



طراحی شبکه اتوبوسرانی با هدف بیشینه‌سازی رضایت استفاده‌کنندگان

فاطمه چگینی، کارشناسی ارشد عمران گرایش راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، بلوار ابوذر، تهران، کارشناس معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری منطقه یک¹

محمود صفارزاده، استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس²

امیرعلی زرین مهر، دانشجوی دکتری عمران گرایش راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
علی فغانی، کارشناسی ارشد عمران گرایش حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

¹ Fa.chegini@gmail.com و 09125939162

² Saffar_m@modares.ac.ir و 021-82883386

چکیده

سامانه حمل و نقل اتوبوس یکی از مهم‌ترین سامانه‌های حمل و نقل همگانی به شمار می‌رود. بهبود این سامانه تأثیر به‌سزایی در عملکرد و افزایش کارایی سامانه حمل و نقل شهرها و به تبع آن رضایت بیشتر و جذب مسافران خواهد داشت، که این امر به نوبه خود به کاهش ترافیک، آلودگی محیط‌زیست و مصرف انرژی می‌انجامد. مجموعه مسایل طراحی شبکه اتوبوسرانی، با یافتن مسیرهای بهینه اتوبوسرانی و تعداد اتوبوس در هر مسیر، از جمله مسایل زیر بنایی در برنامه‌ریزی حمل و نقل همگانی به شمار می‌روند. این مسایل به لحاظ محاسبات بسیار پیچیده بوده و حل دقیق آن برای مثال‌های واقعی میسر نیست. این تحقیق تلاش می‌کند تا با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان به عنوان یک الگوریتم فراابتکاری، روشی جهت پیدا کردن مسیر بهینه به لحاظ تأمین رضایت بیشتر استفاده‌کنندگان از سامانه ارائه کند. رضایت استفاده‌کنندگان از سامانه بوسیله یک تابع هدف کلی متشکل از پارامترهای تقاضای پوشش داده شده، فرکانس مسیر، میزان دسترسی به سامانه، تعداد انتقال و مسافت طی شده، سنجیده می‌شود. مدل پیشنهادی روی شبکه فرضی Sioux Falls پیاده و نتایج حاصل از آن با نتایج کوتاه‌ترین مسیر مقایسه می‌گردد. برتری مسیرهای ارائه شده توسط الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر کاملاً مشهود است.

کلید واژه‌ها: طراحی شبکه اتوبوس، رضایت استفاده‌کنندگان، الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر

امروزه با رشد روزافزون جمعیت، بر مشکلات ترانک و ترافیک در مناطق مرکزی شهرها افزوده شده است. این افزایش ترانک ترافیک، افزایش آلودگی هوا و آلودگی‌های دیداری و شنیداری را به دنبال دارد [1]. در این حالت ساخت خیابان‌های بیشتر یا تعریض آن‌ها برای روان‌سازی ترافیک راه‌حل مناسبی نیست زیرا جامعه را به سمت استفاده از اتومبیل شخصی تشویق می‌کند، در حالی که از مشکلات آلودگی هوا و محیط زیست نمی‌کاهد [2]. اما گسترش حمل و نقل عمومی با کارایی بالا و سرویس‌دهی مناسب و با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی، نه تنها از مشکلات ترافیکی می‌کاهد بلکه گامی به سوی توسعه پایدار و بهبود محیط شهری خواهد بود [3]. برای این منظور طراحی شبکه و یافتن مسیرهای بهینه اتوبوسرانی امری ضروری به نظر می‌رسد.

در سال 1967 لامیکین و سالمنز¹ برای نخستین بار به مسأله بهینه‌سازی و مسیریابی اتوبوس پرداختند [4]. آنها نخستین کسانی بودند که به طراحی شبکه اتوبوس به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی ریاضی نگاه کردند. پس از آن پژوهشگران دیگری روش‌های گوناگون ریاضی را برای حل مسأله طراحی شبکه اتوبوسرانی ارائه دادند.

معمولاً مسأله طراحی شبکه اتوبوس در دو بخش انجام می‌گیرد: (1) طراحی مسیرهای شبکه (2) زمان‌بندی و تعیین فرکانس [5]. سدر² و ویلسون³ در سال 1986 برای اولین بار، یک مدل مفهومی برای کلیه روند برنامه‌ریزی اتوبوسرانی به عنوان یک تصمیم‌گیری سیستماتیک شامل چهار سطح زیر تعریف نمودند [6]: طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی، سرفاصله‌های زمانی، برنامه‌ریزی اتوبوسرانی و برنامه‌ریزی برای رانندگان اتوبوس. این پژوهشگران طراحی شبکه را به عنوان مهمترین بخش از فرآیند برنامه‌ریزی اتوبوس شهری معرفی می‌کنند.

