می باشد که بصورت زیر نشان داده می شود:

Maximize F(x)

حداکثر سازی تابع هدف

Subject to:

که محدود به:

$$g_i(x) \leq b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

توابع حدی می باشد

و یا

۱. Genetic Algorithm

۲. Harmony Search Algorithm

۳. Simulated Annealing Algorithm

۴. Objective function

Minimize $F(x)$

حداقل سازی تابع هدف

Subject to:

که محدود به:

$$g_i(x) \leq b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

توابع حدی می باشد

بنابراین از نظر تابع هدف مسئله بهینه به دو نوع حداکثر (یا بیشینه) سازی و حداقل (یا کمینه) سازی تقسیم می شود.

بطور کلی مسئله های بهینه سازی را می توان به دو گروه مسئله های مقید و مسئله های بدون قید تقسیم نمود. برای تبدیل مسئله مقید به یک مسئله بدون قید روش های مختلفی وجود دارد که معمولاً از روش تابع های جریمه استفاده می شود. به عنوان مثال برای یک تابع هدف حداکثر سازی داریم:

$$(1-1) \quad \text{maximize } \phi(x) = F(x) - k \cdot P(x) \quad x_1 < x < x_m$$

که در رابطه قبل k ضریب تابع جریمه می باشد.

۱-۲-۲- بهینه سازی خطی و غیرخطی

هرگاه تابع هدف و همه قیود از نوع توابع خطی (درجه یک) باشند بهینه سازی فوق را خطی و اگر هر یک از توابع هدف یا قیود از نوع غیرخطی باشند بهینه سازی را غیرخطی می گویند.

۱-۲-۳- متغیرهای مسئله

طرح یک سیستم به وسیله مجموعه ای از پارامترها بیان می شوند که برخی از آنها مقداری ثابتی هستند و در حین فرآیند بهینه سازی تغییر نمی کنند و دسته ای دیگر می توانند تغییر نمایند، مثل مقادیر قطر لوله ها که به آنها متغیرهای مسئله می گویند.

متغیرهای مسئله را می توان به دو دسته متغیرهای پیوسته و متغیرهای گسسته تقسیم نمود. متغیرهای پیوسته به طور پیوسته تغییر می کند. برای مثال سرعت آب در لوله ها، که هر مقداری را می توانند به خود بگیرند. متغیرهای گسسته در مقدارهای گسسته یا از قبل تعیین شده موجود

می باشد، برای مثال معمولاً کانال ها و لوله های انتقال آب و فاضلاب در اندازه و ابعاد از قبل تعیین شده تولید می شوند.

۱-۲-۴- تابع هدف $F(x)$

تابع هدف (معیار) در بهینه سازی تابعی است که عمدتاً (max or min) بر روی آن تابع انجام می پذیرد. در یک شبکه آبرسانی شهری تابع هدف کاهش هزینه احداث شبکه (با لوله های با قطر کوچک نیازهای مصرف کنندگان تامین نمود) می باشد. در هر صورت فرم ریاضی تابع هدف باید کاملاً و با تمام جوانب ممکن (از قبیل زمان، تعداد و موارد دیگر) معین بوده و جهت بهینه (max or min) مشخص باشد.

۱-۲-۵- قیود $g(x) \leq b$

قیود را می توان با فرم کلی فوق نشان داد. همانطور که از اسم شان پیداست قیود بعنوان محدودیتی در مقابل بهینه سازی تابع هدف می باشد و یا ممکن است به عنوان یک قانون فیزیکی حاکم بر سیستم بکار روند که در هر صورت نقش محدود کنندگی را بازی می کند. بعضی از قیود مانند مقادیر حداکثر و حداقل متغیرهای ساده هستند و بعضی دیگر به صورت رابطه خطی یا غیرخطی تابعی از یک یا چند متغیر مسئله می باشند به طور کلی قید به دو دسته قیدهای مساوی^۱ و قیدهای نامساوی^۲ تقسیم می شوند.

۱-۲-۶- روش های بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت (فرااکتشافی)

بسیاری سیستم های زنده و غیرزنده طبیعی از کارایی بهتری نسبت به سیستم های ساخت دست بشر از برخوردارند. به نحوی که طراحان کارایی و انعطاف پذیری سیستم های طبیعی در شگفت مانده اند. ترکیبی از خود تعمیری، راهنمای خود بودن و تولید مثل، در این سیستم های به چشم می خورد. این ویژگی ها را به زحمت می توان در سیستم های ساخت دست بشر یافت. بنابراین به این نتیجه جالب دست خواهیم یافت که زمانیکه توانمندی مورد نظر باشد، طبیعت آن را بهتر انجام می دهد و بهترین

۱. Equality Constraint

۲. Inequality Constraint

راه فراگیری سازش و بقا از مطالعه دقیق نمونه های طبیعی صورت می گیرد. همین امر باعث گردید تا محققان، سیستم های طبیعی را به عنوان الگوی طراحی سیستم های مهندسی مورد توجه قرار دهند.

این تلاش ها به ایجاد مجموعه روش های بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت منجر شده است که به دو مجموعه اصلی تقسیم می شوند:

الف- روش های مبتنی بر طبیعت جاندار

ب- روش های الهام گرفته از طبیعت بی جان

روش های الهام گرفته از طبیعت بی جان در فرآیندهای فیزیکی موجود در طبیعت ریشه دارند. تعداد این روش ها بسیار اندک است. شناخته ترین این روش ها ، بهینه سازی بازپخت فلزات^۱ (شبهه سازی فرآیند آب دادن فولاد) است. روش های مبتنی بر طبیعت جاندار از فرآیند تکامل جانداران در طبیعت ایده می گیرند. در این فرآیند ویژگی های جانداران بهبود می یابد تا بهتر بتوانند با محیط سازگار شوند و در رقابت با جانداران دیگر برای دستیابی به منابع محدود طبیعت پیروز گردند. این روش ها به دو گروه عمده الگوریتم ژنتیک (وراثتی) و تکاملی تقسیم می گردند. که در این رساله الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار می گیرد.

عملکرد کلی این روش ها بدین صورت است که ابتدا جمعیتی از نقطه ها به طور تصادفی از میان فضای جوابها انتخاب می گردند. سپس مقدار تابع هدف به ازای تک تک نقطه های جمعیت محاسبه می شوند در مرحله بعد که مرحله تولید جمعیت نقطه های جدید است، با کمک جمعیت موجود و استفاده از تابع توزیع احتمال مشخص و یا هر عملگر تصادفی دیگر، جمعیت نقطه ای دیگر تولید و مقدار تابع هدف به ازای هر یک از نقطه های بوجود آمده محاسبه می شود. جمعیت جدید با جمعیت مولد سنجیده می شود و براساس این سنجش، جمعیت نقطه ای جدید برای مرحله بعد انتخاب می گردند، البته نحوه این انتخاب در الگوریتم های مختلف متفاوت است.

^۱. Simulated Annealing

روش های بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت مشابه روش های جستجوی تصادفی می باشند. روش های جستجوی تصادفی کمتر تحت تأثیر فرم تابع هدف قرار می گیرند. بنابراین مسأله با تعداد زیاد بهینه های محلی، ابعاد وسیع فضای جستجو و مشتق ناپذیری تابع نمی تواند در اجرای این الگوریتم ها خللی ایجاد کند. تنها ویژگی نامطلوب این روش ها کندی آنها می باشد. به عبارت دیگر نیاز به دفعه های زیاد محاسبه تابع هدف دارند.

روش های بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت علاوه بر مشابهت های بیان شده با روش های جستجوی تصادفی، برتری مهمی نیز نسبت به آنها دارند. این برتری عبارت است از اینکه روش جستجوی تصادفی تنها از استراتژی کلی برخوردارند در حالی که روش های بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت به طور همزمان هر دو استراتژی کلی و محلی را در برمی گیرند.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

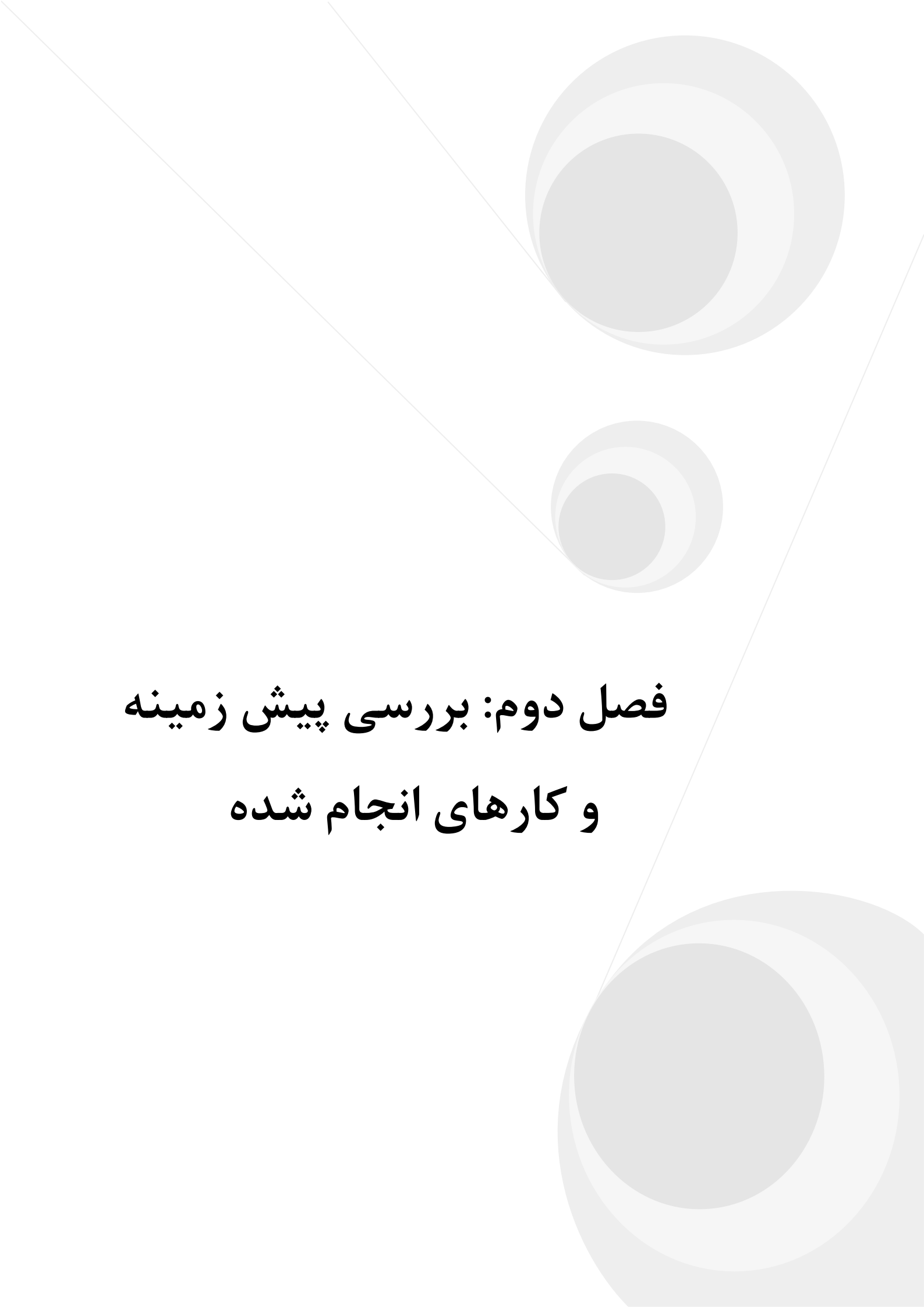
آب آشامیدنی یکی از نیازهای اساسی بشر است که تامین آن مستلزم احداث شبکه های آبرسانی جدید و گسترش و بازسازی شبکه های موجود است. اجرای شبکه ها همواره با هزینه بسیار بالا همراه است که تجهیزات و لوله ها بخش مهمی از آن هزینه ها را شامل می شود. هر گونه صرفه جویی در این زمینه به صرفه جویی کلان در سطح ملی منجر خواهد شد. طراحی با سعی و خطا هرگز به طرح بهینه منجر نخواهد شد و لذا استفاده از نرم افزارهای طراحی بهینه امری ضروری به نظر می رسد. روش های بهینه سازی متفاوتی امروز در این زمینه کاربرد دارند که هر یک نقاط ضعف و قوت خود را دارند که در این میان روش های فرااکتشافی با توجه به توانایی بسیاری که در یافتن جواب های بهینه در مدت زمان محدود را دارند متمایز شده اند. با توجه به اهمیت شبکه های آبرسانی و محدود بودن مطالعات درباره بهینه سازی شبکه های آبرسانی در ایران، ارائه یک تحقیق کامل در این مورد ضروری به نظر می رسد.

۱-۴- هدف از انجام تحقیق

همانطور که قبلاً اشاره گردید، کمبود منابع اطلاعاتی در مورد بهینه سازی شبکه های آبرسانی شهری یکی از مهمترین دلایل انجام این تحقیق بوده است. چگونگی تحلیل هیدرولیکی هر شبکه بزرگ مقیاس در حین فرایند بهینه سازی که مهمترین بخش یک الگوریتم بهینه سازی است و چگونگی مدل سازی مسئله بهینه سازی توسط روش های گوناگون از جمله مواردی است که جای آن در تحقیق های پیشین در ایران خالی به نظر می رسد. با توجه به ارائه توضیحات کافی در این موارد، ادامه راه برای انجام تحقیق های بعدی آسان خواهد بود.

۱-۵- فصل بندی پایان نامه

در فصل دوم ابتدا مروری بر هیدرولیک شبکه های آبرسانی انجام شده است و در ادامه برخی الگوریتم های موجود در زمینه بهینه یابی و مقالات مرتبط با آن ارائه شده است و در انتهای فصل به طور اخص تاریخچه مطالعات صورت گرفته راجع به بهینه سازی شبکه های آبرسانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطرح شده است. در فصل سوم به معرفی روش بهینه یابی شبکه های آبرسانی، ابزارها و روش ها به کار گرفته شده در این رساله پرداخته شده است. فصل چهارم در برگیرنده نتایج حاصل از اجرای برنامه های کامپیوتری تهیه شده بر روی مثالهای استاندارد می باشد. فصل پنجم اختصاص به مقایسه بین نتایج حاصله از اجرای برنامه های کامپیوتری با یکدیگر و همچنین بررسی و مقایسه بین جوابهای بهینه حاصل از اجرای برنامه های کامپیوتری با نتایج ارائه شده توسط سایر محققین می باشد و در انتهای فصل پیشنهادات کارهای آتی ارائه شده است.



**فصل دوم: بررسی پیش زمینه
و کارهای انجام شده**

فصل دوم: بررسی پیش زمینه و کارهای انجام شده

۳-۱- مقدمه

در این فصل در ابتدا مروری بر هیدرولیک شبکه های آبرسانی انجام شده است و در ادامه برخی الگوریتم های موجود در زمینه بهینه یابی و مقالات مرتبط با آن ارائه شده است و در انتهای فصل به طور اخص تاریخچه مطالعات صورت گرفته راجع به بهینه سازی شبکه های آبرسانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطرح شده است.

۳-۲- شبکه های آبرسانی شهری

شبکه لوله کشی بخشی از تأسیسات آبرسانی شهری است که وظیفه ی رسانیدن آب از مخازن ذخیره آب به مصرف کنندگان را به عهده دارد. شبکه پخش آب در شهر بخش عمده ای از هزینه تأسیسات آبرسانی یک شهر را به خود اختصاص می دهد. به علت تعویض لوله های یک شبکه پس از چند سال مستلزم هزینه بالا است و معمولاً در محاسبه ی شبکه های آبرسانی، جمعیت ۲۵ تا ۴۰ سال آینده شهر را مبنای طراحی قرار می گیرد.

از نظر سیستم پخش آب شبکه آبرسانی به سه گونه طراحی می شوند [۳].

الف- شبکه های شاخه ای^۱

در توسعه خطی جوامع، خطوط توزیع آب نیز شکل شبکه خطی را به خود می گیرند. در این شبکه ها جریان آب ضمن گذر از شبکه برای تأمین آب مصرفی محله های پایین دست، در طول مسیر توزیع می شود. برای انجام محاسبات طراحی باید از انتهایی ترین نقطه مصرف آغاز و به سمت مخزن تغذیه بازگشت نمود. عیب مهم این شبکه های آبرسانی این است که هنگام شکستن قطعه ای لوله، همه بخش های پشت سر آن قطعه بی آب می مانند. بجز آن در انتهای شاخه ها ممکن است آب به علت کمی مصرف مدتی ساکن بماند که در تغییر مزه آن بی تأثیر نیست.

^۱. Tree system or Dead end distribution system

ب- شبکه های حلقه ای^۱

در توسعه شهرها یا نواحی صنعتی، لوله های توزیع آب در خیابان ها و کوچه ها گسترده می شوند و با پیوستن به یکدیگر حلقه های گردش آب را بوجود می آورند. مصرف کنندگان که در اطراف لوله ها در کوچه ها و محله ها پراکنده هستند. هر یک با اتصال به یکی از لوله های توزیع، برداشت آب را انجام می دهند. در این شبکه ها جریان آب در لوله ها بسته به جای مصرف تغییر جهت می دهد و هر ناحیه از دو یا چند جهت امکان آبرسانی دارد. این شبکه ها عیب های شبکه شاخه ای را ندارد ولیکن هزینه ساخت آنها بیشتر می باشد.

ج- شبکه های درهم^۲

چون شبکه های حلقه ای خیلی گران تمام می شوند و همیشه و در همه جاها با صرفه نیستند از این رو در عمل برای شبکه های لوله کشی شهرها از ترکیب هر دو گونه شبکه استفاده می شود.

۲-۲-۱- وظایف شبکه های آبرسانی

شبکه های آبرسانی شهرها دارای وظایفی هستند که مهمترین آنها عبارتند از: تأمین آب مصرفی منازل شامل: آب آشامیدنی، تأمین آب مورد نیاز دستگاه های خنک کننده و تأسیسات بهداشتی از قبیل حمام ها، توالت ها. تأمین آب مورد نیاز صنایع و کارگاه های گوناگون، تأمین آب لازم برای آبیاری فضاهای سبز و تأمین آب مورد نیاز تأسیسات آتش نشانی در مواقع آتش سوزی.

یک شبکه آبرسانی شهری باید قادر باشد نیازهای آبی منطقه طراحی را از نظر کمیت و کیفیت برآورده سازد. آب خروجی از یک شبکه آبرسانی باید استاندارد لازم را از نظر کیفی (خواص فیزیکی و شیمیایی آب) و از نظر کمی (دبی و فشار آب) دارا باشد و تأمین آب مورد نیاز را باید در بدترین شرایط زمانی و مکانی و شرایط اضطراری نیز امکان پذیر سازد[۴].

۱. Looped system or Grid system

۲. Mixed distribution system

۲-۲-۲- محاسبه ی شبکه های توزیع آب

منظور از محاسبه ی شبکه توزیع آب، محاسبه دبی جریان آب (یا سرعت) و افت فشار در هر یک از لوله های یک شبکه است.

۲-۲-۲-۱- مبانی طراحی شبکه های توزیع آب

الف- محدودیت سرعت

در شبکه های پخش آب در شهرها نیز محدودیت سرعت از دو نقطه نظر مورد توجه می باشد [۳] و [۴].

نخست- ماکزیمم سرعت نباید در لوله های شبکه آبرسانی شهری از حدودی بیشتر گردد، زیرا افزایش سرعت سبب افزایش افت فشار در لوله ها با توانهای نزدیک به ۲ سرعت می شود و به همین نسبت هزینه پمپاژ یا اختلاف فشار در نقاط مختلف شبکه را در ساعات حداکثر مصرف موجب می شود. از سوی دیگر مقدار نیروی وارده به زانویی ها و سه راهی ها در اثر تغییر جهت سرعت، زیاد گشته و امکان شکسته شدن لوله ها به ویژه در جای پیوندها زیاد می گردد. بیشترین مقدار سرعت آب در لوله های یک شبکه شهری ۲ متر بر ثانیه پیشنهاد شده است.

دوم- اگر سرعت جریان در لوله های شبکه آبرسانی پایین باشد، برخی ذرات همراه با آب مانند شن و ماسه در نقاط به خصوصی از لوله رسوب می کند. بجزء این کمی سرعت و یا ایستادن آب سبب می شود گاز های محلول در آب به صورت حباب های درآیند و در بخش های بلند شبکه جمع شده و جریان آب را مختل سازند و هم چنین این کمی سرعت سبب تغییر مزه آب شده و از گوارایی آن می کاهد. کم ترین سرعت مطلوب سرعت آب در شبکه شهری ۰/۳ متر در ثانیه می باشد.

ب- محدودیت فشار

بیشترین فشار در شبکه لوله کشی باید به اندازه باشد که لوله ها بتوانند آنرا مخصوصاً در جای پیوندها تحمل نمایند. خطر ترکیدن لوله در نقاط پست و گود شهر و در نیمه شب ها که جریان شبکه ناچیز و

در نتیجه افت فشار به کمترین و فشار به بیشترین مقدار خود می رسد بیشتر می گردد. بر اساس استاندارد وزارت نیرو بیشترین فشار در شبکه شهری ۵ تا ۷ اتمسفر تعیین شده است.

کمترین فشار آب در شبکه شهری باید به اندازه ای باشد که در ابتدای هر انشعاب فشار لازم برای مصرف کننده در لوله وجود داشته باشد. با توجه به نیاز مصرف کننده کمترین فشار مناسب بسته به تعداد طبقات های ساختمان موجود در شهر در جدول (۱-۲) بیان گردیده است [۴].

جدول (۱-۲) کمترین فشار مناسب در شبکه، برحسب متر ارتفاع آب در برابر هر ساختمان

۵	۴	۳	۲	۱	تعداد طبقه های ساختمان
۱۷	۱۴	۱۱	۸	۵	ارتفاع ساختمان به متر
۴۰	۳۶	۳۲	۲۸	۲۴	کمترین فشار مناسب بر حسب متر ارتفاع آب

ج- محدودیت قطر لوله

در صورت استفاده از شیرهای آتش نشانی جهت اطفاء حریق هنگام آتش سوزهای بزرگ و در هنگام ترکیدن لوله، دبی بعضی از لوله های شبکه افزایش می یابد. این افزایش دبی در لوله های اصلی و بزرگ تأثیر چندانی ندارد ولی ممکن است که در لوله های فرعی و کوچک سبب ایجاد افت فشار شود. این امر می تواند به ایجاد مکش در لوله های آن بخش از شهر بیانجامد. برای جلوگیری از این پدیده کمترین قطر لوله را در شبکه شهری ۱۰۰ میلیمتر انتخاب می کنند و تنها در کوچه های خیلی فرعی می توان از قطر ۶۰ میلیمتر استفاده نمود [۴].

۲-۲-۲-۲- روش های تحلیل شبکه توزیع آب

منظور از تحلیل شبکه آبرسانی محاسبه دبی جریان آب (یا سرعت) و افت فشار در هر یک از لوله های یک شبکه است. در حل شبکه آبرسانی باید قوانین کیرشهف (بقا) همواره صادق باقی بماند. [۳] یعنی :

۱. جمع دبی ها وارده شده و خارج شده از هر گره i ، صفر باشد. (قانون بقای جرم)

$$\sum_{i=1}^m Q = 0 \quad (1-2)$$

m = تعداد گره های شبکه آبرسانی

۲. در هر حلقه z افت فشار بایستی صفر باشد:

$$\sum_{j=1}^n h_j = 0 \quad (2-2)$$

n = تعداد حلقه های شبکه آبرسانی

در هر شبکه آبرسانی با کاربرد قانون اول کیرشهف به ازای تعداد گره ها منهای یک معادله درجه یکم نسبت به Q و با کاربرد قانون دوم کیرشهف به تعداد حلقه ها معادله درجه دوم لگاریتمی نسبت به Q تشکیل می شود. حل این دستگاه غیر خطی تنها از راه محاسبه های تدریجی و گام به گام امکان پذیر خواهد بود. برای حل دستگاه معادله های نام برده روش های گوناگونی وجود دارند که در مراجع [۳] و [۴] به آن اشاره شده است.

۳-۳- الگوریتم های فرااکتشافی

در ۲۵ سال گذشته، نوع خاصی از الگوریتم های بهینه یابی که اساساً سعی در ترکیب اصول اولیه روشهای کاوشی و رسیدن به یک جستجوی موثر و کارا در محدوده مورد نظر را دارند ایجاد شده است. امروزه این روشها عمدتاً به روشهای فرااکتشافی موسوم هستند [۱].

واژه Metaheuristic ابتدا توسط Glover(1986) معرفی گردید که از دو واژه یونانی تشکیل شده است. Heuristic از فعل Heuriskein به معنی یافتن مشتق شده و پیشوند Meta نیز به معنی فرا و یا سطحی بالاتر می باشد. پیش از معرفی این واژه، روشهای فرااکتشافی به نام روشهای کاوشی نوین^۱ نامیده می شدند. الگوریتم جامعه مورچه ها (ACO) و محاسبات تکاملی^۲ (EP) شامل الگوریتم ژنتیک، جستجوی موضعی تکراری^۳، بازیخت شبیه سازی شده^۴، جستجوی ممنوعه^۵ و ... نمونه ای از

۱. Modern Heuristic

۲. Evolutionary Computation

۳. Iterated Local Search

۴. Simulated Annealing

۵. Tabu Search

این روشها هستند. تا به امروز تعریف مشخص و جامعی برای فرااکتشافی بودن روشها صورت نگرفته و نویسندگان مختلف، تعاریف گوناگونی ارائه نموده اند. اما به طور خلاصه می توان مشخصه های اساسی روش های فرااکتشافی را به صورت زیر بیان نمود [۸].

❖ هدف اصلی در این روشها، کاوش موثر و کارا در فضای جستجو به جای یافتن صرف جوابهای بهینه (نزدیک به بهینه) می باشد.

❖ روشهای فرااکتشافی سیاستها و راهکارهایی هستند که فرآیند جستجو را هدایت می نمایند.

❖ الگوریتم های فرااکتشافی تقریبی بوده و اغلب غیرقطعی هستند.

❖ الگوریتم های فرااکتشافی وابسته به نوع مسئله نیستند.

❖ روشهایی که الگوریتم های فرااکتشافی را پایه گذاری می نمایند از روشهای ساده جستجو موضعی تا فرآیندهای پیچیده یادگیری، متغیر می باشند.

❖ این الگوریتم ها ممکن است با استفاده از مکانیزم هایی، از گیر افتادن در محدوده های محصور در فضای جستجو رهایی یابند.

❖ روش های فرااکتشافی پیشرفته تر، از تجربیات جستجو (به شکل حافظه) جهت هدایت جستجو استفاده می نمایند.

به طور خلاصه می توان گفت که الگوریتم های فرااکتشافی راهکارهای پیشرفته ای جهت کاوش فضای جستجو یا استفاده از روشهای مختلف هستند. عامل مهم در این روشها، تعادل پویا بین واگرایی شدید^۱ و همگرایی شدید^۲ می باشد. مفهوم واگرایی عموماً به کاوش فراگیر فضای جستجو اشاره داشته و مفهوم همگرایی نشان دهنده بهره برداری از تجربیات انباشته شده جستجو می باشد. ایجاد تعادل بین این دو عامل بسیار مهم است. زیرا از یک طرف حرکت را به سمت محدوده هایی از فضای جستجو سوق می دهد که جوابهای مرغوب تری در آنها یافت می شود و از طرف دیگر باعث عدم

۱. Diversification

۲. Intensification

اتلاف زمان بیشتر در بخشی از فضای جستجو می شود که از پیش از آن کاوش شده و یا شامل جوابهای نامرغوبتری است.

۲-۳-۱- تقسیم بندی الگوریتم های فرااکتشافی

الگوریتم های فرااکتشافی را به طرق مختلفی می توان تقسیم کرد [۱].

❖ بر اساس منشأ طبیعی و یا غیرطبیعی: شاید محسوس ترین راه تقسیم بندی این الگوریتم ها براساس منشأ آنها باشد. این الگوریتم ها همانند ژنتیک و جامعه مورچه ها برگرفته از طبیعت بوده و الگوریتم هایی همانند جستجوی ممنوعه و جستجوی موضعی تکراری، غیرطبیعی می باشند. البته این تقسیم بندی به دو دلیل نمی تواند بسیار معنی دار باشد. اول آنکه الگوریتم های تلفیقی اخیر در یکی از این دو دسته قرار گرفته و یا بهتر است بگوئیم در هر دو دسته واقع می شوند. دوم آنکه برخی اوقات انتساب روشن و واضح یک الگوریتم به یکی از این دو دسته بسیار مشکل خواهد بود.

❖ جستجو جمعیتی و یا تک نقطه ای: شاخص دیگری که می تواند به تقسیم بندی الگوریتم های فرااکتشافی کمک نماید، تعداد جوابهایی است که در یک زمان تولید و مورد استفاده قرار می گیرند. الگوریتم هایی که بر مبنای تک جواب در هر زمان کار می کنند، روشهای خط سیر^۱ نامیده می شوند که شامل الگوریتم هایی بر پایه جستجوی موضعی همانند جستجوی ممنوعه (TS)، جستجوی موضعی تکراری ITERATED LOCAL SEARCH یا ILS جستجو با همسایگی متغیر^۲ (VNS) می باشد. الگوریتم های فرااکتشافی بر پایه جمعیت، فرآیند جستجو را همانند تکامل یکسری نقاط در فضای جستجو انجام می دهند.

❖ تابع هدف پویا در مقابل ایستا: برخی الگوریتم های فرااکتشافی تابع هدف را در طول فرآیند جستجو بدون تغییر نگه می دارند، برخی دیگر همانند جستجوی موضعی هدایت شده^۳ (GLS)

۱. Trajectory Methods

۲. Variable Neighborhood Search

۳. Guided Local Search

تابع هدف را در طول فرآیند بهینه یابی اصلاح می نمایند. ایده اصلی این روش فرار از انحصار در یک بهینه موضعی با اصلاح دورنمای جستجو می باشد.

❖ روش های با حافظه و بدون حافظه: یکی از مهمترین معیارهای تقسیم بندی روش های فرااکتشافی، نحوه استفاده از تاریخچه جستجو و استفاده یا عدم استفاده از حافظه است. الگوریتم هایی که از حافظه استفاده نمی نمایند همانند فرآیند مارکوف عمل می کنند که تعیین حرکت بعدی برپایه اطلاعات حالت فعلی فرآیند جستجو صورت می گیرد، امروزه استفاده از حافظه به عنوان یکی از شاخص های اساسی میزان توانایی الگوریتم های فرااکتشافی است. در ادامه، مهمترین الگوریتم های فرااکتشافی بر اساس تقسیم بندی تک نقطه ای (روش های خط سیر) و یا جمعیتی تشریح می گردند، از الگوریتم های تک نقطه ای می توان به مواردی چون جستجوی موضعی پایه، بازپخت شبیه سازی شده، جستجوی ممنوعه و روش های جستجوی موضعی اکتشافی و از الگوریتم های جمعیتی نیز به نمونه هایی چون محاسبات تکاملی اشاره کرد.

۲-۳-۱-۱- روش های خط سیر

در این روش ها فرآیند جستجو با یک خط سیر در فضای جستجو مشخص می گردد. الگوریتم از یک حالت اولیه (جواب اولیه) شروع کرده و یک خط سیر در فضای حالت را معین می نماید.

۲-۳-۱-۱-۱- جستجوی موضعی پایه

در جستجوی موضعی پایه که عموماً به نام بهبود مکرر^۱ نامیده می شود، تا زمانی یک حرکت (منظور از یک حرکت، انتخاب یک جواب S در یک محدوده همسایگی $N(S)$ از جواب S می باشد.) قابل قبول است که جواب حاصله جدید نسبت به جواب قبلی پیشرفت داشته باشد.

الگوریتم به هنگام یافتن یک بهینه موضعی (البته بسته به محدوده فضایی مورد استفاده) متوقف می شود. به این ترتیب جواب نهایی و نحوه همگرایی از خط سیر اولیه و محدوده همسایگی مورد استفاده تأثیر پذیری شدیدی دارد.

