طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی
با استفاده از الگوریتم ژنتیک

شهریار افندی‌زاده
استادیار

مجید رضا افیونیان
دانشجوی کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

طراحی شبکه خطوط اتوبوس شهری مستلزم تعیین پیکربندی خطوط شامل یک مجموعه از خطوط و تواترهای تعیین شده برای آنها می‌باشد به‌طوریکه اهداف مورد نظر تامین شوند. این مسئله را می‌توان به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی از حداقل کردن هزینه کل فرمول‌بندی نمود. در این مقاله، استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) - روشی برای جستجو و بهینه‌سازی بر پایه انتخاب و ژنتیک طبیعی- در حل مسئله طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی تشریح می‌گردد. طراحی در دو فاز انجام می‌گیرد. ابتدا یک مجموعه از خطوط کاندید برای رقابت در حل بهینه، ایجاد می‌شوند، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مجموعه مسیرهای بهینه انتخاب می‌گردند. بنابراین ابتدا یک اندازه برای تعداد خطوط موجود در مجموعه جواب فرض می‌شود، سپس بوسیله الگوریتم ژنتیک سعی می‌شود که بهترین خطوط از بین مجموعه خطوط کاندید، انتخاب گردد. برای بدست‌آوردن جواب بهینه، اندازه مجموعه خطوط به‌طور مکرر تغییر داده می‌شود و الگوریتم اجرا می‌گردد تا تعداد خطوطی که باید در پیکربندی بهینه قرار گیرد تعیین شود. در خلال یک اجرا از الگوریتم، خطوط به‌عنوان متغیرها درنظر گرفته شده ولی تعداد آنها ثابت می‌ماند. در انتهای هر اجرا از الگوریتم، خطوطی که در جواب بهینه قرارمی‌گیرند تعیین و ارائه می‌شوند.

کلمات کلیدی

طراحی، شبکه خطوط، حمل و نقل عمومی، اتوبوسرانی، الگوریتم ژنتیک.

Desgin of Bus Transit Route Based on Genetic Algorithm

S. Afandizadeh
Assistant Professor

M.R. Afunian
M. S. Student

Iran University of Science and Technology

Abstract

Urban bus route network design involves determining a route configuration with a set of transit routes and associated frequencies that achives the desired objective. This can be formulated as an optimization problem of minimizing the overall cost (both the user's and the operator's) incurred. In this paper, the use of genetic algorithms (Gas), a search and optimization method based on natural genetics and selection, in solving the route network design problem is reported. The design is done in two phases. First, a set of candidate routes competing for the optimum solution is generated. Second, the optimum set is selected using a GA. This method assumes a solution route set size, and tries to find that many best routes from the candidate route set, using a GA. The routes set size is varied interatively to find the optimum solution. The model is applied to a case study network, and results are presented.

Keywords

مقدمه

از آنجا که تقاضاهای بسیار زیاد حمل و نقل در آینده و بخصوص در کشورهای درحال توسعه، تنها بوسیله حمل و نقل عمومی می‌تواند برآورده شود، باید به سیستم حمل و نقل عمومی اهمیت بیشتری داده شود. اگرچه معرفی مدهای جدید حمل و نقلی و سیستمهای حمل ونقلی با حجم بالا دورنمای روشنی را ارائه می‌نماید ولی به کارگیری این‌گونه سیستمها، به توسعه زیر بنایی و هزینه‌های اقتصادی قابل توجهی نیاز دارد. به این دلیل، استفاده از اتوبوسها در حمل و نقل عمومی و برای تحمل قسمت عمده تقاضای حمل و نقل عمومی همچنان ادامه خواهد داشت.

با توجه به محدودیتهای موجود، جهت رسیدن به سطح سرویس مورد نظر، طراحی بهینه شبکه خطوط ضروری می‌باشد. طراحی شبکه خطوط اتوبوس شهری مستلزم انتخاب خطوط و تواتر آنها می‌باشد. مرور مطالعات قبلی، روشهای مختلفی برای انتخاب خطوط و زمانبندی سیستم حمل و نقل عمومی اتوبوس شهری و همچنین ابزارهای محاسباتی و مدلهای مختلفی را نمایان می‌سازد. لیکن مدلهای طراحی شبکه خطوط به‌دلیل ساختمان پیچیده و محدودیتهایی که برای دسترسی و استفاده از آنها وجود دارد، در عمل به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند. با بزرگ شدن شبکه‌های واقعی، تعداد متغیرها و محدودیتهای مسائل بهینه سازی به شدت افزایش میابد و در نتیجه تکنیکهای تحلیلی و عددی متداول، کارایی خود را در ارتباط با این مسائل از دست می‌دهند. از این رو برای حل این گونه مسائل باید از تکنیکهای جدید و قویتر بهینه‌سازی که در حد و اندازه‌های آنها باشد استفاده نمود. دهه گذشته شاهد افزایش علاقه به روشهای بیولوژیکی مثل شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتمهای ژنتیک بهینه‌سازی حل مسائل بوده است. با توجه به پیشرفتهای حاصل شده در این زمینه و با توجه به آنکه الگوریتم ژنتیک قادر به ارائه یک جستجوی قوی در حد نزدیک به حل بهینه در یک زمان قابل قبول می‌باشد، بنابراین در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی استفاده می‌گردد. طراحی در دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا یک مجموعه کاندید از خطوط ایجاد و سپس مجموعه خطوط بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شوند.

هدف این مقاله ارائه یک روش جدید و فتح بابی پیش روی متخصصان و کارشناسان می‌باشد و جا دارد که روش تشریح شده در موارد بیشتری استفاده و مورد توسعه قرار گیرد. بنابراین هدف این مقاله از اجرای مدل ارائه شده برروی ناحیه مطالعاتی، یک طراحی دقیق نیست بلکه این امر صرفاً به منظور نمایش مدل و بررسی نحوه عملکرد آن، صورت گرفته است.

نتایج بدست آمده حاکی از کارایی کدبندی متغیرها و پروسه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در حل مسئله طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی می‌باشد. این موضوع دورنمای خوبی را برای استفاده از الگوریتم ژنتیک در دیگر مسائل برنامه‌ریزی و طراحی موجود در سیستم حمل ونقل نمایان می‌سازد.

