تعیین امتداد برای حمل و نقل سریع به روش حداکثر پوشش

حامد عباسقلی زاده، مربی، دانشگاه آزاد اسلامی مرکز تسوج، آذربایجان شرقی، ایران

E-mail: abasqolizade@iau-tasouj.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۰٤- پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۳۰

چکیده

مسئله مسیریابی برای حمل و نقل عمومی سریع، به‌صورت تعیین محل یا موقعیت بهینه ایستگاه‌ها و امتداد مسیر در یک شهر تعریف می‌شود. این مسئله می‌تواند به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی با تابع هدف ماکزیمم‌سازی پوشش ایستگاه‌ها و قید فواصل ایستگاهی و طول امتداد حل شود. از طرف دیگر روش‌های ابتکاری یا اکتشافی به خاطر فقدان پیچیدگی‌ها و سرعت عمل بالای خود در حل مسایل مختلف مورد توجه محققان قرار دارند. در این مقاله یک روش ابتکاری توسعه مرحله‌ای امتداد بر اساس حداکثر کردن معیار پوشش جمعیت ایستگاه‌ها و دسترسی به نقاط مهم شهری معرفی می‌شود، به‌طوری‌که انتظار می‌رود پوشش سفر امتداد - به عنوان تابع هدف - حداکثر شود. روش حل برآمده از دو روش قبلی پوشش جمعیتی و پوشش سفر است. معیارهای مورد استفاده شامل پوشش جمعیتی، جذب سفر، قطری بودن امتداد و طول امتداد هستند. روش پیشنهادی به عنوان مطالعه موردی روی شبکه شهر تبریز پیاده می‌شود. ۲۰ امتداد جواب با نقطه شروع انتخابی با این روش و با دو روش قبلی تشکیل می‌شود و مقدار پوشش سفر و جمعیت آنها محاسبه شده و با مقایسه نتایج مشخص می‌شود. پوشش سفر امتدادهای روش جدید، نسبت به دو روش قبلی افزایش یافته است. بیشترین پوشش سفری که توسط یکی از امتدادهای روش پیشنهادی ایجاد می‌شود برابر ۵۸,۸۶۹ سفر در مقابل ٤۶,۹۶۲ سفر روش پوشش سفر است. مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی و پوشش جمعیتی انجام شد و مطابق این مقایسه، پوشش جمعیتی در روش پیشنهادی نسبت به روش اصلی ۲۱/٤ درصد کاهش یافته و در مقابل پوشش سفر امتدادهای روش پیشنهادی ۳/۳ برابر می‌شود. جواب‌های روش پیشنهادی نسبت به روش حداکثر پوشش سفر نیز، پوشش سفر بیشتری داشته و مقدار این ارتقا ۱۶/۵ درصد می‌باشد. برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر، مقایسه‌ای هم بین امتدادهای هم‌جهت روش پیشنهادی و روش حداکثر پوشش سفر انجام و مشاهده شد در هر کدام از ٤ جهت مشترک نیز افزایش پوشش سفر بین ۱۲ الی ۶۷ درصد مشاهده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: روش ابتکاری، نقاط جاذب سفر، پوشش سفر، پوشش جمعیت

۱- مقدمه

به‌کارگیری سیستم‌های سریع حمل و نقل عمومی در جهان به سرعت در حال رشد است؛ زیرا این سیستم‌ها باعث افزایش سرعت و کاهش ازدحام و راه‌بندان در شبکه شهری می‌شوند و از بار معضلات روزافزون شهرهای بزرگ می‌کاهند. انتخاب مسیر برای چنین سیستم‌هایی به‌طور قطع تأثیر زیادی بر کارکرد آنها از لحاظ سرعت، کاهش تأخیر و افزایش ظرفیت خواهد داشت. تعیین امتداد سیستم‌های سریع حمل و نقل شهری در اصل، یک مسئله بهینه‌سازی است که به خاطر پیچیدگی و زمان بالای حل آن، معمولاً با استفاده از روش‌های غیر سیستماتیک حل می‌شود.

۲- تعریف مسئله

مسیریابی برای سیستم‌های حمل و نقل عمومی سریع، که در برخی موارد تحت عنوان مکان‌یابی خطوط سیستم حمل و نقل سریع[1] در مقالات از آن یاد می‌شود، در کل مسئله‌ای است برای

* نویسنده مسئول

Archive of SID

www.SID.ir

تعیین امتدادی برای حرکت وسیله نقلیه عمومی سریع با کارایی بالا و عوارض کمتر در یک شهر. تلاش‌های اخیر در زمینه مسیریابی سیستم‌های سریع اغلب در جهت استفاده از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری[۲] سوق یافته است. نیاز نداشتن به تحلیل‌های وقت‌گیر شبکه و رهایی از انجام الگوریتم‌های بهینه‌سازی مرسوم با محاسبات سرسام‌آور از فواید این روش‌هاست. در همین راستا این مقاله نیز پس از مطالعه این روش‌ها، راه‌کاری بر مبنای یک روش ابتکاری با نام حداکثر پوشش را ارایه می‌دهد.

