



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۷۹ تا ۹۰
Vol. 46, No. 2, Winter 2014, pp. 79- 90



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

طراحی شبکه اتوبوسرانی با در نظر گرفتن نقاط تغییر خط

افشین شریعت مهیمنی^{۱*}، مجید شالفروش^۲

۱- استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

(دریافت ۱۳۹۰/۱۲/۲۴، پذیرش ۱۳۹۲/۱۰/۱۷)

چکیده

طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی اولین گام از برنامه ریزی سیستم اتوبوسرانی شهری می باشد. با توجه به تاثیر طراحی شبکه خطوط بر سایر گام های طراحی شبکه اتوبوسرانی نظیر تدوین جدول زمان بندی، تخصیص ناوگان و تخصیص خدمه این مرحله از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. یکی از مواردی که در طراحی شبکه خطوط مشخص می شود، مکان نقاط تبدالی می باشد که در طراحی های شبکه معمول تنها به بهینه سازی پارامترهایی نظیر زمان سفر مسافران پرداخته شده و به موقعیت این نقاط توجهی نمی شود. موقعیت نقاط تبادل سفر که نتیجه مرحله طراحی شبکه است در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله به طراحی شبکه همگانی بر اساس ایجاد محدودیت برای تبادل مسافر در نقاط شبکه پرداخته شده است. روش ارائه شده در این تحقیق بر مبنای الگوریتم ژنتیک می باشد که بر روی شبکه فرضی به کار گرفته شده است. نتایج به دست آمده نشان داد در نظر گرفتن محدودیت برای تبادل مسافر در هر نقطه، در مکان نقاط تبدالی تاثیر گذار است.

کلمات کلیدی

طراحی شبکه اتوبوسرانی، الگوریتم ژنتیک، نقاط تبدالی، ظرفیت تبادل سفر.

* نویسنده مسئول و عهدہ دار مکاتبات Email: shariat@iust.ac.ir

۱- مقدمه

سیستم اتوبوسرانی در اکثر شهرهای جهان به عنوان مهمترین سیستم حمل و نقل همگانی به کار گرفته می‌شود اما در شهرهایی که از سیستم‌های ریلی برای حمل و نقل برخوردارند نیز نقش سیستم اتوبوسرانی در همکاری با سیستم ریلی غیر قابل انکار بوده و تنها با وجود یک سیستم اتوبوسرانی مطلوب است که سیستم‌های ریلی به موفقیت دست پیدا می‌کنند. در بسیاری از شهرها با بافت قدیمی در مرکز شهر یک ناحیه مرکزی تجاری وجود دارد که تولید کننده و جذب کننده بخش عمده‌ای از سفرهای شهر می‌باشد. وجود خیابان‌های کم عرض و دارای ظرفیت کم از مشکلات این نقاط می‌باشد. به دلیل تولید و جذب بالای سفرها در این نقاط بیش‌تر خطوط از این نقاط عبور می‌کنند و این سبب می‌شود تا علاوه بر تقاضای تولید شده توسط این نقاط تقاضایی که مقصد و مبدا آن‌ها در این نقاط نمی‌باشد برای تبادل به این نقاط وارد گردند که این امر سبب توقف بیش‌تر اتوبوس‌ها در این نقاط می‌شود که خود به مشکلات ترافیکی دامن می‌زند. همچنین تعداد بالای مسافرانی که به این نقاط وارد و یا خارج می‌شوند سبب شلوغی بیش از اندازه این مناطق خواهد شد و لزوم تاسیس ایستگاه‌های بزرگتر در این نقاط را افزایش خواهد داد که ممکن است به علت هزینه بالای ایجاد این ایستگاه‌ها و محدودیت‌های ترافیکی و یا وجود اماکن تاریخی و مذهبی در این مناطق میسر نباشد. لذا لازم است تا محدودیت‌های ناشی از میزان محدودیت در تبادل سفر در ایستگاه‌ها در نظر گرفته شود.

طراحی شبکه اتوبوسرانی شامل پنج مرحله طراحی خطوط، تنظیم تواتر، تدوین جدول زمان بندی، تخصیص خدمه و تخصیص ناوگان می‌باشد [۷]. اولین مرحله از این فرآیند شامل طراحی مجموعه خطوط اتوبوسرانی می‌باشد که مکان نقاط تبدالی و جانمایی خطوط از خروجی‌های این مرحله می‌باشند.

اولین مورد طراحی شبکه اتوبوسرانی به مقاله ارائه شده توسط پتز در ۱۹۲۶ باز می‌گردد [۲۵]، اما شاید آغاز روند طراحی شبکه اتوبوسرانی را بتوان اواخر دهه ۶۰ میلادی و دهه ۷۰ در نظر گرفت. در این سال‌ها افراد مختلف به ارائه انواع روش‌ها برای طراحی شبکه مسیرها پرداختند. مندل در ۱۹۷۹ به ارائه روشی برای طراحی شبکه اتوبوسرانی پرداخت که مطالعه موردی معرفی شده توسط او بعدها بارها توسط محققان مختلف به عنوان شبکه پایه مورد استفاده قرار گرفت [۲۱]. طراحی شبکه اتوبوسرانی در دهه ۸۰ به وسیله محققان مختلف پی گرفته شد، عمده این روش‌ها بر مبنای روش‌های تحلیلی و ریاضی و ابتکاری بود. از جمله روش‌های ارائه شده در این سال‌ها می‌توان به روش‌های

