کاربرد الگوریتم مورچگان در طراحی شبکه اتوبوسرانی

شهریار افندی‌زاده[i] سپیده اشراق[ii]

چکیده

عملکرد هر سیستم حمل و نقل نظیر سیستم اتوبوسرانی باتوجه به تقابل عرضه و تقاضا صورت می‌گیرد. طراحی خطوط اتوبوسرانی از جمله موارد مدیریت عرضه است که در شرایط منابع فنی و مالی محدود برای سرمایه‌گذاری و ساخت انجام می‌شود. از آنجا که طراحی شبکه اتوبوسرانی، مسأله پیچیده‌ای است، برای حل آن از روش‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. روش مورد استفاده‌ی این مقاله الگوریتم مورچگان است. در این روش که از رفتار طبیعی مورچه‌ها الهام گرفته است، سعی می‌شود که در هر مرحله از جستجو، از اطلاعات بدست آمده توسط سایر عوامل در جستجوهای دیگر برای یافتن جواب بهینه استفاده شود. برای مطالعه‌ی موردی سیستم شبکه حمل ونقل اتوبوسرانی شهر قزوین انتخاب و الگوریتم مورچگان برای طراحی شبکه استفاده شده است. نتایج نشان داده اند که با استفاده از این روش تعیین مسیرها باتوجه به کاهش زمان سفر بهتر صورت می‌گیرد.

کلمات کلیدی

الگوریتم مورچگان، حمل و نقل عمومی، شبکه خطوط اتوبوسرانی، روش‌های فراابتکاری، مدل‌ها

Development of a Model for Urban Bus Transit Network Based on Ant System Algorithm

Shahriar Afandizadeh and Sepideh Eshragh

ABSTRACT

Transportation system can be considered as an interactive position of supply and demand. Designing the bus lines is considered as supply management, which is in fact making decision about promotion of bus transportation system within the circumstances of limited resources for investment and construction.

Whereas Bus Transit Network Planning is a complex combinatorial issue, heuristic methods are used to solve this problem. Method of this research is Ant System algorithm. In each stage of this method which is inspired by normal behavior of the ants, it's tried to use factors of other searches in order to find the best answer. Using parameters involved in designing the bus network, concepts of this method are extended and adapted to Gazvin Bus Network Results show that using this method, can provide better routes based on the travel time reduction.

KEY WORDS:

Ant system Algorithm, Bus Network, Heuristic methods, models.

[i] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران تلفن ۷۷۲۴۰۳۹۹-۰۲۱، پست الکترونیکی zargari@iust.ac.ir

[ii] کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، شرکت مطالعات جامع حمل ونقل وترافیک تهران تلفن۲۲۲۲۶۶۰۴-۰۲۱، پست الکترونیکی sepcivil_56@yahoo.com

۱- مقدمه

توسعه شهری باعث افزایش تقاضای سفر شده، اما تسهیلات حمل و نقل موجود کفایت این تقاضا را نمی‌کند و به تبع از آن اینگونه شهرها دچار مشکلات عمده در زمینه‌های تراکم ترافیکی، آلودگی هوا، اتلاف زمان طولانی در مسیر سفرهای روزانه، افزایش مصرف سوخت و استهلاک وسایل نقلیه و غیره می‌شوند. برای حل مشکلات ترافیکی و مسائل اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی در اینگونه شهرها به یک سیستم مجهز و کارآمد حمل و نقل عمومی نیاز است [۱].

چون مهمترین قسمت سیستم حمل و نقل عمومی در کشورهای در حال توسعه را شبکه اتوبوسرانی تشکیل می‌دهد، طراحی شبکه اتوبوسرانی با هدف بهبود وضعیت حمل و نقل عمومی از اهمیت فراوانی برخوردار است.

هدف این مقاله، ارائه روشی برای طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی است که به وسیله آن بتوان بطور کارآ کوتاه‌ترین مسیر و به تعبیر دیگر مسیر بهینه را با کمترین زمان شناسایی کرد. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم مورچگان که یکی از روشهای فراابتکاری و شبیه‌سازی شده است، می‌توان با در نظر گرفتن یک مسأله بهینه‌سازی با هدف حداقل نمودن مسافت و زمان کل سفر، شبکه خطوط اتوبوسرانی را طراحی کرد.

۲- چارچوب روش مورد نیاز در تحقیق

در طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی، تعیین هدف برای تشکیل یک پیکربندی مناسب در خصوص خطوط (شامل تعیین خطوط و تواترهای تخصیصی به آنها) حائز اهمیت است که بتوان مقدار تابع هدف را با توجه به محدودیتهای موجود، کمینه و یا بیشینه کرد.

به طور کلی مهمترین اجزاء طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی عبارتند از: تعیین تقاضا برای سیستم حمل و نقل عمومی، معرفی شبکه خطوط اتوبوسرانی، معرفی تابع هدف، بیان محدودیتهای موجود، شناخت رفتار انتخاب مسیر مسافرین و تکنیکهای حل مسأله بهینه‌سازی تابع هدف [۲].

۲-۱- تعیین شبکه حمل و نقل

برای تعیین شبکه حمل و نقل نیاز است که از مشخصات گره‌ها و کمانها استفاده شود. این اطلاعات را می‌توان در بانکهای اطلاعاتی رایانه‌ای وارد کرده و در هر لحظه از خصوصیات شبکه حمل ونقل، گزارش‌های مورد نیاز را برای برنامه‌ریزی شبکه حمل و نقل تهیه کرد [۲].

۲-۲- تعیین تقاضای سفر

برآورد تقاضای سفر شبکه حمل و نقل شهر و تفکیک سهم تقاضای حمل و نقل عمومی در همه گره‌های شبکه و همچنین شناسایی گره‌های اصلی تولید و جذب تقاضا، براساس مطالعات جامع حمل ونقل صورت می‌گیرد. اگر در برآورد تقاضای سفر، تنها به تجارب افراد و تخمینهای ذهنی تکیه شود و از روشهای علمی آمارگیری منطقی به هر دلیلی پرهیز شود، بدیهی است که در بعضی از مسیرها با انبوه مسافر، کمبود اتوبوس، اتلاف‌وقت و... مواجه خواهیم شد [۲].

۲-۳- تعیین خطوط و زوج پایانه‌های مورد نیاز شبکه

در ابتدا باید مجموعه‌های متفاوتی از خطوط را برای شبکه در نظر گرفت. در مراحل بعد مجموعه‌ای به عنوان جواب برتر انتخاب خواهد شد. نهایتاً مجموعه خطوط انتخاب شده باید در بر گیرنده نکات زیر باشند.

الف) خطوطی که به وسیله ماتریس تقاضا و با توجه به تقاضای موجود سفر برای وسیله نقلیه عمومی، توصیه می‌شوند. این معیار به معنی در نظر گرفتن تقاضای حمل و نقل عمومی از هر نقطه i به هر نقطه دیگری از شبکه به نام j و تعیین خطوطی است که این تقاضا را از طریق مناسب‌ترین مسیر شبکه خیابانی موجود برآورده سازند.

ب) خطوطی که با توجه به دانش و نظر کارشناسی (از جمله لزوم ایجاد سرویس برای مناطق خاص ویا ایجاد شبکه‌های خاص (شطرنجی، شعاعی، حلقوی، و ...)) توصیه می‌شوند.

ج) در نظر گرفتن خطوطی که محدودیتهای نظیر کوتاهترین و یا بلندترین طول خط، محدودیت بودجه و غیره را برآورده سازند.

اگر در تعیین موقعیت زوج پایانه‌ها و خطوط اتوبوسرانی، هدفی معقول مورد نظر نباشد و تنها به اضافه کردن خطوط جدید به سیستم نا کار آمد موجود (بدون در نظر گرفتن معیارهای مشخص و مطلوب) اکتفا شود، نه تنها مشکلات سیستم بر طرف نمی‌شوند بلکه دربرخی موارد افزایش می‌یابند [۲].

