بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی عمران ومعماری

گروه عمران – سازه های هیدرولیکی

بهینه سازی شبکه های آبرسانی با الگوریتم های تکاملی مبتنی بر کاهش در فضای جستجو

دانشجو: **علیرضا احمدی**

اساتید راهنما:

دکتر سید فضل ا... ساغروانی

دکتر بهروز حسنی

استاد مشاور:

مهندس محسن گلزار

پایان نامه ارشد

دی ماه ۱۳۸۹

تقدیر وتشکر

از اساتید ارجمندم در طول سالهای شاگردیشان کمال تشکر را دارم. از اساتید ارجمند آقایان دکتر احمدی، دکتر امینی و به ویژه آقایان دکتر ساغروانی و دکتر حسنی برای راهنمایی، مشاوره و هدایت این که در این دوران تحصیل و در این تحقیق مشوق اینجانب بوده و همواره از ایده‌های خوب آنان بهره‌مند گردیده‌ام، خاضعانه سپاسگزارم.

و از پدر و مادر عزیز و همه خانواده ام که با تحمل دشواری‌ها، سبب شدند تا در کمال آسودگی خیال و فراغت بال، شوق آموختن در من زنده بماند و از لطف و رحمت پرودگاری که از ادای شکر حتی یک نعمت او ناتوانم، صمیمانه سپاسگزارم.

چکیده

شبکه های آبرسانی تاسیسات مهم شهری هستند که برنامه ریزی و طراحی آنها نیازمند سرمایه گذاری های کلان می باشد. در این راستا بهینه سازی به عنوان ابزاری برای کمینه کردن هزینه های مرتبط با سیستم های توزیع آب مورد استفاده قرار می گیرد. در چند دهه ی اخیر استفاده از روش های تکاملی جهت بهینه سازی توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است؛ به طوریکه در شبکه های آبرسانی تکنیک های برگرفته از برنامه ریزی خطی و غیر خطی جای خود را به روش هایی همچون الگوریتم ژنتیک و مورچگان داده اند.

رساله ی حاضر به بهینه سازی شبکه های آبرسانی با الگوریتم های ژنتیک و مورچگان می پردازد. در استفاده از GA جهت بهینه سازی ابتدا با استفاده از قابلیت پارامتر سرعت آب و مفهوم مسیر در لوله ها فضای جستجو کاهش می یابد. حل بهینه در GA به عوامل مختلفی همچون اندازه جمعیت، توابع جریمه و برازندگی، عملگرهای GA، تعداد نسل و از همه مهمتر فضای جستجوی محاسباتی بستگی دارد. با کاهش در فضای جستجو امکان ایجاد یک راه حل بهینه در زمان کمتر صورت پذیرفته و احتمال رسیدن به بهینه ی مطلق افزایش می یابد. در GA برای مقایسه ی نتایج از کدگذاری Binary و Gray با عملگرهای انتخاب مسابقه ای و چرخ رولت و عملگرهای ترکیب تک نقطه ای ، دو نقطه ای و یکنواخت استفاده شده است.

در کنار استفاده از بهینه سازی با GA مبتنی بر کاهش در فضای جستجو، از الگوریتم مورچگان نیز جهت بهینه سازی شبکه های آبرسانی استفاده شده است. الگوریتم مورچگان براساس رفتار اجتماعی مورچه ها در یافتن غذا پایه ریزی شده است. در این الگوریتم از سیستم مورچه ی برگزیده در هر تکرار استفاده شده و در برنامه از عملگرهای ترکیب سه نقطه ای و جهش نیز برای بهینه سازی سود برده می شود.

واژگان کلیدی: شبکه های آبرسانی، الگوریتم های تکاملی، کاهش فضای جستجو،

عنوان ..... **صفحه**

تصویب نامه ..... سه

تقدیم و تشکر ..... چهار

تعهد نامه ..... پنج

چکیده ..... شش

فهرست مطالب ..... هفت

فهرست اشکال ..... دوازده

فهرست جداول ..... چهارده

فصل اول: مفاهیم اولیه

۱-۱مقدمه ۱

۱-۲تعریف مسئله ۲

۱-۳ساختار پایان نامه ۲

۱-۴محاسبه شبکه های آبرسانی ۳

۱-۴-۱ محدودیت های فنی ۳

۱-۵ روش های تحلیل شبکه های آبرسانی ۵

۱-۶بهینه سازی ۶

۱-۷ تعاریف ۷

۱-۷-۱ تعریف بهینه سازی ۷

۱-۷-۲ بیان یک مسئله ی بهینه سازی ۸

۱-۷-۳ متغیرهای طراحی ۸

۱-۷-۴ قیدهای طراحی ۸

۱-۷-۵ تابع هدف ۹

۱-۷-۶ دسته بندی مسائل بهینه سازی ۹

۱-۸ روش های فرااکتشافی ۱۰

۱-۹ بهینه سازی شبکه های آبرسانی ۱۰

فصل دوم : مروری بر الگوریتم های بهینه سازی مورد استفاده

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ فرااکتشافات در بهینه سازی ترکیبی ۱۲

۲-۳ طبقه بندی فرااکتشافات ۱۴

۲-۴ الگوریتم بهینه سازی مورچگان ۱۶

۲-۵ الگوریتم ژنتیک ۲۰

۲-۵-۱ اصول اساسی الگوریتم ژنتیک ۲۱

۲-۵-۲ برازندگی دنباله ها ۲۴

۲-۵-۳ مکانیزم انتخاب ۲۴

۲-۵-۳-۱ روش های انتخاب ۲۵

۲-۵-۴ عملگرهای ژنتیکی ۲۶

۲-۵-۵ روند کلی اجرای الگوریتم ژنتیک ۲۸

۲-۵-۶ روش های نمایش ۲۹

۲-۶ مقایسه ی الگوریتم های ژنتیک و جامعه ی مورچگان ۳۰

۲-۷ هدف از انجام تحقیق ۳۲

فصل سوم :روش بهینه یابی و ابزارها

۳-۱ مقدمه ۳۴

۳-۲ برنامه های نرم افزاری مورد استفاده ۳۴
۳-۳ توابع هدف و جریمه ۳۵
۳-۳-۱ تابع هدف ۳۵
۳-۳-۲ تابع جریمه ۳۶
۳-۴ محاسبات با الگوریتم ژنتیک ۳۶
۳-۴-۱ روش پیشنهادی در زمینه ی کاهش فضای جستجو و ابزار های مورد استفاده ۳۶
۳-۴-۱-۱ مفهوم مسیر ۳۷
۳-۴-۱-۲ مشخص کردن قطر متوسط در لوله ها ۳۸
۳-۴-۱-۳ پارامتر سرعت در شبکه ها ۳۸
۳-۴-۲ روند اجرای برنامه ۳۸
۳-۵ بهینه سازی با الگوریتم مورچگان ۴۲

فصل چهارم : نتایج

۴-۱ مقدمه ۴۵
۴-۲شبکه ی دو حلقه ای ۴۵
۴-۲-۱ معرفی شبکه ۴۵
۴-۲-۲ نتایج حاصل از اجرای برنامه ۴۷
۴-۲-۲-۱ قطرهای کاندیدا شده برای شبکه ی دو حلقه ای ۴۹
۴-۲-۲-۲ جواب بهینه شبکه با استفاده از GA و AS ۴۹
۴-۳ شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای ۵۱
۴-۳-۱ معرفی شبکه ۵۱
۴-۳-۲ نتایج حاصل از اجرای برنامه ۵۲

۴-۳-۲-۱ قطرهای کاندیدا شده برای شبکه ی ۱۶ لوله ای ۵۲
۴-۳-۲-۲ جواب بهینه برای شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای ۵۳
۴-۴ شبکه آبرسانی شهر هانوی ۵۵
۴-۴-۱ معرفی شبکه ۵۵
۴-۴-۲ نتایج حاصل از اجرای برنامه ۵۶
۴-۴-۲-۱ قطرهای کاندیدا شده برای شبکه ی آبرسانی هانوی ۵۷
۴-۴-۲-۲ جواب بهینه برای شبکه آبرسانی هانوی ۵۸
۴-۵ شبکه آبرسانی شهر نیویورک ۶۰
۴-۵-۱ معرفی شبکه ۶۰
۴-۵-۲ جواب بهینه برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک ۶۲
۴-۶ مقایسه ی نتایج برنامه با نتایج محققین ۶۳
۴-۶-۱ شبکه آبرسانی دو حلقه ای ۶۳
۴-۶-۲ شبکه آبرسانی شهر هانوی ۶۳
۴-۶-۳ شبکه آبرسانی نیویورک ۶۴
۴-۶-۳ شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای ۶۵
۴-۷ مقایسه ی نتایج با نتایج الگوریتم مورچگان Zecchin et al (2007) ۶۶

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه ۷۰
۵-۲ یافته های این تحقیق ۷۱
۵-۳ پیشنهاد کارهای آتی ۷۱
پیوست الف ۷۳
الف-۱روش های خط سیر ۷۳

الف-۱-۱جستجوی محلی پایه ۷۳
الف-۱-۲الگوریتم جستجوی ممنوعه ۷۳
الف-۱-۳الگوریتم بازپخت شبیه سازی شده ۷۵
الف-۱-۴ روش های جستجوی محلی کاوشگرانه ۷۵
الف-۱-۴-۱GRASP ۷۶
الف-۱-۴-۲ جستجوی همسایگی متغیر ۷۶
الف-۱-۴-۳ جستجوی محلی هدایت شده ۷۶
الف-۱-۴-۴ جستجوی محلی تکراری ۷۷
الف-۲ روشهای مبنی بر جمعیت ۷۷
الف-۲-۱ محاسبه ی تکاملی ۷۷
الف-۲-۲ جستجوی پخشی احتمالی ۷۸
الف-۲-۳ هوش گروهی ۷۸
الف-۲-۳-۱ الگوریتم گروه ذرات ۷۸
پیوست ب نمونه ای خروجی نتایج ۸۱
فهرست منابع ۸۴
چکیده انگلیسی ۸۸

عنوان ..... **صفحه**

شکل (۱-۱)- مقدار بیشینه و کمینه ی تابع f(x) ۷

شکل (۲-۱)- مثالی از تقویت مسیر کوتاه تر توسط مورچه ها از لانه تا منبع غذا ۱۷

شکل (۲-۲)- نمایش مسئله بهینه سازی شبکه توزیع آب به صورت گراف ۱۸

شکل (۲-۳)- انتخاب چرخ رولت ۲۵

شکل (۲-۴)- عمل ترکیب یک نقطه ای ۲۷

شکل (۲-۵)- عمل ترکیب دو نقطه ای ۲۸

شکل (۲-۶)- عمل جهش ۲۸

شکل (۲-۷)- کدگذاری باینری ۲۹

شکل (۲-۸)- کدگذاری جهشی ۲۹

شکل (۲-۹)- کدگذاری ارزشی ۳۰

شکل (۳-۱)- فلوچارت فرآیند بهینه سازی شبکه های آبرسانی با الگوریتم ژنتیک مبتنی بر کاهش در فضای جستجو ۴۱

شکل (۳-۲)- فلوچارت فرآیند بهینه سازی شبکه های آبرسانی با الگوریتم مورچگان ترکیبی ۴۴

شکل (۴-۱)- طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دو حلقه ای ۴۶

شکل (۴-۲)- طرح پیکربندی شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای ۵۱

شکل (۴-۳)- طرح شبکه آبرسانی هانوی ۵۵

شکل (۴-۴)- طرح پیکربندی شبکه آبرسانی شهر نیویورک ۶۰

شکل (۴-۵)-نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی دو حلقه ای با استفاده از کدگذاری باینری ۶۷

شکل(۴-۶)- نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی دو حلقه ای با استفاده از کدگذاری جهشی ۶۸

شکل(۴-۷)- نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای با استفاده از کدگذاری جهشی..... ۶۸

شکل(۴-۸)- نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای با استفاده از کدگذاری باینری..... ۶۹

شکل(۴-۹)- نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی شهر هانوی با استفاده از کدگذاری جهشی..... ۶۹

شکل(الف-۱)-به روز شدن سرعت و موقعیت یک ذره..... ۸۰

عنوان جدول ..... صفحه

جدول (۴-۱)- مشخصات گره های شبکه آبرسانی دو حلقه ای..... ۴۶

جدول (۴-۲)- سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه ی واحد طول هر لوله..... ۴۶

جدول (۴-۳)- پارامترهای استفاده شده الگوریتم مورچگان در شبکه ی دو حلقه ای..... ۴۷

جدول (۴-۴)- اندازه قطرهای کاندید شده در هر لوله ی شبکه ی دو حلقه ای..... ۴۹

جدول (۴-۵)- نتایج حاصل برای شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای..... ۴۹

جدول (۴-۶)- نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه دو حلقه ای با کدگذاری جهشی..... ۵۰

جدول (۴-۷)- نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه دو حلقه ای با کدگذاری باینری..... ۵۰

جدول (۴-۸)- مشخصات گره های شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای..... ۵۱

جدول (۴-۹)- اندازه لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هر لوله برای شبکه آبرسانی ۱۶ لوله-ای..... ۵۲

جدول (۴-۱۰)- پارامترهای استفاده شده در شبکه های ۱۶ لوله ای با استفاده از AS_{elite}..... ۵۲

جدول (۴-۱۱)- اندازه قطرهای کاندید شده ی هر لوله در شبکه ی ۱۶ لوله ای..... ۵۲

جدول (۴-۱۲)- نتایج حاصل برای شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای..... ۵۳

جدول (۴-۱۳)- نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه ۱۶ لوله ای..... ۵۴

جدول (۴-۱۴)- نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه ۱۶ لوله ای..... ۵۴

جدول (۴-۱۵)- سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه ی واحد طول هر یک از لوله ها در شبکه ی شهر هانوی..... ۵۵

جدول (۴-۱۶)- مشخصات هر یک از لوله ها و گره های شبکه ی هانوی..... ۵۶

جدول (۴-۱۷)- پارامترهای استفاده شده در شبکه ی هانوی با استفاده از AS_{elite}..... ۵۶

جدول (۴-۱۸)- اندازه قطرهای کاندید شده ی هر لوله در شبکه ی شهر هانوی..... ۵۷

جدول (۴-۱۹)- نتایج حاصل برای شبکه ی آبرسانی شهر هانوی با GA..... ۵۷

جدول (۴-۲۰)- نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه شهر هانوی..... ۵۹

جدول (۴-۲۱)- مشخصات لوله ها و گره ها در شبکه آبرسانی شهر نیویورک ۶۱

جدول (۴-۲۲)- سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه ی واحد طول هر لوله در شبکه آبرسانی شهر نیویورک..... ۶۱

جدول (۴-۲۳)- پارامترهای استفاده شده در شبکه ی نیویورک با استفاده از AS_{elite}..... ۶۲

جدول (۴-۲۴)- جواب بدست آمده از اجرای برنامه در شبکه آبرسانی شهر نیویورک..... ۶۲

جدول (۴-۲۵)- مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای با نتایج محققین دیگر..... ۶۳

شکل (۴-۲۶)- مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی شهر هانوی با نتایج محققین دیگر..... ۶۴

جدول (۴-۲۷)- مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی شهر نیویورک با نتایج محققین..... ۶۵

جدول (۴-۲۸)- مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای با نتایج محققین دیگر..... ۶۶

جدول (۴-۲۹)- مقایسه ی نتایج با نتایج الگوریتم مورچگان Zecchin et al (۲۰۰۷) ۶۷

جدول(ب-۱)- نتایج خروجی برنامه از ۱۰۰ بار اجرا برای شبکه ی دو حلقه ای..... ۸۱

جدول(ب-۲)- نتایج خروجی برنامه از ۲۰ بار اجرا برای شبکه ی دو حلقه ای..... ۸۳

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

شبکه های توزیع آب سازه های مهمی در فعالیتهای صنعتی و شهری می باشند. شبکه های آبرسانی شهری دارای وظایفی هستند که مهمترین آنها عبارتند از تأمین آب آشامیدنی، تأمین آب مورد نیاز دستگاه ها و تأسیسات بهداشتی از قبیل حمام ها، توالتها و . . . ، تأمین آب مورد نیاز کارخانه ها، تأمین آب لازم برای آبیاری فضاهای سبز و تأمین آب مورد نیاز تأسیسات سازمان های آتش نشانی در مواقع آتش سوزی. یک شبکه ی آبرسانی شهری باید قادر باشد وظایف و نیازهای آبی را از نظر کیفی و کمی برابر استانداردهای موجود به خوبی انجام دهد.

شبکه های آبرسانی از مجموعه ای از لوله ها، مخازن، پمپ ها و شیرها تشکیل شده اند. به طور کلی شبکه های توزیع آب به سه دسته ی شبکه ی شاخه ای، شبکه حلقوی و شبکه مرکب تقسیم می شوند [۱].

۱-۲ تعریف مسئله

طراحی شبکه های آبرسانی با توجه به محدودیت های فنی با انتخاب مناسب قطر در لوله ها صورت می گیرد. یک شبکه ی توزیع آب بایستی بتواند مقدار فشار حداقل در گره ها را برآورده کرده، مقدار سرعت در لوله ها را در حد قابل قبولی نگه داشته و کمترین هزینه را ایجاد کند. اجرای شبکه های آبرسانی همیشه با هزینه های بسیاری همراه است و از آنجایی که طراحی بهینه می تواند تاثیر زیادی در کاهش هزینه های چنین طرح هایی داشته باشد، لذا استفاده از روش های نوین بهینه سازی ضروری به نظر می رسد. در عمل مهندسین از روش های سنتی مبتنی بر آزمون و خطا و قضاوت مهندسی و روشهایی نظیر برنامه ریزی خطی[1] و غیر خطی[2] استفاده می کردند، که برخی اوقات تأثیر زیادی در هزینه ی ساده سازی مدلهای بهینه سازی داشته اند و به دلیل اینکه در چنین روش هایی هیچ تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه و یا نزدیک به آن وجود نداشت، تحقیقات در زمینه ی

[1] Linear programming
[2] Nonlinear programming

ابداع و گسترش روش های نوین بهینه سازی صورت گرفت. امروزه در ادامه مدل های کلاسیک بهینه سازی، روشهای دیگری با الهام گرفتن از شرایط طبیعی به تدریج توسعه یافته اند. در کنار استفاده از نرم افزارها و روش های بهینه سازی، به فضای جستجوی شبکه ها نیز توجه شده است. فضای جستجو در واقع تمام جواب های ممکن را ارائه می دهد. یک شبکه ی آبرسانی بزرگ با تعداد انتخاب های زیاد در هر لوله باعث کاهش کارایی و اثرپذیری در استفاده از روش های بهینه سازی مورد استفاده می گردد. تحقیقات در زمینه ی کاهش فضای جستجو چنانچه با معیارهای مناسبی همراه باشد، می تواند به افزایش کارکرد و کیفیت روش های بهینه سازی منجر گردد. در این پایان نامه، شبکه هایی که توسط محققین مختلف استفاده شده اند تحت آزمایشات عددی بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن فضای جستجوی کاهش یافته و الگوریتم مورچگان با فضای جستجو کل قرار گرفته اند و نتایج ارائه شده است.

۱-۳ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در پنج فصل ارائه می شود.

فصل اول به تعریف مسئله، ساختار پایان نامه و تعاریف اولیه در مورد مسائل بهینه سازی می پردازد. در فصل دوم الگوریتم های استفاده شده در مسئله وکارهای صورت گرفته مورد بحث قرار می گیرد. فصل سوم روش ها و ابزارهای مورد استفاده در پایان نامه را ارائه می دهد. در فصل چهارم نتایج حاصل شده از اجرای برنامه در شبکه های مورد نظر و مقایسه ی نتایج با سایر محققین ارائه خواهد شد. و در فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات برای انجام پژوهش های آتی ارائه می شود. و در نهایت بعد از پیوست های اشاره شده، منابع استفاده شده در پایان نامه ذکر می گردد.

۱-۴ محاسبه شبکه های آبرسانی

منظور از محاسبه ی شبکه توزیع آب، محاسبه دبی جریان آب (یا سرعت) و افت فشار در هر یک از لوله های یک شبکه می باشد. یک شبکه آبرسانی باید قادر باشد نیازهای آبی را از نظر کمی و کیفی برآورده سازد. آب خروجی از یک شبکه آبرسانی باید استاندارد لازم را از نظر کیفی (خواص فیزیکی و

شیمیایی) و از نظر کمی (دبی و فشار لازم) دارا باشد. شبکه ی شاخه ای ساده ترین نوع شبکه را تشکیل می دهد، در این شبکه فقط یک مسیر انتقال آب از یک گره چشمه تا یک گره خاص مصرف وجود دارد. در این شبکه ها اگر برای تعمیر یا تعویض لوله ای، جریان ورودی به آن قطع شود، تمام گره های مصرف در پایین دست آن لوله به طور کامل ارتباطشان با گره چشمه قطع خواهد شد و بدون آب خواهد ماند. همچنین در انتهای خطوط آبرسانی آب به علت کمی یا عدم مصرف راکد مانده و باعث تغییر در مزه ی آن می گردد.

در شبکه حلقوی از یک گره ی چشمه تا یک گره خاص مصرف مسیرهای مختلفی وجود دارند و چنانچه مسیری قطع شود، آب از دیگر مسیرها به آن گره منتقل می شود. در این شبکه ها آب از مسیرهای مختلف وارد شبکه می شود و آب هیچگاه در یک نقطه جمع نمی شود و با توجه به محل مصرف تغییر جهت می دهد. شبکه های مرکب همانگونه که از نامشان پیداست از ترکیب هر دوشبکه ی حلقوی و شاخه ای حاصل می گردد.

بنابراین، آبرسانی بوسیله شبکه های شاخه ای از قابلیت کمتری نسبت به شبکه های حلقوی برخوردار می باشند. شبکه های شاخه ای ارزانتر و معمولاً طرح و تحلیل آنها آسانتر از شبکه های حلقوی است. از شبکه های آبرسانی شاخه ای بیشتر برای آبرسانی صنعتی، آبیاری بارانی و توزیع آب در اجتماعات کوچک و روستاها استفاده می شود.

در شبکه های آبرسانی با در نظر گیری معیارهای سرعت و فشار در گره ها و لوله ها به تعیین قطر می پردازند[۱] و [۲].

۱-۴-۱ محدودیت های فنی

الف) محدودیت در سرعت

- ماکزیمم سرعت نباید در لوله های شبکه آبرسانی شهری از حدودی بیشتر گردد، زیرا زیاد شدن سرعت از یک سو سبب افزایش افت فشار و در نتیجه گران شدن تأسیسات ایجاد فشار در شبکه می گردد و 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 محل اتصالات افزایش می یابد. همچنین به علت احتمال بسته شدن ناگهانی قسمتی از لوله، در بقیه ی قسمت های شبکه ایجاد ضربه قوچ می کند و ممکن است سبب شکسته شدن لوله گردد.

- حداقل سرعت آب در لوله های شبکه آبرسانی شهری بدین جهت در نظر گرفته می شود که در اثر سرعت کم جریان آب، رسوب بیشتری در لوله ها ایجاد می گردد. گازهای محلول در آب به صورت حباب هایی در می آیند که در بخشهای بلند شبکه جمع شده و جریان آب را مختل می سازند. به علاوه ، کمی سرعت و آب ایستا سبب تغییر مزه ی آب شده و از گوارایی آن می کاهد.

ب) محدودیت فشار

بیشترین فشار در هر شبکه آبرسانی باید به اندازه ای باشد که لوله ها بتوانند آنرا مخصوصاً در محل اتصالات تحمل نمایند. خطر ترکیدن لوله در نقاط پست و گود شهر و همچنین در نیمه های شب که جریان شبکه ناچیز و در نتیجه افت فشار به حداقل و فشار به بیشترین مقدار خود می رسد، بیشتر می گردد. حداقل فشار در شبکه شهری باید به اندازه ای باشد که در ابتدای هر انشعاب فشار لازم برای مصرف کننده در لوله وجود داشته باشد. به طور تقریبی می توان حداقل فشار لازم در شبکه را در شهر های بزرگ ۴۰ متر و در شهرهای کوچک ۳۰ متر اختیار نمود.

برای محاسبه ی افت فشار درلوله ها از روابط رایج زیر استفاده می شود:

❖ معادله ی دارسی-ویزباخ[1]

$$h_l = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \qquad (۱-۱)$$

❖ معادله ی هیزن-ویلیامز[2]

$$h_l = \frac{4.72LQ^{1.852}}{C^{1.852}d^{4.871}} \qquad (۱-۲)$$

[1] Darcy-Weisbach
[2] Hazen-Williams

❖ معادله ی شزی-مانینگ[1]

$$h_l = \frac{4.66n^2LQ^2}{d^{5.33}} \qquad (۳-۱)$$

فرمول هیزن-ویلیامز، بیشترین کاربرد و مناسبترین معادله افت فشار برای محاسبه افت فشار در شبکه های آبرسانی می باشد، فرمول دارسی ویسباخ بیشتر برای جریان های لایه ای و سیالات دیگری غیر از آب قابل استفاده است و فرمول شزی-مانینگ عموماً برای جریان در کانال های روباز استفاده می شود.

ج) محدودیت قطر لوله

در مواقع آتش سوزی و درهنگام ترکیدن لوله، در بعضی از لوله های شبکه آبرسانی دبی جریان به طور ناگهانی افزایش می یابد. این افزایش دبی در لوله های اصلی و بزرگ تأثیر چندانی ندارد ولی در لوله های فرعی و کوچک سبب افت در فشار می شود که این امر می تواند به ایجاد مکش در لوله های آن بخش از شهر بیانجامد.

۱-۵ روش های تحلیل شبکه های آبرسانی

در حل یک شبکه آبرسانی باید قوانین بقا (کرشهف) همواره صادق باشند[۳] :

۱- جمع دبی های ورودی با دبی های خروجی در هر گره برابر صفر می باشد (به جز در گره های متصل به مخازن).

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = 0 \qquad (۴-۱)$$

n = تعداد گره های شبکه

۲- افت فشار در هر حلقه بایستی برابر صفر باشد (یا مساوی با انرژی حاصله از پمپ).

$$\sum_{j=1}^{S} h_j = 0 \qquad (۵-۱)$$

S= تعداد حلقه های شبکه

[1] Chezy-Manning

برای حل آن روش های گوناگونی وجود دارند که به طور کلی به دو گروه تقسیم می شوند[۱]:

۱- روشهایی که بوسیله ی آنها حلقه های شبکه تک تک و بطور مجزا حل شده و با هم پیوند می یابند.

۲- روشهایی که در آنها همه ی حلقه های یک شبکه با هم و یک جا حل می شوند.