ارائه شده توسط سدر و پرشکر در ۱۹۸۳ برای جانمایی ایستگاه‌های اتوبوس [۶] و سدر و ایزائیلی در ۱۹۸۹ در زمینه طراحی خطوط شبکه اتوبوسرانی [۱۸] اشاره کرد. اما بی‌شک مهم‌ترین روش ارائه شده در این دوران توسط سدر و ویلسون ارائه شد [۷]. آن‌ها در تحقیق خود چارچوب کلی طراحی شبکه اتوبوسرانی را ارائه کردند که بعدها اغلب روش‌های ارائه شده توسط محققان مختلف بر اساس آن استوار گشت. دهه ۹۰ را شاید بتوان به عنوان دهه استفاده از روش‌های نوین در طراحی شبکه اتوبوسرانی دانست. در این دهه از روش‌های ریاضی و تحلیلی فاصله گرفته شد و محققان به استفاده از روش‌های ابتکاری و فرآیندکاری روی آوردند. در ۱۹۹۱ باج و مهمسنی ادعا کردند که به علت ماهیت شبکه اتوبوسرانی از جمله چند هدفه بودن، غیر خطی بودن و غیر محدد بودن، استفاده از روش‌های ریاضی برای حل شبکه اتوبوسرانی میسر نیست [۴]. در طی این دهه محققانی همچون چکرابرتی [۹] و پانتیک [۲۴] با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک به فعالیت در زمینه طراحی شبکه اتوبوسرانی پرداختند. یکی از مهم‌ترین روش‌ها در طی این سال‌ها توسط باج و مهمسنی در ۱۹۹۵ ارائه شد [۵] که بوسیله بسیاری از افراد که در زمینه طراحی شبکه فعالیت می‌کنند مورد استفاده قرار گرفته‌است. با ورود به قرن جدید طراحی شبکه اتوبوسرانی به صورت گسترده‌تری مورد توجه قرار گرفت. چکرابرتی در ۲۰۰۲ به ارائه روشی بر پایه الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه پرداخت [۱۱] و در ۲۰۰۳ نیز شیوه‌ای برای موثر بودن حل شبکه‌های همگانی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک ارائه داد [۱۲]. در سال ۲۰۰۳ نمچای و لاول به ارائه عملگرهای دیگری برای استفاده در الگوریتم ژنتیک پرداختند [۲۳]. ژائو و زنگ در سال ۲۰۰۶ استفاده همزمان از روش سرد و گرم کردن شبیه سازی شده و الگوریتم ژنتیک را مورد بررسی قرار دادند [۲۸] و در سال ۲۰۰۸ به ارائه روشی برای طراحی شبکه، تنظیم سرفاصله و تهیه جدول زمان بندی پرداختند [۲۹]. فن و مکمل در سال ۲۰۰۶ تقاضای متغیر را در شیوه ارائه شده توسط خود که مبتنی بر الگوریتم ژنتیک می‌باشد در نظر گرفتند [۱۴]. از روش‌های قدیمی‌تر در زمینه تقاضای متغیر می‌توان به کار ارائه شده توسط ووچیک در سال ۲۰۰۵ اشاره کرد [۲۰]. در سال ۲۰۱۰ سیپریانی و همکارانش به ارائه روشی برای طراحی شبکه همگانی چند مدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در زمینه شهرهای بزرگ مقیاس پرداختند [۸]. ژتو و وو نیز در سال ۲۰۱۱ الگوریتم ژنتیک را برای حل شبکه اتوبوسرانی برای شهری در هنگ کنگ به کار بردند [۲۷].

طراحی اجزای سیستم همگانی نظیر ایستگاه‌ها از دیگر زمینه‌های مورد مطالعه محققان می‌باشد. سدر، پرشکر و استرن

در سال ۱۹۸۳ به ارائه روشی برای تعیین حداقل تعداد ایستگاه-ها در میانه پیوندها پرداختند [۶]. چکرا برتی در سال ۱۹۹۸ مساله زمان بندی را در شبکه اتوبوسرانی مورد توجه قرار داد [۱۰]. مورای و همکارانش در سال ۱۹۹۸ دسترسی به شبکه و بهبود آن را مورد توجه قرار دادند [۲۲]. چکرا برتی در سال ۲۰۰۳ مساله زمان بندی شبکه را مورد توجه قرار داده است [۱۲] و الدیانی در سال ۲۰۰۴ به ارائه روشی برای تعیین مکان مناسب ایستگاهها در طول یک خط اتوبوسرانی پرداخته است [۳] او روش خود را برای مقطعی از یک جاده در شهر ریاض که برای اتصال به فرودگاه قدیمی این شهر مورد استفاده قرار می گیرد به کار گرفته است. در سال ۲۰۰۴ پوترانتو به تعیین مکان ایستگاهها برای شبکه های موجود با استفاده از روش ریاضی می-پردازد [۱]. مورای و وو زمان سفر و سطح تحت پوشش را مبنای تعیین مکان مناسب ایستگاهها قرار داده اند [۳۰]. دیجوزف و چین علاوه بر تعیین مکان مناسب تعداد مناسب ایستگاهها را نیز به دست آورده اند [۱۳]. در سال ۲۰۱۰ آیبیز و همکارانش به تعیین فاصله مناسب ایستگاهها پرداختند [۱۷] و قنبری و مهدوی امیری در سال ۲۰۱۱ روشی برای تعیین مکان پایانهها ارائه دادند [۱۵].

در طراحی مسافران همواره به کوتاهترین مسیر ممکن که حداکثر تبادل مجاز را رعایت کند تخصیص داده می شوند. حداکثر تعداد تبادل مجاز در اغلب مطالعات صورت گرفته یک تبادل و به ندرت دو تبادل در نظر گرفته شده است. در این مطالعه نیز حداکثر تبادل مجاز یک تبادل در نظر گرفته شده است. در نظر گرفتن محدودیت تعداد مسافر تبدالی برای هر نقطه سبب می شود تا در هنگام محاسبه کوتاهترین مسیر برای تخصیص مسافران به مسیرها هنگامی که نقطه ای به حداکثر ظرفیت تبدالی خود رسید سایر سفرها دیگر نتوانند از آن نقطه به عنوان نقطه تبدالی استفاده کنند و این سبب تغییر مسیر مسافران به سمت مسیرهایی خواهد شد که زمان سفر بیش تری دارند و این سبب افزایش هزینه برای شبکه خواهد شد. در طی فرآیند جستجوی شبکه مسیرهای بهینه مجموعه مسیرهای تولید شده به سمت مسیرهایی با هزینه کمتر گرایش پیدا خواهند کرد و شبکه های تولیدی شبکه هایی خواهند بود که با رعایت محدودیت ظرفیت حداقل هزینه را در بر داشته باشند.

برای حل مساله از تابع هدفی استفاده شده است که مجموع هزینه های زمان سفر، هزینه های اجتماعی، طول خط و سایر هزینه ها را در بر می گیرد. این تابع هدف در کار ارائه شده توسط شریعت و غلامی در سال ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار گرفته است [۲۶]. این تابع در مطالعات مختلفی از جمله توسط رنجبری نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۲]. تابع برابری یا هدف مذکور در معادله زیر معرفی گشته است:

معادله (۱)

$$TCR_r = C_{w,r} + C_{r,r} + C_{o,r} + C_{s,r} + C_{f,r} + C_{m,r}$$

در این تابع هزینه TCR_r هزینه کل مجموعه مسیر r ، $C_{w,r}$ هزینه کل زمان انتظار، $C_{r,r}$ هزینه زمان درون وسیله، $C_{o,r}$ هزینه عملیاتی کل برای مجموعه مسیر r ، $C_{s,r}$ کل هزینه اجتماعی مجموعه مسیر r ، $C_{f,r}$ هزینه ثابت برای مجموعه مسیر و $C_{m,r}$ کل هزینه تعمیر و نگهداری برای

در زمینه طراحی شبکه اتوبوسرانی و اجزای آن دو مطالعه مروری گسترده به وسیله گوئیپیر و هائو [۱۶] در سال ۲۰۰۸ و کپاتسوگلو و کارلافتیس [۱۹] در سال ۲۰۰۹ انجام گرفته است.

با توجه به مطالعات ذکر شده در بالا مشخص می شود تا کنون در طراحی شبکه تاثیر محدودیت های نقاط تبدالی در نظر گرفته نشده است. در حالیکه با توجه به آنچه ذکر شد بی توجهی به این عامل ممکن است سبب کاهش کارایی و یا ناکارآمدی شبکه طراحی شده شود و عملاً از مطلوبیت شبکه همگانی بکاهد. بر همین اساس ارائه روشی برای تعیین مکان نقاط تبدالی در شبکه با توجه به ظرفیت تبادل مسافر در آن نقاط از اهمیت زیادی برخوردار است.