۲-۴- تعیین تابع هدف

تابع هدف ممکن است که به شکل حداقل کردن هزینه کل شامل هزینه استفاده‌کنندگان و گردانندگان سیستم تعریف شود. هزینه استفاده‌کنندگان تابعی از کل زمان سفر است که در این حالت زمان سفر، به عنوان عامل انتخاب وسیله‌نقلیه معرفی می‌شود. هزینه گردانندگان سیستم درقالب ناوگان اتوبوسرانی

است که بر اساس اتوبوس- کیلومتر برآورد می‌شود. زیراهزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری، نگهداری و مدیریت سیستم و هزینه‌های جاری نظیر پرداخت حقوق کارکنان با تعداد اتوبوسهای ناوگان شبکه متناسب‌اند.

۲-۵- تعیین مسیر شبکه خطوط اتوبوسرانی

روشهای مسیریابی شبکه خطوط اتوبوسرانی شامل روشهایی نظیر روش لاینز[۱۷]، روش بانسال[۴]، روش سدروویلسون[۷]، روش لبلانک[۱۶] وهادی باج و مهمسانی[۳] هستند.

برای بدست آوردن مسیر بهینه بین هر زوج پایانه در مسأله مسیریابی باید از روشهای شمارش استفاده کرد، به طوری که تمام مسیرهای ممکن بین آن زوج پایانه در نظر گرفته شده و به نحوی ارزیابی شوند. برای پرهیز از شمارش همه مسیرها که عملاً خیلی زمان بر است باید از دستور حلی سود جست که مسیرهای با تابع هدف دور از جواب بهینه را به سرعت حذف می‌کند و جواب بهینه نزدیک را به ما نشان می‌دهد. ازجمله روشهایی که در تعیین مسیر شبکه خطوط اتوبوسرانی کاربرد دارند، می‌توان به روشهای فرا ابتکاری[۱] [۱۰] اشاره کرد. این روش‌ها از طبیعت الهام گرفته‌اند. در این روشهای بهینه‌سازی همه جوابها کنترل نمی‌شوند، بلکه با استفاده از یک منطق و در یک فرآیند تصادفی تعدادی از آنها انتخاب شده و از بین آنها به جواب بهینه می‌رسیم. این روش‌ها گرچه ممکن است به جواب بهینه نهایی منتهی نشوند اما با درصد قابل قبول خطا می‌توانند جوابهای خوبی تولید کنند.

۲-۶- تخصیص ناوگان به شبکه خطوط اتوبوسرانی

پس از طراحی مسیرهای شبکه اتوبوسرانی باید اندازه کارایی این مسیرها مورد ارزیابی قرار گیرد.

چون یکی از کاربردهای مدلهای تخصیص، ارزیابی کارایی شبکه های طراحی شده است و تواترهای مورد نیاز خطوط شبکه نیز از فرآیند تخصیص حاصل می‌شوند، از این رو به یک روش مناسب تخصیص نیاز است. روش تخصیص مورد نیاز باید قادر به محاسبه پارامترهای مهم ارزیابی در سطوح مختلف شبکه همچون اجزای زمان سفر، اجزای تقاضاهای برآورده شده توسط شبکه پیشنهادی، معیارهای کارایی و سطح خدمت شبکه باشد. یکی از روش های متداول برای تخصیص ترافیک وسایل نقلیه با مسیر ثابت (مانند اتوبوس) روش «استراتژی بهینه»[۲] [۲۸] است. در این تحقیق نیز با استفاده از نرم‌افزار EMME/2 که از روش استراتژی بهینه استفاده می‌کند برای ارزیابی مسیرهای اتوبوسرانی استفاده شده است.

۳- مروری‌برپیشینه روشهای طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی

روشهای موجود در زمینه طراحی شبکه حمل و نقل را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد. گروهی شبکه را به صورت مطلوب[۳] یا نظری در نظر گرفته‌اند و گروهی با مسیرهای واقعی کار می‌کنند. اغلب روشهای گروه نخست در زمینه روشهای ریاضی اند که در آنها از متغیرهایی چون طول مسیر، فاصله ایستگاه‌ها و سرفاصله‌های زمانی[۴] برای بهینه کردن هدفهایی در زمینه منافع مسافرین و هزینه‌های گردانندگان سیستم استفاده شده است.

بسیاری از این روشها بر اساس تقاضای ثابت و متغیرهای طراحی محدود و هدف کمینه‌سازی هزینه‌های استفاده‌کنندگان وگردانندگان سیستم اتوبوسرانی بنا شده‌اند.

بیرن[۵] [۶]، هردل[۶] [۱۵]، نیول[۷] [۲۳] این روش (طراحی شبکه به صورت مطلوب) را با تقاضای متغیر و گستره بزرگتری از متغیرهای طراحی منعکس‌کننده علایق استفاده کنندگان و یا گردانندگان مورد استفاده قرار داده‌اند.

هاسلستروم[۸] [۱۳] در نگرش به روشهای گروه دوم (آنهایی که با مسیرهای واقعی کار می‌کنند) شش ویژگی از آنها را مورد بررسی قرارداده است. تقاضا، تابع هدف، محدودیتها، رفتار استفاده کنندگان، روش حل و زمان محاسبات کامپیوتر.

روشهای مورد بررسی در این نگرش هاسلستروم شامل یک روش شاخه و کرانه از خود وی و روشهای لامپکین و ساآلمنز[۹] [۱۷] ری[۱۰] [۲۵] سیلمن و همکاران[۱۱] [۲۷] ماندل[۱۲] [۱۹] و دوبوی و همکاران[۱۳] [۹] بودند. تقاضا در همه این روشها، جز در معدودی از آنها چون روش دوبوی و همکاران، روش هاسلستروم، ثابت و مستقل از کیفیت خدمت ارائه شده فرض شده است.

یکی از تفاوتهای مهم در بین روشهای مختلف نظیر روش لاینز و همکاران [۱۷]، روش بانسال [۴]، روش سدر و ویلسون [۷]، روش لبلانک [۱۶]، روش هادی باج و مهمسانی [۳] در خصوص نحوه تخصیص ترافیک به کوتاه‌ترین مسیر یا تخصیص به مسیرهای چند گانه بین یک زوج مبدأ و مقصد است. سایر روشها نیز به صورت روش برای طراحی شبکه اتوبوسرانی مورد استفاده قرار گرفته اند که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

الگوریتم شاخه وکران (BB)[۱۴] [۱] و یا روشهای تجربی مبتنی برجستجوی محلی[۱۵] نظیر 2-opt و3-opt [۱۴] و روشهای فراابتکاری (متاهیوریستیک) عبارتند از الگوریتمهای شبیه‌سازی گرم و سرد کردن(SA)[۱۶] [۳۱]، الگوریتم ژنتیک (GA)[۱۷] [۲]،

[۲۶]، الگوریتم شبکه‌های عصبی (NN)[18] [۲۴]، الگوریتم گروه مورچگان (AC)[19] [۲۹]، [۵]، [۲۲] و الگوریتم جستجوی نقاط ممنوع (TS)[20] [۱۱].

در این مقاله از الگوریتم مورچگان (AC) برای طراحی شبکه اتوبوسرانی با توجه به تابع هدف استفاده شده است.

٤- الگوریتم مورچگان (AC)

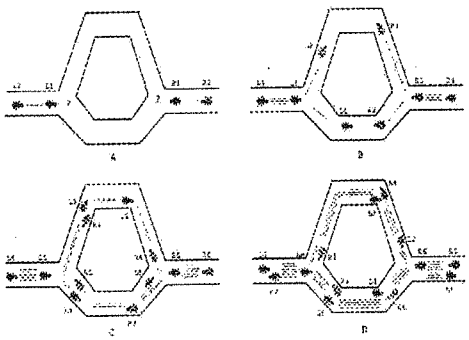
الگوریتم مورچگان یک روش فرا ابتکاری جدید برای حل مسأله بهینه سازی، یعنی یافتن جواب قابل قبول با توجه به محدودیت ها و نیازهای مسأله است.