۱- مرور مطالعات قبلی

همانطور که عنوان شد، مرور مطالعات قبلی، روشهای مختلفی برای انتخاب خطوط و زمانبندی سیستم حمل و نقل عمومی اتوبوس شهری و همچنین ابزار محاسباتی و مدلهای مختلفی را نمایان می‌سازد. به‌عنوان نمونه چو (Chua 1984)، برای طراحی شبکه خطوط اتوبوس شهری از یک روش تحلیل سیستمی به همراه یک مدل تخصیص حمل و نقل استفاده نموده است. در اغلب مدلهای تحلیلی که تاکنون ارائه شده‌اند، برای بدست آوردن روابط بهینه بین پارامترهای سیستم حمل و نقل، شبکه شهری به‌طور خلاصه در نظر گرفته شده است. مثلاً هندریکسون و کوچور تنها مکان‌یابی خطوط و سر فاصله‌های زمانی آنها را در نظر گرفته‌اند (Kochur and Handrikson 1982). همچنین تاکنون مدلهایی ارائه شده‌اند که در آنها برای تخصیص تواتر به مجموعه خطوط داده شده، از بهینه‌سازی زمان سفر و زمان انتظار استفاده شده است (Furth and Wilson 1981). مدلهایی نیز با روشهای جستجوی ابتکاری برای تعیین خطوط و تخصیص تواتر به آنها ابداع شده‌اند (Ceder and Wilson 1986). نس و همکارانش نیز مدلی برای تعیین همزمان خطوط اتوبوسرانی و تواتر تخصیصی به آن خطوط ارائه نموده‌اند (Nes et al 1986).

تلاشهای زیادی برای توسعه هر دو دسته از تکنیکهای بهینه‌سازی تحلیلی و عددی مورد استفاده در طراحی شبکه خطوط صورت گرفته است. ابزارهای محاسباتی استفاده شده بوسیله اغلب این محققان، روشهای برنامه‌نویسی ریاضی بوده است (Steenbrink 1974).

اخیراً در طراحی شبکه خطوط هوایی که شبیه طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی می‌باشد، برای تعیین مسیرهای مناسب پرواز از منطق فازی (Fuzzy) استفاده شده است. همچنین برای تعیین تواتر پرواز در مسیرها از روش برنامه‌ریزی خطی فازی استفاده شده است (Dusan et al 1994).

چاکروبورتی و همکاران نیز، بدلیل کافی و کامل نبودن روشهای موجود در حل مسائل زمانبندی سیستم حمل و نقل عمومی، از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و گزارش نمودند که الگوریتم ژنتیک ابزاری کارا برای مسائل بهینه سازی سیستم حمل و نقل می‌باشد (Chakroborty et al .1995)

۲- فرمول‌بندی مسئله

بدلیل اینکه طراحی و انتخاب ساختار خطوط، همواره برروی تنظیم تواتر و زمانبندی اتوبوسها و خدمه آنها تأثیر گذار است و همچنین بدلیل این حقیقت که دستگاه بهره‌برداری (اپراتورها)، دارای کمترین انعطاف‌پذیری در تغییر خطوط می‌باشند، طراحی شبکه خطوط (RND) مهمترین مرحله در روند برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی شهری می‌باشد [۳]. مهمترین اجزاءRND عبارتند از تعیین میزان تقاضا، معرفی تابع هدف، تعیین محدودیتها، رفتار مسافرین، تکنیکهای حل و تعیین زمانی که انجام محاسبات به طول می‌انجامد. تقاضا ممکن است ثابت و بی‌ارتباط با کیفیت سرویس در نظر گرفته شود. بسیاری از مدلها بدلیل سادگی، از این روند استفاده می‌کنند. از طرف دیگر ممکن است تقاضا متغیر باشد، بدین معنی که سهم تقاضای حمل و نقل عمومی از ماتریس کل تقاضا، بر اساس کیفیت سرویس ارائه شده محاسبه گردد. حل RND بواسطه قیودی از قبیل هزینه بهره‌برداری کل، اندازه ناوگان و همچنین محدودیت بارگیری مسافر که تابعی از اندازه وسیله نقلیه، حداقل تواتر سرویس و غیره می‌باشد محدود می‌شود. اکثر فرمول‌بندیها از یک روش تخصیص مسافرین چند مسیره استفاده می‌کنند با فرض این‌که، یک مسافر اولین اتوبوسی را که می‌رسد انتخاب می‌کند. این فرمول‌بندی در مقابل روش تخصیص تک مسیره پیچیده ولی واقع‌گرایانه و دقیق می‌باشد [۳].

در طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی، هدف اصلی تعیین یک پیکربندی شامل مجموعه‌ای از خطوط حمل و نقل عمومی و تواتر مربوط به اتوبوسهای آن خطوط می‌باشد که بتواند بیشترین یا کمترین مقدار تابع هدف مورد نظر را با توجه به قیود و محدودیتهای موجود، برآورده نماید. در این مطالعه، حداقل نمودن هزینهٔ کل به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. هزینهٔ کل شامل هزینه استفاده‌کنندگان و اداره‌کنندگان سیستم می‌باشد [۱]. هزینه استفاده‌کنندگان تابعی از زمان سفر کل می‌باشد ولی هزینه اداره‌کنندگان وابسته به اتوبوس ـ کیلومتر مورد نیاز برای یک پیکربندی خاص می‌باشد. محدودیتهای مسئله شامل محدودیتهای امکان‌پذیری مانند حداکثر و حداقل تواتر اتوبوسها، حداکثر فاکتور بارگیری، اندازه ناوگان مجاز و غیره می‌باشد. فرمول ریاضی مسئله را می‌توان به شکل زیر ارائه نمود [۱]:

$$\min: Z = \left\{ c_1 \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} d_{ij} \cdot t_{ij} \right] + c_2 \left[\sum f_K \cdot T_K \right] \right\} \quad (1)$$

$$s.t.:$$

$$f_K \geq f_{\min} \qquad \forall K \in SR \quad (a)$$ (محدودیت عملی بودن‌تواتر)

$$l_K \leq l_{\max} \qquad \forall K \in SR \quad (b)$$ فاکتوربارگیری) (محدودیت

$$\sum_{all\ k \in SR} n_K = \left[\sum_{all\ k \in SR} f_K \cdot T_K \right] \leq W \qquad (c)$$

(محدودیت اندازه ناوگان

که در آن:

d_{ij} = تقاضای سفر از گرهٔ i به گرهٔ j

t_{ij} = کل زمان سفر (مجموعه زمان سفر داخل وسیله، زمان انتظار و زمان انتقال) از گرهٔ i به گرهٔ j

f_K = تواتر K امین مسیر

T_K = زمان سفر رفت و برگشت K امین مسیر

$f_{\min}$ = حداقل تواتر اتوبوسهای استفاده شده در هر یک از خطوط

l_K = فاکتور بارگیری مسیر K که عبارتست از

$$L_K = \frac{(Q_K)_{\max}}{f_K \cdot C}$$

$l_{\max}$ = حداکثر فاکتور بارگیری

C= ظرفیت نشسته اتوبوس

$(Q_K)_{\max}$ = حداکثر جریان ایجاد شده روی هر یک از کمانهای مسیر K

SR = مجموعه مسیرهای جواب

c_1 = فاکتور تبدیل زمان سفر استفاده‌کننده به هزینه استفاده‌کننده

c_2 = فاکتور تبدیل اتوبوس – کیلومتر به هزینه معادل

n = تعداد گره‌های شبکه می‌باشد.

قسمت اول معادله، هزینه کل تحمیل شده به استفاده‌کنندگان را ارائه نموده و قسمت دوم، هزینه کل بهره‌برداری از کل اتوبوسهای فعال در خطوط مجموعه جواب را ارائه می‌نماید. بنابراین جمع این دو قسمت، نشان‌دهنده هزینه کل می‌باشد.