در ادامه ابتدا به تعریف مساله پرداخته شده و تابع هدف مورد استفاده شرح داده می شود، سپس روش به کار گرفته شده برای حل مساله توضیح داده خواهد شد. پس از آن با استفاده از روش معرفی شده مساله ای حل شده و بر روی نتایج بحث انجام می-گردد.

۲- تعریف مساله

برنامه ریزی شبکه اتوبوسرانی از پنج گام تعیین شبکه خطوط، تعیین تواتر، تدوین جدول زمان بندی، تخصیص خدمه و تخصیص ناوگان تشکیل شده است. اولین گام از فرآیند برنامه

مجموعه مسیر می‌باشد.

معادله (۳)

$$F_k = \frac{V_{mfs}}{C_b LF}$$

شکل نهایی این تابع هدف به صورت معادله در خواهد آمد:

معادله (۲)

$$TSC_r = \frac{\lambda_w}{2} \sum_{k=1}^K \frac{P_k}{F_k} + \lambda_r \sum_{k=1}^K \left(\frac{1}{V_{o,k}} \sum_{S=1}^{NS} l_{S,d} P_S \right) + 2(\lambda_o + \lambda_s) \sum_{k=1}^K F_k l_k + 2(\lambda_f + \lambda_m) \sum_{k=1}^K \frac{F_k l_k}{V_{c,k}}$$

در این فرمول V_{mfs} حجم مقطع با بیشترین بار، C_b ظرفیت اتوبوس و LF ضریب بار مجاز می‌باشد.

مجموع دو جمله اول تابع هدف هزینه‌ها مربوط به کاربر و سایر هزینه‌ها هزینه‌های بهره‌بردار اتوبوسرانی و هزینه‌های اجتماعی است. این هزینه‌ها برای همه مسیرهای موجود در شبکه با یکدیگر جمع می‌شوند و هزینه کل برای شبکه به دست می‌آید.

در محاسبه تابع هدف باید محدودیت‌های مساله در نظر گرفته‌شوند. مهم‌ترین محدودیت مطرح شده در این قسمت محدودیت مقدار تبادل در هر نقطه است. این محدودیت به صورت ظرفیت تعداد مسافر قابل تبادل در ساعت برای هر نقطه از شبکه در فرآیند تخصیص مسافران به مسیرها و همچنین محاسبه تابع هدف در نظر گرفته شده است. در تخصیص مسافران به مسیرها هنگامی که ظرفیت تبادل در یک نقطه به حداکثر مقدار خود رسید دیگر سایر مسافران در آن نقطه تغییر خط نمی‌دهند و به سایر نقاط منتقل می‌شوند. این سبب افزایش زمان سفر برای مسافران و افزایش هزینه برای شبکه خواهد شد. برای مقابله با این افزایش هزینه خطوط به سمت نقاط با ظرفیت بیش‌تر گرایش پیدا خواهند کرد. سایر محدودیت‌ها به شرح زیر می‌باشد:

تعیین می‌شود.

همچنین خیابان‌ها همه دوطرفه هستند و اتوبوس می‌تواند در هر دو جهت حرکت کند.

۳- روش حل مساله

با توجه به غیر خطی و غیر محدب بودن مساله طراحی شبکه همگانی [۴]، استفاده از روش‌های ریاضی و تحلیلی نتایج قابل اطمینانی حاصل نمی‌کند و چه بسا حل مساله با استفاده از روش‌های تحلیلی امکان پذیر نباشد [۴]. روش‌های فراابتکاری بر مبنای فرآیند سعی و خطا و امتحان کردن جواب‌های مختلف عمل می‌کنند. در این روش‌ها ابتدا یک جواب اولیه بر مبنای ویژگی‌های مساله به دست می‌آید و سپس این جواب اصلاح می‌شود. این روش‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در هر تکرار به

که در آن P_k تقاضا در مسیر k (مسافر بر ساعت)، $V_{o,k}$ سرعت عملکردی اتوبوس در مسیر k (کیلومتر بر ساعت)، $l_{S,d}$ طول مسیر بین گره S تا مقصد d (کیلومتر)، P_S تقاضای گره S (مسافر بر ساعت)، NS تعداد گره‌ها در مسیر k ، F_k تواتر در مسیر k (اتوبوس بر ساعت)، l_k طول مسیر k (کیلومتر) و $V_{c,k}$ متوسط سرعت رفت و برگشت در مسیر k (کیلومتر بر ساعت) می‌باشد. پارامترهای λ_w ، λ_r ، λ_s ، λ_o ، λ_f و λ_m نیز به ترتیب هزینه‌های واحد تبدیل زمان انتظار، زمان درون وسیله، هزینه‌های اجتماعی، هزینه‌های ثابت، هزینه تعمیر و نگهداری به ریال می‌باشد.

برای محاسبه تواتر در مسیر k از یک فرمول ساده استفاده می‌شود. برای این منظور حجم تقاضای پیوند را بر حجمی که هر اتوبوس می‌تواند انتقال دهد تقسیم می‌گردد، حاصل تعداد اتوبوس مورد نیاز در ساعت خواهد بود. حجم قابل انتقال توسط هر اتوبوس به ضریب بار بستگی خواهد داشت. آنچه در مورد تواتر گفته‌شد در معادله ۳ خلاصه گشته‌است:

$$f_{\min} < F_k < f_{\max}$$

$$N_t < 2$$

$$l_k < t_{\max}$$

$$N_T < N_{tr}$$

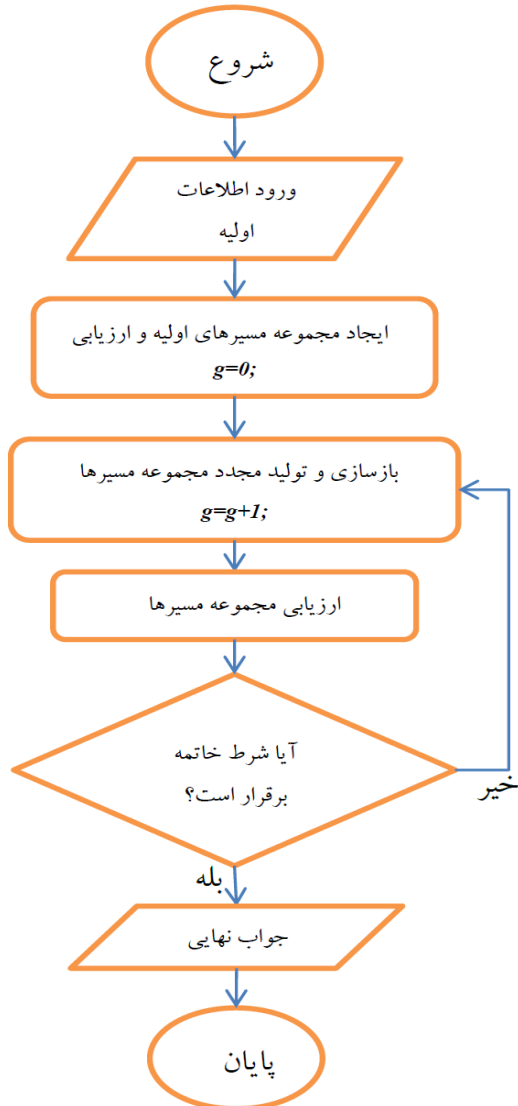
$$C_b = 40$$

$$LF = 1/25$$

$$N_k < n$$

که در آن F_k تواتر در مسیر k ، N_t حداکثر تعداد تبادل در هر مسیر، l_k طول مسیر k به دقیقه، N_k حداکثر نقاط موجود در مسیر k و N_T حداکثر تعداد مسافری است که در یک نقطه تبدالی می‌تواند پوشش داده‌شود. مقادیر f_{\min} ، f_{\max} ، n ، t_{\max} و N_{tr} توسط سیاستگذار سیستم حمل و نقل همگانی