این الگوریتم یک رویکرد بر پایه جمعیت است که با بهره‌گیری کامل از باز خور مثبت[21] و با استفاده از جستجوی ممنوع[22] به حل مسائل می‌پردازد. فکر اصلی الگوریتم مورچگان بر پایه مشاهدات و مطالعات انجام شده درخصوص اجتماعات مورچگان والهام گرفته از رفتار آنان است. دراین‌مطالعات، مشاهده شده است که هنگامی که مورچگان حرکت می‌کنند با رهاسازی ماده شیمیایی به نام فرومون[23]، اثری در مسیر طی شده خود باقی می‌گذارند. این اثر فرومون توسط سایر مورچگان تشخیص داده می‌شود و باعث می شود که آنها هم برای دنبال کردن اثر فرومون و در واقع دنبال کردن مسیر انتخاب شده، برانگیخته شوند. به عبارت دیگر یک مورچه که به طور تصادفی حرکت می‌کند به احتمال زیاد اثر فرومون را دنبال می‌کند. در واقع به علت تردد بیشتر مورچگان، اثر فرومون ضخیم‌تر شده و رفته رفته مورچگان بیشتری آن را دنبال می‌کنند. در منابع علمی از این روش مسیریابی مورچه‌ها با نام‌های دیگری چون بهینه‌سازی حرکت گروهی مورچگان، سیستم حرکت گروهی مورچگان و شبکه مورچگان یاد شده است [۲۱].

در سالهای اخیر، برای حل مسائل زیادی از جمله مسأله فروشنده دوره‌گرد (TSP)[24] [۱۲]، مسأله تخصیص درجه دوم (QAP)[25] و زمانبندی تولید کار گاهی و مسأله مسیریابی وسیله نقلیه (VRP)[26] [۸]، [۲۰] از روش الگوریتم مورچگان استفاده شده است که در آنها برتری محاسباتی الگوریتم جدید بر سایر روشهای فراابتکاری نظیر جستجوی ممنوع، تابکاری مصنوعی (SA)[27] [۳۱] و الگوریتم ژنتیک (GA)[28] اثبات شده است [۲۶].

الگوریتم مورچگان بر این اساس استوار است که مورچه‌های واقعی قادر به پیدا کردن کوتاهترین مسیر از یک منبع غذا به لانه خود بدون استفاده از قابلیت های بصری هستند. همچنین آنها می‌توانند خود را با تغییرات محیطی تطبیق دهند. هر مورچه ترجیح می‌دهد جهتی را انتخاب کند که اثرات فرومون زیادی در آن بجا گذاشته شده است.

شکل (۱) کوتاه ترین مسیر توسط گروه مورچه‌ها را نشان می‌دهد [۲۹].

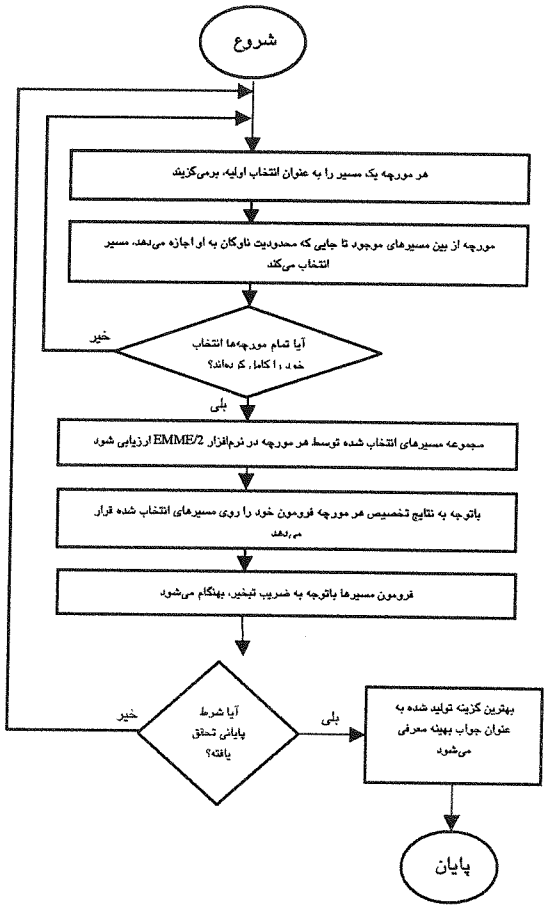


شکل (۱): پیداکردن کوتاه‌ترین‌مسیر توسط گروه مورچه‌ها

ذکر این نکته جالب است که مورچه‌هایی که به طور اتفاقی مسیر کوتاهتر را در رسیدن به منبع غذایی انتخاب می‌کنند از آنهایی که مسیر طولانی‌تر را انتخاب می‌کنند با سرعت بیشتری رد اثر فرومون قطع شده را بازسازی می‌کنند. به این ترتیب، مسیر کوتاهتر مقدار اثر فرومون بیشتری را در واحدزمان شامل خواهد شد و به همین علت تعداد بیشتری از مورچه‌ها مسیر کوتاهتر را انتخاب می کنند. به علت این بازخور مثبت[29] یا خود شتابی[30]، کلیه مورچه‌ها به سرعت مسیر کوتاهتر را انتخاب خواهند کرد [۱۸].

۵- فرآیند تحقیق

در مورد طراحی شبکه اتوبوسرانی می توان با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه‌ها در مدت زمان کم جواب قابل قبولی پیدا کرد. برای پیاده‌سازی این الگوریتم بر روی یک شبکه خاص و انجام آزمایش های لازم، نرم‌افزار EMME/2 انتخاب شد. این نرم‌افزار با استفاده از روش استراتژی بهینه به حل مسأله تخصیص سیستم اتوبوسرانی می‌پردازد. پس از انجام تخصیص، شاخصهای ارزیابی که خروجی نرم‌افزارند مجدداً به عنوان ورودی الگوریتم در نظر گرفته شده و مجدداً گزینهٔ دیگری ایجاد می‌شود. این فرآیند تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که شرط پایانی تحقق یابد. سپس بهترین گزینه تولید شده تا آن مرحله به عنوان جواب بهینه محلی معرفی می‌گردد. شکل (۲) فرآیند کل حل مسأله را نشان می‌دهد. در این تحقیق تابع هدف به صورت مجموع هزینه‌های استفاده‌کنندگان و گردانندگان سیستم تعریف می‌شود. عمده‌ترین هزینه استفاده‌کنندگان از سیستم، مدت زمان استفاده از آن است.



شکل (۲): فرآیند کلی حل مسأله طراحی شبکه اتوبوسرانی با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه‌ها

هزینه گردانندگان سیستم اتوبوسرانی بیشتر شامل هزینه‌های تعمیر و نگهداری ناوگان، پرسنلی و نظایر این‌ها است. شاید بهترین شاخصی که بتواند معرف هزینه‌های گردانندگان سیستم باشد، کل مسافت طی شده توسط ناوگان سیستم اتوبوسرانی باشد. به این ترتیب هر چند ممکن است که با طراحی یک شبکه اتوبوسرانی وسیع در سطح شهر بتوان هزینه استفاده‌کنندگان را کاهش داد، اما این مسأله کل مسافتی را که اتوبوسها می‌پیمایند افزایش خواهد داد که به مفهوم افزایش هزینه گردانندگان سیستم است. بنابراین می‌توان با استفاده از ضریب تبدیل هزینه‌ها، این قسمت را به هزینه استفاده کنندگان از سیستم افزود. بنابراین تابع هدف مسأله به صورت مدل ریاضی زیر تعریف می‌شود:

$$F=T_1+T_2+\alpha K \qquad (۱)$$

که در این رابطه T_1 زمان دسترسی به سیستم (مجموع زمان رسیدن به ایستگاه و زمان انتظار) ، T_2 زمان داخل وسیله‌نقلیه درسیستم، K کل مسافت طی شده توسط ناوگان و α ضریب تبدیل هزینه‌ها است.