برای حل مسائلی از نوع طراحی شبکه چند رویکرد وجود دارد. دسته اول روش‌هایی هستند که سعی می‌کنند جواب دقیقی برای مسأله پیدا کنند. اما این روش‌ها به لحاظ محاسباتی پیچیده بوده و استفاده از آن‌ها در مسایل بزرگ مسیر نیست. روش‌های دیگری نیز وجود دارند که مسأله را به صورت تقریبی حل می‌کنند یا از راه‌های ابتکاری جواب‌های خوبی برای مسأله پیدا می‌کنند. در این میان، روش‌های فراابتکاری تاکنون با اقبال گسترده‌ای مواجه بوده‌اند. یکی از این روش‌ها که در مسایل مسیریابی موثر بوده است، الگوریتم کلونی مورچگان نام دارد. این الگوریتم از رفتار مورچه‌ها در پیدا کردن غذا و یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذا الهام می‌گیرد و تاکنون در حل بسیاری از

¹Lamykin & Salmats

²Ceder

³Wilson



مسائل پیچیده به کار گرفته شده است. این مقاله بر آن است که کاربرد این روش را در حل مسأله طراحی شبکه اتوبوسرانی بررسی نماید.

این مقاله در بخش‌های 2 و 3 به مرور اجمالی ادبیات مسأله طراحی شبکه اتوبوسرانی پرداخته و مسأله، تابع هدف و اجزای آن را معرفی می‌کند. در بخش 4 یک الگوریتم بر مبنای کلونی مورچگان به منظور حل مسأله پیشنهاد می‌شود. بخش‌های 5 و 6 و 7 به ترتیب به معرفی نمونه موردی، نتایج اجرای برنامه بر روی نمونه و مقایسه و بررسی این نتایج اختصاص دارند. در نهایت مقاله با جمع‌بندی و ارائه چند پیشنهاد به منظور ادامه تحقیق پایان می‌پذیرد.

2 - مرور ادبیات پیشین

تاکنون مطالعات گوناگونی در خصوص طراحی شبکه اتوبوسرانی صورت گرفته است. به طور کلی می‌توان این مطالعات را از نظر روش حل یا هدف دسته‌بندی نمود. از نظر روش حل، روش‌های تجربی، ریاضی، ابتکاری و فراابتکاری برای حل به کار می‌روند. از نظر هدف، اهداف گردانندگان، استفاده-کنندگان از سامانه و ترکیب اهداف هر دو گروه می‌توانند ملاک قرار گیرند. در سال 2000 چاکروورتی و دیوایدی¹ الگوریتم ژنتیک را برای حل مسئله طراحی شبکه اتوبوسرانی به کار گرفتند. در این مطالعه تعداد خط اتوبوس از پیش تعیین شده بود. این پژوهشگران طراحی شبکه اتوبوسرانی را در سه گام انجام دادند: در گام نخست همه مسیرهای امکان‌پذیر در شبکه تولید می‌شود. در گام دوم مجموعه مسیرهای تولید شده با کاهش تعداد انتقال‌ها ارزیابی شده و در سومین گام، شبکه به کمک الگوریتم ژنتیک اصلاح شده و بهبود می‌یابد [2].

پارثا چاکروورتی² در سال 2003 مسئله مسیریابی حمل و نقل همگانی را در دو گام حل کرد. در گام نخست مجموعه مسیرهای بهینه شبکه را با هدف کاهش زمان سفر و کاهش تعداد مسافرانی که ناچار به انتقال می‌باشند، طراحی نمود. او در گام دوم به زمان‌بندی حرکت اتوبوس‌ها با هدف کمینه‌سازی کل زمان انتظار و انتقال مسافران پرداخت [5].

بیلی³ و همکاران در سال 2004 بر آن بودند که بر اساس شبکه موجود، شبکه جدیدی با هدف بهبود وضعیت شبکه و کاهش تعداد ناوگان طراحی کنند و برای دستیابی به این هدف از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی به طور همزمان بهره بردند. در این مطالعه برای محاسبه تابع هدف 2 معیار (هزینه و کل زمان سفر) در نظر گرفته شد [7]. ورما⁴ و دینگرا¹ در سال 2005 به منظور طراحی

¹Dwivedi

²Partha Chakroborty

³Bielli, Caramia, Carotenuto..