سفر پیوندها، هر خط هنگامی به انتهای خود می‌رسد که یکی از شرایط خاتمه برقرار شود. شرایط خاتمه عبارتند از: ۱- رسیدن تعداد نقاط موجود در هر خط به حداکثر تعداد ممکن، ۲- رسیدن طول زمانی خط به حداکثر طول قابل قبول، ۳- رسیدن خط به نقطه‌ای که دیگر امکان گسترش آن نیست.



شکل ۱: الگوریتم طراحی شبکه اتوبوسرانی

۳-۱-۱- انتخاب نقطه ابتدایی مسیر

فرآیند انتخاب نقطه اولیه در مسیر با توجه به پوشش داده شدن حداکثر تقاضا و به شرح زیر است:
ابتدا تابع فعالیت برای هر گره محاسبه می‌گردد.

معادله (۴)

$$\rho_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

سمت جواب بهینه حرکت کنیم و به جواب مطلوب نزدیک‌تر شویم. تکرار الگوریتم تا رسیدن به تعداد مشخص از سعی‌ها و یا رسیدن به یک تقریب مناسب از جواب ادامه می‌یابد.

کیپاتسوغلو و کارلافتیس [۱۹] در مقاله مروری خود به بررسی انواع روش‌های حل مساله طراحی شبکه همگانی پرداخته‌اند و با توجه به مطالعاتی که انجام داده‌اند نتیجه گرفته‌اند که مناسب‌ترین روش برای حل شبکه همگانی استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

روش حل به کار گرفته شده در این تحقیق بر مبنای الگوریتم ژنتیک می‌باشد. روند به کار گرفته شده در شکل ۱ ارائه شده است. قسمت‌های مختلف این الگوریتم شامل موتور تولید جمعیت، عملگر تلفیق، عملگر جهش، عملگر انتخاب، روش انتخاب والدین برای تولید نسل بعد و تابع هدف می‌باشند.

ساختار ارائه شده در این قسمت در بیش‌تر روش‌های ابتکاری و فراابتکاری مورد استفاده قرار می‌گیرد و عبارت از تولید یک مجموعه مسیر اولیه و اصلاح مسیرها تا رسیدن به جواب نهایی می‌باشد. سه قسمت اساسی این الگوریتم عبارتند از: تولید مجموعه مسیرهای اولیه، بازسازی و تولید مجدد مجموعه مسیرها و ارزیابی مجموعه مسیرها.

در این الگوریتم در نحوه تولید جمعیت اولیه و نحوه انتخاب جمعیت برای نسل بعد نوآوری‌هایی صورت گرفته است و عملگری برای اصلاح مجموعه مسیرها به الگوریتم اضافه شده است. همچنین محدودیت حداکثر طول خطوط در تمام قسمت‌های الگوریتم نظیر جهش و تلفیق اعمال می‌گردد و مانع از تولید خطوط بسیار بلند خواهد شد. مجموعه تغییرات صورت گرفته سبب شده است تا در شرایط یکسان روش ارائه شده نسبت به سایر روش‌های مشابه نتایج مناسب‌تری ارائه نماید.

۳-۱- طراحی مسیرهای اولیه

هدف از طراحی شبکه اتوبوسرانی ایجاد خطوطی است که تقاضای شبکه اتوبوسرانی را تحت پوشش قرار دهد و کمترین هزینه را برای کاربر و بهره‌بردار از سیستم ایجاد کند. طراحی مجموعه مسیرهای اولیه برای دستیابی به این هدف بسیار مهم است. با توجه به این که هزینه کاربر و عامل به شدت از طول شبکه و تقاضای تحت پوشش تاثیر می‌پذیرد، در تولید مسیرهای اولیه نیز باید به این امر توجه نمود به عبارت دیگر باید شبکه خطوط ابتدایی نیز از حداقل طول شبکه و حداکثر تقاضای تحت پوشش برخوردار باشد. بر اساس این ایده طراحی خطوط اولیه بر دو مبنا صورت می‌گیرد: ۱- انتخاب نقطه ابتدایی مسیر با استفاده تقاضای هر گره و ۲- گسترش مسیرها با استفاده از زمان

۲-۳-۲- بازسازی و تولید مجدد مسیرها (تولید نسل

(بعد)

در هر مرحله اگر جواب مطلوب به دست نیامده باشد، باز تولید مسیرها انجام می‌گردد. نمودار به کار گرفته شده برای باز تولید مسیرها در شکل ۲ ارائه شده است.

قسمت‌های مهم‌تر الگوریتم باز تولید مسیرها عبارتند از: انتخاب والدین مناسب، عملیات تلفیق درون رشته‌ای و تلفیق بین رشته‌ای، عملیات جهش و عملیات اصلاح مسیرها. هر یک از این قسمت‌ها در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهند شد.

۳-۲-۱- انتخاب والدین مناسب

مناسب‌ترین والدین آن‌هایی نیستند که کمترین هزینه را در پی داشته باشند. به همین دلیل نوع انتخاب والدین باید به گونه‌ای باشد که مجموعه مسیرهای ضعیف نیز شانس انتخاب شدن داشته باشند. این عامل از قرارگرفتن جواب‌ها در یک نقطه بهینه محلی جلوگیری می‌نماید. همچنین مسیرهای انتخاب شده باید شرط حداقل تقاضای پوشش داده شده را برآورده سازند. شیوه به کار رفته در این پژوهش مبتنی بر انتخاب مسابقه‌ای بوده است. برای انتخاب والدین مناسب برای تولید جمعیت نسل بعد به ترتیب زیر عمل می‌شود:

الف. چینش مجموعه مسیرها در دسته‌های m تایی به صورت تصادفی

ب. محاسبه تابع هدف برای هر کدام از مسیرها در هر دسته

پ. انتخاب مسیری که در دسته خود براننده‌تر است (کمترین میزان تابع هزینه را داراست) با در نظر گرفتن حداکثر تقاضای پوشش داده نشده مجاز

در این نحوه انتخاب والدین برای نسل بعد آن مجموعه مسیری که کمترین میزان تابع هدف (تابع هزینه) را داراست قطعاً انتخاب می‌شود زیرا در هر گروهی که قرار بگیرد از سایر مجموعه مسیرها هزینه کمتری خواهد داشت (مجموعه مسیر نخبه). همچنین $m-1$ مسیری که بیشترین هزینه را دارا هستند هیچ شانسی برای انتخاب شدن ندارند. در پایان این مرحله والدین مناسب که تعداد آن‌ها m برابر از جمعیت نسل خود کمتر است برای تولد فرزندان مناسب برای نسل بعد به دست می‌آیند.