مقدار α با استفاده از اطلاعات مربوط به هزینه‌های شرکت‌های اتوبوسرانی و مسافت طی شده ناوگان آنها قابل دستیابی است. چون α جزو پارامترهای مدل است می‌توان با تغییر آن نسبت پارامترهای مهم تابع هدف را عوض کرد. یعنی اگر بخواهیم اهمیت هزینه‌گردانندگان سیستم را افزایش دهیم و مسأله را با تأکید بر دید گردانندگان سیستم حل کنیم، α را باید افزایش داد و اگر بخواهیم اهمیت هزینه استفاده‌کنندگان از سیستم را افزایش و مسأله را با تأکید بر دید استفاده‌کنندگان از سیستم حل کنیم، α را باید کاهش داد .در این تحقیق با توجه به ماهیت موضوع تحقیق و بررسی‌های انجام شده از مدل لوجیت[۳۱] به عنوان تابع احتمالی انتخاب استفاده شده است. برای توضیح بیشتر می‌توان اظهار کرد که دو دلیل قابل توجه برای این انتخاب وجود دارد. یکی این که ماهیت مسأله طراحی شبکه اتوبوسرانی یک نوع انتخاب در خصوص انواع روشهای ترابری است که مدلهای لوجیت نیز تاکنون توانسته‌اند در این خصوص از سایر مدلها بهتر جواب دهند. دوم اینکه وقتی پارامترهای دخیل در انتخاب در توان یک عبارت قرار می‌گیرند می‌توانند مقادیر منفی نیز داشته باشند. این مسأله قابلیت امتیاز منفی دادن به جوابهایی که عملکرد بدتری دارند را به روش انتخابی می‌دهد. بر اساس توضیحات داده شده رابطه احتمالی انتخاب در این تحقیق به صورت زیر در نظر گرفته می شود.

$$P_{R,ANT}=\frac{e^{f_R}}{\sum_{R=1}^{n} e^{f_R}} \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق f_R مقدار فرومون مسیر R و n تعداد کل مسیرهای اتوبوسرانی پیشنهادی است که قابلیت انتخاب شدن توسط یک مورچه را دارند. با توجه به روش الگوریتم مورچگان تابع احتمالی انتخاب، ارتباط مستقیمی با مقدار فرومون مسیرها دارد. یعنی هرچه مقدار فرومون مسیری بیشتر باشد، احتمال انتخاب آن افزایش می‌یابد. به علاوه اگر مجموعه‌ای از مسیرهای پیشنهادی جواب بهتری تولید کنند، (تابع هدف مجموعه انتخابی مقدار کوچکتری دارد)، می‌باید فرومون بیشتری روی مسیرها قرار گیرد. پس مقدار بهبود در تابع هدف ΔF یکی ازعوامل موثر در فرومون گذاری مورچه‌ها است. از طرف دیگر می‌باید در مجموعه انتخاب شده به نوعی به مسیرهایی که عملکرد بهتری دارند، اهمیت بیشتری داد. بنابراین هرچه تعداد مسافر جا به جا شده توسط یک خط اتوبوسرانی در یک مسیر افزایش یابد، حاکی از بازدهی بیشتر آن خط است. پس مقدار فرومون قرار داده شده بر روی هر مسیر توسط این عامل وزن‌دهی می‌شود. بنابراین مقدار فرومون قرار داده شده بر روی مسیرها از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_{R,ANT} = \beta(\frac{L_R}{L}) \times \Delta F$$
$$L = \sum_{R=1}^{n} L_R \quad R \in \text{feasible(ant)} \qquad (۳)$$

که در رابطه فوق L_R تعداد مسافر جابه جا شده توسط مسیر R و L جمع کل تعداد مسافر جابه جا شده در مجموعه انتخابی مورچه ها است. β ضریب همسان کننده مقدار فرومون است. ضریب β مقدار Δf را در محدوده‌ای قرار می‌دهد که تغییرات تابع هدف به صورت معنی‌داری باعث تغییرات فرومون شوند. این ضریب در بخش پردازش مدل به صورت سعی و خطا برابر $\beta = ۰/۰۰۱$ در نظر گرفته شد.

پس از این که تمام مورچه ها فرومون خود را بر روی مسیرها قرار دادند، فرومون هر یک از مسیرها محاسبه شده و مقداری از آن حذف می‌گردد. این فرآیند به صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌شود.

$$F_R(n) = \sum_{ant=1}^{p} F_{R,ant} + (1-\gamma) F_R(n-1) \qquad (۴)$$

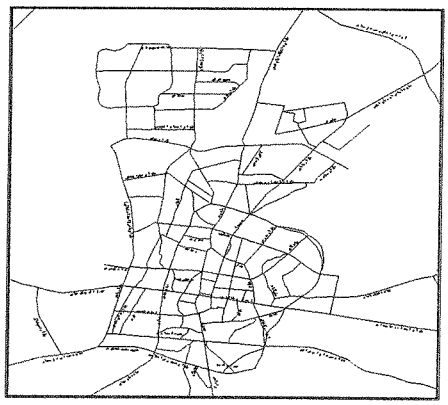
که در رابطه فوق $F_R(n)$ مقدار فرومون مسیر R در تکرار n ام برنامه و γ ضریب تبخیر است.

در این تحقیق برای حل مسأله طراحی شبکه اتوبوسرانی پس از تشکیل بانک‌های اطلاعاتی خطوط، نیاز است برنامه‌ای در محیط Foxpro تدوین شود تا الگوریتم معرفی شده را پیاده کند. در این برنامه ابتدا فرومون همه مسیرها برابر عدد ثابت ۱ در نظر گرفته شد که به عبارت دیگر شانس انتخاب هر یک از مسیرها در تکرار اول برنامه یکسان باشد. سپس تعداد مشخصی مورچه (که این تعداد در برنامه قابل تغییر است) شروع به انتخاب احتمالی مسیرها می‌کنند. طبیعی است که انتخاب اول همه مورچه‌ها کاملاً تصادفی است. هر مورچه وقتی مسیری را انتخاب می‌کند آن را در فهرست خود قرار می‌دهد و تعداد اتوبوس مورد نیاز آن مسیر را نیز به مجموعه اتوبوس های مورد نیاز مسیرهای انتخاب شده خود می‌افزاید. هر مورچه تا جایی مسیر انتخاب می‌کند که محدودیت ناوگان، دیگر به او اجازه انتخاب بیشتر ندهد. محدودیت ناوگان اصلی ترین محدودیت مدل است. پس از این که انتخاب همه مورچه‌ها کامل شد، نوبت به ارزیابی مجموعه مسیرهای انتخاب شده توسط هر مورچه می رسد. در این حالت ابتدا به ازاء هر مورچه برنامه براساس مسیرهای انتخاب شده فایل‌های مورد نیاز نرم‌افزار EMME/2 را آماده می‌کند و سپس برنامه EMME/2 از داخل برنامه Foxpro فرا خوانده می‌شود. نرم‌افزار EMME/2 با استفاده از برنامه Foxpro تهیه کرده است، عمل تخصیص ترافیک را انجام می‌دهد و شاخص‌های ارزیابی از قبیل زمان پیاده‌روی، زمان داخل وسیله و مسافت طی شده توسط اتوبوسها را در فایل‌های خروجی تولید می کند. پس از اینکه مجموعه انتخاب شده توسط هر مورچه در نرم‌افزار EMME/2 ارزیابی و مقدار تابع هدف به ازاء آن مشخص شد، هرمورچه بر روی مسیر فرومون گذاری می کند. طبیعی است که مجموعه مسیرهایی که توانسته‌اند تابع هدف بهتری را تولید کنند مورد نظر است. این فرومون گذاری متناسب با تعداد مسافری است که هر خط جا به جا کرده است و خطوطی که مسافر بیشتری جا به جا کرده‌اند، فرومون بیشتری می‌گیرند. در این مرحله بهترین جواب به دست آمده توسط مورچه ها به عنوان جواب بهینه معرفی می‌گردد. سپس فرومون هر یک از مسیرها از جمع فرومون های قرار داده شده توسط هر مورچه به دست می‌آید. طبیعی است که اگر مسیری توسط تعداد بیشتری مورچه انتخاب شده باشد، به این معنی است که مسیر خوبی بوده است و فرومون آن نیز مقدار بیشتری است. در مرحله بعد مقداری از فرومون مسیرها تبخیر می شود. اگر ضریب تبخیر را γ بنامیم $(۰ < \gamma < ۱)$، در هر تکرار برنامه γ ×۱۰۰ درصد از فرومون هر مسیر تبخیر می‌گردد و مقدار $(\gamma - ۱)$ ×۱۰۰ درصد آن باقی می‌ماند. علت وجود ضریب تبخیر این است که اگر یک مسیر در انتخاب هیچ مورچه ای قرار نگرفت می‌باید فرومون روی آن به تدریج محو شود تا احتمال انتخاب آن کاهش یابد. چون احتمالاً مسیر خوبی نبوده است. هر چه γ کمتر باشد، اعتماد به جوابهای که در مراحل قبلی به دست آمده‌اند بیشتر است. در حالت حدی اگر $\gamma = ۰$ فرض شود، الگوریتم ۱۰۰ درصد به جوابهای قبلی اعتماد می‌کند. این انتخاب ممکن است به توقف الگوریتم در اولین جواب بهینه محلی منجر شود. اما اگر ضریب تبخیر افزایش یابد، تصادفی بودن انتخاب‌ها افزایش یافته است. به عبارت دیگر درصد اعتماد به جوابهای قبلی کمتر می شود. در حالت حدی اگر $\gamma = ۱$ فرض شود، تمام اطلاعات مربوط به جوابهای به دست آمده قبلی از بین می‌روند و مسأله کاملاً تصادفی عمل می‌کند. افزایش γ احتمال گیر کردن در جواب بهینه محلی را کاهش می‌دهد اما عیب آن افزایش تصادفی کردن انتخاب است. پس از عمل تبخیر فرومون ها، فرآیند برنامه دوباره تکرار می‌شود و اگر جواب بهتری تولید شود، جواب بهینه بهنگام می‌شود. این کار تا آنجا تکرار می‌یابد که شرط خاتمه تحقق پیدا کند.