مطالعه انجام شده در این مقاله برای حل مسئله طراحی شبکه خطوط اتوبوس شهری، از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزاری برای انتخاب شبکه خطوط بهینه استفاده

می‌نماید که یک شبیه‌سازی بسیار قوی اقتباس شده از سیستمهای بیولوژیک و زیستی می‌باشد.

۳- الگوریتمهای ژنتیک

الگوریتمهای ژنتیک، الگوریتمهایی هستند که بر اساس مفهوم انتخاب و ژنتیک طبیعی استوار هستند [۱۰]. الگوریتمهای ژنتیک که برای شبیه سازی تعدادی از روندهای مشاهده شده در ارزیابی طبیعی توسعه داده شده‌اند، پروسه‌ای است که برروی کروموزومها عمل می‌کند (کرموزوم، ابزار حیاتی موجود زنده برای رمز گشایی ساختار وجودی حیات است). روش الگوریتم ژنتیک، بدلیل اینکه برروی یک جمعیت از امتیازها جستجو نموده و با کدبندی یک مجموعه پارامترها، به جای مقادیر آن پارامترها کار می‌کند، از دیگر روشهای جستجو مجزا می‌شود. وجه تمایز الگوریتم ژنتیک، احتمال‌گرایی است در حالیکه روشهای متداول، اطلاعات طبقه‌بندی شده را استفاده می‌کنند[۸]. الگوریتم ژنتیک به خاطر این طبیعتش، به‌عنوان الگوریتمی با هدف بهینه‌سازی مورد استفاده می‌باشد. اصول کار الگوریتم ژنتیک به صورت روند زیر ارائه می‌گردد:

گام ۱- انتخاب تصادفی جمعیت اولیه.

گام۲- محاسبه مقدار تابع هدف.

گام ۳- محاسبه مقدار تابع سازگاری.

گام ۴- ایجاد جمعیت جدید با استفاده از عملگرهای ژنتیک(تکثیر، ترکیب و جهش).

گام ۵- تکرار مراحل دوم تا چهارم تا هنگامیکه جواب نهایی همگرا گردد.

مراحل اصلی الگوریتم، شامل تولید جمعیت جوابها، محاسبه تابع هدف و تابع سازگاری و استعمال عملگرهای ژنتیک می‌باشد. عمومی‌ترین روش کدبندی، کدبندی باینری می‌باشد[۸]. اگر مسئله بیش از یک متغیر داشته باشد، یک کدبندی چند متغیره از بهم پیوستن چند کدبندی تک متغیره، به تعداد متغیرهای مسئله پایه‌گذاری می‌شود.

الگوریتمهای ژنتیک به طور همزمان برروی چند مسئله کار می‌کنند. از این جهت در اولین مرحله، یک جمعیت با P عضو بوسیله یک تولید کننده شبه تصادفی ایجاد می‌شود که اعضاء آن، یک حل ممکن را ارائه می‌نمایند. این یک تجسم از بردار جواب در فضای جواب می‌باشد و به‌عنوان حل اولیه نامگذاری می‌شود. ازآنجاکه جستجو برروی یک محدوده وسیع از نقاط در فضای جواب آغاز می‌شود، روند جستجو قوی و بدتون انحراف می‌گردد. در مرحله بعد، تک تک اعضای جمعیت برای بدست آوردن مقدار تابع هدف ارزیابی می‌گردند.

در مرحله سوم، تابع هدف به شکل یک تابع سازگاری تبدیل می‌شود که با استفاده از آن میزان سازگاری برای هر یک از اعضاء جمعیت محاسبه می‌گردد. تابع سازگاری به‌عنوان مقیاسی برای سنجش کارایی اعضاء عمل می‌کند و بنابراین هرچه مقدار آن بیشتر باشد بهتر است. بدین معنی که اعضاء با میزان سازگاری بالاتر، احتمال بیشتری خواهند داشت که به عنوان کاندید جدید برای مرحله بعدی عمل انتخاب شوند. تابع سازگاری که در این مطالعه برای تبدیل تابع هدف استفاده شده است به صورت زیر می‌باشد [۸]:

$$F(i)=V-\frac{O(i)-P}{\sum_{i=1}^{P}O(i)} \qquad (۲)$$

که در آن $O(i)$، میزان تابع هدف i اُمین عضو، P اندازه جمعیت و V حداکثر مقدار دومین بخش از رابطه (۲) می‌باشد. چون تابع هدف مینیمم نمودن در نظر گرفته شده است و همچنین با توجه به تعریف تابع سازگاری ارائه شده، میزان سازگاری مربوط به حداکثر مقدار تابع هدف برابرصفر خواهد بود.

۳-۱- عملگرهای ژنتیک

پس از تولید جمعیت اولیه و محاسبه تابع هدف و تابع سازگاری برای هر یک از اعضای جمعیت، از عملگرهای ژنتیکی برای ایجاد جمعیت جدید استفاده می‌شود. عملگرهای متداول ژنتیکی عبارتند از تکثیر، ترکیب وجهش که در این مطالعه تنها از دو عملگر اول استفاده شده و عملگر جهش استفاده نشده است.

تکثیر عملگری است که کپی‌های جدیدی از بهترین عضوها در یک جمعیت جدید ایجاد می‌نماید. بهترین عضوها باید از سازگارترین عضوهای جمعیت قبلی باشد. این امر با محاسبه تعداد تکثیر مربوط به هر رشته وکپی آنها در جمعیت جدید صورت می‌گیرد. در این مطالعه، با توجه به میزان سازگاری محاسبه شده برای هررشته، تعداد تکثیر مورد نیاز برای هر رشته محاسبه ودر جمعیت جدید کپی می‌شوند.

در عملگر ترکیب، یک پروسه ترکیب صفات ارثی و ایجاد صفات ارثی جدید، عضوهای متفاوتی تولید می‌کند. این عمل بوسیله ترکیب دو عضو از جمعیت موجود وتولید دو عضو جدید و کپی آنها در جمعیت جدید صورت می‌گیرد. در این مطالعه از یک عملگر ترکیب ساده تک نقطه‌ای استفاده شده است. ابتدا دو عضو از جمعیت به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند سپس محل ترکیب نیز به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. هر یک از دو عضو از محل

ترکیب به دو تکه مجزا تقسیم می‌شود و تکه‌های دوم هردو عضو با یکدیگر تعویض می‌شوند. به این ترتیب دو عضو جدید بدست می‌آید که در جمعیت جدید کپی می‌شوند. به این صورت یک چرخه الگوریتم ژنتیک به پایان می‌رسد. در ادامه، میزان تابع هدف وتابع سازگاری هر یک از این اعضاء جدید محاسبه شده و چرخه ژنتیک با اعمال عملگرهای تکثیر و ترکیب به صورت متوالی ادامه می‌یابد تا هنگامیکه یک معیار توقف حاصل شود.