۳-۲-۲- الگوریتم تلفیق بین رشته‌ای

در الگوریتم تلفیق بین رشته‌ای مسیرهای موجود در هر مجموعه مسیر با یکدیگر جابجا می‌گردند. حاصل این کار تولد

که در آن d_i تقاضای بین دو گره i و j می‌باشد. پس از این مرحله نیمی از نقاطی که سطح فعالیت بالاتری دارند را به عنوان مجموعه نقاط با سطح فعالیت بالاتر و یا INS در نظر گرفته می‌شود.

پس از آن احتمال انتخاب شدن هر نقطه با توجه به تقاضای نقاط محاسبه می‌شود.

معادله (۵)

$$P_i = \frac{\rho_j}{\sum_{j \in INS} \rho_j}$$

سپس تعدادی از نقاط با بالاترین احتمال به عنوان نقاط مجموعه کاندید برای اولین نقطه انتخاب شده و سرانجام انتخاب اولین نقطه از بین مجموع نقاط کاندید به کمک الگوریتم چرخ رولت انتخاب می‌گردد.

۳-۱-۲- گسترش نقاط

گسترش نقاط با توجه به حداقل شدن زمان سفر برای شبکه صورت می‌گیرد. این روند مطابق زیر تعریف شده است:

ابتدا بعد از انتخاب هر گره برای انتخاب گره بعد مجموع زمان سفرهای پیوندهای خروجی از گره محاسبه می‌گردد.

سپس نسبت زمان سفر هر پیوند به زمان سفر مجموع پیوندهای خروجی از گره محاسبه می‌شود و نسبت α_{ij} از معادله ۶ به دست می‌آید.

معادله (۶)

$$\alpha_{ij} = \frac{t_{i,j}}{\sum_{j \in T} t_{i,j}}$$

T مجموعه نقاطی است که به پیوندهای خروجی از نقطه i متصل است و $t_{i,j}$ زمان سفر در هر کدام از پیوندهای خروجی است.

بعد از آن احتمال انتخاب شدن هر گره j با توجه به نسبت α برای پیوند اتصال از معادله ۷ محاسبه می‌شود:

معادله (۷)

$$\delta_{ij} = 1 - \alpha_{ij}$$

با توجه به احتمال هر نقطه برای انتخاب شدن نقطه بعدی انتخاب می‌شود.

تعداد نقاطی که در آن‌ها تلفیق درون رشته‌ای صورت می‌گیرد بستگی به تعداد خطوط موجود در شبکه دارد به طوریکه با بزرگتر شدن شبکه تلفیق در نقاط بیش‌تری اتفاق می‌افتد تا مسیرهای جدید بیشتری جایگزین گردند. دو خط تنها در صورتی ترکیب می‌شوند که خطوط جدیدی که ایجاد می‌شوند شرایط حداقل طول مسیر را نقض نکنند.

۳-۲-۴- عملیات جهش

جهش در الگوریتم ژنتیک جزء اساسی‌ترین قسمت‌ها می‌باشد که با تولید تصادفی جواب مانع از ماندن در یک نقطه بهینه محلی می‌گردد. در الگوریتم جهش به کار رفته برای این روش یک نقطه در همسایگی خط به تصادف به آن وارد می‌شود و یا یک نقطه به تصادف از خط خارج می‌شود. احتمال اتفاق افتادن این عملیات به نرخ جهش نام برده می‌شود که عددی به نسبت کوچک خواهد بود. این نرخ در این تحقیق به طور پیش فرض ۰,۰۱ در نظر گرفته شده‌است.

۳-۲-۵- عملیات اصلاح مسیرها

با توجه به ماهیت الگوریتم معرفی شده، ممکن است در مرحله جهش و یا تلفیق درون رشته‌ای خطوطی به وجود بیایند که قبلاً در مجموعه مسیرها وجود داشته باشند. هر چند این مجموعه مسیرها ممکن است از روند محاسبات حذف شوند اما خود سبب می‌شوند تا از سرعت همگرایی مساله کاسته شود. همچنین انتقال این مسیرها به نسل بعد خود موجب تشکیل فرزندان دارای مشکل خواهد شد. بر همین اساس به الگوریتم عملگری به نام عملگر اصلاح اضافه شده‌است. این الگوریتم یا عملگر بدین منظور به شیوه طراحی اضافه شده‌است تا از تولید جواب‌هایی که منجر به افزایش زمان حل می‌گردند، جواب‌هایی که حداقل‌ها را رعایت نمی‌کنند و جواب‌های تکراری جلوگیری شود

۴- مطالعه موردی

در این قسمت شبکه معرفی شده به وسیله مندل به عنوان شبکه مورد مطالعه انتخاب شده‌است (شکل ۳). این شبکه توسط محققین زیادی نظیر چکرابرتی، فن و مامفورد و سایرین به عنوان شبکه پایه مورد استفاده و تحلیل قرار گرفته‌است. ابتدا این شبکه بدون در نظر گرفتن محدودیت تبادل برای نقاط حل می‌شود و سپس محدودیت ظرفیت برای نقاط تبدالی در نظر گرفته می‌شود.

۴-۱- طراحی شبکه پایه

همانطور که پیش از این گفته شد ابتدا شبکه مندل (شکل ۳)

دو فرزند جدید است. همچنین در طی فرآیند تلفیق ۵۰ درصد از خطوط با یکدیگر جابجا می‌شوند. احتمال اتفاق افتادن تلفیق بین رشته‌ای (β)، عددی مشخص است که توسط برنامه ریز تعیین می‌شود و در این مطالعه به صورت پیش فرض ۰/۵ در نظر گرفته شده‌است. پس از انجام الگوریتم تلفیق به تعداد مشخصی از رشته‌ها کپی تهیه می‌شود. این امر به این سبب است که در طی فرآیند تلفیق درون رشته‌ای تعداد نقاط بیش‌تری قابلیت ترکیب با یکدیگر داشته‌باشند و همچنین جمعیت نسل بعد نسبت به جمعیت اولیه تغییری نداشته باشد. این تعداد به اندازه شبکه مورد بررسی و تعداد خطوط جدیدی که در الگوریتم تلفیق درون رشته‌ای ایجاد می‌شوند بستگی دارد.