روشهای زیر توسط محقیقن این رشته پیشنهاد شد:

- روش هاردی کراس[۱]
- روش نیوتن- رافسون[۲]
- روش تئوری خطی[۳]

۱-۶ بهینه سازی

شبکه های توزیع آب، زیربناهای بسیار مهم شهری هستند که تحقق اجرای آنها نیازمند سرمایه گذاریهای کلان می باشد. بنابراین استفاده از ابزار مناسب جهت دستیابی به بهترین تصمیمات در مورد برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری آنها حائز اهمیت است. امروزه جوامع بشری هزینه های بسیاری را برای به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن هزینه صرف می کنند. برای نیل به این هدف به طرح های مرتبط با روش های بهینه سازی قیمت ها متوسل می شوند. به دلیل اینکه روش های سنتی هیچ گونه تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه و یا حتی نزدیک به جواب بهینه را ندارند، تحقیقات زیادی در زمینه ی روش های بهینه سازی انجام شده است. طیف بسیاری از تحقیقات در بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کاهش دادن هزینه این زیر ساخت ها اختصاص یافته است.

امروزه در ادامه مدل های کلاسیک بهینه سازی، روشهای دیگری با الهام گرفتن از شرایط طبیعی به تدریج توسعه یافته اند. این مدل ها بسیار متنوع می باشند که به روش های الگوریتم های تکاملی[۴] معروف هستند. روش های تکاملی با توجه به قابلیت انطباق و انعطاف پذیری بسیاری که با انواع

[1] Hardy Cross
[2] Newton-Raphson
[3] Linear Theory
[4] Evolutionary algorithms

مسائل پیچیده دارند، برای به حداقل رساندن هزینه ی شبکه های آبرسانی که دارای متغیرهای تصمیم گسسته (قطرهای موجود در بازار) می باشند، به نتایج مطلوبی رسیده اند .

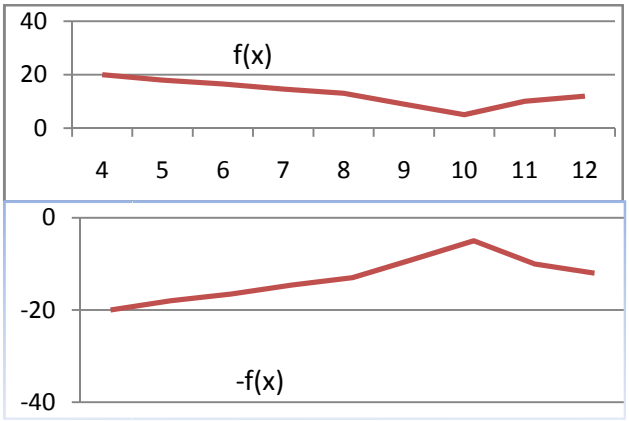
برخی از این روش های بهینه سازی عبارتند از :

الگوریتم ژنتیک[1] ،الگوریتم جستجوی ممنوعه[2] ،شبیه سازی بازپخت[3]،روش الگوریتم مورچگان[4] و الگوریتم گروه ذرات[5]

۱-۷ تعاریف

۱-۷-۱ تعریف بهینه سازی

تلاش لازم یا سود مورد نظر در هر وضعیت عملی را می توان به صورت تابعی از متغیر های تصمیم مشخص بیان کرد. بنابراین می توان بهینه سازی را به عنوان فرآیند یافتن شرایطی که مقدار بیشینه یا کمینه ی تابع f(x) را بدست می دهد، تعریف کرد. در شکل (۱-۱) نقطه ی x منطبق بر کمینه ی تابع f(x) و مقدار بیشینه ی تابع –f(x) می باشد. پس بهینه سازی را به معنای کمینه سازی می توان در نظر گرفت؛ یعنی بیشینه ی یک تابع را می توان با جستجوی کمینه ی منفی آن تابع پیدا کرد[۳].



شکل (۱-۱) مقدار بیشینه و کمینه ی تابع f(x)

[1] Genetic Algorithms
[2] Tabu Search Algorithm
[3] Simulated Annealing
[4] Ant Colony Algorithm
[5] Particle Swarm Algorithm

۱-۷-۲ بیان یک مسئله ی بهینه سازی

یک مسئله ی بهینه سازی یا برنامه ریزی ریاضی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$x = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{Bmatrix}$ را به گونه ای بیابید که $f(x)$ را به شرط قیدهای زیر کمینه کند:

$$g_j(x) \leq 0 \quad , \qquad j = 1,2, \dots, n$$
$$L_j(x) = 0 \quad , \qquad j = 1,2, \dots, p$$

X بردار n بعدیست و بردار طراحی نامیده می شود. $f(x)$ تابع هدف[1] و $g(x)$ و $L(x)$ قیدهای نامساوی[2] و قید های مساوی[3] هستند. این مسئله یک مسئله ی بهینه سازی مقید می باشد.

مسائلی که دارای قید نمی باشند ($L(x)$, $g(x)$ ندارند) را مسائل بهینه سازی نامقید می نامند. قیود به عنوان محدودیتی در مقابل بهینه سازی تابع هدف استفاده می شود.

۱-۷-۳ متغیرهای طراحی

متغیرهای طراحی می تواند به صورت تابع یا بردار باشد و در طی فرآیند بهینه سازی تغییر کند. متغیرهای طراحی را می توان به دو دسته ی پیوسته و گسسته تقسیم نمود. متغیرهای گسسته به صورت مجزا و یا از قبل تعیین شده موجود می باشند، مانند قطر لوله های شبکه ی آبرسانی ولی متغیرهای پیوسته به طور پیوسته تغییر می کنند [۳].

۱-۷-۴ قیدهای طراحی

در بسیاری از مسائل عملی، نمی توان متغیر های طراحی را به دلخواه انتخاب کرد؛ بلکه این متغیرها باید ویژگی های عملی مشخص و دیگر نیازمندی ها را برآورده کنند. قیدهایی را که باید به منظور تهیه ی یک طرح مورد قبول برآورده شود، قید های طراحی می نامند.

[1] Objective Function
[2] Inequality Constraints
[3] Equality Constraints

۱-۵-۵ تابع هدف

باید معیاری برای مقایسه ی طرح های قابل قبول مختلف و انتخاب بهترین آنها تعیین شود. چنین معیاری که طرح، نسبت به آن بهینه می شود، را به صورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان می کنند و آن را تابع هدف (تابع مزیت یا معیار) می نامند. فرم کلی تابع هدف به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \max \\ \min \end{cases} f(x_i) \qquad (۶-۱)$$

در یک شبکه ی آبرسانی شهری تابع هدف کاهش هزینه ی احداث شبکه می باشد، که به دو طریق بهینه سازی می شود، بهینه سازی شکل شبکه آبرسانی، به جهت دارا بودن حداقل لوله های مورد نیاز و یا بهینه سازی قطر لوله های موجود در شبکه آبرسانی به منظور کاهش هزینه های ساخت انجام می گردد.

۱-۷-۶ دسته بندی مسائل بهینه سازی

دسته بندی های مختلفی در مسائل بهینه سازی وجود دارد که مهمترین آن عبارتند از:

- دسته بندی بر مبنای وجود قیدها که به مسائل مقید و نامقید طبقه بندی می گردد.
- دسته بندی بر مبنای طبیعت معادلات مربوطه:

براساس طبیعت تابع هدف و قیدهاست، که می توان به مسائل برنامه ریزی خطی (LP)، غیر خطی (NLP)، هندسی و درجه دوم تقسیم بندی کرد. مسئله ی برنامه ریزی درجه دوم، یک مسئله ی برنامه ریزی غیرخطی است که تابع هدف آن درجه دو و قیدهای آن خطی می باشد. چنانچه تابع هدف و هر یک از قیود، توابعی خطی از متغیرهای طراحی باشند به برنامه ریزی خطی (LP) و اگر تابع هدف و یا هر یک از قیود توابعی غیر خطی از متغیرهای طراحی باشند به برنامه ریزی غیرخطی (NLP) معروف هستند که عمومی ترین نوع مسئله می باشند.

- دسته بندی برمبنای مقادیر مجاز برای متغیرهای طراحی

در این نوع دسته بندی می توان مسائل بهینه سازی را به مسائل برنامه ریزی با اعداد صحیح و حقیقی دسته بندی نمود[۳].

۱-۸ روش های فرااکتشافی[۱]

روشهای فرااکتشافی، روشهای بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت می باشند که به دو مجموعه ی اصلی تقسیم می شوند:

۱- روش های مبتنی بر طبیعت جاندار

۲- روش های برگرفته از طبیعت بی جان

روش های الهام گرفته از طبیعت بی جان در فرآیند های فیزیکی موجود در طبیعت ریشه دارند. تعداد این روش ها کم می باشد. شناخته شده ترین این روش ها، بهینه سازی بازپخت شبیه سازی شده است.

روشهای مبتنی بر طبیعت جاندار از فرآیند تکامل جانداران در طبیعت ایده می گیرند. از مهمترین این روش ها الگوریتم مورچگان و الگوریتم ژنتیک می باشد. در فصل سوم به تفصیل به ارائه ی این روش ها خواهیم پرداخت.

۱-۹ بهینه سازی شبکه های آبرسانی

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

هدف به حداقل رساندن هزینه ی طرح شبکه آبرسانی است و قیدهای مسئله عبارتند از :

۱- معادله ی پیوستگی[۲]

۲- معادله ی بقای انرژی[۳]

۳- تأمین حداقل فشار[۱]

[1] Metaheuristic Method
[2] Continuity Equation
[3] Conservation of Energy Equation

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

که قیود ۱و۲ قیود مساوی و قیدهای فشار و سرعت به عنوان قیدهای نامساوی شناخته می شوند .

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

$$C = \sum_{i=1}^{N} f(D_i, L_i) \qquad (۷-۱)$$

که هزینه ی لوله ی i ام به قطر D_i و طول L_i و N تعداد لوله ها در شبکه می باشد .

تابع هدف باید تحت قید های مشخص شده حداقل شود.

[1] Minimum Pressure Requirement

فصل دوم: مروری بر الگوریتم های بهینه سازی مورداستفاده

۲-۱ مقدمه

در این فصل به به بررسی روش های فرااکتشافی مورد استفاده در پایان نامه در زمینه ی بهینه سازی خواهیم پرداخت و روند استفاده از این روش ها را مورد تحلیل قرار خواهیم داد.

۲-۲ فرااکتشافات در بهینه سازی ترکیبی

موضوع توابع فرااکتشافی برای کاربرد در مسائل بهینه سازی ترکیبی و به جهت اهمیت این مسائل بهینه سازی ترکیبی در دنیای صنعت و علم، زمینه تحقیقاتی هستند که با سرعت در حال رشد می باشند. در اینجا مروری بر روشهای فرااکتشافی از دیدگاه مفهومی ارائه می شود.

در طی ۲۰ سال گذشته، نوع جدیدی از الگوریتم های تقریبی به وجود آمد که اساسا تلاش می کند روشهای اکتشافی پایه را با هدف جستجوی کارا و موثر فضای جستجو در چارچوبهای سطح بالاتر ترکیب کند. امروزه این روشها، روش های فرااکتشافی نامیده می شوند. لغت فرااکتشافی ابتدا توسط Glover ارائه شد که از دو کلمه یونانی تشکیل شده است. اکتشافی[۱] به معنای "یافتن" و پسوند "فرا"[۲] به معنای " ورای، در سطحی بالاتر"می باشد. قبل از توافق وسیع بر روی این لغت، از عبارت اکتشافات جدید[۳] استفاده می شد.

به طور خلاصه، ویژگیهای اساسی مشخص کننده فرااکتشافات به شرح زیر است:

- هدف، کاوش کارای فضای جستجو برای یافتن راه حلهای (نزدیک) بهینه است.
- الگوریتمهای فرااکتشافی، تقریبی و عمدتا غیرقطعی[۴] هستند.
- ممکن است مکانیزم هایی برای اجتناب از به دام افتادن در نواحی محدود[۵] فضای جستجو به کار ببرند.
- فرااکتشافات، مخصوص مسئله های خاصی نیستند.

[1] Heuristic
[2] Meta
[3] Modern Heuristic
[4] Non-deterministic
[5] Confined

مسئله مهمی که در روش های فراکتشافی باید مد نظر قرار داد، این است که توازن پویا بین متنوع سازی و متمرکزسازی وجود داشته باشد. به طور کلی لغت متنوع‌سازی به کاوش فضای جستجو اطلاق می گردد، در حالی که لغت متمرکزسازی به کاوش تجربه جستجوی جمع‌آوری شده گفته می شود. در واقع کلمات استخراج و کاوش، اغلب به استراتژی های نسبتا کوتاه مدت وابسته به تصادفی بودن اطلاق می شود، در حالیکه متنوع سازی و متمرکزسازی، به استراتژی های میان مدت یا بلند مدت که مبنی بر استفاده از حافظه هستند، گفته می شود. به کاربردن لغات متنوع سازی و متمرکزسازی در معنی اصلی‌شان، در کل زمینه روش های فرااکتشافی پذیرفته تر است. از یک سو به دلیل شناسایی سریع مناطقی از فضای جستجوی که دارای راه حل های با کیفیت بالا می باشند و از سوی دیگر برای هدر ندادن زمانی طولانی در مناطقی از فضای جستجو که قبلا کاوش گردیده اند و یا راه حل با کیفیت بالایی فراهم نکرده اند، توازن بین متنوع سازی و متمرکزسازی دارای اهمیت بسیار می باشد[۴].

استراتژی های جستجوی دارای فرااکتشافات متفاوت، وابستگی زیادی به فلسفه خود فرااکتشافات دارند. تعداد بسیاری فلسفه متفاوت در فرااکتشافات وجود دارند. بعضی به عنوان توسعه ای "هوشمند" از الگوریتم های جستجوی محلی در نظر گرفته می شوند. هدف از این نوع فرااکتشاف، فرار از کمینه محلی برای پیشروی در کاوش فضای جستجو و حرکت برای یافتن کمینه سراسری و یا عمومی امیدوارکننده‌تر است. این مورد در جستجوی ممنوعه، جستجوی محلی تکراری، جستجوی همسایگی متغیر، GRASP[1] و بازپخت شبیه سازی شده به کار می رود. این فرااکتشافات بر روی یک یا چند ساختار همسایگی اعمال شده بر روی اعضای (راه حل های) فضای جستجو، کار می کنند[۴][۵].

در مورد الگوریتمهایی مثل گروه مورچه ها و محاسبه تکاملی، فلسفه متفاوتی وجود دارد. این الگوریتم ها مولفه یادگیریی را به کار می برند، که این مولفه یادگیری به طور صریح یا ضمنی سعی

[1] Greeedy Randomizd Adaptive Search Procedure

می کند ارتباط[1] بین متغیرهای تصمیم گیری را برای شناخت نواحی با کیفیت در فضای جستجو یاد بگیرد. این نوع فرااکتشافات، تا اندازه ای، نمونه برداری از فضای جستجو را انجام می دهند.

۲-۳ طبقه بندی فرااکتشافات

روشهای متفاوتی برای طبقه بندی و توصیف الگوریتم های فرااکتشافی وجود دارد. بسته به ویژگی های انتخاب شده برای ایجاد تمایز بین آنها، چندین طبقه بندی ممکن می گردد که هر کدام نتیجه دیدگاه خاصی را دربردارند. در اینجا به طور خلاصه مهم ترین روش های طبقه بندی فرااکتشافات را بررسی می کنیم[۴].

طبیعی در مقابل غیرطبیعی . شاید شهودی ترین راه طبقه بندی فرااکتشافات، بر مبنای ریشه الگوریتم باشد. الگوریتمهای طبیعی مانند: الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچه و الگوریتم های غیرطبیعی مانند: جستجوی ممنوعه و جستجوی محلی تکراری.

به دو دلیل این رده بندی خیلی با معنی نیست. اول اینکه، الگوریتم های تلفیقی[2] زیادی وجود دارند که در هیچ دسته ای قرار نمی گیرند (یا از جهت دیگر در هر دو دسته قرار می گیرند). دوم، گاهی مشکل است که الگوریتمی را به وضوح جزء دسته خاصی قرار دهیم.

مبنی بر جمعیت در مقابل جستجوی تک نقطه ای. در این حالت معیار رده بندی، تعداد راه حل های مورد استفاده همزمان است. یعنی اینکه الگوریتم در یک زمان روی راه حل واحدی کار می کند یا روی یک جمعیت. روشهای خط سیر، آنهایی هستند که روی راه حل های واحد کار می کنند و فرااکتشافات مبنی بر جستجوی محلی را شامل می‌شوند مانند جستجوی ممنوعه، جستجوی محلی تکراری و جستجوی همسایگی متغیر. برعکس، روشهای مبنی بر جمعیت، فرآیندهای جستجویی را انجام می‌دهند که تکامل مجموعه ای از نقاط را در فضای جستجو توصیف می‌کنند.

[1] Correlation
[2] Hybrid

تابع هدف ایستا در مقابل پویا. در این روش فرااکتشافات بر اساس نحوه استفاده از تابع هدف تقسیم بندی می شوند. در بعضی الگوریتمها، تابع هدف داده شده در نمایش مسئله را "به همان صورتی که هست" نگه می دارند، در بعضی دیگر الگوریتم ها مانند جستجوی محلی هدایت شده[1] (GLS)، در طول جستجو، آن را اصلاح می کنند. ایده این عمل، گریز از کمینه محلی از طریق اصلاح چشم انداز جستجوست. بر این اساس در طی جستجو، سعی می شود تابع هدف توسط به کارگیری اطلاعات جمع آوری شده درطی فرآیند جستجو، تغییر یابد.

یک ساختار درمقابل چند ساختار همسایگی. اغلب فرااکتشافات، روی یک ساختار همسایگی واحد عمل می کنند. به بیان دیگر، توپولوژی چشم انداز شایستگی[2] در طی الگوریتم فرااکتشافی تغییر نمی کند. فرااکتشافات دیگر مانند جستجوی همسایگی متغیر(VNS)، مجموعه ای از ساختارهای همسایگی را به کار می گیرند که با عوض کردن چشم‌اندازهای شایستگی متفاوت، امکان متنوع سازی جستجو را فراهم می کنند.

روشهای استفاده کننده از حافظه[3] در مقابل بدون حافظه[4] . یک ویژگی مهم برای طبقه بندی فرااکتشافات، استفاده‌ای است که این روش ها از سابقه جستجو می کنند، یعنی اینکه آیا از حافظه استفاده می کنند یا نه (منظور حافظه تطبیقی[5] است). الگوریتم های بدون حافظه، یک فرایند مارکوف[6] را انجام می دهند، یعنی برای تعیین عملیات بعدی، منحصراً از حالت فعلی فرایند جستجو بهره می برند. معمولاً بین استفاده کوتاه‌مدت و طولانی مدت از حافظه تفاوت قائل می شویم. اولی عمدتاً جابه‌جایی راه حلهای دیده شده یا به طور کلی تصمیمات اخیر را نگه می دارد. دومی معمولاً جمع بندی پارامترهای ترکیبی جستجوست.[۶]

[1] Guided Local Search
[2] Fitness
[3] Memory Usage
[4] Memory -less
[5] Adaptive Memory
[6] Markov

با توجه به این که از الگوریتم های مورچگان و ژنتیک در رساله استفاده شده است، تنها به بررسی این دو الگوریتم خواهیم پرداخت و الگوریتم های دیگر نیز در پیوست الف توضیح داده شده است.

۲-۴ الگوریتم بهینه سازی مورچگان

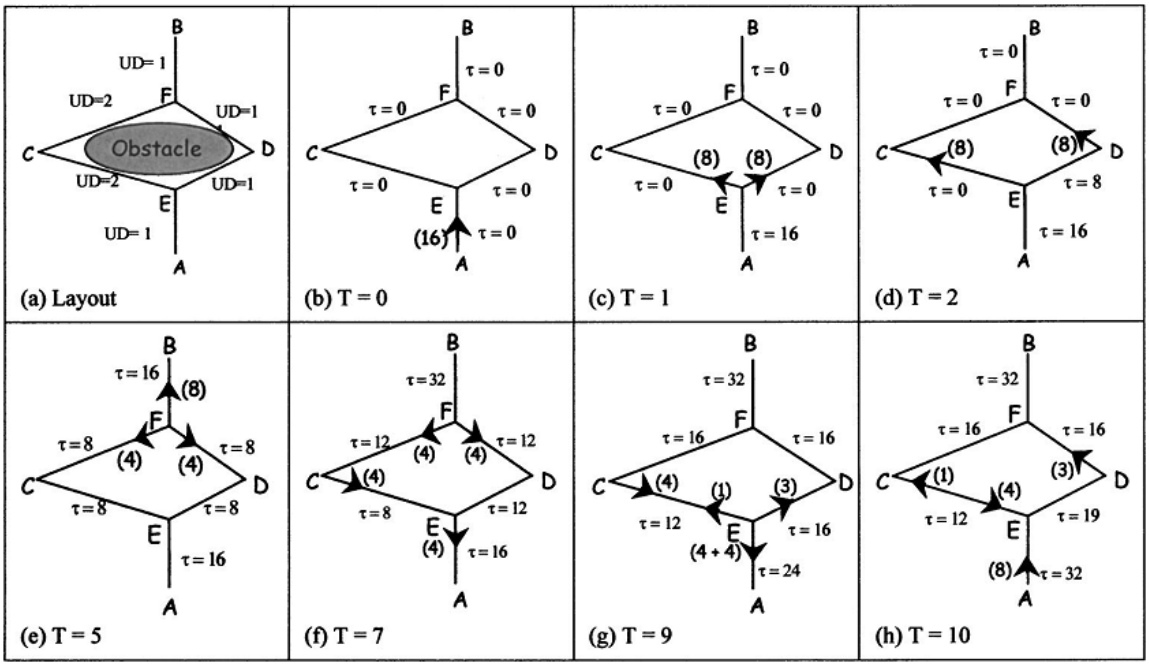
الگوریتم مورچگان یک روش فرا اکتشافی برگرفته از طبیعت، براساس رفتار مورچه هاست. اولین و ساده ترین الگوریتم ارائه شده، الگوریتم سیستم مورچگان (AS)[1] می باشد[۷]. از دیگر الگوریتم های ارائه شده می توان به سیستم جامعه ی مورچگان[2] (ACS)[۸] برای کاوش در فضای حل، سیستم مورچه های برگزیده[3] (AS_{elite}) [۷] ، سیستم مورچه های ترتیبی[4] (AS_{rank}) و سیستم مورچه های بیشینه- کمینه[5] (MMAS) [۹] برای غلبه بر همگرایی قبل از موعد اشاره نمود.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که AS_{rank} و MMAS از الگوریتم های دیگر از نظر عملکرد بهتر هستند و البته باید اشاره نمود که AS_{rank} به خوبی MMAS در شبکه های بزرگ اجرا نمی شود[۱۰].

الگوریتم بهینه سازی مورچگان با توجه به این که مورچه ها قادر هستند کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذا را بیابند الهام گرفته است. مورچه ها به صورت یک ارتباط غیرمستقیم با استفاده از ماده ی شیمیایی به نام فرمون[6] که در طول مسیر به جا می گذارند مسیر را می یابند. در ابتدا مسیرها به صورت رندوم انتخاب می گردند [۷]. و سپس در یک دوره ی زمانی، مسیر کوتاه تر به وسیله ی فرمون های بیشتر تقویت می گردد و به عنوان مسیر غالب انتخاب می شود. در شکل (۲-۱) نحوه غالب شدن مسیر کوتاه تر نشان داده شده است. در این شکل UD نشان دهنده ی طول هر مسیر و τ مقدار غلظت فرمون هر مسیر در هر دوره ی زمانی می باشد. حرکت مورچه ها در زمان های مختلف T و از لانه(A) به سمت غذا(B) نشان داده شده است. بایستی اشاره نمود که، مقادیر فرمون ها در هر

[1] Ant System
[2] Ant Colony System
[3] Elitist Ant System
[4] Ranked Ant System
[5] Max-Min Ant System
[6] Pheromone

دوره ی زمانی کاسته می شود، که به عمل تبخیر[1] معروف است. در ACO، مورچه های مصنوعی با حرکت روی گراف مسئله راه حل ها را می سازند و با تقلید از مورچه های حقیقی، روی گراف فرومون مصنوعی به جا می گذارند، به نحوی که برای مورچه های مصنوعی بعدی راه حل بهتری را ارائه می کنند.



شکل(۲-۱) مثالی از تقویت مسیر کوتاه تر توسط مورچه ها از لانه تا منبع غذا

به‌کارگیری سیستم مورچگان (الگوریتم مورچگان) اولین بار توسط Dorgio و همکارانش به عنوان یک نگرش با چندین عامل برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی یا راه‌حل چندعامله[2] مشکل، مانند مسئله فروشنده دوره گرد[3] (TSP) و مسئله تخصیص منابع یا QAP پیشنهاد و ارائه شده است[۷].

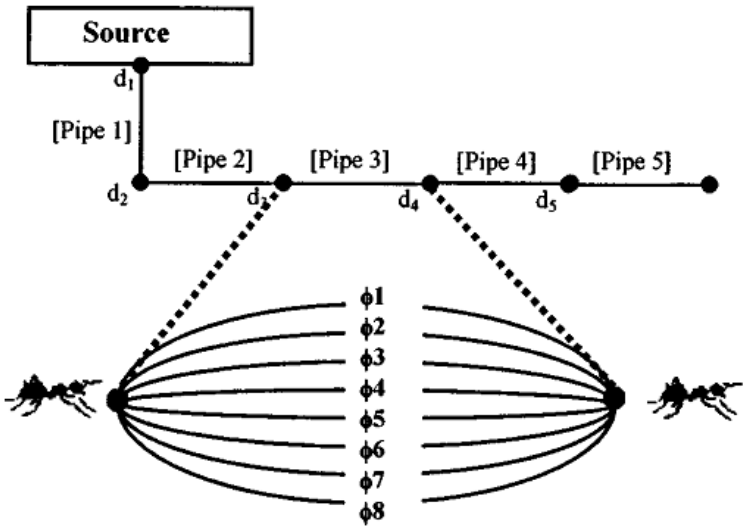
الگوریتم بهینه سازی مورچگان شامل حلقه های اصلی زیر می باشد :

۱- مورچه ها راه حل ها را با فرمون ها می سازند.

[1] Evaporation
[2] Multi Agent
[3] Traveling Salesman Problem

۲- حل ها بر طبق یک تابع هدف مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۳- فرمون ها با افزایش دادن مقدار فرمون مرتبط با مولفه های حل که قسمتی از بهترین راه حل ها می باشند به روز می شوند.



شکل(۲-۲) نمایش مسئله بهینه سازی شبکه توزیع آب به صورت گراف

استفاده ی ACOA ها در انتخاب مناسب مسئله در ترم های گراف G=(D,L,C) صورت می گیرد (که D نقطه های تصمیم یا گره ها، L انتخاب ها در هر نقطه ی تصمیم و C هزینه مطابق با هریک از انتخاب ها می باشد). برای یک برنامه ی کاربردی در شبکه ی آبرسانی نیازمند فرمی به صورت شکل (۲-۲) می باشیم. به طور مثال، برای این شکل پنج لوله وجود دارد که پنج نقطه ی تصمیم، ($d_1,d_2,\ldots,d_5$) را شامل می شود. هر مورچه ی مصنوعی در فرآیند بهینه سازی یک گراف مسئله را می سازد[۱۰].