٤- مدل ژنتیک برای طراحی شبکه خطوط

مدلهای طراحی شبکه خطوط (RND)بدلیل ساختمان پیچیده و محدودیتهایی که برای دسترسی به آنها وجود دارد، در عمل به‌ندرت مورد استفاده قرارمی‌گیرد. محدودیت دسترسی از آن جهت می‌باشدکه این‌گونه مدلها را فقط بر روی کامپیوترهای بزرگ و پیچیده و بسیار گران قیمت می‌توان مورد استفاده قرار داد. همچنین در عمل شرایطی نظیر بزرگ بودن شبکه‌های واقعی وجود دارد که فراتر از حوزه عمل روشهای تحلیلی و عددی بوده و مشکلاتی را برای اجرای این مدلها بوجود می‌آورد. با بزرگ‌شدن شبکه‌های واقعی، تعداد متغیرها و محدودیتهای مسائل بهینه‌سازی به شدت افزایش می‌یابند و درنتیجه تکنیکهای تحلیلی و عددی متداول، کارایی خود را در ارتباط با این مسائل از دست می‌دهند. از این‌رو جستجوی ادامه‌داری برای ابداع تکنیکهای جدید و قویتر بهینه‌سازی که در حد و اندازه‌های چنین مسائلی باشند در حال انجام است.

اگر قرار است که از یک مدل در پروسه طراحی استفاده شود، این مدل باید خواسته‌های زیر را تأمین کند: (الف)- باید قابلیت کارکردن با مسائل طراحی مختلف از تحلیلهای کوتاه مدت مثل تعیین تواترها و ارتقاء شبکه موجود گرفته تا تصمیمات بلند مدتی مثل طراحی مجدد شبکه خطوط را داشته باشد، (ب)- باید جواب مناسبی را در یک مدت زمان قابل قبول ارائه کند و (ج)- باید به‌سادگی در دسترس و قابل درک برای برنامه‌ریز باشد.

مدلی که در مقاله حاضر ارائه شده بر اساس هدفهای عنوان شده، پایه‌گذاری شده است و دارای دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول، یک مجموعه از خطوط بالقوه که خطوط کاندید نامیده می‌شوند، بوسله یک الگوریتم ایجاد کننده خطوط کاندید(CRGA) ، ایجاد می‌شوند. در مرحله دوم، یک مجموعه بهینه از خطوط، از بین خطوط کاندید و بوسیله الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شوند. به‌علت توانایی الگوریتم ژنتیک در ارائه یک جستجوی قوی در حد نزدیک به حل بهینه در یک زمان قابل قبول، از این روش استفاده شده است. بخش بعدی CRGA را تشریح می‌کند که اولین مرحله از مدل می‌باشد.

٤-١- الگوریتم تولید کننده مجموعه خطوط کاندید(CRGA)

در این مرحله، یک مجموعه از خطوط کاندید، تولید می‌شوند که در مراحل بعدی برای قرار گرفتن در مجموعه خطوط جواب با یکدیگر رقابت خواهند نمود. اگر طراح بخواهد کلیه خطوط ممکنه را در نظر بگیرد، اندازه این مجموعه بسیار بزرگ خواهد شد. از این جهت CRGA یک الگوریتم طراحی ابتکاری است که یک مجموعه از خطوط دارای خصوصیات ویژه را تولید می‌نمایند. این خصوصیات عبارتند از:

خطوط راهنمایی شده بوسیله ماتریس تقاضا.

خطوطی که با توجه به دانش طراح باید ایجاد شوند.

خطوطی که محدودیت‌های موجود برای خطوط را پوشش می‌دهند.

٤-٢- معرفی متغیرها

جهت حل یک مسئله بوسیله الگوریتم ژنتیک، در ابتدا باید آن را به‌شکل یک مسئلهٔ الگوریتم ژنتیک تبدیل نمود. بنابراین مسئله کلیدی، نحوه ارائه مسئله و تبدیل آن به شکل مسئله ژنتیک می‌باشد. برای این منظور متغیرهای مسئله به‌صورت کدهای ژنتیک، کدبندی می‌شوند که عمومی‌ترین روش، کدبندی باینری می‌باشد[٨].

در مسئله طراحی شبکه خطوط، هریک از خطوط به‌طور مجزا به‌عنوان یک متغیر درنظر گرفته می‌شود. مقدار متغیر ممکن است معیاری از میزان کارایی خط، مانند تقاضای تجمعی برآورده شده یا مسافر- کیلومتر آن خط باشد. در مراحل بعدی این متغیرها به‌صورت رشته‌های باینری کدبندی می‌گردند. طول رشته‌ها با دقت مورد نظر برای جواب تغییر می‌کند. به‌طوریکه طول رشته بزرگتر، دقت بیشتری خواهد داشت. رابطه بین طول رشته و دقت به‌صورت زیر می‌باشد[٨]:

$$(x_i^H - x_i^L)10^{\alpha} \le 2^{\beta} - 1 \qquad (٣)$$

که در آن α دقت مورد نیاز، β طول رشته و x_i^U و x_i^L بترتیب محدودیتهای بالا و پایین می‌باشد که متغیرها می‌توانند اختیار کنند. مقدار هر متغیر x_i با استفاده از رابطه زیر رمزگشایی می‌شود [٨]:

$$x_i = x_i^L + \frac{x_i^U - x_i^L}{2^{\beta} - 1} \sum_{j=0}^{\beta} \bar{\gamma}_j 2^j \qquad (٤)$$

که در آن $\bar{\gamma}_j$ کد باینری در j امین مکان رشته مورد نظر می‌باشد.

یک مرتبه که مرحله کدبندی-رمزگشایی متغیرها به اتمام رسید، مسئله RND با استفاده از الگوریتم ژنتیک به اجرا در می‌آید.

٤-٣- روش کدبندی با طول رشته ثابت

این بخش، استفاده از روش کدبندی با طول رشته ثابت را ارائه می‌کند. هدف مدل، پیدا کردن مجموعه خطوط بهینه از بین مجموعه خطوط کاندید شده می‌باشد. استراتژی انتخاب شده در این روش، در نظر گرفتن یک اندازه معین برای مجموعه خطوط جواب می‌باشد(به عنوان مثال تعداد خطوط در یک جواب قابل قبول). الگوریتم ژنتیک، بهترین خطوط را از بین خطوط کاندید شده انتخاب خواهد کرد. به هر حال، جواب باید با اندازه خطوط در نظر گرفته شده تطابق داشته باشد. به این دلیل باید اندازه بهینه مجموعه خطوط را با انجام یک ارزیابی برروی اندازههای مختلف مجموعه خطوط بدست آورد. تغییر اندازه مجموعه خطوط را باید در یک محدوده معین انجام داد که این محدوده را با فرض این‌که اندازه مجموعه خطوط بهینه در آن واقع می‌شود، معین می‌کنند. اگر رنج و محدوده انتخاب شده کوچک باشد، زمان محاسبات کوتاه خواهد شد. ولی مشکل اینجا است که تعداد خطوطی که باید در حل بهینه باشد، ناشناخته است. بنابراین اندازه مجموعه خطوط در هر تکرار مسئله متفاوت خواهد بود. روند کلی روش حل به شکل زیر ارائه می‌شود:

گام ۱- اندازه مجموعه خطوط را برابر اندازه حداقل مجموعه خطوط قرار دهید.

