



طراحی شبکه اتوبوس رانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شهر مشهد

دکتر پوریا معصومی، مدرس دانشگاه، دکترای مدیریت صنعتی، اداره مرکزی بازرسی، شرکت بهره برداری
مترو¹

دکتر محمد منتظری، مدرس دانشگاه، معاون پشتیبانی شرکت مترو و مدیر هماهنگی دفتر UITP در
تهران²

مهندس آرش سعیدی مقدم، کارشناس مهندسی صنایع، مدیریت کالا، شرکت بهره برداری مترو³

¹ pourya.masoumi@gmail.com , 09124245487

² Montazeri@tehranmetro.com , 09121166006

³ arsa54@gmail.com , 09122096877

چکیده

مسئله طراحی شبکه اتوبوس مسئله ای مهم در برنامه ریزی حمل و نقل شهری تلقی می گردد. این موضوع، مسئله تعیین شبکه ای از خطوط اتوبوس رانی است که به بهترین هدف از پیش تعیین شده دست پیدا کند. این امر ممکن است در حضور یا بدون حضور خطوط اتوبوس سریع انجام گیرد. این مطالعه برای حل این مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیکی اختصاص پیدا کرده است. تابع تناسب به عنوان منفعت کاربران شبکه اتوبوس رانی تعریف شده که هزینه کمتری را برای اپراتور شبکه دارد و اینکه با توجه به محدودیت های موجود باید به حداکثر برسد که به طور مناسب مسیرهای اتوبوس را در حوزه مورد مطالعه توزیع گردد. محاسبه تابع هدف به داده های اساسی شهر و خطوط اتوبوس شهری بستگی دارد و نیازی به نتایج تخصیصی ترافیکی ندارد. بنابراین، این موضوع به سرعت محاسبه شده و عملکرد الگوریتم ژنتیک را سریع تر می سازد. راه حل های مناسب متعددی از طریق تجزیه و تحلیل حساسیت توسط تغییر پارامترهای مسئله تولید شده است که بر توزیع جغرافیایی مسیر اتوبوس تاثیر می گذارد. مسئله تخصیص شبکه برای هر شبکه اتوبوس جایگزین حل شده و اندازه گیری های متعدد از کارایی برای آنان مورد ارزیابی قرار می گیرد. تجزیه و تحلیل چند هدفی (تجزیه و تحلیل تطابق) بر اساس 10 اندازه گیری کارایی و 14 سیستم وزنی انجام گرفته است. در نتیجه، یک شبکه اتوبوس رانی برای شهر مشهد، ایران پیشنهاد گردیده است.

کلیدواژه: الگوریتم ژنتیک (GA)، خطوط اتوبوسرانی، الگوریتم های بهینه سازی، کروموزوم

¹ نویسنده مسئول



<http://traffic.org.tehran.ir>

مقدمه

طراحی شبکه اتوبوس رانی که خطوط اتوبوس را با توجه به برخی محدودیت ها مانند اندازه ناوگان و بودجه بندی ایجاد می کند، یکی از مهم ترین مسائل مهم در برنامه ریزی حمل و نقل است. به طور کلی، کاربران با مسائل بسیاری در عملیات نقل و انتقال مانند زمان طولانی انتظار در ایستگاه ها، دقیق نبودن زمان رسیدن اتوبوس، عدم تطبیق بین مسیرهای اتوبوس و مسیرهایی که بیشترین مسافر را دارد و ظرفیت ناکافی مواجه هستند. این حقایق باعث می شود تا برخی کاربران به سمت حمل و نقل شخصی گرایش پیدا کنند. برخی اثرات نامطلوب استفاده از وسایط نقلیه شخصی می تواند ازدحام و شلوغی شبکه و افزایش مصرف سوخت، ساییدگی و استهلاک قطعات خودرو و افزایش تعداد تصادفات باشد. یکی از دلایل اساسی که موجب ناکارآمدی عملکرد نقل و انتقال می شود این است که خطوط اتوبوس به خوبی شبکه را پوشش نمی دهد. یک طراح شبکه اتوبوس رانی باید هدفش برداشتن موارد ذکر شده باشد، که این کار را می توان از طریق انتخاب بهترین مسیر با توجه به فراوانی های مناسب انجام داد.

به دلیل ناکارایی و کمبود در اندازه ناوگان و بودجه، نباید تمامی مسیرها در یک شبکه اتوبوس رانی را در نظر گرفت زیرا این کار بهینه نخواهد بود. به علاوه، پوشش کل شبکه با خطوط اتوبوس رانی عملی نیست. بنابراین، طراح باید بهترین خطوط را برای داشتن حداکثر پوشش دهی شبکه با توجه به اندازه ناوگان و دیگر محدودیت های در نظر گرفته شده، انتخاب کند.

طراحی شبکه اتوبوس رانی به دلایل مختلف مسئله ای بسیار مشکل می باشد. اول، این یک مسئله چند معیاری است. عوامل متعددی در طراحی شبکه اتوبوس رانی مانند، هزینه، فراوانی اتوبوس ها، پوشش خطوط اتوبوس، زمان طی مسافت و اندازه ناوگان باید در نظر گرفته شود. برخی از این اهداف با یکدیگر در تضاد هستند. برای مثال، افزایش پوشش خطوط اتوبوس رانی باعث افزایش هزینه می شود. همچنین، کاهش زمان طی مسافت نیاز به اتوس های بیشتری دارد که این کار باعث افزایش اندازه ناوگان می گردد. بنابراین، بین عواملی که در طراحی شبکه اتوبوس رانی در نظر گرفته می شود تعامل وجود داشته باشد. دوم، فرمول بندی ریاضی این مسئله دارای متغیرهای عدد صحیح تصمیم گیری است، به ویژه زمانی که خواص متفاوت خطوط اتوبوس مانند فراوانی و تعداد وسایل نقلیه در مدل در نظر گرفته شود. هر متغیر تصمیم گیری مربوط به یک خط خاص اتوبوس است. در نتیجه، طراحی یک شبکه برای یک شهر بزرگ دارای متغیرهای عدد صحیح تصمیم گیری زیادی است که مدل را پیچیده تر می کند. در نتیجه، روش های حل برنامه عدد صحیح مانند انشعابی و محدود، قادر به حل بهینه این مسئله برای شهری بزرگ نیستند. علاوه براین، ممکن است آنان راه حل ممکن مناسبی را در مقدار منطقی از زمان محاسباتی پیدا نکنند. در این مورد، روش های غیرتحلیلی برای





حل این مسئله برای یافت راه حل های امکان پذیر مناسب در کوتاه ترین زمان راه اندازی مورد استفاده قرار گیرد.