تابع احتمال تعریف شده برای این روش به صورت معادله ی (۲-۱) است. با استفاده از تابع احتمال در هر نقطه ی تصمیم، انتخاب مسیر از گزینه های موجود یا به عبارتی از مسیرهای قابل دسترس صورت می گیرد. در الگوریتم مورچگان به دلیل اینکه هیچ گزینه ی قابل انتخابی در نقاط تصمیم در تکرار اول صورت نگرفته است این مقدار برای همه ی نقاط ثابت است و در نتیجه در تکرار اول احتمال انتخاب ها در هر نقطه ی تصمیم برابر خواهد بود.

$$p_{i(j)}(k,t) = \frac{[\tau_{i(j)}(t)]^{\alpha}.[\eta_{i(j)}]^{\beta}}{\sum_{l_{I(j)}}[\tau_{i(j)}(t)]^{\alpha}.[\eta_{i(j)}]^{\beta}} \quad (۱-۲)$$

که: $p_{i(j)}(k,t)$= احتمال انتخاب گزینه j وقتی که مورچه k در دوره t و نقطه تصمیم i قرار دارد،

$\tau_{i(j)}(t)$= غلظت فرومون مسیر ij در دوره t

$\eta_{i(j)}$= هدایت کننده کاوشی ij

α,β= مقادیر ضرایب وزن فرومون و هدایت کننده کاوشی می باشند.

$l_{I(j)}$= تعداد مسیرهای انتخابی توسط مورچه k هنگامی که در نقطه تصمیم گیری i قرار دارد.

در واقع با استفاده از معادله ی (۲-۱) احتمال انتخاب مسیری که فرمون بیشتری دارد بالاتر خواهد بود.

مقدار هدایت کننده کاوشی از رابطه (۲-۲) بدست می آید:

$$\eta_{i(j)} = {}^{l}/_{c_{i(j)}} \quad (۲-۲)$$

$c_{i(j)}$ = هزینه انتخاب قطر j برای لوله i است.

مقدار هدایت کننده ی کاوشی برابر عکس هزینه ی هر کدام از مسیرها می باشد و با مقدار فرمون هر مسیر ضرب می شود.

رابطه بروز کردن فرومون از معادله ی (۲-۳) حاصل می شود. بکارگیری این معادله به نوع الگوریتم مورچگان مورد استفاده بستگی دارد، که اشاره ی مختصری به این مورد در پایان همین بخش شده است.

$$\tau_{i(j)}(t+1) = \rho\tau_{i(j)}(t) + \Delta\tau_{i(j)} \quad (۳-۲)$$

ρ = ضریب تبخیر فرومون که مقداری بین صفر و یک است. چنانچه $\rho \to 1$ میل کند، مقدار کمی از فرمون مسیر از بین می رود و همگرایی کندتر صورت می گیرد و اگر $\rho \to 0$ میل کند،درصد زیادی از فرمون مسیرها از بین رفته و مساله سریع همگرا می شود.

$\tau_{i(j)}(t)$=غلظت فرومون مسیر ij در دوره t

$\tau_{i(j)}(t+1)$ = غلظت فرومون مسیر ij در زمان (t+1)

$\Delta\tau_{i(j)}$ = اضافه فرومون مسیر ij در زمان t می باشد.

مقدار اضافه فرمون نیز از معادله ی (۲-۴) حاصل می شود.

$$\Delta\tau_{i(j)} = \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{i(j)}^{k} \qquad (۴-۲)$$

در معادله ی (۲-۴) m تعداد مورچه ها یا تعداد جواب های در نظر گرفته شده شده در هر تکرار است. در واقع تمام روش های توسعه یافته ی الگوریتم مورچگان بر پایه ی الگوریتم Ant system آقای دوریگو هستند و تفاوت اصلی این الگوریتم ها در به روز کردن مقدار فرمون مسیرها می باشد.در AS_{elite} فرمون اضافی تنها به مورچه ی برتر در مقیاس کلی (global) تعلق می گیرد. در AS_{rank} با استفاده از تابع هدف تعریف شده برای همه ی مورچه ها، تنها به تعدادی از مورچه ها که بهترین جواب را در هر تکرار بدست آورده اند اضافه فرمون تعلق می گیرد. در الگوریتم مورچگان بهترین تکرار نیز تنها به بهترین مورچه ی هر تکرار اضافه فرمون داده می شود. در الگوریتم MMAS در هنگام به روز کردن فرمون ها از مقادیر τ_{min} و τ_{max} استفاده می شود. به این صورت که بایستی $\tau_{min}<\tau(t+1)<\tau_{max}$. این عمل باعث دو فاکتور مهم در به روز کردن مسیر ها می گردد. در واقع مقدار τ به دلیل جلوگیری از کند شدن همگرایی مسیر برتر نبایستی کمتر از τ_{min} باشد و برای عدم همگرایی سریع و جلوگیری از بزرگ شدن مقدار فرمون یک مسیر نبایستی از مقدار τ_{max} بیشتر باشد. در MMAS همانند AS_{ib} تنها به بهترین مورچه هر تکرار(Local) فرمون اضافی داده می شود.

۲-۵ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از علم ژنتیک و نظریهٔ تکامل داروین[1] است و بر اساس بقای برترین ها یا انتخاب طبیعی استوار است. یک کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن بعنوان تابع بهینه کننده است[۱۱].

[1] Darwin

اگرچه کارهایی توسط یک زیست شناس به نام Fraser در زمینه مدل سازی تکامل در سیستم های بیولوژیک در دهه ۶۰ میلادی صورت گرفت، ولی الگوریتم ژنتیک برای کاربردهای مهندسی و به صورت امروزی آن نخستین بار توسط جان هلند[1] متخصص علوم کامپیوتر دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد گردید. کار وی سرآغاز تمامی کوشش ها برای کاربرد الگوریتم ژنتیک در مهندسی می باشد[۱۲]. الگوریتم ژنتیک اگرچه پس از الگوریتم استراتژی تکاملی پیشنهاد گردید، ولی مشهورترین روش از بین الگوریتم های تکاملی است. در یک الگوریتم ژنتیک یک جمعیت از افراد طبق مطلوبیت آنها در محیط بقا می یابند. افرادی با قابلیتهای برتر، شانس ازدواج وتولید مثل بیشتری را خواهند یافت. بنابراین بعد از چند نسل فرزندانی با کارایی بهتر بوجود می آیند. در الگوریتم ژنتیک هر فرد از جمعیت بصورت یک کروموزوم[2] معرفی می شود. کروموزومها در طول چندین نسل کاملتر می شوند. در هر نسل کروموزومها ارزیابی می شوند و متناسب با ارزش خود امکان بقا و تکثیر می یابند. تولید نسل در بحث الگوریتم ژنتیک با عملگرهای ترکیب[3] و جهش[4] صورت می گیرد. والدین برتر بر اساس یک تابع برازندگی[3] انتخاب می شوند.

۲-۵-۱ اصول اساسی الگوریتم ژنتیک

همانطور که گفته شد الگوریتم ژنتیک یکی از روش های جدید بهینه سازی که بیشتر برای بهینه سازی مسائل بسیار پیچیده و غیرخطی به کار می رود. مشابه سیر تکامل بیولوژیکی، الگوریتم ژنتیک نیز دارای یک سیر تکاملی می باشد. به عبارت ساده تر این روش با تولید نسل های (مجموعه جوابهای) متعدد از جواب های امکان پذیر، سعی می کند به سوی جواب بهینه عمومی حرکت نماید. در این روش ها در نسل ها به جواب های مناسب تر و بهتر ، امکان بقا و مشارکت در تولید جواب ها و نسل های جدید داده می شود. در علم بیولوژی تولید نسل توسط یکسری کروموزوم صورت می گیرد

[1] John Holland
[2] Chromosome
[3] Cross Over
[4] Mutation
[3] Fitness Function

که به صورت رشته کدگذاری می شوند. هر کروموزوم نیز از یک سری ژن[1] تشکیل می شود[۱۱]. ژنهای واقع شده در کروموزوم های هر موجود، در واقع نشان دهنده ی خصوصیات ژنتیکی آن موجود می باشند. هر ژن یک پروتئین خاص یا در واقع یک خصیصه را کد می کند. مجموعه های ممکن برای یک خصیصه آلل[2] نامیده می شوند. هر ژن در کروموزوم موقعیت خاص خودش را دارد که این موقعیت خاص لوکوس[3] نام دارد. مجموعه کامل همه کروموزوم ها ژنوم[4] نامیده می شود و یک مجموعه خاص از ژن ها در ژنوم، ژنوتیپ[5] نام دارد. ژنوتیپ ها بعد از تکامل بیشتر به فنوتیپ ها[6] که همان خصوصیات فیزیکی و روانی مانند رنگ چشم و غیره می باشند، تبدیل می شوند.

در مدل های بهینه سازی الگوریتم ژنتیک، به منظور ایجاد کروموزوم ها باید بتوان هر نقطه در فضای تصمیم گیری را به صورت یک رشته (کروموزوم) تبدیل نمود. این عمل کدگذاری نامیده می شود. یکی از روش ها برای کدگذاری متغیرهای تصمیم نمایش متغیرهای در مبنای دو و یا کدگذاری متغیرهای گسسته به صورت صفر ویک می باشد. به عبارت ساده تر، هر کروموزوم نشان دهنده ی یک جواب مسئله می باشد که از کنار هم قرار دادن مقادیر متغیرهای تصمیم گیری (به صورت اعداد حقیقی یا کدگذاری شده) به دست می آید. هر کروموزوم در یک مسئله بهینه سازی به تعداد متغیرهای تصمیم گیری دارای ژن می باشد. طول ژن ها و در نتیجه طول کروموزوم براساس تعداد متغیرهای تصمیم گیری مسئله، محدوه تغییرات متغیرهای تصمیم گیری و نحوه کدگذاری آنها تعیین می گردد.

در الگوریتم ژنتیک، یک جمعیت اولیه از جواب ها (کروموزوم ها) به طور تصادفی انتخاب می شوند. ارزیابی هریک از این کروموزوم ها براساس تابع هدف و محدودیت ها انجام می گیرد. یک روش معمول برای جلوگیری از غیر موجه شدن (امکان ناپذیر شدن) کروموزوم ها در اثر تخطی از یک یا

[1] Gene
[2] Allel
[3] Locus
[4] Genome
[5] Genotype
[6] Phenotype

تعدادی از محدودیت ها، اضافه کردن تابع جریمه[1] به تابع هدف است. از جامعه ی تولید شده ی اولیه تعدادی از کروموزوم های برتر (جواب های برتر) که مقدار تابع شایستگی آنها در مسائل حداکثر سازی بیشتر و در مسائل حداقل سازی کمتر است، به عنوان کروموزوم های والد[2] برای تولید نسل بعد انتخاب می شوند، سپس این کروموزوم ها به صورت تصادفی در دسته هایی دو تایی قرار گرفته، نسل بعد را تولید می کنند.

در فرآیند تولید مثل بخش هایی از اطلاعات ژنتیکی کروموزوم با هم معاوضه می شوند. این عملیات از طریق عملگر ترکیب انجام می گیرد. این عملگر عموماً بخش هایی از کروموزوم والد را به صورت تصادفی انتخاب و با هم جا به جا می کند. انجام عمل ترکیب نیز به صورت احتمالی و با در نظر گرفتن مقدار ثابت احتمال ترکیب (P_c) انجام می گیرد. جهت انجام عمل ادغام یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می گردد. در صورتی که این عدد از احتمال ترکیب کوچکتر باشد، عمل ترکیب صورت می گیرد در غیر این صورت دو کروموزوم والد بدون هیچ تغییری به نسل بعد منتقل می شوند. فرآیند انتخاب کروموزوم های والد و ترکیب آن تا جایی تکرار می شود که نسل جدیدی با تعداد کروموزوم های برابر با نسل اولیه حاصل گردد[۱۳].

برای جلوگیری از همگرایی جوابهای مدل بهینه سازی به نقاط بهینه ی موضعی، توسط عملگر جهش مقادیر برخی از ژن های کروموزوم های حاصل از فرآیند ترکیب به طور تصادفی تغییر داده می شود. در این حالت نیز برای هر ژن یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید شده، در صورتی که این عدد از یک احتمال مشخص با نام احتمال جهش (P_m) کمتر باشد عمل جهش بر روی آن ژن انجام می گیرد. در صورتی که مقادیر ژن های کروموزوم اعداد واقعی باشند، مقدار ژن انتخاب شده برای فرآیند جهش به مقدار مشخصی، که براساس بازه ی تغییرات مقدار ژن (متغیر تصمیم) تعیین می گردد، کاهش و یا افزایش داده می شود. در صورتی که ژن انتخاب شده برای فرآیند جهش به صورت صفر و یک کدگذاری شده باشد، مقدار یکی از بیت های ژن به طور تصادفی از صفر به یک یا برعکس تغییر

[1] Penalty Function
[2] Parents

داده می شود. این موضوع باعث می شود تا ناحیه ی جستجوی الگوریتم ژنتیک در فضای امکان پذیر جواب ها گسترش یابد. مقادیر بزرگ احتمال جهش باعث می شود فرایند جهش روی اکثر ژن ها انجام شود و زمان همگرایی روش، به علت افزایش تخریب جواب های مناسب حاصل شده تا آن مرحله، افزایش می یابد. لازم به ذکر است که با اعمال عملگرهای ترکیب و جهش، هیچ تضمینی وجود ندارد که کروموزوم های جدید بهتر از کروموزوم های نسل قبل باشند. با این حال همواره احتمال تولید جواب های بهتر، بیشتر از تولید جواب های نامطلوب می باشد زیرا کروموزوم های والد، کروموزوم های برتر نسل قبل بوده اند .

۲-۵-۲ برازندگی دنباله ها

هر دنباله معرف یک نقطه در فضای جواب است و به آن یک مقدار تابع هدف نسبت داده می شود. از طرفی احتمال انتخاب هر دنباله در مکانیزم انتخاب به عدد برازندگی دنباله وابسته است. عدد برازندگی بیشتر برای یک دنباله به معنی احتمال بیشتر برای بقای آن دنباله در نسلهای مختلف و شرکت در تولید دنباله های جدید می باشد. لذا همگرایی الگوریتم در جهت رشد دنباله های با عدد برازندگی بیشتر است.

به طور کلی می توان گفت کیفیت اعضا در جمعیت بوسیله ی مقادیر شایستگیشان اندازه گیری می شود . شایستگی یک عضو، تابعی مثبت می باشد، که مستقیما با تابع هدف در ارتباط است.

۲-۵-۳ مکانیزم انتخاب

عمل انتخاب معمولاً اولین عملی است که بر روی جمعیت اعمال می گردد. در این روش یک سری از کروموزوم ها از میان جمعیت به عنوان والد انتخاب شده که در نهایت با عمل ترکیب منجر به تولید فرزندان می شوند. روشهای مختلفی جهت انتخاب در الگوریتم ژنتیک وجود دارد.

۲-۵-۳-۱ روش های انتخاب

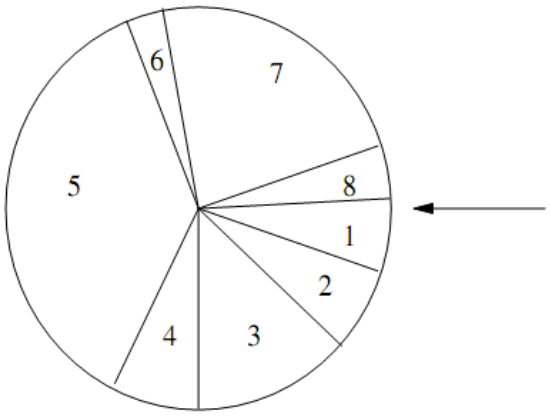
روش های مختلفی برای الگوریتم های ژنتیک وجود دارند که می توان برای انتخاب ژنوم ها از آنها استفاده کرد. اما روش های لیست شده در پایین از معمولترین روش ها هستند.

الف) انتخاب نخبگان[1] :

روش انتخاب نخبگان که اولین بار توسط De Jong مطرح شده است، به عنوان الحاقی به خیلی از روش های انتخاب محسوب می شود، که GA را وادار می کند تا بهترین افراد را در هر نسل نگه دارد. چنین افرادی در صورتی که برای تولید مثل انتخاب نشوند یا توسط آمیزش و جهش خراب شوند، ممکن است از بین بروند. بسیاری از محققین دریافته اند که انتخاب نخبگان به میزان قابل ملاحظه ای کارایی GA را افزایش می دهد.

ب) انتخاب چرخ رولت

مهمترین روش از نظر اجرا و در نظر گرفتن تأثیر مقدار تابع هدف روشی معروف به نام چرخ رولت می باشد. در این روش احتمال انتخاب هر کروموزم متناسب با عدد برازندگی آن است و این باعث همگرایی در الگوریتم می شود. این روش به این صورت است که ابتدا دنباله ها برحسب اعداد برازندگی مرتب می شوند و پس از آن تابع چگالی احتمال برای اعداد برازندگی تشکیل می شود .



شکل(۲-۳) انتخاب چرخ رولت

[1] Elitism

با انتخاب یک عدد اتفاقی بین صفر تا یک می توان یک کروموزم را انتخاب کرد. بنابراین به تعداد مورد نیاز می توان کروموزم، با احتمالی متناسب با عدد برازندگی آن انتخاب کرد .

ج) انتخاب تورنمنت

روش های انتخابی که تاکنون توصیف شدند، در هر نسل نیاز به دوبار عبور از میان جمعیت دارند، یکبار برای محاسبه میانگین برازندگی و یکبار هم برای محاسبه نرخ انتظار هر فرد (کروموزم). در روش انتخاب رتبه ای، لازم است تا تمام افراد جمعیت براساس رتبه شان مرتب شوند که یک رویه وقت گیر می باشد. انتخاب تورنمنت[1] مشابه با انتخاب رتبه ای برحسب فشار انتخاب است، امّا از نظر محاسباتی کاراتر و برای پیاده سازی های موازی مناسب تر است. در این روش، دو فرد از جمعیت به صورت تصادفی انتخاب می شوند. سپس, یک عدد تصادفی r بین ۰ و ۱ انتخاب می شود. اگر $r < k$ (که k یک پارامتر است، برای مثال ۰/۷۵) باشد, فرد برازنده تر و در غیر اینصورت فردی که برازندگی کمتری دارد، به عنوان والد انتخاب می شود. این دو سپس به جمعیت اولیه بازگردانده می شوند و دوباره در فرآیند انتخاب شرکت داده می شوند.

۲-۵-۴ عملگرهای ژنتیکی

فرآیندهای ژنتیکی معمولاً شامل عملگرهای مهم انتخاب ، ترکیب و جهش هستند . نرخ ترکیب که آنرا P_c با نشان می دهند معمولاً بین ۰/۶ تا ۰/۹۵ در نظر گرفته می شود. در هر دور محاسباتی تعداد کروموزم جهت ترکیب انتخاب می شوند. عملگر ترکیب روی یک زوج دنباله (والدین) عمل کرده و یک زوج دنباله دیگر (فرزند) تولید می کند.

نرخ جهش را نیز با P_m نشان می دهند. معمولاً عمل جهش در طبیعت به ندرت اتفاق می افتد، بنابراین احتمال جهش را بیشتر اوقات کمتر از ۰/۰۱ در نظر می گیرند. جهش از همگرایی آلگوریتم به یک نقطه بهینه محلی جلوگیری می کند. عملگر جهش روی یک کروموزم عمل کرده و مقدار یکی یا تعداد کمی از ژنهای آنرا به طور اتفاقی به یکی از کاراکترهای مجموعه آلفابت ژنها تغییر می دهد .

[1] Tournament Selection

عمل جهش یک بیت ، شامل تبدیل عدد صفر به یک و بالعکس می باشد که به صورت بیت به بیت صورت می گیرد .

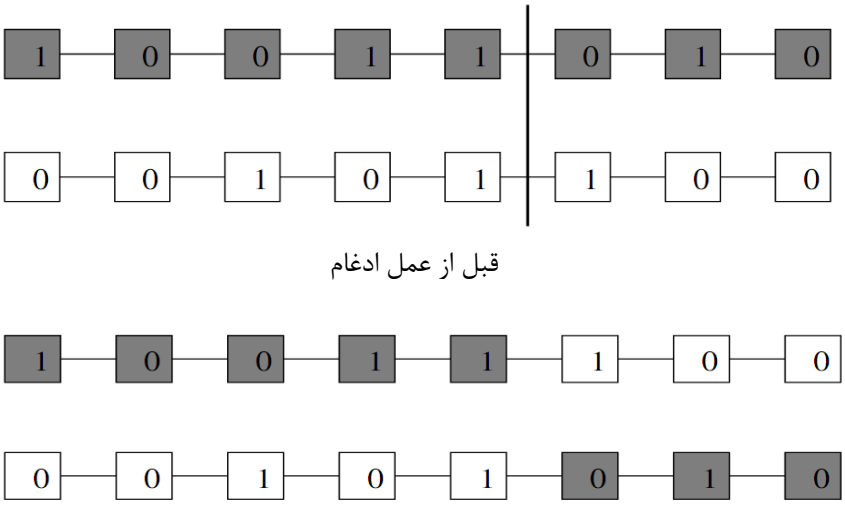
۱۷ نوع عمل ترکیب اشاره شده است که مرسوم ترین آنها به قرار زیرند :

الف) ترکیب یک نقطه ای [1]

ب) ترکیب دو نقطه ای [2]

ج) ترکیب یکنواخت

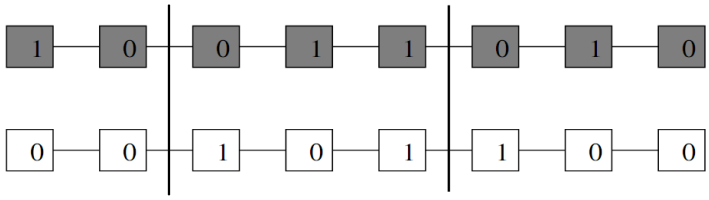
نحوه عملکرد ترکیب یک نقطه ای بدین صورت است که در طول دو کروموزم یک نقطه مشترک، به صورت اتفاقی تعیین شده و جای ژنهای، دو دنباله، از آن به بعد تعویض می شود.



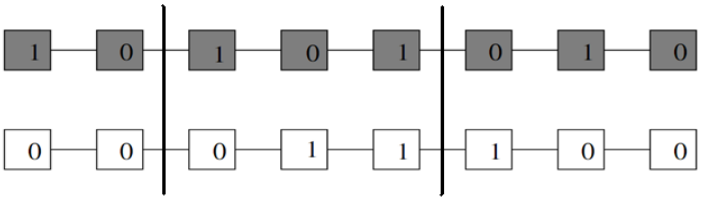
شکل (۲-۴) عمل ترکیب یک نقطه ای

و در ترکیب دو نقطه ای، چنانکه از اسم آن نیز پیداست، دو نقطه در طول دو کروموزم والد انتخاب شده و جای ژنهای بین این دو نقطه در دو کروموزم تعویض می شود که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.

[1] One-point Crossover
[2] Two-point Crossover



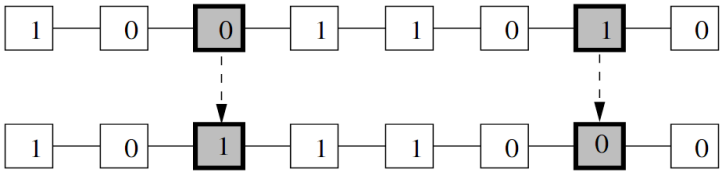
قبل از ترکیب دونقطه ای



بعد از ترکیب دونقطه ای

شکل (۲-۵) عمل ترکیب دو نقطه ای

در انجام ترکیب یکنواخت به تعداد ژنهای هر کروموزم عدد اتفاقی تولید شده و با شرط خاصی (مثلاً اگر عدد اتفاقی زوج بود) جای دو ژن مربوطه در دو کروموزم تعویض می شود، در غیراینصورت آن دو ژن در جای خود باقی می مانند .



شکل(۲-۶) عمل جهش

۲-۵-۵ روند کلی اجرای الگوریتم ژنتیک

اکنون که با اصول اساسی الگوریتم ژنتیک آشنا شدیم می توانیم به سادگی روند اجرای یک الگوریتم ژنتیک را بررسی کنیم.

۱- ابتدا تعداد دنباله، در نظر گرفته شده و ژنهای آنها بطور اتفاقی، از مجموعه آلفابت ژنها پر می شود.

۲- سپس مقدار تابع هدف برای تمام کروموزمها محاسبه می شود.

۳- پس از آن عدد برازندگی برای هر کروموزم به دست می آید .

۴- سپس با استفاده از روش های انتخاب مانند چرخ رولت کروموزوم انتخاب می شود.

۵- با اعمال عملگرهای ژنتیکی برروی مجموعه نسل آینده تکمیل می گردد.

۶- اگر تعداد دور محاسبات یا زمان محاسبات به اتمام رسیده باشد برنامه متوقف می شود .

۲-۵-۶ روش های نمایش

قبل از این که یک الگوریتم ژنتیک برای یک مسئله اجرا شود، یک روش برای کد کردن ژنوم ها به زبان کامپیوتر باید به کار رود. یکی از روش های معمول کد کردن به صورت رشته های باینری[1] است. این نوع کدینگ متداول ترین نوع کدینگ می باشد. در این روش کدگذاری، هر کروموزوم یک رشته از بیت های شامل ۰ و ۱ می باشد. کدگذاری باینری می تواند حالت های زیر را پوشش دهد، حتی در مواردی که تعداد آلل ها کم می باشد.

کروموزوم ۱	۱۰۱۱۰۰۱۰۱۱۰۰۱۱۰۱۱۱۰۰۰۱۱
کروموزوم ۲	۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۰۰۰۱۰۱۱۱۰۱۱

شکل(۲-۷) نمایش کدگذاری باینری

یک راه حل مشابه دیگر کدکردن راه حل ها در آرایه ای از اعداد صحیح یا اعشاری است، که دوباره هر جایگاه یک جنبه از ویژگی ها را نشان می دهد. این راه حل در مقایسه با قبلی پیچیده تر و مشکل تر است.

کروموزوم ۱	۵ ۴ ۰ ۸ ۶ ۲ ۳ ۷ ۱
کروموزوم ۲	۶ ۲ ۷ ۴ ۱ ۸ ۵ ۳ ۹

شکل(۲-۸) نمایش کدگذاری جهشی

سومین روش برای نمایش صفات در یک GA یک رشته از حروف، اعداد یا کلمه است، که هر حرف دوباره نمایش دهنده یک خصوصیت از راه حل است. این روش به کدگذاری ارزشی معروف می باشد.

[1] Binary Strings

کروموزوم ۱	۰,۰۹۶۵ ۶,۲۵۷۶ ۶,۳۸۷۴ ۲,۳۴۵۱
کروموزوم ۲	AGJBHLNNFNKFQPTOCVD
کروموزوم ۳	(CENTER), (UP), (ENTER), (PAGE)

شکل(۲-۹) نمایش کدگذاری ارزشی

۲-۶ مقایسه ی الگوریتم ژنتیک با الگوریتم جامعه ی مورچگان

هر دو الگوریتم از نوع الگوریتم های تکاملی می باشند که برای بهینه سازی کلی استفاده می گردند. در GA، تعداد حل های تولید شده تابعی از سایز جمعیت، در حالیکه در ACOA تعداد حل ها تابعی از تعداد مورچه ها می باشد. می توان گفت اندازه ی جمعیت در الگوریتم ژنتیک با تعداد مورچه ها در الگوریتم مورچگان برابر می باشد. یک نسل در GA هم تراز با یک تکرار در ACOA است.

