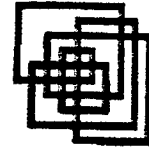


به نام یزدان پاک

۱۳۸۰ / ۱۲ / ۲۹

وزارتخانه فرهنگ و ارشاد اسلامی  
موسسه عالی پژوهش در برنامه ریزی و توسعه



مؤسسه عالی پژوهش در برنامه ریزی و توسعه

پایان نامه تحصیلی

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی سیستمهای اقتصادی-اجتماعی 016497

عنوان

کاربرد الگوریتم "سیستم مورچه‌ها" در مسأله

طراحی شبکه

استاد راهنما

دکتر حسین پورزاهدی

استاد داور

دکتر فرشید مجاور حسینی

استاد مشاور

دکتر یوسف شفاهی

نگارش

فرهاد ابوالقاسمی

پائیز ۱۳۸۰

۲۹۷۰۵



بسمه تعالی

## ارزشیابی پایان نامه تحصیلی

دفاع نهایی پایان نامه آقای **فرهاد ابوالقاسمی** دانشجوی کارشناسی ارشد

مهندسی سیستمهای اقتصادی - اجتماعی با عنوان:

**” کاربرد الگوریتم سیستم مورچه ها در مسئله**

**طراحی شبکه “**

بانمره ۱۸,۵ و درجه عالی در تاریخ ۸۰/۷/۲۹ مورد تصویب قرار گرفت.

امضای هیأت داوران:

۱- **استاد راهنما:** دکتر حسین پورزاهدی

۲- **استاد مشاور:** دکتر یوسف شفاهی

۳- **استاد داور:** دکتر فرشید مجاور حسینی

۴- **سرپرست حوزه معاونت آموزشی**

و پژوهشی: **جوادروحانی رصاف**

### چکیده

کاربرد الگوریتم سیستم مورچه‌ها درمسأله طراحی شبکه

فرهاد ابوالقاسمی

هر سیستم حمل و نقل را می‌توان جایگاه تقابلی از عرضه و تقاضا دانست. برای حل مشکلات این سیستم دو نوع مدیریت، یکی مدیریت عرضه و دیگری مدیریت تقاضا قابل اجرا است. در بخش مدیریت عرضه با تغییر منابع مورد استفاده کاربران نظیر شبکه خیابانی، ناوگان اتوبوسرانی، تجهیزات ترافیکی و ... به حل مسائل پرداخته می‌شود. طراحی شبکه نیز از جمله موارد مدیریت عرضه است که در حقیقت تصمیم‌گیری در مورد توسعه شبکه موجود در شرایط منابع محدود برای سرمایه‌گذاری و ساخت می‌باشد. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیرندگان باید از میان پروژه‌های امکان‌پذیر برای یک شبکه، با توجه به منابع محدود بهترین مجموعه را انتخاب کنند تا کارایی شبکه بیش‌ترین افزایش را داشته باشد. برای سنجش کارایی شبکه، توابع مختلفی را می‌توان به کار برد که متداول‌ترین آن‌ها مازاد منافع استفاده‌کنندگان سیستم است. نشان داده می‌شود که بیشینه کردن مازاد منافع استفاده‌کنندگان در حالت تقاضای ثابت معادل کمینه کردن کل زمان سفر استفاده‌کنندگان شبکه است. از آنجایی که مسئله طراحی شبکه یک مسئله ترکیبی است، جزو مسائل بسیار مشکل‌تلقی می‌شود که حل آن بدون استفاده از یک روش سیستماتیک امکان‌پذیر نیست.