الگوریتم ژنتیک (GA) یکی از گسترده ترین روش های غیرتحلیلی مورد استفاده است که یک روش تحقیقی برای یافت راه حل ها جهت مسائل بهینه سازی می باشد. این راه حل ها اغلب به بهینه یا در برخی موارد راه حل های بهینه نزدیک می باشد. GA به یک جستجوی جهانی غیرتحلیلی تعلق دارد که یک الگوریتم تکاملی خاص می باشد و از تکنیک های بیولوژیکی مانند وراثت، جهش، انتخاب و تقاطع الهام می گیرد. GA به عنوان روشی اجرا می گردد که در آن جمعیتی از کروموزوم ها راه حل هایی را ارائه می دهند که باعث بهبود در ارائه جمعیت بهتر می شود. به طور سنتی، راه حل در یک رشته جفتی 0 ها و 1 ها نشان داده می شود، اما رمزگذاری به شیوه های دیگر نیز ممکن است. به طور معمول ارزیابی از جمعیتی شروع می شود که به طور تصادفی کروموزوم ها را تولید کرده اند. در هر نسل، مقدار هر کروموزوم در جمعیت مطابق با تابع هدف که تابع تناسب نامیده می شود، محاسبه می گردد. بنابراین، کروموزوم های چندگانه اتفاقی و تصادفی از جمعیت کنونی انتخاب می گردند (بر اساس تابع تناسب آنها) و اصلاح می گردند. به عبارت دیگر، این کروموزوم ها دوباره ترکیب شده و احتمالاً به طور تصادفی به شکل جدیدی از جمعیت جهش پیدا می کنند. جمعیت جدید پس از آن در تکرار بعدی الگوریتم مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی، زمانی الگوریتم به پایان می رسد که یا حداکثر تعداد تکرارها بدست آمده باشد و یا کروموزومی با تابع تناسب از پیش تعیین شده یافت شود.

در این مقاله، یک روش جدید برای طراحی شبکه اتوبوس رانی با استفاده از GA تدوین شده است. در این روش، هر کروموزوم مجموعه ای خطوط اتوبوس یا یک شبکه اتوبوس رانی را نشان می دهد و هر ژن به معنی یک خط اتوبوس است. هر ژن می تواند ارزشی برابر صفر یا یک را داشته باشد. ارزش یک برای ژن i در کروموزوم j به این معنی است که خط اتوبوس i در شبکه اتوبوس رانی j انتخاب شده است؛ در غیر این صورت انتخاب نمی شد. به علاوه، تابع هدف شامل منافع و هزینه شبکه اتوبوس رانی بوده و GA تلاش می کند تا بهره را منهای هزینه به حداکثر برساند. بهره شبکه اتوبوس رانی به عنوان ایستگاه های اتوبوس تحت پوشش و هزینه آن تعریف شده که به عنوان یک تابع از طول شبکه اتوبوس رانی محاسبه می گردد. محاسبه تابع هدف در این روش بسیار راحت بوده و زمان کمی را می گیرد. این امر اصلی ترین مزیت این روش به حساب می آید.

این روش برای طراحی شبکه اتوبوس رانی شهر مشهد به کار گرفته شده است. مشهد دومین شهر بزرگ در ایران می باشد و جمعیتی بیش از 1 میلیون نفر را داراست. شبکه اتوبوس رانی برای مشهد در زمان این مطالعه 114 خط اتوبوس را دارا بود. نتایج با استفاده از روندهای تخصیص شبکه جایگذاری شده در نرم افزار EMME/2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا اندازه گیری عملکرد





شبکه اتوبوس تخمین زده شود. تجزیه و تحلیل تطابق که یک روش تصمیم گیری چند معیاری است برای شناسایی بهترین جایگزین ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که راه حل های یافت شده به وسیله GA بهتر از راه حل ارائه شده توسط روش های دیگر، عمل می کند. در بخش هایی که در ادامه می آید، ابتدا نوشته ای در مورد طراحی شبکه اتوبوس رانی مورد بررسی قرار می گیرد. سپس، روش GA برای طراحی شبکه اتوبوس رانی تشریح می گردد که شامل جزئیاتی در مورد فرمول بندی مواردی مانند عناصر تابع هدف، تعریف کروموزوم و ژن و تخمین پارامترهای مختلف می شود. در نهایت، نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آینده مورد بحث قرار می گیرد.

بررسی اسناد

در این بخش، مطالعات قبلی در زمینه طراحی شبکه اتوبوس رانی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در بخش فرعی اول برخی از تلاش های مهم قبلی در این زمینه و اهداف و فرضیات آن پوشش داده خواهد شد. بخش فرعی دوم شامل محدودیت های مطالعات قبلی است که محققان در استفاده از روش های غیرتحلیل برای حل این مسئله با آن مواجه بوده اند.

مطالعات قبلی

بسیاری از محققان با استفاده از روش های مختلف بر روی طراحی شبکه اتوبوس رانی فعالیت کرده اند. روش های پیشنهادی برای طراحی شبکه اتوبوس رانی را می توان به دو گروه، روش تئوری (نظری) و روش عملی طبقه بندی کرد.

روش های تئوری (نظری)

روش های تئوری طراحی شبکه اتوبوس رانی فقط بر مسائل ریاضی این موضوع تمرکز دارد. طول مسیر، فاصله بین ایستگاه ها و پیشرفت زمان از متغیرهای تصمیم گیری هستند که در این مدل ها مشاهده شده اند. تابع های هدف در این مدل هزینه های عملیاتی را کاهش داده و منفعت کاربران را به حداکثر رسانده اند.

برخی از این مدل ها بر اساس تقاضای دائمی می باشد، با این وجود هاردل (1973)، نیوول (1979)، کوکور و هندریکسون (1982)¹ کسانی هستند که به گونه ای از این روش ها استفاده کرده اند که

¹ Hurdal, Newell, Kocur and Hendrichson





تقاضا را انعطاف پذیر در نظر گرفته اند. برای مثال، گوان و همکارانش (2003)¹ تلاش کردند که تابع تعداد و مجموع طول خطوط اتوبوس و مجموع فاصله طی مسافت توسط مسافران که در ارتباط با حدود طول مسیر بوده، ظرفیت و محدودیت های تعداد نقل و انتقالات را به حداقل برسانند. اگرچه متغیرهای تصمیم گیری زیادی در این مدل ها وجود دارد، راه حل های آنها که بیشترین آنها به طور تقریبی محاسبه شده اند، عملی نبوده و در دنیای واقعی طراحی شبکه اتوبوس رانی کارآمد نمی باشند. این مدل ها می توانند مسائل کوچک را به طور بهینه حل کنند.

روش های عملی

گروه دیگر از طراحان شبکه از خطوط واقعی اتوبوس استفاده کرده اند. مانند طراحان تئوری، طراحان عملی نیز هدفشان حداقل ساختن هزینه عملیاتی و حداکثر ساختن منفعت کاربر هستند. پیشگامان در این گروه لمپ کین و سالمان (1987)، سلمان و همکارانش (1974)، مندل (1979) و دوبویس و همکارانش (1979)² بوده اند. تمامی این افراد به جز دوبویس و همکارانش (1979)، تقاضا را ثابت در نظر گرفتند. به علاوه، آنان مسئله اصلی را به دو مسئله متفاوت تقسیم کردند: اول، طراحی خطوط اتوبوس و دوم، محاسبه زمان پیشرفت برای هر خط. سپس، آنان هزینه عملیاتی یا کارایی سیستم را محاسبه کردند.

لاینز و همکارانش (1966)³ یک شبکه اتوبوس رانی را برای شهری در انگلیس طراحی کردند. هدف از این طراحی به حداقل رساندن مجموع زمان شامل زمان انتظار در ایستگاه اتوبوس، زمان طی مسافت در اتوبوس و زمان پیاده روی از مبدأ تا ایستگاه اتوبوس و از ایستگاه اتوبوس تا مقصد بوده است. آنان بهترین خطوط اتوبوس را پیدا کرده و سپس زمان پیشروی را محاسبه کرده و اندازه ناوگان برای هر خط اتوبوس را تعیین کردند. یک الگوریتم ساده برای پیدا کردن بهترین خطوط اتوبوس مورد استفاده قرار گرفت که تعیین زمان پیشروی برای هر خط اتوبوس را دنبال می کرد در حالیکه مجموع کل زمان آنها را به حداقل رسانده بود. این الگوریتم می تواند برای شهرهای کوچک مورد استفاده قرار گیرد و شبکه ای پیچیده ندارد، اما برای شهرهای بزرگ مناسب و کارآمد نیست.