الگوریتم های ژنتیک و مورچگان یک مکانیسم را برای کاوش در فضای جستجو دنبال می کنند. در GA این امکان با استفاده از عملگر جهش و در ACOA با استفاده از شدت فرمون صورت می گیرد.

تفاوت عمده بین این دو الگوریتم در ارائه ی جواب های تولید شده است. در GA حل ها به صورت رشته ای از مواد ژنتیکی ارائه می شود و حل های جدید با اصلاح در حل های قدیم حاصل می گردد. در ACOA حافظه ی سیستم، در محیط شامل می شود. حل های سعی شده با اصلاح محیط به شکل یک ارتباط غیرمستقیم به نام stigmergy حاصل می گردد.

جستجوی GA متأثر از پارامترهای مختلفی همچون اندازه ی شبکه، طرح کدگذاری، روش جریمه، تابع شایستگی، عملگر انتخاب و ترکیب، احتمال ترکیب (P_c) و احتمال جهش (P_m) و تکنیک های شبیه سازی هیدرولیکی می باشد. پارامترهایی همچون اندازه ی شبکه و تعداد قطرهای تجاری قابل دسترس در بازار تأثیر قابل ملاحظه ای در جستجوی الگوریتم ژنتیک دارد.

گرچه تکنیک های شمارشی، روش های جستجوی کلی قابل اطمینانی می باشند ولی کاربردشان در شبکه های عملی به دلیل فضای جستجوی فوق العاده بزرگ و زمان محاسباتی زیاد محدود می گردد.

به عنوان مثال Yates و همکارانش در سال ۱۹۸۴ یک روش شمارشی صریح [1]را ارائه نمودند که به دلیل حجم زیاد عملیات زمانبر بوده و استفاده عملی نیافت[۱۴]. پیشنهاداتی برای بهبود کارایی الگوریتم ژنتیک توسط محققین ارائه شده است که از آن جمله می توان به این موارد اشاره نمود: احتمال ترکیب بالا (cross over) و احتمال جهش کم (mutation) برای اجرای بهتر GA پیشنهاد شد[۱۵]. استفاده از کدگذاری Gray به جای کدگذاری باینری (Binary) برای رشته ها نیز مورد توجه قرار گرفت[۱۶]. در زمینه بهینه سازی شبکه های آبرسانی نیز می توان به موارد تاثیرگزار زیر اشاره کرد:

- Savic و Walters (۱۹۹۷) نرم افزار GANET را برای طراحی شبکه های آبرسانی با استفاده از کدگذاری Gray و binary ارائه دادند[۱۷]؛
- Halhal و همکارانش (۱۹۹۷) یک الگوریتم ژنتیک آشفته با استفاده از رشته طول متغیر برا ی اصلاح شبکه ها ارائه کردند[۱۸]؛
- Dandy و همکاران (۱۹۹۶) با استفاده از مقیاس متغیری از شایستگی و عملگر جهش کوچک الگوریتم ژنتیک را بهبود بخشیدند[۱۹]؛
- Liappai و همکاران(۱۹۹۹) یک رابطه ی خطی و تعداد تکرارهای مورد نیاز را برای حداقل نمودن هزینه به کار برده و روندی را برای یافتن حل بهینه با تکرار معقول پیشنهاد کردند که شامل یک جستجوی GA در شروع با یک جمعیت کوچک می باشد[۲۰]؛
- Balla و Lingireddy (۲۰۰۰) محاسبه ی موازی روی یک شبکه از PC ها را برای کاهش زمان محاسبات کالیبره کردن با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهاد کردند[۲۱]؛
- Vairavamoorthy و Ali (۲۰۰۰) یک مدل رگرسیونی را پیشنهاد کردند که باعث کاهش تعداد تکرار برای رسیدن به جواب شد[۲۲]؛

[1] Explicit Enumeration Technique

- Walski و Wu (۲۰۰۵) یک تابع جریمه ی خود سازگار برای بهینه سازی شبکه های آبرسانی ارائه کردند[۲۳].
- در سال ۲۰۰۸ Bhave و همکارانش با استفاده از تعریف مسیر بحرانی[1] توانستند فضای جستجو را کاهش داده و با تعداد کمتری تکرار به جواب دست یابند[۲۴]. در این روش ترازهای گرادیان هیدرولیکی در هر گره با توجه به تعریف گره های واسطه و گره های انتهایی مشخص و مسیرهای بحرانی بدست می آیند.

۲-۷ هدف از انجام تحقیق

وقتی که ما به دنبال حل مسئله ای هستیم، معمولا به دنبال جواب هایی می گردیم که بهترین جواب ها در میان مجموعه جواب های موجود باشند. فضای تمام جواب های قابل قبول، فضای جستجو نامیده می شود. هر نقطه در فضای جستجو یک جواب قابل قبول را نشان می دهد. هر جواب قابل قبول می تواند براساس ارزش یا مطلوبیتش برای مسئله مشخص گردد. هدف از پیدا کردن جواب، که می تواند یک نقطه یا بیشتر در میان جواب های قابل قبول باشد، پیدا کردن یک نقطه یا بیشتر در فضای جستجوست.

کل فضای جستجو از طریق زمان حل یک مسئله قابل شناسایی است، اما معمولا نقاط کمی از آن فضا برای ما مشخص است و ما از طریق ایجاد نقاط دیگر به پیدا کردن جواب ها ادامه می دهیم.

روش های گوناگون بهینه سازی، همانطور که در فصل قبل به آنها اشاره شد، به جستجوی فضای محاسباتی برای رسیدن به یک نقطه ی بهینه ی کلی می پردازند.

از مهمترین مشکلات ذکر شده ی این روش ها تعداد بسیار زیاد حالات ممکن در فرآیند جستجو می باشد که باعث کندی در حل و عدم دستیابی به جواب های بهینه می گردند. برای مثال در یک شبکه ی آبرسانی با مقیاس بزرگ چنانچه تعداد لوله های این شبکه برابر$X =20$ لوله و تعداد لوله های تجاری موجود در بازار ، $N=10$ ، باشد تعداد حل های ممکن برابر 10^{20} حالت خواهد شد.

[1] Critical Path

لذا چنانچه روشی بتواند فضای جستجو را کاهش دهد، در حقیقت باعث کاهش زمان بهینه سازی شبکه ها، افزایش کارایی آنها و در نهایت باعث کاهش هزینه های مربوط به ساخت می گردد. در این زمینه کارهای بسیار اندکی شده است، که در این میان می توان سهم بهینه یابی شبکه های آبرسانی را در حد صفر دانست.

فصل سوم: روش ها و ابزارها

۳-۱ مقدمه

در این رساله از دو روش برای بهینه سازی شبکه های آبرسانی استفاده شده است: الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کلنی مورچگان. در این فصل نخست الگوریتم ژنتیک با فضای کاهش یافته با استفاده از روش پیشنهادی ارائه شده جهت کاهش فضای جستجو برای طراحی بهینه سازی شبکه های شناخته شده آبرسانی بکار گرفته شده است. سپس در ادامه با استفاده از الگوریتم کلنی مورچگان شبکه های آبرسانی شهری فوق یک بار دیگر بهینه یابی شده و نتایج با یکدیگر و با نتایج سایر محققان مقایسه می گردد. شایان ذکر است که در شبکه های آبرسانی بزرگ، فرآیندهای فرا اکتشافی با فضای جستجوی بزرگی روبرو هستند که ممکن است منجر به تأخیر در همگرایی گردد. این عامل باعث می شود که امکان رسیدن به بهینه ی مطلق کاهش و زمان محاسبات افزایش یابد. با کاهش در فضای جستجو، امکان یافتن مقادیر بهینه محاسبات کمتر و در نتیجه فرآیند بهینه سازی ممکن است در زمان محاسباتی کوتاهتری صورت پذیرد.

در این تحقیق عملگرهای ژنتیکی با الگوریتم کلنی مورچگان ترکیب شده و نتایج حاصله ارائه شده اند. در این الگوریتم ازسیستم مورچه ی برگزیده استفاده شده است و در برنامه از عملگرهای ترکیب و جهش در هر تکرار برای بهینه سازی سود برده می شود.

۳-۲ برنامه های نرم افزاری مورد استفاده:

در این رساله از زبان برنامه نویسی Visual BASIC 6.0 و برنامه ی تحلیل هیدرولیکی شبکه های آبرسانی EPANET2 در هر دو بخش استفاده شده است. همانگونه که در فصل اول اشاره شد، معادلات بسیاری هستند که رابطه ی بین افت فشار، نرخ جریان، طول و قطر لوله ها را ارائه می کنند. معادلات دارسی–ویسباخ و هیزن-ویلیامز از پرکاربردترین آنها می باشند که در این میان معادله ی هیزن-ویلیامز به طور گسترده ای توسط محققین در شبکه های آبرسانی مورد استفاده قرار می گیرد.

در معادله ی هیزن ویلیامز استفاده شده در EPANET مقادیر W،α و β ثابت و به ترتیب برابر۱۰/۶۶۷ ، ۱/۸۵۲ و ۴/۸۷۱ هستند.

با توجه به لینک شدن برنامه ی EPANET2 به برنامه ی Visual BASIC می توان برای تحلیل شبکه ها و اطمینان از وجود جواب ها در شبکه های آبرسانی سود برد[۲۵].

EPANET 2 یک برنامه ی رایانه ایست که رفتار هیدرولیکی و کیفی آب را در داخل شبکه لوله های تحت فشار انجام می دهد. این برنامه جریان آب در هرلوله، فشار در هر گره، ارتفاع آب در هر تانک و غلظت یک نوع ماده شیمیایی را در سراسر شبکه مورد بررسی قرار می دهد. از این برنامه می توان برای کاربردهای مختلفی در تحلیل سیستم های توزیع بهره جست. با استفاده از EPANET.dll که در برنامه ی BASIC فراخوانی می شود و ایجاد فایل متنی که در EPANET با پسوند inp ایجاد می گردد و استفاده از توابع تعریف شده می توان بین دو برنامه ی اشاره شده برای محاسبات هیدرولیکی مورد نظر ارتباط برقرار کرد.

مشخصات پردازنده جهت اجرای برنامه نیز به صورت زیر می باشد:

Cpu : Intel Core 2Duo 2.5 GHz
Ram 3Gb
Windows Sp3

۳-۳ توابع هدف و توابع جریمه

۳-۳-۱ تابع هدف

تابع هدف استفاده شده در این رساله با در نظرگیری هزینه ی شبکه براساس قطرهای موجود صورت می گیرد. در اجرای برنامه با استفاده از GA از عملگرهای انتخاب چرخ رولت و انتخاب مسابقه ای و از عملگرهای ترکیب یکنواخت، تک نقطه ای و دو نقطه ای با ایجاد کدگذاری جهشی و دودویی به تفکیک جهت مقایسه ی نتایج استفاده شده است.معادله ی تابع هدف به صورت کلی (۳-۱) می باشد که در بهینه سازی با الگوریتم مورچگان نیز از آن استفاده می شود.

$$C(D) = \sum_{k=1}^{n} C_k(D)L_k + \ Penalty\ cost \quad (۱-۳)$$

که

C_k هزینه ی لوله های شبکه ی آبرسانی

L_k طول هر یک از لوله ها

۳-۳-۲ تابع جریمه

تابع جریمه (پنالتی)، مقداری است که به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می شود، این مقدار به دلیل نقض قیود می باشد. در هنگامی که به واسطه ی متغیرهای طراحی قیود مسئله نقض می شوند، جریمه ای به تابع هدف اولیه مربوطه (تابع هدف ناشی از هزینه ی شبکه براساس قطرها) اعمال می گردد[۲۷] و[۲۶]. تابع جریمه در این رساله براساس نقض عامل فشار صورت می گیرد، و به صورت معادله ی (۳-۲) می باشد:

$$Penalty\ cost = \mathrm{C_{max}} * \mathrm{Max}(0, \mathrm{H_{min}} - \mathrm{H_i}) \quad (۲-۳)$$

که

$\mathrm{H_{min}}$ = حداقل مقدار فشار گره ای

$\mathrm{H_i}$ = مقادیر فشار گره ای

$\mathrm{C_{max}}$ = حداکثر هزینه در شبکه ی آبرسانی

۳-۴ محاسبات با الگوریتم ژنتیک

۳-۴-۱ روش پیشنهادی در زمینه ی کاهش فضای جستجو و ابزار های مورد استفاده

در شبکه های آبرسانی قطرهای قابل دسترس تجاری برای همه ی لوله های شبکه تعریف می شوند. یعنی تعداد قطرهای قابل انتخاب اولیه برای لوله ای که مقدار دبی آن خیلی بزرگ هست با لوله هایی که مقدار دبی آنها ممکن است خیلی کم باشد برابر است پس می توان گفت که بسیاری از قطرهای موجود در دسترس برای برخی از لوله ها نسبت به لوله های دیگر با توجه به دبی های آنها لازم نمی باشد. با توجه به اینکه میزان دبی ارتباط مستقیم با پارامترهای قطر و سرعت در لوله دارد و با استفاده

از معادله ی افت در لوله ها در اینجا سعی شده است از فرآیندی جهت کاهش تعداد قطرهای قابل انتخاب برای هر لوله استفاده شود.

به دنبال بررسی ها و آزمایشات اولیه، استفاده از پارامتر سرعت برای کاهش فضای جستجو پیشنهاد گردید. در این روش با در نظر گرفتن معیار سرعت، به تغییر قطرهای هر لینک بعد از هر تحلیل پرداخته شده و سعی می شود که سرعت آب در لوله ها در حد قابل قبول نگه داشته شوند. همچنین، در کنار استفاده از این پارامتر، از مفهوم مسیر نیز استفاده می شود.

۳-۴-۱-۱ مفهوم مسیر

در یک گره ی تقاضا ممکن است دبی از منبع توسط تعدادی از لوله ها که مسیری را ایجاد می کنند دریافت شود. مسیر مناسب، کوتاه ترین آنهاست که از منبع به گره ی تقاضای خاص می رسد. الگوریتم (۳-۳) مسیرهای ایجاد شده برای همه ی گره ها را نشان می دهد[۲۸]،[۲۹]:

$$Lp_j = \text{minimum}\,(Lp_i + L_{ij}) \qquad (۳-۳)$$

Lp_j= طول مسیر به گره ی j می باشد.

Lp_i = طول مسیر ماقبل j و به گره i (گره ی i به گره ی j مستقیما ارتباط دارد)

L_{ij} = طول لینک ij

در این حالت به هر گره تقاضا تنها یک مسیر از منبع اختصاص داده می شود. با استفاده از این مفهوم لوله ها به دو گروه لوله های اولیه و ثانویه دسته بندی می شوند. چنانچه برای رسیدن به گره از لوله ها استفاده شده باشد به آن لوله، لوله های اولیه و به لوله هایی که در پایان مفهوم مسیر بدون استفاده قرار گرفته باشند لوله های ثانویه گفته می شود. استفاده از فرآیند مفهوم مسیر اگر چنانچه در شبکه ای طول مسیرهای مختلف از گره ی منبع به سمت گره ی تقاضای خاص برابر باشد، (در واقع در شبکه های توزیع آب مستطیل شکل) در این صورت کوتاه ترین مسیر براساس سیر طبیعی

جریان در نظر گرفته می شود. ایده ی مفهوم مسیر براساس این فرضیه می باشد که ارزان ترین مد انتقال دبی در کوتاه ترین مسیر حاصل می شود، یعنی مسیری که تند ترین شیب ممکن را دارد.

۳-۴-۱-۲ مشخص کردن قطر متوسط در لوله ها

با توجه به اینکه قطرهای پیشنهادی برای هر شبکه با شبکه های دیگر متفاوت است، برای جامعیت بخشی به برنامه، در این جا از قطر متوسطی که براساس میانگین وزنی قطرها بدست می آید، استفاده می شود.

مقدار قطر متوسط از معادله ی (۳-۴) بدست می آید.

$$D_m = \left(\frac{\sum(d_i * x_d)}{\sum x_d} + \frac{\sum(d_i * (nm+1-x_d))}{\sum x_d}\right)/2 \qquad (۴-۳)$$

که:

D_m قطر متوسط

d_i قطر های شبکه ی i

x_d موقعیت قطر d در قطرهای قابل دسترس اولیه

nm تعداد قطرهای قابل دسترس

۳-۴-۱-۳ پارامتر سرعت در شبکه ها

با توجه به حداقل و حداکثر سرعت در نظر گرفته شده در شبکه، برنامه برای رسیدن به حد مجاز به تغییر قطر لوله ها می پردازد.

۳-۴-۲ روند اجرای برنامه

روند پیشنهادی شامل مراحل زیر در اجرای یک شبکه ی آبرسانی می باشد:

۱- ابتدا برای همه ی لوله ها با استفاده از معادله ی (۳-۴) قطر متوسطی در نظر گرفته می شود.

۲- از مفهوم مسیر طبق معادله ی (۳-۳) استفاده شده و لوله های اولیه و ثانویه در هر شبکه مشخص می گردد.

۳- برای لوله های ثانویه کوچکترین قطر موجود در شبکه در نظر گرفته می شود و در تمامی مراحل ثابت می ماند.

۴- در لوله های های اولیه، قطرها بعد از هر تحلیل شبکه با توجه به پارامتر سرعت تغییر می کنند تا به حالت پایدار برسد.

۵- قطرهای کاندید شده برای هر لوله مشخص می گردد.

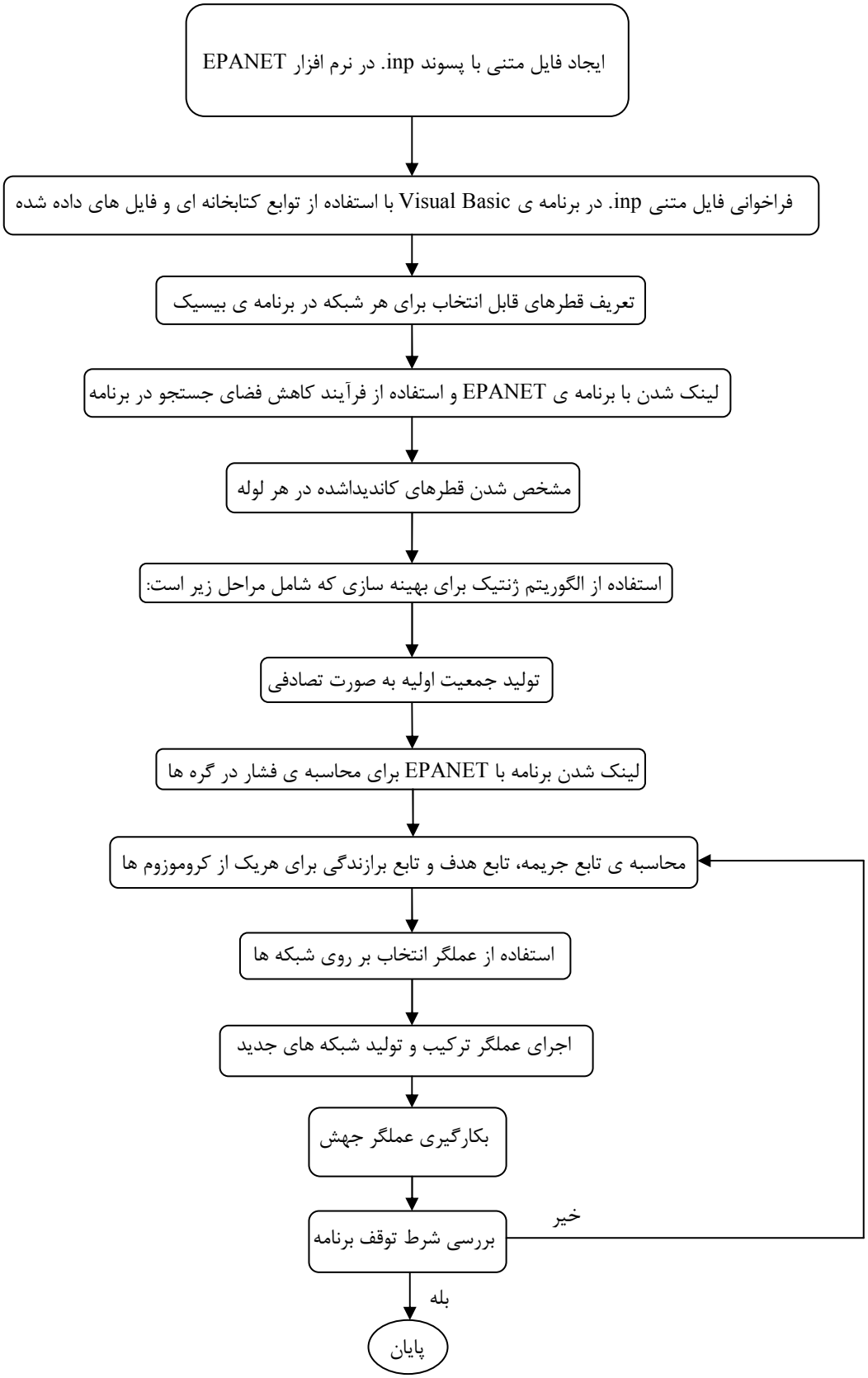
۶- با استفاده از الگوریتم های تکاملی به بهینه سازی شبکه می پردازیم

در اجرای برنامه ابتدا شبکه مورد نظر از EPANET2 فراخوانی می شود. با توجه به قطرهای تعریف شده در هر شبکه قطر متوسط بدست می آید و با در نظرگیری قابلیت مفهوم مسیر، لوله های ثانویه و اولیه در شبکه شناسایی می شود. در اجرای برنامه برای لوله های اولیه قطر متوسط و برای لوله های ثانویه از کوچکترین قطر موجود استفاده می شود؛ به طوریکه در تمامی مراحل تحلیل ثابت می ماند. تحلیل براساس قابلیت پارامتر سرعت در لوله ها انجام می شود. به این صورت که بعد از تحلیل اولیه با احتساب قطرهای متوسط در لوله های اولیه و کوچکترین قطر در لوله های ثانویه سرعت در لوله ها محاسبه شده و براساس آن قطر لوله های اولیه مجددا تنظیم می شود؛ به این صورت که چنانچه سرعت در لوله ای بیشتر از مقدار ماکزیمم باشد با توجه به تعریف دبی جریان در شبکه ها و نسبت مستقیم سرعت و قطر در لوله ها، قطر لوله به یک رده بالاتر از قطر موجود (در قطرهای قابل دسترس) تغییر می کند و به همین صورت برای لوله هایی که سرعت در آنها کمتر از حد مینیمم باشد قطر کوچکتری در نظر گرفته می شود. این روند تا رسیدن به حالت پایدار ادامه می یابد. بعد از آن با توجه به قطر های بدست آمده در هر لوله، قطرهای کاندیدا شده را مشخص می کنیم. هفت قطر برای هر لوله انتخاب می شود، سه قطر متوالی کوچکتر و سه قطر متوالی بزرگتر از قطر منتخب در مجموعه قطر های در دسترس، مجموعه اقطار قابل دسترس برای هر لوله را شامل می شود. بعد از مشخص شدن مجموعه قطرهای کاندیدا شده برای هر لوله از الگوریتم های تکاملی جهت بهینه سازی

استفاده می شود. برای اجرای برنامه از الگوریتم ژنتیک با کدگذاری دودویی و جهشی استفاده شده است.

با توجه اینکه از کدگذاری های جهشی و دودویی برای تبدیل کردن شبکه های آبرسانی به کروموزوم ها استفاده شده است و با در نظر گیری عملگرهای انتخاب چرخ رولت و مسابقه ای و همین طور عملگرهای ترکیب یکنواخت، تک نقطه ای و دو نقطه ای در مجموع ۱۲ برنامه برای اجرای شبکه های آبرسانی مختلف در نظر گرفته شده است. با استفاده از روند کاهش فضای جستجو تمامی کروموزوم ها در کدگذاری باینری هر یک حاوی ژن های ۳ بیتی برای هر یک از لوله های شبکه خواهند بود.

روند اجرای الگوریتم ژنتیک به این صورت است که ابتدا جمعیت اولیه ای در نظر گرفته می شود و با استفاده از توابع هدف و جریمه، شایستگی هر جمعیت محاسبه شده، سپس با استفاده از عملگرهای انتخاب به شناسایی شبکه پرداخته می شود و در ادامه از عملگرهای ترکیب و جهش جمعیت جدید حاصل می گردد، این عمل تا بدست آوردن شروط توقف تکرار می گردد.



شکل(۳-۱) فلوچارت فرآیند بهینه سازی شبکه های آبرسانی با الگوریتم ژنتیک مبتنی بر کاهش در فضای جستجو

۳-۵ بهینه سازی با الگوریتم مورچگان

در این رساله، بهینه سازی شبکه های آبرسانی با استفاده از الگوریتم مورچگان نیز صورت می گیرد. در این روش از قابلیت کاهش فضای جستجو استفاده نمی گردد و فقط به بهینه سازی آنها با الگوریتم پیشنهادی پرداخته می شود. همانطور که اشاره شد الگوریتم مورچگان براساس خصوصیات اجتماعی مورچه ها در پیدا کردن کوتاهترین فاصله بین لانه و منبع غذایی، پایه ریزی شده است. انواع مختلفی از الگوریتم های مورچگان جهت بهینه یابی پیشنهاد شده است که این رساله از الگوریتم سیستم مورچه ی برگزیده در هر تکرار AS_{elite}، سود جسته است. از سایر الگوریتم ها می توان به سیستم مورچه ها(AS)، سیستم جامعه مورچه ها (ACS)، سیستم مورچه های رتبه بندی شده (AS_{Rank})، و سیستم مورچه های بیشینه- کمینه (MMAS) اشاره کرد. تمام روش های توسعه یافته ی الگوریتم مورچگان بر پایه ی الگوریتم Ant system هستند و تفاوت اصلی این الگوریتم ها در به روز کردن مقدار فرمون مسیرها می باشد.

در روش AS_{elite} هنگام به روز کردن فرومون مسیرها، تنها به بهترین جواب ایجاد شده در هر تکرار در مقیاس کلی(Global) اضافه فرمون تعلق می گیرد. این حالت باعث می گردد که احتمال انتخاب مسیرهایی که در بهترین جواب قرار داشتند در تکرارهای بعدی بیشتر گردد. الگوریتم پیشنهادی را می توان یک الگوریتم ترکیبی دانست؛ چرا که در کنار استفاده از الگوریتم مورچگان از عملگرهای ترکیب و جهش الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به جواب های بهتر نیز استفاده می شود.