۳- مطالعات پیشین

از اولین تحقیقات در این زمینه رساله دکترای دیسزار است که به صورت «یافتن مسیری با کمترین هزینه بین مبدأ و مقصد» مطرح شد (Dicesare, 1970). همین‌طور کورنت با یک کاوش چندمنظوره مسیری را با حداکثر پوشش و حداقل طول، مورد مطالعه قرار داد (Current et al., 1985). بعدها ضمن پیشرفت در تحقیقات، روش‌های بدیع‌تری برای حل مسئله مورد استفاده قرار گرفتند. به‌طور مثال روش توسط دوفورد و همکاران که از الگوریتم جدید جستجوی تابو[۳] بهره برده بود (Dufourd et al., 1996).

برونو و همکاران مدل دیگری را ارایه کردند که مدل واقعی‌تری بود و مُد وسیله شخصی را رقیب سیستم سریع همگانی فرض می‌کرد (Bruno et al., 1998). برونو و همکاران مدل جدیدی پیشنهاد کردند که روشی دومرحله‌ای برای مکان‌یابی مسیر سیستم مترو بود (Bruno et al., 2002). لاپورته و همکاران هم با معرفی انواع مفهوم پوشش امتداد در روش‌های مختلف، مفهوم پوشش سفر برای ایستگاه را مطرح کرده و با استفاده از یک روش ابتکاری و قید حداکثر طول امتداد، به حل مسئله پرداخته‌اند (Laporte et al., 2005). همچنین مقاله‌ای از آیتی و باقری تحت عنوان روش پوششی برای مسیریابی بهینه قطار سبک شهری به چاپ رسیده که روش مورد استفاده، اولویت‌بندی با تحلیل همایی برای انتخاب بهترین گزینه از میان موارد پیشنهادی است (آیتی و باقری، ۱۳۸۵).

٤- روش حداکثر پوشش

برونو و همکاران (Bruno et al., 2002) برای تعیین امتداد خطوط حمل و نقل عمومی‌سریع از یک روش ابتکاری پوششی استفاده کردند، به این ترتیب که شبکه شهری را روی یک صفحه شطرنجی[٤] پیاده کرده و سپس هر نقطه با مختصات (x,y) را با جمعیت متناظر آن به‌صورت P(x,y) تعریف کردند. رویکردی که برونو و همکاران از آن استفاده کرده‌اند، در نظر گرفتن سهم سفر با سیستم مورد نظر در اطراف ایستگاه به تناسب فاصله از ایستگاه است. با استفاده از مسافت پیاده‌روی اقلیدسی، لوزی‌هایی را در اطراف ایستگاه با فواصل معین فرض کرده و به مساحت حد فاصل هر دو لوزی، ضریبی با نام ضریب پوشش و با نماد θ_i نسبت می‌دهند.

$C(s)$ به‌صورت مجموع حاصل‌ضرب ضریب پوشش هر منطقه در جمعیت نقاط آن، محاسبه می‌شود:

$$C(s) = \sum_{d=0}^{3} \sum_{(x,y):D[(x,y),s]=d} \theta_d p(x,y) \qquad (۱)$$

که در آن:

$C(s)$: مجموع پوشش جمعیتی ایستگاه s

θ_d: ضریب پوششی حلقه d (d=0, 1, 2, 3)

$p(x,y)$: جمعیت نقطه به مختصات (x,y)

به‌طور کلی مسئله را می‌توان با حل یک مسئله ماکزیمم‌سازی حل کرد. هدف، به‌دست آوردن امتدادهایی با بیشترین پوشش $C(X)$ (پوشش کل امتداد) است با این شرط که فاصله ایستگاه‌های متوالی از مقدار معین l_{max} بیشتر و فاصله هیچ دو ایستگاهی از مجموعه ایستگاه‌های امتداد، از مقدار معین l_{min} کمتر نشود.