۱. Iterative Improvement

۲-۳-۱-۱-۲- شبیه سازی بازپخت

این روش (Simulated Annealing یا SA) قدیمترین روش از نوع فرااکتشافی بوده و قطعاً یکی از اولین الگوریتم‌هایی است که راهکاری صریح جهت فرار از حداقل‌های موضعی دربردارد [۱].

Simulated Annealing اولین بار در مقالات متروپولیس و همکارانش در سال ۱۹۵۳ به عنوان یک روش مطرح گردید. خاستگاه اصلی آن در مکانیک آماری بوده است [۳۵].

متروپولیس و همکارانش فیزیکدان بودند و بر روی شبیه سازی سرد کردن مواد در یک محفظه گرمایش، جهت رسیدن به پایین ترین تراز انرژی ممکن ذرات ماده کار می کردند، به این عمل التهاب گویند. در ابتدای فرآیند التهاب، ماده به نقطه انجماد نزدیک می شود. تا زمان رسیدن به یک حالت پایدار (نزدیک به شرایط انجماد)، عمل سرد کردن ادامه می یابد، در هر دمایی این امکان وجود دارد که با ایجاد تغییر مکان در ذرات (حتی کوچک) انرژی کل ماده تغییر یابد. به اینکار اختلال^۱ گویند. در هر دمایی ممکن است چندین فرآیند اختلال صورت گرفته و در هر کدام نتایج تراز انرژی، متفاوت باشد. سوال اصلی آنست که کدام فرآیند اختلال، کمترین میزان انرژی را در هر دما ایجاد می نماید؟ در هر دما امکان ایجاد تعداد زیادی اختلال وجود دارد. اما پس از تعدادی از این فرآیند، میزان تغییرات انرژی کل ماده بسیار اندک می گردد. در این نقطه ماده به حالت تعادل گرمایی^۲ در دمای ثابت رسیده است. تعادل گرمایی به معنای آن است که یک ماده در یک دمای ثابت به پایین ترین تراز ممکن انرژی خود رسیده باشد. گام بعدی، کاهش دما و ایجاد اختلال مجدد در دمای جدید است تا دوباره به حالت تعادل گرمایی برسد، فرآیند با رسیدن به آخرین دما در فرآیند جستجو خاتمه می یابد.

پیش از کاربرد این الگوریتم، مقادیر زیر می بایست تعریف گردند:

❖ کل تعداد گامهای تغییر دما

❖ دمای اولیه

۱. Perturbation

۲. Thermal Equilibrium

❖ خطای قابل قبول که میزان تغییر در انرژی مجاز در دو گام متوالی است. این مقدار جهت

تعریف تعادل گرمایی مورد استفاده قرار می گیرد.

Kirkpatrick و همکارانش در سال ۱۹۸۳ و Cherny در سال ۱۹۸۵ اولین افرادی بودند که با ایجاد اندکی اصلاحات در این روش از آن برای حل مسائل بهینه سازی گسسته استفاده نمودند. شباهت بین فرآیند فیزیکی انجماد و روش حل مسائل بهینه سازی با Simulated Annealing را می توان به صورت جدول (۲-۲) ارائه نمود.

جدول (۲-۲) شباهت بین فرآیند فیزیکی و روش بهینه سازی شبیه سازی بازپخت

فرآیند فیزیکی	معادل فرااکتشافی
انرژی	معیار
دما	پارامتر کنترلی
ساختار ذره	جواب ممکن

۲-۳-۱-۱-۳- جستجوی ممنوعه

جستجوی ممنوعه (Tabu Search یا TS) در زمره روش های فرااکتشافی است که استفاده گسترده ای در حل مسائل بهینه سازی داشته است [۱].

Tabu Search یک فرآیند فرااکتشافی عمومی جهت هدایت یک جستجو و رسیدن به یک جواب خوب در یک فضای پیچیده از جستجو است [۱]. این روش قادر به فرار از نقاط حدی موضعی و جستجو در محدوده هایی فراتر از این نقاط حدی است. این روش برپایه برخی از مفاهیم برگرفته شده از هوش مصنوعی توسعه یافته و اولین بار به صورت مستقل توسط Glover(1986) و Hansen(1986) معرفی شده است.

در الگوریتم ساده Tabu Search با استفاده از یک جستجوی موضعی پیشرفته و نیز یک حافظه کوتاه مدت، از نقاط بهینه موضعی خارج شده و از درجا زدن اجتناب می گردد. حافظه کوتاه مدت در این

روش به شکل یک فهرست ممنوعه^۱ نمایان می گردد که در آن حرکت مجدد به سمت جوابهایی که اخیراً حاصل شده است ممنوع می باشد. به این ترتیب جوابهای همسایه جواب فعلی محدود به جوابهایی هستند که در فهرست ممنوعه قرار ندارند (سری جوابهای مجاز^۲). در هر تکرار بهترین جواب موجود در سری جوابهای مجاز به عنوان جواب جدید انتخاب شده و به فهرست ممنوعه اضافه می گردد. به تبع آن یک جواب از فهرست ممنوعه خارج می گردد. به این ترتیب فهرست ممنوعه حالت پویا داشته و Tabu Search را می توان جزء روشهای جستجو یا همسایگی پویا دانست [۴۱].

الگوریتم ممکن است در حالتی که سری جوابهای مجاز تهی شده و یا کلیه جوابها جزء فهرست ممنوعه قرار گیرند متوقف شود. طول فهرست ممنوعه، بر اساس حافظه فرآیند جستجو کنترل می شود. در حالت حافظه با طول کم، جستجو در محدوده کوچکی از فضای جستجو متمرکز شده و بالعکس در حالت حافظه با طول زیاد، فرآیند جستجو مجبور به بررسی محدوده های بزرگتری می گردد. البته طول فهرست ممنوعه می تواند در طول فرآیند حل متغیر گردد که به توانمندی الگوریتم کمک می نماید. با این حال، استفاده از حافظه کوتاه مدت به صورت فهرستی که شامل جوابهای کاملی هستند عملی نیست، زیرا مدیریت این فهرست از جوابها توان زیادی طلب نموده و مناسبت چندانی ندارد. به این ترتیب می توان به جای جوابها، خصوصیتهایی از آنها را ذخیره نمود. این خصوصیتها عموماً مولفه هایی از جوابها، حرکتها و یا اختلاف بین دو جواب می تواند باشد. در صورتی که نیاز به نگهداری بیش از یک خصوصیت باشد، می بایست چندین فهرست ممنوعه تعریف نمود. استفاده از خصوصیتی از جوابها به جای خود جوابها کارایی بیشتری دارد اما این امکان را دارد که برخی از جوابهایی که تاکنون دیده نشده از فهرست جوابهای مجاز خارج شده و با فهرست ممنوعه وارد گردند. برای غلبه بر این مشکل معیار اشتیاق^۳ تعریف شده است که به جوابها، حتی اگر توسط فهرست ممنوعه، ممنوع باشند اجازه می دهد که در فهرست مجاز قرار گیرند.

۱. Tabu List

۲. Allowed Set

۳. Aspiration Criteria

۲-۳-۱-۱-۴- روش های جستجوی موضعی اکتشافی^۱

این روشها را می توان شامل روش جستجوی تطبیقی تصادفی^۲ (GRASP)، جستجو با همسایگی متغیر Variable Neighborhood Search یا VNS، جستجوی موضعی هدایت شده Guided Local Search یا GLS و جستجوی موضعی تکراری ITERATED LOCAL SEARCH یا ILS دانست [۱].

الگوریتم GRASP از دو مرحله اصلی ساخت پویای مقادیر کاوشی و اعمال فرآیند تصادفی تشکیل شده است. فرض کنید که یک جواب، از سری زیر مجموعه هایی از مولفه ها تشکیل شده باشد که با اضافه کردن گام به گام این مولفه ها در هر زمان جواب ساخته شود. انتخاب مولفه بعدی جهت ساخت جواب با یک فرآیند تصادفی یکنواخت از یک سری کاندید شده صورت می گیرد. در هر گام زمانی نیز مقادیر کاوشی بهنگام شده و با این ترتیب حالت پویا خواهد داشت، در مرحله دوم یکی از عملگرهای جستجوی موضعی جهت بهتر کردن جواب انتخابی مورد استفاده قرار می گیرد.

الگوریتم Variable Neighborhood Search یا VNS که اولین بار در مقاله Hanson and Mladenovic (1999,2001) پیشنهاد گردید به صراحت از راهکارهایی جهت پویا کردن ساختار همسایگی استفاده می نماید. این الگوریتم بسیار کلی است و درجات آزادی بسیاری دارد. حلقه اصلی این روش از سه مرحله تشکیل شده است: لرزش^۳، جستجوی موضعی و حرکت^۴، در مرحله لرزش، یک جواب S در K امین همسایگی از جواب فعلی S به صورت تصادفی انتخاب می گردد. سپس این جواب S به عنوان نقطه شروع یک جستجوی موضعی (LS) قرار می گیرد. این جستجوی موضعی می تواند از هر ساختار همسایگی استفاده نموده و تنها محدود به همسایگی Kام نباشد. در انتهای فرآیند جستجو موضعی جواب جدید S با جواب موجود، S مقایسه شده و در صورت بهتر بودن جایگزین می گردد و سپس الگوریتم مجدداً با تکرار جدید آغاز می شود. هدف از مرحله

۱. Explorative Local Search

۲. Greedy Randomized Adaptive Procedure

۳. Shaking

۴. Move

لرزش، آشفته کردن جواب جهت رسیدن به جوابی خوب برای شروع فرآیند جستجوی موضعی می باشد. روش دیگر برای هدایت جستجو، تغییرات پویای تابع هدف است. معمولترین الگوریتمی که از این روش استفاده می نماید، الگوریتم جستجوی موضعی هدایت شده Guided Local Search، ارائه شده توسط Voudoris and Tsang می باشد [۴۶][۴۷]. در این روش سری جوابها و ساختار همسایگی ثابت نگه داشته شده و با انتساب مطلوبیت کمتر به جواب بهینه موضعی فعلی تابع هدف به صورت پویا تغییر می نماید.

آخرین الگوریتم مربوط به روش های جستجوی موضعی اکتشافی، الگوریتم جستجوی موضعی تکراری (Iterated Local Search) می باشد. البته این الگوریتم به دلیل جامعیتی که دارد به راحتی می تواند در سایر الگوریتم های فرااکتشافی به عنوان یک مولفه استفاده شود. در این روش ابتدا با یک جواب اولیه و کاربرد جستجوی موضعی به یک بهینه موضعی رسیده و پس از آن این جواب بهینه موضعی آشفته شده و مجدداً جستجوی موضعی اعمال می گردد. در اینجا اهمیت اختلال کاملاً واضح است: در اختلالهای بسیار کم، توانایی فرار از یک بهینه موضعی از سیستم سلب شده و بالعکس در یک اختلال بسیار قوی ممکن است فرآیند به شروع جدید یک جستجوی موضعی تصادفی^۱ تبدیل شود.

۲-۳-۱-۲- روشهای بر پایه جمعیت

این روش ها در هر تکرار مجموعه ای از جوابها یا جمعیت را تولید می نمایند. به تبع استفاده از جمعیت جوابها، راهی ذاتی و طبیعی برای اکتشاف جوابهای جدید در محدوده جستجو ایجاد می گردد. با این حال عملکرد نهایی الگوریتم شدیداً وابسته به نحوه اداره کردن جمعیت می باشد. در اینجا مهمترین روشهای جمعیتی شامل روشهای محاسبات تکاملی (EC) و الگوریتم جامعه مورچه ها (ACO) و مورد مطالعه قرار گرفته است. در الگوریتم های EC یک جمعیت از جوابها با ترکیب مجدد و نیز جهش ژنتیکی^۲ اصلاح می گردند.

۱. Random Restart Local Search

۲. Mutation

۲-۳-۱-۲-۱- محاسبات تکاملی

روشهای محاسبات تکاملی برگرفته از اصل بقای طبیعت جهت تطبیق بیشتر با محیط است. در این روشها در هر تکرار تعدادی عملگر بر روی اجزاء یک جمعیت اثر کرده و جمعیت جدید برای نسل بعد (تکرار بعد) ارتقاء می یابد. عامل اصلی محرک در الگوریتم های تکاملی انتخاب اجزائی از جمعیت برپایه میزان شایستگی^۱ آنها می باشد. افراد و اجزاء با تطابق بالاتر شانس بیشتری جهت انتخاب در جمعیت جدید دارند. این منطق مرتبط با اصل بقای شایسته ترین^۲ در تکامل طبیعی است. در طول سالها، الگوریتم های مختلف با اندکی تفاوت از نوع EC معرفی شده اند.

اساساً این الگوریتم ها در سه دسته قرار می گیرند که هر کدام به صورت مستقل پیشرفت هایی داشته اند [۸]. این سه دسته عبارتند از برنامه ریزی تکاملی^۳ (EP) که توسط Fogel و همکارانشان در سال ۱۹۶۶ پیشنهاد شد، الگوریتم راه کارهای تکاملی^۴ (ES) که توسط Rechenberg در سال ۱۹۷۳ ارائه شده و الگوریتم های ژنتیک که ابتدا توسط Holland پیشنهاد گردید.

خصوصیات اصلی الگوریتم های EC را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

- ❖ تعریف افراد (اجزاء): همانگونه که عنوان شد الگوریتم های EC جمعیتی از افراد را اداره می نمایند. این افراد یا اجزاء لزوماً جوابهای کاملی از مساله نیستند و می توانند بخشی از جواب و یا هر موضوع دیگری باشند که قابلیت تبدیل به یک یا چند جواب مسأله را داشته باشد. انتخاب شکل مناسب ارائه این افراد (اجزاء) برای موفقیت الگوریتم EC بسیار حیاتی است.
- ❖ فرآیند تکامل: در هر تکرار می بایست در خصوص افرادی که به جمعیت تکرار بعدی وارد خواهند شد تصمیم گیری شود. این بخش که به عنوان فرآیند انتخاب نیز بیان می شود، شاخص اصلی تکامل می باشد.

۱. Fitness

۲. Survival of the Fittest

۳. Evolutionary Programming

۴. Evolutionary Strategy

- ❖ ساختار همسایگی: هر جزء (فرد) i از سری جمعیت این اجازه را دارد که با سایر اجزاء ترکیب شده و هر جزء یا فرد جدیدی بسازد. به این ترتیب با تعریف یک ساختار همسایگی، اجزائی که امکان ترکیب با هر جزء فرد را دارا باشند معرفی می گردند.
- ❖ منابع اطلاعات^۱: شکل عمومی منابع اطلاعاتی ساختار افراد جدید، زوج والدین هستند. البته این امکان وجود دارد که این انتقال اطلاعات از طریق چند جزء (فرد) به افراد جدید صورت گیرد.
- ❖ جوابهای غیرقابل قبول^۲: خصوصیت مهم الگوریتمهای EC روش برخورد آن با افراد (اجزاء) غیر قابل قبول است. پس از اعمال ترکیب مجدد افراد قدیم، ممکن است اجزاء (افراد) جدید قابلیت غیر قابل قبول بودن را داشته باشند. اساساً سه روش عمده برای اداره کردن این وضعیت وجود دارد [۷]. ساده ترین روش، کنار گذاشتن این افراد غیر قابل قبول است. در بسیاری از موارد این مناسب نیست. اعمال جریمه به افراد غیر قابل قبول در میزان تابع کیفیت انتخاب آنها در برخی مواقع می تواند بسیار مناسب باشد. سومین راه سعی در بهبود یک جواب غیر قابل قبول و تبدیل آن به جواب قابل قبول است.
- ❖ راهکار همگرایی: در بسیاری از کاربردها، ثابت شده است که استفاده از مکانیزمهای پیشرفت جهت بهتر نمودن میزان شایستگی اجزاء بسیار مفید می باشد. الگوریتم های EC که از الگوریتم های جستجوی موضعی برای هر یک از اجزاء (افراد) جمعیت استفاده می نمایند به عنوان الگوریتم های تقلیدی^۳ نامیده می شوند [۳۶][۳۷]. با وجودیکه استفاده از جمعیت در این الگوریتمها، اکتشاف در فضای جستجو را تضمین می نماید، استفاده از روش های جستجوی موضعی به تشخیص سریع محدوده های خوب در فضای جستجو کمک می نماید.
- ❖ راهکار واگرایی: یکی از مشکلات اساسی الگوریتم های EC (خصوصاً آنهایی که از جستجوی موضعی نیز استفاده می نمایند) همگرایی زودرس به جوابهای بهینه موضعی می باشد. یکی از

۱. Information Sources

۲. Infeasibility

۳. Memetic

ساده ترین راه ها ایجاد یک اختلال تصادفی کوچک در یک فرد (جزء) جمعیت می باشد. راههای زیاد دیگری نیز برای غلبه کردن بر این مشکل وجود دارد. (اجتماع^۱ توسط DeJong در سال ۱۹۷۵، اشتراک میزان شایستگی^۲ توسط Richardson و Goldberg در سال ۱۹۸۷).

۲-۳-۱-۲-۲- الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها (ACO)

الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها یک روش فرااکتشافی است که در سال ۱۹۹۲ توسط Dorigo پیشنهاد شده است. الگوریتم سیستم مورچه ها (AS) اولین نوع از الگوریتم (ACO) است که توسط Colomi, Moneizzo, Dorigo پیشنهاد گردید. از جمله الگوریتم های دیگری که تاکنون معرفی شده اند می توان به سیستم جامعه مورچه ها^۳ (ACS) توسط Dorigo و Gambardella [۱۷]، مورچه های بیشینه-کمینه^۴ توسط Stutzle و Hoos H [۴۲]، سیستم مورچه های ترتیبی^۵ (ASRank) توسط Bullheimer [۸] و سیستم مورچه های بهترین - بدترین^۶ توسط Cordon [۱۲] اشاره نمود.

۲-۳-۱-۲-۲- پایه و اساس بیولوژیکی

با وجودیکه تنها ۲٪ از حشرات به صورت اجتماعی زندگی می کنند اما این تعداد حدود ۵۰٪ کل گونه های حشرات را تشکیل می دهند و یا بالعکس. این حشرات اجتماعی شامل مورچه ها، موربانه ها، انواع زنبورها معمولی و زنبورهای عسل و ... می باشند که در جوامعی که توسط اجزاء و افراد مختلف ساخته شده اند، زندگی می کنند. جوامع حشرات قادر به حل بهینه مسائل مختلفی می باشند که هر یک از اجزاء آنها به تنهایی این قابلیت را دارا نمی باشند. به عنوان نمونه می توان به یافتن کوتاهترین مسیر بین لانه و منبع غذایی، تخصیص وظایف در جامعه و دسته بندی در زمان سازماندهی اتاقکهای مربوط به بچه ها در کندوی زنبورها اشاره نمود. در مجموعه حشرات جهت

۱. Crowding

۲. Fitness Sharing

۳. Ant Colony System

۴. Max. Min Ant System

۵. Ranked Ant System

۶. Best. Worst Ant System

همکاری برای حل یک مسأله، شکلی از ارتباط مورد نیاز است. این ارتباط می تواند مستقیم و غیر مستقیم باشد. به عنوان مثال زمانی که زنبوری یک منبع غذایی را پیدا می کند با انجام رقص های خاص، مسیر و فاصله منبع غذایی تا سایر زنبورها را نمایش می دهد. این نمونه مشهود از ارتباط مستقیم است که در این حالت سایر زنبورها از رقص زنبور مورد نظر مستقیماً محل و فاصله منبع غذایی را درک می کنند. ارتباط غیر مستقیم بین افراد یک جامعه، زیرکانه تر بوده و نیاز به آن دارد که یکی از افراد با اصلاح و تغییر محیط، راهی برای هشدار به سایر افراد جهت عبور از این محیط اصلاح شده در مرحله بعد ایجاد نماید. یکی از این نمونه ها نشانه گذاری با فرامان توسط نوع بخصوص مورچه ها است. وقتی مورچه ای به دنبال غذا می گردد، در طول مسیر حرکت خود ماده بوداری به نام فرامان از خود به جا می گذارد که سایر مورچه هایی که در جستجوی غذا هستند را تشویق (نه اجبار) به عبور از آن مسیر می نماید. این فرآیند اصلاح محیط جهت تشویق تغییر در رفتار برای ایجاد ارتباط، Stigmergy نامیده شده که اولین بار توسط Grasse (1959) معرفی گردید.

Stigmergy پایه و اساس سازماندهی در بسیاری از جوامع مورچه هاست. در حالیکه مورچه ها عموماً یک ملکه دارند که وظیفه آن تخمگذاری است و مسئولیتی در قبال سازماندهی جامعه ندارد، اما آنها یک جامعه خود نظم هستند. واژه خود نظم (Self Organized) جهت تشریح رفتارهای پیچیده مورد استفاده قرار می گیرد و از تقابل عواملی ساده ایجاد می شوند. بر پایه این خصوصیت، مورچه ها در مقابله با مسائل روزمره قابلیت حل آنها را پیدا می کنند. یکی از فوائد مهم این ویژگی در آن است که یک جامعه مورچه حتی در صورتیکه تعداد زیادی از مورچه ها قابلیت مشارکت خود را در طول زمان از دست دهند باز هم رفتار معنی داری از خود نشان خواهد داد. جهت فهم بهتر مکانیزم فرآیند یافتن کوتاهترین فاصله بین لانه تا منبع غذایی توسط یک جامعه مورچه، آزمایشات زیادی توسط Goss و همکارانش در سال ۱۹۹۰ صورت گرفت.

در یکی از آزمایشات Denenburg از یک مسیر پل مزدوج بین لانه و محل غذا که هر دو مسیر دارای یک طول بودند استفاده شد. برای شروع کار، مورچه ها جهت یافتن غذا رها شدند. درصد مورچه هایی

که هر کدام از دو مسیر را انتخاب نمودند در طول زمان اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که پس از مقداری نوسان در ابتدای کار، مورچه ها به سمت یکی از مسیرها (با یک احتمال مساوی در تکرارهای مختلف) همگرا شدند [۱۶].

در ابتدای آزمایش، هیچ فرامانی بر روی مسیرها موجود نبوده و انتخاب هر یک از مسیرها با احتمال مساوی صورت می پذیرفت. ویژگی تصادفی انتخاب مسیر، پس از مرحله ابتدایی باعث آن شد که مورچه های بیشتری یکی از مسیرها را انتخاب نمایند. در طول عبور مورچه ها، میزان فرامان جایگذاری شده افزایش یافته و نهایتاً مقدار فرامان در یک مسیر بسیار بیشتر از مسیر دیگر می شود. این عمل باعث عبور بیشتر مورچه ها از آن مسیر می گردد. در حالتیکه این دو مسیر طولهای متفاوت داشته باشند، به دلیل زمان کمتر عبور برخی از مورچه ها از مسیر کوتاهتر، تعداد مورچه های عبوری از این مسیر افزایش یافته و نهایتاً زمان انتقال مورچه ها به مسیر کوتاهتر بسیار کمتر از حالت قبل خواهد بود. اختلاف زمانی طی مسیر در طول مسیر کوتاهتر، باعث می شود که مورچه هایی که تصادفی آن مسیر را انتخاب کرده اند سریعتر فرامان گذاری کنند. اثر این میزان فرامان در مسیر کوتاهتر قوی تر از مسیر طولانی تر می شود. (به دلیل عبور تعداد بیشتر مورچه ها). به این ترتیب پس از زمان کوتاهی، کلیه مورچه ها مسیر کوتاهتر را جهت عبور انتخاب می نمایند.

۲-۳-۱-۲-۲- کاربرد الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها

یکی از اولین کاربردهای ACO حل مسأله فروشنده دوره گرد یا TSP بوده است (Dorigo.1992). از آنجائیکه الگوریتم های ACO بستگی به نوع استفاده و شباهت حرکت مورچه ها بر روی گراف دارند. استفاده از مسأله TSP برای تشریح اصول اساسی الگوریتم های مورچه بسیار منطقی بوده و در اصل به عنوان یک مثال تیپ برای معرفی این الگوریتم بوده است. الگوریتم های ACO نتایج بسیار خوبی در حل نمونه های زیادی از TSP بخصوص در ترکیب با جستجوی موضعی، ایجاد کرده اند [۴۴].

مسأله دیگری که مرتبط با TSP است، مسأله روندیابی وسائط نقلیه^۱ (VRP) است که در آن مشتری می بایست یکبار خدمات دهی شوند و همه وسائط نقلیه مسیر خود را از انبار شروع کرده و به آن ختم کنند. هدف حداقل کردن تعداد وسائط نقلیه است که با توجه به ظرفیت، طول مسیر و زمان، انتخاب می شوند. حل این مسأله توسط ACO اولین بار در سال ۱۹۹۷ بوسیله Bullnheimer و همکارانش ارائه شد.

دسته دیگر مسائلی که توسط الگوریتم های مورچه با موفقیت حل شدند. مسائل زمان بندی هستند. Bauer و همکارانش در سال ۱۹۹۹ کاربرد ACO را در ۱۲۵ نمونه از مسائل مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین Colomi و همکارانش در سال ۱۹۹۴ برای مسأله زمانبندی ارائه شغل و Stutzle در سال ۱۹۹۸ برای مسأله زمانبندی جریان فروش از الگوریتم های ACO استفاده نمودند [۴۲].

۲-۳-۱-۲-۳- الگوریتم بهینه سازی ژنتیک (GA)

الگوریتم های ژنتیک که منشعب از الگوریتم های تکاملی هستند. در حقیقت روش جستجوی کامپیوتری بر پایه الگوریتم های بهینه سازی و براساس ساختار ژن^۲ ها و کروموزوم^۳ ها می باشند. این روش نخست توسط پروفیسور Holland در دانشگاه میشیگان مطرح شد (۱۹۶۴). پس از وی توسط جمعی از دانشجویانش همانند Goldberg و Ann Arbor توسعه یافت. آنان در تحقیقات خود به فرآیند سازگاری در سیستم های طبیعی توجه نمودند. نتیجه این تلاش ها، پیدایش الگوریتم ژنتیک بود که در سال ۱۹۷۵، مبانی ریاضی این روش در کتابی توسط هولند به چاپ رسید. تا به امروز کتاب های متعددی توسط افرادی همچون Deb, Goldberg و Jenkins در مورد الگوریتم ژنتیک به رشته تحریر درآمده است.

Goldberg در سال ۱۹۸۹ تئوری اساسی الگوریتم ژنتیک را ارائه داد و آن را که تا آن زمان در مورد سیستم های طبیعت به کار می رفت به مسائل مهندسی تعمیم داد.

۱. Vehicle Routing Problem

۲. Gene

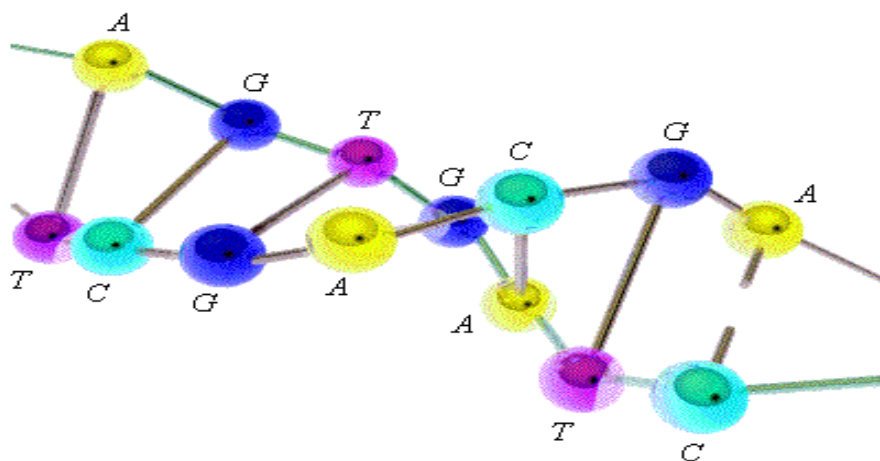
۳. Chromosome

Van hee و Eiben-Arts در سال ۱۹۹۰ همگرایی الگوریتم ژنتیک را با استفاده از روش آنالیز زنجیره مارکوف^۱ اثبات کردند. (Koza(1991) و Krishakumar(1992) الگوریتم ژنتیک را برای برنامه نویسی کامپیوتر و حل مسائل مهندسی استفاده کردند. همچنین Mahfoud(1992) و Adler(1993) الگوریتم ژنتیک را با روش های بهینه سازی متعارف مقایسه کرد.

الگوریتم ژنتیک امروزه در بسیاری از علوم مختلف مثل زیست شناسی، علوم فنی و مهندسی (شبکه های عصبی- پردازش تصویر و تشخیص الگو و ...) علوم پایه ، علوم اجتماعی و ... کاربرد دارد و به دلیل کاربرد فراوان ، از جایگاه ویژه ای در میان روش های نوین بهینه سازی برخوردار است.

۲-۳-۱-۲-۳-۱-۳-۲ پایه و اساس بیولوژیکی

همه ارگانیسم های زنده از سلول تشکیل شده اند. در هر سلول مجموعه ای از کروموزوم ها به شکل رشته ای از DNA تشکیل شده است. در شکل (۱-۲) تعدادی از ژن های سازنده ی کروموزوم نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) نمایی از کروموزوم

هر ژن یک الگوی خاص را رمز گشایی^۲ می کند. به عبارت دیگر هر ژن یک صفت^۳ را دربردارد. مثلاً رنگ چشم یک فرد به عنوان یک صفت است. مجموعه ای از این صفت ها را آلل^۴ می گوئیم. از سوی

۱. Markov
 ۲. Decode
 ۳. Trait
 ۴. Alleles

دیگر هر ژن دارای موقعیت مشخصی در کروموزوم است که به این موقعیت لوکوس^۱ می گویند. مجموعه کامل ماده ژنتیکی را ژنوم^۲ گویند و یک مجموعه به خصوص از ژن ها را در ژنوم^۳ نامند. این ژنوتیپ اساس فنوتیپ^۴ بوده و ویژگی فیزیکی و فکری مثل رنگ چشم و هوش و ... را بوجود می آورد. در هنگام تولید سلول های جدید یک تلفیق^۵ توسط عمل پیوند^۶ صورت می گیرد. در این فرآیند ژن های والد ، کروموزوم های جدید را تشکیل می دهند. احتمال دارد، این مولودهای جدید جهش^۷ یابند. یعنی DNA آن ها دستخوش تحول و تغییرات شود. این تغییرات ممکن است همراه با خطا در کپی شدن ژن های والد صورت گیرد. معیار مناسب بودن^۸ یک ارگانیسم با توجه به موفقیت این ارگانیسم در ادامه حیات آن تعیین می شود.

۲-۳-۲-۱-۳-۲- بهینه سازی با الگوریتم های ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یا به اختصار GA ، یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای بسیار وسیع و بزرگ است که در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می گردد. این الگوریتم با الهام از تئوری داروین^۹ درباره بقای بهترین ها شکل گرفته است، بنابراین می توانیم بگوییم:

« GA بر اساس اصل " ادامه حیات بهترین ها " و " تکثیر نوع برتر " پی ریزی شده است.»

الگوریتم GA در ابتدا با مجموعه ای از جواب های تصادفی (کروموزوم ها) که به آن جمعیت^{۱۰} گفته می شود ، آغاز می گردد. از این جواب ها برای ساخت جمعیت بعدی استفاده می شود، به این امید که جمعیت های جدید بهتر از جمعیت های قدیم باشند. زیرا روش هایی که برای انتخاب جمعیت جدید استفاده شده با توجه به مناسب بودن آن ها صورت گرفته است. پس بهترین ها شانس بیشتری

۱. Locus
 ۲. Genome
 ۳. Genotype
 ۴. Phenotype
 ۵. Recombination
 ۶. Cross Over
 ۷. Mutation
 ۸. Fitness
 ۹. Darwin
 ۱۰. Population

برای تولید مثل خواهند داشت. این فرآیند آنقدر تکرار می شود تا شرایط خاتمه (برای دستیابی به بهترین راه حل) محقق شود.