بنسال (1981)⁴ الگوریتمی را برای طراحی شبکه اتوبوس رانی پیشنهاد کرد و آن را برای شهر بمبی در هند استفاده کرد. این الگوریتم که تقاضا را ثابت در نظر گرفت و اندازه ناوگان را تعیین کرده بود، هزینه عملیاتی کل و مجموع زمان را به حداقل رساند. الگوریتم او یک مدل ریاضی بود اما قسمت مهم

¹ Guan et al. (2003)

² Lampkin and saalmans, Silman, Mandel and Dobois

³ Lines

⁴ Bansal





و عمده الگوریتمش به تحلیل گر بستگی داشت و یک الگوریتم مستقل نبود که بتوان آن را در هر جایی مورد استفاده قرار داد.

سیدر و ویلسون (1986)¹ مسئله سادگی و انعطاف پذیری را مهم ترین عوامل شبکه اتوبوس رانی در نظر گرفتند. هدف آنها حداقل کردن هزینه ناوگان و مجموعه زمان از جمله زمان طی مسافت و زمان انتظار بود. همچنین، آنان برخی از محدودیت هایی را در نظر گرفتند که سطح خدمات را در خطوط مختلف اتوبوس بیشتر از پایین ترین سطح قابل قبول خدمت نگه می داشت. الگوریتم آنان راه حل امکان پذیری را ارائه داد ولی در این مقاله این راه حل بهینه مورد بررسی قرار نگرفت.

دوفورد، جندرائو و لپورت (1996)² پوشش جمعیتی خطوط اتوبوس را در مدل خود به حداکثر رساندند که این امر در بسیاری از مدل های محل و مدل های برنامه ریزی نقل و انتقالات مورد استفاده قرار گرفت. اگرچه پوشش گردشی خطوط اتوبوس مهم تر از پوشش جمعیتی توسط خطوط است، اما بین پوشش جمعیتی یک خط اتوبوس و تعداد گردش های پوشش داده شده به وسیله اتوبوس رابطه وجود دارد. در حقیقت، زمانی که جمعیت افزایش پیدا کند، تعداد گردش ها نیز افزایش می یابد. یکی از معایب این تحقیق این است که هزینه عملیاتی در تابع هدف پوشش داده نشده است.

روش های غیر تحلیلی برای طراحی شبکه اتوبوس رانی

متغیرهای تصمیم گیری بسیاری در مسئله طراحی شبکه اتوبوس رانی وجود دارند، که در نظر گرفتن تمامی آنها در برنامه ریزی اندازه مسئله را افزایش داده و همچنین زمان راه اندازی محاسباتی را نیز افزایش می دهد. به علاوه، روش های مرسوم قادر به حل این مسئله به طور بهینه نیستند.

پیدا کردن مسیر برای یک خط نقل و انتقال مسئله ای مشکل و پیچیده می باشد، زیرا این مسئله چند معیاری بوده و نیاز به داده های وروی بسیاری دارد که بیشتر این داده ها در دسترس نبوده و جمع آوری آنها نیز هزینه بر است. تمامی روش هایی که در بالا ذکر شد برای شهرهای کوچک و فقط برای ارائه راه حل عملی برای مسائل بزرگ که دور از راه حل بهینه آن است، مفید می باشد. بنابراین، روش های دیگری برای حل مسائل بزرگ باید مورد استفاده قرار گیرد. روش های غیر تحلیلی مسائل در مقیاس بزرگ را ساده کرده و برخی از محدودیت ها راحت تر می کنند. همچنین، آنها برای تحقیق در حوزه های عملی و پیدا کردن راه حل هایی عملی در کوتاه مدت از روش های متفاوت و مختلفی استفاده می کنند. ژائو و گان (2003)³ و ژائو و زینگ (2006)⁴ از روش متغیرتحلیلی برای طراحی

¹ Ceder and Wilson

² Dufourd, Gendreau, and Laporte

³ Zhao and Gan

⁴ Zhao and Zeng





شبکه نقل و انتقال ترکیبی استفاده کردند، که ترکیبی از شبیه سازی تیرید (بازپخت)، الگوریتم جستجوی ممنوعه و حریصانه می باشد. با این وجود، ژائو و اوباکا¹ (2004) یک جستجوی حریصانه و جستجوی صعود سریع را برای به حداقل رساندن تعداد نقل و انتقال ها و حداکثر کردن پوشش شبکه ای اجرا کردند. زیونگ و اشنايدر² (1993) برای اضافه کردن تعدادی خطوط اتوبوس به شبکه موجود از روش GA استفاده کردند تا کیفیت خدمات را بهبود بخشند. یک شبکه عصبی به جای گردش ها و جابجایی مسافر استفاده گردید که این کار به منظور ارزیابی تابع تناسب بوده و شامل زمان انتظار و هزینه می شده است. یو و همکارانش (2005)³ برای طراحی شبکه اتوبوس رانی روش کلونی مورچه را تدوین ساختند. تابع هدف تعداد نقل و انتقال را به حداقل می رساند و جریان مسافر با توجه به محدودیت طول خط اتوبوس را به حداکثر می رساند.

اگرچه ممکن است آنان به بهترین نتیجه دست پیدا نکردن باشند، اما با توجه به پیچیدگی مسئله، اغلب این نتایج نزدیک به راه حل های بهینه بوده و به سرعت ایجاد گریده اند. از آنجایی که در بیشتر موارد راه حل بهینه می تواند هرگز یافت نشود، مزیت اصلی استفاده از روش های غیرتحلیلی پیدا کردن نتایج خوب در کوتاه مدت می باشد.

طراحی شبکه اتوبوس رانی با استفاده از GA

GA یکی از قدرتمندترین روش های متاغیرتحلیلی است که در این مقاله برای حل یک مسئله پیچیده و بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است. ساده سازی مسئله مزیت اصلی روش های متاغیرتحلیلی است. برای مثال، تابع هدف ساده شده که به راحتی محاسبه می گردد در روش GA در نظر گرفته شده و در زمان راه اندازی به طور قابل توجهی صرفه جویی می کند. در نتیجه، GA می تواند در حوزه های عملی برای یافتن راه حل های بهتر سریع تر عمل کند. بخش های فرعی زیر چگونگی استفاده از روش GA را در این مقاله برای طراحی شبکه اتوبوس رانی توضیح می دهد.

استفاده از GA برای طراحی شبکه اتوبوس رانی

در این تحقیق پوشش جمعیتی به عنوان منفعتی برای شبکه اتوبوس رانی تعریف می گردد. در این مورد، بهترین شبکه اتوبوس رانی، شبکه ای است که تمام شهر را تحت پوشش قرار دهد. با این وجود، این امر قابل قبول و عملی نمی باشد زیرا محدودیت های منابع مالی اجازه فراهم ساختن

¹ Zhao and Ubaka

² Xiong and Schneider

³ Yu et al. (2005)





چنین شبکه ای را نمی دهد. بنابراین، هزینه شبکه اتوبوس رانی به عنوان تابعی از طول شبکه اتوبوس رانی در نظر گرفته شده و تابع هدف با منفعت کاربر منهای هزینه شبکه اتوبوس رانی برابر بوده که تلاش می شود این مقدار باید به حداکثر برسد. همانطور که اشاره شد، منفعت کاربر از شبکه اتوبوس رانی به عنوان تابعی از جمعیت تحت پوشش برای تمامی خطوط اتوبوس تعریف می گردد. بنابراین، اگر دو خط اتوبوس با یکدیگر تلاقی داشته باشند، پوشش جمعیتی مشترک در منفعت (سود) شبکه اتوبوس رانی تنها یک بار محاسبه می گردد، هزینه شبکه اتوبوس رانی برای طول هر دوی این خطوط محاسبه شده که موجب کاهش تابع هدف می گردد. روش GA از بین خطوط اتوبوس نامزد شده خطوط اتوبوسی را انتخاب می کند که تابع هدف را به حداکثر برساند. بنابراین این الگوریتم مسیریابی را انتخاب می کند که سه ویژگی زیر را دارا باشد:

1. مناطق شلوغ شهر را پوشش دهد.
2. تلاقی و برخورد بین خطوط مختلف اتوبوس را به حداقل برساند.
3. طول شبکه اتوبوس رانی یا هزینه شبکه را به حداقل برساند.