گام ۲- فرموله کردن جمعیت برای تنظیم اندازه مجموعه خطوط.

گام ۳- انتخاب تصادفی جمعیت اولیه.

گام ۴- ارزیابی تابع هدف.

گام ۵- اگر جواب بهتر شده است، آمار به‌روز آوری گردد.

گام ۶- پیدا کردن تابع سازگاری.

گام ۷- ایجاد جمعیت جدید.

گام ۸- تکرار مراحل ۱ تا ۷ تا هنگامی‌که معیار توقف حاصل شود.

گام ۹- افزایش اندازه مجموعه خطوط.

گام ۱۰ – تکرار مراحل ۲ تا ۹ تا هنگامی‌که اندازه انتخاب شده برای جمعیت برابر حداکثر اندازه مجاز برای مجموعه خطوط گردد.

یک مرتبه که مراحل کدبندی و رمزگشایی(از کد خارج کردن) به اتمام برسد، جمعیت اولیه تولید شده و می‌توان جستجوی ژنتیک را آغاز نمود. مرحله بعد ارزیابی جمعیت می‌باشد که در آن مقدار تابع هدف هر عضو از جمعیت محاسبه می‌گردد. توجه داشته باشید که هر عضو، یک مجموعه از خطوط است که سعی دارد میزانی از تقاضا را، تحت محدودیتهای موجود برآورده سازد. این ارزیابی بوسیله یک مدول ارزیابی خط (REM) انجام می‌شود که در قسمت بعدی توضیح داده می‌شود.

مقدار تابع هدفی که از REM بدست می‌آید، با استفاده از رابطه (۲) به معیار سازگاری تبدیل می‌شود. در مرحله بعد، عملگرهای ژنتیک یعنی تکثیر، ترکیب و جهش برروی این جمعیت اولیه به‌کار برده می‌شود. استعمال این عملگرها، جمعیت جدیدی بوجود می‌آورد که به‌طور مشابهی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگر جواب بهتر شود به‌عنوان بهترین جمعیت جواب ذخیره می‌شود. بدین ترتیب یک سیکل الگوریتم(Generation) کامل می‌شود. در ادامه، الگوریتم تکرار می‌شود تا جواب همگرا شود، که این مسئله، تکرار برای اندازه انتخاب شده مجموعه خطوط را پایان می‌دهد. سپس اندازه مجموعه خطوط افزایش داده می‌شود و تکرارهای پی‌درپی انجام می‌شود. این روند تا وقتی‌که به حداکثر اندازه مجموعه خطوط برسد تکرار می‌شود. در نهایت، بهترین مجموعه از بین مجموعه خطوط به عنوان جواب نهایی انتخاب می‌شود.

٤-٤- مدول ارزیابی خط(REM)

یکی از اجزاء اساسی در حل مسائل طراحی شبکه، یک روند جهت ارزیابی تابع هدف متشکل از فرمولهای ریاضی و دیگر معیارهای کارایی است که در رابطه با هردوی ارائه‌دهندگان و استفاده‌کنندگان یک پیکربندی می‌باشد. برای این منظور ماتریس تقاضای سفر به پیکربندی شبکه که از مجموعه خطوط ممکنه بدست آمده تخصیص داده می‌شود. به‌عنوان یک معیار اولیه در انتخاب خط در شبکه حمل و نقل عمومی– مخصوصاً در نواحی شهری بزرگ که خطوط با هم همپوشانی(اورلپ) دارند- باید از انتقال(Transfer) اجتناب کرد و یا خطوط رقیب را به حداقل رساند[۸]. باج و همکارش در سال ۱۹۹۵ این خصوصیات را ترکیب کرده و یک روند ارزیابی تابع هدف ارائه کردند که روند مشابهی جهت تخصیص و تنظیم تواتر در مطالعه حاضر اقتباس شده است [۱]. REM ، آمار شبکه را در نظر گرفته و مقدار تابع هدف را با استفاده از رابطه (۱) بدست می‌آورد. تابع هدف زمان سفر را بر حسب دقیقه هم برای مسافرین و هم اتوبوسها در یک مقدار واحد ارائه می‌دهد. مجموع زمان سفر به‌عنوان نماینده‌ای برای هزینه کل عمل خواهد نمود. این مسئله بوسیله تبدیل مدت زمان

بهره‌برداری از اتوبوس بـه هـم ارز زمـان سـفر مسـافر و بـا استفاده از ضرایب ثابت C1 و C2 که در رابطه (۱) اسـتفاده شده صورت مـی‌پذیـرد. مقـادیر اسـتفاده شـده در مطالعـه حاضر عبارتند از C1 =۱ و C2=۱۲ کـه از مطالعـات قبلـی بدست آمده است[۲]. حداکـثر تواتـر مجـاز ۳۰ اتوبـوس در ساعت، حداقل تواتر مجاز ۱/۵ اتوبوس در سـاعت، حداکـثر فاکتور بارگذاری(Load Factor) برابـر ۱، جریمـه انتقـال ۱۰ دقیقه و ظرفیت نشسـته ۶۰ نفـر بـرای هـر اتوبـوس از دیگر ثابتهایی است که در مطالعه حاضر استفاده شده‌است.

۵- معرفی ناحیه مطالعاتی

به منظور تشریح استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک، یـک قسـمت از شـبکه طـرح تفضیلـی پیشـنهادی منطقـه ۲۲ شهرداری تهران در نظر گرفته شد (شکل ۱)[۱۴]. اطلاعات مربوط به این شبکه خیابانی، شامل مشـخصات مربـوط بـه مبداء- مقصدها، مسیرهای بین این مبادی و مقـاصد، طـول مسـیرها و همچنیـن زمـان سـفر آزاد در مسـیرها، موجـود می‌باشد. شبکه مورد مطالعه از ۱۶ گره مبداء- مقصـد، ۲۵۶ زوج مبداء- مقصد و همچنین ۴۶ کمـان کـه هـر خیابـان دوطرفه نمایانگر دو کمـان جـهت‌دار مسـتقل از هـم اسـت تشکیل می‌گردد. ایـن شـبکه در شـکل (۲) نمـایش داده شده است.

تقاضای سفر بیـن زوجـهای مبـداء- مقصـد بـر حسـب مسافر در ساعت است که در سـاعت اوج آمـار گـیری شـده است. جدول (۱) مشخصات تقاضای سفر مبداء- مقصـد بـر حسب مسافر در ساعت برای ساعت اوج را نشان می‌دهد.