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } C(X) = \sum_{i=1}^{n} C(s_i) \\ &\text{s.t.} \\ &[(x_{s_i} - x_{s_{i+1}})^2 + (y_{s_i} - y_{s_{i+1}})^2]^{1/2} \le l_{max}(1,...,n-1), \\ &[(x_{s_i} - x_{s_j})^2 + (y_{s_i} - y_{s_j})^2]^{1/2} \ge l_{min}(i,j=1,...,n; i \ne j), \\ &(x_{s_i}, y_{s_i}) \in S(i=1,...,n) \end{aligned} \qquad (۲)$$

برونو به جای حل مستقیم مسئله، از یک روش ابتکاری مبتنی بر یک روند دومرحله‌ای استفاده کرد.

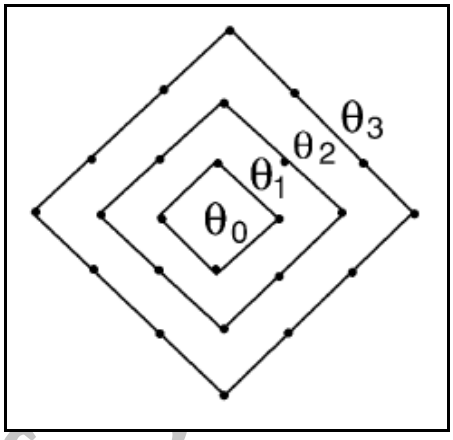
Archive of SID

www.SID.ir

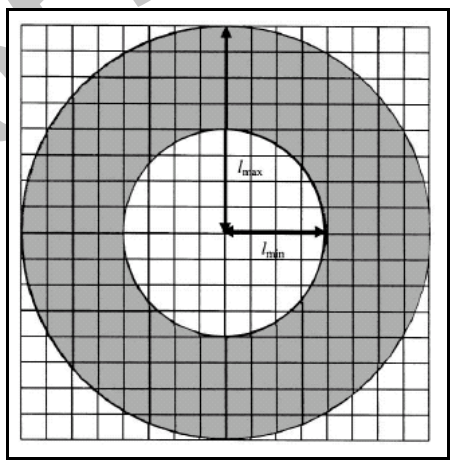
۱- تشکیل امتدادی موسوم به امتداد اولیه؛

۲- بهبود جواب.

برای حل مسئله، دو مفهوم همسایگی امکان‌پذیر و اتصال k تایی تعریف شده‌اند. مفهوم همسایگی امکان‌پذیر در شکل (۱- ب) به راحتی قابل درک است و اتصال k تایی به معنی قابلیت اتصال دو ایستگاه به هم با حداکثر k ایستگاه و رعایت قیود فاصله می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل۱. الف) لوزی‌های پوششی یک ایستگاه، ب) همسایگی امکان‌پذیر در اطراف یک ایستگاه (Giuseppe et al., 2002)

در مرحله (۱) فرض می‌شود امتداد ناقص X_t را با t ایستگاه اولیه داریم. ایستگاهی با بیشترین پوشش در خارج از این امتداد پیدا می‌شود. در صورتی که این ایستگاه با یکی از دو ایستگاه اول یا آخر امتداد (هر کدام که نزدیک‌تر باشد) شرط اتصال (n-t-1) تایی را داشته و با هیچ‌کدام از ایستگاه‌های امتداد ناقص فاصله‌ای کمتر از l_{min} نداشته باشد، به امتداد اضافه می‌شود. مرحله اول تا الحاق تمام n ایستگاه خواسته شده به امتداد ادامه می‌یابد.

در مرحله (۲) پارامترهای r و $\underline{r}$ تعریف می‌شود. r به معنای تعداد ایستگاهی است که در هر مرحله می‌تواند در امتداد باقی بماند و $\underline{r}$ یک پارامتر انتخابی از سوی کاربر است و به معنای حداقل تعداد ایستگاه‌هایی است که می‌تواند در مجموعه ایستگاه‌های امتداد باقی بماند. در ابتدا r برابر n-1 است. این مرحله یک مرحله حذفی است، به این معنی که ایستگاه‌ها به‌تدریج از انتها از امتداد جدا شده و امتداد باقی‌مانده خود به روش مرحله اول توسعه می‌یابد، به‌طوری‌که از امتداد اولیه پوشش بیشتری داشته باشد. در هر تکرار پارامتر r یک واحد اضافه می‌شود. این مرحله تا برابری r و $\underline{r}$ ادامه می‌یابد. این روش با وجود اساس ساده آن در محاسبه پوشش، دارای روند توسعه پیچیده‌ای است.

روش بعدی توسط لاپورته و همکاران ارایه شده است (Laporte et al., 2005). در این روش سعی شده امتدادی از میان مجموعه ایستگاه‌های برگزیده تشکیل شود با این هدف که میزان سفر با وسیله نقلیه عمومی‌از مسیر، ماکزیمم شود. تنها محدودیت موجود برای این مسئله، حداکثر طول امتداد است.