برای حل این مسئله روش‌های متفاوتی به کار می‌رود که یک دسته از آن‌ها روش‌های ابتکاری می‌باشد. این گونه روش‌ها تاکنون توانسته‌اند جواب‌های قابل قبولی، و نه لزوماً بهترین جواب را، برای مسائل مشکل‌یابند. یکی از روش‌های ابتکاری که نسبت به سایر روش‌ها جدیدتر می‌باشد، الگوریتم "سیستم مورچه‌ها" است که از رفتار طبیعی مورچه‌ها الهام گرفته شده است. در این روش سعی می‌شود در هر مرحله از جستجو، از اطلاعات به دست آمده توسط سایر عوامل در جستجوهای دیگر برای یافتن جواب بهینه استفاده شود. الگوریتم سیستم مورچه‌ها تاکنون برای مسایلی نظیر "فروشنده سیار" و "مسیر یابی وسایل نقلیه" جواب‌های خوبی یافته است که در این مطالعه سعی می‌شود کارایی این الگوریتم برای مسئله طراحی شبکه نشان داده شود. در این مطالعه، نخست الگوریتم مورچه‌ها به مسئله طراحی شبکه خورانده می‌شود: مورچه‌ها به عنوان یک مجموعه از عوامل با یاری یکدیگر به شناسایی یک جواب خوب و در جهت دستیابی به جواب بهینه، اقدام می‌کنند. پارامترهای الگوریتم مورچه‌ها برای مسئله طراحی شبکه پرداخت می‌شود، سپس کاربرد مدل پرداخت شده در حل مسئله طراحی در یک شبکه آزمایشی به نمایش گذاشته می‌شود. در این راستا تلاش‌هایی به منظور شناسایی رفتار این مدل صورت گرفته است که نتایج آن به بحث گذاشته می‌شود.

## سپاسگزاری

هیچ کاری به تنهایی انجام پذیر نیست. در تهیه این پایان نامه نیز خیلی ها با من همکاری کردند که در این جا لازم می دانم از همه این عزیزان تشکر کنم. از دکتر پورزاهدی که به جرأت می توان گفت این پایان نامه نتیجه زحمات اوست و در تمام مراحل این کار، راه را برای من روشن می کرد و در بسیاری از موارد خارج از حد وظیفه برای من و این کار وقت می گذاشت. از دکتر شفاهی که مشاور این کار بود و نکات ارزنده ایشان در جلسه دفاع برای من آموزنده بود.

بسیاری از دوستان نیز در مراحل مختلف این کار به من کمک کردند که به این وسیله صمیمانه از آنها تشکر می کنم. اسامی این عزیزان به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

خانم آلاله ادیب

آقای ابراهیم اقبال

آقای محمد بارونی

آقای مسعود حامدی

آقای علیرضا خیرخواه

و از پدر و مادرم که نگران کارهایم بودند و بد اخلاقی های ناشی از فشار کارم را تحمل کردند، ....

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱.....	فصل اول : مقدمه
۵.....	فصل دوم : مسئله طراحی شبکه و پیچیدگی های آن
۶.....	۱-۲- طراحی شبکه
۷.....	۱-۱-۲- جریان تعادل استفاده کننده
۸.....	۲-۱-۲- تابع هدف مسئله طراحی شبکه
۱۰.....	۲-۱-۳- تعریف ریاضی مسئله طراحی شبکه
۱۲.....	۲-۲- روش های حل مسئله
۱۵.....	فصل سوم : مروری بر روش های بهینه سازی
۱۶.....	۱-۳- مفاهیم بهینه سازی
۱۸.....	۲-۳- بررسی روش های بهینه سازی
۱۸.....	۳-۲-۱- روش های شمارشی
۱۹.....	۳-۲-۲- روش های محاسباتی
۲۰.....	۳-۲-۳- روش های ابتکاری
۲۲.....	فصل چهارم : کلونی مورچه ها
۲۳.....	۱-۴- کلونی مورچه ها
۲۴.....	۲-۴- بازنمایی ریاضی مسئله فروشنده سیار
۲۵.....	۳-۴- الگوریتم سیستم مورچه ای (AS)
۲۷.....	۴-۴- الگوریتم کلونی مورچه ها (ACS)
۲۸.....	۴-۵- مروری بر پژوهش های پیشین
۳۰.....	۴-۵-۱- پژوهش دوریگو، مانیزو و کلرنی
۳۱.....	۴-۵-۲- پژوهش دوریگو و گامباردلا
۳۱.....	۴-۵-۳- پژوهش بلونهایمر ، هارتل ، استراس