در این الگوریتم بعد از به روز کردن فرمون ها توسط معادله ی (۲-۳)، از تابع احتمال ارائه شده در رابطه ی (۲-۱) نیز برای انتخاب مسیر ها استفاده می شود و سپس بر روی مسیرها عمل ترکیب مضاعف و جهش صورت می گیرد. به دلیل مکانیزم مشابهی که الگوریتم های ژنتیک و مورچگان در بهینه سازی دارند، استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش الگوریتم ژنتیک می تواند در بهبود جواب های حاصل شده ی الگوریتم مورچگان با ترکیب کردن مسیرهای انتخاب شده ی هر تکرار و با

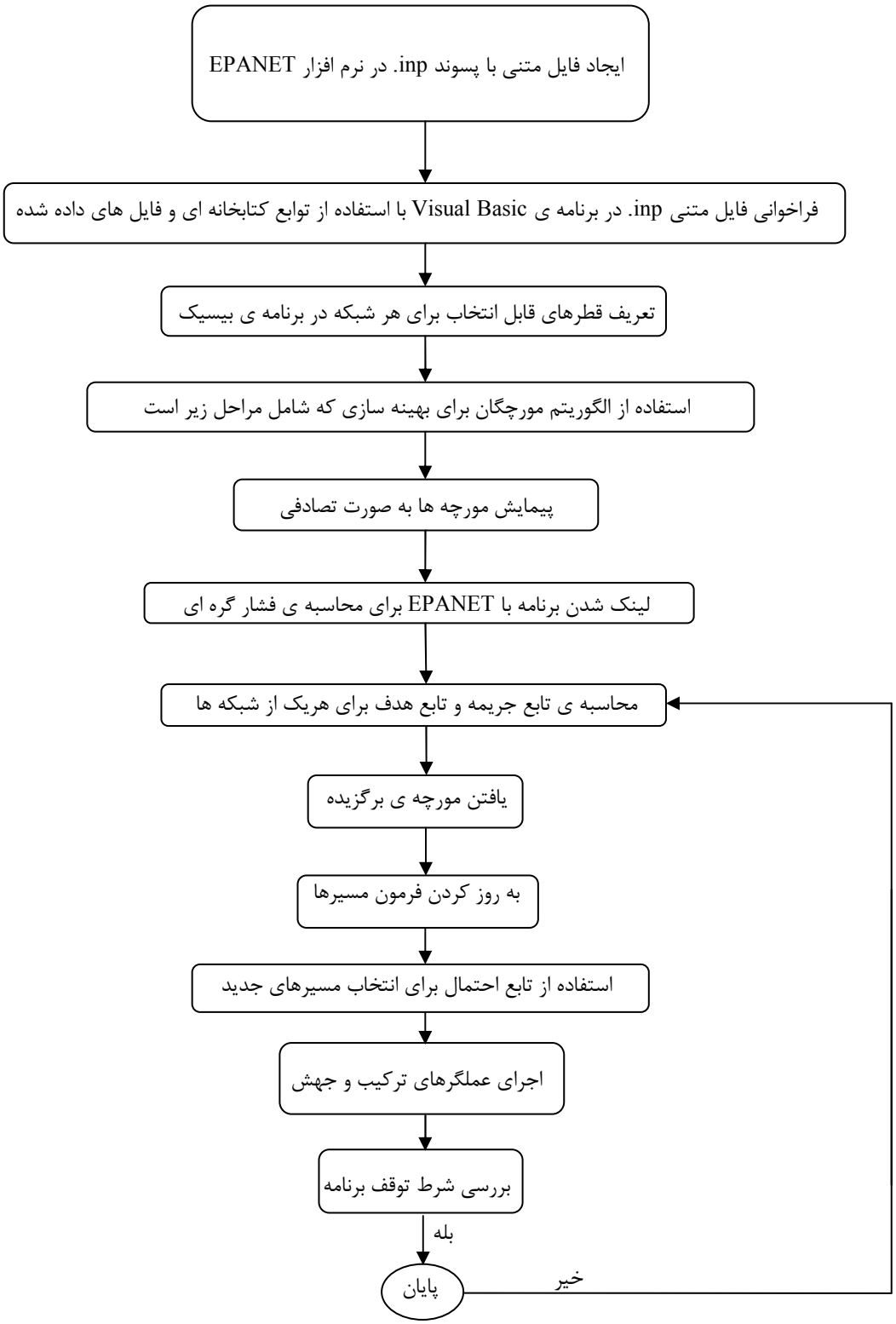
جلوگیری کردن از به دام افتادن در بهینه ی موضعی مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم تا رسیدن به تعداد تکرار مورد نظر به پایان می رسد.

با استفاده از معادله ی (۲-۴) اضافه فرمون به مسیرها داده می شود. در الگوریتم مورچه ی برگزیده ی هر تکرار m معادله ی (۲-۴) برابر یک می باشد که به وسیله ی معادله ی (۳-۵) مقدار اضافه فرمون مشخص می گردد. همانطور که مشخص است در این الگوریتم بهترین جواب هر تکرار شناسایی شده و با مقدار بهترین جواب بدست آمده در تکرار های قبلی مقایسه می شود و در نهایت به مسیرهای جواب برتر اضافه فرمون تعلق می گیرد.

$$\Delta\tau_{i(j)}^{k} = \begin{cases} \frac{R}{f(\varphi)^{k}} & if\ option\ I_{i(j)} is\ chosen\ at\ cycle\ k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۵-۳)$$

که R= maxcost یعنی حداکثر هزینه ای که یک شبکه می تواند داشته باشد.

$f(\varphi)^{k}$ هزینه ی مربوط به مورچه ی Kام است.



شکل(۳-۲) فلوچارت فرآیند بهینه سازی شبکه های آبرسانی با الگوریتم مورچگان ترکیبی

فصل چهارم : نتایج

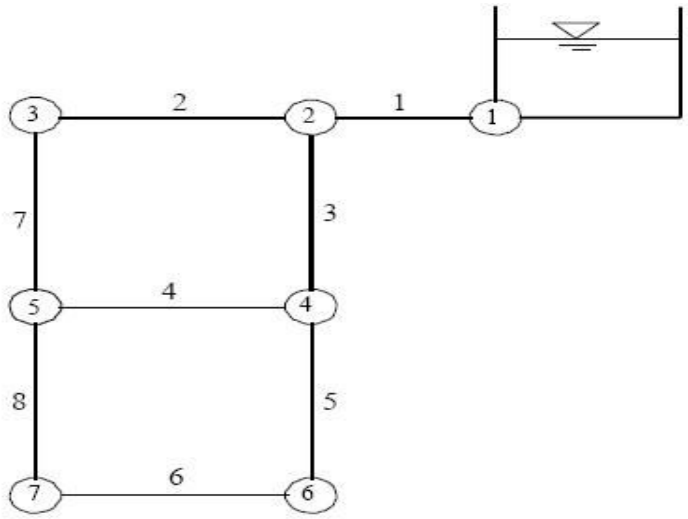
۴-۱ مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از اجرای برنامه بهینه یابی بر روی شبکه های شناخته شده ارائه گردیده و نتایج کاهش فضای جستجو مورد ارزیابی قرار می گیرد و جواب های بهینه با نتایج سایر محققین مقایسه می شود. شایان ذکر است که از کاهش فضای جستجو صرفا در بهینه یابی با الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و بهینه سازی شبکه ها با الگوریتم مورچگان بدون در نظر گیری قابلیت کاهش فضا می باشد.

۴-۲ شبکه ی دو حلقه ای

۴-۲-۱ معرفی شبکه

شبکه آبرسانی دو حلقه ای در مطالعات Alperovits and Shamir در سال ۱۹۷۷ مورد استفاده قرار گرفت[۳۰]. طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۴-۱) آورده شده است . این شبکه از ۸ لوله به طول هر یک ۱۰۰۰ متر تشکیل شده است که در جدول (۴-۱) مشخصات آن آورده شده است.این سیستم از طریق یک منبع با هد ثابت به صورت ثقلی تغذیه می شود. مخزن این شبکه با هد ثابت ۲۱۰ متر شبکه را تغذیه می کند. کمترین مقدار فشار مورد نیاز در هر گره ۳۰ متر می باشد . ضریب هیزن – ویلیامز برای تمامی لوله ها ۱۳۰ در نظر گرفته شده است. قطر های قابل انتخاب هر لوله و هزینه واحد طول هریک از قطرها در جدول (۴-۲) داده شده است. پارامترهای مورد استفاده در روش AS_{elite} نیز در جدول (۴-۳) داده شده است.



شکل (۴-۱) طرح پیکربندی شبکه آبرسانی دو حلقه ای

جدول (۴-۱) مشخصات گره های شبکه آبرسانی دو حلقه ای

Node	Demand (m^3/hr)	Ground level (m)
1 (Reservoir)	-1,120.0	210.00
2	100.0	150.00
3	100.0	160.00
4	120.0	155.00
5	270.0	150.00
6	330.0	165.00
7	200.0	160.00

جدول (۴-۲) سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه ی واحد طول هر لوله

Diameter (in)	Diameter (mm)	Cost (Units)
1	25.4	2
2	50.8	5
3	76.2	8
4	101.6	11
6	152.4	16
8	203.2	23
10	254.0	32
12	304.8	50
14	355.6	60
16	406.4	90
18	457.2	130
20	508.0	170
22	558.8	300
24	609.6	550

جدول (۴-۳) پارامترهای استفاده شده در شبکه ی دو حلقه ای با استفاده از AS_{elite}

پارامترهای استفاده شده در AS	مقادیر
M	100
α	1
β	0.5
τ0	100
ρ	0.98
Φ	maxcost
Pm	0.1
Pc	1

۴-۲-۲ نتایج حاصل از اجرای برنامه

مسئله ی روند کاهش فضای جستجو با استفاده از مفهوم مسیر و پارامتر سرعت در لوله ها در شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای تشریح می شود. قطر متوسط بدست آمده توسط معادله ی (۳-۴)، قطر ۱۲ اینچ می باشد. با استفاده از تعریف مفهوم مسیر لوله های ۴ و ۸ به عنوان لوله های ثانویه شناخته می شوند و بقیه ی لوله ها جزء لوله های اولیه هستند. بدین ترتیب به لوله های شماره ی ۴ و ۸ قطر ۱ اینچ که کوچکترین قطر قابل انتخاب در شبکه است داده می شود و برای لوله های اولیه نیز قطر ۱۲ اینچ استفاده می گردد. با توجه به مقدار حداکثر و حداقل سرعت در نظر گرفته شده برای شبکه های آبرسانی شهری بعد از هر تحلیل سرعت در لوله ها بررسی شده و چنانچه سرعت از حد ماکزیمم در لوله ای بیشتر باشد قطر لوله به یک رده بالاتر از دسته ی قطرهای قابل دسترس تغییر می کند و همین طور کمتر بودن سرعت در لوله ها از حد مینیمم به کم کردن قطر لوله ها منجر می شود. این روند تا زمانی که قطر لوله های شبکه ثابت شود ادامه می یابد. با توجه به نتایج تحلیل در لوله ی اول قطر ۱۸ اینچ، لوله ی دوم قطر ۱۲ اینچ، لوله ی سوم قطر ۱۶، لوله ی پنجم قطر ۱۶، لوله ی ششم قطر ۱۲و لوله ی هفتم قطر ۱۲ اینچ بدست می آیند. در ادامه سه قطر متوالی بزرگتر و سه قطر متوالی کوچکتر از قطر حاصل شده از تحلیل شبکه برای هر لوله با توجه به قطرهای قابل دسترس اولیه، قطرهای کاندیدا شده برای هر لوله را شکل می دهد.

روند اجرای الگوریتم مورچگان نیز برای شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای به صورت زیر می باشد:

جمعیتی از مورچه ها از نقطه ی شروع به سمت آخرین نقطه با در نظر گرفتن احتمال برابر به انتخاب مسیر (یکی از قطرهای قابل دسترس) در هر گره می پردازند. تعداد مورچه ها برابر ۱۰۰ در نظر گرفته می شود. در واقع هر مورچه یک راه حل (یک شبکه آبرسانی) را ایجاد می کند. با توجه به اینکه در ابتدا هیچ مسیری توسط مورچه ها پیمایش نشده است مسیر ها به صورت کاملا تصادفی انتخاب می شوند. مقدار فرمون اولیه ($\tau 0$) برای همه ی مسیرها ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. و با توجه به ماهیت شیمیایی فرمون ها که بعد از مدتی تبخیر می شوند از ضریب کاهشی ρ که مقداری بین صفر و یک هست برای به روز کردن فرمون ها در تکرار های بعدی استفاده می شود. برای شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای ρ برابر ۰/۹۸ است. در این روش تنها به مورچه ی برگزیده ی هر تکرار (global) ، اضافه فرمون با استفاده از فرمول (۳-۵) تعلق می گیرد. بعد از به روز کردن فرمون های مسیر از تابع احتمال معادله ی (۲-۱) استفاده می شود. در محاسبه ی تابع احتمال برای مشخص کردن مسیرهای جدید نیز از ضرایب α و β استفاده شده است. مقدار β در معادله ی میدان دید کاوشی استفاده شده و برای آنکه احتمال انتخاب را به سمت هزینه ی کمتر ببرد این مقدار برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. در واقع می توان گفت مقادیرm، $\tau 0$، ρ ، α و β ضرایبی هستند که بسته به نوع مسئله تغییر می کنند. در ادامه ی انتخاب مسیر ها بعد از بکارگیری تابع احتمال از عملگرهای GA برای بهبود انتخاب ها استفاده می شود.

بعد از تشریح مسئله نتایج بدست آمده از کاهش فضای جستجو در شبکه آبرسانی دو حلقه ای و قطرهای کاندیدا شده مورد ارزیابی قرار می گیرد و در ادامه نتایج استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی شبکه آورده شده است.

۴-۲-۲-۱ قطرهای کاندیدا شده برای شبکه ی دو حلقه ای

در این شبکه همانطور که اشاره شد، قطر ۱۲ اینچ به عنوان قطر متوسط با استفاده از معادله ی (۴-۳) بدست آمده است.

جدول (۴-۴) اندازه قطرهای کاندید شده در هر لوله ی شبکه ی دو حلقه ای

Pipe number	Candidate diameters (in)
1	12,14,16,**18**,20,22,24
2	6,8,10,**12**,14,16,18
3	8,10,12,14,**16**,18,20
4	**1**,2,3,4
5	8,10,12,14,**16**,18,20
6	6,8,10,**12**,14,16,18
7	6,8,10,**12**,14,16,18
8	**1**,2,3,4
فضای کل	14^8 = **1,475,789,056**
فضای کاهش یافته	7^6*4^2 = **1,882,384**

۴-۲-۲-۲ جواب بهینه شبکه با استفاده از GA و AS_{elite}

در جدول (۴-۵) مقادیر فشار گره ای، قطر لوله ها و هزینه ی بدست آمده برای شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای داده شده است. در هر دو الگوریتم مقدار بهینه ۴۱۹۰۰۰$ می باشد.

جدول (۴-۵) نتایج حاصل برای شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای

شماره ی لوله	قطر (in)	شماره گره	مقادیر فشار گره ای(m)
1	18	1	53.25
2	10	2	30.46
3	16	3	43.45
4	4	4	33.8
5	16	5	3044
6	10	6	30.55
7	10		
8	1		
هزینه	419000 $		

نتایج بدست آمده از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه ی دو حلقه ای برای حالات مختلف در جداول (۴-۶) و (۴-۷) نشان داده شده است.

جدول(۴-۶) نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه دو حلقه ای با کدگذاری جهشی

Pmutation=0.045 Pcrossover=1 کدگذاری جهشی						
روش	تعداد بهترین جواب	Evaluations	بدترین جواب	بهترین جواب	متوسط هزینه	Variance Coefficient
ترکیب یکنواخت و چرخ رولت	$\frac{21}{100}$	۳۰۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۵۲۰۰	0.021
ترکیب تک نقطه ای و چرخ رولت	$\frac{18}{100}$	۳۰۰۰	۴۶۵۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۹۵۹۰	0.031
ترکیب دونقطه ای و چرخ رولت	$\frac{20}{100}$	۳۰۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۵۹۶۰	0.020
ترکیب دونقطه ای و مسابقه ای	$\frac{17}{100}$	۱۵۰۰	۴۷۴۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۷۹۸۰	0.029
ترکیب یکنواخت و مسابقه ای	$\frac{28}{100}$	۲۵۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۴۶۱۰	0.0218
ترکیب تک نقطه ای و مسابقه ای	$\frac{18}{100}$	۲۵۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۶۴۲۰	0.02555

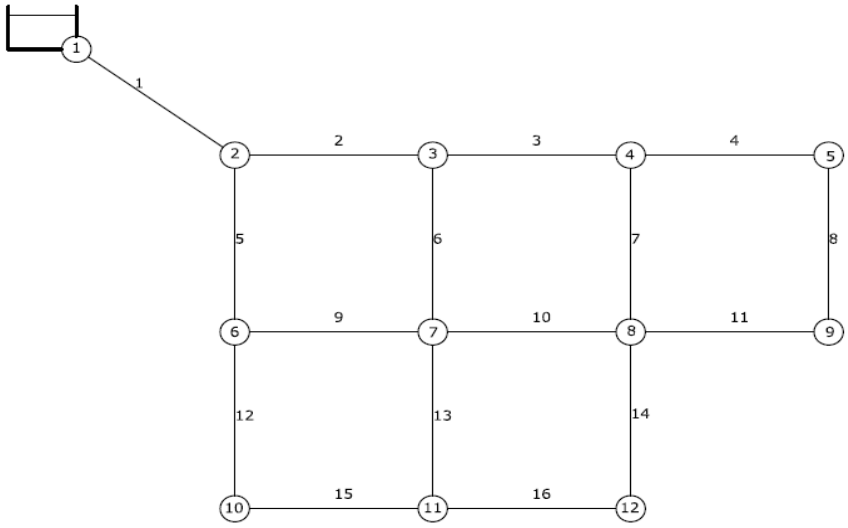
جدول (۴-۷) نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه دو حلقه ای با کد گذاری باینری

Pmutation=0.045 Pcrossover=1 کدگذاری باینری						
روش	تعداد بهترین جواب	Evaluations	بدترین جواب	بهترین جواب	متوسط هزینه	Variance Coefficient
ترکیب یکنواخت و انتخاب چرخ رولت	$\frac{7}{100}$	۳۰۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۳۱۴۷۰	0.032
ترکیب تک نقطه ای و انتخاب چرخ رولت	$\frac{17}{100}$	۳۰۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۶۴۹۰	0.026
ترکیب دو نقطه ای و انتخاب چرخ رولت	$\frac{17}{100}$	۳۰۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۵۵۷۰	0.023
ترکیب یکنواخت و انتخاب مسابقه ای	$\frac{12}{100}$	۲۵۰۰	۴۶۰۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۳۹۷۰	0.023
ترکیب تک نقطه ای و انتخاب مسابقه ای	$\frac{26}{100}$	۲۵۰۰	۴۴۸۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۱۶۱۰	0.014
ترکیب دو نقطه ای و انتخاب مسابقه ای	$\frac{30}{100}$	۲۵۰۰	۴۴۸۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۴۲۱۲۳۰	0.012

۴-۳ شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای

۴-۳-۱ معرفی شبکه

این شبکه توسط گلزار (۲۰۰۹)ارائه شده است[۳۱]. طرح پیکربندی آن در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. این شبکه از ۱۶ لوله به طول ۱۰۰۰ متر و با مشخصات داده شده در جدول (۴-۸) تشکیل شده است. ضریب هیزن ویلیامز برابر ۱۰۰ می باشد و کمترین مقدار فشار گره ای در تمامی گره ها برابر ۳۰ متر است. قطر های قابل انتخاب هر لوله در جدول (۴-۹) آورده شده است. پارامترهای مورد استفاده در روش AS_{elite} نیز در جدول (۴-۱۰) داده شده است.



شکل (۴-۲) طرح پیکربندی شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای

جدول (۴-۸) مشخصات گره های شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای

Node no	Ground Level (m)	Demand (LPS)
1 (Res)	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(۴-۹) اندازه لوله های قابل انتخاب و هزینه واحد طول هر لوله برای شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای

Diameter (in)	Diameter (mm)	Cost (Unit)
1	25.4	1.10
2	50.8	3.11
4	101.6	8.80
6	152.4	16.17
8	203.2	24.89
10	257	34.79
12	304.8	45.73
14	355.6	57.62

جدول(۴-۱۰) پارامترهای استفاده شده در شبکه های ۱۶ لوله ای با استفاده از AS_{elite}

پارامترهای استفاده شده در AS	مقادیر
M	100
α	3.5
β	0.5
τ0	1000
ρ	0.98
Φ	Maxcost
Pm	0.25
Pc	0.9

۴-۳-۲ نتایج حاصل از اجرای برنامه

۴-۳-۲-۱ قطرهای کاندیدا شده برای شبکه ی ۱۶ لوله ای:

در این شبکه،با استفاده از معادله ی (۳-۴) قطر ۸ اینچ به عنوان قطر متوسط بدست آمده است.

جدول(۴-۱۱) اندازه قطرهای کاندید شده ی هر لوله در شبکه ی ۱۶ لوله ای

Pipe number	Candidate diameters (in)
1	8,10,12,**14**
2	2,4,6,**8**,10,12,14
3	2,4,6,**8**,10,12,14
4	2,4,6,**8**,10,12,14
5	1,2,4,**6**,8,10,12
6	**1**,2,4,6
7	2,4,6,**8**,10,12,14
8	**1**,2,4,6
9	2,4,6,**8**,10,12,14
10	**1**,2,4,6
11	1,**2**,4,6,8
12	2,4,6,**8**,10,12,14
13	1,2,4,**6**,8,10,12
14	**1**,2,4,6
15	**1**,2,4,6
16	1,2,**4**,6,8,10
8^{16} = **2.8E14**	**فضای کل**
$4^5*6^1*7^8*5^2$ = **8.85E11**	**فضای کاهش یافته**

۴-۳-۲-۲ جواب بهینه برای شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای

در جدول (۴-۱۲) مقادیر فشار گره ای، قطر لوله ها و هزینه ی مربوطه برای شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای داده شده است. هزینه ی این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها در هر دو برنامه برابر ۳۱۰۳۸۸ $ می باشد.

جدول(۴-۱۲) نتایج حاصل برای شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای

مقادیر فشار گره ای(m)	شماره گره	قطر (in)	شماره ی لوله
0	1	14	1
54.58	2	12	2
51.2	3	10	3
46.3	4	10	4
32.22	5	6	5
42.01	6	1	6
37.33	7	8	7
30.34	8	1	8
42.76	9	8	9
32.19	10	1	10
35.43	11	4	11
31.14	12	8	12
		6	13
		1	14
		1	15
		6	16
310388 $			هزینه

نتایج بدست آمده از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای برای حالات مختلف در جداول (۴-۱۳) و (۴-۱۴) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۳) نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه ۱۶ لوله ای

Pmutation = 0.03 Pcrossover = 1 کدگذاری جهشی						
روش	تعداد بهترین جواب	Evaluations	بدترین جواب	بهترین جواب	متوسط هزینه	Variance coefficient
ترکیب یکنواخت و چرخ رولت	$\frac{12}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۴۲۶۶۹	۳۱۰۳۸۸	۳۲۰۱۳۷	0.0188
ترکیب تک نقطه ای و چرخ رولت	$\frac{10}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۴۳۵۴۵	۳۱۰۳۸۸	۳۲۰۱۳۰	0.021
ترکیب دونقطه ای و چرخ رولت	$\frac{14}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۴۸۸۸۸	۳۱۰۳۸۸	۳۱۹۴۹۱	0.021
ترکیب دونقطه ای و مسابقه ای	$\frac{11}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۴۳۱۵۳	۳۱۰۳۸۸	۳۲۱۲۳۸	0.021
ترکیب یکنواخت و مسابقه ای	$\frac{12}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۴۲۶۷۰	۳۱۰۳۸۸	۳۲۰۱۳۷	.0188
ترکیب تک نقطه ای و مسابقه ای	$\frac{10}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۵۷۶۱۱	۳۱۰۳۸۸	۳۲۱۸۹۶	0.025

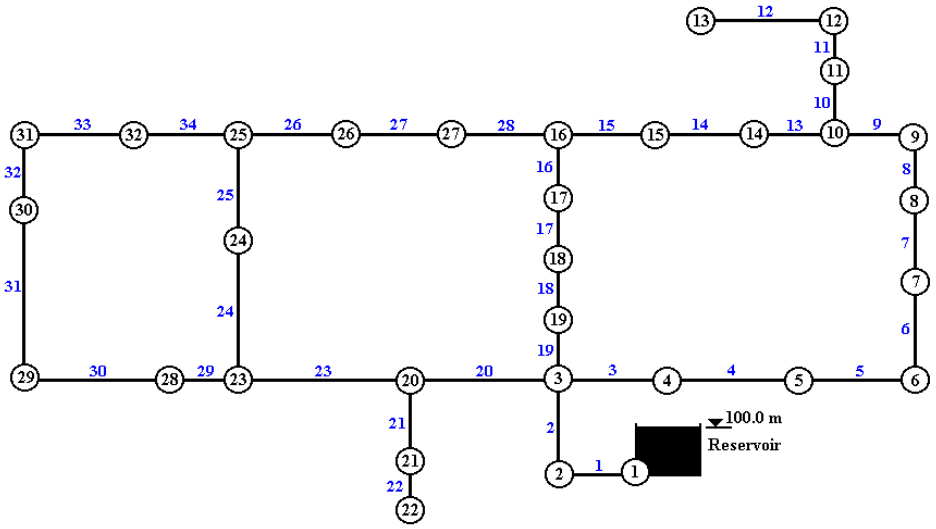
جدول(۴-۱۴) نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه ۱۶ لوله ای

Pmutation = 0.03 Pcrossover = 1 کدگذاری باینری						
روش	تعداد بهترین	Evaluations	بدترین جواب	بهترین جواب	متوسط هزینه	Variance coefficient
ترکیب یکنواخت و چرخ رولت	$\frac{8}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۴۴۵۷۰	۳۱۰۳۸۸	۳۲۱۹۵۹	0.020
ترکیب تک نقطه ای و چرخ رولت	$\frac{24}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۳۶۵۴۰	۳۱۰۳۸۸	۳۱۹۱۰۲	0.021
ترکیب دو نقطه ای و چرخ رولت	$\frac{20}{100}$	۱۲۵۰۰	۳۳۳۳۰۰	۳۱۰۳۸۸	۳۱۹۲۲۴	0.021
ترکیب یکنواخت و انتخاب مسابقه ای	$\frac{11}{100}$	۷۵۰۰	۳۳۹۴۰۰	۳۱۰۳۸۸	۳۲۲۷۹۷	0.023
ترکیب تک نقطه ای وانتخاب مسابقه ای	$\frac{21}{100}$	۷۵۰۰	۳۳۷۵۱۰	۳۱۰۳۸۸	۳۱۹۳۸۵	0.021
ترکیب دو نقطه ای ومسابقه ای	$\frac{17}{100}$	۷۵۰۰	۳۳۷۳۷۰	۳۱۰۳۸۸	۳۱۹۱۵۲	0.021

۴-۴ شبکه آبرسانی شهر هانوی

۴-۴-۱ معرفی شبکه

شبکه آبرسانی شهر هانوی اولین بار توسط Fujiwara and Kang در سال ۱۹۹۰ مورد مطالعه قرار گرفت[۳۲]. طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۴-۳) نشان داده شده است. قطر های قابل انتخاب و هزینه ی واحد طول هر لوله در جدول (۴-۱۵) آورده شده است. این شبکه از ۳۴ لوله و ۳۲ گره با مشخصات داده شده در جدول (۴-۱۶) و یک مخزن آب در ارتفاع ۱۰۰ متر تشکیل شده است. کمترین مقدار فشار گره ای در تمامی گره ها ۳۰ متر و ضریب هیزن ویلیامز برابر ۱۰۰ می باشد.