بدلیل اینکه هدف از این مقاله ارائه یک طراحـی دقیـق نیست، بنابراین صرفاً جهت نمایش و بررسی نحوه عملکـرد، مدل ارائه شده برروی یک مجموعه خطوط کـاندید کـه بـه صورت تصادفی ایجاد شده‌اند اجرا می‌گردد. ایـن مجموعـه شامل شماره خطوط کاندید و گره‌های تشکیل دهنـده آنـها می‌باشد. این مجموعه نیز قسمتی از داده‌های ورودی مورد نیاز مدل را تشکیل می‌دهند. تعـداد ایـن خطـوط ۳۱ عـدد می باشد که در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

۶- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

قبل از استفاده از مدل، نیاز به شناسـایی پارامترهـای موثـر در کارایی الگوریتم ژنتیک می‌باشـد کـه عبـارتند از: انـدازه جمعیت، احتمال ترکیب، احتمـال جـهش و معیـار توقـف. برای مطالعه تـاثیر انـدازه جمعیـت، اجراهـای متعـددی بـا اندازههای جمعیت مختلـف از ۱۰ تـا ۵۰۰ انجـام شـد کـه نتیجه در شکل (۳) ارائه شده است. از ایـن شـکل می‌تـوان دریافت که با افزایش اندازه جمعیت، نرخ همگرایی افزایـش میابد. از طرف دیگر، زمان محاسبات نیز بـا افزایـش انـدازه جمعیت افزایش میابد. با توجه به شکل، نـرخ همگرایـی در حوالی جمعیت ۵۰ کمترین می‌باشد بـه ایـن دلیـل انـدازه جمعیت در این مطالعه برابر ۵۰ در نظر گرفته شد.

به طور مشابه برای مطالعه تاثیر احتمال ترکیب روی میزان کارایی الگوریتم، اجراهای متعددی بـا احتمالـهای ترکیـب مختلف از ۰/۴ تا ۰/۸ انجام گرفت کـه نتـایج آن در شـکل (۴) نشان داده شده‌است. با توجه به شـکل، مقـدار ۰/۶ بـه عنوان بهترین مقدار بدست می‌آید.

بـه طـور معمـول در الگوریتـم ژنتیـک از دو معیـار توقـف استفاده می‌شود. اولین معیار، همگرا شدن مقدار تابع هـدف می‌باشد به این معنی که اگر میزان ارتقا وبهتر شدن جواب از یک مقدار تعیین شـده‌ای کمـتر باشـد، تکـرار الگوریتـم متوقف می‌شود. معیار دوم، تعداد تکرارهـا می‌باشـد کـه در این مطالعه از این معیـار اسـتفاده شـده اسـت. بـه منظـور تعیین تعداد تکرار مورد نیاز، اجراهای آزمایشی بیـن ۳۰ تـا ۲۰۰ انجام شد. با توجه به نتایج حاصل شده، مقدار بهینـه در کمتر از ۱۰۰ تکرار حاصل می‌شود.

۷- نتایج حاصله از مطالعـه مـوردی بـا کمک مدل ژنتیک

مدل ارائه شده برروی ناحیه مورد مطالعه وبا تکرار برای اندازه مجموعه خطوط از ۲ تا ۱۰، مورد استفاده قرار گرفت. چون به نظر می‌رسد که تعداد خطوط در حل بهینه در این محدوده قرار دارند. نحـوه تغییـر تـابع هـدف در شـکل (۵) نشان داده شده است. در ابتدا وبـا افزایـش انـدازه خطـوط، جواب بهبود پیـدا می‌کنـد (یـادآوری میشـود تـابع هـدف مسئله از نوع کمینه سازی اسـت) ولـی در ادامـه و پـس از رسیدن به مقدار بهینه توسط ۵ خط، افزایش بیشتر انـدازه مجموعه خطوط تأثیری در بهبود تابع هدف ندارد.

مجموعه خطوط بدست آمده و ترکیـب گرهـی آنـها در جدول (۳) ارائه شده اند. همانطور که عنوان شد، اجرای این مدل بر روی ناحیه مورد نظر صرفاً به منظور نمـایش مـدل بوده وهدف طراحی دقیق نیست.

با بررسی مجموعه خطوط جواب بدست آمـده ملاحظـه می‌شود که این مجموعه، پوشـش مناسـبی بـر روی شـبکه خیابانی دارد و همچنین تقـاطع و همپوشـانی خطـوط نـیز مناسب می‌باشد، به‌طوریکـه امکـان انتقـال بیـن خطـوط و دسترسی به اکثر نقاط شبکه فراهم می‌باشد.

نتایج بدست آمده حاکی از کارایی کدبنـدی متغیرهـا و پروسه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در حل مسـئله طراحـی شبکه خطوط اتوبوسرانی می‌باشـد. ایـن موضـوع دورنمـای

خوبی را برای استفاده از الگوریتم ژنتیک در دیگر مسائل برنامه‌ریزی و طراحی موجود در سیستم حمل ونقل نمایان می‌سازد.

۸-ملاحظات پایانی

کارآیی موثر و نیرومندی الگوریتمهای ژنتیک در حل مسائل، بدلیل مزیتها و ویژگیهای خاصی است که در این الگوریتم وجود دارد که تعدادی از آنها به شرح زیر می‌باشند:

از آنجا که الگوریتم ژنتیک به اطلاعات مشتق پذیر احتیاج ندارد و از کد بندی متغیرها به جای مقادیر آنها استفاده می‌نماید مسائل را می‌توان به شکلی فرمول بندی مجدد نمود که موثرتر، کارآمدتر و نیز ساده‌تر از مسئله اصلی قابل محاسبه و حل باشد. همچنین استفاده از الگوریتم ژنتیک باعث کاهش تعداد متغیرها، قیود و محدودیتها در بسیاری از مسائل می‌گردد که این بواسطه دو خاصیت منحصر به فرد الگوریتم ژنتیک می‌باشد. اولاً، الگوریتم ژنتیک اجازه یک عملکرد مرحله به مرحله را می‌دهد که باعث حذف تعدادی از قیود و محدودیتهای مسئله خواهد شد. ثانیاً، الگوریتم ژنتیک از کدبندی متغیرهای مسئله استفاده می‌کند که این امر اجازه می‌دهد که مرزها و محدوده‌های متغیرهای مسئله به‌طور مستقیم در روند کدبندی لحاظ شوند که این امر نیز باعث کاهش محدودیتها و قیود مسئله می‌گردد. از خصوصیات دیگر الگوریتم ژنتیک قابلیت کار آن برروی چند مسئله به طور همزمان و همچنین برروی یک مجموعه از جوابهای ممکن مسئله است که بواسطه آن جستجو برروی یک دامنه وسیع از نقاط فضای جواب آغاز و روند جستجو قوی و بدون انحراف می‌گردد.