مقدار تغییر در تابع هدف یا تعدد تکرار مشخصی از برنامه به عنوان شرط خاتمه برنامه بررسی می‌گردد. اگر این تغییر از حد مشخصی مثلاً ۰/۰۵ کمتر باشد، برنامه متوقف می‌شود و جواب بهینه محلی به دست آمده به عنوان گزینه برتر معرفی می‌گردد.

۶- کاربرد مدل پیشنهادی درطراحی مسیرشبکه اتوبوسرانی شهرقزوین (مطالعه موردی)

به منظور کاربرد این مدل، سیستم اتوبوسرانی شهر قزوین انتخاب شد. برای پیاده سازی این مدل روی شهر قزوین نیاز است تا اطلاعات عرضه و تقاضای سفر این شهر که بااستفاده از آمارگیری به دست آمده‌اند، به مدل معرفی شوند. شکل (۳)، وضعیت شبکه معابر شهر قزوین در سال ۱۳۸۳ را نشان می‌دهد. اتوبوسرانی شهر قزوین ۱۷ خط دارد که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می شود کل ناوگان اتوبوسرانی شهر قزوین ۱۷۸ دستگاه است. این تعداد ناوگان محدودیت اصلی مسأله طراحی شبکه است.



شکل (۳): وضعیت شبکه معابر شهرقزوین درسال ۱۳۸۳.

شهر قزوین می‌توان اطلاعات تقاضای سفر را جمع‌آوری کرد، که طبق آن تقاضا، ماتریس تقاضای سفر به تفکیک وسایل نقلیه مختلف بدست می‌آید. در بخش عرضه اطلاعات فیزیکی شبکه معابر از اطلاعات مربوط به سیستم حمل ونقل عمومی شامل اطلاعات مسیر حرکت، مبدأ - مقصد، زمان سفر و زمان توقف در ایستگاه مبدأ و مقصد و ... استفاده شده است. حالا با استفاده از این اطلاعات و نرم‌افزار EMME/2 می‌توان تعداد مسافر هر خط، زمان رفت و برگشت در هر خط تعداد مسافر سوار و پیاده شده و ... را بدست آورد که اینها خروجی‌های نرم‌افزار EMME/2 بوده وشاخصهای ارزیابی و تصمیم‌گیری هستند. جدول (۲)مشخصات عملکردی خطوط وضعیت موجود شهر قزوین را نمایش می دهد. شکل (۴) حجم جا به جایی مسافر در سیستم اتوبوسرانی شهرقزوین را نمایش می‌دهد. همانطور که اشاره شد تابع هدف برابر با مجموع هزینه‌های استفاده‌کنندگان و گردانندگان سیستم است.

خروجی‌های نرم‌افزار EMME/2 پارامترهای زمان دسترسی به سیستم، زمان داخل وسیله نقلیه و ضریب تبدیل هزینه هستند. تابع هدف وضع موجود (۱۷ خط اتوبوسرانی) شهر قزوین با استفاده از پارامترهای به دست آمده از تخصیص EMME/2 ۷۶۰۰ است.

جدول (۱): مشخصات خطوط سیستم اتوبوسرانی وضع موجود شهر قزوین.

شماره خط	ایستگاه مبدأ خط	ایستگاه مقصد خط	طول خط (متر)	تعداد اتوبوس خطوط	متوسط زمان (دقیقه)				متوسط سرعت فاصله حرکت (دقیقه)		
					تاخیر در هر ایستگاه از مسیر	تاخیر در ایستگاه مبدا	تاخیر در ایستگاه مقصد	مابین یک دور سرویس(متوسط یک اتوبوس)	در طول یک روز	در زمان‌های اوج	در زمان‌های میانوج
۱۰۱	میدان تهران قدیم	دانشگاه پزشکی	۹۶۵۶	۱۳	۰/۳	۱۰	۱۰	۳۵	۴/۳	کمتر از ۵ دقیقه	بین ۵ تا ۱۰ دقیقه
۱۰۲	پایانه شهید بهشتی	دانشگاه آزاد نوبل	۱۰۱۸۳	۷	۰/۳	۵	۱۰	۳۰	۶/۴	هر ۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
۱۰۳	۴۰۰ دستگاه	پرسی گاز	۳۳۳۳۸	۷	۰/۳	۱۰	۱۰	۴۰	۳/۵	کمتر از ۵ دقیقه	بین ۵ تا ۱۰ دقیقه
۱۰۴	میدان تهران قدیم	میدان آزادی	۳۷۹۶	۴	۰/۳	۵	۱۰	۳۰	۸/۸	هر ۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
۱۰۵	بازار	پادگان	۷۱۰۷	۶	۰/۳	۵	۱۰	۳۰	۷/۵	هر ۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
۱۰۶	میدان آزادی	دانشگاه امام خمینی	۱۶۱۱۱	۱۵	۰/۳	۱۰	۱۰	۳۵	۳/۷	کمتر از ۵ دقیقه	بین ۵ تا ۱۰ دقیقه
۱۰۷	بازار	شهرک کوثر	۱۵۱۱۲	۲۸	۰/۳	۱۰	۱۰	۴۵	۲/۳	کمتر از ۵ دقیقه	بین ۵ تا ۱۰ دقیقه
۱۰۸	میدان امام خمینی	شهرک مینودشت	۱۵۶۷۹	۱۶	۰/۳	۱۰	۱۰	۴۵	۲/۱	کمتر از ۵ دقیقه	بین ۵ تا ۱۰ دقیقه
۱۰۹	پایانه شهید بهشتی	میدان امام خمینی	۷۰۹۱	۷	۰/۳	۵	۱۰	۲۵	۵/۷	هر ۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
۱۱۰	پایانه شهید بهشتی	۴۰۰ دستگاه	۱۳۳۳۴	۷	۰/۳	۵	۱۰	۴۰	۷/۰۹	هر۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
۱۱۱	میدان تهران قدیم	میدان امام خمینی	۷۲۵۷	۴	۰/۳	۵	۱۰	۳۰	۱۷/۳	هر ۵ تا ۱۵ دقیقه	هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه
۱۱۲	پاویار معلم	دانشگاه آزاد باراجین	۵۲۸۰	۴	۰/۳	۷	۷	۱۰	۶	هر ۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
۱۱۳	پاویار اسدیاجین	الغالیه	۱۹۰۰۰	۳	۰/۳	۱۰	۱۰	۳۰	۱۶/۷	هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه	هر ۱۵ تا ۳۰ دقیقه
۱۱۴	پایانه شهید بهشتی	محمدیه	۳۴۰۰۰	۱۷	۰/۳	۱۰	۱۵	۵۵	۴/۷	کمتر از ۵ دقیقه	بین ۵ تا ۱۰ دقیقه
۱۱۵	پایانه شهید بهشتی	الوند	۳۴۰۰۰	۱۷	۰/۳	۱۰	۱۵	۴۰	۳/۸	کمتر از ۵ دقیقه	بین ۵ تا ۱۰ دقیقه
۱۱۶	پایانه شهید بهشتی	شهرک مینودشت	۱۳۳۱۵	۹	۰/۳	۱۰	۱۰	۴۵	۷/۲	هر ۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
۱۱۷	شهریاری	دوراه محمدی	۴۰۸۶	۴	۰/۳	۵	۱۰	۲۰	۸/۸	هر ۵ دقیقه	هر ۱۰ دقیقه
مجموع			۲۳۸۳۲۵	۱۷۸	۰/۳	۷/۸	۱۰/۲	۳۳/۸	۶/۴		