⁴Verma



سامانه اتوبوس تغذیه‌کننده برای شهری با سامانه ریلی، مدلی ارائه دادند. در این مدل فرض شد ماتریس تقاضای همگانی برای منطقه مورد نظر مشخص است. کمینه کردن زمان درون وسیله به عنوان تابع هدف و میزان تقاضای پاسخ داده نشده به عنوان محدودیت مسئله در نظر گرفته شد. الگوریتم ژنتیک برای یافتن شبکه بهینه به کار گرفته شد. این مدل پیشنهادی، بر روی شهر بمبئی هندوستان پیاده‌سازی شد [8].

ژائو² و ژنگ³ در سال 2008 مدل طراحی شبکه اتوبوسرانی را با هدف کمینه‌سازی تعداد انتقال‌ها، بیشینه‌سازی مسیرهای مستقیم، بیشینه‌سازی پوشش سرویس ارائه دادند. آن‌ها حل این مدل را بر اساس الگوریتم گرم و سرد کردن شبیه‌سازی شده (SA⁴) ترتیب دادند [9 و 10]. ژائو و ژنگ همچنین در مطالعه‌ای دیگر در سال 2006 الگوریتم ابتکاری SA-GA را به کار بستند و مدعی شدند روش پیشنهادی برای شبکه‌های با مقیاس بزرگ مناسب‌تر است [11].

هو⁵ و همکاران در یک مدل پیشنهادی به طراحی شبکه اتوبوسرانی با هدف تمرکززدایی از محدوده مرکزی شهر پرداختند. این مدل بر روی شبکه محدوده مرکزی شهر، سبب افزایش سود سامانه و بالا رفتن کارایی آن می‌شود. از آنجا که در ادغام چند خط اتوبوس، فرکانس بهینه از مجهولات مسئله است، مدلی ریاضی برای یافتن فرکانس بهینه نیز ارائه شد. پژوهشگران روش حل ارائه شده را به موارد مشابه قابل تعمیم دانستند [12].

به منظور حل مسئله طراحی شبکه تغذیه‌کننده، کوان و همکاران دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و اجتماع مورچگان را پیاده‌سازی نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم اجتماع مورچگان برای شبکه‌های بزرگ و پیچیده جواب‌های بهتری تولید می‌کند [13].

3 - تدوین تابع هدف

محدود کردن تابع هدف مسأله طراحی شبکه تنها در زمان، هزینه یا تقاضای پوشش داده شده هر یک موجب از دست رفتن بخشی از پارامترهای رضایت مسافران می‌گردد درحقیقت، رضایت استفاده-کنندگان مسأله‌ای چند بعدی است که می‌بایست پارامترهای متعددی را در آن لحاظ نمود. اگر چه همه این پارامترها قابل کمی‌سازی نیستند، اما می‌توان تعدادی از آن‌ها را به نمایندگی از کل رضایت

¹Dhingra

²Zhao

³Zeng

⁴Simulated Annealing

⁵Hwe, Cheung, Wan



- در تابع هدف جایگزین کرد. در این راستا، این مطالعه به رضایت استفاده کنندگان از سامانه با استفاده از پنج پارامتر مختلف به طور همزمان می‌نگرد:
1. افزایش پوشش تقاضا (هر چه پوشش استفاده کنندگان از سامانه افزایش یابد مجموع رضایت از شبکه افزایش خواهد یافت).
 2. افزایش فرکانس اتوبوس‌ها (افزایش فرکانس اتوبوس‌ها و کاهش سرفاصله و زمان انتظار موجب افزایش رضایت از شبکه می‌شود).
 3. کاهش مسافت طی شده (افراد تمایل به استفاده از خطوطی دارند که از مسیرهای کوتاه‌تر به مقصد مورد نظر آنها بروند).
 4. کاهش تعداد انتقال (هر چه تعداد انتقال و تغییر خط برای رسیدن به مقصد افزایش یابد میزان رضایت مسافران از شبکه کاهش می‌یابد. مطالعات نشان داده که افراد برای استفاده از مسیرهایی که مجبور به تغییر خط بیش از دو بار هستند تمایل زیادی ندارند [14]).
 5. افزایش دسترسی به سامانه (با توجه به بررسی‌های صورت گرفته افرادی که در فاصله 400 متری (فاصله 5 دقیقه پیاده‌روی) از خطوط اتوبوس قرار دارند با احتمال 1 از سامانه اتوبوس استفاده می‌کنند- افرادی که در فاصله 400 تا 800 متری از خطوط اتوبوس قرار دارند با احتمال 0/5 و افراد دورتر از فاصله 800 متر از خطوط اتوبوس، از شبکه اتوبوس استفاده نمی‌کنند [15]).