مسئله بیشینه‌سازی را می‌توان به شکل زیر نوشت که تنها یک قید دارد:

$$(MTCP): \begin{Bmatrix} \max\limits_{E\subset S} imize \sum\limits_{i,j(i\neq j);s_i,s_j\in E} n_{ij} \\ s.t.Length\left[Alighn\ (E)\right] \le L\max \end{Bmatrix} \quad (۳)$$

این روش نیز بر پایه پوشش جمعیتی ایستگاه‌ها و ناحیه دسترسی[۵] در اطراف آنها می‌باشد. استفاده از مفهوم ناحیه دسترسی همچنین پایه کار لاپورته و همکاران بوده است (Laporte et al., 2002). اطلاعات لازم در این روش مربوط به جمعیت و ضرایب خاصی است که مربوط به جذب و تولید نواحی اطراف ایستگاه‌هاست.

با رابطه (٤) میزان سفر پوشش داده شده توسط هر زوج ایستگاه محاسبه می‌شوند.

Archive of SID
www.SID.ir

$$OD_{ij}(k,k') = \sum_{l,m=1,(l\neq m)}^{L} \frac{a^2}{\overline{r_k}^2 \overline{r'_k}^2} \frac{Area\left((B_{ik} \setminus B_{i(k-1)}) \cap z_l\right)}{Area(z_l)} \times \frac{Area\left((B_{jk'} \setminus B_{j(k'-1)}) \cap z_m\right)}{Area(z_m)} t_{lm} \qquad (٤)$$

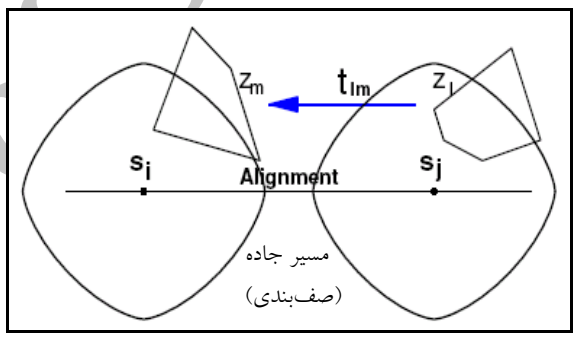
a: ضریب کالیبراسیون

r_k و r_{k-1}: شعاع دوایر پوششی k و k'

t_{lm}: مقدار تقاضای سفر بین دو حوزه l و m

$(B_{ik}\backslash B_{i(k-1)})$: محدوده حلقوی بین دو دایره به مرکز ایستگاه S_i و شعاع‌های r_k و r_{k-1}

$Area((B_k\backslash B_{(k-1)})\cap z)$: مساحت ناحیه مشترک بین حوزه z و محدوده $(B_k\backslash B_{(k-1)})$.



شکل ۲. نحوه محاسبه میزان پوشش سفر بین دو ایستگاه
(Eugene F. Krause, 1987)

رابطه (٤) تنها مقدار سفرهای ناحیه مشترک حوزه‌ها با یک حلقه را محاسبه می‌نماید. با جمع بستن مقدار ODij روی شمارنده حلقه‌های دو ایستگاه i و j، یعنی k و k'، مقدار کل پوشش سفرهای بین دو ایستگاه با نام fij به‌دست می‌آید:

$$f_{ij} = \sum_{k,k'} OD_{ij}(k,k') \qquad (٥)$$

سپس مقدار پوشش برای تمام زوج ایستگاه‌های امتداد محاسبه شده و با n_{ij} مشخص می‌شود. در این روش برای جلوگیری از زیگزاگ شدن امتداد، پارامتری تعریف می‌شود که برابر با نسبت طول به فاصله مستقیم بین ایستگاه اول و آخر امتداد است. مقدار این پارامتر در طول اجرای برنامه به میزان معینی محدود می‌شود. در این روش برای توسعه یک امتداد، از دو مدل توسعه حریصانه یک امتداد[٦] و توسعه یک امتداد با جاسازی حریصانه[٧] استفاده می‌شود. در اولین مدل ابتدا دو ایستگاه با بیشترین n_{ij} انتخاب می‌شود. سپس در هر دو سمت این امتداد اولیه دنبال ایستگاهی با بیشترین n_{ij} می‌گردیم که با افزودن آن به امتداد اولیه، نه امتداد قطع شده و نه طول امتداد از L_{max} (حداکثر طول معین) بیشتر شود. مدل دیگر همانند مدل اول با بیشترین n_{ij} شروع می‌شود و توسعه امتداد را با سه واریانت[٨] اختیاری ادامه می‌دهد، که در نهایت نتیجه به‌دست آمده مناسب بودن مدل اول را نشان می‌دهد. از لحاظ الگوریتم، روش لاپورته نسبت به روش برونو روش پیچیده‌تری به‌شمار می‌رود. چون لازم است همه ایستگاه‌های کاندید دوبه‌دو مورد محاسبه پوشش سفر قرار گیرند. ولی معیار مورد استفاده در روش لاپورته این روش را معتبرتر و نزدیک به واقعیت می‌سازد اما روند توسعه آن روش ساده‌تری نسبت به روش برونو است.