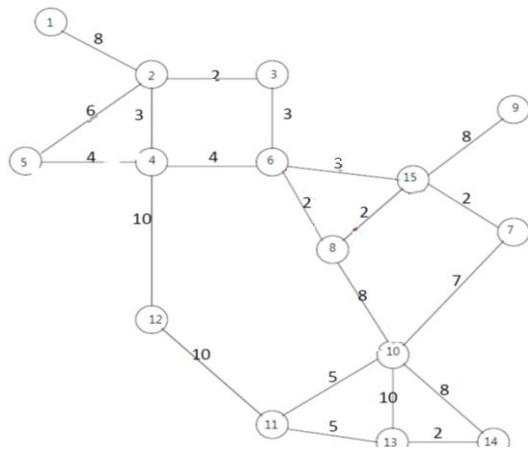


شکل ۲: الگوریتم باز تولید مسیرها

۳-۲-۳- الگوریتم تلفیق درون رشته‌ای

در تلفیق درون رشته‌ای دو خط موجود در یک مجموعه جواب که با یکدیگر تلاقی دارند از محل تلاقی با یکدیگر ترکیب شده و فرزندان آن‌ها ایجاد می‌گردند.

پس از آن با ثابت نگه داشتن تعداد خطوط به تغییر جمعیت افراد در هر نسل پرداخته می‌شود و میزان تابع هدف در حالت به دست می‌آید.



شکل ۳: شبکه به کار گرفته شده توسط مندل

را بدون توجه به محدودیت ظرفیت برای نقاط حل می‌نماییم و سپس به ایجاد محدودیت برای ظرفیت برای نقاط می‌پردازیم.

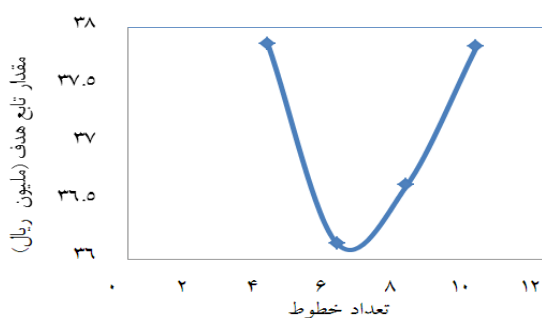
۲-۴- ورودی‌های مساله

برای حل مساله باید ضرایب تابع هدف، حداکثر طول خطوط و ضریب بار مسافر مشخص باشد. این مقادیر در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند. با توجه به این‌که تعداد خطوط و تعداد نفرات جمعیت در هر نسل از جمله ورودی‌های الگوریتم معرفی شده می‌باشند، ابتدا لازم است تا به تعیین آن‌ها پرداخته شود. بنابراین ابتدا باید مساله با تعداد کمتری از تکرارها حل شود و نتایج برای حل جامع مساله مورد استفاده قرار گرفته شود. برای این منظور حالت پایه‌ای با تعداد افرادی معادل ۶۰ نفر در هر نسل و همچنین ۸ خط اتوبوسرانی در نظر گرفته می‌شود. سپس با ثابت نگه داشته شدن تعداد افراد در هر جمعیت به تغییر تعداد خطوط پرداخته می‌شود و برای هر حالت مقدار تابع هدف به دست خواهد آمد. در هر مورد حالتی که کمترین مقدار تابع هدف را به خود اختصاص می‌دهد به عنوان حالت مطلوب انتخاب می‌شود. تعداد تکرار الگوریتم برابر با ۵۰ تکرار در نظر گرفته شده‌است. نتایج بر روی دو شکل ۴ و ۵ به نمایش در آمده‌اند.

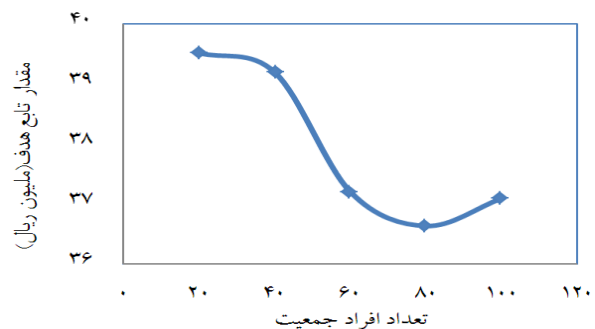
جدول ۱: مشخصات در نظر گرفته شده برای تحلیل شبکه

مشخصه	λ_w^*	λ_r	λ_s	λ_o	λ_f	λ_m	حداکثر طول خط	ضریب بار مسافر
مقدار	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۳۸۴۰	۳۸۴۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۳۵ دقیقه	۱،۲۵

*ضرایب بر حسب ریال می‌باشند.



شکل ۵: نمودار تاثیر جمعیت در هر نسل بر روی میزان تابع هدف



شکل ۴: نمودار تاثیر تعداد خطوط بر میزان تابع هدف

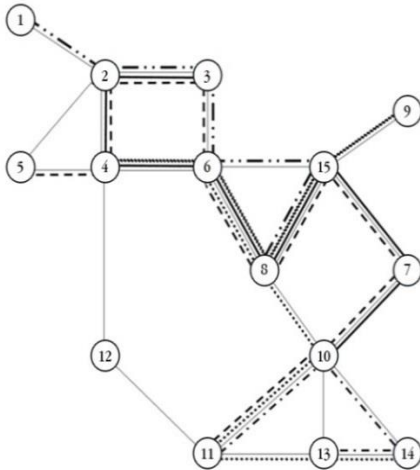
اجرای آن متوقف می‌شود.

پس از مشخص شدن همه‌ی اطلاعات ورودی به حل شبکه مندل بدون در نظر گرفته شدن ظرفیت تبادل برای نقاط مختلف پرداخته می‌شود. خطوط به دست آمده در این حالت بر روی شبکه مندل رسم شده‌اند و نتیجه در شکل ۶ نمایش داده شده-

با توجه به نتایج به دست آمده تعداد خطوط برای حل شبکه ۶ خط و تعداد افراد جمعیت در هر نسل ۸۰ نفر در نظر گرفته می‌شوند.

شرط توقف الگوریتم رسیدن تعداد تکرارها به ۵۰۰ تکرار می‌باشد. همچنین اگر پس از ۲۰۰ تکرار نتایج بهبود نیافت

نقطه ۸ عبور می‌کنند و نقطه ۸ به یک نقطه تبادل اصلی در شبکه تبدیل می‌شود. خطی که از نقطه ۸ عبور نمی‌کند یک خط محلی است که تقاضای نقاط ۱۰، ۱۱، ۱۳ و ۱۴ را پوشش می‌دهد. خطوط به دست آمده در این حالت در شکل ۷ به نمایش در آمده‌اند.



شکل ۷: شبکه به دست آمده با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت تبادل مسافر

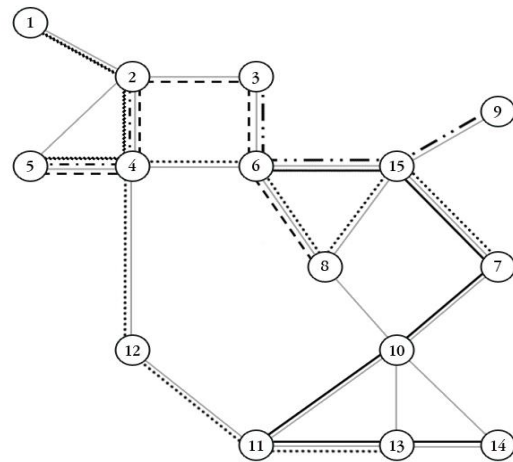
مشخصات شبکه خطوط به دست آمده در جدول ۳ ذکر شده‌است.