3-1 - مفروضات مسأله

1. همه خیابان‌ها دوطرفه هستند.
2. سرعت رفت و برگشت در تمام خیابان‌ها برابر است.
3. جمعیت به طور همگن در نواحی شهری پراکنده شده است.
4. ماتریس تقاضای سفر همگانی مشخص است و به ساختار مسیر وابسته نیست.
5. کلیه اتوبوس‌ها دارای ظرفیت یکسان و ضریب بار مشابهی هستند.

3-2 - محدودیت‌ها

- در این تحقیق چند محدودیت برای طراحی شبکه اتوبوسرانی در نظر گرفته شد. این محدودیت‌ها شامل امکان‌پذیری سرفاصله زمانی، طول مسیر و اندازه ناوگان هستند:
1. محدودیت امکان‌پذیری سرفاصله زمانی: سرفاصله زمانی، فاصله زمانی میان عبور پیاپی دو اتوبوس است. معمولاً حداکثر و حداقل سرفاصله زمانی شبکه خطوط اتوبوسرانی بسته به مشخصات کاربر و امکانات موجود 30 و 5 دقیقه انتخاب می‌شوند. با توجه به رابطه‌ی بین سرفاصله زمانی و فرکانس اتوبوس‌ها که به صورت معکوس یکدیگر تعریف می‌شوند، محدودیت حداکثر و

$$F_k = \frac{1}{h_k}$$

حداقل فرکانس اتوبوس‌ها به صورت 12 و 2 بار در ساعت تعریف می‌شود.

(۱)

که در آن فرکانس اتوبوس‌ها و h_k سرفاصله زمانی می‌باشد.

2. محدودیت اندازه ناوگان: این محدودیت نشان‌دهنده محدودیت منابع عملیاتی سازمان اتوبوسرانی می‌باشد. محدودیت اندازه ناوگان تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی سطح سرویس شبکه دارد. این محدودیت بیان‌کننده استفاده از تعداد اتوبوس‌های مشخص و محدود برای سرویس‌دهی در مسیرهای گوناگون است.

3. محدودیت طول سفر: این محدودیت از تولید مسیرهای خیلی طولانی به دلیل مشکلات طراحی و نگهداری شبکه اتوبوسرانی برای آن‌ها اجتناب می‌کند. البته به منظور افزایش کارایی و راندمان شبکه، طول مسیرها از یک مقدار حداقل نباید کمتر باشد. علاوه بر این حد و مرز طول مسیرهای اتوبوسرانی معمولاً با توجه به وسعت شبکه توسط کاربر تعریف می‌گردد [14].

3-3 - بیان ریاضی تابع هدف

در مدل ارائه شده در این پژوهش، شبکه به صورت ارتباطی مرکب از یک گراف $G = \{N, A\}$ با N گره و A کمان ارتباط‌دهنده گره‌ها، در نظر گرفته می‌شود تابع هدف پیشنهاد شده در این مطالعه از الگوی زیر پیروی می‌کند:

$$Maximize F = Max \sum_{k=1}^K \sum_{i,j=1}^N \left(\frac{C_{ij}^a \times F_k^b \times Q_{ij}^c}{L_{ij}/D_{ij}} \right) \times W_{ij}^e \quad (2)$$

که در آن i, j : اندیس گره‌ها و $(i, j = 1, \dots, N)$ و N : $[1 \leq i, j \leq N]$ مجموعه تمام گره‌ها هستند. پارامترهای توان در تابع هدف به صورت $a=1, b=0.3, c=1, d=0.5, e=0.2$ در نظر گرفته شده است. برای این کار سعی شده است هر پارامتر تأثیری منطقی و نزدیک به واقعیت بر روی تابع هدف داشته باشد¹.

در رابطه‌ی (2):

Q_{ij} : تقاضای متوسط در ساعت بین گره‌های i, j (ساعت/مسافر)

F_k : تواتر خدمات (فرکانس) در مسیر k

¹ البته برآورد هر چه بهتر از مقادیر توان‌ها خود نیاز به یک مطالعه میدانی مستقل دارد که این مطالعه به آن نمی‌پردازد.



C_{ij} : پارامتر دسترسی به خط اتوبوس برای تقاضای بین i و j (1 اگر تقاضا در فاصله کمتر از 400 متر از ایستگاه باشد، 0/5 اگر در فاصله 400 تا 800 متری از ایستگاه باشد و صفر اگر در فاصله بیشتر از 800 متر باشد).