خطوط اتوبوس نامزد شده

برای شهر مشهد 130 خط اتوبوس به عنوان مسیریابی نامزد در نظر گرفته شد. این خطوط در تجزیه و تحلیل اولیه به عنوان مسیریابی بالقوه خوب برای گنجاندن در شبکه شناسایی شدند. روش GA برای انتخاب بهترین زیرمجموعه از آنها به عنوان یک شبکه اتوبوس رانی طراحی شده استفاده گردید. چون تمامی خطوط اتوبوس نامزد در راه حل نهایی انتخاب نمی شود، مسیریابی متفاوت برای مسیریابی مبدأ و مقصد مهم در نظر گرفته شدند. به عبارت دیگر با استفاده از روش GA برای انتخاب بهترین خطوط، در نظر گرفتن هر مسیر به عنوان یک مسیر نامزد سودمند می باشد. خطوط مسیر نامزد طبق سه سیاست تحصیل می شوند: اول، تمامی مناطق و خیابان های اصلی شهر را پوشش دهند. دوم، حداقل در هر نقطه پایانی از هر مسیر یک ایستگاه توقف وجود داشته باشد. سوم، خدمات خطوط اتوبوس برای مسیریابی برون شهری و حومه شهر در مسیریابی نامزد در نظر گرفته نشده است زیرا هر منطقه حومه شهر باید یک مسیر متصل به نزدیک ترین ایستگاه های توقف اتوبوس ها داشته باشد. در حقیقت، انتخاب های قابل توجه دیگری برای مناطق برون شهری وجود ندارد. شهر مشهد 12 ایستگاه توقف دارد که این باعث می شود افراد بتوانند به راحتی مسیر خود را تغییر دهند و از خطوط دیگر استفاده کنند. بنابراین، روش GA بر پیدا کردن مسیریابی درون شهری تمرکز پیدا کرده است. مسیریابی برون شهری را باید به مسیریابی شناسایی شده توسط GA برای تکمیل شبکه اتوبوس رانی اضافه کرد.



جمعیت تحت پوشش

پوشش جمعیتی برای هر ایستگاه به عنوان تعدادی از افراد تعریف گردیده که در مناطق اطراف ایستگاه وجود دارند و تا ایستگاه اتوبوس فاصله زیادی ندارند. بنابراین، این منطقه می تواند به عنوان یک دایره استفاده گردد که مرکز آن در ایستگاه قرار داشته و شعاع های آن برابر با 1500 پا می باشد. ممکن است که منطقه پوشش داده شده شامل دو ایستگاه باشد و دارای یک منطقه مشترک باشند که این امر به فاصله بین دو ایستگاه بستگی دارد. شهر مشهد داری 141 منطقه با مناطق و جمعیتی طراحی شده است. بنابراین، منطقه تحت پوشش ایستگاه ممکن است در بیش از یک منطقه قرار گیرد. این منطقه تحت پوشش به ترتیب زیر محاسبه می گردد:

1- اگر منطقه تحت پوشش یک ایستگاه با ایستگاه های مناطق دیگر منطقه ای مشترک ندارند اما در حوزه های چندگانه قرار داشت، منطقه مشترک بین ایستگاه و هر حوزه به طور جداگانه محاسبه می گردد.

2- اگر منطقه تحت پوشش دو ایستگاه با یکدیگر تلاقی پیدا کرد و همچنین این دو ایستگاه در حوزه های چندگانه قرار داشتند، نه تنها منطقه مشترک بین هر دو ایستگاه و حوزه محاسبه می گردد، بلکه همچنین منطقه مشترک دو ایستگاه با هر کدام از حوزه ها محاسبه می گردد. هر دو موارد در شکل 1 نشان داده شده است. در شکل 1-a دایره، منطقه تحت پوشش ایستگاه A است که در حوزه های یک و دو قرار دارد. A_1 منطقه مشترک بین منطقه تحت پوشش ایستگاه A و حوزه یک است. به طور مشابه، A_2 منطقه مشترک بین منطقه تحت پوشش ایستگاه A و حوزه دو است.

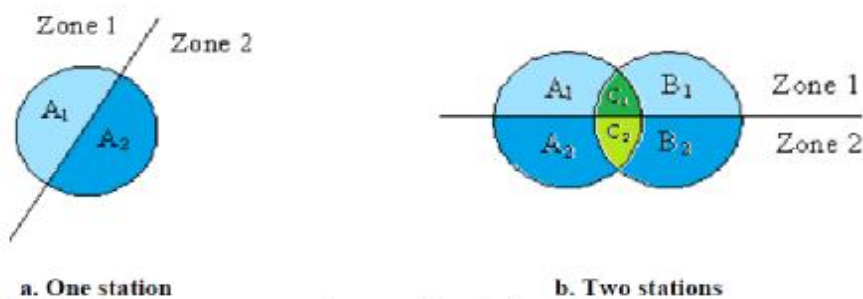


FIGURE 1 Coverage area of one and two station(s) located in two zones.

در شکل 1-b، ایستگاه های A و B دارای یک منطقه تحت پوشش بوده و هر دوی آنها در دو حوزه قرار دارد. در این مورد، A_1 و A_2 مناطق مشترک بین منطقه تحت پوشش از ایستگاه A و حوزه یک و حوزه دو به ترتیب می باشند. به طور مشابه، B_1 و B_2 مناطق مشترک بین منطقه تحت پوشش از

ایستگاه B و حوزه یک و دو است. C₁ منطقه مشترک ایستگاه A و B منطقه تحت پوشش قرار گرفته در حوزه یک است. به طور مشابه، C₂ منطقه مشترک ایستگاه های مشابه با حوزه دو است. جمعیت تحت پوشش برای هر ایستگاه و همچنین جمعیت تحت پوشش مشترک بین هر دو ایستگاه می تواند به وسیله شناسایی مناطقی که در بالا ذکر شد و توزیع جمعیت هر حوزه محاسبه گردد. در نتیجه، جمعیت تحت پوشش از هر خط اتوبوس طبق با معادله (1) محاسبه می گردد:

$$Y_j = \sum_{i=1}^{n_i} X_i - \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k \neq i}^{n_i} Z_{ik} \quad (1)$$

در این معادله:

Y_j : جمعیت تحت پوشش خط اتوبوس j ؛

X_i : جمعیت تحت پوشش ایستگاه i ؛

Z_{jk} : جمعیت تحت پوشش مشترک ایستگاه های i و k ؛ و

n_j : تعداد ایستگاه های خط اتوبوس j .