شکل (۴-۳) طرح شبکه آبرسانی هانوی

جدول(۴-۱۵) سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه ی واحد طول هر یک از لوله ها در شبکه هانوی

Available pipes from which the pipe selection will be made			
Nr	Diameter (inches)	Diameter (mm)	Unit cost (per meter length)
1	12	304.8	45.73
2	16	406.4	70.40
3	20	508.0	98.39
4	24	609.6	129.33
5	30	762.0	180.75
6	40	1 016.0	278.28

جدول (۴-۱۶) مشخصات هر یک از لوله ها و گره های شبکه ی هانوی

شماره گره	مقدار دبی (m^3/h)		شماره گره	مقدار دبی (m^3/h)		شماره لوله	طول لوله(m)		شماره لوله	طول لوله(m)
۱۸	۱۳۴۵		۲	۸۹۰		۱	۱۰۰		۱۸	۸۰۰
۱۹	۶۰		۳	۸۵۰		۲	۱۳۵۰		۱۹	۴۰۰
۲۰	۱۲۷۵		۴	۱۳۰		۳	۹۰۰		۲۰	۲۲۰۰
۲۱	۹۳۰		۵	۷۲۵		۴	۱۱۵۰		۲۱	۱۵۰۰
۲۲	۴۸۵		۶	۱۰۰۵		۵	۱۴۵۰		۲۲	۵۰۰
۲۳	۱۰۴۵		۷	۱۳۵۰		۶	۴۵۰		۲۳	۲۶۵۰
۲۴	۸۲۰		۸	۵۵۰		۷	۸۵۰		۲۴	۱۲۳۰
۲۵	۱۷۰		۹	۵۲۵		۸	۸۵۰		۲۵	۱۳۰۰
۲۶	۹۰۰		۱۰	۵۲۵		۹	۸۰۰		۲۶	۸۵۰
۲۷	۳۷۰		۱۱	۵۰۰		۱۰	۹۵۰		۲۷	۳۰۰
۲۸	۲۹۰		۱۲	۵۶۰		۱۱	۱۲۰۰		۲۸	۷۵۰
۲۹	۳۶۰		۱۳	۹۴۰		۱۲	۳۵۰۰		۲۹	۱۵۰۰
۳۰	۳۶۰		۱۴	۶۱۵		۱۳	۸۰۰		۳۰	۲۰۰۰
۳۱	۱۰۵		۱۵	۲۸۰		۱۴	۵۰۰		۳۱	۱۶۰۰
۳۲	۸۰۵		۱۶	۳۱۰		۱۵	۵۵۰		۳۲	۱۵۰
			۱۷	۸۶۵		۱۶	۲۷۳۰		۳۳	۸۶۰
						۱۷	۱۷۵۰		۳۴	۹۵۰

جدول (۴-۱۷) پارامترهای استفاده شده در شبکه ی هانوی با استفاده از AS_{elite}

پارامترهای استفاده شده در AS	مقادیر
M	100
α	3.5
β	0.5
τ0	1000
ρ	0.98
Φ	Maxcost
Pm	0.25
Pc	1

۴-۴-۲ نتایج حاصل از اجرای برنامه

در ابتدا نتایج بدست آمده از کاهش فضای جستجو در شبکه آبرسانی شهر هانوی و قطرهای کاندیدا شده مورد ارزیابی قرار می گیرد و در ادامه نتایج استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی شبکه ارائه شده است.

۴-۴-۲-۱ قطرهای کاندیدا شده برای شبکه ی آبرسانی هانوی

در این شبکه، قطر ۲۴ اینچ به عنوان قطر متوسط با استفاده از معادله ی (۳-۴) بدست آمده است. همانطور که در نتایج جدول (۴-۱۸) نشان داده شده است برای نمونه در لوله ی شماره ی ۱ به دلیل اینکه در پایان تحلیل شبکه، قطر ۴۰ اینچ (بزرگترین قطر قابل دسترس) حاصل شده است برای قطرهای کاندیدا شده ی لوله ی اول تنها سه قطر کوچکتر در نظر گرفته می شود.

جدول (۴-۱۸) اندازه قطرهای کاندید شده ی هر لوله در شبکه ی شهر هانوی

Pipe number	Candidate diameters (in)
1	20,24,30,**40**
2	20,24,30,**40**
3	20,24,30,**40**
4	20,24,30,**40**
5	16,20,24,**30**,40
6	16,20,24,**30**,40
7	12,16,20,**24**,30,40
8	12,16,20,**24**,30,40
9	12,16,20,**24**,30,40
10	12,16,20,**24**,30,40
11	12,16,20,**24**,30,40
12	12,16,20,**24**,30,40
13	**12**,16,20,24
14	12,16,20,**24**,30,40
15	12,16,20,**24**,30,40
16	12,16,20,**24**,30,40
17	16,20,24,**30**,40
18	16,20,24,**30**,40
19	16,20,24,**30**,40
20	20,24,30,**40**
21	12,16,20,**24**,30,40
22	12,16,**20**,24,30,40
23	16,20,24,**30**,40
24	12,16,20,**24**,30,40
25	12,16,**20**,24,30,40
26	**12**,16,20,24
27	12,16,20,**24**,30,40
28	12,16,20,**24**,30,40
29	12,16,20,**24**,30,40
30	12,16,20,**24**,30,40
31	**12**,16,20,24
32	**12**,16,20,24
33	**12**,16,20,24
34	12,16,20,**24**,30,40
6^{34} = **2.86E26**	فضای کل
$4^{10}*6^{18}*5^{6}$ = **1.66E24**	فضای کاهش یافته

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

در جدول (۴-۱۹) مقادیر فشار گره ای، قطر لوله ها و هزینه ی مربوطه برای شبکه ی آبرسانی شهر هانوی با استفاده از اجرای برنامه ی اول (بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک)داده شده است. مقدار هزینه 6.08 میلیون دلار می باشد. نتیجه ی بدست آمده با استفاده از اجرای برنامه ی دوم (بهینه سازی با الگوریتم پیشنهادی مورچگان) برابر 6.143 ملیون دلار بدست آمده است.

جدول (۴-۱۹) نتایج حاصل برای شبکه ی آبرسانی شهر هانوی با GA

شماره ی لوله	قطر (in)	شماره گره	مقادیر فشار گره ای(m)
1	40	1	0
2	40	2	97.14
3	40	3	61.67
4	40	4	56.92
5	40	5	51.02
6	40	6	44.81
7	40	7	43.45
8	40	8	41.61
9	40	9	40.23
10	30	10	39.2
11	24	11	37.64
12	24	12	34.21
13	20	13	30.01
14	16	14	35.52
15	12	15	33.72
16	12	16	31.3
17	16	17	33.41
18	24	18	49.93
19	20	19	55.09
20	40	20	50.61
21	20	21	41.26
22	12	22	36.1
23	40	23	44.52
24	30	24	38.93
25	30	25	35.34
26	20	26	31.7
27	12	27	30.76
28	12	28	38.94
29	16	29	30.13
30	12	30	30.42
31	12	31	30.7
32	16	32	33.18
33	16		
34	24		
هزینه	**6.08 milion $**		

نتایج بدست آمده از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه ی آبرسانی شهر هانوی برای حالات مختلف در جدول (۴-۲۰) نشان داده شده است.

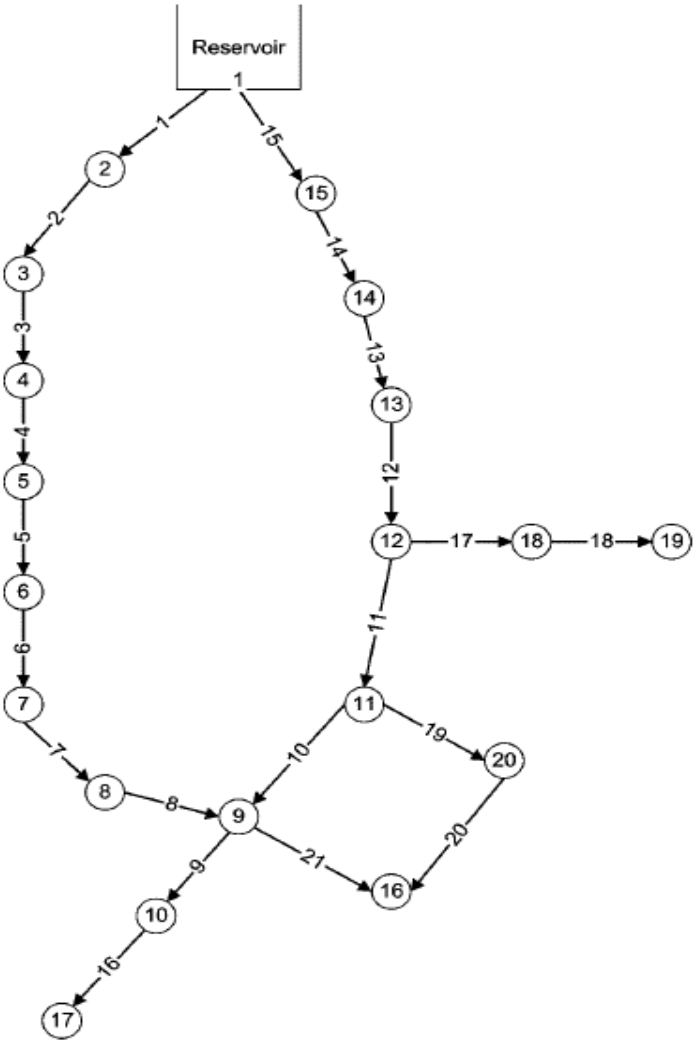
جدول (۴-۲۰) نتایج حاصل از ۱۰۰ بار اجرای برنامه در شبکه شهر هانوی

Pmutation = 0.02						
Pcrossover = 1						
کدگذاری جهشی						
روش	**تعداد بهترین**	**Evaluations**	**بدترین جواب**	**بهترین جواب**	**متوسط هزینه**	Variance coefficient
ترکیب یکنواخت و چرخ رولت	$\frac{3}{100}$	220000	6707332	6081150	6254125	0.0167
ترکیب تک نقطه ای و چرخ رولت	$\frac{2}{100}$	180000	6557260	6081150	6251510	0.0145
ترکیب دو نقطه ای و چرخ رولت	$\frac{2}{100}$	180000	6556532	6081150	6259098	0.015
ترکیب یکنواخت و انتخاب مسابقه ای	$\frac{1}{100}$	200000	6538970	6081150	6268140	0.0174
ترکیب تک نقطه ای وانتخاب مسابقه ای	$\frac{3}{100}$	180000	6688320	6081150	6307425	0.0198
ترکیب دو نقطه ای و مسابقه ای	$\frac{1}{100}$	200000	6559159	6081150	6267857	0.0178

۵-۴ شبکه آبرسانی شهر نیویورک

۴-۵-۱ معرفی شبکه

این شبکه اولین بار توسط Schaake and Lai در سال ۱۹۶۹ مورد مطالعه قرار گرفت. طرح پیکربندی این شبکه در شکل (۴-۴) نشان داده شده است[۳۳]. در طراحی بهینه ی این شبکه لوله های موازی در کنار لوله های موجود صورت گرفته است. این شبکه از ۲۱ لوله و ۲۰ گره با مشخصات داده شده در جدول (۴-۲۱) تشکیل شده است. ضریب هیزن ویلیامز در تمامی لوله ها برابر ۱۰۰ می باشد و کمترین مقدار فشار گره ای در تمامی گره ها برابر صفر است. قطر های قابل انتخاب هر لوله در جدول (۴-۲۲) ارائه گردیده است.



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

جدول (۴-۲۱) مشخصات لوله ها و گره ها در شبکه آبرسانی شهر نیویورک

Pipe data					Nodal data		
Pipe	Start node	End node	Length (m)	Existing diameter (mm)	Node	Demand (l/s)	Min. total head (ft)
1	1	2	3535.6	4572	1	reservoir	300
2	2	3	6035.0	4572	2	2616	255
3	3	4	2225.0	4572	3	2616	255
4	4	5	2529.8	4572	4	2497	255
5	5	6	2621.2	4572	5	2497	255
6	6	7	5821.6	4572	6	2497	255
7	7	8	2926.0	3353	7	2497	255
8	8	9	3810.0	3353	8	2497	255
9	9	10	2926.0	4572	9	4813	255
10	11	9	3413.7	5182	10	28	255
11	12	11	4419.6	5182	11	4813	255
12	13	12	3718.5	5182	12	3315	255
13	14	13	7345.6	5182	13	3315	255
14	15	14	6431.2	5182	14	2616	255
15	1	15	4724.4	5182	15	2616	255
16	10	17	8046.7	1829	16	4813	260
17	12	18	9509.7	1829	17	1628	272.80
18	18	19	7315.2	1524	18	3315	255
19	11	20	4389.1	1524	19	3315	255
20	20	16	11704.3	1524	20	4813	255
21	9	16	8046.7	1829			

جدول (۴-۲۲) سایز لوله های قابل انتخاب و هزینه ی واحد طول هر لوله در شبکه آبرسانی نیورک

Diameter		Pipe cost	
(inch)	(mm)	($/ft)	($/m)
36	(910)	93.5	(306.8)
48	(1220)	134.0	(439.6)
60	(1520)	176.0	(577.4)
72	(1830)	221.0	(725.1)
84	(2130)	267.0	(876.0)
96	(2440)	316.0	(1036.8)
108	(2740)	365.0	(1197.5)
120	(3050)	417.0	(1368.1)
132	(3350)	469.0	(1538.7)
144	(3660)	522.0	(1712.6)
156	(3960)	577.0	(1893.0)
168	(4270)	632.0	(2073.5)
180	(4570)	689.0	(2260.5)
192	(4880)	746.0	(2447.5)
204	(5180)	804.0	(2637.8)

جدول (۴-۲۳) پارامترهای استفاده شده در شبکه ی نیویورک با استفاده از AS_{elite}

پارامترهای استفاده شده در AS	مقادیر
M	100
α	3.5
β	0.5
τ0	1000
ρ	0.98
Φ	Maxcost
Pm	0.25
Pc	1

۴-۵-۲ جواب بهینه برای شبکه آبرسانی شهر نیویورک

به دلیل اینکه شبکه ی آبرسانی شهر نیویورک یک شبکه ی خاص است و در آن از یک سری لوله های موازی نسبت به لوله های اولیه برای ارضای حداقل فشار مورد نظر استفاده شده است، بنابراین در این شبکه فقط از الگوریتم مورچگان برای بهینه سازی استفاده شده است. در جدول(۴-۲۴) مقادیر فشار گره ای، قطر و هزینه ی بدست آمده برای شبکه ی آبرسانی شهر نیویورک داده شده است. هزینه ی این شبکه آبرسانی با توجه به هزینه واحد طول هر یک از لوله ها در برنامه ی الگوریتم مورچگان برابر ۳۸/۸ میلیون دلار می باشد.

جدول (۴-۲۴) جواب بدست آمده از اجرای برنامه در شبکه آبرسانی شهر نیویورک

شماره ی لوله	قطر (in)	شماره گره	فشار گره (m)
1	0	1	0
2	0	2	12.04
3	0	3	9.79
4	0	4	9.14
5	0	5	8.57
6	0	6	8.13
7	0	7	7.47
8	0	8	6.51
9	0	9	5.84
10	0	10	5.83
11	0	11	5.89
12	0	12	6.33
13	0	13	7.30
14	0	14	9.74
15	120	15	12.25
16	84	16	0.15
17	96	17	0
18	84	18	2.08
19	72	19	0.21
20	0	20	1.88
21	72		
هزینه	**38.8 milion $**		

۴-۶ مقایسه ی نتایج برنامه با نتایج محققین

در این قسمت نتایج حاصل از اجرای برنامه با نتایج بدست آمده توسط محققین دیگر مقایسه می گردد. مقایسه ی نتایج نشان می دهد برنامه برای بهینه سازی شبکه های آبرسانی کیفیت و کارایی مناسبی دارد.

۴-۶-۱ شبکه آبرسانی دو حلقه ای

در جدول (۴-۲۵) نتایج شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای از اجرای برنامه با نتایج محققین دیگر مقایسه شده است.

جدول (۴-۲۵) مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی دو حلقه ای با نتایج محققین دیگر

Two-loop Network	**Savic &Walters (1997) GA**		**Eusuff&Lansey (2003) Shuffled frog alg**	**Cunha et al (2004) Tabu Search**	**Present Work Ant colony**	**Present Work GA**
	w=10.5088	w=10.9031	w=10.667	w=10.667	w=10.667	w=10.667
Pipe number	Diameter(in)		Diameter(in)	Diameter(in)	Diameter(in)	Diameter(in)
1	18	20	18	20	**18**	**18**
2	10	10	10	10	**10**	**10**
3	16	16	16	16	**16**	**16**
4	4	1	4	1	**4**	**4**
5	16	14	16	14	**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**	**420000**	**419000**	**419000**

۴-۶-۲ شبکه آبرسانی شهر هانوی

در جدول (۴-۲۶) نتایج شبکه ی آبرسانی شهر هانوی از اجرای برنامه با نتایج محققین دیگر مقایسه شده است.

شکل (۴-۲۶) مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی شهر هانوی با نتایج محققین دیگر

HP	Savic and Walters (1997)*		Geem et al (2002) HS	Liong and Atiquzzaman (2004) SCE	Dijk et al (2008) Weighted penalty GA	Present Work Ant colony	Present Work GA
Pioe number	w=10.5088	w=10.9031	w=10.5088	w= 10.667	w=10.667	w=10.667	w=10.667
1	40	40	40	40	40	**40**	**40**
2	40	40	40	40	40	**40**	**40**
3	40	40	40	40	40	**40**	**40**
4	40	40	40	40	40	**40**	**40**
5	40	40	40	40	40	**40**	**40**
6	40	40	40	40	40	**40**	**40**
7	40	40	40	40	40	**40**	**40**
8	40	40	40	30	40	**40**	**40**
9	40	30	40	30	40	**30**	**40**
10	30	30	30	30	30	**30**	**30**
11	24	30	24	30	24	**24**	**24**
12	24	24	24	24	24	**24**	**24**
13	20	16	20	16	20	**16**	**20**
14	16	16	16	12	12	**12**	**16**
15	12	12	12	12	12	**12**	**12**
16	12	16	12	24	12	**16**	**12**
17	16	20	16	30	16	**20**	**16**
18	20	24	20	30	24	**24**	**24**
19	20	24	20	30	24	**30**	**20**
20	40	40	40	40	40	**40**	**40**
21	20	20	20	20	20	**20**	**20**
22	12	12	12	12	12	**12**	**12**
23	40	40	40	30	40	**40**	**40**
24	30	30	30	30	30	**30**	**30**
25	30	30	30	24	30	**30**	**30**
26	20	20	20	12	20	**24**	**20**
27	12	12	12	20	12	**12**	**12**
28	12	12	12	24	12	**12**	**12**
29	16	16	16	16	16	**16**	**16**
30	16	16	12	16	12	**12**	**12**
31	12	12	12	12	12	**12**	**12**
32	12	12	16	16	20	**16**	**16**
33	16	16	16	20	16	**16**	**16**
34	20	20	24	24	24	**24**	**24**
Cost ($milion)	6.073	6.195	6.056	6.220	6.110	**6.143**	**6.08**

These solutions are obtained using different numerical conversion constant for the head loss equations.

در نتایج حاصل شده بایستی به مقدار ثابت w معادله ی هیزن-ویلیامز اشاره کرد که در تحقیقات محققین با مقادیر مختلفی استفاده شده است. در واقع w بالاتر می تواند با در نظرگیری ارضای فشار در گره ها هزینه بیشتری نسبت به w کمتر داشته باشد.

۴-۶-۳ شبکه آبرسانی نیویورک

در جدول (۴-۲۷) نتایج شبکه ی آبرسانی شهر نیویورک از اجرای برنامه با نتایج محققین دیگر مقایسه شده است.

جدول (۴-۲۷) مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی شهر نیویورک با نتایج محققین

Newyork Network	**Dandy et al (1996) GA1**	**Lippai et al NYD1(1999)**	**Wu et al (2001) fmGA2**	**Morgan and Goulter (1985)**	**Maier et al (2007) ACOA**	**Present Work AS_{elite}**
	w=10.5088	w=10.9031	w=10.667	W=10.667	w=10.667	w=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	0	132	108	144	144	**0**
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	120	0	0	0	0	**120**
16	84	96	96	96	96	**84**
17	96	96	96	96	96	**96**
18	84	84	84	84	84	**84**
19	72	72	72	60	72	**72**
20	0	0	0	0	0	**0**
21	72	72	72	84	72	**72**
Cost ($milion)	38.8	38.13	37.13	39.2	38.64	**38.8**
Feasibility	feasible	Not feasible*	Not feasible*	feasible	feasible	feasible

***Infeasible solution (Pressure less than 0) when EPANET network solver was used.**

در نتایج بدست آمده مقدار جواب بهینه ی آقای Wu نمی تواند جواب مناسبی باشد، چرا که اگر شبکه ی مورد نظر با قطرهای بدست آمده توسط آقای wu مورد تحلیل قرار بگیرد، مشخص می شود که مقدار فشار حداقل، در برخی از گره ها ارضا نشده است و کمتر از حد مینیمم می باشد.

۴-۶-۳ شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای

جدول (۴-۲۸) نتایج شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای از اجرای برنامه با نتایج محققین دیگر را نشان می دهد.

شکل (۴-۲۸) مقایسه ی نتایج شبکه ی آبرسانی ۱۶ لوله ای با نتایج محققین دیگر

16 pipes network	**Golzar (2009) GA**	**Present Work Ant colony**	**Present Work GA**
	w=10.667	w=10.667	w=10.667
Pipe number	Diameter(in)	Diameter(in)	Diameter(in)
1	14	14	14
2	12	12	12
3	10	10	10
4	10	10	10
5	6	6	6
6	1	1	1
7	8	8	8
8	1	1	1
9	8	8	8
10	1	1	1
11	4	4	4
12	8	8	8
13	6	6	6
14	1	1	1
15	1	1	1
16	6	6	6
Cost ($)	**310388**	**310388**	**310388**

۴-۷ مقایسه ی نتایج با نتایج الگوریتم مورچگان Zecchin et al (۲۰۰۷)

در جدول (۴-۲۹) جواب های بدست آمده از اجرای برنامه با نتایجی که Zecchin و همکارانش در سال ۲۰۰۷ بر روی شبکه های شهر نیویورک و هانوی با روش های مختلف الگوریتم مورچگان بدست آوردند مقایسه شده است[۱۰]. حداقل هزینه حاصل شده توسط Zecchin با استفاده از الگوریتم مورچه ی برگزیده در شبکه ی آبرسانی شهر نیویورک ۳۸/۶۴ ملیون و در شبکه ی آبرسانی شهر هانوی ۶/۸۲۷ ملیون دلار و هزینه ی بدست آمده توسط برنامه به ترتیب ۳۸/۸ و ۶/۱۴۳ ملیون دلار می باشد.

جدول (۴-۲۹) شبکه آبرسانی شهر نیویورک و شهر هانوی

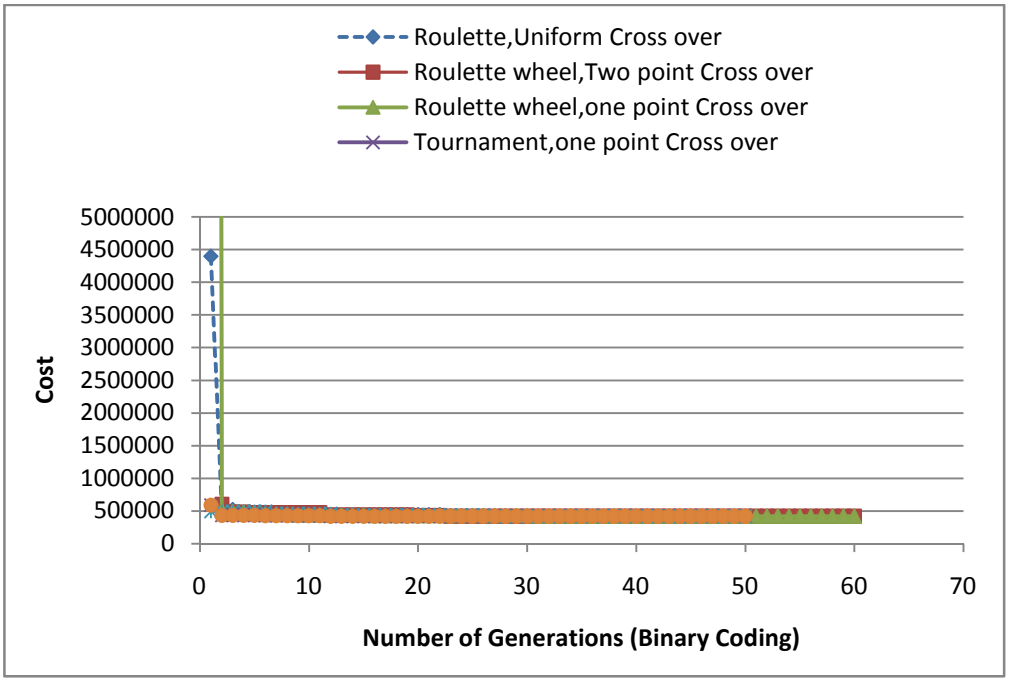
Case study	Algorithm	Min Cost($)	Mean	Max
NewYork Tunnel Problem	AS	39.204	39.910	40.922
	ACS	38.638	39.629	41.992
	AS_{elite}	38.638	38.988	39.511
	AS_{rank}	38.638	38.777	39.221
	MMAS	38.638	38.836	39.415
	$ACOA_{i\text{-}best}$	38.638	NA	NA
	$AS_{i\text{-}best}$	38.638	38.849	39.492
	Present Work	**38.8**	40.39	44.4
Hanoi Problem	AS	NFS	NFS	NFS
	ACS	7.754	8.109	8.462
	AS_{elite}	6.827	7.295	8.187
	AS_{rank}	6.206	6.506	6.788
	MMAS	6.134	6.394	6.635
	$AS_{i\text{-}best}$	6.367	6.842	7.474
	Present Work	**6.143**	6.370	6.579

Note : NFS means no feasible solution was found.