۴-۵-۴- پژوهش بروکستین ، مالوز ، واگنر..... ۳۳

۴-۵-۵- پژوهش واگنر ، لیندباوم و بروکستین ..... ۳۵

۴-۵-۶- پژوهش استاتزل و هوس ..... ۴۰

۴-۵-۷- پژوهش مانیزو و کلرنی ..... ۴۳

#### فصل پنجم : کاربرد الگوریتم کلونی مورچه‌ها برای حل مسئله طراحی

شبکه ..... ۴۷

۱-۵- حل مسئله در یک نگاه ..... ۴۸

۲-۵- الگوریتم مسئله ..... ۵۰

۱-۲-۵- محاسبه مطلوبیت پروژه‌ها ..... ۵۰

۲-۲-۵- بهنگام سازی فرمون پروژه‌ها ..... ۵۲

۲-۲-۵- رابطه احتمالی انتخاب ..... ۵۳

۳-۵- بیان ریاضی الگوریتم حل مسئله طراحی شبکه ..... ۵۵

۴-۵- زیربرنامه‌هایی که در پیاده‌سازی الگوریتم به کار رفته‌اند..... ۵۷

۱-۴-۵- زیربرنامه خواندن فایل ورودی ..... ۵۷

۲-۴-۵- زیربرنامه مرتب سازی ..... ۵۸

۳-۴-۵- زیربرنامه جایگذاری کمان در شبکه ..... ۵۸

۴-۴-۵- زیربرنامه کوتاه‌ترین مسیر..... ۵۸

۵-۴-۵- زیربرنامه تخصیص تقاضا ..... ۵۹

۶-۴-۵- زیربرنامه اصلی ..... ۵۹

#### فصل ششم : نتایج اجرای الگوریتم کلونی مورچه‌ها در یک شبکه

آزمایشی ..... ۶۳

۱-۶- برآورد مقادیر مناسب پارامترهای مدل ..... ۶۸

۲-۶- استراتژی انتخاب اولین پروژه ..... ۷۲

۳-۶- تواتر بهنگام سازی فرمون‌ها ..... ۸۱

۴-۶- مقدار بهینه ضریب تبخیر ..... ۸۷

۹۰	۶-۵- مقدار بهینه تعداد مورچه‌ها
۹۱	۶-۶- رکود و راه‌های فرار از آن
۹۳	۶-۷- چگونگی زمان پردازش در مقابل افزایش پروژه‌ها
۹۵	فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای مطالعات آینده
۹۶	۷-۱- نتیجه‌گیری
۹۶	۷-۲- پیشنهاد برای ادامه کار
۹۹	فهرست منابع و مراجع
۱۰۱	پیوست ۱: فهرست زیربرنامه‌های به کار رفته در مدل
	پیوست ۲: زیربرنامه Enumeration برای ساخت شبکه‌های
۱۲۱	مختلف



## فهرست جداول

صفحه

عنوان

---

جدول (۱-۶). پارامترهای توابع زمان سفر کمان‌های شبکه آزمایشی و هزینه	
اجرای هریک از پروژه‌ها	۶۶.....
جدول (۲-۶). میزان تقاضای هر یک از زوج مبدأ-مقصد‌ها در شبکه آزمایشی	۶۷..
جدول (۳-۶). تحلیل حساسیت مقدار تابع هدف در مقادیر مختلف $\beta$	۷۰.....
جدول (۴-۶). تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به مقادیر $\gamma$	۷۱.....
جدول (۵-۶). نتایج اجرای مدل با روش مشخص در انتخاب اولین پروژه	۷۳.....
جدول (۶-۶). نتایج اجرای مدل با روش تصادفی در انتخاب اولین پروژه	۷۷.....
جدول (۷-۶). نتایج اجرای مدل با تواتر ۱۰ بار بهنگام سازی فرمون در هر تکرار با مشخص بودن انتخاب اولین پروژه برای هر مورچه	۸۲.....
جدول (۸-۶). نتایج اجرای مدل با تواتر ۱۰ بار بهنگام سازی فرمون در هر تکرار با تصادفی بودن انتخاب اولین پروژه برای هر مورچه	۸۵.....
جدول (۹-۶). مقدار تابع هدف به ازای مقادیر مختلف ضریب تبخیر	۸۸.....
جدول (۱۰-۶). مقدار تابع هدف به ازای مقادیر مختلف تعداد مورچه‌ها	۹۰.....
جدول (۱۱-۶). مقادیر تابع هدف به‌ازای جهش فرمونی	۹۲.....
جدول (۱۲-۶). تعداد انجام عمل تخصیص به‌ازای مقادیر مختلف تعداد پروژه‌ها	۹۳.....