پس، جمعیت تحت پوشش مشترک برای هر جفت خط اتوبوس می تواند به ترتیب زیر محاسبه گردد:

$$R_{ij} = \sum_{m=1}^{n_i} \sum_{n=1}^{n_j} Z_{mn} \quad (2)$$

R_{ij} : جمعیت تحت پوشش مشترک خطوط اتوبوس i و j

در نتیجه، مجموع جمعیت تحت پوشش برای یک شبکه اتوبوس رانی را می توان مطابق معادله (3) محاسبه کرد:

$$P_i = \sum_{j=1}^{n_i} Y_j - \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} R_{jk} \quad \forall j, k \in S_i \quad (3)$$

در اینجا

P_i : مجموع جمعیت تحت پوشش شبکه اتوبوس رانی i ؛

n_i : تعداد خطوط اتوبوس موجود در شبکه اتوبوس رانی i ؛ و

S_i : مجموعه خطوط اتوبوس موجود در شبکه اتوبوس رانی i .

تعریف کروموزوم و ژن

بیلی، کارامیا و کاروتینوت (2002)¹ از روش GA برای طراحی شبکه اتوبوس رانی استفاده کردند. آنها دو ژن را برای هر خط اتوبوس در نظر گرفتند. اولین ژن نشان دهنده فراوانی مسیر و دومین ژن

¹ Bielli, Caramia, and Carotenuto



نشان دهنده یک سویچ خاموش/روش است که استفاده از مسیر را در شبکه مشابه فعال یا غیر فعال می سازد. آنها از خروجی های تخصیص جابجایی در تابع هدف استفاده کردند؛ بنابراین، باید تمامی شبکه های اتوبوس رانی را در هر تکرار به طور جداگانه تخصیص دهند. در روش پیشنهادی در این تحقیق، هر ژن نمایند یک خط اتوبوس بوده و می تواند مقدار یک یا صفر را داشته باشد. به علاوه، هر کروموزوم نشان دهنده یک شبکه اتوبوس رانی بوده و حاوی 130 ژن است که هر کدام متناظر با یک خط اتوبوس نامزد است. مقدار یک برای ژن i در کروموزوم j نشان می دهد که تعداد خط اتوبوس i در شبکه اتوبوس رانی j انتخاب شده است؛ در غیر این صورت انتخاب نمی شد. بنابراین، تعداد خطوط اتوبوس در هر شبکه اتوبوس رانی (کروموزوم) برابر با تعداد ژن هایی است که مقدار آن یک است.

تابع هدف در GA

همانطور که قبلاً اشاره شد، تابع هدف در GA برابر با نفع شبکه اتوبوس رانی منهای هزینه آن تعریف می گردد. منفعت شبکه اتوبوس رانی تابعی از جمعیت تحت پوشش آن بوده و هزینه شبکه تابعی از طول آن می باشد. در بخش های بعدی، محاسباتی از نفع و هزینه شبکه اتوبوس رانی توضیح داده می شود.

منفعت شبکه اتوبوس رانی

منفعت شبکه اتوبوس رانی به عنوان تابعی از کاهش در مدت زمان طی مسافت تعریف می گردد. زمان طی مسافت کمتر به معنی شبکه اتوبوس رانی بهتر است. کاهش در زمان طی مسافت برای خودروهای کاربران در تابع هدف در نظر گرفته نمی شود زیرا تقاضای جابجایی مستقل از تقاضای خودرو بوده و تغییر در شبکه اتوبوس رانی تاثیر قابل توجهی را بر مدت زمان طی مسافت خودرو نمی گذارد. تقاضای جابجایی و نقل انتقال شامل دو گروه است. اولین گروه شامل مسیرهای طی شده به وسیله تاکسی است به شرطی که خط اتوبوس وجود نداشته باشد. به عبارت دیگر، کاربران در گروه اول قبول می کنند که پول بیشتری را برای سریع تر رسیدن به مقصد پرداخت کنند. بنابراین، آنان زمانی که خطوط اتوبوس در دسترس باشد از آن استفاده می کنند در غیر این صورت از تاکسی یا وسایط نقلیه دیگر برای طی کردن مسیر خود استفاده می کنند. در مقابل، کاربران گروه دوم از خطوط اتوبوس برای کاهش زمان طی مسافت نسبت به پیاده روی استفاده می کنند. به عبارت دیگر، شبکه اتوبوس رانی برای آنها مفید بوده و بهبود کیفیت شبکه اتوس رانی موجب کاهش زمان طی مسافت این افراد می شود. بر اساس داده های شهر مشهد، متوسط زمان طی کردن مسیر به وسیله



اتوبوس برابر با 5 مایل، متوسط سرعت اتوبوس برابر با 10 مایل/ساعت و متوسط سرعت پیاده روی برابر با 3 مایل/ساعت می باشد (سیستم حمل و نقل پیشنهادی برای شهر مشهد سال 2003). در نتیجه، کاهش زمان طی مسافت با استفاده از اتوبوس برابر با:

$$qd(5/3 - 5/10) = 1.16qd \text{ (passenger-hour)} \quad (4)$$

در بخش 2-1-3 جمعیت تحت پوشش شبکه اتوبوس رانی محاسبه گردید در حالی که منفعت شبکه اتوبوس رانی تابعی از تقاضای جابجایی است. بنابراین، جمعیت تحت پوشش شبکه اتوبوس رانی را باید تبدیل به تقاضای جابجایی کرد. طبق داده های شهر مشهد، هر نفر در روز 1,6 بار در شهر گردش می کند، سهم از خط اتوبوس به طور روزانه برابر با 20% و سهم ساعت اوج از گردش های روزانه برابر با 10% است (سیستم حمل و نقل پیشنهادی برای مشهد در سال 2003). بنابراین، اگر p_i نشان دهنده جمعیت تحت پوشش شبکه اتوبوس رانی i باشد، تقاضا برای اتوبوس در ساعت اوج برابر است با:

$$1.6 \times 0.2 \times 0.1 \times P_i = 0.032 P_i \text{ (passengers)} \quad (5)$$

علاوه بر این، ارزش زمانی در ایران در سال 2001 برابر با 4 دلار برای هر مسافر-ساعت بود و طبق مطالعات حمل و نقل در مشهد، q برابر با 0,45 است (سیستم حمل و نقل پیشنهادی برای مشهد در سال 2003). نتیجه، منفعت شبکه اتوبوس رانی i برابر است با:

$$4 \times 0.45 \times 0.032 \times 1.16 \times P_i = 0.0668 P_i \text{ (Dollar)} \quad (6)$$

هزینه شبکه اتوبوس رانی

برای محاسبه هزینه شبکه اتوبوس رانی، داده های شبکه اتوبوس رانی مشهد در سال 2003 انتخاب شده است. طبق این داده ها، قیمت یک اتوبوس جدید برابر با 60 هزار دلار است. به علاوه، هزینه عملیاتی به طور تقریبی 60 درصد از هزینه ثابتی است که باید به عنوان هزینه ثابت وسیله نقلیه در نظر گرفته شود. براساس پایگاه داده های ناوگان، طول عمر اتوبوس حدود 15 سال است. مطابق با یکی از شبکه های اتوبوس رانی پیشنهادی برای شهر مشهد، این شبکه نیاز به 780 دستگاه اتوبوس و 2736 مایل طول دارد (سیستم حمل و نقل پیشنهادی برای شهر مشهد 2003). بنابراین، هزینه

عملیاتی در سال اول برابر با $0.6 \times 780 \times \$60000 = \28080000 بوده و مجموع هزینه برابر با $\$28080000 + 780 \times \$60000 = \$74880000$ می باشد. بنابراین، با فرض اینکه مقدار بهره برابر با 10 درصد



است، که این مقدار برای اقتصاد ایران قابل قبول می باشد، مجموع هزینه یکنواخت سالانه هر 15 سال برابر است با

$$\$74880000 \times (A/P, 10\%, 15) = \$9844756$$

به علاوه، کار نقل و انتقال در 365 روز سال از 6 صبح تا 9 شب به طور روزانه انجام می گیرد. در نتیجه، هزینه ساعتی شبکه اتوبوس رانی برای هر یک مایل از طول آن برابر است با:

$$C = \frac{9844756}{365 \times 15 \times 2736} = 0.6572 \text{ (\$ per mile-hour)} \quad (7)$$

بنابراین:

$$C(l) = 0.6572 \times l \text{ (\$ per hour)} \quad (8)$$

$C(l)$: هزینه شبکه اتوبوس رانی (دلار در هر ساعت)؛ و
 l : طول شبکه اتوبوس رانی (مایل).

