





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

گروه عمران - سازه های هیدرولیکی

# بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کمک الگوریتم ژنتیک

دانشجو : محسن گلزار

استاتید 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



۳۱	.....کاربرد الگوریتم بهینه سازی ژنتیک در طراحی شبکه آبرسانی شهری
۳۳	.....۴-۲- آشنایی با الگوریتم ژنتیک
۳۳	.....۱-۴-۲- روش کدگذاری شبه باینری
۳۴	.....۲-۴-۲- شایستگی هر کروموزوم
۳۶	.....۳-۴-۲- تولید مثل
۳۶	.....۱-۳-۴-۲- انواع روش های انتخاب
۳۸	.....۲-۳-۴-۲- عملگر پیوند
۴۰	.....۱-۲-۳-۴-۲- نرخ پیوند
۴۰	.....۳-۳-۴-۲- جهش
۴۲	.....۱-۳-۳-۴-۲- نرخ جهش ( $P_m$ )

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

۴۳	.....۱-۳- مقدمه
۴۳	.....۲-۳- برنامه های نرم افزاری بکار رفته در این رساله
۴۳	.....۱-۲-۳- برنامه شبیه ساز هیدرولیکی و کیفی شبکه های آبرسانی (EPANET v.2)
۴۴	.....۱-۱-۲-۳- قابلیت مدل سازی هیدرولیکی
۴۵	.....۳-۳- مثال های حل شده موجود
۵۳	.....۴-۳- آشنای با برنامه رایانه ای GAWaDiNO
۵۵	.....۵-۳- مشخصات کامپیوتر مورد استفاده شده در رساله
۵۵	.....۶-۳- انواع اجرای برنامه رایانه ای GAWaDiNO

### فصل چهارم : نتایج حاصل از اجرای برنامه های رایانه ای

۵۹	.....۱-۴- مقدمه
۵۹	.....۲-۴- نتایج حاصل از برنامه های رایانه ای

- ۶۰-۲-۴- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی دو حلقه ای.....
- ۶۱-۲-۴- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی دوم.....
- ۶۲-۲-۳- جواب بهینه برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک.....
- ۶۴-۲-۴- 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.....
- ۸۳-۳-۴-۸- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای ۷و۸و۹و۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه آبرسانی شهر هانوی.....
- ۸۵-۳-۴-۸- نتایج اجرای برنامه های رایانه ای مختلف.....

### فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات کارهای آتی

- ۹۶-۱-۵- مقدمه.....
- ۹۷-۲-۵- نتیجه گیری.....
- ۹۷-۱-۲-۵- 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) - فلوچارت 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) - فلوچارت 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 دوحلقه 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 ۴و۵و۶ بر روی شبکه  
آبرسانی شهر نیویورک.....۷۴
- جدول(۴-۱۷)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱و۲و۳ بر روی شبکه  
آبرسانی شهر نیویورک.....۷۵
- جدول(۴-۱۸)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴و۵و۶ بر روی شبکه  
آبرسانی شهر نیویورک.....۷۵
- جدول(۴-۱۹)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱و۲و۳ بر روی شبکه  
آبرسانی شهر هانوی.....۷۶
- جدول(۴-۲۰)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴و۵و۶ بر روی شبکه  
آبرسانی شهر هانوی.....۷۶
- جدول(۴-۲۱)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱و۲و۳ بر روی شبکه  
آبرسانی شهر هانوی.....۷۷
- جدول(۴-۲۲)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۴و۵و۶ بر روی شبکه  
آبرسانی شهر هانوی.....۷۷
- جدول(۴-۲۳)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷و۸و۹ بر روی شبکه  
آبرسانی دو حلقه ای.....۸۰
- جدول(۴-۲۴)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰و۱۱و۱۲ بر روی شبکه  
آبرسانی دو حلقه ای.....۸۰
- جدول(۴-۲۵)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۷و۸و۹ بر روی شبکه  
آبرسانی دوم.....۸۱
- جدول(۴-۲۶)- نتایج حاصل از ۱۰۰ اجرای مختلف برنامه های رایانه ای ۱۰و۱۱و۱۲ 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