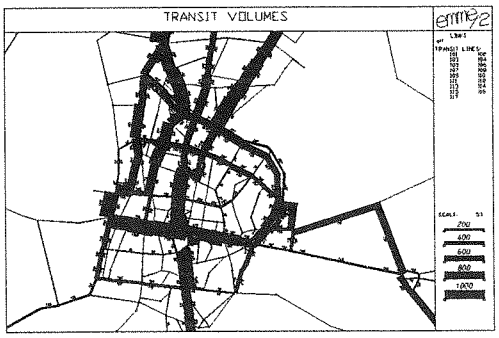
۱-بدون احتساب زمان توقف در ایستگاههای مبدأ و مقصد در یک رود

علاوه بر ۱۷ خط موجود اتوبوسرانی به آن ۱۶ خط جدید به صورت حلقوی و رفت و برگشت اضافه شد که جمع این خطوط بالغ بر ۳۳ خط شد. حالات ممکن برای انتخاب مسیر بهینه 2^{33} حالت است که با استفاده از الگوریتم مورچگان در این برنامه حالات مناسب انتخاب می‌شود.

در این تحقیق برای تخصیص وسیله نقلیه عمومی از استراتژی بهینه استفاده می‌شود. از آمارگیری بدست آمده از

جدول (۲): عملکرد خطوط اتوبوسرانی وضع موجود شهر قزوین.

شماره خط	سرفاصله (دقیقه)	کل زمان سفر خط (دقیقه)	تعداد مسافر سوار شده
۱۰۱	۵	۲۸	۱۷۸۱
۱۰۲	۹	٤۲	۱۱۸۰
۱۰۳	۸	۱۰۲	۲۵٦۷
۱۰٤	۸	۱۵	۳٦٦
۱۰۵	۸	۲۵	٤۰۵
۱۰٦	٦	۵۲	۱۲۹۹
۱۰۷	۲	۵۲	۲۹۵۷
۱۰۸	۵	۵٤	۲۰۵۹
۱۰۹	۷	۲۹	۱۰۵۲
۱۱۰	۹	٤۲	۸٦۹
۱۱۱	۱۰	۳۰	۷۵٦
۱۱۲	۵	۱۰	٤۷
۱۱۳	۱٦	۴۷	۱٦۷
۱۱٤	٤	۲۹	۱۰۰
۱۱۵	۵	۵۲	۷٦۷
۱۱٦	۷	۳۹	۱۰۷۱
۱۱۷	۸	۱٤	۱۸۳
متوسط	٦	۲۹	۱۰٤۲
جمع	—	۶۶۶	۱۷۷۲۱



شکل (۴): نمودار حجم جابجایی مسافردرسیستم اتوبوسرانی شهرقزوین درساعت اوج صبح سال ۱۳۸۳.

قبل از معرفی نتایج به دست آمده از مدل، تحلیل حساسیت بر پارامترهای مدل انجام شد؛ به این معنی که مقدار بهینه هریک از پارامترهای مدل باید تعیین می‌شدند. این کار با استفاده از ثابت نگه داشتن همه پارامترها و تغییر یکی از آنها انجام شد. در حالتی که مقدار تابع هدف به ازای آن پارامتر بیشینه شود، مقدار بهینه آن پارامتر تعیین می‌شود.

۷- نتایج اجرای مدل و تعیین شبکه اتوبوسرانی بهینه

در این تحقیق مدل با پارامترهای ۰/۵= γ (ضریب تبخیر)، ۶ = Ant (تعداد مورچه)، ۸ = Cycle (تعداد تکرار) به صورت بهینه کار می‌کند، که بهترین جواب بدست آمده شامل ۱۴خط از میان ۳۳ خط پیشنهادی بود. جدول (۳) مشخصات این خطوط را نشان می‌دهد. تحلیل های مختلف نشان داد که ضرایب تبخیر کمتر و یا بیشتر از ۰/۵ جوابهای بدتری تولید کرده و همچنین افزایش تعداد مورچه‌ها به بیشتر از ۶ تاثیر قابل توجهی در کاهش مقدار تابع هدف نداشت. به عبارت دیگر افزایش تعداد مورچه ها به ازای افزایش زمان حل مسأله بهبود کمی در مقدار تابع هدف بدست می دهد. این برنامه به اندازه حاصل ضرب تعداد مورچه ها درتعداد سیکل، عمل تخصیص را انجام می دهد که هر عمل تخصیص با یک دستگاه کامپیوتر p۴ با سرعت ۲/۸ گیگاهرتز، ۳۲ ثانیه طول می کشد. بنابراین در حالت بهینه ۴۸ (۶×۸) گزینه ارزیابی شده است که در مجموع کل زمان حل مسأله ۱۵۳۶ (۴۸×۳۲) ثانیه بوده است. تابع هدف به ازای این مسیرها برابر ۵۸۵۸ بدست آمد که به نسبت تابع هدف وضع موجودکه ۷۶۰۰ بود حدود۳۰٪ وضعیت رابهبود داده است.نتایج اجرای گزینه پیشنهادی نرم‌افزار EMME/2 و مقایسه آن با نتایج وضع موجود شبکه شهر قزوین در جدول (۴) آورده شده اند. همانطور که دراین جدول مشاهده می‌شود متوسط سرعت از ۳۷/۷به ۳۷/۸ رسیده است که حدود ۰/۲۶ درصد افزایش پیدا کرده و این به این دلیل است که تعدادی از مسافران وسایل نقلیه شخصی از حمل ونقل عمومی استفاده کرده‌اند و خیابانها خلوت‌تر شده است.

شایان ذکر است افزایش ۰/۱سرعت به معنی صرفه جویی میلیاردها ریال هزینه است، چرا که نتایج برخی مطالعات نشان داده است برای افزایش ۱ واحد به متوسط سرعت در یک شهر باید میلیاردها ریال صرف سرمایه‌گذاری برای ساخت معابر جدید گردد.

جدول (۳): مشخصات خطوط سیستم اتوبوسرانی وضع بهینه شهرقزوین.