$C(l)$ هزینه ساعتی شبکه اتوبوس رانی را شامل هزینه های ثابت، عملیاتی و تعمیر و نگهداری را نشان می دهد.

بنابراین، تابع هدف در روش GA به ترتیب زیر تعریف می گردد:

$$F_i = 0.0668 P_i - 0.6572 l_i \quad (9)$$

F_i : تابع هدف شبکه اتوبوس رانی i (دلار)؛

P_i : جمعیت تحت پوشش شبکه اتوبوس رانی i ؛ و

L_i : طول شبکه اتوبوس رانی (مایل).

با این تعریف از تابع هدف، GA تلاش می کند تا خطوط اتوبوس را انتخاب کند که از میان حوزه هایی با جمعیت زیاد عبور کند. این امر ممکن است باعث شود که GA مسیر هایی را از برخی مناطق با تراکم جمعیتی کم انتخاب نکند. از این رو، ایستگاه های توقف در روش GA تعریف شده و هر ایستگاه توقف دارای محدودیتی است که یک حد بالایی و حد پایینی را در تعداد خطوط اتوبوس نشان می دهد که باید در نظر گرفته شوند. اگر GA خطوط اتوبوسی را انتخاب کرد که یک (یا بیش از یک) محدودیت را برآورده نکرد، جریمه بسیار بزرگی برای مقدار تابع هدف اعمال می گردد. سیاست های مربوط به توزیع خطوط اتوبوس در شهر می تواند به وسیله این حدود بالایی و پایینی مدل سازی شود.



احتمال تقاطع و جهش

احتمال تقاطع به 0,7 و احتمال جهش 0,3 برآورد گردیده است. به علاوه، در عملیات نخبه سالاری (elitism)، پنج تا از بهترین شبکه های اتوبوس رانی در هر جمعیت به طور مستقیم به نسل بعدی انتقال پیدا می کند. بنابراین، تابع هدف از بهترین راه حل در هر نسل، کمتر از نسل قبلی نیست.

تخصیص جابجایی از نتایج EMME/2

از آن جایی که منفعت و هزینه شبکه اتوبوس رانی در تابع هدف GS در نظر گرفته شده به طور تقریبی محاسبه گردیده و معیارهای متعددی را در تابع هدف شامل نشده است، به همین منظور باید این امر را با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار داد. نرم افزار EMME/2 برای تخصیص تقاضای جابجایی در شبکه های اتوبوس رانی که در آن از روش GA استفاده شده است و اندازه گیری های عملکرد مربوط به هر شبکه اتوبوس رانی را تشخیص می دهد که ده اندازه گیری عملکرد برای ارزیابی انتخاب گردید. این ده اندازه به سه گروه تقسیم بندی شد. گروه اول هزینه اپراتور سیستم است که دارای سه اندازه است: اندازه ناوگان که نماینده هزینه سرمایه، فاصله جمعی طی مسافت اتوبوس (اتوبوس-کیلومتر) که نماینده هزینه نگهداری است و طول شبکه اتوبوس رانی نماینده هزینه مدیریت و اجرایی است.

گروه دوم منفعت شبکه اتوبوس رانی بوده و فقط شامل یک اندازه است که تقاضای واقعی نقل و انتقال انجام گرفته با خطوط اتوبوس می باشد. گروه سوم هزینه کاربر است و به دو زیر گروه تقسیم می گردد. زیر گروه اول هزینه انجام نقل و انتقال بوده و شامل چهار اندازه محاسبه شده فقط برای جابجایی کاربران است: مجموع فاصله طی مسافت مسافر (مسافر- کیلومتر)، مجموع فاصله مسافت پیاده روی مسافر (مسافر- کیلومتر)، مجموع زمان طی مسافت مسافر (مسافر- ساعت) و مجموع زمان انتظار مسافر (مسافر- ساعت). دومین زیر گروه هزینه استفاده از خودرو بوده و شامل دو اندازه است: مجموع فاصله طی مسافت خودرو (ماشین برابر- کیلومتر) و مجموع زمان طی مسافت وسیله نقلیه (ماشین برابر- ساعت).

چهارده سیستم توزین برای اندازه های عملکرد متفاوت استفاده شده در تجزیه و تحلیل تطابق در نظر گرفته شده که در جدول 1 نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل تطابق یک روش تصمیم گیری چند معیاری و جایگزین های مشابه را شناسایی می کند. به عبارت دیگر، جایگزین های برجسته بدست می آیند که یک یا بیش از یکی از آنها برای سیستم توزین می باشند. بنابراین، جایگزینهایی که به عنوان انتخاب هایی برجسته انتخاب می شوند در بیشتر سیستم های توزین جایگزین های نظیر و مشابه می باشند.





TABLE 1 Different Weighting Systems for Different Criteria Used in Concordance Analysis

Index Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-1	0.11	0.083	0.083	0.066	0.066	0.055	0.055	0.11	0.083	0.083	0.066	0.066	0.055	0.055
1-2	0.11	0.083	0.083	0.066	0.066	0.055	0.055	0.11	0.083	0.083	0.066	0.066	0.055	0.055
1-3	0.11	0.083	0.083	0.066	0.066	0.055	0.055	0.11	0.083	0.083	0.066	0.066	0.055	0.055
2-1	0.33	0.5	0.75	0.6	0.4	0.5	0.33	0.33	0.5	0.75	0.6	0.4	0.5	0.33
1-1-1	0.055	0.041	0.083	0.033	0.066	0.055	0.083	0.036	0.027	0.056	0.022	0.044	0.037	0.056
1-1-2	0.055	0.041	0.083	0.033	0.066	0.055	0.083	0.074	0.055	0.011	0.044	0.088	0.073	0.011
1-1-3	0.055	0.041	0.083	0.033	0.066	0.055	0.083	0.036	0.027	0.056	0.022	0.044	0.037	0.056
1-1-4	0.055	0.041	0.083	0.033	0.066	0.055	0.083	0.074	0.055	0.011	0.044	0.088	0.073	0.011
1-2-1	0.06	0.043	0.084	0.035	0.069	0.057	0.086	0.06	0.043	0.084	0.035	0.069	0.057	0.086
1-2-2	0.06	0.043	0.084	0.035	0.069	0.057	0.086	0.06	0.043	0.084	0.035	0.069	0.057	0.086

نتایج

جدول 2 نتایج به کارگیری این روش را در شهر مشهد نشان می دهد. پانزده راه حل ممکن و خوب با تعدادی مشابه از تکرار GA بدست آمده است. یکی از مهم ترین خصیصه های این رمز این است که مشاهده تعداد تصادفی نسل ها به زمان رایانه بستگی دارد. بنابراین، می توان بسیاری از نتایج مفید نه تنها فقط با اجرای رمز در رایانه های مختلف بدست آورد، بلکه همچنین با اجرای رمز در ماشینی مشابه در زمان متفاوت نیز تحصیل می گردد. در 15 راه حل نشان داده شده در جدول 2، نتایج برجسته ای بین بسیاری از رایانه های متعدد بدون وقفه می باشد. در جدول 2، تعداد مسیره های اتوبوس داخلی، طول شبکه اتوبوس رانی برای مسیره های داخلی و تابع هدف GA نشان داده شده است.