در بهینه یابی از طریق GA چهار مرحله اساسی انجام می پذیرد:

تولید تصادفی مجموعه ای از طرح ها ، که بدان جمعیت اولیه گفته می شود. هر عضو این جمعیت یک کروموزوم می باشد که بصورت کد^۱ بوده و رشته^۲ نامیده می شود. هر رشته متناسب با تعداد متغیرهای طراحی ، به چندین زیر رشته^۳ تقسیم می شود. زیر رشته مجموعه ای از بیت^۴ ها می باشد که بصورت زنجیر در کنار هم چیده شده اند. هر بیت هم ارز با یک ژن در الفبای ژنتیک می باشد. تعداد بیت های هر زیررشته به نحوی تعیین می شوند تا بتوان کلیه اطلاعات متغیر طراحی را مابین حدود بالا و پایین در مرحله رمز گشایی بدست آورد. با رمزگشایی ، مقدار متغیرهای طراحی در هر رشته ارزیابی و به ازای آن مقادیر تابع هدف تعیین می گردد.

در مرحله بعد، مسأله بهینه یابی مقید با تعریف تابع پناستی^۵ و ترکیب آن با تابع هدف و ایجاد تابع هدف اصلاح شده^۶ ، به یک مسأله بهینه یابی نامقید تبدیل می شود. در ادامه با تعریف تابع شایستگی ، به هر کروموزوم ، یک مقدار شایستگی اختصاص می دهیم.

سپس با الهام از قوانین تکامل طبیعی و روش هایی که در ادامه ارائه خواهد شد، بهترین کروموزوم ها بر مبنای میزان شایستگی انتخاب می شوند. در این مرحله ، جمعیت جدید بر مبنای عملگرهای GA که در ادامه به شرح تفصیلی آن پرداخته می شود تشکیل می شود.

پس از آن جمعیت فرزندان^۷ برای نسل^۸ بعد به کار گرفته می شود. این مراحل تا ارضای شرط خاتمه خاتمه و یا به تعداد نسل های پیش بینی شده برای کسب بهینه عمومی تکرار می شود. برای بررسی

۱.Code

۲.String

۳.Substring

۴.Bite

۵.Penalty Function

۶.Modified Objective Function

۷.Offspring

۸.Generation

بیشتر اصطلاحات و نکات GA که در این رساله بکار گرفته شده است در ادامه به اجمال هر یک توضیح داده شده است.

۲-۳-۱-۲-۳- کاربرد الگوریتم بهینه سازی ژنتیک در طراحی شبکه آبرسانی شهری

پیچیدگی های طراحی شبکه های آبرسانی شهری به سبب رابطه غیر خطی بین افت فشار و کاهش دبی و طبیعت گسسته ساینز لوله ها نظر پژوهشگران متعددی برای حداقل کردن هزینه های اصلی شبکه را بخود جلب کرده است. در چند دهه اخیر برای طراحی شبکه آبرسانی شهری با کمترین هزینه چندین الگوریتم بهینه سازی پیشنهاد شده است [۷].

Yates و همکارانش در سال ۱۹۸۴ یک روش شمارشی صریح و بررسی تمامی شبکه های امکان پذیر را ارائه دادند. در یک شبکه آبرسانی شهری با تعداد X عدد لوله (به طور مثال ۲۰ عدد) و تعداد ساینز لوله تجاری موجود در بازار N (به طور مثال ۱۰ عدد) تعداد طراحی ها امکان پذیر برابر $N^X = 10^{20}$ می باشد. همانطور که می بینیم بدلیل فضای جستجوی بزرگ تکنیک های شمارشی برای حل شبکه های آبرسانی شهری ناکارآمد می باشند [۴۹].

Gessler (1985) یک تکنیک شمارشی جزئی را پیشنهاد داد که این هم به دلیل وسعت فضای جستجو ناکارآمد می باشد.

استفاده از الگوریتم های تکاملی برای طراحی بهینه شبکه های آبرسانی شهری از قبیل الگوریتم ژنتیک توسط (Dandy et al.1996)، (Savic and Walters.1997)، (Wu and Simpson.2001)، (Vairavamoorthy and Ali .2000,2005)، (Kodu et al.2005)، استفاده از الگوریتم SA (شیهه سازی بازپخت) توسط (Cunha and Sousa.1999)، تکنیک تئوری مورچه ها (Ant Colony) توسط (Maier et al.2003)، روش جستجوی ممنوعه توسط (Cunha and Ribeiro.2004)، روش جستجوی هارمونی توسط (Geem et al.2002) مورد استفاده قرار گرفتند.

پیشنهادات متعدد برای رسیدن به جواب بهینه بهتر با تعداد نسل سازی کمتر، زمان اجرای کمتر و بهبود بخشیدن روابط GA توسط پژوهشگران ارائه شده است.

احتمال ادغام بالا و احتمال جهش کم برای کارایی بهتر الگوریتم ژنتیک از پیشنهادات است [۲۵].
کد گذاری Gary نسبت به کد گذاری Binary برای بیان بهتر رشته ها توسط Dandy پیشنهاد شده است [۱۴].

Savic و Walters (۱۹۹۷) یک برنامه کامپیوتری GANET برای طراحی شبکه آبرسانی شهری با استفاده از دو روش کدگذاری Gary و Binary برای کاهش زمان محاسبه ارائه داده اند [۴۱].
Dandy و همکارانش در سال ۱۹۹۶ با استفاده از یک مقیاس شایستگی متغیر و عملگر جهش کوچک توانستند عملکرد الگوریتم ژنتیک را بهبود بخشند [۱۴].

Halhal و همکارانش در سال ۱۹۹۷ یک الگوریتم ژنتیک با ساختار آشفته به سبب بیان رشته با طول متفاوت برای شبکه های متفاوت ارائه کردند [۲۷].

Lippai و همکارانش در سال ۱۹۹۹ به بررسی یک رابطه خطی بین جمعیت و تعداد تکرار مورد نیاز برای بدست آوردن یک شبکه با کمترین هزینه ارائه نمودند [۳۴].

Balla و Lingireddy در سال ۲۰۰۰ با پیشنهاد استفاده از محاسبه موازی یک شبکه زمان محاسبه را کاهش دادند [۵].

جستجوی الگوریتم ژنتیک متأثر از پارامترهایی از قبیل سایز جمعیت ، نوع کدگذاری ، تابع جریمه، تابع شایستگی ، عملگرهای انتخاب و ادغام ، احتمال ادغام P_c و احتمال جهش P_m و تکنیک های شبیه سازی هیدرولیکی است. پارامترهایی از قبیل سایز جمعیت و تعداد قطر تجاری لوله های موجود در بازار بیشترین تأثیر را در الگوریتم ژنتیک دارند.

در شبکه های آبرسانی بزرگ به علت فضای جستجوی گسسته بزرگ سرعت همگرایی توسط GA دچار تأخیر می شود. بدین گونه امکان ایجاد یک شبکه بهینه کلی به یک زمان محاسبه طولانی تر نیاز پیدا می کند. بوسیله کاهش دادن منطقی فضای جستجو امکان تولید شبکه بهینه در تولید مثل کمتر و در زمان کمتر امکان می یابد.

Ali و Vairavamoorthy در سال ۲۰۰۵ با پیشنهاد یک مدل رگرسیون برای انتخاب توانستند تعداد

مرحله تکرار برای رسیدن به یک جواب بهینه را کاهش دهند [۴۵].

Mahendra S. Kadu و Rajesh Gupta و R. Bhavne در سال ۲۰۰۸ با استفاده از تکنیک مسیر

بحرانی (کوته‌ترین مسیر بین منبع و گره) توانستند فضای جستجو را کاهش داده و با تعداد کمتری

تکرار به جواب بهینه دست یابند [۳۵].

۳-۴-آشنایی با الگوریتم ژنتیک

گام‌ها در یک الگوریتم ژنتیک ساده عبارتند از:

(۱) کد کردن مقادیر برای بیان جمعیت اولیه و خصوصیات آنها و تعیین شایستگی هر کروموزوم

(۲) تولید مثل

(۳) پیوند

(۴) جهش

در ادامه به شرح مختصر هر یک از آنها در راستای این رساله می‌پردازیم. برای آشنایی بیشتر

می‌توان به مراجع ارائه شده در انتهای رساله مراجعه نمود.

۲-۴-۱-روش کدگذاری شبه باینری^۱

این روش کدگذاری از تبدیل کدگذاری باینری تحت مکانیزم خاص بوجود می‌آید. روش کدگذاری

باینری متداول باعث همگرایی کند در الگوریتم ژنتیک می‌گردد. برای تبدیل یک کد باینری به کد

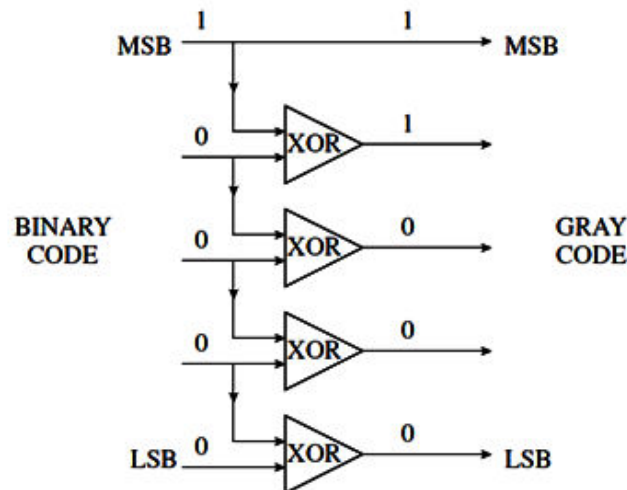
شبه باینری می‌توان به فلوچارت ارائه شده در شکل (۲-۲) توجه نمود. اولین بیت بصورت مستقیم و

بدون هیچ گونه تغییری منتقل می‌گردد. بیت دوم اگر با بیت اول مساوی باشد عدد صفر و در غیر

این صورت عدد یک منتقل می‌گردد. تمامی بیت‌های یک کروموزوم در مقایسه با بیت قبلی خود به

فرم قبل منتقل می‌گردند.

۱. Gray Encoding



شکل (۲-۲) فلوجارت تبدیل کد باینری به کد شبه باینری

۲-۴-۲- شایستگی هر کروموزوم

همان طور که پیشتر بیان نمودیم، GA مسئله بهینه یابی مقید را با تعریف تابع پنالیتی که وابسته به میزان نقض قیود است و ترکیب آن با تابع هدف و ایجاد تابع هدف اصلاح شده، به یک مسئله بهینه یابی نامقید تبدیل می نماید. با کمک مقادیر تابع هدف اصلاح شده تابع شایستگی تعریف می شود، سپس با توجه به تابع شایستگی، به هر کروموزوم یک مقدار شایستگی نسبت داده می شود.

الف- تابع پنالیتی

تابع پنالیتی یا جریمه، همان طور که از نامش مشخص است، مقداری است که به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می شود، این جریمه به دلیل نقض قیود می باشد. در واقع به واسطه متغیر یا متغیرهای طراحی ممکن است قیود مسئله نقض شوند، بنابراین جریمه ای به تابع هدف مربوط به این کروموزوم اعمال می شود. طبیعی است که هر کروموزومی که قیود مسئله را بیشتر نقض نماید، مقدار تابع پنالیتی متناظر آن بیشتر است و بالطبع جریمه بیشتری به مقدار تابع هدف مربوط به این کروموزوم اعمال می شود. هر یک از روابط پیشنهادی برای تابع پنالیتی به نحوی مقدار جریمه را متناسب با میزان نقض قیود محاسبه می نمایند. برای نمونه راجیو و کریشنامورتی^۱ تابع پنالیتی زیر را پیشنهاد می نمایند.

۱. S.Rajeev & C.S.Krishnamoorthy

$$F_{penalty} = F(x) \times K \times C \quad (3-2)$$

که

$$C = \sum_{q=1}^Q \max[0, g_p(x)] \quad (4-2)$$

و در رابطه فوق

X : بردار متغیر طراحی و Q : تعداد کل قیود حاکم بر مسئله

$F_{penalty}$: تابع جریمه و $F(x)$: تابع هدف

$g_p(x)$: میزان نقض سازه در ارتباط با هر یک از قیود و ثابت $K=10$ در نظر گرفته می شود.

ب- تابع شایستگی

تابع شایستگی یک تابع مشتق شده از تابع هدف اصلاح شده در عملیات ژنتیکی است که باید مقدار آن مثبت باشد. افراد مختلف روابط متنوع و گوناگونی را برای تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی ارائه می دهند. برای نمونه راجیو و کریشنا مورتی، تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی را بشرح زیر پیشنهاد می نمایند:

$$Q(X) = F(X) + F_{Penalty} \quad (5-2)$$

$$R(x) = [\phi_{max}(X) + \phi_{min}(X)] - \phi(X) \quad (6-2)$$

که در رابطه فوق

$\phi(X)$: تابع هدف اصلاح شده و $R(x)$: تابع شایستگی

$F_{Penalty}$: تابع جریمه و $F(x)$: تابع هدف

$\phi_{max}(X)$: حداکثر مقادیر تابع هدف اصلاح شده در کل جمعیت

$\phi_{min}(X)$: حداقل مقادیر تابع هدف اصلاح شده در کل جمعیت

«کروموزومی با کمترین مقدار تابع هدف اصلاح شده، بیشترین مقدار شایستگی را به خود اختصاص می دهد؛ لذا شانس بیشتری برای حضور در جمعیت بعدی دارد.»

در نهایت تابع شایستگی برای هر کروموزوم محاسبه و میزان شایستگی هر کروموزوم بدست می آید.

۲-۴-۳- تولید مثل^۱:

تولید مثل معمولاً اولین عملی است که بر روی جمعیت اعمال می شود. در این روش یکسری کروموزوم از میان جمعیت به عنوان والد انتخاب شده که در نهایت با عمل پیوند منجر به تولید فرزندان می شوند. براساس نظریه "حیات بهترین ها" باید بهترین موارد انتخاب شوند تا نسل بعدی بهتری را تولید کنند. به همین دلیل گاه به عملگر تولید مثل، عملگر انتخاب^۲ نیز گفته می شود. هدف اصلی همه روش های مختلف انتخاب، انتخاب رشته هایی با میانگین شایستگی بالا از جمعیت فعلی و تولید کپی های چندگانه از آنها و قرار دادن آن ها در یک مکان به نام استخر تولید مثل^۳ بر اساس یک فرم احتمالی است. پس کروموزوم های با مقدار شایستگی بالاتر، از شانس بیشتری برای حضور در استخر تولید مثل برخوردار خواهند بود. عکس این مطلب نیز صادق است، یعنی کروموزوم هایی با مقدار شایستگی کمتر، احتمال کمتری برای کپی شدن در استخر تولید مثل خواهند داشت.

۲-۴-۳-۱- انواع روش های انتخاب

روش های مختلفی برای انتخاب کروموزوم ها و پیوند آن ها وجود دارد. روش های انتخاب بکار رفته در این رساله عبارتند از:

الف- روش چرخ گردان^۴

ب- روش مسابقه^۵

د- مفهوم برگزیدگی

الف- روش چرخ گردان

یکی از روش های متداول در انتخاب یک رشته، استفاده از عملگری است که مبتنی بر احتمالات است.

۱. Reproduction
۲. Selection Operator
۳. Mating Pool
۴. Roulette Wheel
۵. Tournament

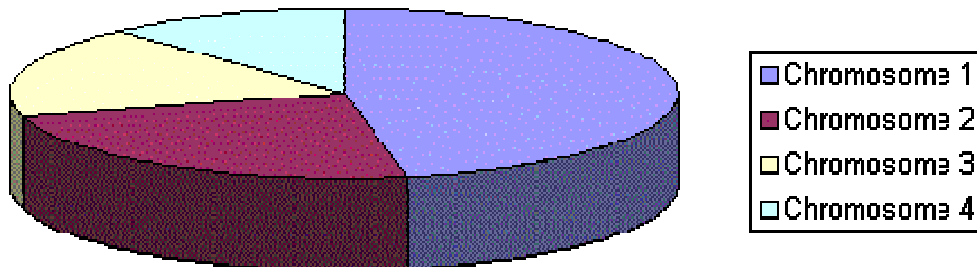
رشته نام در جمعیت با یک احتمال از F_i (که مقدار تابع شایستگی از آن رشته است) انتخاب می شود حاصل جمع این احتمال ها نیز یک است. احتمال رشته انتخابی نام برابر است با:

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (7-2)$$

$n =$ تعداد اعضای جمعیت و F مقدار شایستگی هر کروموزوم است.

حال اگر درصد احتمال این مقادیر را به صورت یک چرخ رولت نشان دهیم. آن گاه مقدار مناسب بودن جمعیت پس از n بار چرخیدن بدست خواهد آمد. در هر زمان یک مورد از رشته ها توسط اشاره گر چرخ رولت انتخاب می شود. از آنجایی که محیط چرخ با مقادیر درصد احتمال شایستگی رشته ها نشانه گذاری شده است، انتظار می رود که مکانیزم چرخ به تعداد $\frac{F_i}{F}$ کپی از رشته نام تولید نماید. مقدار میانگین شایستگی های یک جمعیت از رابطه زیر بدست می آید.

$$F = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{n} \quad (8-2)$$



شکل (۳-۲) مدلی از چرخ گردان

ب- روش رقابتی

در روش چرخ گردان گاهی با مشکلاتی از قبیل کندی و همگرایی ناگهانی جستجو به خاطر کوچک شدن سریع فضای جستجو مواجه می شویم. به همین جهت معمولاً از روش های دیگری چون روش رقابتی استفاده می شود. برخلاف روش چرخ گردان، در روش رقابتی که شبیه رقابت در طبیعت است، یک زیر مجموعه کوچکی از کروموزوم ها (معمولاً دو تا) به صورت تصادفی انتخاب شده و به رقابت می پردازند. سرانجام در این رقابت بر اساس میزان شایستگی یکی از آن ها به پیروزی رسیده و به

عنوان والد جدید در استخر تولید مثل کپی می شوند. این فرآیند تا تولید همه ی والدها در جمعیت جدید تکرار می شود.

د- مفهوم برگزیدگی^۱

بر اساس این روش بهترین کروموزوم ها در جمعیت جدید کپی می شوند و به تعداد کروموزوم های کپی شده، کروموزوم هایی که شایستگی کمی دارند، حذف می شوند. این روش باعث افزایش کارایی GA می گردد، زیرا مانع از دست رفتن جواب های خوب به دست آمده می شود.

۲-۴-۳-۲- عملگر پیوند

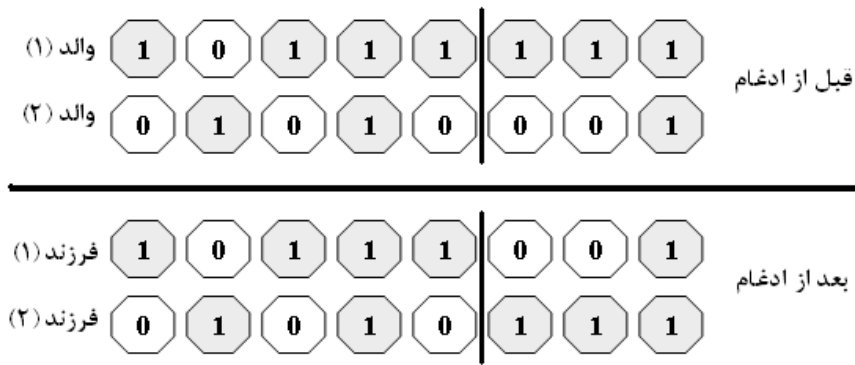
پس از اینکه مرحله تولیدمثل تمام شد، جمعیتی از بهترین ها بوجود آمده است. در حقیقت عمل تولیدمثل مجموعه ای از بهترین رشته های موجود را انتخاب کرده، اما رشته جدیدی را به وجود نیاورده است. به همین دلیل عملگر پیوند با هدف تولید رشته های بهتر بر روی استخر تولیدمثل اعمال می شود. هدف از پیوند جستجوی فضای طراحی و تا حد امکان حفظ اطلاعات نهفته در رشته ها است. عملگر پیوند یک عملگر ترکیبی است که شامل سه عمل است. اول یک جفت رشته به صورت تصادفی انتخاب می شود. دوم محلی را برای عمل پیوند به طور تصادفی در طول رشته انتخاب شده و سرانجام در سومین مرحله بیت ها (ژن ها) با توجه به محل پیوند (که مشخص شده است) جابه جا می شود. این روش اصطلاحاً روش پیوند تک نقطه ای^۲ نامیده می شود. روش های مختلف دیگری برای عمل پیوند وجود دارد که به شرح هر یک از آن ها می پردازیم.

الف- روش پیوند تک نقطه ای یا مکانی

همان طور که در قسمت قبل بیان نمودیم ، در این روش یک مکان تصادفی در طول رشته انتخاب می شود و بیت های پس از این مکان جابجا می شوند. شکل (۲-۴) نمونه ای از روش پیوند تک نقطه ای است.

۱. Elitism

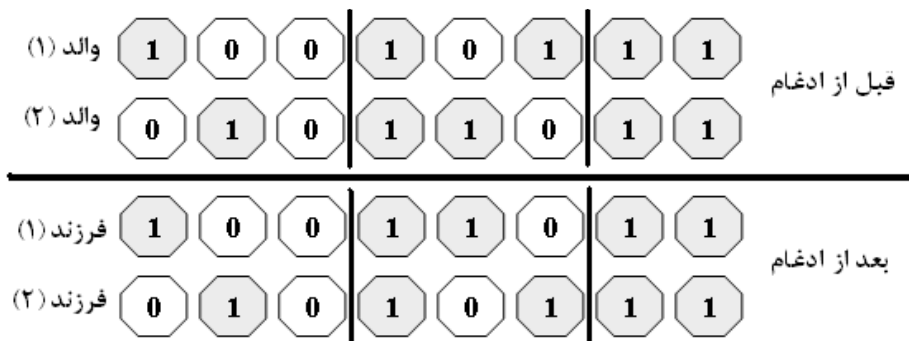
۲. Single.Sight Cross Over



شکل (۴-۲) روش پیوند تک نقطه ای

ب- روش پیوند دو نقطه ای^۱

عملگر پیوند دو نقطه ای، دو مکان را به صورت تصادفی در طول رشته انتخاب کرده و مقادیر بین این دو نقطه را جابجا می کند. در شکل (۵-۲) روش پیوند دو نقطه ای نشان داده شده است.



شکل (۵-۲) روش پیوند دو نقطه ای

ج- روش پیوند یکنواخت^۲

در این روش هر بیت بر اساس یک احتمال پنجاه در صدی از والد هایش انتخاب شده و جابجا می شوند. گاهی اوقات ژن های فرزندان با کپی شدن ژن های والدین آن ها و بر اساس یک الگوی پیوند تصادفی به نام ماسک^۳ تولید می شوند. هنگامی که در ماسک مقدار یک (۱) باشد، ژن از والد اول و اگر مقدار صفر (۰) باشد، ژن از والد دوم کپی می شود. از آن جایی که مقدار ماسک به صورت تصادفی برای هر جفت از والدین تولید می شود، در نتیجه فرزندان از ژن های والدین خود خواهند بود.

۱. Two.Point Cross Over

۲. Uniform Cross Over

۳. Mask

۲-۴-۳-۲-۱- نرخ پیوند^۱

طبق تعریف نرخ پیوند بیانگر احتمال پیوند است که آن را با P_C نشان می دهند و مقدار آن بین ۰ و ۱ است. این نرخ در GA با پیدا کردن نسبت تعداد جفت های پیوند شده در جمعیت های ثابت بدست می آید و با فرض احتمال پیوند P_C می توان گفت که $100 \times P_C$ درصد از رشته ها پیوند داده شده اند و $100 \times (1 - P_C)$ درصد از جمعیت بدون پیوند باقی مانده اند. به بیان دیگر نرخ پیوند بیانگر تعداد کروموزوم هایی است که وارد استخر تولیدمثل شده اند. هر چقدر این مقدار بیشتر باشد، کروموزوم های جدید و زیادتری وارد استخر تولید مثل شده اند. این نرخ برای جمعیت ۳۰ تا ۲۰۰ عددی در محدوده ۰.۵ تا ۱ خواهد بود. در انجام فرآیند پیوند، با انتخاب مقدار ثابت نرخ پیوند، به ترتیب برای هر کروموزوم یک عدد تصادفی تولید می شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ پیوند کمتر باشد، این کروموزوم انتخاب می شود تا با کروموزوم بعدی که شرایط فوق را دارد، آمیزش نماید.

۲-۴-۳-۳- جهش

از دیگر مراحل رایج در عملیات GA که تکامل جمعیت برای نسل بعد را به دنبال خواهد داشت، استفاده از اپراتور جهش است. پس از عمل پیوند رشته ها، نوبت به عمل جهش یا موتاسیون می رسد. هدف از بکارگیری اپراتور جهش، جستجوی بهتر فضای طراحی است. عمل جهش یک بیت، شامل تبدیل عدد صفر (۰) به یک (۱) و بالعکس است که بر اساس یک احتمال کوچک مثل P_m به صورت بیت به بیت صورت می گیرد. عمل جهش به این ترتیب است که یک عدد تصادفی بین صفر تا یک تولید می شود؛ اگر عدد تولید شده کوچکتر از P_m باشد مقدار خروجی را برابر درست^۲ و گرنه برابر غلط^۳ در نظر می گیریم. اگر برای هر بیت مقدار خروجی درست باشد، بیت تغییر می کند و گرنه بیت بدون تغییر باقی خواهد ماند. بیت های یک رشته بصورت مستقل جهش می یابند، به این معنا که جهش یک بیت بر روی احتمال سایر بیت ها تأثیر نمی گذارد. این عمل در یک الگوریتم ژنتیک ساده

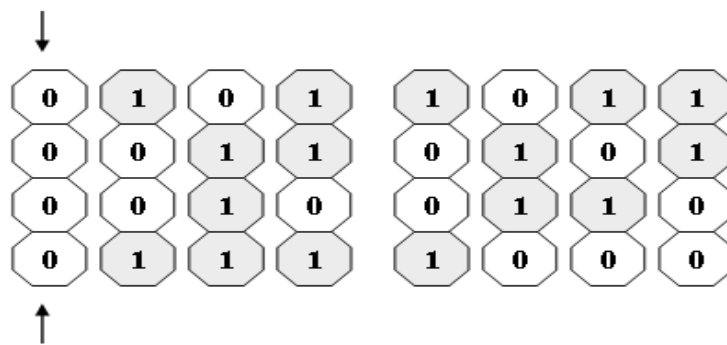
۱. Cross Over Rate

۲. True

۳. False

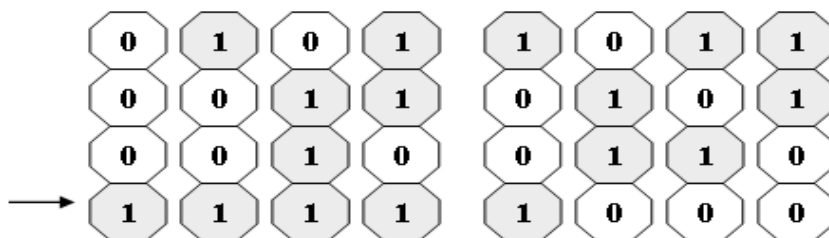
به منزله ی یک عملگر ثانویه و به منظور حفظ اطلاعاتی که در حال از دست رفتن است، تلقی می گردد. برای مثال، فرض کنید مقادیر بیت های رشته های یک جمعیت در یک محدوده ی خاص برابر صفر شده است و حل بهینه نیاز به عدد یک (1) در آن نقطه دارد. این در حالی است که عملگر پیوند نمی تواند عدد یک را در آن موقعیت تولید نماید، بنابراین برای تولید عدد یک (1) از عمل جهش یا موتاسیون استفاده می کنیم. این عمل برای جلوگیری از همگرایی سریع و کمک به الگوریتم جستجو برای فرار از به دام افتادن در مینیمم های موضعی^۱ مفید است.

به عنوان مثال جمعیت زیر را در نظر می گیریم:



شکل (۶-۲) قبل از جهش، نیاز یک جمعیت به بیت ۱

همان طور که ملاحظه می شود، همه ی بیت های سمت چپ این رشته ها صفر است. اگر راه حل بهینه نیاز به یک در این موقعیت داشته باشد، در این صورت هیچکدام از عملیات های پیوند و تولیدمثل قادر به این کار نخواهد بود اما عمل جهش این کار را برای ما انجام خواهد داد و جمعیت پس از این عمل با توجه به یک احتمال مشخص به صورت زیر در می آید:



شکل (۷-۲) بعد از جهش، تاثیر عملگر جهش

^۱.Local Optimum

۲-۴-۳-۳-۱- نرخ جهش (P_m)

این نرخ بیانگر احتمال جهش است و براساس آن تعداد بیت های رشته های دچار جهش می شوند. این احتمال مقدار کوچکی است که معمولاً برای یک جمعیت با اندازه ی ۳۰ تا ۲۰۰ عضو بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۵ خواهد بود.



فصل سوم:

روش بهینه یابی شبکه های

آبرسانی، ابزار و روش ها

فصل سوم: روش بهینه یابی شبکه های آبرسانی، ابزار و روش ها

۳-۱- مقدمه

برای بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کمک الگوریتم ژنتیک در این رساله از برنامه های نرم افزاری و شبکه های آبرسانی مدل زیر استفاده شده است.

۳-۲- برنامه های نرم افزاری بکار رفته در این رساله

نرم افزارهای بکار رفته در این رساله عبارتند از:

❖ ویژوال بیسیک نسخه ۶ میکروسافت

❖ برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2)

برنامه رایانه ای نوشته شده در محیط ویژوال بیسیک، از برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2) برای تحلیل شبکه های ایجاد شده توسط الگوریتم ژنتیک سود می جوید. مزیت این امر علاوه بر اطمینان از وجود جوابهای دقیق حل شبکه، استاندارد بودن جوابها و قابلیت ارائه نتایج در گستره وسیعتر است. در ادامه به اختصار با برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های تحت فشار آشنا می شویم.

۳-۲-۱- برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2)

(EPANET v.2) یک برنامه رایانه ای است که شبیه سازی پریرود گسترده (EXTENDED PERIOD) رفتار هیدرولیکی و کیفی آب را در داخل شبکه لوله های تحت فشار انجام می دهد. یک شبکه شامل لوله ها، گره ها (انشعابات لوله ها)، پمپ ها، شیرها و تانک های ذخیره یا مخازن است. (EPANET v.2) جریان آب در هر لوله، فشار در هر گره، ارتفاع آب در هر تانک و غلظت یک نوع ماده شیمیایی را در سراسر شبکه در طی یک پریرود شبیه سازی متشکل از چند گام زمانی پیگیری می کند. علاوه بر نوع ماده شیمیایی، سن آب (Water age) و ردیابی اثر منبع (Source tracing) نیز می تواند شبیه سازی شود.

(EPANET v.2) به عنوان یک ابزار تحقیقاتی برای بهبود درک ما از حرکت و سرانجام اجزای آب آشامیدنی در داخل سیستم توزیع آب طراحی شده است. از این برنامه می توان برای کاربردهای مختلفی در تحلیل سیستم های توزیع بهره جست. طراحی برنامه نمونه برداری، کالیبراسیون مدل هیدرولیکی، تحلیل باقیمانده کلر (Chlorine residual analysis) و برآورد عرضه مصرف (Consumer exposure assessment)، نمونه هایی از این کاربردها می باشند.

(EPANET v.2) می تواند به ارزیابی خط مشی های مدیریت تناوبی برای بهبود کیفیت آب در سراسر یک سیستم کمک کند. این خط مشی ها می توانند شامل موارد زیر باشند:

- ❖ اصلاح کاربردی منبع در داخل سیستم های چند منبعی
- ❖ اصلاح برنامه های زمان بندی پمپاژ و پر و خالی کردن منبع
- ❖ استفاده از تصفیه اقماری (Satellite Treatment) نظیر کلر زنی مجدد در تانک های ذخیره
- ❖ شستشو و تعویض لوله مورد نظر

با اجرای (EPANET v.2) که برای کار تحت Windows نوشته شده است، برنامه یک محیط مجتمع برای ویرایش داده های ورودی شبکه، اجرای شبیه سازی های هیدرولیکی و کیفی آب و مشاهده نتایج با فرمت های متنوع فراهم می آورد. این فرمت ها شامل: نقشه های بصورت رنگی کدبندی شده شبکه، جداول داده ها، نمودارهای سری زمانی و نمودارهای تراز بندی می باشند.