L_{ij} : مسیر طی شده بین گره‌های i و j در صورت استفاده از شبکه مورد نظر (کیلومتر)

D_{ij} : کوتاه‌ترین مسیر ممکن بین گره‌های i و j (کیلومتر)

W_{ij} : معیار سنجش تعداد انتقال برای حرکت از گره i به گره j (1 اگر مسافران مستقیم و بدون تغییر خط جابجا شوند، 2 اگر از دو خط برای جابجایی استفاده کنند، 3 اگر از سه خط برای جابجایی استفاده کنند، بینهایت اگر مجبور به استفاده بیش از 3 خط باشند).

a, b, c, d, e : پارامترهای شدت اثر شاخص‌های مختلف

لازم به ذکر است تابع هدف به لحاظ دیمانسیون فاقد ارزش بوده و تنها نمایانگر یک مطلوبیت کلی برای مسافر است.

4 - الگوریتم پیشنهادی کلونی مورچگان به منظور حل مسأله

این مطالعه از الگوریتم کلونی مورچگان به منظور حل مسأله تعیین مسیر و فرکانس بهره‌می‌گیرد.

الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر است:

- گام 1- مقدار ثابتی فرمون (برابر 1) بر روی همه کمان‌های شبکه قرار دهید.
- گام 2- مورچه‌ها (به عنوان اتوبوس‌ها) را در گره‌های پایانه به عنوان مبدأ قرار داده و مسیریابی احتمالاتی بر مبنای فرمون‌ها به سوی پایانه‌های مقصد انجام دهید.
- گام 3- احتمال گزینش پیوند را بر طبق رابطه (3) محاسبه کنید:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \times \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{j=1}^N \tau_{ij}^{\alpha} \times \eta_{ij}^{\beta}} \quad (3)$$

در این رابطه τ_{ij} میزان فرمون انباشته شده بر روی کمان ij ، (هنگامی که مورچه در گره i ایستاده و گره j یکی از گره‌های همسایه گره i است)، η_{ij} میزان دید پذیری گره i نسبت به j است که برابر وارون فاصله i تا j یعنی $\frac{1}{d_{ij}}$ است. N تعداد گره‌های همسایه گره i است.

گام 4- پیدایش حلقه در مسیر را بررسی کنید.

گام 5- فرآیند گزینش گره‌ها و مسیریابی را تا جایی ادامه دهید که مورچه به پایانه برگزیده برسد.

گام 6- پس از تولید همه مسیرها در شبکه (برقرار شدن مسیر میان همه پایانه‌های انتخاب شده) تابع هدف (تابع مطلوبیت) با فرض فرکانس یکسان در همه مسیرها را محاسبه کنید.



گام 7- متناسب با مطلوبیت هر مسیر، λ_k ترم مطلوبیت هر مسیر است که بوسیله رابطه (4) محاسبه می‌شود) تعدادی اتوبوس به آن مسیر اختصاص دهید (و تعداد اتوبوس‌های نقض کننده محدودیت حداقل سرفاصله زمانی را روی سایر مسیرهای صحیح سرشکن کنید)

$$D_1 \lambda_1 + D_2 \lambda_2 + \dots + D_k \lambda_k = D \quad (4)$$

$$t = \frac{D}{U} \quad (5)$$

$$F_k = \lambda_k \left(\frac{M}{2 \times t} \right) \quad (6)$$

در این رابطه D_k طول مسیر k (کیلومتر)، U سرعت متوسط عملیاتی اتوبوس (ساعت/کیلومتر)، M اندازه کل ناوگان، λ_k میزان مطلوبیت مسیر k ، t زمان طی کردن مسیر (ساعت)، F_k فرکانس مسیر k است.

گام 8 - تابع برازندگی شبکه را بر اساس تابع هدف محاسبه و ثبت کنید.

گام 9 - میزان افزایش فرمون در پیوندهای شبکه را از رابطه (7) محاسبه کنید:

$$\Delta \tau = \frac{F}{Q} \quad (7)$$

که در آن $\Delta \tau$ میزان افزایش فرمون، F مقدار تابع برازندگی و Q عددی ثابت می‌باشد (با توجه به اینکه مقدار اولیه τ ، 1 اختیار شده بود، مقدار Q طوری انتخاب می‌گردد که $\Delta \tau$ مقداری در حدود 0/1 تا 1 به خود بگیرد).

گام 10- با اعمال ضریب تبخیر، میزان فرمون پیوندها در شبکه را بهنگام کنید.

$$\tau_{new} = (1 - \rho) \tau_{old} + \Delta \tau \quad (8)$$

در این رابطه τ_{old} میزان فرمون انباشته شده بر پیوند، ρ ، ضریب تبخیر و τ_{new} ، میزان فرمون بهنگام شده در پیوند است. در این پایان‌نامه منظور از اعمال ضریب تبخیر، اعمال ضریبی کاهش بر ماتریس احتمال گزینش پیوندها در شبکه می‌باشد.