TABLE 2 Solutions Found by Genetic Algorithm

Solution Number	Interior Route Number	Interior Bus Network Length (Mile)	Objective Function (Dollar)
1	72	611	991.85
2	65	551	1133.25
3	51	429	1191.70
4	72	643	829.18
5	65	574	1011.77
6	69	613	765.48
7	66	554	1151.55
8	72	599	1058.22
9	68	616	848.81
10	59	514	1309.03
11	51	444	1266.96
12	72	634	799.03
13	66	561	952.00
14	55	449	1463.25
15	66	564	920.44

جدول 3 خروجی های EMME/2 برای معیارهای در نظر گرفته شده برای راه حل های انتخاب شده را نشان می دهد. 16 امین راه حل، بهترین راه حل طراحی شده برای آن شهر بوده که به وسیله مرکز تکنولوژی حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف می باشد.



TABLE 3 Output of FMME/2 for Selected Solutions

Solution Number	Fleet Size	Bus Cumulative Travel Distance (Bus – Mile)	Bus Network Length (Mile)	Demand of Transit (Passenger)	Cumulative Passenger Travel Distance (Passenger – Mile)
1	749	6719	2983	55408	255151
2	658	6147	2814	55596	252434
3	540	4975	2520	51774	218996
4	808	7369	2990	57625	263953
5	760	6866	2891	56190	253284
6	743	6843	2928	57689	265969
7	714	6528	2818	54696	239263
8	742	6798	2946	54768	249869
9	780	7092	2976	57238	262724
10	650	5850	2798	53763	244117
11	1133	9619	2715	60098	285236
12	805	7357	3016	57607	266616
13	757	6973	2875	57134	261236
14	553	5409	2646	50569	211238
15	699	6356	2869	54668	246533
16	946	7926	2700	59047	272905

TABLE 3 Output of EMME/2 for Selected Solutions (Continued)

Solution Number	cumulative passenger walking distance (Passenger – Mile)	cumulative passenger travel time (Passenger – Hour)	cumulative passenger waiting time (Passenger – Hour)	cumulative vehicle travel distance (Bus – Mile)	cumulative vehicle travel time (Bus – Hour)
1	40264	27035	4700	448569	27603
2	424	25812	4609	443780	27181
3	48043	24068	4651	460908	28638
4	39931	26455	4392	439140	26803
5	39716	26979	4648	446497	27542
6	39133	26975	4706	439790	26675
7	42744	25461	4708	450749	27875
8	40366	25360	4621	452075	28139
9	39706	26450	4588	440448	26899
10	41568	26268	5125	453133	28035
11	37878	27281	2951	433621	26404
12	39531	26521	4409	438403	26792
13	40761	26855	4280	439096	26852
14	43336	22326	6174	466184	29346
15	41403	25605	4880	449563	27734
16	36856	30112	3833	434550	26590

نتیجه به دست آمده به وسیله به کارگیری تجزیه و تحلیل تطابق بر راه حل های انتخاب شده، نشان می دهد که هشت راه حل از شانزده راه حل انتخاب شده بیشتر از 10 از 14 بار تکرار می گردد؛ بنابراین، روش GA راه حل های محتمل را ارائه می دهد. تابع هدف GA برای این هشت راه حل ارزش حداکثر ندارد، زیرا این امر نشان دهنده نفع تقریبی شبکه اتوبوس رسانی است و شامل تمامی معیارها نمی گردد. در حقیقت، یک تابع هدف ساده شده در روش GA به منظور جستجو برای راه حل های بیشتر در کوتاه مدت مورد استفاده قرار گرفته که این موضوع نکته ای کلیدی برای استفاده از روش های متاغیرتحلیلی مانند روش GA است. بنابراین، راه حل شماره دو، شش و سیزده، چهارده بار انتخاب شده اند که جزء بهترین راه حل های می باشند، و راه حل شماره شانزده، دوازده بار انتخاب گردید. به عبارت دیگر، راه حل های بدست آمده توسط GA بهتر از راه حل های پیشنهادی توسط مرکز تکنولوژی حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف بوده است چرا که تمامی معیارها را در نظر گرفته بود. به علاوه، راه حل های شماره چهار و نه، یازده بار انتخاب شده و راه حل های یازده و



دوازده، ده بار انتخاب شدند. راه حل های دیگر اصلاً انتخاب نشدند. ترتیب راه حل های دو، شش و سیزده در شکل 2 نشان داده شده است. خطوط کم رنگ بزرگراه ها و شاه راهای شهر مشهد را نشان می دهد و خطوط پررنگ مسیره های اتوبوس انتخاب شده برای هر راه حل می باشند.

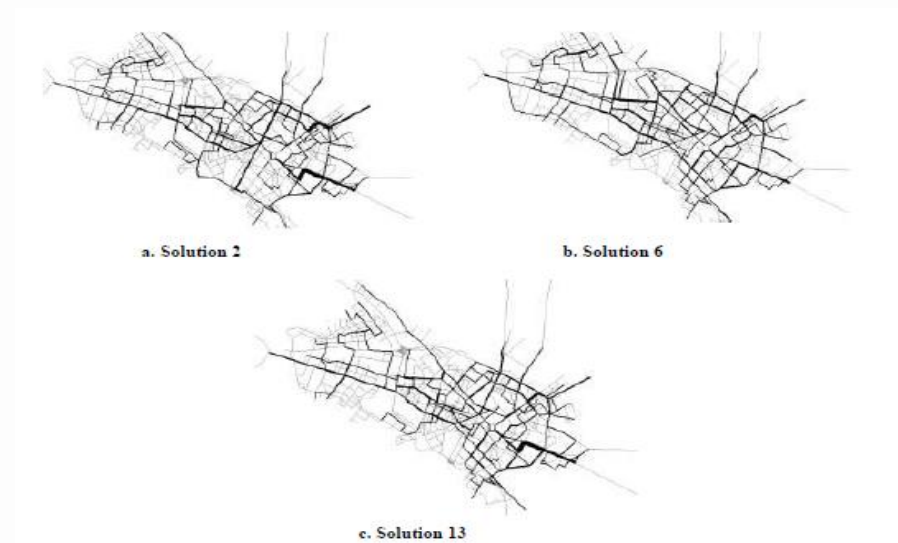


FIGURE 2 The best Solutions.