۳-۲-۱-۱-۱-۱ قابلیت مدل سازی هیدرولیکی

مدل سازی هیدرولیکی دقیق و کاملاً شاخص بندی شده، پیش نیاز انجام موثر مدل سازی کیفیت آب است. (EPANET v.2) از یک پردازنده تحلیلی هیدرولیکی به روز (State-of-the-art) برخوردار است که دارای قابلیت های زیر می باشد:

- ❖ هیچگونه محدودیتی بر اندازه شبکه مورد تحلیل قائل نمی گردد.
- ❖ افت اصطکاک را با استفاده از روابط هیزن- ویلیامز، دارسی- ویسباخ و شزی- مانینگ محاسبه می کند.

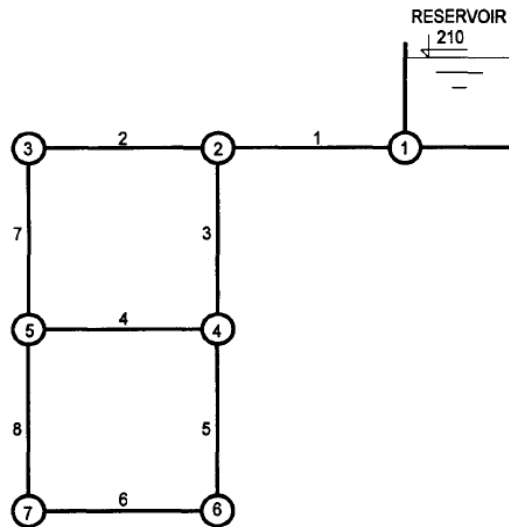
- ❖ افت های جزئی در قوس ها، اتصالات و غیره را در نظر می گیرد.
- ❖ پمپ های با سرعت ثابت یا متغیر را مدل می کند.
- ❖ انرژی و هزینه پمپاژ را محاسبه می کند.
- ❖ انواع مختلف شیرها شامل: شیرهای قطع و وصل، یکطرفه، تنظیم فشار کنترل جریان را مدل می کند.
- ❖ امکان در نظر گرفتن هر شکلی را برای تانک ها میسر می سازد (بگونه ای که قطر بتواند نسبت به ارتفاع تغییر یابد).
- ❖ گروه های متعدد مصرف در گره ها را با الگوی تغییرات زمانی خاص خود در نظر می گیرد.
- ❖ جریان تابع فشار خروجی از پخش کننده ها (Emitter) (نوک آبفشان ها) را مدل می کند.
- ❖ می تواند عملکرد سیستم را هم بر مبنای تراز آب در مخزن یا کنترل های ساده و هم بر مبنای کنترل های قانونمند پیچیده پایه ریزی کند.

۳-۳- مثال های حل شده موجود

در این بخش با چهار شبکه آبرسانی (سه شبکه آبرسانی استاندارد در تمامی تحقیقات و یک شبکه آبرسانی ارائه شده توسط مولف) که در این رساله مورد بررسی قرار گرفته اند آشنا می شویم.

❖ شبکه آبرسانی دو حلقه ای

این شبکه ابتدا در مطالعات Alperovits and Shamir در سال (۱۹۷۷) بیان گردید و سپس توسط سایر محققین مورد استفاده قرار گرفته است. طرح پیکربندی این شبکه دو حلقه ای در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. این شبکه از هشت لوله به طول هر یک ۱۰۰۰ متر و شش گره با تقاضا مشخص شده در جدول (۱-۳) و یک مخزن آب که در ارتفاع ۲۱۰ متر نصب شده تشکیل شده است. کمترین مقدار فشار مورد نیاز در تمامی گره ها برابر ۳۰ متر می باشد. ضریب محاسبه افت فشار هیزن-ویلیامز برای تمامی لوله های شبکه ۱۳۰ در نظر گرفته شده است. برای هر یک از لوله ها ۱۴ سایز مختلف قابل انتخاب می باشد که در جدول (۲-۳) بیان شده است.



شکل (۱-۳) طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دو حلقه ای

جدول (۱-۳) مشخصات هر یک از گره های شبکه آبرسانی دو حلقه ای

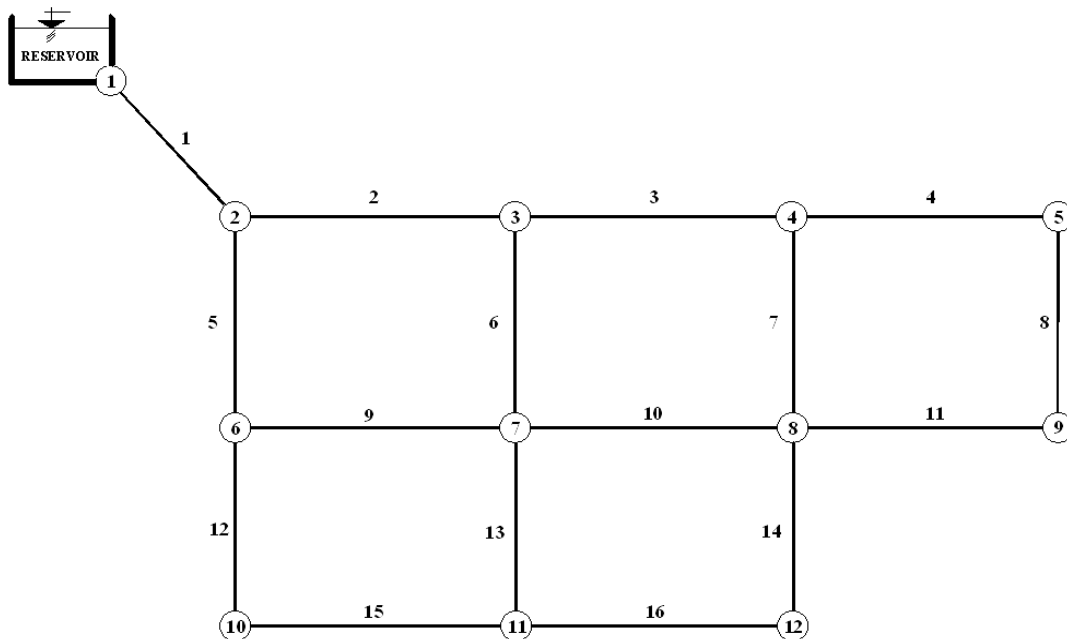
Node no.	Ground level (m)	Demand (lps)
1 R	210.00	- 311.1111
2	150.00	27.7778
3	160.00	27.7778
4	155.00	33.3333
5	150.00	75.0000
6	165.00	91.6667
7	160.00	55.5556

جدول (۲-۳) سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای

Diameter (in.)	Unit cost (US\$/m)	Diameter (in.)	Unit cost (US\$/m)
1	2	12	50
2	5	14	60
3	8	16	90
4	11	18	130
6	16	20	170
8	23	22	300
10	32	24	550

❖ شبکه آبرسانی دوم

طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. این شبکه از ۱۶ لوله هریک به طول ۱۰۰۰ متر و ۱۲ گره با تقاضا مشخص شده در جدول (۳-۳) و یک مخزن آب که در ارتفاع ۱۰۰ متر نصب شده تشکیل شده است. ضریب هیزن ویلیامز برای تعیین مقدار افت فشار در تمامی لوله ها برابر ۱۰۰ می باشد. کمترین مقدار فشار گره ای مورد نیاز در تمامی گره ها برابر ۳۰ متر می باشد. برای هر یک از لوله ها ۸ سایز مختلف قابل انتخاب می باشد که در جدول (۴-۳) بیان شده است.



شکل (۲-۳) طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دوم

جدول (۳-۳) مشخصات هر یک از گره های شبکه آبرسانی دوم

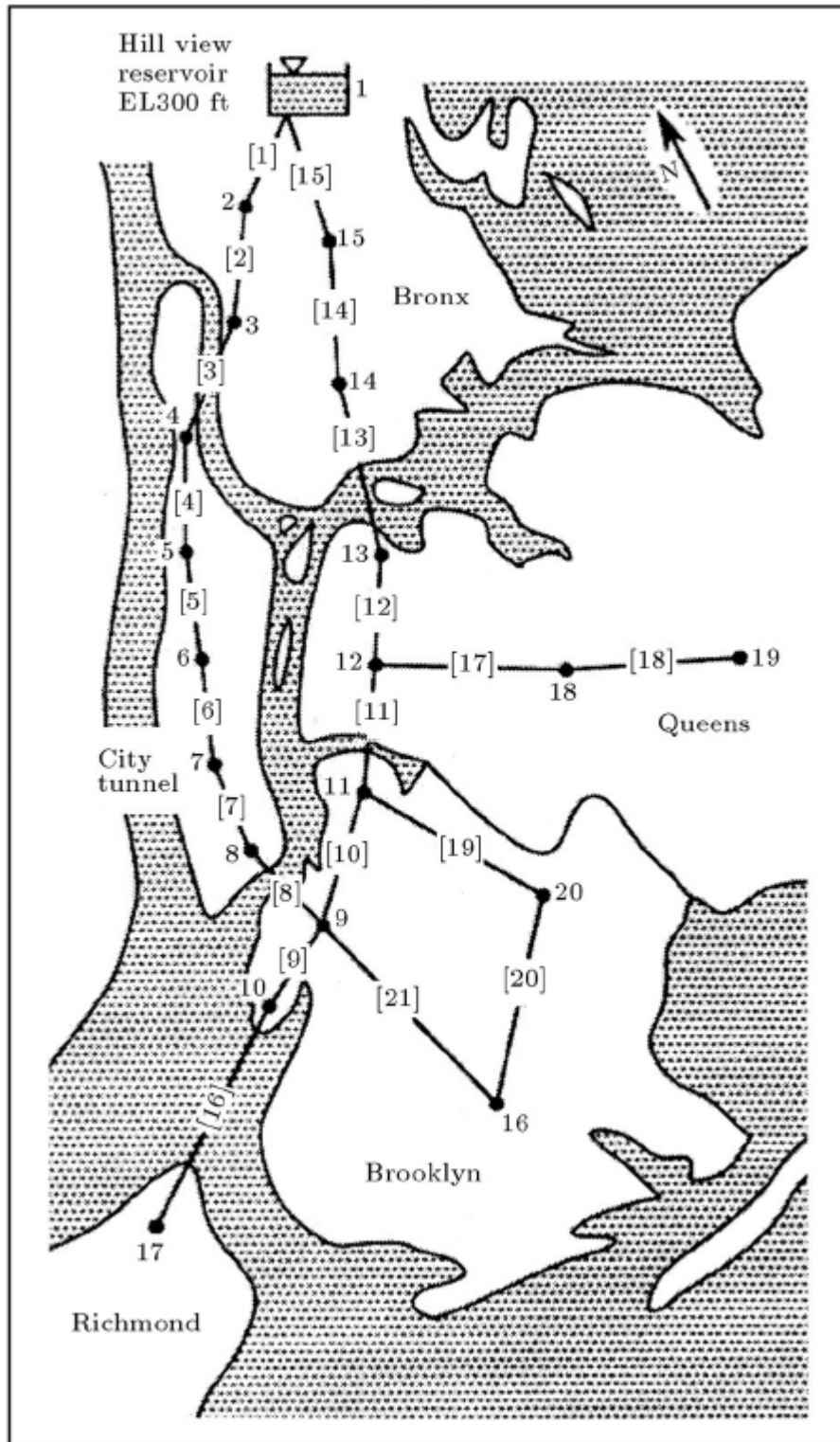
Node no.	Ground level (m)	Demand (LPS)
RESERVOIRS	100	0
2	30	15
3	25	23
4	18	23
5	20	15
6	25	26
7	20	16
8	15	20
9	15	4
10	10	9
11	15	26
12	10	16

جدول (۳-۴) سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای شبکه آبرسانی دوم

memotype value	d (in)	d (mm)	Cost (\$/m)
1	1	25.4	1.10
2	2	50.8	3.11
3	4	101.6	8.80
4	6	152.4	16.17
5	8	203.2	24.89
6	10	254.0	34.79
7	12	304.8	45.73
8	14	355.6	57.62

❖ شبکه آبرسانی شهر نیویورک (آمریکا)

شبکه آبرسانی شهر نیویورک ابتدا توسط Schaake and Lai در سال ۱۹۶۹ مورد مطالعه قرار گرفت و این شبکه نیز سپس توسط سایر محققین مورد استفاده قرار گرفته است. طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. تحقیق های مختلفی به منظور تعیین طراحی بهینه برای بهبود بخشیدن شبکه موجود برای نیازهای جدید انجام شده است. طراحی بهینه برای این شبکه با قرار دادن لوله های (حفاری تونل های سنگی) موازی در کنار لوله های (تونل های) موجود صورت می پذیرد. این شبکه از ۲۱ لوله و ۲۰ گره با تقاضا مشخص شده در جدول (۳-۵) و یک مخزن آب که در ارتفاع ۳۰۰ (Feet) نصب شده تشکیل شده است. کمترین مقدار فشار مورد نیاز در تمامی گره ها برابر صفر می باشد. ضریب هیزن ویلیامز برای محاسبه افت فشار در تمامی لوله ها برابر با ۱۰۰ فرض شده است. برای هر دو حالت، حالت یک که تنها معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای باشد و برای حالت دوم که علاوه بر معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای، معیار نگهداری سرعت جریان آب در داخل لوله ها در حد مجاز نیز مد نظر باشد، برای هر یک از لوله ها ۱۶ سایز مختلف قابل انتخاب می باشد که در جدول (۳-۶) بیان شده است.



شکل (۳-۳) طرح پیکربندی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

جدول (۳-۵) مشخصات هر یک از گره ها و لوله ها شبکه آبرسانی شهر نیویورک

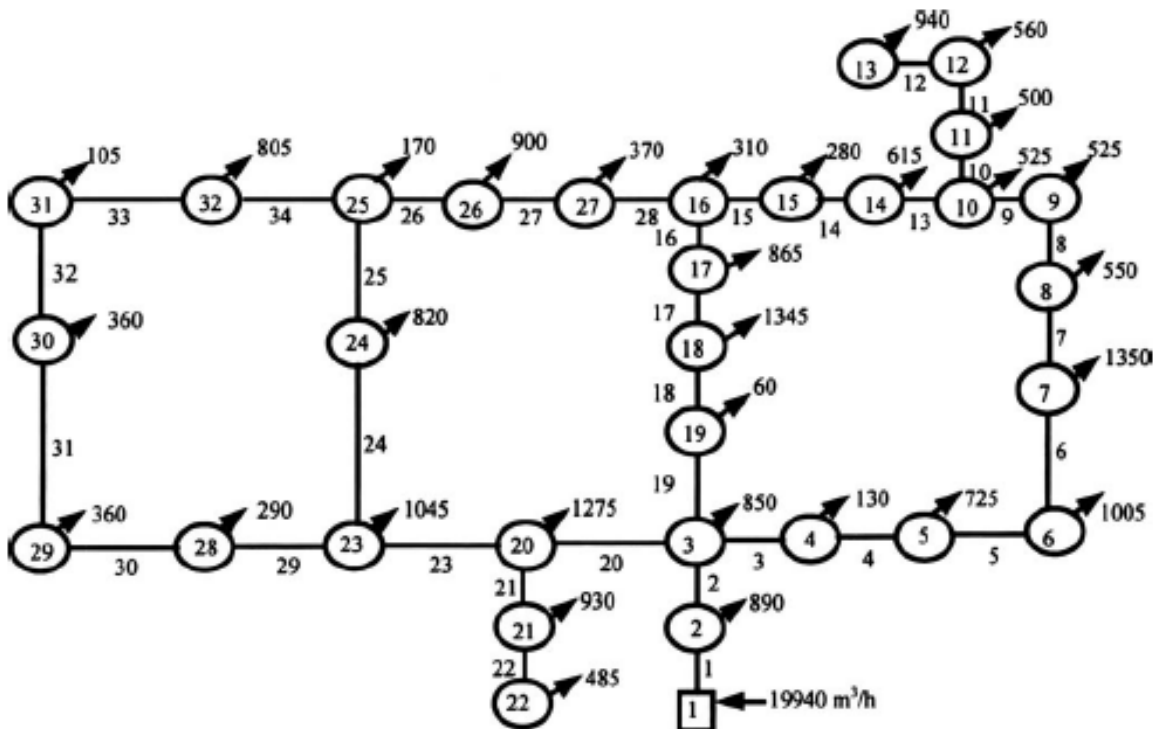
Node Data					Pipe Data			
NO.	Minimum Head (ft)	Minimum Head (m)	Demand (CFS)	Demand (LPS)	NO.	Length (ft)	Length (m)	Diameter (in)
1	300	91.44	Reservoir		1	11600	3535.68	180
2	255	77.72	92.4	2616.49	2	19800	6035.04	180
3	255	77.72	92.4	2616.49	3	7300	2225.04	180
4	255	77.72	88.2	2497.56	4	8300	2529.84	180
5	255	77.72	88.2	2497.56	5	8600	2621.28	180
6	255	77.72	88.2	2497.56	6	19100	5821.68	180
7	255	77.72	88.2	2497.56	7	9600	2926.08	132
8	255	77.72	88.2	2497.56	8	12500	3810.00	132
9	255	77.72	170	4813.89	9	9600	2926.08	180
10	255	77.72	1	28.32	10	11200	3413.76	204
11	255	77.72	170	4813.89	11	14500	4419.60	204
12	255	77.72	117.1	3315.92	12	12200	3718.56	204
13	255	77.72	117.1	3315.92	13	24100	7345.68	204
14	255	77.72	92.4	2616.49	14	21100	6431.28	204
15	255	77.72	92.4	2616.49	15	15500	4724.40	204
16	260	79.25	170	4813.89	16	26400	8046.72	72
17	272.8	83.15	57.5	1628.23	17	31200	9509.76	72
18	255	77.72	117.1	3315.92	18	24000	7315.20	60
19	255	77.72	117.1	3315.92	19	14400	4389.12	60
20	255	77.72	170	4813.89	20	38400	11704.32	60
					21	26400	8046.72	72

جدول (۳-۶) سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هریک از لوله ها برای آبرسانی شهر نیویورک

No.	D (in)	D (mm)	Cost (\$/Ft)	Cost (\$/m)
1	0	0	0	0
2	36	914.40	93.59	307.05
3	48	1219.20	133.70	438.67
4	60	1524.00	176.32	578.50
5	72	1828.80	221.05	725.26
6	84	2133.60	267.61	878.02
7	96	2438.40	315.80	1036.13
8	108	2743.20	365.46	1199.07
9	120	3048.00	416.46	1366.42
10	132	3352.80	468.71	1537.84
11	144	3657.60	522.11	1713.04
12	156	3962.40	576.59	1891.79
13	168	4267.20	632.09	2073.87
14	180	4572.00	688.54	2259.11
15	192	4876.80	745.91	2447.33
16	204	5181.60	804.14	2638.40

❖ شبکه آبرسانی شهر هانوی (ویتنام)

شبکه آبرسانی شهر هانوی در کشور ویتنام ابتدا توسط Fujiwara and Khang در سال ۱۹۹۰ مورد مطالعه قرار گرفت و این شبکه نیز سپس توسط سایر محققین مورد استفاده قرار گرفته است. طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. این شبکه از ۳۴ لوله و ۳۲ گره با تقاضا مشخص شده در جدول (۳-۷) و یک مخزن آب که در ارتفاع ۱۰۰ متر نصب شده تشکیل شده است. کمترین مقدار فشار مورد نیاز در تمامی گره ها برابر ۳۰ متر می باشد. ضریب هیزن ویلیامز برای محاسبه افت فشار در تمامی لوله ها برابر با ۱۳۰ فرض شده است. برای حالتی که تنها معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای باشد برای هر یک از لوله ها ۶ سایز مختلف قابل انتخاب می باشد که در جدول (۳-۸) بیان شده است و برای حالتی که علاوه بر معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای، معیار نگهداری سرعت جریان آب در داخل لوله ها در حد مجاز نیز مد نظر باشد برای هر یک از لوله ها ۸ سایز مختلف قابل انتخاب می باشد که در جدول (۳-۹) بیان شده است.



شکل (۳-۴) طرح پیکربندی شبکه شهر هانوی

جدول (۷-۳) مشخصات هر یک از گره ها و لوله ها شبکه آبرسانی شهر هانوی

Node Data				Pipe Data			
Node	Demand (m ³ /h)	Node	Demand (m ³ /h)	Pipe	Length (m)	Pipe	Length (m)
1 (source)	-19,940	17	865	1	100	18	800
2	890	18	1,345	2	1,350	19	400
3	850	19	60	3	900	20	2,200
4	130	20	1,275	4	1,150	21	1,500
5	725	21	930	5	1,450	22	500
6	1,005	22	485	6	450	23	2,650
7	1,350	23	1,045	7	850	24	1,230
8	550	24	820	8	850	25	1,300
9	525	25	170	9	800	26	850
10	525	26	900	10	950	27	300
11	500	27	370	11	1,200	28	750
12	560	28	290	12	3,500	29	1,500
13	940	29	360	13	800	30	2,000
14	615	30	360	14	500	31	1,600
15	280	31	105	15	550	32	150
16	310	32	805	16	2,730	33	860
				17	1,750	34	950

جدول (۸-۳) سایز لوله های قابل انتخاب برای حالت ۱ و هزینه واحد طول هر یک از لوله ها برای شبکه آبرسانی هانوی

Memotype value	Diameter (in.)	Diameter (mm)	Cost (\$/m)
1	12	304.8	45.726
2	16	406.4	70.400
3	20	508.0	98.378
4	24	609.6	129.333
5	30	762.0	180.748
6	40	1,016.0	278.280

جدول (۹-۳) سایز لوله های قابل انتخاب برای حالت ۲ و هزینه واحد طول هر یک از لوله ها برای شبکه آبرسانی هانوی

memotype value	Diameter (in)	Diameter (mm)	Cost (\$/m)
1	10	254.0	1.10
2	16	406.4	3.11
3	20	508.0	8.80
4	30	762.0	16.17
5	40	1016.0	24.89
6	60	1524.0	34.79
7	80	2032.0	45.73
8	100	2540.0	57.62

۳-۴- آشنایی با برنامه رایانه ای GAWaDiNO

همانطور که قبلاً اشاره گردید، هر فرآیند بهینه سازی شبکه های آبرسانی از دو بخش اصلی تشکیل شده اند.

(۱) چگونگی تحلیل هیدرولیکی شبکه آبرسانی در حین فرآیند بهینه سازی

(۲) تعیین نوع الگوریتم تکاملی به عنوان تکنیک جستجو

بدین منظور برنامه بهینه سازی شبکه های آبرسانی با الگوریتم ژنتیک Genetic Algorithm Water Distribution Network Optimization یا به اختصار **GAWaDiNO** برای این رساله طراحی گردیده است. این برنامه در محیط ویژوال بیسیک نوشته شده است و در دارای این دو بخش اصلی نیز می باشد. این دو بخش عبارتند از: بکار گیری برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2) برای تحلیل هیدرولیکی شبکه آبرسانی در حین فرآیند بهینه سازی و استفاده از الگوریتم ژنتیک به عنوان تکنیک جستجو.

این برنامه نیازمند فراخوانی شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2) است که به این منظور از بسته نرم افزاری (Toolkit software.Epanet v.2) استفاده شده است. در بسته نرم افزاری (Toolkit software.Epanet v.2) فایلی به نام Epanet.dll قرار دارد که می بایست در برنامه ویژوال بیسیک فراخوانی شود. توضیحات تکمیلی بیشتر در مرجع [۴۰] ارائه شده است.

فراخوانی اطلاعات شبکه آبرسانی در برنامه ویژوال بیسیک بصورت یک فایل متنی با پسوند (.inp) صورت می گیرد. برای تشکیل این فایل متنی می توان اطلاعات شبکه آبرسانی را در محیط گرافیکی

برنامه (EPANET v.2) وارد نمود و خروجی به صورت فایل متنی با پسوند (.inp) در اختیار گرفت.

الگوریتم ژنتیک با تولید جمعیتی تصادفی از کروموزم ها (هر کروموزم بیان کننده اطلاعات یک شبکه آبرسانی می باشد) شروع بکار می کند. سپس برای هر یک از این کروموزم ها مقدار تابع شایستگی با توجه به هزینه لوله ها و مقدار جریمه به میزان نقض قیود محاسبه می شود. در حقیقت این تابع شایستگی میزان مناسب بودن کروموزم (شبکه آبرسانی) را مشخص می نماید. در ادامه دو تا

از کروموزم ها متناسب با مقدار تابع شایستگیشان به صورت تصادفی با استفاده از عملگر انتخاب (عملگر انتخاب چرخ گردان و یا عملگر انتخاب مسابقه ای) انتخاب می گردند، بدین صورت اگر کروموزمی دارای مقدار تابع شایستگی بزرگتری باشد شانس انتخاب شدن آن بیشتر می باشد. بعد از انتخاب دو کروموزم عمل پیوند بر روی آنها صورت می پذیرد. در عمل پیوند، با کمک یکی از روش های پیوند (پیوند یکنواخت، پیوند یک نقطه ای، پیوند دو نقطه ای) دو کروموزم با یکدیگر ترکیب شده و دو کروموزوم (شبکه آبرسانی) جدید را بوجود می آورند. بعد از انجام این مراحل، نوبت به اجرا عمل جهش بر روی ژن های هر کروموزوم می رسد. بعد از انجام عمل جهش شرط توقف (تعداد تکرار حلقه) مورد بررسی و در صورت برقراری آن فرآیند بهینه سازی متوقف و جواب نهایی تحت فایل متنی با پسوند inp. ذخیره می گردد و در صورت عدم برقراری شرط توقف فرآیند تا ارضای شرط توقف ادامه پیدا می کند. فلوجارت فرآیند بهینه سازی شبکه آبرسانی با الگوریتم ژنتیک بصورت شکل (۳-۵) می باشد.

۳-۵- مشخصات کامپیوتر مورد استفاده در رساله

مشخصات کامپیوتر مورد استفاده در این عبارت است از :

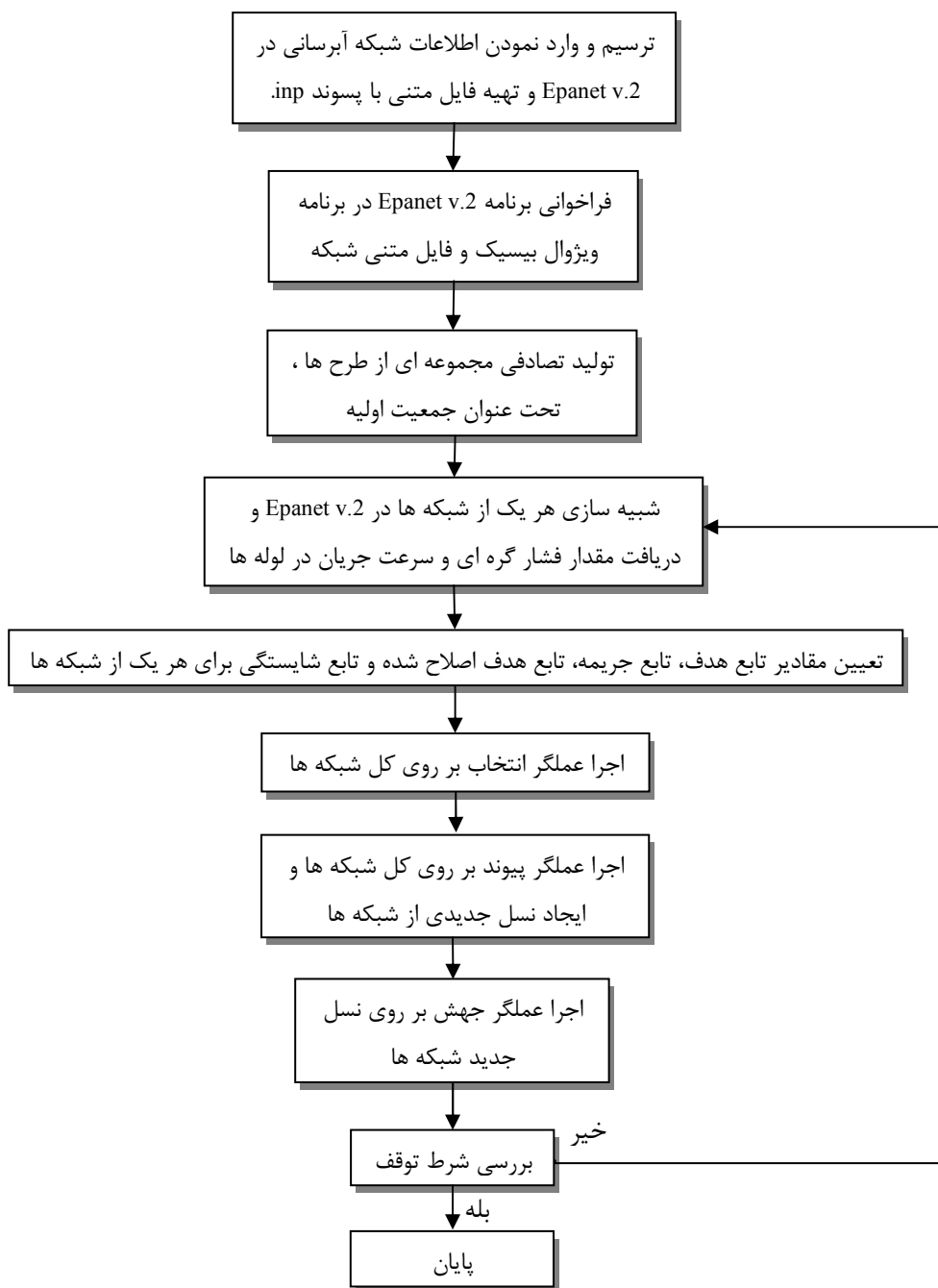
❖ مشخصات پردازنده: P4 – 2/00 GHz

❖ مشخصات رم: 99 GB.

❖ تحت ویندوز عامل XP-2003

۳-۶-انواع اجرای برنامه رایانه ای GAWaDiNO

در این رساله دو نوع تابع هدف اصلاح شده متفاوت، دو نوع عملگر انتخاب (چرخ گردان و مسابقه ای) و سه نوع عملگر پیوند (پیوند یکنواخت، پیوند یک نقطه ای، پیوند دو نقطه ای) مورد بررسی قرار گرفته اند. بنابراین ۱۲ نوع برنامه رایانه ای مختلف جهت اجرا بر روی شبکه های آبرسانی قابل اجرا می باشد.