شماره خط	ایستگاه مبدأ خط	ایستگاه مقصد خط	طول خط (متر)	تعداد اتوبوس خطوط	متوسط سر فاصله حرکت (دقیقه)	
					حرکت در ایستگاه مبدا	حرکت در ایستگاه مقصد
۱۰۲	پایانه شهید بهشتی	دانشگاه آزاد،نواب	۱۰۱۸۳	۷	۵	۱۰
۱۰۷	بازار	شهرک کوثر	۱۰۵۱۲	۲۸	۱۰	۱۰
۱۰۸	میدان امام خمینی	شهرک میلاد	۱۰۱۷۱	۱۱	۱۰	۱۰
۱۱۰	پایانه شهید بهشتی	۴۰۰دستگاه	۱٤۲۳٤	۷	۵	۱۰
۱۱۱	میدان تهران قدیم	میدان امام خمینی	۷۲۵۷	٤	۵	۱۰
۱۱۲	بلوار دملم	دانشگاه آزاد پارادیس	۵۲۸۰	٤	۷	۷
۱۱٤	پایانه شهید بهشتی	محمدیه	۳٤۰۰۰	۱۷	۱۰	۱۵
۱۲۱	سبزه میدان	بیمارستان قدس	۵۹۷۰	۷	۱۵	۰
۱۲۲	میدان ولیعصر	پارک ملت	۸۲۱٤	۹	۱۵	۰
۱۲٤	دانشگاه علوم پزشکی	ابتدای میلاد بر	۸٦۹٤	۹	۱۵	۰
۱۲۱	ابتدای جاده نجف آباد	دانشگاه علوم پزشکی	۱۰۱٤	۱۰	۱۰	۵
۱۲۰	دوراه میدان	بلوار سعادت	۷۱۷۰	۱۵	۱۰	۵
۱۲۱	دانشگاه آزاد اسلامی پارادیس	کوثر	۱۱۵۰	۱۵	۱۰	۵
۱۲۲	ایران گاز	ابتدای جاده نجف آباد	۱۱۱۱	۱۱	۱۰	۵
مجموع			۱۳۸۷۵۳	۱۵۹	۹/۸	۶/۶

نتایج زیر قابل توجه‌اند:

تعداد مسافرسوارشده از ۱۷۷۲۱ به ۱۹۳۵۶ افزایش پیداکرده است که حدود ۹/۲۳ درصد بهبود حاصل شده است. کل زمان سفر مسافران در داخل وسیله نقلیه از ۳٤۲۳ ساعت به ۲۸۱۹ ساعت کاهش یافته است که حدود ۱۷/۶درصد بهبود حاصل شده است. از آنجایی که تابع هدف مسأله طراحی شبکه اتوبوسرانی، کمینه کردن کل زمان سفر در شبکه است، این مقدار بهبود در زمان سفر مسافران حمل و نقل عمومی قابل توجیه است.

جدول (۴): مقایسه‌نتایج اجرای گزینه پیشنهادی با نتایج وضع موجود.

نوع وسیله نقلیه	وضع موجود	گزینه پیشنهادی	درصد تغییر	توضیحات
متوسط سرعت در شبکه (km/h)	۲۷/۷	۲۷/۸	۰/۳۶	تعدادی ازمسافران وسایل نقلیه شخصی ازحمل ونقل عمومی استفاده کرده‌اند وخیابانها خلوتتر شده‌است
تعداد مسافر سوار شده	۱۷۷۲۱	۱۹۲۰۶	۱/۲۲	—
کل زمان سفر مسافران در داخل وسیله (ساعت)	۳۶۲۳	۲۸۱۹	۱۷/۶۴	—
متوسط سرعت مسافر داخل وسیله نقلیه (km/h)	۱۰/۰	۱۴/۸	۱/۰۲	افزایش سهم حمل ونقل عمومی باعث کاهش سرعت در خطوط شده است
کل مسافت طی شده مسافران (km)	۵۲۹۳۲	۴۱۸۲۷	۲۰/۹۸	—

از طرف دیگر متوسط سرعت سفر مسافر در داخل وسیله نقلیه از ۱۵/۵ کیلومتر در ساعت به ۱۴/۸ کاهش پیدا کرده که حدود ۴/۵۲ درصد کاهش یافته است. کاهش سرعت مسافران در داخل وسیله می تواند علل مختلفی داشته باشد. از آنجا که سرعت مسافران در داخل وسیله به عواملی نظیر تعداد مسافر سوار شده و پیاده شده، تعداد ایستگاه‌های مسیر، زمان توقف در ایستگاه و سوار و پیاده‌شدن مسافران و... بستگی دارد و همچنین چیدمان مسیرهای اتوبوسرانی شهر قزوین با وضعیت موجود متفاوت است، در حالت بهینه تعداد مسافر بیشتری از سیستم اتوبوسرانی استفاده کرده و در نتیجه آن، متوسط سرعت مسافران کمی کاهش یافته که لزوماً اتفاقی بد محسوب نمی شود.

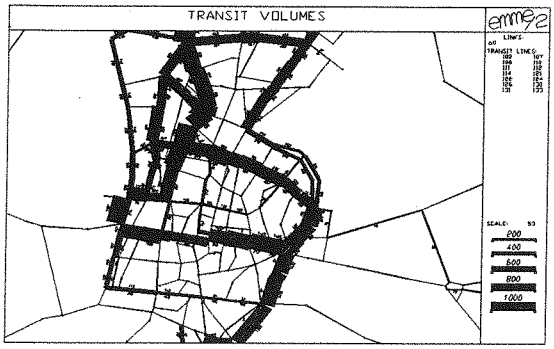
شایان ذکر است مبنای محاسبه زمان سفر مسافران و سرعت آنها در داخل وسیله با یکدیگر متفاوت است و کاهش کل زمان سفر مسافران لزوما به معنی افزایش سرعت آنها نیست و این شاخص ها با یکدیگر کاملاً متفاوتند.

عدد مسافر- کیلومتر، طول مسافت جا به جایی برای همه مسافران از ۵۲۹۳۲ به ۴۱۸۲۷ رسیده که حدود ۲۰/۹۸ درصد کاهش یافته است.

جدول (۵) عملکرد هر یک از خطوط بهینه اتوبوسرانی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که عملکرد خطوط ۱۰۷ و ۱۰۸ از سایر خطوط بهتر است. به عبارت دیگر عملکرد بهتری از سایر خطوط بهینه داشته‌اند و مسافر بیشتری جا به جا کرده‌اند. شکل (۵) نیز تعداد مسافر جابجا شده در سیستم اتوبوسرانی شهر قزوین را نمایش می‌دهد.

جدول (۵): عملکرد خطوط اتوبوسرانی بهینه شهر قزوین.

شماره خط	سرفاصله (دقیقه)	کل زمان سفر خط (دقیقه)	تعداد مسافر سوار شده
۱۰۲	۸	۴۱	۱۲۰۰
۱۰۷	۳	۵۴	۳۷۰۷
۱۰۸	۵	۵۵	۳۳۱۲
۱۱۰	۱۱	۵۸	۱۰۹۹
۱۱۱	۱۰	۲۹	۶۳۴
۱۱۲	۶	۱۱	۲۰۰
۱۱۴	۴	۳۹	۱۰۰
۱۲۱	۵	۳۶	۱۹۳۵
۱۲۲	۷	۴۰	۱۷۰۴
۱۲۴	۵	۲۴	۸۷۵
۱۲۶	۸	۳۸	۱۰۷۸
۱۳۰	۹	۴۹	۱۲۱۸
۱۳۱	۸	۴۲	۹۳۵
۱۳۳	۸	۴۰	۱۷۶۰
متوسط	۶	۳۹	۱۴۸۳
جمع	—	۵۴۶	۱۹۳۵۶



شکل(۵): نمودار حجم جابجایی مسافردرسیستم اتوبوسرانی بهینه شهرقزوین درساعت اوج صبح سال ۱۳۸۳

۸- نتیجه‌گیری

- این روش که بر اساس الگوریتم مورچگان برای طراحی مسیر اتوبوسرانی ارائه شده قادر است با تعیین مسیرهای مناسب در راستای دستیابی به تابع هدف، بهبود قابل ملاحظه‌ای در سیستم شبکه اتوبوسرانی ایجاد کند.