نتیجه گیری

در این مقاله، روشی جدید برای طراحی یک شبکه اتوبوس رانی برای شهر مشهد معرفی گردید. این روش از شیوه GA برای انتخاب راه حلی مناسب بین راه حل های نامزد استفاده کرده است. در حقیقت، این روش زیر مجموعه های برسته از یک مجموعه را که دارای Π مولفه است، انتخاب می کند. این روش در تعداد خطوط اتوبوس محدودیتی ندارد. بنابراین، هر خط اتوبوس مناسب از نقاط ثابت متفاوت را می توان به عنوان یک مسیر نامزد انتخاب کرد و GA بهترین زیرمجموعه را انتخاب می کند. تابع هدف GA دارای دو معیار است: جمعیت تحت پوشش و طول شبکه اتوبوس رانی. همچنین، هزینه سرمایه و هزینه تعمیر و نگهداری برای کل دوره طول عمر اتوبوس به عنوان تابعی از طول شبکه اتوبوس رانی تعریف گردیده است. GA سعی در حداکثر رساندن تابع هدف دارد و بنابراین، تلاش می کند تا شبکه اتوبوس رانی را پیدا کند که را حداکثر جمعیت تحت پوشش و حداقل طول باشد. به منظور گسترش خوب شبکه در سراسر شهر، محدودیت ها در تعداد خطوط اتوبوسی که به ایستگاه های اتوبوس وارد و خارج می شوند، افزوده می گردد.



نرم افزار EMME/2 برای به دست آوردن اندازه گیری عملکرد راه حل های طراحی شبکه انجام گرفته به شیوه GA ، مورد استفاده قرار می گیرد. پس، راه حل ها با استفاده از تجزیه و تحلیل تطابق با 10 اندازه گیری عملکرد به عنوان معیارهای مهم ارزیابی، مورد ارزیابی قرار می گیرد. خروجی تجزیه و تحلیل تطابق نشان می دهد که شبکه اتوبوس رانی بدست آمده توسط این روش دارای عملکرد بهتر نسبت آنهایی است که با استفاده از شیوه های دیگر بدست آمده است. ایده اصلی این روش پیدا کردن شبکه اتوبوس رانی مناسب در کوتاه مدت است. در حقیقت، با استفاده از تابع هدف تقریبی که محاسبه آن آسان می باشد، نتایج خوبی را می تواند به دنبال داشته باشد. این روش نه تنها در هر تکرار برای محاسبه تابع هدف نیاز به تخصیص ترافیک ندارد، بلکه همچنین تابع هدف یک تخمین خوب از کارآمدی شبکه اتوبوس رانی به حساب می آید. با استفاده از این روش در مشهد که دومین شهر بزرگ در ایران است و بیش از یک میلیون جمعیت دارد، نشان داد که این روش برای شهرهای بزرگ عملی بوده و اندازه گیری های عملکرد را بهبود بخشیده و شبکه اتوبوس رانی مفیدی را در کوتاه مدت ارائه می دهد.

پیشنهادات برای مطالعات آینده

برخی از راه های مطالعه در آینده به شرح زیر است:

1. راهی برای هر مسیر که به صورت دستی طراحی شود. با استفاده از روش GA راه هایی طراحی شود که طول کروموزوم و زمان اجرا را افزایش دهد. با استفاده روش های دیگر برای طراحی راه ها و سپس با استفاده روش GA بهترین شبکه اتوبوس رانی یافت شود که این امر ممکن است کارآیی این روش را افزایش دهد.
2. دیگر ویژگی های حوزه ها (مانند تقاضای حوزه) می تواند در تابع هدف به جای جمعیت مورد استفاده قرار گیرد و این کار می تواند صحت نتایج را افزایش دهد.
3. توزیع یکنواختی از جمعیتی در سراسر حوزه ها فرض شود. این کار می تواند به ساده کردن محاسبات کمک کند. استفاده از اشکال دقیق و درست توزیع جمعیت در هر حوزه صحت و درستی نتایج را افزایش می دهد.
4. استفاده از روش فوق الذکر برای سایر کلانشهر ها بویژه شهر تهران.



منابع :

- Bansal, A N. "Optimization of Bus Route Network for a Fixed Spatial Distribution." *Scientific Management of Transportation Systems*. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1981. 346-355.
- Bielli, M, M Caramia, and P Carotenuto. "Genetic Algorithms in Bus Network Optimization." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 10, Issue 1*, 2002: 19-34.
- Ceder, A, and H M Wilson. "Bus network Design." *Transportation Research, Vol. 20B, No.4*, 1986: 331-334.
- Dubois, D, G Bell, and M Libre. "A Set of Methods in Transportation Network Synthesis and Analysis." *Operational Research, Vol. 30*, 1979: 797-808.
- Dufourd, H, M Gendreau, and G Laporte. "Locating a Transit Line Using Tabu Search." *Transportation Science, Vol. 4*, 1996: 1-19.
- Guan, J F, H Yang, and S C Wirasinghe. "Simultaneous optimization of transit line configuration and passenger line assignment." *Transportation Research Part B, Vol.40(10)*, 2003: 885-902.
- Hurdle, G. "Minimum Cost Location for Parallel Public Transportation Lines." *Transportation Science, Vol. 7*, 1973: 341-350.
- Kocure, G, and C Hendrickson. "Design of Local Bus Service with Demand Equilibrium." *Transportation Science, Vol. 16*, 1982: 149-170.
- Lampkin, W, and P D Saalman. "The Design of Routes Service Frequencies and Schedules for Municipal Bus Undertaking." *Operational Research Quarterly, Vol. 18*, 1978:375-397.
- Lines, A H, W Lampkin, and P D Saalman. "The design of Routes and Service Frequency for a Municipal Bus Company." *Business Operation Research LTD, London, U.K.*, 1966.
- Mandle, C E. "Evaluation and Optimization of Urban Public Transportation Network." *European Journal of Operational Research, Vol. 5*, 1979: 396-404.
- Newell, G. "Some Issues Relating to the Optimal Design of Bus Routes." *Transportation Science, Vol. 13*, 1979: 20-35.
- Silman, L A, Z Barazily, and U Passy. "Planning the Route System for Urban Buses." *Operational Research, Vol. 1*, 201-211.
- The Suggested Transit System for Mashad*. Tehran: Sharif University of Technology Transportation Center, 2003.
- Yu, B, Z Yang, C Cheng, and C Liu. "Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm." *Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5*. 2005. 374-389.
- Zhao, F, and A Gan. *Optimization of transit network to minimize transfers*. Tech. Rep. BD015-02, Florida Department of Transportation, Center for Transportation Research: Florida International University, 2003.
- Zhao, F, and I Ubaka. "Transit network optimization – minimizing transfers and optimizing route directness." *Journal of Public Transportation 7 (1)*, 2004: 67-82.
- Zhao, F, and X Zeng. "Simulated annealing–genetic algorithm for transit network optimization." *Journal of Computing in Civil Engineering 20 (1)*, 2006: 57-68.



Bus Network Design Using Genetic Algorithm

Pourya masoumi-PhD of industrial management- Tehran Urban & Suburban
Railway Operation Co.

ABSTRACT

The bus network design problem is an important problem in transportation planning. It is the problem of determining a network of bus lines which best achieves a redetermined objective. This may be done with or without the presence of rapid transit lines.

This study is devoted to solving this problem using genetic algorithm. The fitness function is defined as the benefit to the users of the bus network less the cost of the operator of the network, which is to be maximized subject to constraints that properly distribute bus routes over the study area. Objective function calculation depends on the basic data of the city and its bus lines and does not need traffic assignment results. So, it is calculated quickly and it makes the genetic algorithm operation faster. Several good solutions were generated through a sensitivity analysis by changing the parameters of the problem affecting bus route geographical distribution.

A network assignment problem was solved for each of the alternative bus networks and several measures of effectiveness were evaluated for them. A multi-objective analysis (concordance analysis) was performed based on 10 measures of effectiveness and 14 weighting systems. As a result, a bus network was proposed for the city of Mashad, Iran