در انتها باید عنوان نمود که در بسیاری از مسائل، جهت بدست آوردن جواب نزدیک به بهینه در یک مدت زمان محاسباتی کم و قابل قبول و همچنین با منابع محاسباتی و اطلاعاتی معقول، می‌توان از الگوریتمهای ژنتیک به طور موثری استفاده نمود. که جا دارد متخصصان و کارشناسان دیگری در این مورد تحقیق نموده و زمینه استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بخشهای دیگر علوم مهندسی و بخصوص مهندسی حمل و نقل و ترافیک فراهم آورند. توسعه بیشتر مدل ارائه شده در این مطالعه و همچنین استفاده از الگوریتم ژنتیک در زمانبندی بهینه سیستم حمل و نقل عمومی (با توجه به مطالعه انجام شده در مرجع شماره ۴)، می‌تواند به عنوان موضوع تحقیقات آتی مد نظر محققان قرار گیرد.

جدول (۱) تقاضای سفر یک ساعت اوج (نفر ـ ساعت)(۱٤)

I/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	701	425	423	427	351	352	495	140	75	286	148	37	45	17
2	700	0	142	285	280	216	211	285	77	98	355	74	76	43	29
3	426	143	0	421	285	214	76	353	149	116	288	144	99	57	56
4	424	288	425	0	563	425	77	75	286	100	145	74	78	57	59
5	424	281	285	566	0	707	705	566	421	282	424	148	77	56	55
6	385	217	213	424	75	0	425	424	426	148	287	283	57	48	49
7	357	216	71	78	705	429	0	422	286	284	288	212	74	73	47
8	495	286	357	71	566	428	421	0	286	423	287	145	142	71	75
9	144	76	141	283	429	424	284	286	0	288	212	211	148	85	102
10	78	103	115	98	284	146	281	428	286	0	427	219	212	216	220
11	287	353	287	141	425	284	287	284	211	422	0	425	288	283	286
12	141	75	149	77	143	285	214	148	216	212	428	0	281	218	213
13	38	79	100	74	78	57	76	141	145	218	284	286	0	287	281
14	45	47	58	56	57	43	71	77	85	216	286	210	284	0	281
15	18	28	57	56	58	44	47	79	98	214	281	212	287	285	0
16	77	93	115	99	284	142	287	421	283	282	428	214	215	210	218

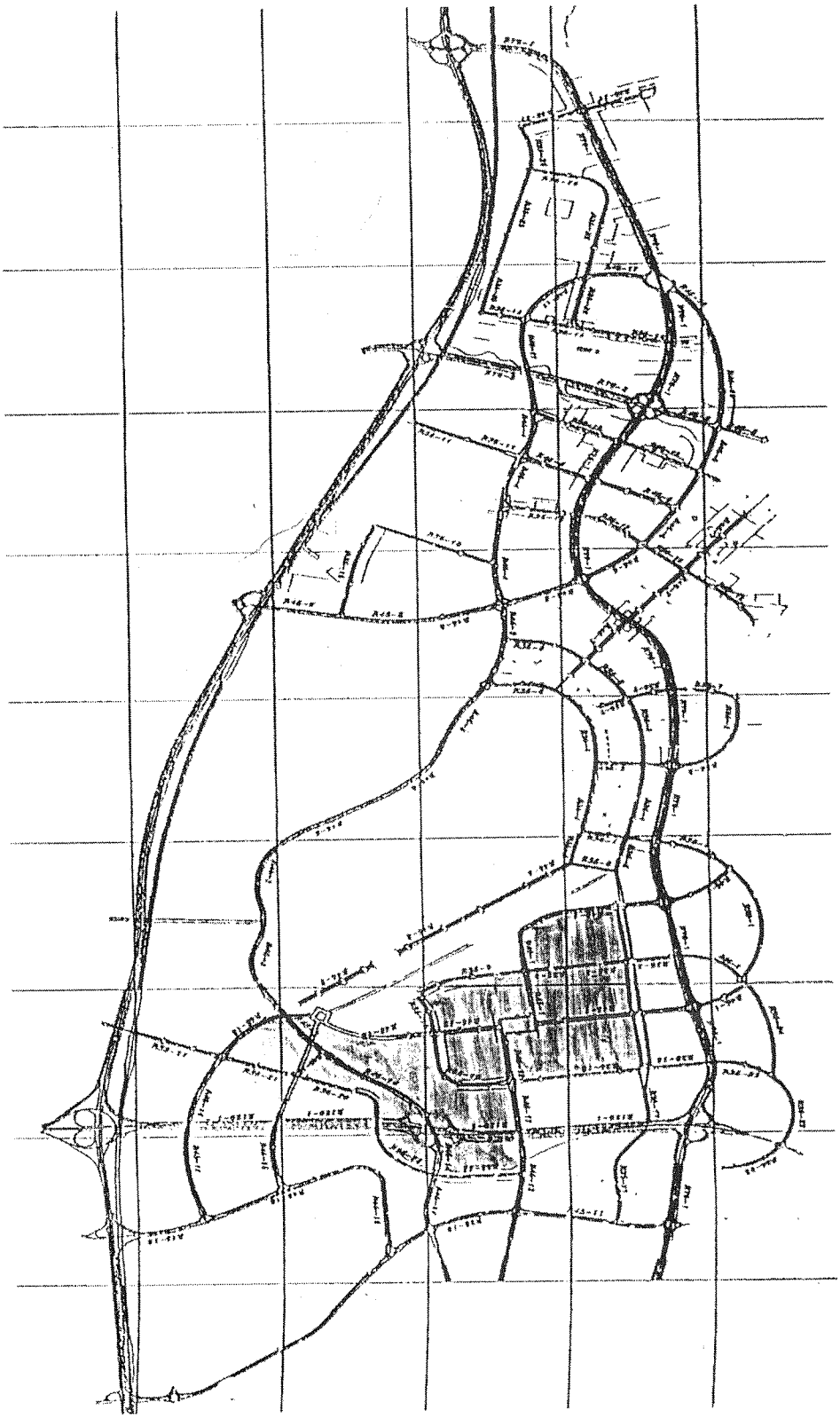
جدول (۲) مجموعه خطوط کاندید *

شماره خط	مبدأ خط	مقصد خط	ترکیب گرهی خط
1	1	4	1,2,3,4
2	1	4	1,2,7,3,4
3	3	10	3,4,5,10
4	3	10	3,7,6,5,10
5	3	10	3,7,6,9,5,10
6	1	5	1,2,3,4,5
7	1	5	1,2,8,7,6,5
8	1	5	1,,3,7,6,5
9	1	5	1,8,7,6,5
10	1	5	1,8,7,3,4,5
11	13	16	13,12,16
12	13	16	13,14,16
13	13	16	13,14,15,12,16
14	5	16	5,10,16
15	5	16	5,9,15,12,16
16	5	16	5,9,15,14,11,16
17	5	16	5,9,15,14,13,12,16
18	14	10	14,11,16,10
19	14	10	14,13,12,16,10
20	14	10	14,15,12,16
21	8	5	8,7,6,5
22	8	5	8,7,6,9,5
23	8	5	8,9,5
24	7	12	7,6,9,15,12
25	7	12	7,6,5,10,16,12
26	7	12	7,6,5,9,15,12
27	7	12	7,,6,9,15,14,13,12
28	8	10	8,7,6,5,10
29	8	10	8,7,6,9,5,10
30	9	13	9,15,14,13
31	9	13	9,15,12,13