گام 11 - گام‌های 3 تا 10 تا جایی تکرار کنید که پاسخ همگرا شود.

گفتنی است که مقادیر مناسب برای α ، β ، تعداد مورچه‌ها و ضریب تبخیر با تحلیل حساسیت قابل محاسبه می‌باشد.

5 - نمونه موردی

به منظور بررسی عملی الگوریتم پیشنهادی، این مقاله از شبکه شهر Sioux Falls به عنوان یک شبکه نمونه حمل‌ونقلی استفاده می‌کند. شهر Sioux Falls بزرگترین شهر ایالت داکوتای



جنوبی¹ (واقع در آمریکای شمالی) با 24 گره و 76 کمان است. یافتن بهترین جواب مسئله مستلزم قراردادن بهترین مقادیر پارامترهای الگوریتم کلونی مورچگان است (شامل n ، α ، β و ρ که به ترتیب تعداد مورچه، میزان تأثیر تعداد دفعات برگزیده شدن یک پیوند، میزان تأثیر نزدیکی گره بعدی به گره مورد نظر در مسیر و ضریب کاهنده ماتریس احتمال گزینش پیوند (ضریب تبخیر) هستند). بازه قابل قبول برای پارامترهای الگوریتم کلونی مورچگان با توجه به مطالعات پیشین تعیین گردید و آنالیز حساسیت روی این بازه انجام شد که نتایج برای تعداد مورچه، α ، β و ρ به ترتیب عبارتند از: 1، 16، 1، 2 و 0/3 الگوریتم با این مقادیر اجرا گردید که نتایج آن در بخش بعدی آورده شده است.

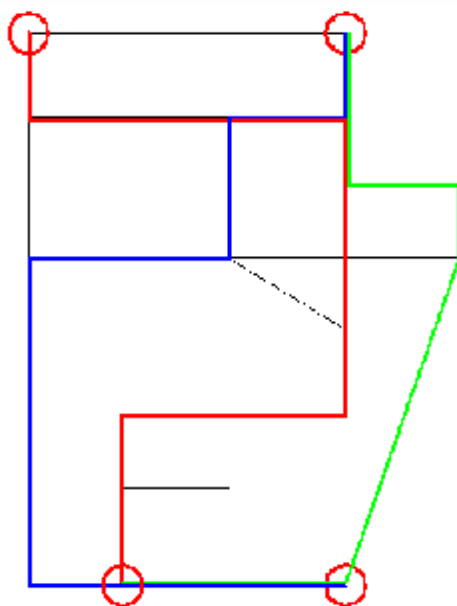
6 - نتایج اجرای برنامه روی نمونه موردی

پس از تعیین پارامترهای مورد نیاز، در این بخش به پیاده‌سازی برنامه روی شبکه FallsSioux و تعیین مسیرهای بهینه با هدف رسیدن به بیشترین میزان رضایت استفاده‌کنندگان پرداخته می‌شود. در شبکه پیشنهادی Sioux Falls فرض می‌شود که گره‌های 1 و 2 و 20 و 24 به عنوان گره‌های کاندیدا برای پایانه انتخاب شده‌اند. در این صورت، با اجرای برنامه در 20 تکرار، نتایج در جدول 1 و شکل 1 قابل مشاهده هستند.

جدول 1: نتایج پیاده‌سازی مدل بوسیله الگوریتم کلونی مورچگان

تعداد اتوبوس	فرکانس (اتوبوس در ساعت)	مقصد	مبدأ	مسیرها
41	4/7	24	1	مسیر اول
23	3/6	2	24	مسیر دوم
36	4	20	2	مسیر سوم

¹South Dakota



شکل 1: شبکه اتوبوسرانی ایجاد شده بوسیله الگوریتم کلونی مورچگان

از شکل 1 می توان ملاحظه نمود که خطوط برگزیده نه فقط در راستای کمینه سازی زمان سفر بلکه پوشش دهنده بیشتر شبکه نیز هستند. مقایسه این خطوط، در بخش بعدی، با کوتاه ترین مسیرها می تواند به بررسی بهتر جوابها کمک کند.