است و مشخصات شبکه نیز در جدول ۲ بیان شده‌است.

۳-۴ طراحی شبکه با در نظر گرفتن محدودیت

ظرفیت تبادل سفر

پس از طراحی شبکه خطوط اتوبوسرانی دو مورد از مشخصه‌های مهم شبکه به دست خواهد آمد. نخست شکل خطوط و دیگر مکان نقاط تبدالی. در این مرحله مکان نقاط تبدالی تنها به دلیل عبور خطوط مختلف از نقاط خاص تعیین خواهد شد و به ویژگی نقاط نظیر ظرفیت تبادل سفر در هر نقطه توجهی نمی‌شود.



شکل ۶: خطوط به دست آمده برای شبکه مند

برای طراحی شبکه در این قسمت ظرفیت همه نقاط برای تبادل مسافر به غیر از نقطه ۸ را صفر قرار داده شده‌است. نتیجه با آن چه در انتظار است مطابقت دارد، یعنی هزینه شبکه افزایش می‌یابد اما در عوض به غیر از تنها یکی از خطوط تمام خطوط از

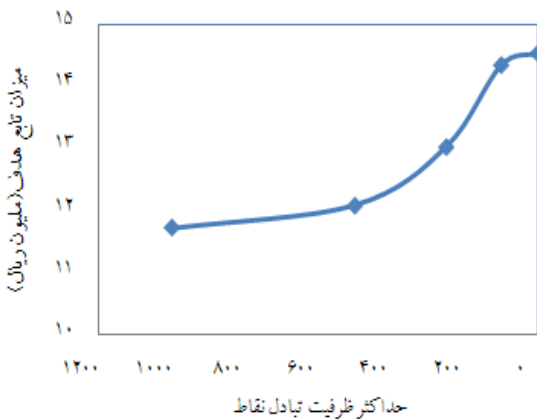
جدول ۲: مشخصات شبکه بدست آمده بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت

مشخصه	تقاضای پوشش داده شده بدون تبادل	تقاضای پوشش داده شده با یک تبادل	متوسط زمان سفر برای هر نفر (دقیقه)	طول شبکه (دقیقه)	ناوگان (تعداد)	تقاضای پوشش داده نشده	هزینه شبکه (ریال)
مقدار	۹،۲٪	۸۸،۴۴٪	۹،۲۳	۹۸	۳۳	۲،۴۶٪	۱۰۷۲۰۰۰۰

جدول ۳: مشخصات شبکه به دست آمده با در نظر گرفتن محدودیت تبادل مسافر در نقاط

مشخصه	تقاضای پوشش داده شده بدون تبادل	تقاضای پوشش داده شده با یک تبادل	متوسط زمان سفر برای هر نفر (دقیقه)	طول شبکه (دقیقه)	ناوگان (تعداد)	تقاضای پوشش داده نشده	هزینه شبکه (ریال)
مقدار	۴۸,۴	۴۴,۸۲٪	۹,۶۸	۱۲۳	۷۴	۶,۷۴	۱۴۵۳۶۰۰
	۵٪					%	۰

همپوشانی خطوط افزوده می‌شود و هنگامی که شبکه شهر از نوع شبکه‌های کوچک باشد این مساله بیش تر جلب نظر می‌نماید.



شکل ۸: نمودار تاثیر کاهش ظرفیت تبادل در نقاط بر میزان تابع هدف

۶- خلاصه و نتیجه گیری

نقاط تبدالی از مشکلات ترافیکی در برخی از شهرهای بزرگ می‌باشند و عمده این نقاط نیز در نواحی مرکزی شهر واقع شده‌اند که علت این موضوع حجم بالای سفرهای تولید و جذب شده به این نقاط است که خود سبب تمایل عبور همه خطوط از این نقاط می‌شود. برای برطرف شدن این معضل تدوین روشی که به انتخاب هدفمند نقاط تبدالی بپردازد بسیار ضروری و لذا در همین راستا در این تحقیق به بررسی اثر تعیین ظرفیت تبادل مسافر برای نقاط شبکه پرداخته شد و نشان داده شد که می‌توان با تعیین ظرفیت بیشینه برای تعداد تبادل در هر نقطه به هدایت خطوط به سمت نقاط مورد نظر پرداخت. از سوی دیگر می‌توان با کاهش ظرفیت تبادل در برخی از نقاط مانع از تجمع و عبور زیاد خطوط از آن نقاط گردید. در این تحقیق مطالعه موردی بر روی شبکه مندل صورت پذیرفت و اثر تخصیص ظرفیت برای تبادل مسافر به نقاط بررسی شد. با کاهش ظرفیت تبدالی همه نقاط موجود در شبکه مندل به استثنای یک نقطه خاص مشاهده شد که تمام خطوط به استثنای یک خط به آن سمت گرایش

۵- بحث در نتایج

در شبکه مورد مطالعه مشخص شد که مقدار مناسب برای جمعیت افراد در هر نسل برابر ۸۰ نفر می‌باشد. با افزایش تعداد جمعیت انتظار بر آن است تا به علت افزایش تعداد مجموعه مسیرها میزان جواب‌های مناسب‌تری به دست آید اما با افزایش تعداد افراد در هر نسل به تعداد نفرات تکراری افزوده خواهد شد و این همان عاملی است که سبب افزایش هزینه مجموعه مسیرها خواهد شد. تعداد خطوط مناسب برای شبکه به ابعاد شبکه بستگی دارد به طوری که هر اندازه ابعاد شبکه کوچکتر باشد به تعداد خطوط کمتر و با طول کمتر برای پوشش تقاضا نیاز است. با کاهش تعداد خطوط به طول آن‌ها برای پوشش حداقل تقاضا افزوده خواهد شد و با افزایش تعداد خطوط از طول آن‌ها کاسته خواهد شد. مناسب‌ترین تعداد خطوط در نقطه‌ای که مجموعه طول همه خطوط در شبکه حداقل شود به دست خواهد آمد.