شکل (۳-۵) فلوجارت فرآیند بهینه سازی شبکه آبرسانی با الگوریتم ژنتیک

توابع هدف اصلاح شده مورد استفاده در این رساله با ایجاد تغییراتی در تابع هدف اصلاح شده ارائه شده توسط Savic و همکارانش در سال ۱۹۹۷ ایجاد شده اند. توابع هدف اصلاح شده و شایستگی مورد بررسی در این رساله عبارتند از:

۱- تابع هدف اصلاح شده ۱

$$F_1(x) = f(x) + MaxcostNet * Maxpenalt * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (1-3)$$

$$Ft(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (2-3)$$

$F(x)$ = تابع هدف اصلاح شده و $f(x)$ = هزینه احداث شبکه آبرسانی

$MaxcostNet$ = هزینه احداث شبکه آبرسانی با لوله های با بزرگترین قطر

$Maxpenalt$ = بیشترین مقدار تخطی فشار گره ای از حد مجاز و یا سرعت جریان در داخل لوله از

محدوده مجاز

N = شماره مرحله تولید نسل و $MaxG$ = ماکزیمم تعداد مرحله تولید نسل

$Ft(x)$ = تابع شایستگی

$MaxNet$ = بیشترین هزینه احداث شبکه آبرسانی در یک نسل

$MinNet$ = کمترین هزینه احداث شبکه آبرسانی در یک نسل

۲- تابع هدف اصلاح شده ۲

$$F_2(x) = f(x) + MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (3-3)$$

$$Ft(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (4-3)$$

$F(x)$ = تابع هدف اصلاح شده و $f(x)$ = هزینه احداث شبکه آبرسانی

$MaxNet$ = بیشترین هزینه احداث شبکه آبرسانی در یک نسل

$Maxpenalt$ = بیشترین مقدار تخطی فشار گره ای از حد مجاز و یا سرعت جریان در داخل لوله از

محدوده مجاز

N = شماره مرحله تولید نسل و $MaxG$ = ماکزیمم تعداد مرحله تولید نسل

$Ft(x)$ = تابع شایستگی

$MinNet$ = کمترین هزینه احداث شبکه آبرسانی در یک نسل

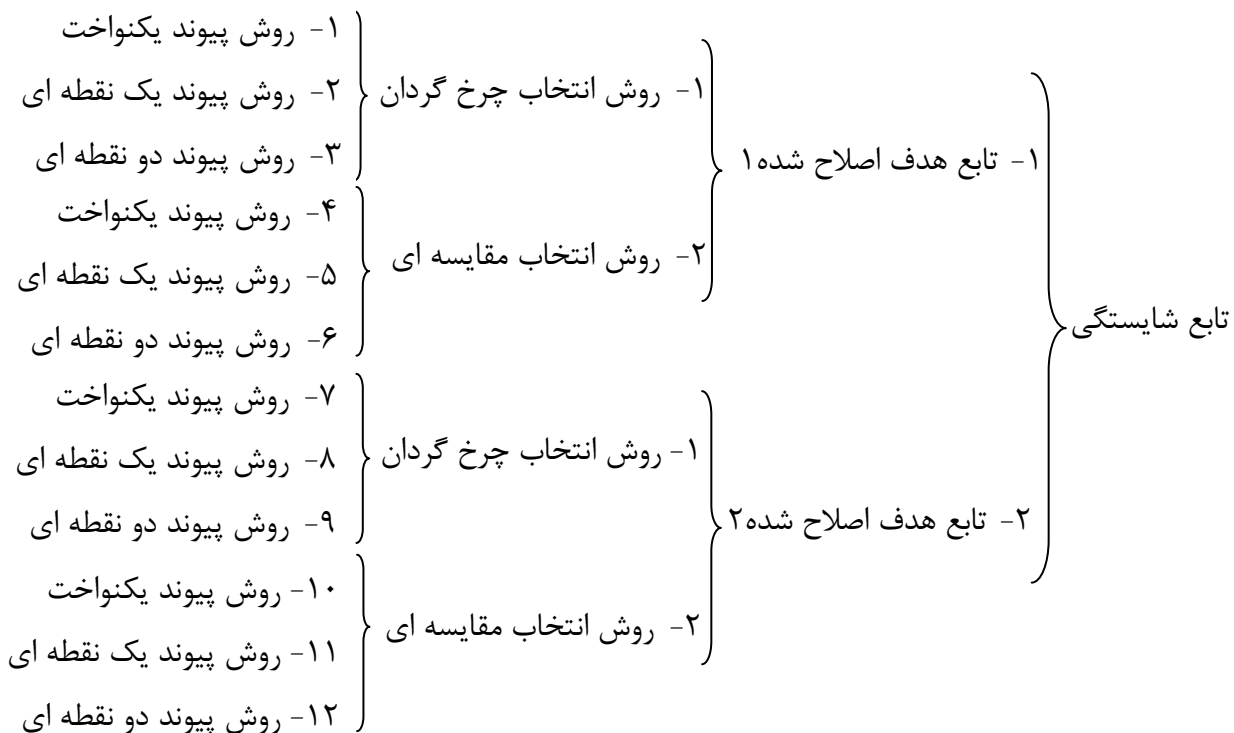
نکته ۱: تفاوت دو تابع هدف اصلاح شده روابط فوق در مقدار ضریب جریمه است. در تابع هدف اصلاح

شده اول مقدار ضریب جریمه عدد ثابت بزرگی می باشد که برابر هزینه احداث شبکه با لوله های با

بزرگترین قطر می باشد. این تابع هدف اصلاح شده همانند توابع هدف ایستا عمل می کند. در تابع هدف اصلاح شده دوم مقدار ضریب جریمه عددی متغیر است که در هر نسل مقدار آن برابر بیشترین هزینه احداث شبکه در جمعیت یک نسل می باشد. این تابع هدف اصلاح شده همانند توابع هدف پویا عمل می کند.

نکته ۲: جواب بهینه ارائه برای شبکه های آبرسانی بالا توسط سایر محققین تنها با در نظر گرفتن معیار تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای بوده است، در صورتی که در نظر گرفتن این معیار به تنهایی از نقطه نظر طراحی شبکه آبرسانی نادرست می باشد. زیرا علاوه بر تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای می بایست مقدار سرعت جریان در داخل لوله ها در محدوده مجاز قرار گیرد. بدین منظور اجرای برنامه های رایانه ای بر روی هر شبکه دوبار، یکبار با در نظر گرفتن تنها معیار تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای مورد نیاز (حالت ۱) و بار دیگر با در نظر گرفتن هر دو معیار تأمین مینیمم مقدار فشار گره ای مورد نیاز و نگهداری سرعت جریان در داخل لوله ها در محدوده مجاز (حالت ۲) تکرار شده است.

ترتیب اجرای برنامه های رایانه ای صورت پذیرفته به فرم زیر است:





فصل چهارم:

نتایج حاصل از اجرای برنامه های

رایانه ای

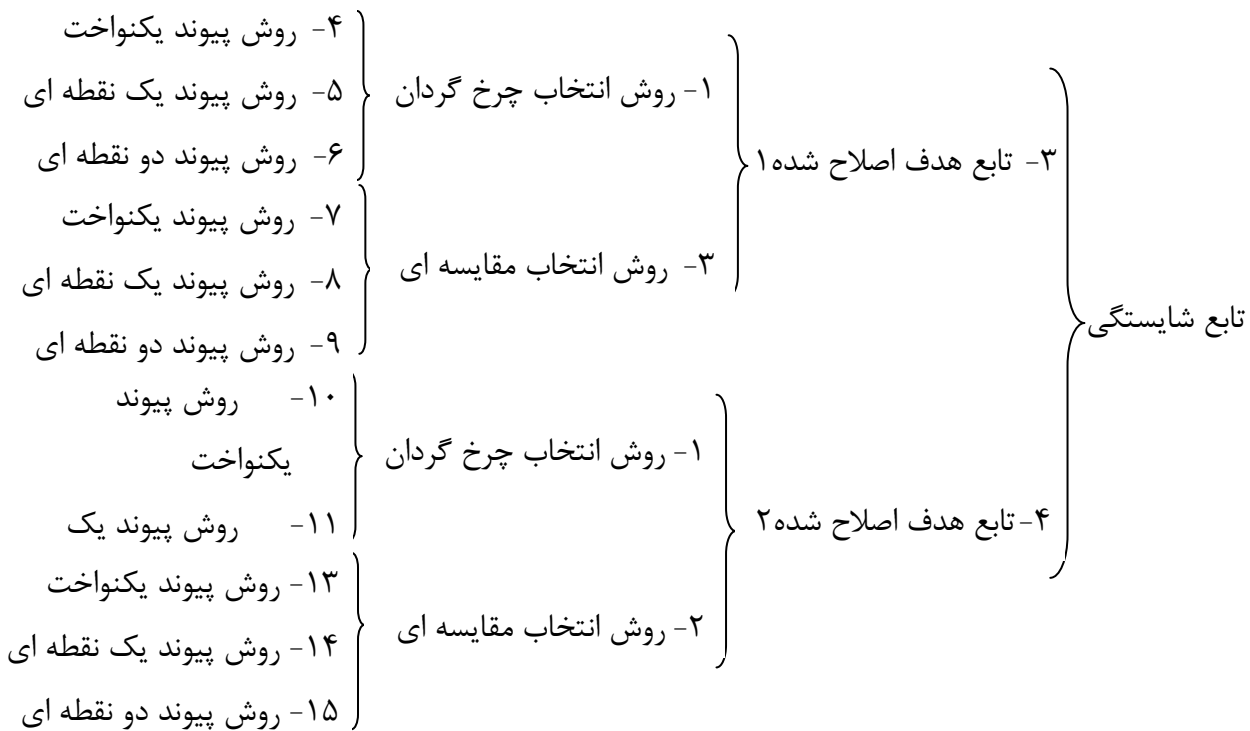
فصل چهارم : نتایج حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای

۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از اجرای هر یک از برنامه های رایانه ای بر روی چهار شبکه های آبرسانی بیان شده است. برنامه های رایانه ای یکبار با در نظر گرفتن تنها یک معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای، حالت ۱) و بار دیگر با در نظر گرفتن دو معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان آب در داخل لوله ها در حد مجاز، حالت ۲) اجرا شده است. برای مشخص شدن میزان عملکرد مثبت هر یک از برنامه های رایانه ای ، هر برنامه های ۱۰۰ بار اجرا شده است.

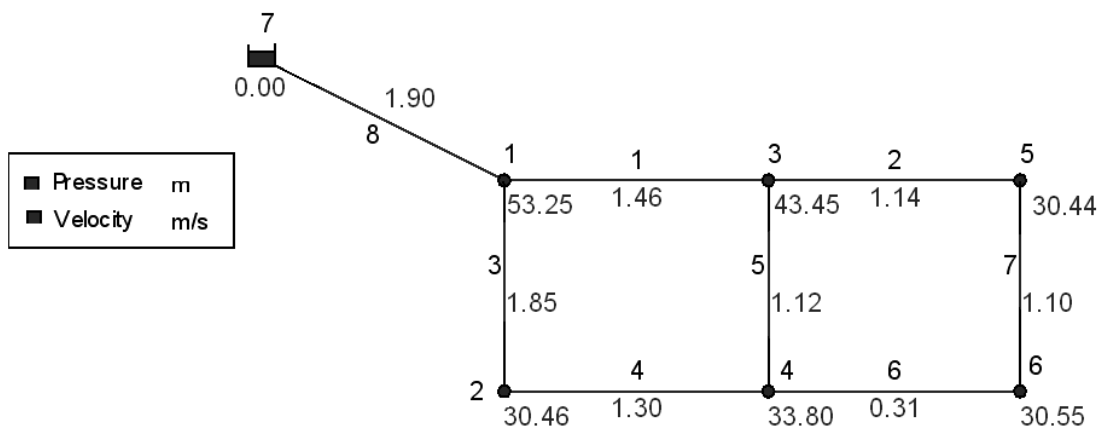
۴-۲- نتایج حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای

تفاوت هر یک برنامه های رایانه ای در نوع تابع هدف اصلاح شده و همچنین نوع عملگرهای انتخاب و نوع عملگر پیوند آنها می باشد. در ابتدا جواب بهینه بدست آمده از اجرای برنامه های رایانه ای روی هر شبکه آبرسانی بیان شده است.

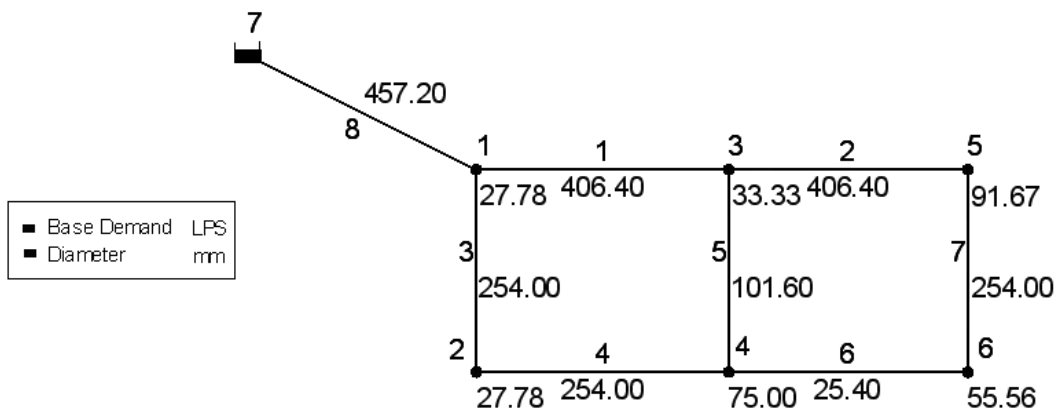


۴-۲-۱- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای

حالت بهینه حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای برای هر دو حالت ۱ و ۲ یکسان می باشد. میزان تأمین فشار گره ای و همچنین میزان سرعت جریان آب در داخل لوله ها برای شبکه بهینه در شکل (۴-۱) و میزان قطر لوله های و تقاضا آب در گره ها برای حالت شبکه بهینه در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. هزینه این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها (\$ ۴۱۹۰۰۰) می باشد.



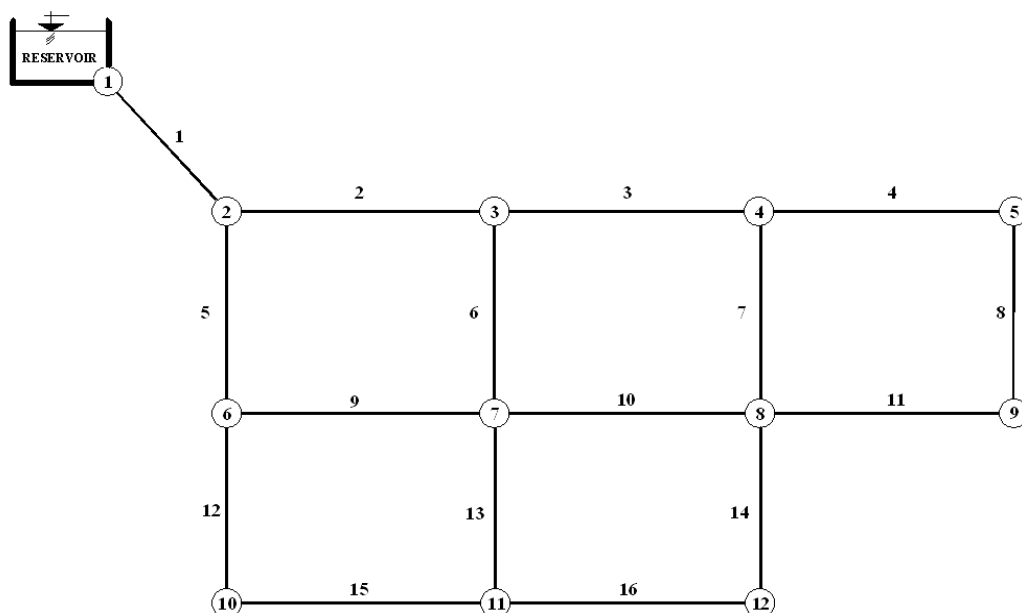
شکل (۴-۱) مقادیر فشار گره ای و سرعت جریان آب در داخل لوله های در شبکه آبرسانی دو حلقه ای در حالت بهینه



شکل (۴-۲) مقادیر قطر لوله های آب و میزان تقاضا آب در گره ها در شبکه آبرسانی دو حلقه ای در حالت بهینه

۴-۲-۲- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی دوم

طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴) طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دوم

حالت ۱) با در نظر گرفتن یک معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای)

مقدار قطر لوله ها و میزان سرعت جریان آب در داخل لوله ها و همچنین میزان فشار در گره ها برای

حالت بهینه شبکه آبرسانی دوم در جدول (۱-۴) نشان داده شده است. هزینه این شبکه آبرسانی با

توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها (\$ ۳۱۰۳۸۸ می باشد.

جدول (۱-۴) نتایج حاصل برای حالت بهینه شبکه آبرسانی دوم برای حالت ۱

Link Results						Node Results		
NO.pipe	L (m)	D (mm)	D (in)	C	V (m/s)	Node ID	Demand (CMH)	Pressure (m)
1	1000	355.6	14	100	1.94	1 Reservoir	-193	0
2	1000	304.8	12	100	1.27	2	15	54.58
3	1000	254	10	100	1.37	3	23	51.2
4	1000	254	10	100	1.69	4	23	46.29
5	1000	152.4	6	100	0.89	5	15	32.22
6	1000	25.4	1	100	0.47	6	26	42.01
7	1000	203.2	8	100	0.88	7	16	37.33
8	1000	25.4	1	100	0.32	8	20	30.34
9	1000	203.2	8	100	1.34	9	4	42.76
10	1000	25.4	1	100	0.23	10	9	32.19
11	1000	101.6	4	100	0.55	11	26	35.43
12	1000	203.2	8	100	1.29	12	16	31.14
13	1000	152.4	6	100	0.87			
14	1000	25.4	1	100	0.38			
15	1000	25.4	1	100	0.37			
16	1000	152.4	6	100	0.48			

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان آب در داخل لوله ها در حد مجاز)

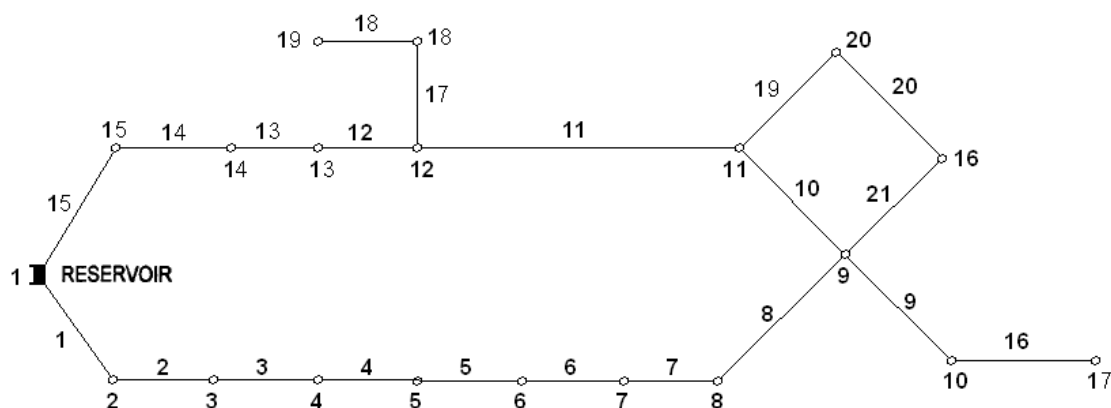
مقدار قطر لوله ها و میزان سرعت جریان آب در داخل لوله ها و همچنین میزان فشار در گره ها برای حالت بهینه شبکه آبرسانی دوم در جدول (۲-۴) نشان داده شده است. هزینه این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها (\$ ۳۱۳۷۱۰ می باشد.

جدول (۲-۴) نتایج حاصل برای حالت بهینه شبکه آبرسانی دوم برای حالت ۲

Link Results						Node Results		
NO.pipe	L (m)	D (mm)	D (in)	C	V (m/s)	Node ID	Demand (CMH)	Pressure (m)
1	1000	355.6	14	100	1.94	1 Reservoir	-193	0
2	1000	355.6	14	100	1.36	2	15	54.58
3	1000	254	10	100	1.39	3	23	51.2
4	1000	203.2	8	100	1.32	4	23	46.29
5	1000	152.4	6	100	0.89	5	15	32.22
6	1000	203.2	8	100	1.29	6	26	42.01
7	1000	152.4	6	100	1.23	7	16	37.33
8	1000	25.4	1	100	0.37	8	20	30.34
9	1000	50.8	2	100	0.38	9	4	42.76
10	1000	101.6	4	100	0.62	10	9	32.19
11	1000	101.6	4	100	0.68	11	26	35.43
12	1000	203.2	8	100	1.29	12	16	31.14
13	1000	152.4	6	100	0.87			
14	1000	25.4	1	100	0.35			
15	1000	101.6	4	100	0.78			
16	1000	101.6	4	100	0.33			

۲-۳-۴- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک

طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل (۴-۴) طرح پیکربندی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

حالت ۱) تنها با در نظر گرفتن یک معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای)

مقدار قطر لوله ها و میزان سرعت جریان آب در داخل لوله ها و همچنین میزان فشار در گره ها برای حالت بهینه شبکه آبرسانی شهر نیویورک در جدول (۳-۴) نشان داده شده است. هزینه این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها (Million \$) ۳۸/۱۳ می باشد.

نکته ۱: حداکثر مقدار خطای مجاز برای تأمین حداقل فشار گره ای (m) ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شده است.

نکته ۲: همانطور که قبلاً اشاره شد، هدف از طراحی بهینه برای این شبکه آبرسانی قرار دادن لوله موازی در کنار لوله های موجود برای ارتقاء عملکرد شبکه آبرسانی بوده و قطر صفر بیان کننده این حقیقت است که نیازی به قرار دادن لوله موازی در کنار این لوله نمی باشد.

جدول (۳-۴) نتایج حاصل برای شبکه آبرسانی بهینه شهر نیویورک برای حالت ۱

Link Results						Node Results			
NO.pipe	L (ft)	D (mm)	D (in)	C	V (m/s)	Node ID	Demand (CFS)	Head (m)	Pressure (m)
1	11600	0	0	100	0	1	Reservoir	91.44	0
2	19800	0	0	100	0	2	92.4	89.68	11.96
3	7300	0	0	100	0	3	92.4	87.23	9.51
4	8300	0	0	100	0	4	88.2	86.52	8.8
5	8600	0	0	100	0	5	88.2	85.88	8.16
6	19100	0	0	100	0	6	88.2	85.39	7.67
7	9600	3352.8	132	100	0.55	7	88.2	84.61	6.89
8	12500	0	0	100	0	8	88.2	84.29	6.57
9	9600	0	0	100	0	9	170	83.42	5.7
10	11200	0	0	100	0	10	1	83.41	5.69
11	14500	0	0	100	0	11	170	83.45	5.73
12	12200	0	0	100	0	12	117.1	83.84	6.12
13	24100	0	0	100	0	13	117.1	84.75	7.03
14	21100	0	0	100	0	14	92.4	87.03	9.31
15	15500	0	0	100	0	15	92.4	89.4	11.68
16	26400	2438.4	96	100	0.24	16	170	79.25	0
17	31200	2438.4	96	100	0.97	17	57.5	83.15	0
18	24000	2133.6	84	100	0.66	18	117.1	79.59	1.87
19	14400	1828.8	72	100	1.18	19	117.1	77.72	0
20	38400	0	0	100	0	20	170	79.45	1.73
21	26400	1828.8	72	100	0.87				

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز)

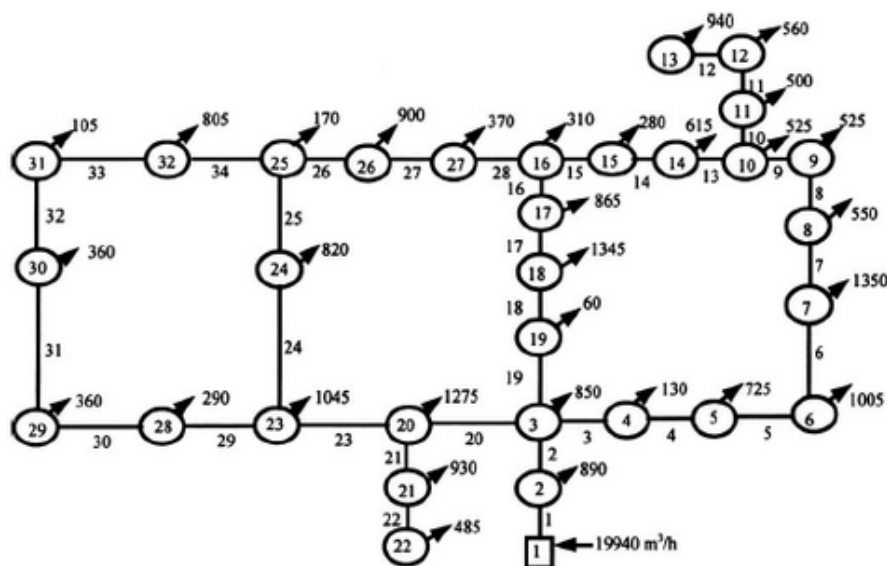
مقدار قطر لوله ها و میزان سرعت جریان آب در داخل لوله ها و همچنین میزان فشار در گره ها برای حالت بهینه شبکه آبرسانی شهر نیویورک در جدول (۴-۴) نشان داده شده است. هزینه این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها (Million \$) ۳۹/۲۲ می باشد.

جدول (۴-۴) نتایج حاصل برای شبکه آبرسانی بهینه شهر نیویورک برای حالت ۲

Link Results						Node Results			
NO.pipe	L (ft)	D (mm)	D (in)	C	V (m/s)	Node ID	Demand (CFS)	Head (m)	Pressure (m)
1	11600	0	0	100	0	1	Reservoir	91.44	0
2	19800	0	0	100	0	2	92.4	89.83	12.11
3	7300	0	0	100	0	3	92.4	87.6	9.88
4	8300	0	0	100	0	4	88.2	86.96	9.24
5	8600	0	0	100	0	5	88.2	86.4	8.68
6	19100	0	0	100	0	6	88.2	85.98	8.26
7	9600	0	0	100	0	7	88.2	85.33	7.61
8	12500	0	0	100	0	8	88.2	84.41	6.69
9	9600	0	0	100	0	9	170	83.78	6.06
10	11200	0	0	100	0	10	1	83.77	6.05
11	14500	0	0	100	0	11	170	83.82	6.1
12	12200	0	0	100	0	12	117.1	84.28	6.56
13	24100	0	0	100	0	13	117.1	85.27	7.55
14	21100	0	0	100	0	14	92.4	87.73	10.01
15	15500	3657.6	144	100	0.91	15	92.4	90.27	12.55
16	26400	1828.8	72	100	0.31	16	170	79.61	0.36
17	31200	2438.4	96	100	0.97	17	57.5	83.16	0.01
18	24000	2133.6	84	100	0.66	18	117.1	80.02	2.3
19	14400	1828.8	72	100	1.19	19	117.1	78.15	0.43
20	38400	0	0	100	0	20	170	79.81	2.09
21	26400	1828.8	72	100	0.87				

۴-۲-۴- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی شهر هانوی

طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.



شکل (۴-۵) طرح پیکربندی شبکه شهر هانوی

حالت ۱) تنها با در نظر گرفتن یک معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای)

مقدار قطر لوله ها و میزان سرعت جریان آب در داخل لوله ها و همچنین میزان فشار در گره ها برای حالت بهینه شبکه آبرسانی شهر هانوی در جدول (۴-۵) نشان داده شده است. هزینه این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها (Million \$) ۶/۰۸ می باشد.

جدول (۴-۵) نتایج حاصل برای شبکه بهینه آبرسانی شهر هانوی برای حالت ۱

Link Results						Node Results			
NO.pipe	L (m)	D (mm)	D (in)	C	V (m/s)	Node ID	Demand (CMH)	Head (m)	Pressure (m)
1	100	1016	40	130	6.83	1 Reservoir	-19940	100	0
2	1350	1016	40	130	6.53	2	890	97.14	97.14
3	900	1016	40	130	2.74	3	850	61.67	61.67
4	1150	1016	40	130	2.7	4	130	56.92	56.92
5	1450	1016	40	130	2.45	5	725	51.02	51.02
6	450	1016	40	130	2.11	6	1005	44.81	44.81
7	850	1016	40	130	1.64	7	1350	43.35	43.35
8	850	1016	40	130	1.46	8	550	41.61	41.61
9	800	1016	40	130	1.28	9	525	40.23	40.23
10	950	762	30	130	1.22	10	525	39.2	39.2
11	1200	609.6	24	130	1.43	11	500	37.64	37.64
12	3500	609.6	24	130	0.89	12	560	34.21	34.21
13	800	508	20	130	1.65	13	940	30.01	30.01
14	500	406.4	16	130	1.25	14	615	35.52	35.52
15	550	304.8	12	130	1.16	15	280	33.72	33.72
16	2730	304.8	12	130	0.45	16	310	31.3	31.3
17	1750	406.4	16	130	2.11	17	865	33.41	33.41
18	800	609.6	24	130	2.22	18	1345	49.93	49.93
19	400	508	20	130	3.27	19	60	55.09	55.09
20	2200	1016	40	130	2.67	20	1275	50.61	50.61
21	1500	508	20	130	1.94	21	930	41.26	41.26
22	500	304.8	12	130	1.85	22	485	36.1	36.1
23	2650	1016	40	130	1.75	23	1045	44.52	44.52
24	1230	762	30	130	2.11	24	820	38.93	38.93
25	1300	762	30	130	1.61	25	170	35.34	35.34
26	850	508	20	130	1.58	26	900	31.7	31.7
27	300	304.8	12	130	0.97	27	370	30.76	30.76
28	750	304.8	12	130	0.44	28	290	38.94	38.94
29	1500	406.4	16	130	1.28	29	360	30.13	30.13
30	2000	304.8	12	130	1.16	30	360	30.42	30.42
31	1600	304.8	12	130	0.21	31	105	30.7	30.7
32	150	406.4	16	130	0.89	32	805	33.18	33.18
33	860	406.4	16	130	1.11				
34	950	609.6	24	130	1.26				

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی (تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز)

مقدار قطر لوله ها و میزان سرعت جریان آب در داخل لوله ها و همچنین میزان فشار در گره ها برای حالت بهینه شبکه آبرسانی شهر هانوی در جدول (۴-۶) نشان داده شده است. هزینه این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها (Million \$) ۷۵/۹۸ می باشد.

جدول (۴-۶) نتایج حاصل برای شبکه بهینه آبرسانی شهر هانوی برای حالت ۲

Link Results						Node Results			
NO.pipe	L (m)	D (mm)	D (in)	C	V (m/s)	Node ID	Demand (CMH)	Head (m)	Pressure (m)
1	100	2032	80	130	1.71	1 Reservoir	-19940	100	0
2	1350	2032	80	130	1.63	2	890	99.9	99.9
3	900	1016	40	130	1.93	3	850	98.69	98.69
4	1150	1016	40	130	1.89	4	130	96.21	96.21
5	1450	1016	40	130	1.64	5	725	93.16	93.16
6	450	1016	40	130	1.3	6	1005	90.21	90.21
7	850	762	30	130	1.48	7	1350	89.62	89.62
8	850	762	30	130	1.15	8	550	87.61	87.61
9	800	508	20	130	1.86	9	525	86.36	86.36
10	950	762	30	130	1.22	10	525	81.73	81.73
11	1200	762	30	130	0.91	11	500	80.17	80.17
12	3500	508	20	130	1.29	12	560	79.02	79.02
13	800	508	20	130	1.6	13	940	68.79	68.79
14	500	762	30	130	1.08	14	615	85.22	85.22
15	550	762	30	130	1.26	15	280	85.88	85.88
16	2730	1016	40	130	1.71	16	310	86.84	86.84
17	1750	1016	40	130	2	17	865	92.81	92.81
18	800	1524	60	130	1.09	18	1345	97.97	97.97
19	400	1524	60	130	1.1	19	60	98.45	98.45
20	2200	1016	40	130	1.82	20	1275	93.27	93.27
21	1500	508	20	130	1.94	21	930	83.92	83.92
22	500	406.4	16	130	1.04	22	485	82.65	82.65
23	2650	762	30	130	1.59	23	1045	86.11	86.11
24	1230	406.4	16	130	1.64	24	820	78.85	78.85
25	1300	254	10	130	0.3	25	170	79.44	79.44
26	850	508	20	130	1.83	26	900	84.22	84.22
27	300	762	30	130	1.36	27	370	84.82	84.82
28	750	762	30	130	1.59	28	290	76.31	76.31
29	1500	406.4	16	130	1.73	29	360	70.58	70.58
30	2000	406.4	16	130	1.11	30	360	65.59	65.59
31	1600	254	10	130	0.86	31	105	66.34	66.34
32	150	254	10	130	1.11	32	805	75.64	75.64
33	860	254	10	130	1.69				
34	950	508	20	130	1.53				

نکته: همانطور که قبلاً اشاره شد، الگوریتم ژنتیک برای شروع به کار نیاز به یک تعداد جمعیت اولیه دارد و این جمعیت اولیه در فرآیند بهینه سازی شرکت و نسل جدید را تولید می کند. برای مشخص کردن تعداد جمعیت اولیه و تعداد تولید نسل برای هر یک از برنامه های رایانه ای بر روی هر شبکه آبرسانی، نیاز به یک عدد مبنا می باشد. برای عدد مبنا، تعداد شبکه های مورد ارزیابی قرار گرفته

توسط الگوریتم ژنتیک برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای که برابر ۵۰۰۰ می باشد در نظر گرفته شده است و برای سایر شبکه های آبرسانی از رابطه پیشنهادی زیر استفاده شده است.

$$Evol(i) = 3.75 \times \log\left(\frac{N^X}{5000}\right) \times 5000 - 24000 \quad (۱-۴)$$

$Evol(i)$ = تعداد شبکه های مورد نیاز برای ارزیابی توسط الگوریتم ژنتیک برای هر شبکه آبرسانی

N = تعداد قطر لوله های قابل انتخاب و X = تعداد لوله های شبکه آبرسانی

برای اجرای برنامه های رایانه ای بر روی هر یک از شبکه های آبرسانی، به تعداد جمعیت اولیه و تعداد تولید نسل در ارائه شده در جدول (۷-۴) نیاز می باشد.