- نتایج پیاده‌سازی این روش برروی شبکه اتوبوسرانی شهر قزوین نشان می دهد که در شرایط محدودیت ناوگان برای (ناوگان اتوبوسرانی ثابت) می‌توان نتایج تابع هدف را تا ۳۰ درصد بهبود بخشید. در این حالت کل زمان سفر صرف شده مسافران حمل و نقل عمومی ۱۷/۶۴ درصد کاهش می‌یابد و کل وسیله نقلیه-کیلومترطی شده که معرف هزینه گردانندگان سیستم است به مقدار ۲۰/۹۸ درصد کاهش پیدا کرده است.

- باتوجه به نتایج حاصله از کاربرد این روش در سیستم شبکه اتوبوسرانی شهر قزوین می‌توان تأثیرات پارامترهایی نظیر ضریب تبخیر فرومون ، تعداد مورچه‌ها و غیره را در کارآیی روش مورد بررسی قرار داد.

- براحتی می‌توان با استفاده از این روش با تحلیل حساسیت برای پارامترهای مؤثر در شبکه اتوبوسرانی اثر آنها را در بهینه‌سازی تابع هدف بررسی کرد.

منابع و مراجع

[۱] افندی‌زاده، شهریار و افیونیان، مجیدرضا،"طراحی شبکه خطوط حمل ونقل عمومی (اتوبوسرانی) بااستفاده از تکنیک شاخه و کرانه"، مجله علمی پژوهشی امیرکبیر، بهار ۱۳۸۲.

[۲] افندی‌زاده، شهریار و افیونیان، مجیدرضا،"طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی بااستفاده از الگوریتم ژنتیک"، مجله علمی پژوهشی امیرکبیر، شماره ۵۱ تابستان ۱۳۸۱.

[۳] Baaj, M. H. and Mahmassani, H. S., "An AI-Based Approach for Transit Route System Planning and Design", Jornal of Advanced Transportation, Vol. 25 No. 2, PP 187-210, 1992.

[۴] Bansal, Alok N. "Optimization of Bus Route Network for A Fixed Spatial Distribution." In N.K. Jaiswal (ed), Scientific Management of Transport Systems, North Holland Pub. Co. Amsterdam, The Netherlands, 1981.

[۵] Boryczka, Urszula. Boryczka, Marius. "Multi-Cast Ant Colony system for Bus Routing Problem. Porto, Portugal, July 16-20 , 2001.

[۶] Byrne, B. "Cost Minimizing Positions, Lengths and Headways Parallel Public Transit Llines Having Different Speeds" Trans P. Res. Vol. 10 PP. 209-214, 1976

[۷] Ceder, Avishai, and Nigel H. M. Wilson, "Bus Network Design", Transp. Res. B., Vol. 20B, No. 4, 1986

[۸] C.R. Delgado Serna and J. Pacheco Bonrostro. MINMAX Vehicle Routing Problems: Application to School Transport in the Province of Burgos (Spain). In Proceedings of CASPT 2000, Berlin, Germany, 2000.

[۹] Dobois, D., Bell, G. and Libre, M. "Aset of Method in Transportation Network Synthesis and Analysis. "J. Oper Res. Soc. Vol. 30 PP. 797-808, 1979

[۱۰] Du D.Z., P. M. Paradalos, Network Optimization Problems, Series on Applied Mathematics Volume 2, World Scientific Press, 2002 .

[۱۱] First Comperhensive Description of Tabu Search, Journal on Computing, Vol. 1, No. 3, pp 190-206.

[۱۲] Gambardella, L. M., "Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies", 0-7803-2902-3/96/,1996, IEEE.

[۱۳] Hasselstrom, D. "Public Transportation Planning, Mathematical Programmning Approach", Department of Business Administration, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden, 1981.

[۱۴] Hillier, Lieberman "Introduction To Operations Research" McGraw-Hill Industrial Engineering and Management Science, Seventh Edition, 2001.

[۱۵] Hurdle, V. "Minimum Cost Locations for parallel public Transportation Lines", Transp. Sci. Vol. 7, PP 97-102 , 1973

[۱۶] Leblanc, L. J. , "An Algorithm for Discrete Network Desing Problem", Transp. Sci. Vol 9, PP. 183-199, 1982

[۱۷] Lines A. H. Lampkin, W. and Saalmans, P. D. "The Desing of Routes, Service Frequencies and Schedules for a Municipal Bus Undertaking, A Case Study", Oper. Res. Quart. Vol. 18, 1976

[۱۸] L. M. Gambardella, E.Tillard and G. Agazzi. MACS-VRPTW : A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems With Time Windows. Technical Report IDSIA, Lugano, Switzerland, 06-99 1999

[۱۹] Mandle, C. E. "Evaluation and Optimization of Urban Public Transportation Networks." Presented at Euro III in Amesterdam, the Netherlands, 9-11 April 1979.

[۲۰] M. Dorigo, L. M. Gambardella, Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem, BioSystems 43, 1997 B, 73-81 .

[۲۱] M. Dorigo,V. Maniezzo, A. Colorni, The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE ,Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B 26 1996, 29-41.

[۲۲] M. Dorigo and G. Di Caro. The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic. In D. Corne, M. Dorigo, and F. Glover, Editors, New Ideas in Optimization, Pages 11-32. McGraw-Hill, London, UK, 1999

[۲۳] Newell, G. "Some Issues Relating to the Optimal Design of Bus Routes." Trans P. Sci. Vol. 13, PP. 20-35, 1979

[۲۴] Neural Network Approach to Facility Lay Out Problem, Kazuhiro Tsuchiya/Sunil Bharitkar, Yoshiyaso Takefuji.

[۲۵] Rea, J. C. "Designing Urban Transit Systems", An Approach to the Route-Technologhy Selection Problem." PB 204 881, University of Washington, Seatle, WA. 1971.

[۲۶] Reimann, M.,Stummer,M. and Doerner, k. :A Savings Based Ant System for the Vehicle Routing Problem. To Apear in : Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference(GECCO2002)145-153.

[۲۷] Silman, L. A., Brazily, Z. and Passy, U. "Planning the Route System for Urban Buses." Comp. Oper. Res. Vol. 1 , PP. 201-211, 1974

[۲۸] Spiess, H. and M. Florian, "Optimal Strategies A New Assignment Model for Transit Networks", Transp. Res. Vol. 23B, pp 83-102, 1982.

[۲۹] Toth, P.and Vigo, D. : VRPwith Backhauls. In Toth, P. and Vigo, D.(Eds): the Vehicle Routing Problem.Siam Monographs on Discrete Mathematics and Applications, Philadelphia(2002), Morgan Kaufmann, San Francisco(2002).

[۳۰] U. Boryczka. Ant colony System and Bus Routing Problem. In Proceedings of CIMCA' 99, Vienna, 1999.

[۳۱] Using Simulated Annealing for Efficient Allocation of Students to Practical Classes, Kathryn A. Dowsland.

زیرنویس‌ها

[1] Meta Heuristic
[2] Optimum Strategy
[3] Idealized
[4] Time Headway
[5] Byrne
[6] Hurdel
[7] Newell
[8] Husselstrom
[9] Lampkin and saalmans
[10] Rea
[11] Silman et al
[12] Mandle
[13] Dubois et al
[۱۴] Branch & Bound
[۱۵] Local Search
[16] Simulated Annealing
[17] Genetic Algorithm
[18] Neural Network
[19] Ant Colony
[20] Tabu Search
[21] Positive Feedback
[22] Tabu Search
[23] Pheromone
[24] Travelling Salesman Problem
[25] Quadratis Assignment Problem
[26] Vehicle Routing Problem
[27] Simulated Annealing
[28] Genetic Algorithm
[29] Positivefeedback Process
[30] Autocatalytic
[31] Logit Model