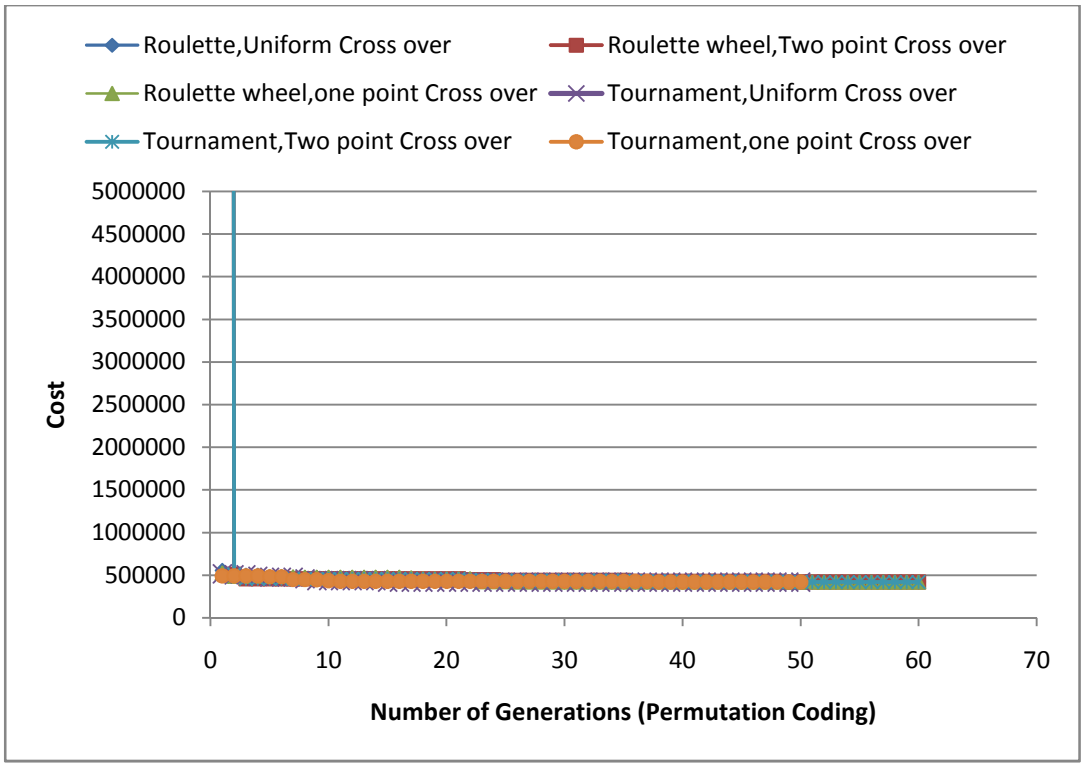
NA means that the information was not available.

For case studies ,Results are based on 20 Runs.

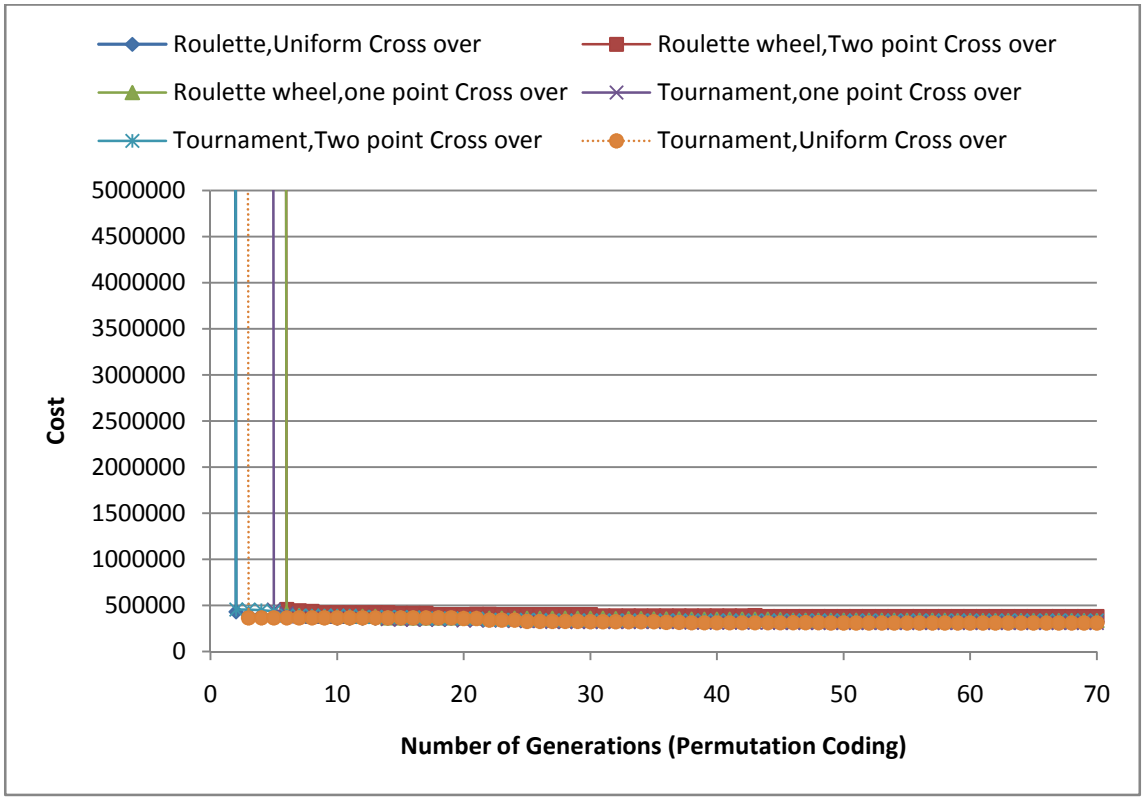
در ادامه نمودارهای نسل-هزینه برای بهترین جواب های حاصل از اجرای برنامه در شبکه های آبرسانی مختلف ارائه شده است.



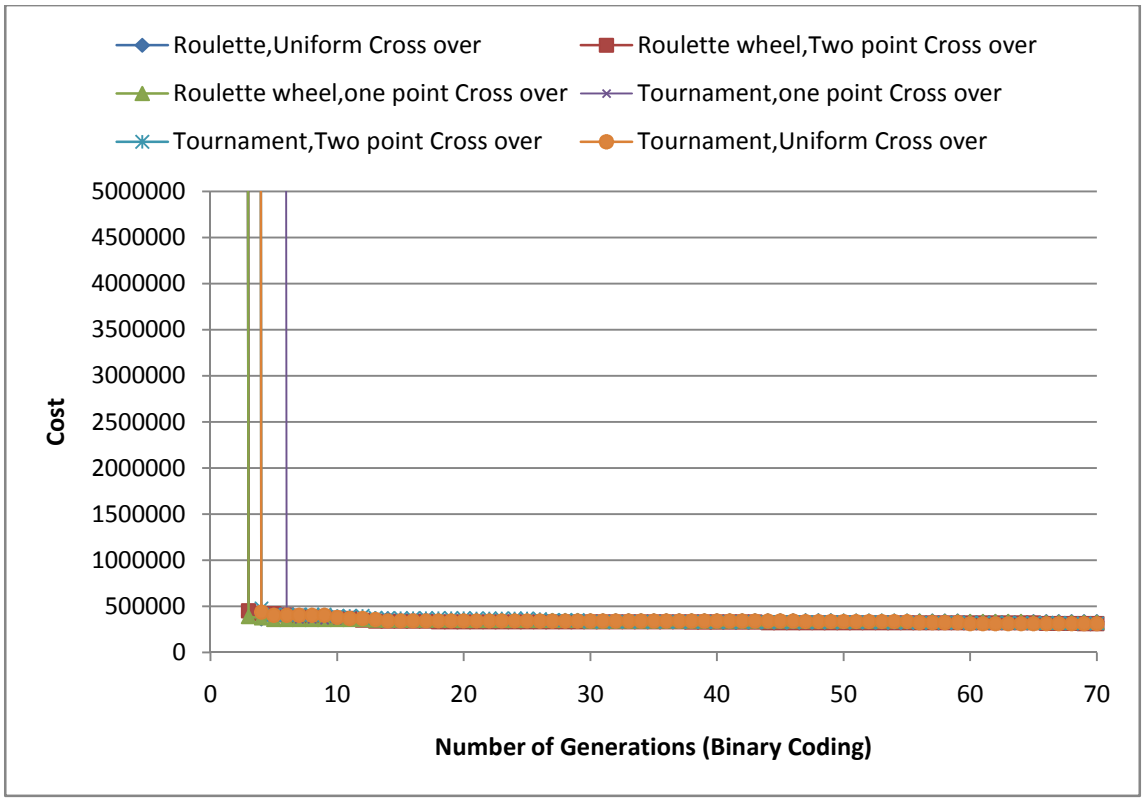
شکل(۴-۵) نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی دو حلقه ای با استفاده از کدگذاری باینری



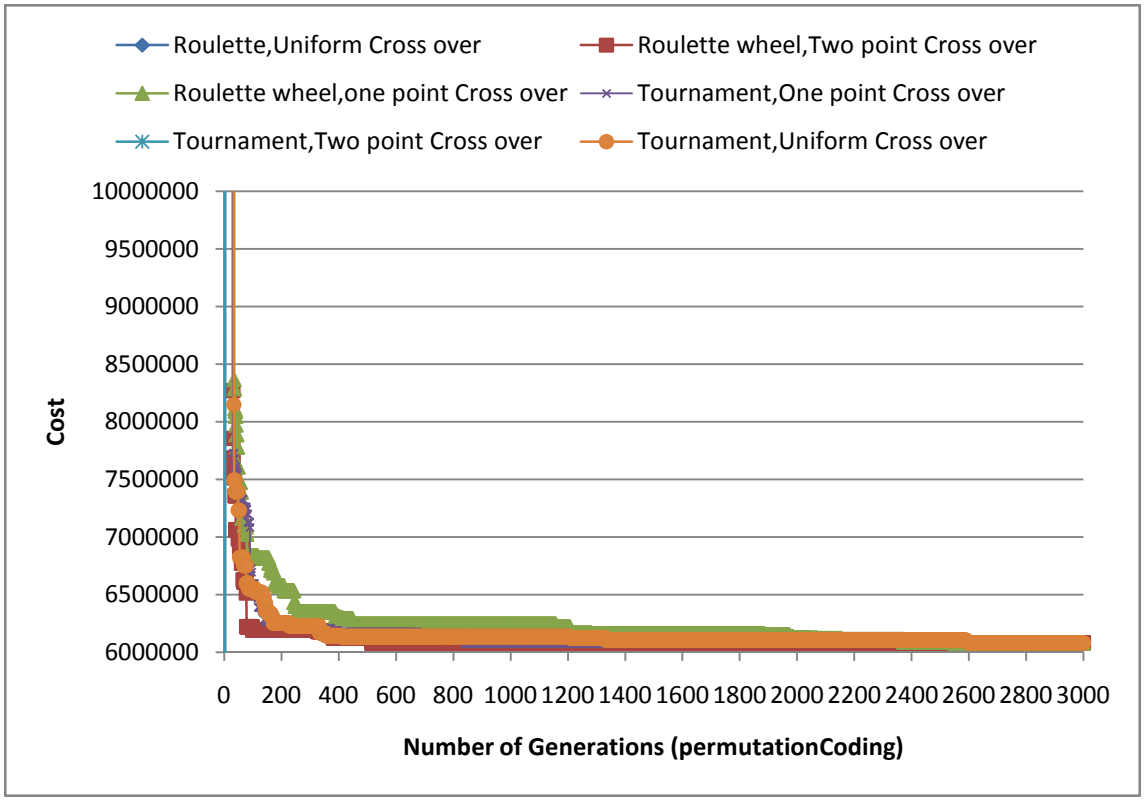
شکل(۴-۶) نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی دو حلقه ای با استفاده از کدگذاری جهشی



شکل (۴-۷) نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای با استفاده از کدگذاری جهشی



شکل(۴-۸) نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی ۱۶ لوله ای با استفاده از کدگذاری باینری



شکل(۴-۹) نمودار نسل-هزینه مربوط به شبکه آبرسانی شهر هانوی با استفاده از کدگذاری جهشی

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

در بهینه سازی امکان حصول دو نوع جواب بهینه، محلی و مطلق، وجود دارد. در شبکه های بزرگ بهینه مطلق را نمی توان تعیین کرد و لذا حتی در صورت وصول به آن نمی توان با قاطعیت از آن سخن گفت زیرا تمام فضای جستجو به دلیل بزرگی آزموده نشده است. در یک شبکه آبرسانی که متغیرهای نا پیوسته مسئله نقش مهمی در بهینه یابی دارند، استفاده از الگوریتم های دقیق، بخصوص چنانچه مسئله با تعداد زیادی از متغیرها سرو کار داشته باشد، باعث اتلاف زمان و هزینه در اجرای محاسبات می گردد و به همین خاطر استفاده از الگوریتم های فرااکتشافی توصیه گردید. این الگوریتم ها با کاوش در فضای جستجو و با استفاده از توابع احتمال مسئله را به سمت بهینه ی مطلق سوق می دهند. کل فضای جستجو از طریق زمان حل یک مسئله قابل شناسایی است، اما معمولا نقاط کمی از آن فضا مشخص است و لذا باید از طریق ایجاد نقاط دیگر به پیدا کردن جواب ها ادامه داد.

از مهمترین مشکلات ذکر شده ی این روش ها تعداد بسیار زیاد حالات ممکن در فرآیند جستجو می باشد که باعث کندی در حل و عدم دستیابی به جواب های بهینه می گردند. استفاده از ایده ی کاهش فضای جستجو در حقیقت رسیدن به جواب بهینه ی بهتر و کاهش زمان محاسباتی می باشد.

جستجوی GA متأثر از پارامترهای مختلفی همچون اندازه ی شبکه ، طرح کدگذاری، روش جریمه، تابع شایستگی ، عملگر انتخاب و ترکیب ، احتمال ترکیب (P_c) و احتمال جهش (P_m) و تکنیک های شبیه سازی هیدرولیکی می باشد . پارامترهایی همچون اندازه ی شبکه و تعداد قطرهای تجاری قابل دسترس در بازار تأثیر قابل ملاحظه ای در جستجوی الگوریتم ژنتیک دارد .

برای شبکه های آبرسانی بزرگ، جستجوی الگوریتم ژنتیک به علت فضای گسسته ی بزرگ ممکن است منجر به تأخیر در همگرایی گردد. بنابراین این عامل باعث می شود امکان رسیدن به بهینه ی کلی کاهش و در نتیجه زمان محاسبات افزایش یابد. با کاهش در فضای جستجو امکان ایجاد راه حل

های مناسب سریعتر و یک راه حل بهینه در یک تولید مثل کمتر و زمان محاسباتی کمتر صورت می پذیرد .

۵-۲ یافته های این تحقیق

در این رساله با استفاده از پارامترهای سرعت جریان در لوله ها و بکارگیری مفهوم مسیر در شبکه های آبرسانی تعداد قطرهای قابل انتخاب در هر لوله را کاهش داده و در ادامه با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک به بهینه کردن شبکه ی آبرسانی پرداخته شد. استفاده از ایده ی کاهش فضای جستجو باعث کاهش تعداد نسل ها در فرآیند بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک می گردد که این امر زمان محاسبه را کاهش داده و روند جستجو برای رسیدن به بهینه ی مطلق به دلیل کاهش تعداد قطرهای قابل انتخاب در هر لوله افزایش می یابد.

شبکه های استاندارد انتخابی توسط سایر محققان برای یافتن بهینه آنها با روشهای گفته شده در این تحقیق مجددا بهینه یابی شد. نتایج حاصل نشان داد که کاهش فضای جستجو به کاهش زمان محاسبات منتهی می شود. این امر می تواند برای بهینه یابی شبکه های بسیار بزرگ امری حیاتی تلقی گردد.

همچنین نتایج حاکی از موفقیت آمیز بودن ترکیب دو الگوریتم کلنی مورچگان و ژنتیک است. این کار با اضافه کردن عملگر های جهش و ترکیب به فرآیند انتخاب مسیر در الگوریتم کلنی مورچگان حاصل شده است.

۵-۳ پیشنهاد کارهای آتی

- در یک شبکه ی آبرسانی شهری کاهش هزینه ی احداث شبکه به دو طریق بهینه سازی شکل شبکه جهت دارا بودن حداقل لوله های مورد نیاز و یا بهینه سازی قطر لوله های موجود در شبکه به منظور کاهش هزینه های ساخت انجام می گیرد. در مدیریت طراحی و بهره برداری شبکه ها نقش جانمایی می تواند بسیار مهم باشد. بنابراین طرح بهینه سازی هزینه ی شبکه

های آبرسانی می تواند به صورت همزمان براساس شکل شبکه و حداقل هزینه ی ساخت صورت گیرد.

- استفاده از ایده ی کاهش فضای جستجو می تواند با استفاده از روش های دیگری که اثرات توامان افت فشار و سرعت در شبکه را مورد بررسی قرار می دهد صورت گیرد؛ بعلاوه میتوان الگوریتم های فرااکتشافی دیگر را نیز در این مورد مورد تحقیق قرار داد.
- بکارگیری شبکه هایی که دارای مخازن ذخیره ی آب و پمپ ها و شیرهای کنترل می باشند، به عنوان توابع چند هدفه می تواند در تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرد.
- همانطور که می دانیم الگوریتم های ژنتیک و مورچگان با اینکه از زمان طرح آنها در زمینه های بهینه سازی شبکه های آبرسانی چند دهه ای می گذرد ولی با توجه به فرآیند جستجوی این الگوریتم ها هنوز مورد توجه محققین قرار دارد و جای پیشرفت در قسمت های مختلف آن همچون نوع کدگذاری، عملگرهای استفاده شده ، توابع جریمه و ... می تواند داشته باشد.

پیوست الف

در این بخش مهم ترین فرااکتشافات برحسب تقسیم بندی جستجوی مبتنی بر جمعیت در مقابل تک نقطه ای توصیف می‌گردد. این انتخاب به آن دلیل است که این طبقه بندی به ما اجازه می دهد توصیف شفاف تری از الگوریتمها ارائه دهیم.

الف-۱ روشهای خط سیر

لغت روشهای خط سیر به این دلیل مورد استفاده قرار می گیرد که فرآیند جستجوی انجام شده با این روشها، با یک خط سیر در فضای جستجو، مشخص می شود. اینجا یک راه حل جانشین ممکن است به همسایگی راه حل فعلی تعلق داشته یا نداشته باشد.

الگوریتم از یک حالت اولیه (راه حل اولیه) شروع می شود و یک خط سیر را در فضای جستجو توصیف می کند.

الف-۱-۱ جستجوی محلی پایه: (بهبود تکراری)

جستجوی محلی پایه اغلب بهبود تکراری نامیده می شود، زیرا هر حرکت در صورتی انجام می شود که راه حل نتیجه، بهتر از راه حل فعلی باشد. به محض یافتن کمینه محلی، الگوریتم پایان می یابد.

الف-۱-۲ الگوریتم جستجوی ممنوعه (Tabu Search)

جستجوی ممنوعه، یک الگوریتم جستجوی مستقیم دیگر برای بهینه سازی مسائل پیچیده ی غیرخطی می باشد. در این روش، انتقال از یک جواب امکان پذیر اولیه به یک جواب امکان پذیر ثانویه، یک حرکت خوانده می شود. در این روش که براساس فرآیند حافظه ی انسان[1] پیشنهاد شده است[۳۴]، فهرستی از آخرین نقاطی که مورد بررسی قرار گرفته اند فهرست ممنوعه[2] نامیده می شود. هدف از تهیه ی این فهرست، جلوگیری از انتقال به نقاطی است که قبلاً مورد بررسی قرار گرفته اند. این موضوع می تواند ناحیه ی جستجو را گسترش دهد. در این روش ابتدا یک جواب اولیه به طور

[1] Human Memory
[2] Tabu List

تصادفی تولید می شود؛ سپس تمام نقاط جواب در همسایگی نقطه ی جواب شناسایی شده و مقدار تابع هدف در هر کدام محاسبه می گردد.

در این مرحله از نقطه ی اولیه به بهترین نقطه در همسایگی آن منتقل شده و مشخصات نقطه ی قبلی در لیست ممنوعه ذخیره می گردد. در این مرحله دوباره نقاط در همسایگی جواب جدید شناسایی شده و مقدار تابع هدف در هر کدام از آنها محاسبه می گردد. در ادامه، نقطه ای از نقاط همسایگی جدید جهت انتقال انتخاب می گردد که اولاً در بین تمام نقاط همسایگی دارای بهترین مقدار برای تابع هدف باشد و ثانیاً قبلاً در لیست ممنوعه ذخیره نشده باشد. از آنجا که ظرفیت فهرست ممنوعه محدود می باشد در صورت پر بودن فهرست، با ورود یک فهرست جدید، قدیمی ترین جواب از فهرست خارج می شود. ظرفیت فهرست ممنوعه نقش مهمی را در کارایی روش ارائه می کند. یک فهرست کوچک نمی تواند از تکرار جوابهای قبلی جلوگیری کند و یک فهرست بزرگ نیز حجم محاسبات را افزایش خواهد داد. طول فهرست ممنوعه، حافظه ی فرآیند جستجو را کنترل می کند. در حافظه ی کوتاه مدت[1]، جستجو در محدوده ی کوچکی از فضای جستجو متمرکز شده در حالیکه در حافظه ی بلند مدت[2] محدوده های بزرگتری از فضا مورد جستجو قرار می گیرد [۳۵].

در مواقعی که کلیه ی جواب های تولید شده در همسایگی جواب جاری، در فهرست ممنوعه قرار دارند لازم است یک جواب جاری جدید انتخاب گردد. این جواب عموماً جوابی است که در طول سیر محاسبات تا این مرحله به تعداد کمتری وارد فهرست ممنوعه شده است. این موضوع می تواند پراکندگی ناحیه ی جستجو و عدم ارائه ی جوابهای موضعی را تضمین نماید. در روش جستجوی ممنوعه همواره بهترین جواب ارزیابی شده تا آن مرحله، ذخیره می گردد و در صورتی که پس از تکرار زیاد این جواب تغییر نکند می توان انتظار داشت که جواب بهینه ی عمومی مسئله حاصل شده است. مهمترین مراحی که در الگوریتم جستجوی ممنوعه بایستی رسیدگی شود عبارتند از :

[1] Short-term Memory
[2] Long-term Memory

حل اولیه[1] ، ساختار همسایگان[2] ، فرآیند دگرگونی، تغییرمکان های ممنوعه، سایز لیست ممنوعه، معیار دم زنی[3] و معیار پایان دهی[4]

الف-۱-۳ الگوریتم بازپخت شبیه سازی شده

فرآیند بازپخت به منظور دستیابی به پایدارترین حالت یک ماده ی جامد، و یا به عبارت دقیقتر، دستیابی به آرایش اتمی از ماده که دارای حداقل انرژی است، اولین بار در سال ۱۹۵۳ توسط متروپولیس معرفی شد [۳۶].

برای انجام بازپخت ابتدا ماده مورد نظر تا حد زیادی گرم می شود، تا اتم های آن به شدت به جنبش در آیند. توزیع بولترمن[5] نشان می دهد که در این حالت، احتمال قرارگیری اتم ها در هر وضعیت، بجز انرژی آن وضعیت، به دمای ماده نیز بستگی دارد. سپس دما اندکی کاهش یافته و مدتی به ماده فرصت داده می شود تا به ترازمندی برسد. با کاهش دما احتمال رخ دادن آرایش های دارای انرژی بیشتر کاهش می یابد. با تکرار عمل کاهش دما هنگامی که دما به صفر نزدیک می شود، ماده به یکی از آرایشهای دارای انرژی کمینه می رسد. در سال ۱۹۸۳ kirkpatrick شباهت مسائل بهینه سازی را با فرآیند بازپخت فلزات که تابع انرژی ماده را کمینه می کند را مطرح کرد.

بازپخت شبیه سازی شده یک روش بهینه سازی تصادفی براساس فرآیند فیزیکی بازپخت می باشد. در این فرآیند گرمایی یک ماده تا یک دمای مشخص گرم می شود و به آرامی برای رسیدن به یک حالت انرژی مینیمم سرد می شود.

الف-۱-۴ روش های جستجوی محلی کاوشگرانه[6]

[1] Initial Solution
[2] Neighborhood Structures
[3] Aspiration Criterion
[4] Termination Criteria
[5] Boltzmann Distribution
[6] Explorative

در این بخش، چند روش خط سیر اخیر معرفی می گردند. این روشها شامل رویه جستجوی تطابقی تصادفی حریصانه (GRASP)، جستجوی همسایگی متغیر(VNS)، جستجوی محلی هدایت شده(GLS) و جستجوی محلی تکراری است.

الف-۱-۴-۱ GRASP

فرااکتشافی ساده است که اکتشافات ساختاری و جستجوی محلی را ترکیب می کند. ساختار آن، رویه ای تکراری شامل ۲ فاز است: ساخت راه حل و بهبود راه حل. در زمان اتمام رویه ی جستجو، بهترین راه حل یافته شده برگردانده می‌شود. مکانیزم ساخت راه حل با دو جزء اصلی مشخص می گردد. تابع اکتشافی سازنده[1] پویا و تصادفی کردن.

الف-۱-۴-۲ جستجوی همسایگی متغیر

این روش از استراتژی تغییر پویای ساختار همسایگی بهره می برد. الگوریتم بسیار کلی است و درجات آزادی زیادی برای طراحی تغییرات و مقداردهی های خاص دارد. در مرحله مقداردهی اولیه، مجموعه-ای از ساختارهای همسایگی تعریف می گردد. این همسایگی ها می توانند به طور اختیاری انتخاب گردند ولی اغلب به نحوی تعریف می شوند که تعداد اعضای آنها دارای ترتیب صعودی باشد. سپس یک راه حل اولیه تولید می گردد، اندیس همسایگی مقداردهی شده و الگوریتم تا زمان رسیدن به شرط خاتمه، ادامه می یابد. چرخه اصلی الگوریتم شامل سه فاز است: آشفتگی[2]، جستجوی محلی و جابه‌جایی.

الف-۱-۴-۳ جستجوی محلی هدایت شده

در روشهای TS و VNS، از همسایگی های پویا برای جستجوی کارا و موثر استفاده می گردد. رویکرد متفاوتی برای هدایت جستجو، تغییر پویای تابع هدف می باشد. GLS از این روش استفاده می کند. اصل پایه ای GLS، کمک به عمل جستجو برای حرکت تدریجی از کمینه های محلی با تغییر چشم انداز جستجوست. در GLS فضای جستجو مجموعه راه حلها و ساختار همسایگی، ثابت است در

[1] Constructive
[2] Shaking

حالیکه تابع هدف f، به این منظور تغییر می‌کند که بهینه محلی فعلی را نامطلوب سازد. مکانیزم مورد استفاده در GLS، مبنی بر "خصوصیات راه حل" است که می تواند هر ویژگی یا مشخصه ای باشد که بین راه حلها تمایز قایل شود.

الف-۱-۴-۴ جستجوی محلی تکراری

این روش کلی ترین طرح در استراتژی های کاوشگرانه است. از یک سو، کلیت آن باعث می گردد که چارچوبی برای سایر فرااکتشافات مانند VNS باشد، از سوی دیگر، سایر فرااکتشافات به سادگی می توانند به عنوان زیر مولفه در آن شرکت داشته باشند. این روش جستجوی محلی را روی راه حل اولیه اعمال می کند. تا وقتیکه کمینه محلی را بیابد. سپس راه حل را به هم ریخته[1] و جستجوی محلی را از سر می گیرد. اهمیت به هم ریختگی آن است که اگر از نوع ضعیف باشد، سیستم قادر به گریز از گودال های می نیمم محلی نخواهد بود و اگر قوی باشد، الگوریتم مشابه جستجوی محلی با شروع مجدد تصادفی خواهد بود.