جدول (۷-۴) تعداد جمعیت اولیه و تعداد تولید نسل برای هر یک شبکه های آبرسانی

NO.	تعداد لوله های شبکه آبرسانی	تعداد لوله های قابل انتخاب	تعداد کل شبکه های آبرسانی موجود (Tnetwork)	تعداد کل شبکه های مورد ارزیابی قرار گرفته بوسیله الگوریتم ژنتیک	جمعیت اولیه	تعداد تولید نسل
				Evolution	Initial population	Generation
1	8	14	1.476E+09	5000	20	250
2	16	8	2.815E+14	75008 ≈ 75000	30	2500
3	21	16	1.934E+25	278203 ≈ 280000	40	7000
4	34	6	2.865E+26	300152 ≈ 300000	30	10000

۴-۳- انواع برنامه های رایانه ای پیشنهادی

همانطور که قبلاً اشاره شد، در این رساله دو نوع تابع هدف اصلاح شده متفاوت و همچنین دو نوع عملگر انتخاب چرخ گردان و مسابقه ای و سه عملگر پیوند یکنواخت و پیوند یک نقطه ای و پیوند دو نقطه ای مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین ۱۲ نوع برنامه رایانه ای مختلف تهیه شده است.

❖ برنامه رایانه ای ۱:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxcostNet * Maxpenalt * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (۲-۴)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (۳-۴)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب چرخ گردان

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یکنواخت

❖ برنامه رایانه ای ۲:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxcostNet * Maxpenalt * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (۴-۴)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (۵-۴)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب چرخ گردان

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یک نقطه ای

❖ برنامه رایانه ای ۳:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxcostNet * Maxpenalt * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (۶-۴)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (۷-۴)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب چرخ گردان

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند دو نقطه ای

❖ برنامه رایانه ای ۴:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxcostNet * Maxpenalt * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (۸-۴)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (۹-۴)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب مسابقه ای

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یکنواخت

❖ برنامه رایانه ای ۵:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$(x) = f(x) + MaxcostNet * Maxpenalt * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (10-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (11-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب مسابقه ای

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یک نقطه ای

❖ برنامه رایانه ای ۶:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$(x) = f(x) + MaxcostNet * Maxpenalt * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (12-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (13-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب مسابقه ای

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند دو نقطه ای

۴-۳-۱- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه آبرسانی

دو حلقه ای

برای نمونه تمامی نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه رایانه ای ۱ در جدول (۴-۸) نشان داده شده

است. برای بیان نتیجه گیری معیارهای تعداد تکرار جواب بهینه، میانگین جواب ۱۰۰ بار تکرار اجرا،

انحراف معیار و ضریب تغییرات مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول (۴-۸) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه رایانه ای ۱ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای

NO.Runs	Function Value	NO.Runs	Function Value	NO.Runs	Function Value
1	424000	34	441000	67	441000
2	419000	35	441000	68	450000
3	419000	36	450000	69	419000
4	420000	37	419000	70	441000
5	420000	38	419000	71	420000
6	419000	39	441000	72	419000
7	438000	40	419000	73	424000
8	452000	41	419000	74	448000
9	420000	42	462000	75	419000
10	420000	43	453000	76	419000
11	424000	44	441000	77	420000
12	462000	45	419000	78	428000
13	450000	46	448000	79	452000
14	447000	47	424000	80	420000
15	456000	48	441000	81	420000
16	419000	49	424000	82	441000
17	420000	50	471000	83	453000
18	448000	51	450000	84	427000
19	448000	52	441000	85	437000
20	419000	53	461000	86	420000
21	420000	54	448000	87	448000
22	424000	55	420000	88	420000
23	448000	56	419000	89	419000
24	419000	57	441000	90	448000
25	439000	58	448000	91	420000
26	453000	59	424000	92	448000
27	424000	60	424000	93	465000
28	424000	61	441000	94	442000
29	452000	62	447000	95	464000
30	447000	63	419000	96	420000
31	441000	64	419000	97	424000
32	450000	65	436000	98	462000
33	424000	66	461000	99	462000
Mean		435360		100	436000
The Best		419000		* انحراف معیار ** ضریب تغییرات	
The Worst		471000			
Number of Best cost		19			
The standard deviation*		15286.83			
The coefficient variance**		0.035			

به طور خلاصه نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ در جدول (۴-۹) و نتایج

حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ در جدول (۴-۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۴-۹) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای (۳و۲ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای

Parameter	Algorithm1	Algorithm2	Algorithm3
Fpenalt	$F_{penalt} = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.03		
Mean	435360	434860	435980
The Best	419000	419000	419000
The Worst	471000	468000	471000
Number of the Best answers in 100 run	19	12	17
The standard deviation	15286.83	13194.75	15448.83
The coefficient variance	0.035	0.030	0.035

جدول (۴-۱۰) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای (۴و۵و۶ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای

Parameter	Algorithm4	Algorithm5	Algorithm6
Fpenalt	$F_{penalt} = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.03		
Mean	433760	435930	434640
The Best	419000	419000	419000
The Worst	464000	468000	462000
Number of the Best answers in 100 run	20	18	15
The standard deviation	14085.68	15598.66	13933.84
The coefficient variance	0.032	0.036	0.032

۴-۳-۲- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای (۳و۲و۴و۵و۶ بر روی شبکه آبرسانی دوم

حالت ۱) تنها با در نظر گرفتن معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای (۳و۲ در جدول (۴-۱۱) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای (۴و۵و۶ در جدول (۴-۱۲) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۱) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm1	Algorithm2	Algorithm3
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	319991	318730	317806
The Best	310388	310388	310388
The Worst	364703	356072	351843
Number of the Best answers in 100 run	12	5	12
The standard deviation	9879.82	7650.49	7006.21
The coefficient variance	0.031	0.024	0.022

جدول (۴-۱۲) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm4	Algorithm5	Algorithm6
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	321582	324444	323702
The Best	310388	310388	310388
The Worst	357037	375633	356726
Number of the Best answers in 100 run	8	5	5
The standard deviation	8986.71	13194.95	11066.84
The coefficient variance	0.028	0.041	0.034

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ در جدول (۴-۱۳) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ در جدول (۴-۱۴) نشان داده شده است.

جدول(۴-۱۳) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm1	Algorithm2	Algorithm3
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	333165	332268	335702
The Best	313710	313710	313710
The Worst	384379	371324	376621
Number of the Best answers in 100 run	3	1	1
The standard deviation	13232.01	11067.89	14710.84
The coefficient variance	0.040	0.033	0.044

جدول(۴-۱۴) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm4	Algorithm5	Algorithm6
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
		One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	335206	343252	343875
The Best	313710	313710	316755
The Worst	369117	411123	441359
Number of the Best answers in 100 run	1	1	0
The standard deviation	11358.88	20101.54	21305.04
The coefficient variance	0.034	0.059	0.062

۴-۳-۳- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه آبرسانی شهر

نیویورک

حالت(۱) تنها با در نظر گرفتن معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۳ و ۲ در جدول (۴-۱۵) و نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ در جدول (۴-۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۵) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۳ و ۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm1	Algorithm2	Algorithm3
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	39453518	41065299	40167350
The Best	38132744	38132744	38132744
The Worst	44775937	50000746	46898755
Number of the Best answers in 100 run	18	8	14
The standard deviation	1390424.46	2971451.67	2194397.39
The coefficient variance	0.035	0.072	0.055

جدول (۴-۱۶) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm4	Algorithm5	Algorithm6
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	38406610	39231988	39061530
The Best	38132744	38132744	38132744
The Worst	39469724	47928349	43994845
Number of the Best answers in 100 run	55	33	32
The standard deviation	370701.89	1757256.56	1251780.46
The coefficient variance	0.010	0.045	0.032

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای او ۳ و ۴ در جدول (۴-۱۷) و نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ در جدول (۴-۱۸) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۷) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای او ۳ و ۴ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm1	Algorithm2	Algorithm3
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	40524160	41440247	41705687
The Best	39224473	39224473	39224473
The Worst	51358148	49932671	48407903
Number of the Best answers in 100 run	42	31	24
The standard deviation	1724046.51	2170470.41	2437547.98
The coefficient variance	0.043	0.052	0.058

جدول (۴-۱۸) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm4	Algorithm5	Algorithm6
Fpenalt	$Fpenalt = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	39793691	40673251	40929483
The Best	39224473	39224473	39224473
The Worst	47928349	47928349	48036209
Number of the Best answers in 100 run	77	51	50
The standard deviation	1287876.40	1989401.13	2235749.73
The coefficient variance	0.032	0.049	0.055

۴-۳-۴- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای او ۳ و ۴ و ۵ و ۶ بر روی شبکه آبرسانی شهر

هانوی

حالت ۱) تنها با در نظر گرفتن معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۳ و ۲ در جدول (۴-۱۹) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ در جدول (۴-۲۰) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۹) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۳ و ۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

Parameter	Algorithm1	Algorithm2	Algorithm3
Fpenalt	$F_{penalt} = \text{MaxCost} * \text{Maxpenalt} * (N/\text{Maxge}) ^ 0.8$		
Fitness	$F_t(i) = (\text{maxf} + \text{minf}) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	6269580	6271133	6286058
The Best	6081128	6081128	6081128
The Worst	6452980	6474849	6472350
Number of the Best answers in 100 run	4	4	3
The standard deviation	103488.31	101762.23	101626.22
The coefficient variance	0.017	0.016	0.016

جدول (۴-۲۰) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

Parameter	Algorithm4	Algorithm5	Algorithm6
Fpenalt	$F_{penalt} = \text{MaxCost} * \text{Maxpenalt} * (N/\text{Maxge}) ^ 0.8$		
Fitness	$F_t(i) = (\text{maxf} + \text{minf}) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	6258140	6260025	6296355
The Best	6081128	6081128	6081128
The Worst	6549100	6544528	6559904
Number of the Best answers in 100 run	3	3	2
The standard deviation	90605.89	104757.83	94889.10
The coefficient variance	0.014	0.017	0.015

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۳ و ۲ در جدول (۴-۲۱) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ در جدول (۴-۲۲) نشان داده شده است.

جدول (۴-۲۱) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۳ و ۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

Parameter	Algorithm1	Algorithm2	Algorithm3
Fpenalt	$F_{penalt} = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	8215481	8193320	8245057
The Best	7597980	7597980	7597980
The Worst	9714150	8977902	9749409
Number of the Best answers in 100 run	8	5	4
The standard deviation	428184.9	293601.6	346470.0
The coefficient variance	0.052	0.036	0.042

جدول (۴-۲۲) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴ و ۵ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

Parameter	Algorithm4	Algorithm5	Algorithm6
Fpenalt	$F_{penalt} = MaxCost * Maxpenalt * (N/Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	8177575	8222450	8153221
The Best	7597980	7597980	7597980
The Worst	10380212	9626854	9344261
Number of the Best answers in 100 run	8	4	3
The standard deviation	404976.5	373832.5	283852.1
The coefficient variance	0.050	0.045	0.035

❖ برنامه رایانه ای ۷:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (14-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (15-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب چرخ گردان

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یکنواخت

❖ برنامه رایانه ای ۸:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (16-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (17-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب چرخ گردان

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یک نقطه ای

❖ برنامه رایانه ای ۹:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (18-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (19-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب چرخ گردان

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند دو نقطه ای

❖ برنامه رایانه ای ۱۰:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (20-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (21-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب مسابقه ای

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یکنواخت

❖ برنامه رایانه ای ۱۱:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (22-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (23-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب مسابقه ای

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند یک نقطه ای

❖ برنامه رایانه ای ۱۲:

پارامترهای تأثیرگذار در این برنامه رایانه ای عبارتند از:

✓ نوع تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی:

$$F(x) = f(x) + MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * \left(\frac{N}{MaxG}\right)^{0/8} \quad (24-4)$$

$$FT(x) = \frac{MaxNet+MinNet}{F(x)} \quad (25-4)$$

✓ نوع عملگر انتخاب: انتخاب مسابقه ای

✓ نوع عملگر پیوند: پیوند دو نقطه ای

۴-۳-۵- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی دو

حلقه ای

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ در جدول (۴-۲۳) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ در جدول (۴-۲۴) نشان داده شده است.

جدول (۴-۲۳) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای

Parameter	Algorithm7	Algorithm8	Algorithm9
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.03		
Mean	432380	432100	431640
The Best	419000	419000	419000
The Worst	471000	465000	468000
Number of the Best answers in 100 run	25	13	18
The standard deviation	14562.14825	14196.67	13718.32
The coefficient variance	0.034	0.033	0.032

جدول (۴-۲۴) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی دو حلقه ای

Parameter	Algorithm10	Algorithm11	Algorithm12
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.03		
Mean	435970	436550	434260
The Best	419000	419000	419000
The Worst	469000	471000	464000
Number of the Best answers in 100 run	17	17	12
The standard deviation	16089.68	14171.66	13681.53
The coefficient variance	0.037	0.032	0.032

۴-۳-۶- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی دوم

حالت ۱) تنها با در نظر گرفتن معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ در جدول (۴-۲۵) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ در جدول (۴-۲۶) نشان داده شده است.

جدول (۴-۲۵) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm7	Algorithm8	Algorithm9
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	318955	318551	319599
The Best	310388	310388	310388
The Worst	366910	356371	374299
Number of the Best answers in 100 run	15	10	11
The standard deviation	10258.38	7865.80	11241.96
The coefficient variance	0.032	0.025	0.035

جدول (۴-۲۶) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm10	Algorithm11	Algorithm12
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	320939	325127	322033
The Best	310388	310388	310388
The Worst	416259	365772	364703
Number of the Best answers in 100 run	8	4	4
The standard deviation	12278.28	12687.91	11303.00
The coefficient variance	0.038	0.039	0.035

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۹ و ۸ و ۷ در جدول (۴-۲۷) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ در جدول (۴-۲۸) نشان داده شده است.

جدول (۴-۲۷) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۹ و ۸ و ۷ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm7	Algorithm8	Algorithm9
Fpenalt	$F_{penalt} = \text{Max}F * (\text{Maxpenalt}^{1.1}) * (N / \text{Max}ge) ^{0.8}$		
Fitness	$Ft(i) = (\text{max}f + \text{min}f) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	332688	331092	332757
The Best	313710	313710	313710
The Worst	373232	369220	379989
Number of the Best answers in 100 run	3	2	1
The standard deviation	13101.13	11718.85	13515.99
The coefficient variance	0.039	0.035	0.041

جدول (۴-۲۸) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی دوم

Parameter	Algorithm10	Algorithm11	Algorithm12
Fpenalt	$F_{penalt} = \text{Max}F * (\text{Maxpenalt}^{1.1}) * (N / \text{Max}ge) ^{0.8}$		
Fitness	$Ft(i) = (\text{max}f + \text{min}f) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	336833	338558	338479
The Best	313710	316755	316755
The Worst	376644	392700	399871
Number of the Best answers in 100 run	1	0	0
The standard deviation	14898.74	14461.95	18342.55
The coefficient variance	0.044	0.043	0.054

۴-۳-۷- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر

نیویورک

حالت (۱) تنها با در نظر گرفتن معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ در جدول (۴-۲۹) و نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ در جدول (۴-۳۰) نشان داده شده است.

جدول (۴-۲۹) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm7	Algorithm8	Algorithm9
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	39050006	40473580	40277729
The Best	38132744	38132744	38132744
The Worst	45207917	49877409	50973703
Number of the Best answers in 100 run	26	16	13
The standard deviation	1081294.86	2631614.59	2381675.46
The coefficient variance	0.028	0.065	0.059

جدول (۴-۳۰) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm10	Algorithm11	Algorithm12
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	38367020	38802477	38535721
The Best	38132744	38132744	38132744
The Worst	39469724	44711714	41366157
Number of the Best answers in 100 run	50	49	46
The standard deviation	285449.49	1297298.46	543888.82
The coefficient variance	0.007	0.033	0.014

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۹و۸و۷ در جدول (۴-۳۱) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱۰و۱۱و۱۲ در جدول (۴-۳۲) نشان داده شده است.

جدول (۴-۳۱) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۹و۸و۷ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm7	Algorithm9	Algorithm10
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	40948456	42386446	43066157
The Best	39224473	39224473	39224473
The Worst	46029303	58467836	56062331
Number of the Best answers in 100 run	35	23	11
The standard deviation	1782366.39	3233204.84	3075759.61
The coefficient variance	0.044	0.076	0.071

جدول (۴-۳۲) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Parameter	Algorithm11	Algorithm12	Algorithm12
Fpenalt	$Fpenalt = MaxF * (Maxpenalt^{1.1}) * (N / Maxge) ^ 0.8$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	39517997	40178227	40676995
The Best	39224473	39224473	39224473
The Worst	47928349	46337661	51589403
Number of the Best answers in 100 run	94	64	57
The standard deviation	1394655.97	1578219.83	2456866.56
The coefficient variance	0.035	0.039	0.060

۳-۳-۸- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر

هانوی

حالت (۱) تنها با در نظر گرفتن معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ در جدول (۴-۳۳) و نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ در جدول (۴-۳۴) نشان داده شده است.

جدول (۴-۳۳) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷ و ۸ و ۹ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

Parameter	Algorithm7	Algorithm8	Algorithm9
Fpenalt	$Fpenalt = MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * (N/Maxge)^{0.8}$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	6274153	6276341	6283846
The Best	6081128	6081128	6081128
The Worst	6553885	6561903	6444706
Number of the Best answers in 100 run	4	3	4
The standard deviation	99091.42	105672.19	98159.97
The coefficient variance	0.016	0.017	0.016

جدول (۴-۳۴) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

Parameter	Algorithm10	Algorithm11	Algorithm12
Fpenalt	$Fpenalt = MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * (N/Maxge)^{0.8}$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	6261930	6292515	6291657
The Best	6081128	6081128	6081128
The Worst	6435747	6527525	6588262
Number of the Best answers in 100 run	3	3	1
The standard deviation	92422.79	91884.46	103618.21
The coefficient variance	0.015	0.015	0.016

حالت ۲) با در نظر گرفتن دو معیار طراحی تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان

آب در داخل لوله ها در حد مجاز

نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه های رایانه ای ۹و۸و۷ در جدول (۴-۳۵) و نتایج حاصل از ۱۰۰

بار اجرای برنامه های رایانه ای ۱۰و۱۱و۱۲ در جدول (۴-۳۶) نشان داده شده است.

جدول (۴-۳۵) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۹و۸و۷ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

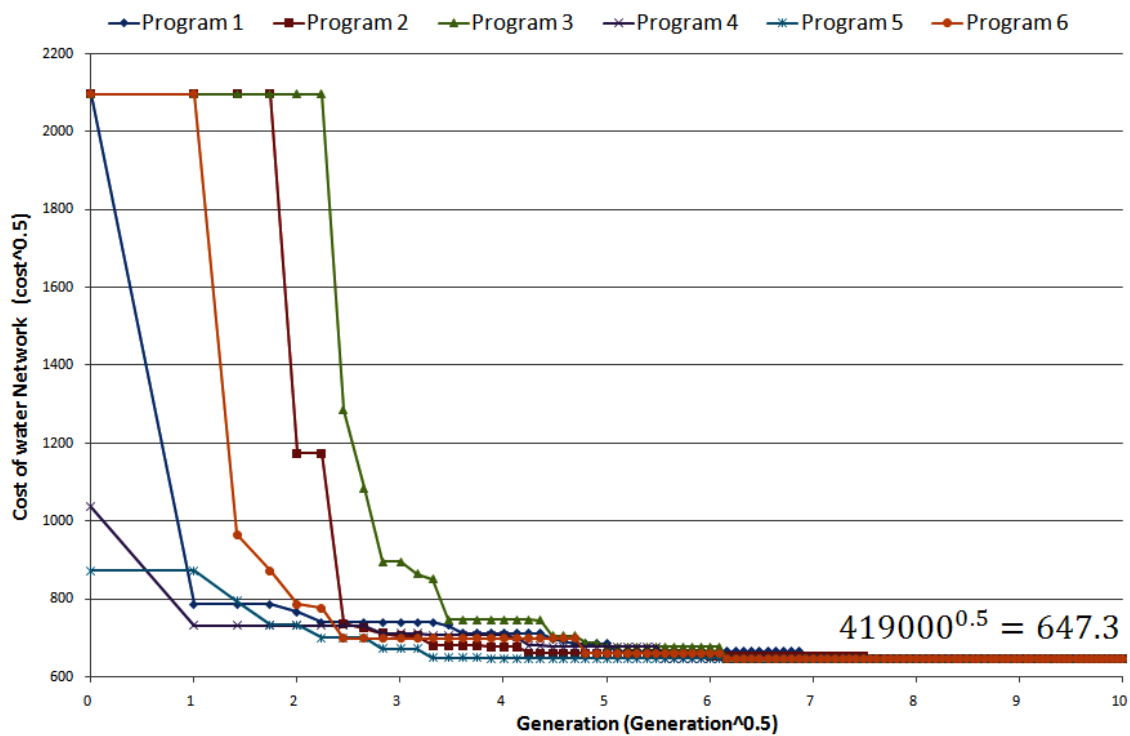
Parameter	Algorithm7	Algorithm8	Algorithm9
Fpenalt	$F_{penalt} = MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * (N/Maxge)^{0.8}$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Tournament	Tournament	Tournament
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	8434207	8547451	8559664
The Best	7597980	7597980	7597980
The Worst	9321605	9199670	9272762
Number of the Best answers in 100 run	2	2	1
The standard deviation	540239.5	530469.8	550896.0
The coefficient variance	0.064	0.062	0.064

جدول (۴-۳۶) نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی

Parameter	Algorithm10	Algorithm11	Algorithm12
Fpenalt	$F_{penalt} = MaxNet * Maxpenalt^{1.1} * (N/Maxge)^{0.8}$		
Fitness	$Ft(i) = (maxf + minf) / F(i)$		
Selection	Roulette Wheel	Roulette Wheel	Roulette Wheel
Crossover	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1	Pcrossover = 1
	uniform	One-point	Two-point
Mutation	Pmutation = 0.01		
Mean	8557279	8941525	8617128
The Best	7597980	7597980	7597980
The Worst	9573691	9988336	9733741
Number of the Best answers in 100 run	1	1	1
The standard deviation	653943.7	856529.1	700985.5
The coefficient variance	0.076	0.096	0.081

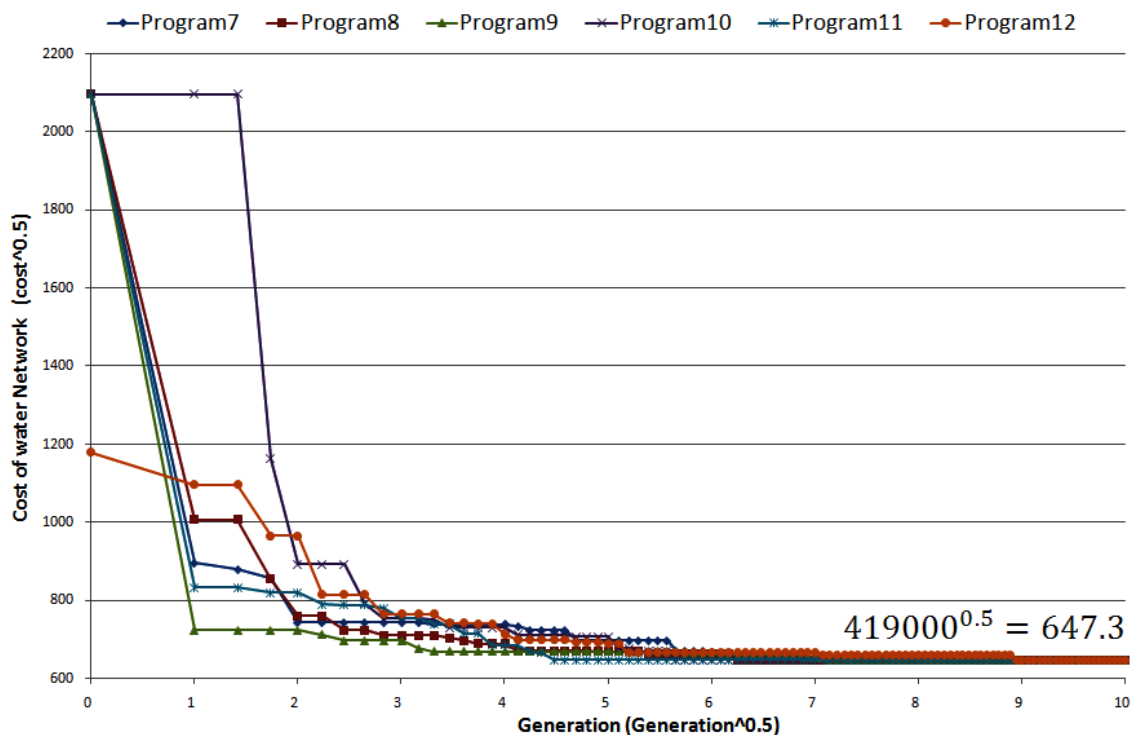
نمودارهای نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای، با توجه به دو تابع هدف اصلاح شده و دو حالت طراحی (حالت ۱، در نظر گرفتن تنها یک معیار طراحی، تأمین فشار مورد نیاز گره ای و حالت ۲، در نظر گرفتن دو معیار طراحی، شامل تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان آب در داخل لوله ها در حد مجاز) به چهار دسته برای هر شبکه آبرسانی تقسیم شده است. در ادامه نمودارهای نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای چهار شبکه آبرسانی ارائه شده است.

نکته: برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای نمودارهای نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای هر دو حالت ۱ و ۲ یکسان می باشد.



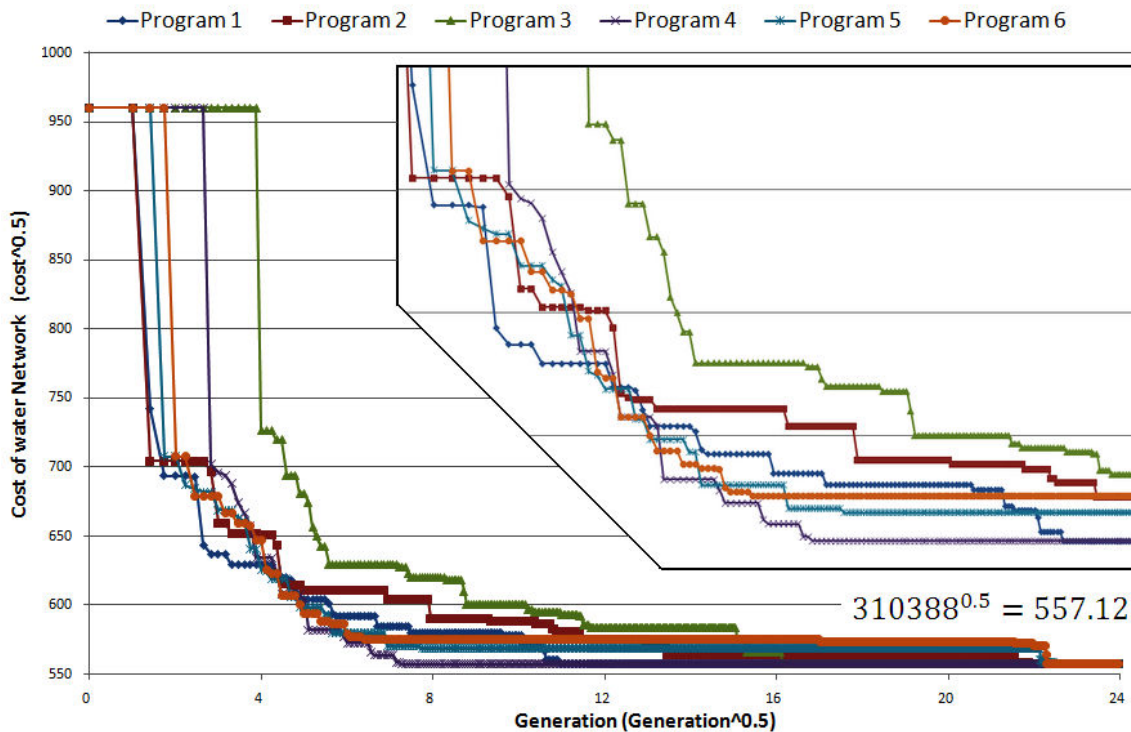
شکل (۴-۶) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای



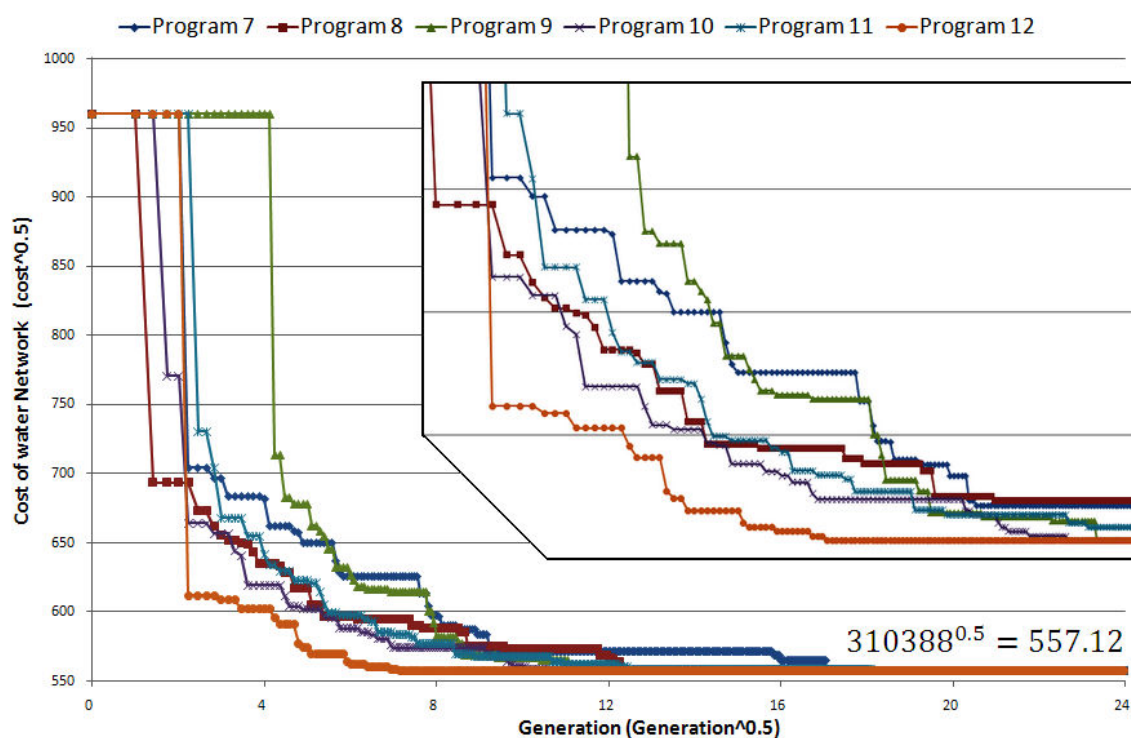
شکل (۷-۴) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای



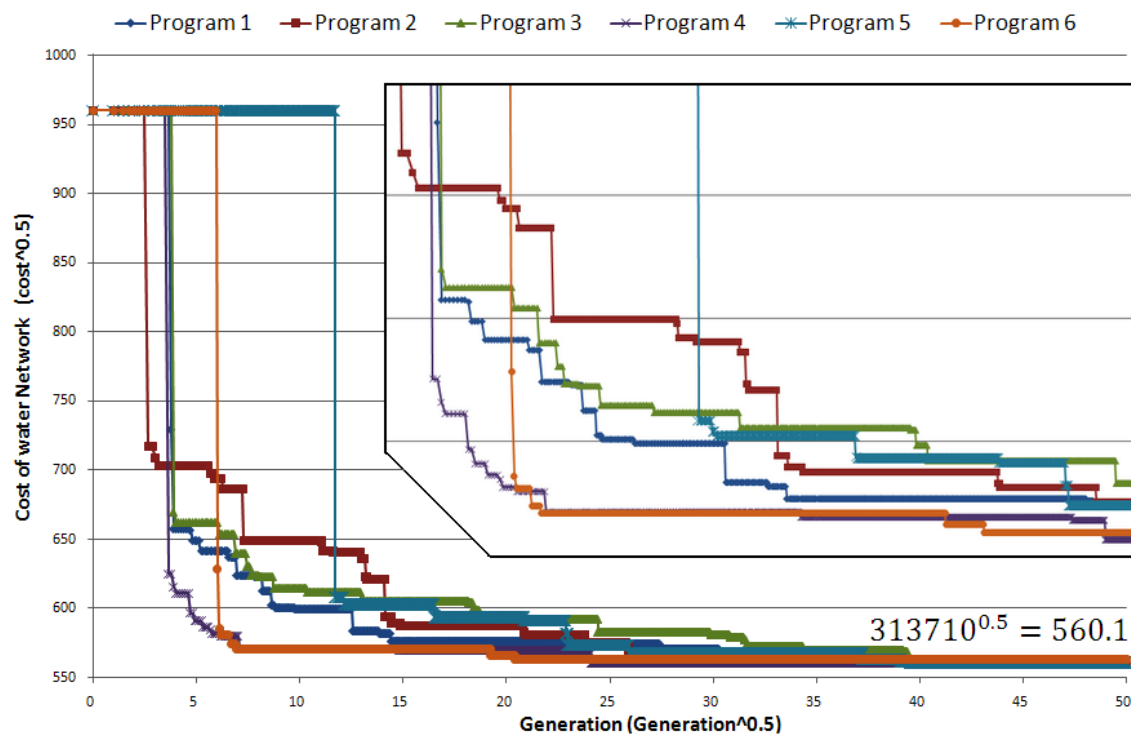
شکل (۸-۴) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۱



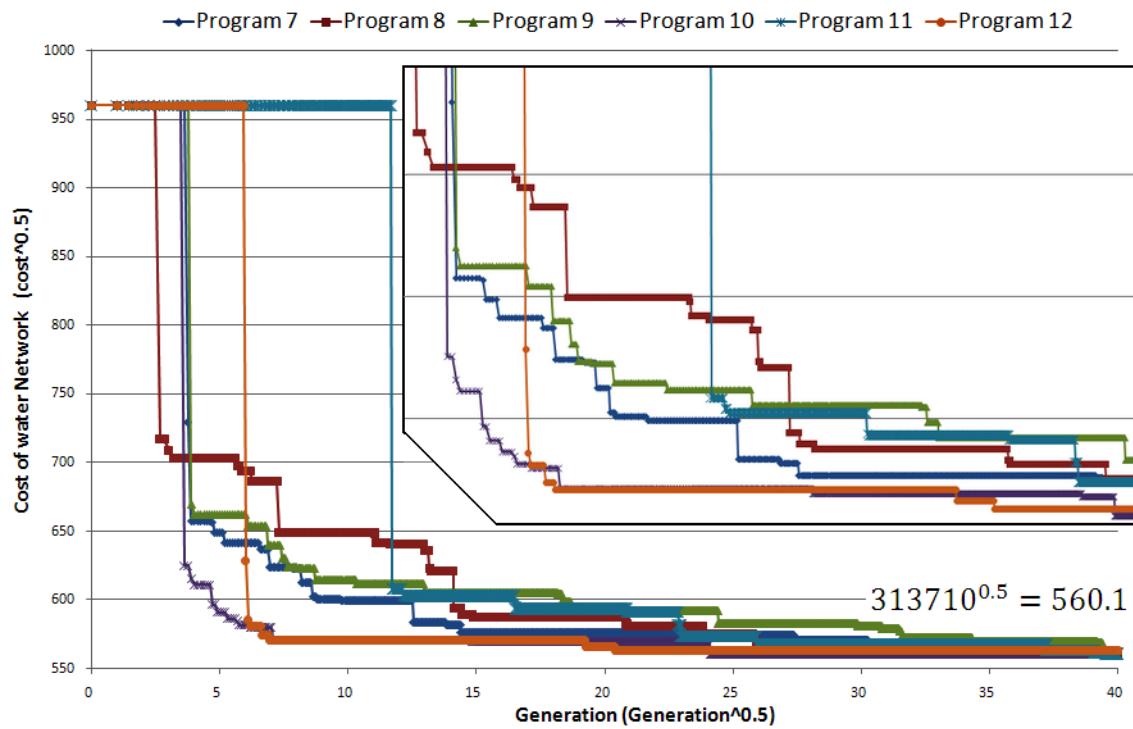
شکل (۴-۹) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۱



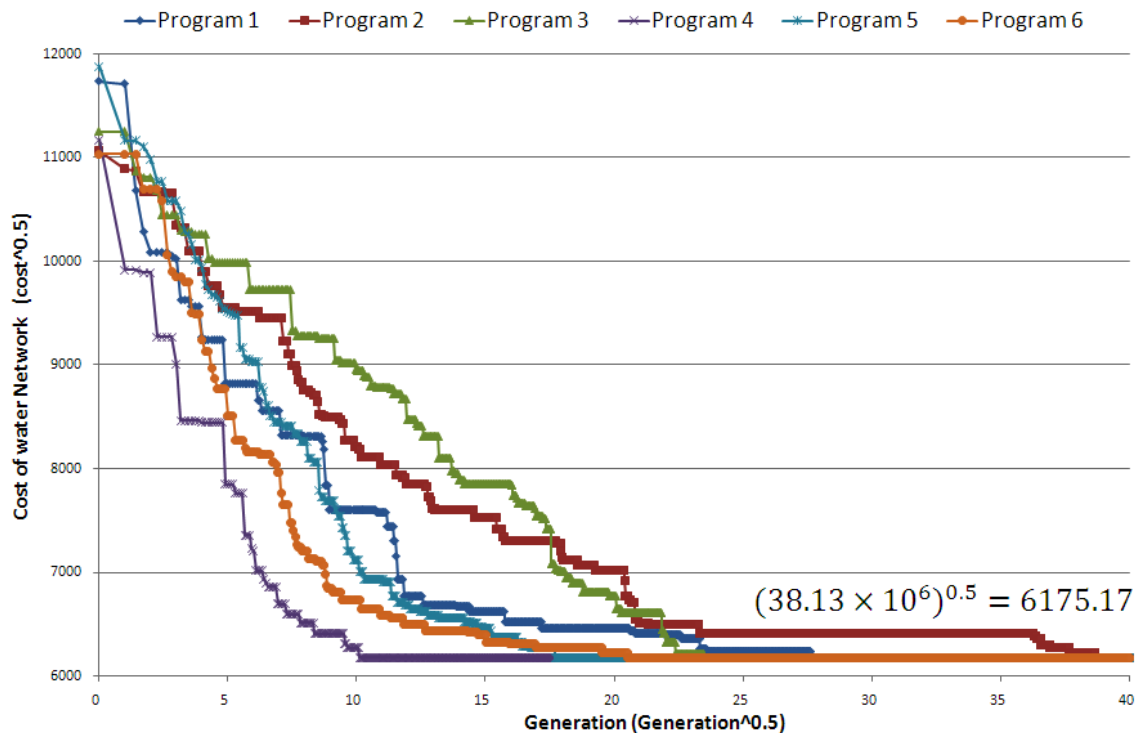
شکل (۴-۱۰) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۲



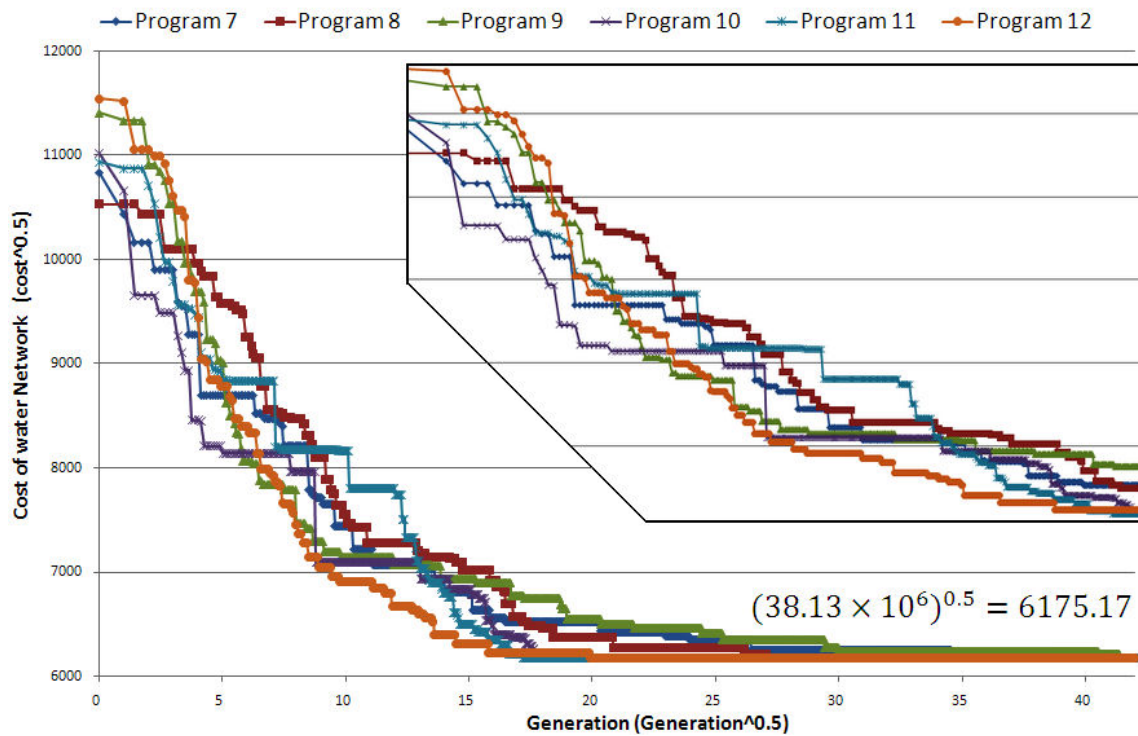
شکل (۴-۱۱) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی دوم در حالت ۲



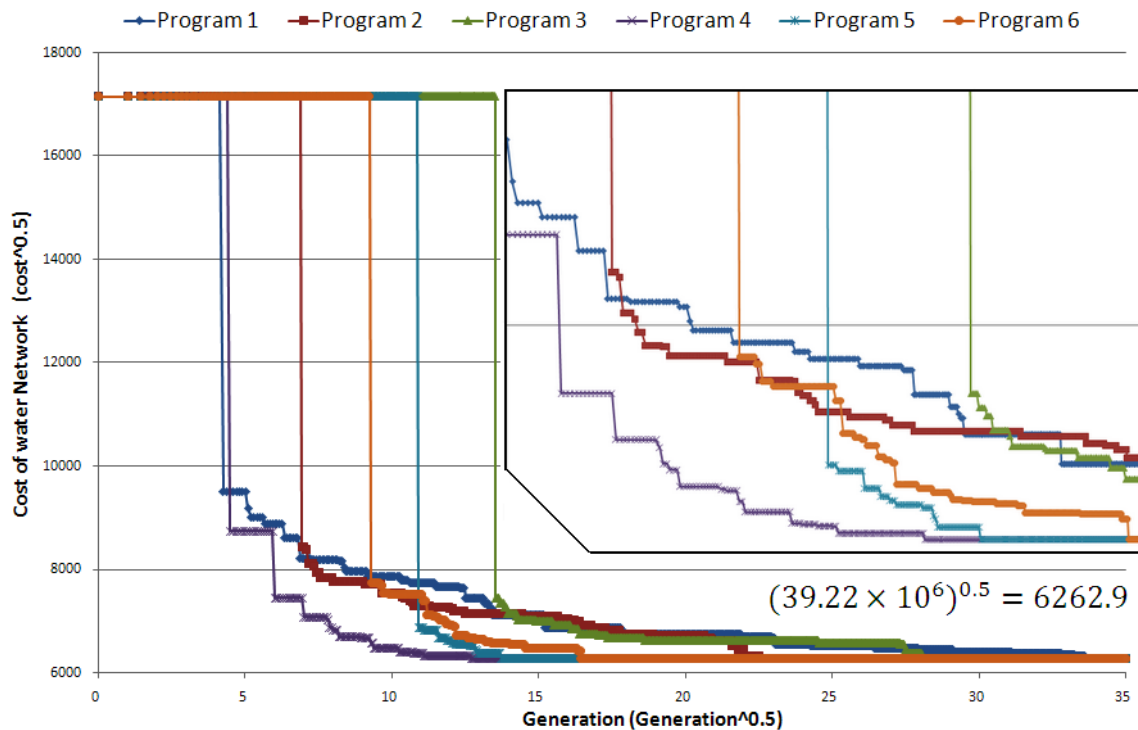
شکل (۴-۱۲) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۱



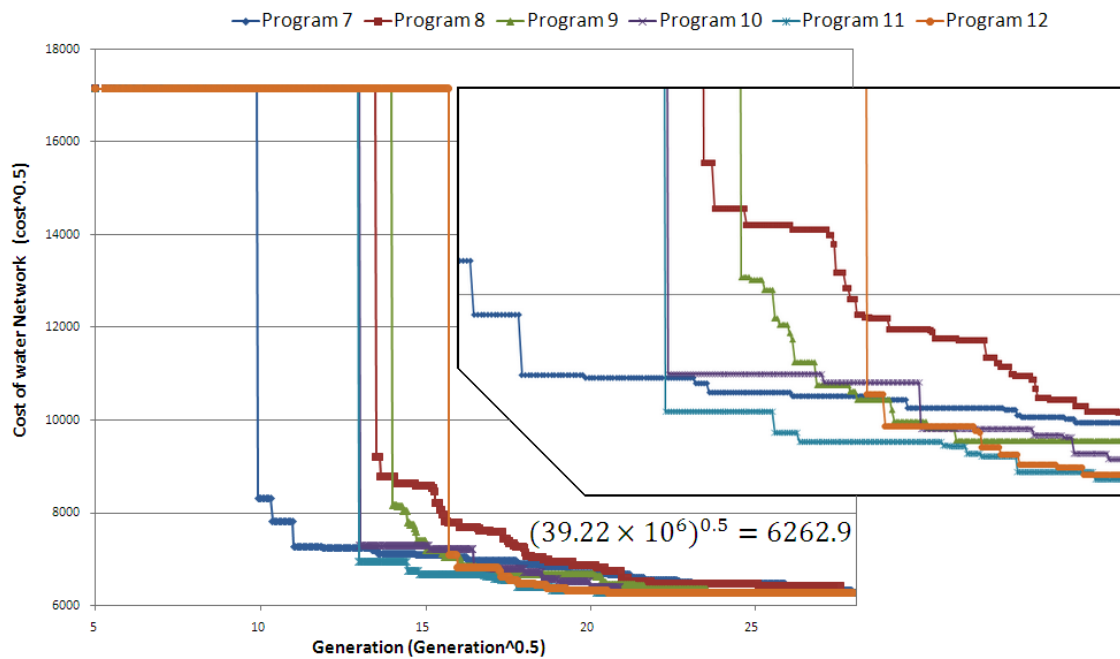
شکل (۴-۱۳) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۱



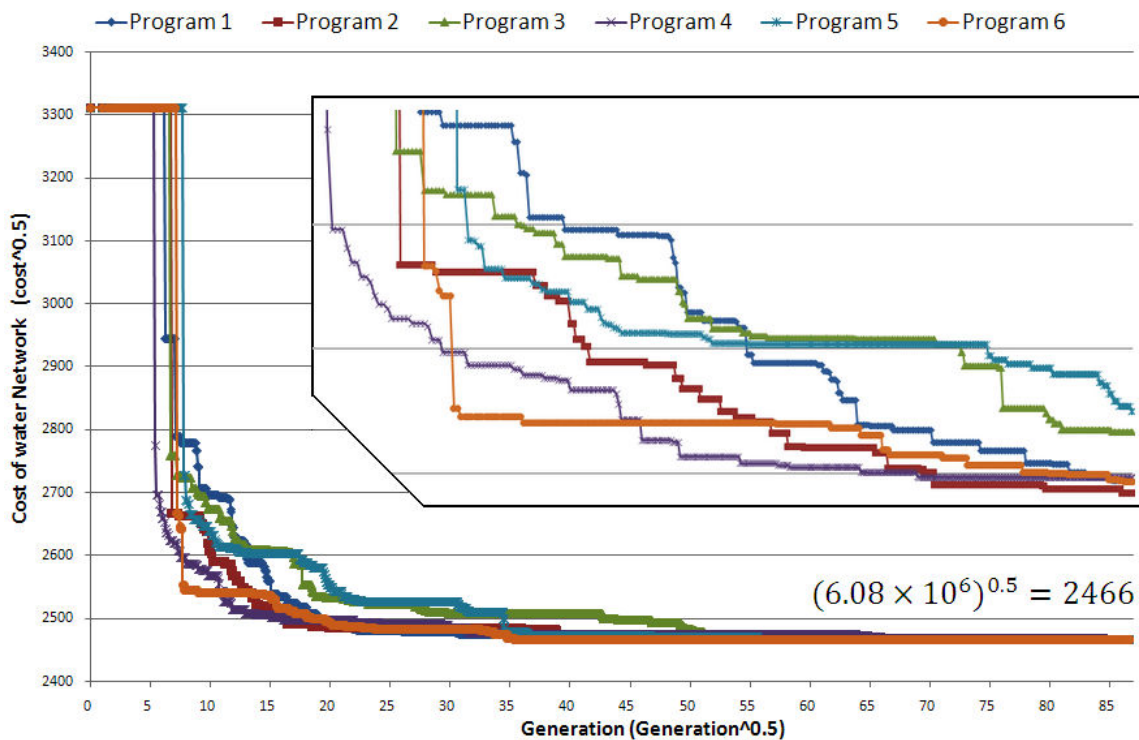
شکل (۴-۱۴) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۲



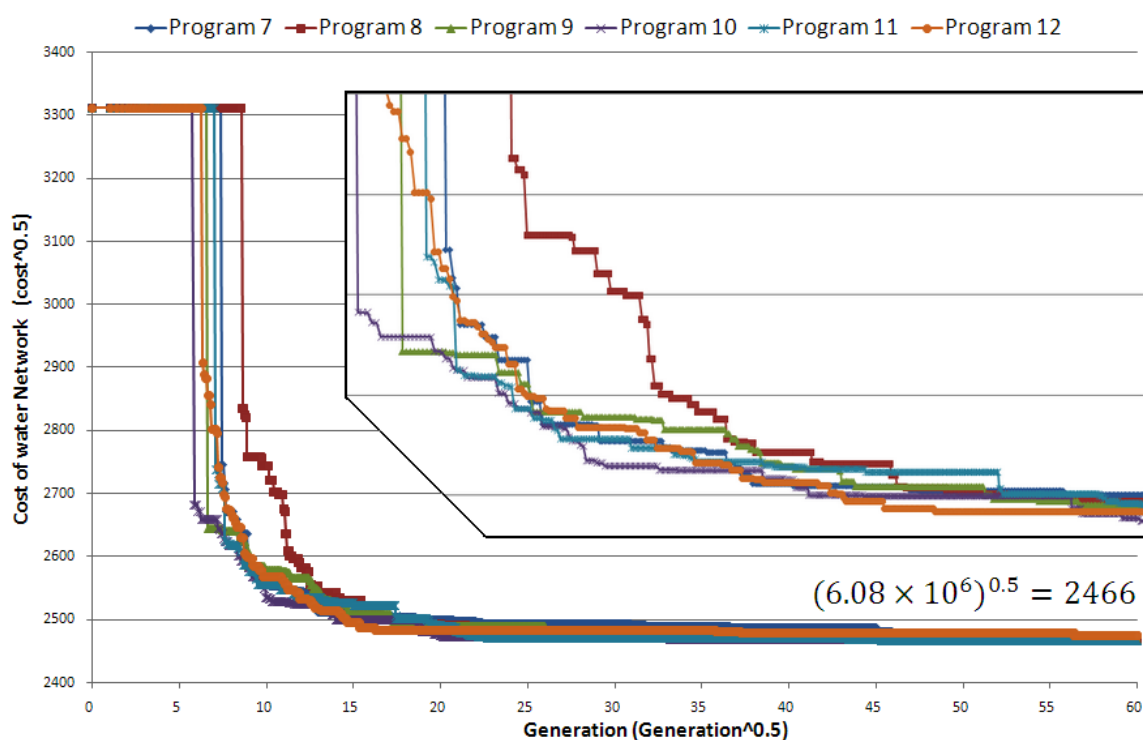
شکل (۴-۱۵) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک در حالت ۲



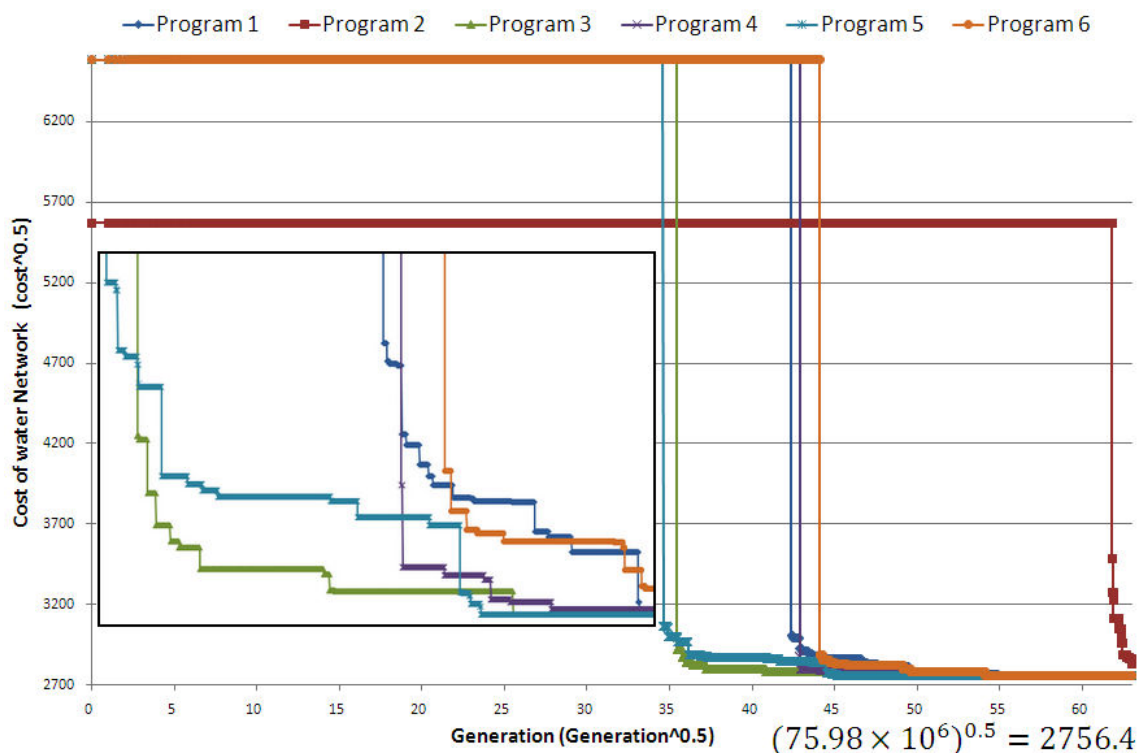
شکل (۴-۱۶) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۱



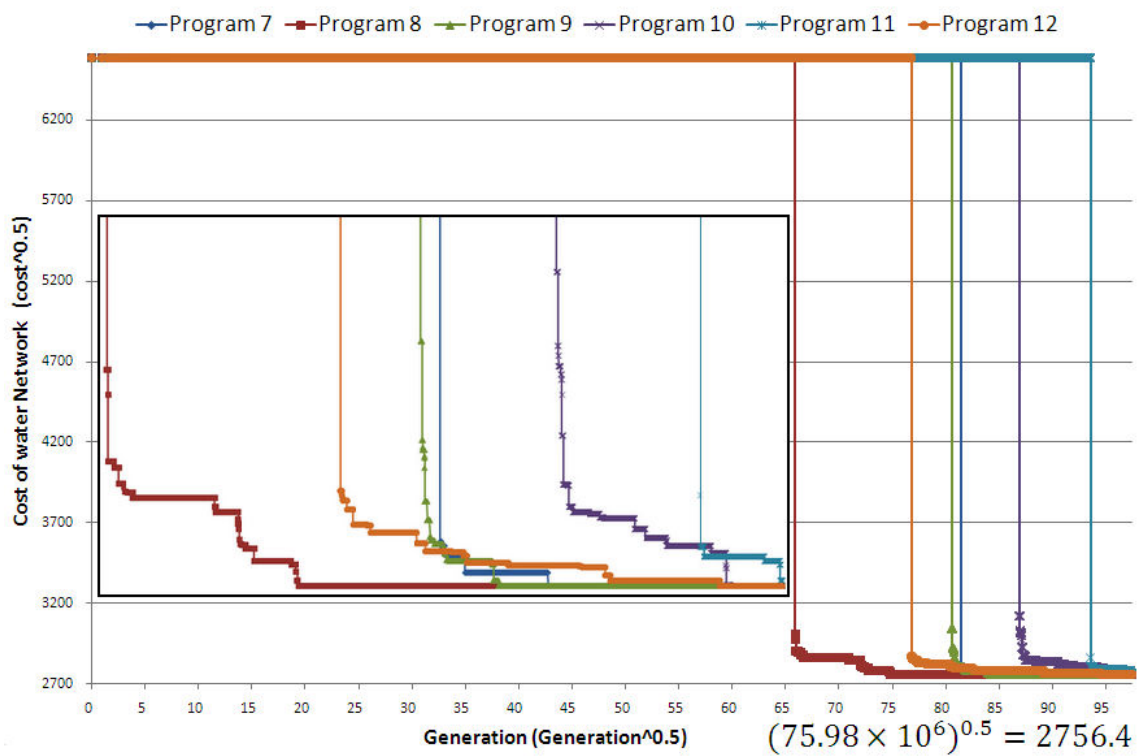
شکل (۴-۱۷) نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۱



شکل (۴-۱۸) نمودار تولید نسل - هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۲



شکل (۴-۱۹) نمودار تولید نسل- هزینه فرآیند بهینه سازی برای بهترین جوابهای اجراهای برنامه های رایانه ای

۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای شبکه آبرسانی شهر هانوی در حالت ۲



فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات کارهای

آتی

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات کارهای آتی

۵-۱- مقدمه

یافتن جوابهای بهینه مطلق برای یک مسئله بهینه سازی همواره ممکن نیست. دلیل حصول جوابهای نزدیک به بهینه در برخی از روش ها از این حقیقت ناشی می شود که دامنه تغییرات متغیرهای گسسته بزرگ می باشند. به عبارت دیگر الگوریتم صریحی برای حل این مسائل با توجه به ابعاد مساله در زمان محدود وجود ندارد.

همانگونه که اشاره شد الگوریتم های فراکاوشی دسته ای از روشهای بهینه یابی است که عموماً برگرفته از طبیعت است. کاربرد موفقیت آمیز روشهای حل مسائل بهینه سازی بر اساس الگوریتمهای نشات گرفته شده از قوانین طبیعت در مسائل پیچیده مهندسی آنچنان دلگرم کننده بوده است که این الگوریتم ها در مقیاس وسیع در حل مسائل پیچیده و مشکل بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته اند. در سالهای اخیر، روشهای مختلف بسیاری جهت ارتقاء عملکرد این الگوریتم ها در رسیدن به معیارهای مورد نظر و کاهش زمان جستجو توسعه یافته اند. بسط الگوریتم ژنتیک بر اساس دو اصل " ادامه حیات بهترین ها" و " تکثیر نوع برتر " استوار است. کاهش هزینه های ایجاد و بهسازی شبکه های آبرسانی به عنوان یک شبکه زیر بنایی و بسیار پر هزینه شهری نیز با روش های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. با افزایش تعداد لوله ها و سایر اجزاء شبکه، امکان استفاده از روشهای ریاضی بهینه سازی و یا روشهای صریح محاسباتی در مدت زمان قابل قبول و یا حافظه محاسباتی موجود کاهش می یابد و رسیدن به جواب بهینه مطلق را مشکل می سازد.

همانگونه که اشاره شد در این رساله، از روش GA برای بهینه یابی شبکه های آبرسانی استفاده شده و با استفاده از دو تابع هدف اصلاح شده متفاوت، دو عملگر انتخاب مختلف (انتخاب چرخ گردان و عملگر انتخاب مسابقه ای) و همچنین سه نوع عملگر پیوند مختلف (پیوند یک نقطه ای، پیوند دو نقطه ای و پیوند یکنواخت)، تأثیر آنها بر میزان بهبود جواب بهینه نهایی مورد نقد و بررسی قرار گرفته شده است.

۵-۲-نتیجه گیری

برای بررسی نتایج دو حالت در نظر گرفته می شود. در حالت اول، مقایسه بین نتایج اجرای برنامه های رایانه ای مختلف برای یافتن تأثیر پارامترهای دخیل در روند بهینه یابی با GA و در حالت دوم مقایسه جواب بهینه بدست آمده از اجرای برنامه های رایانه ای نوشته شده بر روی سه شبکه آبرسانی استاندارد (شبکه آبرسانی دو حلقه ای، شبکه آبرسانی شهر نیویورک و شبکه آبرسانی شهر هانوی) با جوابهای بهینه ارائه شده توسط سایر محققین پرداخته شده است.

۵-۲-۱-مقایسه بین نتایج اجرای برنامه های رایانه ای مختلف

در رساله چون محققان قبلی تنها معیار حداقل فشار در گره ها را ملاک انتخاب شبکه قرار داده بودند برای کاربردی تر شدن نتایج، معیار محدودیت سرعت نیز به آن افزوده شده است. سطح مقایسه بین نتایج حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای برای هر دو حالت ۱ (در نظر گرفتن تنها یک معیار طراحی، تأمین فشار مورد نیاز گره ای) و حالت ۲ (در نظر گرفتن دو معیار طراحی شامل تأمین فشار مورد نیاز گره ای و نگهداری سرعت جریان آب در داخل لوله ها در حد مجاز) در سه مبحث تأثیر نوع تابع هدف اصلاح شده، نوع عملگر انتخاب و نوع عملگر پیوند صورت پذیرفته است.

الف- تأثیر نوع تابع هدف اصلاح شده

حالت ۱) برای مشخص شدن میزان تأثیر تابع هدف اصلاح شده، ۱۲ اجرای برنامه رایانه ای را با توجه به دو تابع هدف اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دو دسته تقسیم شده و مجموع تعداد تکرار جواب بهینه در ۱۰۰ تکرار هر اجرای برنامه رایانه ای محاسبه شده است و بطور خلاصه در جدول (۵-۱) نشان داده شده است. همانطور که در جدول (۵-۱) ملاحظه می شود تابع هدف اصلاح شده نوع ۲ بطور نسبی دارای عملکرد بهتری در رسیدن به جواب بهینه نسبت به تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ است.