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل (۱-۲). مازاد منافع استفاده کنندگان در اثر وجود سیستم عرضه و تقاضا ۹
- شکل (۱-۳). طبقه بندی انواع روش های بهینه سازی ..... ۲۱
- شکل (۱-۴). پیدا کردن کوتاه ترین مسیر توسط کلونی مورچه ها ..... ۲۳
- شکل (۲-۴). پیدا کردن مسیر مستقیم با استفاده از تعقیب احتمالی ..... ۳۴
- شکل (۳-۴). جستجوی شبکه توسط الگوریتم VAW ..... ۳۷
- شکل (۱-۵). فرم ورود اطلاعات و نمایش نتایج مدل در محیط V.B ..... ۶۰
- شکل (۲-۵). فرم معرفی برنامه در محیط V.B ..... ۶۱
- شکل (۳-۵). فرم نمایش دهنده عملیات اجرای برنامه در محیط V.B ..... ۶۲
- شکل (۱-۶). شبکه آزمایشی مورد استفاده (شبهه sioux falls) ..... ۶۵
- شکل (۲-۶). نمودار تعداد اجرای مسئله تخصیص در مقادیر مختلف B/C در  
حالت مشخص بودن انتخاب اولین پروژه ..... ۷۶
- شکل (۳-۶). میزان فاصله از جواب نهایی در حالت مشخص ..... ۷۶
- شکل (۴-۶). نمودار تعداد اجرای مسئله تخصیص در مقادیر مختلف B/C در  
حالت تصادفی بودن انتخاب اولین پروژه ..... ۸۰
- شکل (۵-۶). میزان فاصله از جواب نهایی در حالت تصادفی ..... ۸۰
- شکل (۶-۶). مقدار تابع هدف به ازای مقادیر مختلف ضریب تبخیر ..... ۸۹
- شکل (۷-۶). تعداد عمل تخصیص به ازای مقادیر مختلف پروژه ها ..... ۹۴

# فصل اول

مقدمه

نقش حمل و نقل در توسعه یک کشور بر اهل فن و برنامه‌ریزان در سطوح کلان پوشیده نیست. ارزش افزوده بخش حمل و نقل در ایران در سال ۱۳۶۷ در حدود ۱۵٪ تولید ناخالص داخلی (بدون نفت) بوده است [۲۵]. تأثیری که صنعت حمل و نقل بر سایر صنایع دارد انکارناپذیر است، به طوری که شاید به جرات بتوان گفت: زیربنای صنایع دیگر است. تأثیر حمل و نقل بر مواردی نظیر اقتصاد و محیط زیست به وضوح دیده می‌شود. بسیاری از موارد تخریب طبیعت و آلودگی محیط زیست مربوط به حمل و نقل است که نمونه بارز آن آلودگی هوای شهرهاست. طبق اظهار نظر کارشناسان حدود ۷۰ درصد آلودگی هوای شهر تهران از خروجی خودروهای سطح شهر است. همه این موارد دلیلی بر اهمیت حمل و نقل می‌باشند. از طرف دیگر، با گسترش شهرها و رشد سریع جمعیت، برنامه‌ریزی به روش آزمون و خطا دیگر پذیرفتنی نیست زیرا هزینه‌ها هنگفتی بر جامعه تحمیل می‌کند.

یکی از مسائل مهم در برنامه‌ریزی حمل و نقل، مسئله گسترش شبکه، یا طراحی شبکه است. در یک تعریف ساده می‌توان گفت که مسئله طراحی شبکه، مسئله تصمیم‌گیری در مورد توسعه شبکه موجود حمل و نقل در شرایط منابع محدود برای سرمایه‌گذاری و ساخت است. این امر مسئله پیچیده‌ای است که حل آن امروزه بدون استفاده از یک روش سیستماتیک و معقول و بدون استفاده از کامپیوتر میسر نیست. برای دریافت میزان پیچیدگی این مسئله همین بس که توجه شود برای انتخاب از بین تنها ۲۰ پروژه، ارزیابی بیش از ۱/۰۰۰/۰۰۰ شبکه گزینه ضروری می‌شود، زیرا بود یا نبود هر پروژه در مجموعه پروژه‌ها ۲ حالت ایجاد می‌کند و برای ۲۰ پروژه، ۲<sup>۲۰</sup> حالت به وجود می‌آید. اگر با بهره‌گیری از برخی روش‌ها بتوان حتی بیش از نیمی از گزینه‌های غیر قابل اجرا از نظر محدودیت‌های موجود (مانند محدودیت بودجه) را حذف کرد، باز حدود ۵۰۰/۰۰۰ گزینه باقی می‌ماند و اگر ارزیابی هر گزینه در مقایسه با دیگر گزینه‌ها با کامپیوتر تنها ۱ دقیقه طول بکشد، برای دستیابی به گزینه برتر حدود یک سال محاسبه روی این کامپیوتر سریع وقت لازم است.