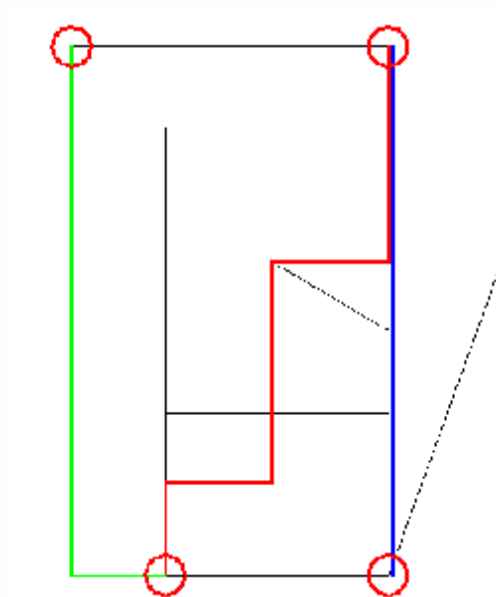
7 - مقایسه الگوریتم پیشنهادی با کوتاه ترین مسیر پیشنهادی

به منظور بررسی شبکه طراحی شده به کمک الگوریتم پیشنهادی کلونی مورچگان، الگوریتم دایکسترا (به عنوان یک الگوریتم کوتاه ترین مسیر) پیاده سازی و نتایج آن با الگوریتم پیشنهادی کلونی مورچگان مورد مقایسه قرار گرفت.

در این پیاده سازی همان پایانه های معرفی شده به الگوریتم کلونی مورچگان به عنوان مبدأ - مقصد تعیین گردیدند. نتایج حاصل از انتخاب کوتاه ترین مسیرها مطابق جدول 2 و شکل 2 هستند:

جدول 2: نتایج پیاده سازی مدل بوسیله الگوریتم دایکسترا

مسیرها	مبدأ	مقصد	فرکانس (اتوبوس در ساعت)	تعداد اتوبوس
مسیر اول	1	24	2/3	12
مسیر دوم	24	2	9/5	62
مسیر سوم	2	20	5/4	26



شکل 2: شبکه اتوبوسرانی ایجاد شده بوسیله الگوریتم دایکسترا

جدول 3 مقایسه‌ای از الگوریتم پیشنهادی کلونی مورچگان با روش کوتاه‌ترین مسیر ارائه می‌دهد. چنان که ملاحظه می‌گردد تابع هدف الگوریتم پیشنهادی کلونی مورچگان در مقایسه با کوتاه‌ترین مسیر بهبود (افزایش) قابل ملاحظه‌ای دارد. ضمناً الگوریتم پیشنهادی پوشش بهتری بر روی شبکه ارائه می‌کند که این نکته از مقایسه شکل‌های 1 و 2 نیز مشهود است.

جدول 3: مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با کوتاه‌ترین مسیریها

کمترین فرکانس (اتوبوس در ساعت)	بیشترین فرکانس (اتوبوس در ساعت)	پوشش شبکه	تابع هدف	مسیریها
3/6	4/7	24 درصد	6878/5	الگوریتم کلونی مورچگان
2/3	9/5	16 درصد	5673/6	الگوریتم دایکسترا

8 - نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

نکات مطرح شده در این مطالعه را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

1. تعریف تابع هدف در مسئله طراحی شبکه اتوبوسرانی همانند تمام مسائل بهینه‌سازی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه تابع هدفی مدنظر قرار گرفت که تنها نیازهای استفاده‌کنندگان از سامانه را مورد توجه قرار می‌دهد. برای این منظور زیر هدف‌ها به صورت



افزایش پوشش تقاضا، افزایش فرکانس اتوبوس‌ها، کاهش مسافت طی شده، کاهش تعداد انتقال، افزایش دسترسی به سامانه تعریف شد.

2. به منظور بیشینه‌سازی تابع هدف یک الگوریتم کلونی مورچگان طراحی، پیشنهاد و پیاده‌سازی گردید. برنامه روی مثال موردی شهر Siouxs Falls اجرا شد که در نتیجه جواب، شامل مسیرهای برتر و فرکانس حرکت اتوبوس در هر مسیر بود.

3. مقایسه جواب الگوریتم پیشنهادی با کوتاه‌ترین مسیرها حکایت از برتری قابل ملاحظه الگوریتم پیشنهادی داشته است، زیرا این الگوریتم علاوه بر زمان سفر، پارامترهایی همچون فاصله و پوشش خطوط را نیز لحاظ می‌کند که همگی در افزایش رضایت استفاده‌کنندگان اثرگذار هستند.

پیشنهادهایی به منظور ادامه این مطالعه وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها از قرار زیر هستند:

1. این مطالعه رویکردی کلی به مطلوبیت هر جواب تولیدی در الگوریتم مورچگان داشت. به منظور ارتقاء کیفیت حل، می‌توان به ازای هر جواب تولید شده یک زیرمسئله تخصیص ترافیک همگانی حل نموده و جواب مزبور را به‌طور دقیق‌تری ارزیابی نمود.
2. مسایل ترکیبی¹ از این دست، راه‌حل‌های متنوعی دارند. از جمله می‌توان به برنامه‌ریزی پویا² یا سایر الگوریتم‌های فراابتکاری اشاره نمود. مقایسه سایر روش‌های حل با الگوریتم پیشنهادی می‌تواند جالب توجه باشد.