نکته ۱: شبکه آبرسانی شهر نیویورک در ظاهر با دارا بودن ۲۱ لوله و ۱۶ سائز لوله قابل انتخاب دارای محدوده جستجو بزرگی می باشد، لیکن در عمل این شبکه به علت قرار گرفتن لوله های موازی برای

بهبود کارایی شبکه آبرسانی موجود، با تعداد لوله های خیلی کمتر به جواب بهینه رسیده است. بنابراین این شبکه دارای محدوده جستجوی کمتری می باشد تا آنجا که می توان گفت شبکه آبرسانی دو حلقه ای دارای از محدوده جستجوی بزرگتری است.

نکته ۲: با بزرگتر شدن شبکه آبرسانی و بیشتر شدن تعداد لوله های قابل انتخاب و بطور کلی با بزرگ شدن فضای جستجو، از میزان عملکرد مثبت تابع هدف اصلاح شده نوع ۲ کاسته شده و به میزان عملکرد مثبت تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ افزوده شده است.

جدول (۱-۵) نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر تابع هدف اصلاح شده

نوع تابع هدف اصلاح شده	F ₁ (X)						F ₂ (X)					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
روش پیشنهادی												
نام شبکه آبرسانی												
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	19	12	17	20	18	15	25	13	18	17	17	12
شبکه آبرسانی دوم	12	5	12	8	5	5	15	10	11	8	4	4
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	18	8	14	55	33	32	26	16	13	50	49	46
شبکه آبرسانی شهر هانوی	4	4	3	3	3	2	4	3	4	3	3	1

حالت ۲) برای مشخص شدن میزان تأثیر تابع هدف اصلاح شده، جدول (۲-۵) برای اجرای برنامه رایانه ای تشکیل شده است. همانطور که در جدول (۲-۵) ملاحظه می شود تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ بطور نسبی دارای عملکرد بهتری در رسیدن به جواب بهینه نسبت به تابع هدف اصلاح شده نوع ۲ می باشد.

جدول (۲-۵) نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر تابع هدف اصلاح شده

نوع تابع هدف اصلاح شده	F ₁ (X)						F ₂ (X)					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
روش پیشنهادی												
نام شبکه آبرسانی												
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	19	12	17	20	18	15	25	13	18	17	17	12
شبکه آبرسانی دوم	3	1	1	1	1	0	3	2	1	1	0	0
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	42	31	24	77	51	50	35	23	11	94	64	57
شبکه آبرسانی شهر هانوی	8	5	4	8	4	3	2	2	1	1	1	1

نکته ۱: در اینجا نیز با بزرگتر شدن شبکه آبرسانی و بیشتر شدن تعداد لوله های قابل انتخاب و بطور کلی با بزرگ شدن فضای جستجو از میزان عملکرد مثبت تابع هدف اصلاح شده نوع ۲ کاسته شده و به میزان عملکرد مثبت تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ افزوده شده است.

ب- تأثیر نوع عملگر انتخاب

حالت ۱) برای مشخص شدن میزان تأثیر نوع عملگر انتخاب، ۱۲ اجرای برنامه رایانه ای بازای دو نوع عملگر انتخاب چرخ گردان و مسابقه ای و دو نوع تابع هدف اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به چهار دسته تقسیم شده و مجموع تعداد تکرار جواب بهینه به ازای ۱۰۰ بار اجرای برنامه رایانه ای در جدول (۳-۵) نشان داده شده است. همانطور که در جدول (۳-۵) مشاهده می شود، برای هر دو تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ و ۲ برای شبکه های با محدوده جستجوی کوچک روش عملگر انتخاب مسابقه ای از عملکرد بهتری نسبت به روش چرخ گردان برخوردار می باشد و با بزرگ شدن فضای جستجو این عملکرد برعکس شده است.

جدول (۳-۵) نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر انتخاب

نوع تابع هدف اصلاح شده	F ₁ (X)						F ₂ (X)					
	Roulette Wheel			Tournament			Roulette Wheel			Tournament		
Selection	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
روش پیشنهادی												
نام شبکه آبرسانی												
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	19	12	17	20	18	15	25	13	18	17	17	12
شبکه آبرسانی دوم	12	5	12	8	5	5	15	10	11	8	4	4
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	18	8	14	55	33	32	26	16	13	50	49	46
شبکه آبرسانی شهر هانوی	4	4	3	3	3	2	4	3	4	3	3	1

حالت ۲) برای مشخص شدن میزان تأثیر نوع عملگر انتخاب جدول (۴-۵) برای ۱۲ اجرای برنامه رایانه ای تشکیل شده است. همانطور که در جدول (۴-۵) ملاحظه می شود، برای شبکه های با محدوده جستجوی کوچک تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ و روش عملگر انتخاب مسابقه ای از عملکرد بهتری نسبت به روش چرخ گردان برخوردار بوده و با بزرگ شدن فضای جستجو این عملکرد برعکس می شود. برای شبکه های با محدوده جستجوی کوچک بطور نسبی تابع هدف اصلاح شده نوع ۲ و

روش عملگر انتخاب مسابقه ای از عملکرد بهتری نسبت به روش عملگر انتخاب چرخ گردان برخوردار می باشد و با بزرگ شدن فضای جستجو این عملکرد برعکس می شود.

جدول (۴-۵) نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر انتخاب

نوع تابع هدف اصلاح شده	F ₁ (X)						F ₂ (X)					
	Roulette Wheel			Tournament			Roulette Wheel			Tournament		
Selection	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
روش پیشنهادی	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
نام شبکه آبرسانی												
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	19	12	17	20	18	15	25	13	18	17	17	12
شبکه آبرسانی دوم	3	1	1	1	1	0	3	2	1	1	0	0
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	42	31	24	77	51	50	35	23	11	94	64	57
شبکه آبرسانی شهر هانوی	8	5	4	8	4	3	2	2	1	1	1	1

ج- تأثیر نوع عملگر پیوند

حالت ۱) برای مشخص شدن میزان تأثیر نوع عملگر پیوند، نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای صورت گرفته را با توجه به دو تابع هدف اصلاح شده و دو نوع عملگر انتخاب (انتخاب چرخ گردان و مسابقه ای) و سه عملگر پیوند (پیوند یکنواخت، یک نقطه ای و دو نقطه ای) به ۱۲ دسته تقسیم شده و مجموع تعداد تکرار جواب بهینه بدست آمده در ۱۰۰ بار اجرا برای هر برنامه رایانه ای محاسبه شده است و بطور خلاصه برای تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ در جدول (۵-۵) و ادامه آن برای تابع هدف اصلاح شده نوع ۲ در جدول (۶-۵) نشان داده شده است.

همانطور که جداول (۵-۵) و (۶-۵) ملاحظه می شود، برای هر دو تابع هدف اصلاح شده نوع ۱ و ۲ عملگرهای انتخاب چرخ گردان و مسابقه ای، عملگر پیوند یکنواخت نسبت به سایر عملگرهای پیوند جواب بهینه را بیشتر تکرار کرده است.

نکته ۱: همانطور که در جدول های (۵-۵) و (۶-۵) مشاهده می شود بعضی از عملگرهای پیوند یکنواخت دارای تعداد تکرار جواب بهینه نهایی مساوی با دیگر عملگرهای پیوند می باشد بدین منظور برای تعیین میزان کیفیت عملکرد عملگر پیوند علاوه بر تعداد تکرار جواب بهینه، در اینجا مقدار میانگین جواب بهینه ۱۰۰ بار اجرا برای هر برنامه رایانه ای نیز مورد توجه قرار گرفته است.

جدول (۵-۵) نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند

نوع تابع هدف اصلاح شده	$F_1(X)$					
	Roulette Wheel			Tournament		
	Selection	Uniform	One-point	Two-point	Uniform	One-point
Crossover						
روش پیشنهادی نام شبکه آبرسانی	1	2	3	4	5	6
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	19	12	17	20	18	15
شبکه آبرسانی دوم	12	5	12	8	5	5
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	18	8	14	55	33	32
شبکه آبرسانی شهر هانوی	4	4	3	3	3	2

جدول (۶-۵) ادامه نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۱ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند

نوع تابع هدف اصلاح شده	$F_2(X)$					
	Roulette Wheel			Tournament		
	Selection	Uniform	One-point	Two-point	Uniform	One-point
Crossover						
روش پیشنهادی نام شبکه آبرسانی	7	8	9	10	11	12
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	25	13	18	17	17	12
شبکه آبرسانی دوم	15	10	11	8	4	4
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	26	16	13	50	49	46
شبکه آبرسانی شهر هانوی	4	3	4	3	3	1

حالت ۲) بطور مشابه حالت های قبل برای مشخص شدن میزان تأثیر نوع عملگر پیوند، جداول (۷-۵) و (۸-۵) برای نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای تشکیل شده است. همانطور که در جداول (۷-۵) و (۸-۵) ملاحظه می شود برای هر دو تابع هدف اصلاح شده ۱ و ۲ و عملگرهای انتخاب چرخ گردان و مسابقه ای، عملگر پیوند یکنواخت نسبت به سایر عملگرهای پیوند جواب بهینه را بیشتر تکرار کرده است.

جدول (۷-۵) نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند

نوع تابع هدف اصلاح شده	$F_1(X)$					
	Roulette Wheel			Tournament		
	Selection					
Crossover	Uniform	One-point	Two-point	Uniform	One-point	Two-point
روش پیشنهادی نام شبکه آبرسانی	1	2	3	4	5	6
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	19	12	17	20	18	15
شبکه آبرسانی دوم	3	1	1	1	1	0
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	42	31	24	77	51	50
شبکه آبرسانی شهر هانوی	8	5	4	8	4	3

جدول (۸-۵) ادامه نتایج حاصل از اجرای ۱۲ برنامه رایانه ای برای حالت ۲ برای تعیین میزان تأثیر نوع عملگر پیوند

نوع تابع هدف اصلاح شده	$F_2(X)$					
	Roulette Wheel			Tournament		
	Selection					
Crossover	Uniform	One-point	Two-point	Uniform	One-point	Two-point
روش پیشنهادی نام شبکه آبرسانی	7	8	9	10	11	12
شبکه آبرسانی دو حلقه ای	25	13	18	17	17	12
شبکه آبرسانی دوم	3	2	1	1	0	0
شبکه آبرسانی شهر نیویورک	35	23	11	94	64	57
شبکه آبرسانی شهر هانوی	2	2	1	1	1	1

۵-۲-۲- مقایسه بین جواب بهینه (شبکه های آبرسانی بهینه) حاصل از اجرای برنامه های

رایانه ای با شبکه های آبرسانی بهینه ارائه شده توسط سایر محققین

همانطور که قبلاً اشاره گردید، چگونگی تحلیل هیدرولیکی هر شبکه آبرسانی یکی از مهمترین بخش های هر الگوریتم بهینه سازی است. بطور کلی محققین برای تحلیل رفتارهای هیدرولیکی شبکه های

آبرسانی در حین فرایند بهینه سازی به دو صورت عمل کرده اند:

(۱) نوشتن کد برنامه برای تحلیل رفتارهای هیدرولیکی شبکه آبرسانی

(۲) استفاده از برنامه های شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی

در ادامه، شبکه های آبرسانی بهینه حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای را با شبکه های آبرسانی بهینه ارائه شده توسط سایر محققین که از برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2) استفاده کرده اند مقایسه شده است.

الف) شبکه آبرسانی دو حلقه ای

جدول (۹-۵) بیان کننده مقایسه شبکه آبرسانی دو حلقه ای بهینه حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای در این رساله با شبکه های آبرسانی بهینه ارائه شده توسط سایر محققین می باشد.

جدول (۹-۵) مقایسه نتایج طرح های بهینه برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای

Case study I: Two-loop Network	Savic and Walters (1997)		Eusuff and Lansey (2003)	Shie-Yui Liong et al. (2004)	LINA PERELMAN et al. (2007)	Present Work
	Genetic algorithm		Shuffled Frog Leaping Algorithm	Shuffled Complex Evolution	adaptive heuristic cross-entropy algorithm	Genetic algorithm
	$\omega=10.5088$	$\omega=10.9031$	Epanet $\omega=10.667$	Epanet $\omega=10.667$	Epanet $\omega=10.667$	Epanet $\omega=10.667$
Pipe number	diameter (in)		diameter (in)	diameter (in)	diameter (in)	diameter (in)
1	18	20	18	18	18	18
2	10	10	10	10	10	10
3	16	16	16	16	16	16
4	4	1	4	4	4	4
5	16	14	16	16	16	16
6	10	10	10	10	10	10
7	10	10	10	10	10	10
8	1	1	1	1	1	1
Cost (\$)	419000	420000	419000	419000	419000	419000
Evaluations	25000	25000				5000
min(Evaluations)	6,500		11,155	1,091	35000	320
average(Evaluations)				1,345		2360
Time	10 min*			18 s**		0.5 s

* According to Savic and Walters (1997) each run took 10 min CPU time on a PC 486/DX 2 50 and one of these solutions were always identified when 10 runs were performed.

** According to Liong and Atiquzzaman (2004) each run took 18s CPU time on a PC Pentium 4 (Processor 1.79 GHz, RAM 512 MB)

نکته: همانطور که در جدول (۹-۵) مشاهده شده است برنامه های رایانه ای ارائه شده در این رساله (همچنین با توجه جدول (۳-۵) برنامه های رایانه ای ۷ و ۴) بسیار توانمند در یافتن جواب بهینه با ارزیابی تعداد شبکه کمتر و همچنین در یک زمان بسیار کم می باشند.

ب) شبکه آبرسانی شهر نیویورک

جدول (۵-۱۰) بیان کننده مقایسه شبکه آبرسانی بهینه شهر نیویورک حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای در این رساله با شبکه های آبرسانی بهینه ارائه شده توسط سایر محققین می باشد.

جدول (۵-۱۰) مقایسه نتایج طرح های بهینه برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Case study II: New York Network	Savic and Walters (1997)		Wu et al. (2001)	M.H. Afshar et al. (2007)	Muzaffar et al. (2003)	Present Work
	Genetic algorithm		Genetic algorithm	Genetic algorithm	Shuffled Frog Leaping Algorithm	Genetic algorithm
	$\omega=10.5088$	$\omega=10.9031$	Epanet $\omega=10.667$	Epanet $\omega=10.667$	Epanet $\omega=10.667$	Epanet $\omega=10.667$
Pipe number	diameter (in)		diameter (in)	diameter (in)	diameter (in)	diameter (in)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	108	0	0	144	132	132
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	144	120	0	0	0
16	96	84	84	96	96	96
17	96	96	96	96	96	96
18	84	84	84	84	84	84
19	72	72	72	72	72	72
20	0	0	0	0	0	0
21	72	72	72	72	72	72
Cost (\$ million)	37.13	40.42	38.8	38.64	38.13	38.13
Evaluations	1000000	1000000				280000
min(Evaluations)			48,427	15860	31,267	4120
average(Evaluations)					31,400	70120
Time						90 s

نکته: همانطور که در جدول (۵-۱۰) مشاهده شده است الگوریتم های ارائه شده در این رساله (همچنین با توجه جدول (۵-۳) برنامه های رایانه ای ۴ و ۱۰) بسیار توانمند در یافتن جواب بهینه با ارزیابی تعداد شبکه کمتر و همچنین در یک زمان بسیار کم می باشند.

ج) شبکه آبرسانی شهر هانوی

جدول (۵-۱۱) بیان کننده مقایسه شبکه آبرسانی بهینه شهر هانوی حاصل از اجرای برنامه های

رایانه ای در این رساله با شبکه های آبرسانی بهینه ارائه شده توسط سایر محققین می باشد.

جدول (۵-۱۱) مقایسه نتایج طرح های بهینه برای شبکه آبرسانی شهر هانوی

Case study III: Hanoi Network	Savic and Walters (1997)		Eusuff and Lansey (2003)	Shie-Yui Liong et al. (2004)	LINA PERELMAN et al. (2007)	Present Work
	Genetic algorithm		Shuffled Frog Leaping Algorithm	Shuffled Complex Evolution	adaptive heuristic cross- entropy algorithm	Genetic algorithm
	$\omega=10.5088$	$\omega=10.9031$	Epanet $\omega=10.666$	Epanet $\omega=10.667$	Epanet $\omega=10.668$	Epanet $\omega=10.667$
Pipe number	diameter (in)		diameter (in)	diameter (in)	diameter (in)	diameter (in)
1	40	40	40	40	40	40
2	40	40	40	40	40	40
3	40	40	40	40	40	40
4	40	40	40	40	40	40
5	40	40	40	40	40	40
6	40	40	40	40	40	40
7	40	40	40	40	40	40
8	40	40	40	30	40	40
9	40	30	30	30	40	40
10	30	30	30	30	30	30
11	24	30	30	30	24	24
12	24	24	24	24	24	24
13	20	16	16	16	20	20
14	16	16	16	12	16	16
15	12	12	12	12	12	12
16	12	16	16	24	12	12
17	16	20	20	30	16	16
18	20	24	24	30	24	24
19	20	24	24	30	20	20
20	40	40	40	40	40	40
21	20	20	20	20	20	20
22	12	12	12	12	12	12
23	40	40	40	30	40	40
24	30	30	30	30	30	30
25	30	30	30	24	30	30
26	20	20	20	12	20	20
27	12	12	12	20	12	12
28	12	12	12	24	12	12
29	16	16	16	16	16	16
30	16	16	16	16	12	12
31	12	12	12	12	12	12
32	12	12	12	16	16	16
33	16	16	16	20	16	16
34	20	20	20	24	24	24
Cost (\$ million)	6.073	6.195	6.195	6.22	6.080	6.080
Evaluations	1000000	1000000				
min(Evaluations)			26987	25402	97,000	37500
average(Evaluations)						152850
Time	3 hr			11 min		105 s

نکته: همانطور که در جدول (۵-۹) مشاهده شده است الگوریتم های ارائه شده در این رساله (همچنین با توجه جدول (۵-۳) برنامه های رایانه ای (۷) بسیار توانمند در یافتن جواب بهینه با ارزیابی تعداد شبکه کمتر و همچنین در یک زمان بسیار کم می باشند.

۵-۳- پیشنهاد کارهای آتی

الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از روش های فراکاوشی پس از گذشت بیش از 25 سال از پیدایی آن همچنان مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته و توسعه داده می شود. علی رغم گذشت بیش از یک دهه از کاربرد الگوریتم ژنتیک در زمینه علوم مهندسی، انجام تحقیقات بیشتر و وسیعتر در زمینه کاربرد الگوریتم ژنتیک در زمینه های مختلف و همچنین توسعه الگوریتم های جدید آن همچنان احساس می گردد. در ادامه در دو بخش جداگانه به پیشنهادات ادامه کار خواهیم پرداخت. در بخش اول، امکان توسعه الگوریتمهای جدید و در بخش دوم پیشنهاداتی در خصوص ادامه کاربرد الگوریتم ژنتیک در زمینه بهینه سازی شبکه آبرسانی ارائه خواهد شد.

۵-۳-۱- زمینه توسعه الگوریتم

۱- استفاده از روش های نوین الگوریتم ژنتیک از قبیل الگوریتم ژنتیک چندجامعه ای و همچنین تعیین موقعیتهای مناسبی همچون گامهای تبادل اطلاعات و ... جهت انجام تحقیقات بیشتر وجود دارد.

۲- استفاده از استراتژی جمعیت اولیه مناسب در شروع عملیات بهینه سازی را می توان مورد بررسی قرار داد.

۳- همانگونه که در خصوص روش فهرست ممنوعه در فصل دوم توضیح داده شد، معرفی یک سری ممنوعه و یک سری مجاز می تواند در بحث الگوریتم های ژنتیک نیز کارایی داشته باشد. لذا به نظر می رسد، ترکیب روش فهرست ممنوعه و الگوریتم ژنتیک بتواند در جهت ایجاد و توسعه الگوریتمی جدید کمک نماید.

۵-۳-۲- زمینه کاربرد ادامه الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی شبکه آبرسانی

۱- در مساله طراحی شبکه توزیع آب فرضیاتی مد نظر بود که به آنها اشاره گردیده است. وارد کردن هر کدام از آن فرضیات ساده کننده به مساله می تواند باعث پیچیدگی بیشتر و نیز نزدیکی به واقعیت گردد. از آن جمله می توان به ثابت فرض کردن تراز آب در منبع اولیه اشاره نمود. در صورتیکه منبع اولیه خود یک مخزن سد باشد، با بهره برداری مخزن و تغییرات تراز آن، مطمئناً تراز ورودی سیستم خط لوله متغیر بوده که به تبع آن طراحی سیستم تغییر خواهد نمود. ثابت فرض کردن دبی طراحی نیز یکی دیگر از فرضیات است. می توان در هر گره ابتدایی شاخه ها، میزان مصرف تعریف نموده و دبی انتقال را به صورت تلسکوپی کاهش داد که به تبع آن طراحی نیز تغییر خواهد نمود. اعمال فشارهای ناشی از جریانهای گذرا، اعمال شیر فشار شکن به عنوان متغیرهای تصمیم اضافی در گره ها، امکان حفر تونل و اعمال هزینه آن در قبال کاهش هزینه های پمپاژ و... نیز از جمله مواردی است که می توان جهت پیچیده تر کردن مدل و حل آن با الگوریتمهای پیشنهادی از آنها استفاده نمود.

۲- یکی دیگر از مواردی که در مساله طراحی شبکه توزیع آب از پیش فرض شده است، جانمایی طرح است. طراحی بهینه جانمایی شبکه توزیع آب از جمله مسایلی است که تاکنون به روش های مختلف توسط محققین آب مورد بررسی قرار گرفته است. ترکیب طراحی بهینه جانمایی با طراحی بهینه شبکه توزیع آب به صورت توأمان با الگوریتمهای پیشنهادی می تواند به عنوان یکی از کارهای تحقیقاتی آتی تعریف گردد.

منابع

فهرست منابع

- [1]. جلالی م، (۱۳۸۴)، پایان نامه دکترا: "طراحی و بهره برداری بهینه هیدروسیستمها با الگوریتم جامعه مورچه ها، یک رهیافت فراکاوشی جدید"، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
- [2]. علیرضا م، ۱۳۸۶، "مقدمه ای بر الگوریتم های ژنتیک و کاربرد های آن"، چاپ دوم، شرکت ناقوس اندیشه، تهران
- [3]. کهرم م، ۱۳۸۵، "سیستم های انتقال آب"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
- [4]. منزوی م، ۱۳۷۷، "آبرسانی شهری"، چاپ دوازدهم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
- [5]. Balla M.C., and Lingireddy S., (2000), "Distributed genetic algorithm model on network of personal computers." J. Comput. Civ. Eng., 143, 199-205
- [6]. Bauer A., Bullnheimer B., Hartl R.F., Strauss C., (1999), "An ant colony optimization approach for the single machine total tardiness problem." In Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation (CEC'99), pages 1445-1450. IEEE Press, Piscataway, NJ.
- [7]. Bhav P.R, (2003), "Optimal design of water distribution networks." Alpha Science International Ltd., Pangbourne, U.K.
- [8]. Blum C., Roli A., (2003), "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison." ACM Computing Surveys, Vol. 35, No. 3, 268-308.
- [9]. Bullnheimer B., Hartl R.F., Strauss C., (1997), "An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem." Technical Report POM-10/97, Institute of Management Science, University of Vienna, Austria.
- [10]. Bullnheimer B., Hartl R.F., Strauss C., (1999), "A new rank-based version of the ant system: A computational study.", Central European Journal for Operations Research and Economics, 7, 1, 25-38.
- [11]. Cherny V., (1985), "Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm.", Journal of Optimization Theory and Application, 45, 41-51.
- [12]. Cordon O., Fernandez de Viana I., Herrera F., Moreno L., (2000), "A new ACO model integrating evolutionary computation concepts: the best-worst ant system.", In

- Proceedings of ANTS'2000-From Ant Colonies to Artificial Ants: Second International Workshop on Ant Algorithms, Brussels, Belgium, pp 22-29
- [13]. Cunha M., and Sousa J, (1999), "Water distribution network design optimization: Simulated annealing approach." *J. Water Resour. Plann. Manage*, 1254, 215-221.
- [14]. Dandy G., Simpson A.R., and Murphy L.J., (1996), "An improved genetic algorithm for pipe network optimization." *Water Resour. Res.*, 322, 449-458.
- [15]. Dejong K.A., (1975), "An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems.", Ph.D. thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI. Dissertation Abstracts International 36(10), 5140B, University Microfilms Number 76-9381.
- [16]. Deneubourg J.L., Aron S., Goss S., (1990), "The self-organizing exploratory pattern of the Argentine ant." *J. Insect-Behav.* 3:159-168.
- [17]. Dorigo M., (1992), "Optimization, learning and natural algorithms." Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano, Milan, Italy.
- [18]. Dorigo M., Gambardella L.M., (1997), "Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem." *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 53-66.
- [19]. Fogel L.J., Owens A.J., Walsh M.J., (1966), *Artificial intelligence through simulated evolution*. Wiley, New York.
- [20]. Geem Z.W., Kim J., and Loganathan G.V., (2002), "Harmony search optimization: application to pipe network design." *Int. J. Model. Simulat.*, 222 , 125-133.
- [21]. Gessler J., (1985), "Pipe network optimization by enumeration." *Proc., Computer. Applications in Water Resources*, ASCE, New York, 572-581.
- [22]. Glover F., (1986), "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence." *Comput. Oper. Res.* 13, 533-549.
- [23]. Glover, F., (1993). "A user's guide to tabu search." *Annals of Operations Research*, 41, 3-28.
- [24]. Goldberg D.E., (1989), "Genetic algorithms in search, optimization and machine learning." Addison-Wesley, Reading, Mass.
- [25]. Goldberg, D.E., and Kuo, (1987), "Genetic algorithm in pipeline optimization." *J. Comput. Civ. Eng.*, 1(2), 128-141.
- [26]. Grasse P., (1959), "La reconstruction dun id et les coordinations interindividuelles chez." *bellicosttermes natalensts et cubitermes sp. La theorie de la stigmergie: essai d'interpretation du comportement des termites constructeurs*, *Insects Sociaux* 6:41-81.

- [27]. Halhal D., Walters G.A., Ouazar D., and Savic D.A., (1997), "Water network rehabilitation with structured messy genetic algorithm." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 1233, 137-146.
- [28]. Hansen P., (1986), "The steepest ascent mildest descent heuristic for combinatorial programming." *Conf. On Numerical Methods in Combinatorial optimization*, Capri, Italy.
- [29]. Hansen P., Mladenovic N., (1999), "An introduction to variable neighborhood search." In *Metaheuristics: Advances and trends in local search paradigms for optimization*, S. Voß, S. Martello, I. Osman, and C. Roucairol, Eds. Kluwer Academic Publishers, Chapter 30, 433-458.
- [30]. Hansen P., Mladenovic N., (2001), "Variable neighborhood search: Principles and applications.", *Europ. J. Oper. Res.* 130, 449-467.
- [31]. Holland J.H., (1975), "Adaption in natural and artificial systems." The University of Michigan Press, Ann Harbor, MI
- [32]. Kadu M.S., Gupta R., and Bhave P.R.,(2005), "Optimal design of water distribution networks using genetic algorithm with reduction in search space." *Proc., One-Day National Conference on Geotechniques and Environment for Sustainable Development*, Nagpur, India, 182-189.
- [33]. Kirkpatrick S., Gellat L., Vecchi M.,(1983), "Optimization by simulated annealing.", *Science*, 220, 671-680.
- [34]. Lippai I., Heaney J.P., and Laguna M., (1999), "Robust water system design with commercial intelligent search optimizers." *J. Comput. Civ. Eng.*, 133, 135–143.
- [35]. Mahendra S. Kadu, Rajesh Gupta, and Pramod R. Bhave., (2008), "Optimal Design of Water Networks Using a Modified Genetic Algorithm with Reduction in Search Space." *J. Water Resour. Plann. Manage.* 134, 147-160
- [36]. Metropolis N., Rosenbluth A., Rosenbluth M., Teller A., Teller E., (1953), "Equation of state calculations by fast computing machines." *Journal of Chemical Physics*, 21, 1087-1092.
- [37]. Moscato P., (1989), "On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: Toward memetic algorithms." *Tech. Rep. Caltech Concurrent Computation Program 826*, California Institute of Technology, Pasadena, Calif.
- [38]. Moscato P., (1999), "Memetic algorithms: A short introduction." In *New Ideas in Optimization*, F. G. D. Corne and M. Dorigo, Eds. McGraw-Hill.

- [39]. Rechenberg I., (1973), "Evolutionsstrategie: Optimierung technischer system nach prinzipien der biologischen Evolution." Frommann-Holzboog.
- [40]. Rossman L.A., (2000), "EPANET, user's manual." U. S. Environment Protection Agency, Cincinnati.
- [41]. Savic D.A., and Walters G.A., (1997), "Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 1232 ,67-77.
- [42]. Stützle T., (1999), "Local search algorithms for combinatorial problems-Analysis, algorithms and new applications." ,DISKI-Dissertationen zur Künstliken Intelligenz. infix, Sankt Augustin, Germany.
- [43]. Stützle T., Hoos H., (1997), "The MAX-MIN ant system and local search for the traveling salesman problem." *Proceedings of IEEE-ICEC-EPS'97, IEEE International Conference on Evolutionary Computation and Evolutionary Programming Conference*, pages 309-314. T. Baeck, Z. Michalewicz, and X. Yao, editors, IEEE Press 1997.
- [44]. Stützle, T., Hoos H., (2000), "Max-Min Ant system." *Future Generation Computer Systems*, 16(8), 889-914.
- [45]. Vairavamoorthy K., and Ali M., (2005), "Pipe index vector: A method to improve genetic-algorithm-based pipe optimization." *J. Hydraul. Eng.*, 13112, 1117-1125.
- [46]. Voudouris C., (1997), "Guided local search for combinatorial optimization problems." Ph.D. dissertation, Department of Computer Science, University of Essex. pp. 166.
- [47]. Voudouris C., Tsang E., (1999), "Guided local search.", *Europ. J. Oper. Res.* 113, 2, 469-499.
- [48]. Wu Z.Y., and Simpson A.R., (2001), "Competent genetic-evolutionary optimization of water distribution systems." *J. Comput. Civ. Eng.*, 152, 89-101.
- [49]. Yates D.F., Templeman A.B., and Boffey T.B., (1984), "The computational complexity of the problem of determining least capital cost designs for water supply networks." *Eng. Optimiz.*, 72 , 142-155.

Abstract

Optimization is an engineering tool to maximize the performance with the lowest cost to benefit ratio thus, many engineers and scientists seek new and reliable optimization techniques. Drinking water as a basic and vital need of all societies is distributed through pipe networks which are expensive structures. As a consequence of development, improvement of the existing networks is a major task in most expanding cities. Optimization of construction and improvement of water distribution networks may reduce the cost of construction projects without deficiency in performance.

The present study dealt with the optimization of water distribution network using genetic algorithm (GA). GA techniques successfully employed to optimize some standard examples as well as some new networks. In this research, a code in Visual Basic (ver. 6) was developed to apply the GA. EPANET 2.0 was employed by the code to find the water velocity in pipes and pressure in nodes of the proposed network. Two fitness functions were used to comply with the pressure (Case1) and pressure- velocity (Case 2) constricts. Various GA operators were employed to study their performance in the process.

The results shows that the GA is capable of lowering the cost of construction to the level found by other optimization techniques. As an improvement, the proposed method needs a much smaller number of generations to reach the optimum answer. Two fitness functions (dynamic and static functions), two operators (Roulette Wheel and Tournament), and three types of crossovers (One point, Two point, Uniform) for two cases (total of 24 combinations) were studied for each example with 100 runs. The number of minimum cost obtained by each combination was recorded. Some combinations returned as many as 94 minimum answers. As a conclusion, GA can be used to design the water distribution networks less expensively.

Keywords:

Optimization, Genetic Algorithm, optimal design, Water supply network, Epanet v.2



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

Hydraulic Structures Department

Optimization of Water Distribution Network using Genetic Algorithm

Mohsen Golzar

supervisors

Dr. F.Z. Saghravani

Dr. V.R. kalatjari

September 2009