برای بررسی تاثیر در نظر گرفتن محدودیت تبادل مسافر بر روی هزینه شبکه حالت‌های مختلفی برای میزان محدودیت در نظر گرفته می‌شود. در هر کدام از این حالت‌ها ظرفیت تبادل برای همه نقاط به استثنای نقطه ۸ محدود می‌شود و سپس به طراحی شبکه پرداخته می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد کاهش ظرفیت تبادل در نقاط شبکه و محدود کردن آن به تعداد ۱۰۰۰ مسافر در ساعت اثر قابل توجهی بر روی هزینه شبکه نخواهد داشت (شکل ۹). روند افزایش تابع هدف در ازای کاهش ظرفیت تبادل مسافر تا ظرفیت ۴۰۰ مسافر در ساعت همچنان با شیب ملایم ادامه خواهد داشت. افزایش سریع تابع هزینه به ازای ظرفیت‌های کمتر از ۴۰۰ نفر کاملاً مشهود می‌باشد (شکل ۸). با کاهش ظرفیت تبادل مسافر به میزان کمتر از ۱۰۰ مسافر در ساعت عملاً تغییری در تابع هدف مشاهده نمی‌شود و به علت این است که در این حجم کم ظرفیت عملاً همه تبادل‌ها به نقطه ۸ منتقل شده‌است. نکته قابل توجه دیگر آن است که با کاهش ظرفیت تبادل سفر در نقاط به علت آن‌ها که همه خطوط قصد عبور از نقطه‌ی با ظرفیت بیش‌تر را دارند بر

پیدا کردند. با محدود شدن ظرفیت تبادل مسافر در نقاط شبکه هزینه شبکه افزایش می‌یابد اما می‌توان جهت عبور خطوط را به سمت برخی از نقاط هدایت کرد.

۷- مراجع

- Chakroborty, P., Wivedi, T., "Optimal Route Network Design for Transit Systems Using Genetic algorithm", *Engineering Optimization*, No.34, vol.1, pp. 83- 100, 2002. [۱۱]
- Chakroborty, P., "Genetic algorithms for optimal urban transit network design", *Journal of Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, No.18, pp. 184- 200, 2003. [۱۲]
- DiJoseph, P., Chien, S.I., "Optimal Service Planning for a Sustainable Transit System", *The Transportation Research Forum, The 50th Annual Meeting*, 2009. [۱۳]
- Fan, W., Machemehl, R., "Optimal transit route network design problem with variable transit demand: genetic algorithm approach", *Journal of Transportation Engineering*, No.132, Vol.1, pp. 40- 51, 2006. [۱۴]
- Ghanbari, R., MahdaviAmiri, N., "Solving bus terminal location problems using evolutionary algorithms", *Applied Soft Computing*, No.11, pp. 991- 999, 2011. [۱۵]
- Guihaire, V., Hao, J., "Transit network design and scheduling: A global review", *Transportation Research Part A*, No. 42, pp. 1251- 1273, 2008. [۱۶]
- Ibeas, A., dell'Olio, L., Alonso, B., Sainz, O., "Optimizing bus stop spacing in urban area", *Transportation Research Part E*, No.46, pp. 446- 458, 2010. [۱۷]
- Israeli, Y., Ceder, A., "Designing Transit Routes at the Network Level", *Transportation Research Record*, No.1221, pp. 8- 22, 1989. [۱۸]
- Kepaptsoglou, K., Karlaftis, M., "Transit Route Network Design Problem: Review", *Journal of Transportation Engineering*, No.135, Vol.8, pp. 491- 505, 2009. [۱۹]
- Lee, Y.J., Vuchic, V.R., "Transit network design with variable demand", *Journal of Transportation Engineering*, No.131, Vol.1, pp. 1- 10, 2005. [۲۰]
- Poetranto, D.R.; "Stop Location Problem in Public Transportation Network", (Master Thesis, Department of Mathematics Technische Universit'at Kaiserslautern Germany), 2004. [۱]
- رنجبری، اندیشه، "طراحی شبکه اتوبوسرانی با تقاضای متغیر"، (پایان نامه جهت گرفتن مدرک کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران)، استاد راهنما: دکتر افشین شریعت، ۱۳۹۰. [۲]
- Aldaihani, M.M., Quadrifogli, L., Dessouky, M.M., & Hall, R., "Network design for a grid hybrid transit service", *Transportation Research Part A* No. 38, pp. 511- 530, 2004. [۳]
- Baaj, M.H., Mahmassani, H.S., "An AI based approach for transit route system planning and design", *Journal of Advanced Transportation*, No. 25, Vol. 2, pp. 187- 210, 1991. [۴]
- Baaj, M.H., Mahmassani, H.S., "Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks", *Transportation Research Part C*, No.3, pp. 31- 50, 1995. [۵]
- Ceder, A., Prashker, J.N., Stern, J.I., "An algorithm to evaluate publictransportation stops for minimizing passenger walking distance", *Appl. Math Modelling*, Vol.7, 1983. [۶]
- Ceder, A., Wilson, N.H.M., "Bus network design", *Transportation Research Part B*, No. 20, Vol. 4, pp. 331- 344, 1986. [۷]
- Cipriani, E. et al, " Transit network design: A procedure and an application to a large urban area", *Transportation Research Part C, Emerging Technologies*, Article in Press, Corrected Proof, 2010. [۸]
- Chakroborty, P., Deb, K., Subrahmanyam, P.S., "Optimal scheduling of urban transit systems using genetic algorithms", *Journal of Transportation Engineering*, No.121, Vol.6, pp. 544- 553, 1995. [۹]
- Chakroborty, P., Deb, K., & Srinivas, B., "Network-Wide Optimal Scheduling of TransitSystems Using Genetic Algorithms", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, No.18, pp. 363- 376, 1998. [۱۰]

- Szeto, W.Y., Wu, Y., "A simultaneous bus route design and frequency setting problem for Tin Shui Wai, Hong Kong", *European Journal of Operational Research*, No. 209, pp. 141–155, 2011. [۲۷]
- Zhao, F., Zeng, X., "Simulated annealing–genetic algorithm for transit network optimization", *Journal of Computing in Civil Engineering*, No. 20, Vol.1, 57– 68, 2006. [۲۸]
- Zhao, F., Zeng, X., "Optimization of transit route network, vehicle headways and timetables for large-scale transit networks", *European Journal of Operational Research*, No.186, pp. 841– 855, 2008. [۲۹]
- Wu, C., Murray, A.T., "Optimizing public transit quality and system access: the multiple-route, maximal covering/shortest path problem", *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol.32, pp. 163– 178, 2005. [۳۰]
- Mandl, C.E., "Evaluation and optimization of urban public transportation networks", *European Journal of Operational Research*, No.5, pp. 396– 404, 1979. [۲۱]
- Murray, A. T., Davis, R., Stimson, R.J., Ferreira, L., "Public Transportation Access", *Transpn Res.-D*, No. 5, Vol.3, pp. 319- 328, 1998. [۲۲]
- Ngamchai.S, Lovell, D., "Optimal time transfer in bus transit route network design using a genetic algorithm", *Journal of Transportation Engineering*, No.129, Vol.5, pp. 510– 521, 2003. [۲۳]
- Pattnaik, S.B., Mohan, S., Tom, V.M., "Urban bus transit route network design using genetic algorithm", *Journal of Transportation Engineering*, No.124, Vol.4, pp. 368– 375, 1998. [۲۴]
- Patz, A., "Die richtige Auswahl von Verkehrslinien bei groen Straenbahnnetzen", *Verkehrstechnik* 50/51, 1925. [۲۵]
- Shariat Mohaimeni, A., Gholami, A., "Multimodal Feeder Network Design Problem: Ant Colony Optimization Approach", *Journal of Transportation Engineering*, No.4, Vol.136, pp. 323- 33, 2010. [۲۶]