الف-۲ روشهای مبنی بر جمعیت

روشهای مبنی بر جمعیت، در هر تکرار به جای یک راه حل، مجموعه ای (جمعیتی) از راه حلها را مورد بحث قرار می‌دهند. کارایی نهایی به شدت وابسته به روشی است که روی جمعیت اعمال می گردد. دو روش مبنی بر جمعیت که بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته اند، محاسبه تکاملی (EC) و بهینه سازی کلونی موچه (ACO) می باشد.

الف-۲-۱ محاسبه ی تکاملی

محاسبات تکاملی اغلب شامل الگوریتم های بهینه سازی فرااکتشافی است مانند:

- الگوریتم های تکاملی (شامل الگوریتم ژنتیک، برنامه نویسی تکاملی، استراتژی تکاملی، برنامه نویسی ژنتیک و سیستم های طبقه بندی کننده یادگیر (Learning Classifier Systems)

[1] Perturb

- هوش گروهی[1] (شامل بهینه سازی گروه مورچگان و بهینه سازی گروه ذرات)

الف-۲-۲ جستجوی پخشی احتمالی[2]:

SDS یک جستجوی سراسری مبنی بر عامل و تکنیک بهینه سازی است که برای مسایلی که تابع هدف می تواند به چندین تابع جزئی مستقل تجزیه شود مناسب است برخلاف ارتباط stigmergetic مورد استفاده در ACO، در SDS عاملها فرضیه ها را از طریق استراتژی ارتباطی یک به یک، مبادله می کنند. SDS هم الگوریتم جستجو و هم Optimisation قدرتمند و موثری است که به خوبی به بیان ریاضی توصیف می گردد.

الف-۲-۳ هوش گروهی (SI)

هوش گروهی، یک تکنیک هوش مصنوعی مبنی بر بررسی رفتار جمعی در سیستم های غیر متمرکز و خودسازمانده است . این واژه توسط وانگ و بنی[3] در سال ۱۹۸۹ و در مبحث سیستم های رباتی سلولی[4] مطرح شد.

SI معمولا از جمعیتی از عاملهای ساده تشکیل شده که به طور محلی با یکدیگر و محیطشان تعامل دارند. با اینکه ساختار کنترلی متمرکزی برای تحمیل رفتار عاملها وجود ندارد، تعاملات محلی بین عاملها اغلب منجر به بروز یک رفتار سراسری می گردد. به طور مثال:گروه مورچگان، ازدحام پرندگان و دسته حیوانات.

الف-۲-۳-۱ الگوریتم گروه ذرات (PSO)

روش بهینه سازی گروه ذرات که توسط دکتر راسل ابرهارت [5]و دکتر جیمز کندی[6] در سال ۱۹۹۵ ارائه گردید، یک روش بهینه سازی تصادفی کلی می باشد که براساس شبیه سازی رفتار اجتماعی پرندگان پایه ریزی شده است. برای درک بهتر این تکنیک، سناریوی زیر را در نظر بگیرید :

[1] Swarm Intelligence
[2] Stochastic Diffusion Search
[3] Wang & Beni
[4] Cellular Robotic Systems
[5] Russell Eberhart
[6] James Kennedy

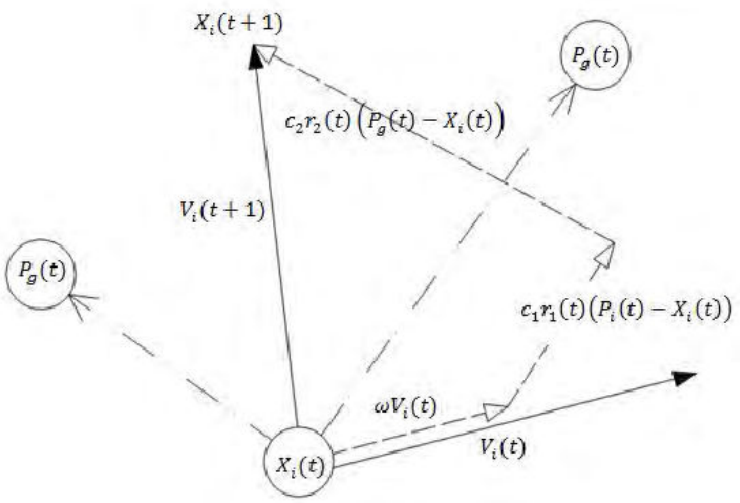
"دسته ای پرنده بطور تصادفی در محدوده خاصی به دنبال غذا می گردند. در این محدوده فقط یک تکه غذا وجود دارد و پرندگان هم از محل غذا خبر ندارند، ولی در هر لحظه فاصله ی خود با محل غذا را می دانند."

در این حالت یک استراتژی مناسب برای یافتن محل دقیق غذا، دنبال کردن آن پرنده ای است که از بقیه پرندگان به غذا نزدیکتر است.

PSOنیز از یک جمعیت متشکل از پاسخ های بالقوه برای جستجو در فضای پاسخ بهره می گیرد. در مقایسه با روش های فوق الذکر، در PSOعملگری وجود ندارد که فرآیند تکامل طبیعی را برای استخراج یک جمعیت جدید از پاسخ های منتخب القا نماید. PSOبه جای استفاده از جهش، به تبادل اطلاعات بین افراد جمعیت که در واقع همان ذرات در گروه می باشند اکتفا می کند. در حقیقت هر ذره ی مسیر خود را نسبت به بهترین موقعیت قبلی بدست آمده توسط همسایگانش تنظیم می کند. در PSO، تمام افراد گروه همسایگان یک ذره را تشکیل می دهد [۳۷].

در هر مرحله از حرکت جمعیت ، هر ذره با دو مقدار بهترین[1] به روز می شود. اولین مقدار، بهترین جواب از لحاظ شایستگی است که تا کنون برای هر ذره به طور جداگانه بدست آمده است و Piنامیده می شود. مقدار بهترین دیگری که توسط PSOبدست می آید، بهترین مقداریست که تاکنون توسط تمام ذره ها در میان جمعیت بدست آمده است، این مقدار بهترین کلی است و P_g نام دارد. بعد از یافتن دو مقدار Piو Pg، هر ذره به صورت چند بعدی با دو مقدار X_i^d و V_i^d که به ترتیب معرف وضعیت مکانی و سرعت مربوط به d ام از i امین ذره هستند سرعت و مکان جدید خود را به روز می کند .

[1] Best Value



شکل(الف-۱) به روز شدن سرعت و موقعیت یک ذره

با توجه به مقادیر P_i و P_g ، هر فرد از روابط زیر برای تعیین موقعیت بعدی خود استفاده می کند :

$$v_i^d(t+1) = w * v_i^d(t) + c_1 * rand()(p_i^d(t) - x_i^d(t)) + c_2 * rand()(p_g^d(t) - x_i^d(t))$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1)$$

در روابط بالا c_1 و c_2 پارامترهای یادگیری[1] که به آنها ضرایب شتاب[2] نیز گفته می شود . rand() تابعی برای تولید اعداد تصادفی در محدوده ی صفر ویک است. برای جلوگیری از واگرایی الگوریتم، مقدار نهایی سرعت هر ذره به مقدار $v_i^d \in [-v_{max}, v_{max}]$ محدود می شود. شکل(الف-۱)، به روز شدن سرعت و موقعیت ذرات را در یک فضای برداری دو بعدی نمایش می دهد. در این شکل v_i ، اثر حرکت جاری، $rand()(p_i - x_i)$ ، اثر حافظه ی ذره و $c_2 * rand()(p_g - x_i)$، اثر جمعیت می باشد. همانگونه که مشخص است، به روز شدن موقعیت ذرات علاوه بر بزرگی و مقدار پارامترهای یادگیری از بهترین موقعیت یافت شده گروه نیز تأثیر می پذیرد[۳۸].

[1] Learning Parameters
[2] Acceleration Coefficients

پیوست ب : نمونه ای از خروجی نتایج

جدول (ب-۱) نتایج خروجی برنامه از ۱۰۰ بار اجرا برای شبکه ی دو حلقه ای

Genetic Algorithm Coding: permutation Roulette Wheel & Two Point Crossover			
Progressive Time	Generations	Cost	No
۰.۱۰۹۳۷۵	۲۰	۴۵۹۰۰۰	۱
۰.۲۰۳۱۲۵	۱۴	۴۱۹۰۰۰	۲
۰.۳۱۲۵	۲۵	۴۲۸۰۰۰	۳
۰.۴۰۶۲۵	۲۲	۴۲۰۰۰۰	۴
۰.۵۱۵۶۲۵	۱۳	۴۲۰۰۰۰	۵
۰.۶۰۹۳۷۵	۱۴	۴۱۹۰۰۰	۶
۰.۷۱۸۷۵	۲۲	۴۲۰۰۰۰	۷
۰.۸۱۲۵	۱۵	۴۳۷۰۰۰	۸
۰.۹۲۱۸۷۵	۱۷	۴۶۰۰۰۰	۹
۱.۰۱۵۶۲۵	۲۰	۴۲۸۰۰۰	۱۰
۱.۱۲۵	۲۴	۴۲۸۰۰۰	۱۱
۱.۲۱۸۷۵	۱۸	۴۳۸۰۰۰	۱۲
۱.۳۱۲۵	۱۹	۴۲۰۰۰۰	۱۳
۱.۴۲۱۸۷۵	۱۵	۴۲۰۰۰۰	۱۴
۱.۵۱۵۶۲۵	۱۹	۴۲۸۰۰۰	۱۵
۱.۶۰۹۳۷۵	۱۷	۴۱۹۰۰۰	۱۶
۱.۷۱۸۷۵	۱۸	۴۲۰۰۰۰	۱۷
۱.۸۱۲۵	۲۲	۴۱۹۰۰۰	۱۸
۱.۹۲۱۸۷۵	۱۲	۴۲۰۰۰۰	۱۹
۲.۰۱۵۶۲۵	۲۷	۴۳۷۰۰۰	۲۰
۲.۱۲۵	۲۰	۴۱۹۰۰۰	۲۱
۲.۲۳۴۳۷۵	۲۰	۴۳۴۰۰۰	۲۲
۲.۳۲۸۱۲۵	۲۴	۴۲۰۰۰۰	۲۳
۲.۴۳۷۵	۲۴	۴۲۰۰۰۰	۲۴
۲.۵۳۱۲۵	۲۲	۴۲۰۰۰۰	۲۵
۲.۶۴۰۶۲۵	۲۴	۴۲۰۰۰۰	۲۶
۲.۷۳۴۳۷۵	۲۴	۴۲۸۰۰۰	۲۷
۲.۸۴۳۷۵	۱۸	۴۲۸۰۰۰	۲۸
۲.۹۵۳۱۲۵	۱۳	۴۵۹۰۰۰	۲۹
۳.۰۶۲۵	۲۴	۴۳۷۰۰۰	۳۰
۳.۱۵۶۲۵	۲۹	۴۲۰۰۰۰	۳۱
۳.۲۶۵۶۲۵	۲۲	۴۴۵۰۰۰	۳۲
۳.۳۷۵	۱۸	۴۲۸۰۰۰	۳۳
۳.۴۶۸۷۵	۱۷	۴۱۹۰۰۰	۳۴
۳.۵۷۸۱۲۵	۲۰	۴۱۹۰۰۰	۳۵
۳.۶۷۱۸۷۵	۱۴	۴۲۰۰۰۰	۳۶
۳.۷۸۱۲۵	۲۳	۴۲۰۰۰۰	۳۷
۳.۸۹۰۶۲۵	۲۶	۴۲۰۰۰۰	۳۸
۴	۱۸	۴۲۰۰۰۰	۳۹
۴.۰۹۳۷۵	۲۶	۴۳۸۰۰۰	۴۰
۴.۲۰۳۱۲۵	۱۶	۴۲۸۰۰۰	۴۱
۴.۳۱۲۵	۶	۴۶۹۰۰۰	۴۲
۴.۴۰۶۲۵	۱۶	۴۳۸۰۰۰	۴۳
۴.۵۱۵۶۲۵	۳۰	۴۴۶۰۰۰	۴۴
۴.۶۲۵	۱۵	۴۲۰۰۰۰	۴۵
۴.۷۱۸۷۵	۱۰	۴۳۸۰۰۰	۴۶
۴.۸۲۸۱۲۵	۲۱	۴۱۹۰۰۰	۴۷

۴۸	۴۲۰۰۰۰	۱۸	۴.۹۲۱۸۷۵
۴۹	۴۲۸۰۰۰	۳۰	۵.۰۳۱۲۵
۵۰	۴۲۰۰۰۰	۱۹	۵.۱۴۰۶۲۵
۵۱	۴۲۰۰۰۰	۲۹	۵.۲۵
۵۲	۴۲۸۰۰۰	۲۲	۵.۳۵۹۳۷۵
۵۳	۴۱۹۰۰۰	۱۰	۵.۴۵۳۱۲۵
۵۴	۴۱۹۰۰۰	۲۳	۵.۵۷۸۱۲۵
۵۵	۴۲۰۰۰۰	۱۸	۵.۶۸۷۵
۵۶	۴۲۸۰۰۰	۲۴	۶.۰۳۱۲۵
۵۷	۴۲۸۰۰۰	۲۰	۶.۱۵۶۲۵
۵۸	۴۲۸۰۰۰	۲۳	۶.۲۸۱۲۵
۵۹	۴۲۰۰۰۰	۲۲	۶.۳۹۰۶۲۵
۶۰	۴۲۰۰۰۰	۲۳	۶.۵
۶۱	۴۲۰۰۰۰	۱۷	۶.۶۰۹۳۷۵
۶۲	۴۲۸۰۰۰	۲۹	۶.۷۰۳۱۲۵
۶۳	۴۲۰۰۰۰	۱۴	۶.۸۱۲۵
۶۴	۴۲۰۰۰۰	۲۱	۶.۹۲۱۸۷۵
۶۵	۴۱۹۰۰۰	۲۳	۷.۰۱۵۶۲۵
۶۶	۴۲۸۰۰۰	۲۲	۷.۱۲۵
۶۷	۴۳۸۰۰۰	۱۸	۷.۲۳۴۳۷۵
۶۸	۴۱۹۰۰۰	۱۸	۷.۳۲۸۱۲۵
۶۹	۴۱۹۰۰۰	۱۸	۷.۴۳۷۵
۷۰	۴۲۰۰۰۰	۲۵	۷.۵۴۶۸۷۵
۷۱	۴۳۸۰۰۰	۲۴	۷.۶۵۶۲۵
۷۲	۴۲۰۰۰۰	۲۸	۷.۷۵
۷۳	۴۲۸۰۰۰	۲۰	۷.۸۴۳۷۵
۷۴	۴۲۸۰۰۰	۳۰	۷.۹۵۳۱۲۵
۷۵	۴۲۰۰۰۰	۲۴	۸.۰۶۲۵
۷۶	۴۲۰۰۰۰	۲۳	۸.۱۷۱۸۷۵
۷۷	۴۲۸۰۰۰	۲۸	۸.۲۶۵۶۲۵
۷۸	۴۲۰۰۰۰	۱۸	۸.۳۷۵
۷۹	۴۲۸۰۰۰	۲۰	۸.۴۶۸۷۵
۸۰	۴۲۸۰۰۰	۱۷	۸.۵۷۸۱۲۵
۸۱	۴۲۰۰۰۰	۲۲	۸.۶۷۱۸۷۵
۸۲	۴۱۹۰۰۰	۲۳	۸.۷۸۱۲۵
۸۳	۴۲۰۰۰۰	۱۹	۸.۸۷۵
۸۴	۴۲۰۰۰۰	۲۷	۸.۹۸۴۳۷۵
۸۵	۴۲۰۰۰۰	۱۳	۹.۰۹۳۷۵
۸۶	۴۱۹۰۰۰	۲۵	۹.۱۸۷۵
۸۷	۴۱۹۰۰۰	۱۹	۹.۲۹۶۸۷۵
۸۸	۴۲۰۰۰۰	۲۰	۹.۴۰۶۲۵
۸۹	۴۲۰۰۰۰	۱۴	۹.۵
۹۰	۴۲۰۰۰۰	۱۵	۹.۶۰۹۳۷۵
۹۱	۴۶۰۰۰۰	۸	۹.۷۰۳۱۲۵
۹۲	۴۲۸۰۰۰	۲۷	۹.۸۱۲۵
۹۳	۴۱۹۰۰۰	۱۳	۹.۹۲۱۸۷۵
۹۴	۴۶۰۰۰۰	۲۴	۱۰.۰۱۵۶۳
۹۵	۴۱۹۰۰۰	۱۷	۱۰.۱۲۵
۹۶	۴۲۰۰۰۰	۲۳	۱۰.۲۳۴۳۸
۹۷	۴۲۸۰۰۰	۱۸	۱۰.۳۴۳۷۵
۹۸	۴۲۰۰۰۰	۲۶	۱۰.۴۵۳۱۳
۹۹	۴۳۱۰۰۰	۲۸	۱۰.۵۴۶۸۸
۱۰۰	۴۱۹۰۰۰	۲۴	۱۰.۶۵۶۲۵

جدول(ب-۲) نتایج خروجی برنامه از ۲۰ بار اجرا برای شبکه ی دو حلقه ای

Ant Colony Algorithm			
Time	Iterations	Cost	No
۰.۷۹۶۸۷۵	۹۸	۴۴۷۰۰۰	۱
۰.۷۵	۷۵	۴۲۴۰۰۰	۲
۰.۷۳۴۳۷۵	۷۱	۴۲۰۰۰۰	۳
۰.۷۸۱۲۵	۹۹	۴۶۹۰۰۰	۴
۰.۷۵	۹۲	۴۲۴۰۰۰	۵
۰.۷۸۱۲۵	۸۳	۴۵۸۰۰۰	۶
۰.۷۵	۹۲	۴۶۸۰۰۰	۷
۰.۷۳۴۳۷۵	۹۹	۴۲۶۰۰۰	۸
۰.۷۵	۹۶	۴۲۰۰۰۰	۹
۰.۷۳۴۳۷۵	۶۹	۴۴۱۰۰۰	۱۰
۰.۷۸۱۲۵	۸۰	۴۲۰۰۰۰	۱۱
۰.۷۵	۸۱	۴۴۷۰۰۰	۱۲
۰.۷۳۴۳۷۵	۶۷	۴۱۹۰۰۰	۱۳
۰.۷۳۴۳۷۵	۹۴	۴۶۵۰۰۰	۱۴
۰.۷۸۱۲۵	۹۶	۴۴۸۰۰۰	۱۵
۰.۷۳۴۳۷۵	۶۷	۴۶۹۰۰۰	۱۶
۰.۷۳۴۳۷۵	۷۸	۴۴۱۰۰۰	۱۷
۰.۷۵	۷۸	۴۷۲۰۰۰	۱۸
۰.۷۳۴۳۷۵	۷۵	۴۳۸۰۰۰	۱۹
۰.۷۳۴۳۷۵	۸۰	۴۶۲۰۰۰	۲۰

منابع

۱- کهرم م،(۱۳۸۵) ،"*سیستم های انتقال آب*" ، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- منزوی م،(۱۳۷۷) ، "*آبرسانی شهری*" ، چاپ دوازدهم، انتشارات دانشگاه تهران

۳- شهیدی پور(۱۳۷۳)،" *بهینه سازی*" ، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

4- Blum C., and Roli A.,(2003) "*Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison*", ACM Computing Surveys, Vol.35,No.3,pp.268-308.

5- Osman I.H, and Laporte G,(1996) "*Metaheuristics:A bibliography*", Annals of Operations Research, vol. 63, pp. 513-623.

6- Lapetoule K,(2006),"*The metaheuristic algorithms*".Dorigo M, Maniezzo V, Colorni A*, (1996) "The ant system:optimization by a colony of cooperating agents*" IEEE Trans.Syst,Man,Cybern, Part B:29-41.

7- Dorigo M, Gambardella L.M, (1997) "*Ant colony system: a cooperative learning approach to TSP" IEEE Trans.Evol.Com*put,53-66.

8- Stützle, T., and Hoos, H. H., (2000), "*MAX-MIN Ant Systems*." Future Gener. Comput. Syst., 16, 889–914.

9- Zecchin A.C., Maier H. R., Simpson A. R., Leonard M, and Nixon J. B., (2007), "*Ant colony optimization applied to water distribution system design : Comprative study of five algorithms*", J. Water Resources Planning and Management,87-92.

10- Goldberg D. E. (1989)." *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning"*, Addison Wesley, Reading, MA.

11- Holland J.H,(1975) ,"*Adaption in natural and artificial systems*" The university of Michigan Press,Ann Harbor,MI

12- Tseng, L.Y. and Yang, S., (1997) "*Genetic algorithms for clustering, feature selection and classification*",IEEE Int. Conference on Neural Networks, pp.1612-1616.

13- Yates,D.F.,Templeman,A.B.,andBoffey,T.B. (1984). "*The computational complexity of the problem of determining least capital cost designs for water supply networks.*" Eng.Optimiz. , 142–155.Gen M. C., (2000), "*Genetic algorithm and engineering optimization*" , Wiley Europe Publication.

14- Goldberg, D. E., and Deb, K. _1991_. "*A comparison of selection schemes used in genetic algorithm." Proc., Foundations of Genetic Algorithms 1(FOGA), 69–93.*

15- *Savic, D. A, Wal*ters G. A., (1997) *"Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks*", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE,,67-77.Halhal, D., Walters, G. A., Ouazar, D., and Savic, D. A. (1997), "*Water network rehabilitation with structured messy genetic algorithm*." J. Water Resource Planning and Management., , 137–146.

16- Dandy, G.C. and Simpson, A.R. and Murphy, L.J, (1996), "*An Improved Genetic Algorithm for Pipe Network Optimization,*" Journal of water Resource Research, **32** (2), pp 449–458.

17- Lippai,I.,Heaney,J.P.,andLaguna,M. (1999) . "*Robust water system design with commercial intelligent search optimizers.*" J.Comput.Civ.Eng.,13 3 , 135–143.

18- Bala, J., Huary, J., Vafaie, H., De Jong, K., and Wechslev, H., (1995), "*Hybrid learning using genetic algorithms and decision trees for pattern classification*" , IJCAI Conference , Montreal , 19-25.

19- Vairavamoorthy, K., and Ali, M., (2005), "*Pipe index vector:A method to improve genetic algorithm based pipe optimization.*" J.Hydraul Eng., 131, 12, 1117–1125.

20- Wu, Z. Y., and Walski, T. _2005_. "*Self-adaptive penalty approach compared with other constrainthandling techniques for pipe optimization.*" J. Water Resour. Plann. Manage., 131_3_, 181–192.

21- Kadu,M,S,.Gupta,R,. and Bhave,P,R,.(2008),"*Optimal design of water distribution networks Using a Modified Genetic Algorithm with Reduction in Search Space*." Journal of water Resources Planning and Management, , 147-160

22- Rossman L.A, (2000),"*EPANET, User's Manual*" U.S Enviroment Protection Agency, Cincinati.

23- Abebe A.J., Solomatine D.P., (1998) " *Application of global optimization to the design of pipe networks*" ,Proc. 3rd International Conference on Hydroinformatics, Copenhagen.

24- Dandy, G. C., Simpson, A. R., and Murphy, L. J. (1996). "*An improved genetic algorithm for pipe network optimization.*" *Water Resour. Res.*, 32_2_, 449–458..

25- Bhave P.R,(2003),"*Optimal design of water distribution networks*." Alfa Science International Ltd.,NJ

۲۶- ایستین،ار.،(۱۳۷۴)"*گراف و کاربردهای آن*"، ترجمه ی منتخب، محمد صادق، مرکز نشر دانشگاهی

30- Alperovits, E. and Shamir, U., (1977), "*Design of Optimal Water Distribution Systems,*" Journal of Water Resource Research, **13** (6), pp 885–900.

۳۱- گلزار م،(۲۰۰۹)، پایان نامه ارشد"*بهینه سازی شبکه های آبرسانی به کمک الگوریتم ژنتیک*"،دانشکده عمران ،دانشگاه صنعتی شاهرود

32- Fujiwara, O., and Khang, D. B. _1990_. "*A two phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks*." Water Resour. Res., 26_4_, 539–549.

33- Shie Y. L., Atiquzzaman M. D., (2004) "*Optimal design water distribution network using shuffled complex evolution*" ,Journal of the Institution of Engineers, Singapore. Vol. 44.

34- Cunha M, Ribeiro L (2004) "Tabu search algorithms for water network optimization", Europen J.operational Research, 746-758.

35- Glover F,and Laguna , (1998),"Tabu search", Liuwer Academic Publishers.

36- *Kirkpatrick S, Gellat* L, Vecchi M,(1983) "*Optimization simulated annealing*" ,Sience, 671-680.

37- Parsopoulos E, Vrahatis N,(2002) "*Particle swarm optimization method for constrained optimization problems*" ,In P.Sincak, J.Vascak,.Kvasnicka, and J.Pospichal, editors,Intelligent Technologies,214-220.

38- Perez R.E ,Behdinan K, (2007) "*Particle swarm approach for structural design optimization*", Swarm Intelligence: Focus on Ant and Particle Swarm Optimization

39- Maier H.R. , Simpson A.R., Zecchin A.C., Wai,(2003) " *Ant colony optimization for design of water distribution systems*", J. Water Resources Planning and Management, 200-209.

40- Gessler, J., (1985). "*Pipe network optimization by enumeration*." Proc., Computer Applications in Water Resources, ASCE, New York, 572–581.

41- Eusuff, M. M., and Lansey, K. E. _2003_. "Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm." *J Water Resour. Plann. Manage.*, 129_3_, 210–225.

42- Geem, Z. W., Kim, J. H., and Loganathan, G. V. _2002_. “Harmony search optimization: application to pipe network design.” *Int. J. Model. Simulat.*, 22_2_, 125–133

43- Liong, S. Y., and Atiquzzaman, M. _2004_. “Optimal design of water distribution network using shuffled complex evolution.” *J. Inst. Eng. Singapore*, 44_1_, 93–107.

44- Wu, Z. Y., and Simpson, A. R. _2001_. “Competent genetic-evolutionary optimization of water distribution systems.” *J. Comput. Civ. Eng.*, 15_2_, 89–101.

Abstract

Water distribution networks are important urban installations which designing and programming need large investments. So that optimization is used as a tool for minimizing the cost correlated with water distribution systems. In the last few decades many researchers have been attracted by evolutionary methods for optimization; so that in water distribution networks Genetic and Ant colony algorithms have been substituted for the techniques based on linear and nonlinear programming.

In this project genetic and ant colony algorithms are used in order to optimize water distribution networks. In the use of GA for optimization at first, search space would be reduced by means of water velocity parameter and path concept in pipes. Optimum design solution using GA is governed by several factors such as population size, fitness functions, penalty functions, GA operators, number of generations and the most more important the size of the search space. Reducing search space obtains an optimization solution in less time and increase probability of gaining global optimum. In GA, Binary and Gray coding with roulette wheel and tournament selection operators, and one point, two point and uniform crossover operators, has been used for comprising.

In parallel with GA optimization based on search space reduction, ant colony algorithm has been used for optimization of water distribution networks. ACOA has been inspired by the behavior of ants for finding food sources. In this algorithm elitist ant system has been used each iteration, and three point crossover and mutation operators have been utilized.

Keywords: Water distribution networks, evolutionary algorithms, search space reduction