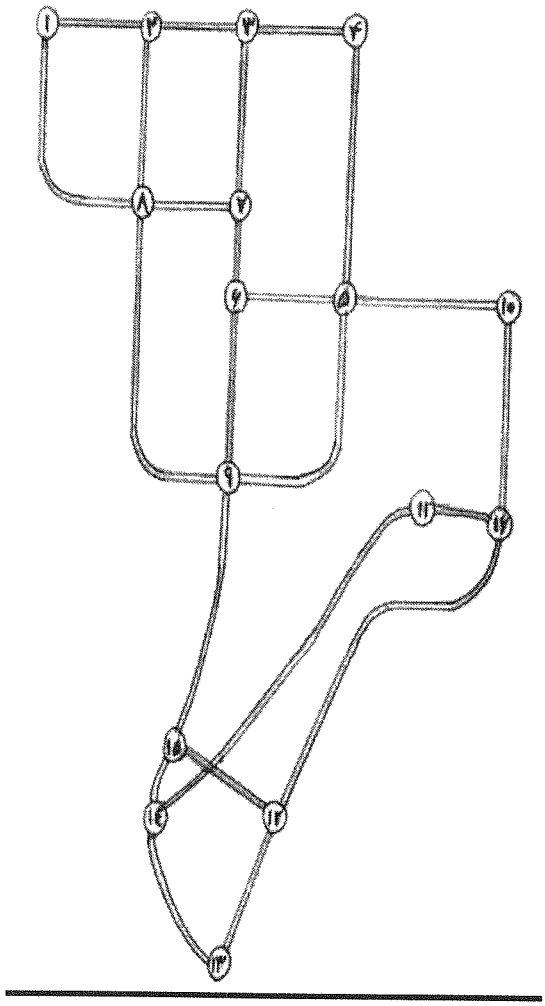
* این مجموعه خطوط به صورت تصادفی تولید شده‌اند.

جدول (۳) مجموعه خطوط جواب بدست آمده از اجرای مدل.

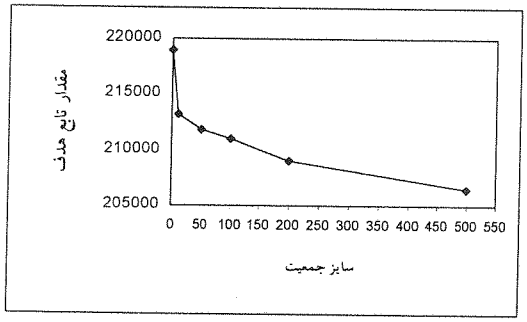
شماره خط	مبدأ خط	مقصد خط	گره‌های موجود بر روی مسیر خط
۲۰	۱۴	۱۰	۱۴ – ۱۵ – ۱۲ – ۱۶ – ۱۰
۲۳	۸	۵	۸ – ۹ – ۵
۲۵	۷	۱۲	۷ – ۶ – ۵ – ۱۰ – ۱۶ – ۱۲
۱۱	۱۳	۱۶	۱۳ – ۱۲ – ۱۶
۶	۱	۵	۱ – ۲ – ۳ – ۴ – ۵



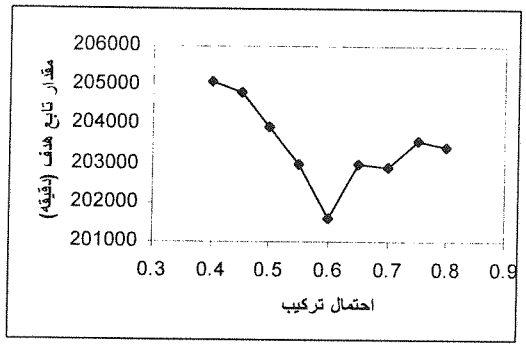
شکل (۱) شبکه مورد مطالعه (۱٤).



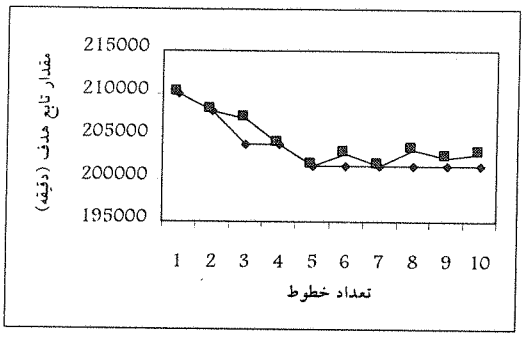
شکل (۲) شبکه مورد مطالعه (۱٤).



شکل (۳) شبکه مورد مطالعه.



شکل (٤) شبکه مورد مطالعه.



شکل (٥) شبکه مورد مطالعه.

مراجع

[1] Baaj, M.H. and Mahmassani, H.S. "Hybrid Route Generation Heuristic Algorithm for the Design of Transit Networks." Transp. Res. Part C, 3(1), pp. 31-50, 1995.

[2] Bansal, A.N., "Optimization of Bus Route Network For Fixed Spatial Distribution." Scientific Management of Transport Systems, N.K. Jaiswal, ed., North Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 346-355, 1981.

[3] Ceder, A., and Wilson, N.H.M. (1986). " bus Network Design." Transp. Res. Part B, 20(1), 331-344.

[4] Chakroborty, P. , Deb ,K. , and Subrahmanyam, P.S. (1995)." Optimal Scheduling of Urban Transit System Using Genetic Algorithms." J. Transp. Engrg. ASCE, 121(6), 544-553.

[5] Chua, T.A. (1984). "The Planning of Urban Bus Route and Frequencies: a Survey." Transportatiom, amsterdam, the Netherlands, 12, 147-172.

[6] Dusan, T., Malica, K., and Coran, P. (1994). "The Potential Use of Fuzzy Set Theory in Airline Network Design."

[7] Furth, P. G., and Wilson, N.H.M. (1981). "Setting Frequencies For Bus Routes: Theory and Practice." Transp. Res. Rec. No. 818, 1-7.

[8] Goldberg, D.E., "Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning." Addison-wesley publishing co. Massachusetts , 1989.

[9] Han, A.f., and Wilson, N.H.M. " The Allocation of Buses in Heavy utilized Networks With Overlapping Routes." Transp. Res. Part B, 16(3), 221-232, 1982.

[10] Holland, J.H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems." the University of Michigan press, Ann arbor, 1975.
[11] Kochur, G., and Hendrickson, C. (1982). " Design of Local Bus Service With Demand Equilibration." Transp. Sci., 16(2), 149-170.
[12] Nes, R., Hamerslag, R., and Immers, B.H. (1986). "Design of Public Transport Networks." Transp. Res. Rec. No. 1202, 74-83.
[13] Steenbrink, P.A. (1974). Optimization of Transport Network. John Wiley & sons, London, England.
۱۴- سرشار، م.، "ارزیابی و تحلیل سیستم حمل و نقل همگانی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، راه و ترابری، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ۱۳۷۷.