¹ Combinatorial Problems

² Dynamic Programming

1. Chain, S., Yang, Z., Hou, E. , May/June, 2001, "Genetic Algorithm Approach for Transit Route Planning & Design". Journal of Transportation Engineering, Vol.127, No. 3.
2. Chakroborty, P., Dwivedi., 2002, "Optimal route network design for transit systems using GA". Engineering Optimization, 34(1),83-100.
3. Kuan, S.N., Ong, H.L., Ng, K.N. ,2006, "Solving the feeder bus network design by genetic algorithm & ant colony optimization". Advances in Engineering Software, 37,351-359.
4. Gulihair, V., Hou, J.K., 2008, "Transit network design and scheduling: A global review", Transportation Research Part A, 42, 1251-1273.
5. Chakroborty, P., 2003, "Genetic Algorithm for Optimal Urban Transit Network Design". Computer-Aided Civil and Information Engineering, 18, 184-200.
6. Ceder, R.B., and Wilson, N.H., 1986, "Bus Network Design", Transportation Research Part B, Vol.20, No.4, P331-344.
7. Bielli, Caramia, Carotenuto, 2004, "Genetic algorithms in bus network optimization". Transportation Research Part C 10(10), 19-34.
8. Verma, A., Dhingra, M., 2005, "feeder bus routes generation within integrated mass transit planning framework". Journal of Transportation Engineering, Vol.131, No. 11, November 1.
9. Zhao, F., 2006, "Large-Scale Transit Network Optimization by Minimizing User Cost and Transfers". Journal of Public Transportation, Vol.9, No. 2.
10. Zhao, F., Zeng. X., 2008, "Optimization of transit route network, vehicle headways and timetables for large-scale transit networks". European Journal of Operational Research, 186, 841-855.
11. Zhao, F., Zeng. X., 2006, "Simulated annealing-genetic algorithm for transit network optimization". Journal of Computing in Civil Engineering, 20(1), 57-68.
12. Hwe, S. K., Cheung, R., Wan, Y., 2006, "Merging bus routes in Hong Kong's central business district: Analysis and models". Transportation Research, Part A, 40, 918-935.
13. KUAN, S., ONG, H. & NG, K., 2006, "Solving the feeder bus network design problem by genetic algorithms and ant colony optimization". Advances in Engineering Software, 37, 351-359.
14. Vuchic, Vukan R., 2005, "Urban Transit: Operation, Planning, and economic", John Wiley & Sons, Inc.
15. عباسقلی زاده، ح، متدولوژی مسیریابی سیستم سریع اتوبوسی BRT، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین، 1386.



BUS NETWORK DESIGN WITH THE AIM OF MAXIMIZING THE PASSENGERS' SATISFACTION

Fatemeh Chegini, M.Sc. student, Transportation Engineering, Islamic Azad
University, South Branch, Tehran, Iran

Mahmoud Saffarzadeh, Professor, Transportation Planning, Tarbiat Modares
University, Tehran, Iran

Amirali Zarrinmehr, PHD.student, Transportation Engineering, Tarbiat Modares
University, Tehran, Iran

Ali Faghani, M.Sc, Transportation Planning, Iran University of Science &
Technology, Tehran, Iran

Abstract

Bus transportation system is of the most important public transportation. Improvement of this system has a considerable effect on the efficiency of the urban transportation system as well as increasing passengers' satisfaction and attraction. Consequently, this will result in energy saving and reduction in volume of traffic and environmental pollution. All the issues about bus network design including the optimal routing and the fleet size in each path are taken into account as a crucial issue in public transportation planning. These issues are so complicated that no exact solution can be found in real cases. This study attempts to introduce a method to find optimized path of the bus network in terms of passengers' satisfaction through applying ant colony algorithm as a metaheuristic algorithm. The passengers' satisfaction is assessed by an overall objective function which includes some desirable parameters such as the fulfilled(coverage of) demands, the path frequency, the network accessibility, the number of transfers and the traveled distance. In this paper, the Sioux-falls network is simulated in proposed model and the results are compared with the shortest path algorithm. The improvement in represented paths via proposed algorithm is remarkably evident compared with those from shortest path algorithm.

Keywords: *Bus Network Design, Passangers` satisfacation, Ant Colony Algorithm, Shortest Path Algorithm*