چند رویکرد برای حل این مسئله وجود دارد. دسته اول روش‌هایی هستند که سعی می‌کنند جواب دقیقی برای مسئله بیابند که به این روش‌ها، راه‌حل‌های دقیق<sup>۱</sup> گفته می‌شود. گروهی از روش‌های دیگر با ساده سازی مسئله و قرار دادن فرض‌هایی مسئله را آن‌چنان ساده می‌کنند تا بتوان آن را با روش‌ها ریاضی حل کرد. به طور مثال یکی از فرض‌هایی که می‌توان برای ساده سازی مسئله طراحی شبکه اعمال کرد، در نظر نگرفتن شلوغی است. به این معنی که فرض می‌کنیم میزان جریان ترافیکی که در شبکه وجود دارد ارتباطی به زمان سفر در شبکه ندارد. (در صورتی که در عمل این‌گونه نیست). یکی دیگر از فرض‌های ساده کننده مسئله در نظرگیری جریان تعادل سیستم به جای تعادل استفاده کننده، و فرض دیگر پیوسته گرفتن متغیرهای تصمیم‌گیری به جای متغیرهای عدد صحیح است.

روش‌های دیگری نیز وجود دارند که به روش‌های ابتکاری<sup>۲</sup> معروفند که عمدتاً از طبیعت الهام گرفته‌اند (نظیر الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup>، شبکه‌های عصبی<sup>۴</sup>، جستجوی تابو<sup>۵</sup>، شبیه سازی آنیلینگ فلزات<sup>۶</sup> و ...). و تاکنون توانسته‌اند جواب‌های خوبی (و نه لزوماً بهینه) برای این‌گونه مسائل بیابند.

یکی از روش‌های ابتکاری که نسبت به سایر گزینه‌های خود جدیدتر می‌باشد، "الگوریتم سیستم مورچه‌ای"<sup>۷</sup> است. این الگوریتم که از رفتار مجموعه مورچه‌ها در پیدا کردن غذا و یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذا نتیجه شده است، تاکنون برای حل مسائلی

<sup>1</sup> Exact

<sup>2</sup> Modern Heuristic

<sup>3</sup> Genetic Algorithm

<sup>4</sup> Neural Network

<sup>5</sup> Tabu Search

<sup>6</sup> Simulated Annealing

<sup>7</sup> Ant Systems

نظیر مسئله فروشنده سیار<sup>8</sup> (TSP) و مسیریابی خودروها<sup>9</sup> (VRP) جواب‌های خوبی یافته است. در این مطالعه سعی بر آن است تا کاربرد این روش در حل مسئله طراحی شبکه بررسی شود. در فصل دوم این پایان‌نامه مسئله طراحی شبکه به صورت دقیق و ریاضی تعریف می‌شود. در فصل سوم با مروری بر روش‌های بهینه‌سازی جایگاه روش‌های ابتکاری از جمله روش کلونی مورچه‌ها مشخص می‌شود، تا در فصل چهارم این الگوریتم به صورت مفصل بیان شود. سپس در ادامه این فصل پژوهش‌های انجام شده در این ارتباط بررسی می‌شود. در فصل پنجم کاربرد الگوریتم کلونی مورچه‌ها در مسئله طراحی شبکه گفته می‌شود و خصوصیات این الگوریتم مطابق مسئله طراحی شبکه تعریف می‌گردد. در فصل ششم نیز نتایج حاصل از اجرای این روش روی یک شبکه آزمایشی نشان داده می‌شود. در فصل هفتم با بیان نتایج به دست آمده از این مطالعه، پیشنهاداتی برای مطالعات آینده مطرح می‌گردد.

<sup>8</sup> Traveling Salesman Problem

<sup>9</sup> Vehicle Routing Problem

## فصل دوم

مسئله طراحی شبکه

و پیچیدگی‌های آن