۵- روش پیشنهادی

با مقایسه دو روش پوشش جمعیتی و پوشش سفر بدیهی به نظر می‌رسد که ارزیابی بر اساس معیار پوشش سفر به جای پوشش جمعیتی بهتر است. هرگاه مقادیر پوشش سفر امتدادهای به‌دست آمده از روش حداکثر پوشش جمعیتی را محاسبه نماییم، به طور قطع مقادیر کمتری را شاهد خواهیم بود. در اینجا روشی پیشنهاد می‌شود که انتظار می‌رود امتدادهایی با معیار پوشش سفر بیشتر تولید کند، در حالی که در ساخت آنها از پوشش جمعیت استفاده شده است.

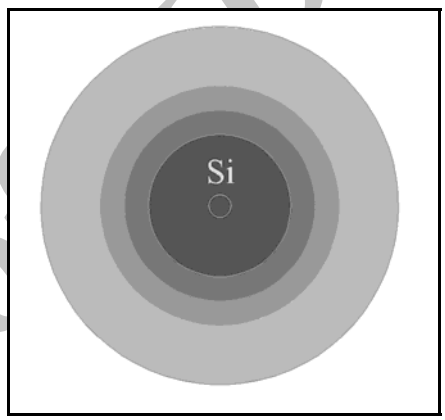
در روش پیشنهادی به جای شطرنجی کردن شبکه، از لیست ایستگاه‌های انتخابی (کاندید) استفاده می‌شود. همچنین از شاخص مستقیم بودن امتداد برای کنترل عدم خمیدگی و عدم قطع امتداد توسط خودش استفاده خواهد شد؛ در ضمن لازمه خاتمه روند توسعه مسیر، رسیدن به حداکثر طول امتداد تعریف می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

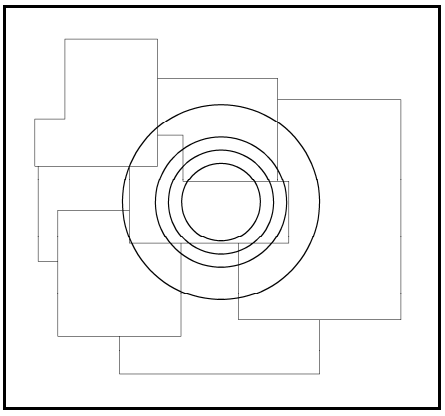
برای محاسبه پوشش جمعیتی، از دوایر پوششی ایستگاه همراه با حوزه‌های شهری استفاده گردیده است. فرمولاسیون محاسبه پوشش جمعیتی همان‌طور که در قسمت قبل یاد شد به صورت رابطه (٦) است.

$$C(s)=\sum_{d=0}^{3}\sum_{(x,y):D[(x,y),s]=d}\theta_d\, p(x,y) \qquad (٦)$$

مقادیر شعاع‌های دوایر پوششی بر اساس بیشترین فاصله پیاده‌روی به روش اقلیدسی، به ترتیب ۳۰۰، ٤۰۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متر درنظر گرفته شده‌اند به‌طوری‌که درصدهای جذب نواحی بین دوایر ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد از داخل به خارج هستند (شکل ۳).



(الف)



(ب)

شکل ۳. الف) تغییرات درصد جذب مسافر برای ایستگاه S_i
ب) همپوشانی حوزه‌ها با دوایر پوششی ایستگاه

در این‌جا مسافت پیاده‌روی از روش اقلیدسی محاسبه شده است. برای تعیین مسافت پیاده‌روی از مبدأ تا ایستگاه از دو روش فاصله اقلیدسی و فاصله پیاده‌روی در یک شبکه شهری استفاده می‌کنند. استفاده از فاصله اقلیدسی[۹] (رابطه ۷) کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه را به‌دست می‌دهد، ولی مدل شطرنجی یا به اصطلاح مسافت منهتن[۱۰] (رابطه ۸) مسافت پیاده‌روی را از مجموع اختلاف طول و عرض مختصاتی دو نقطه محاسبه می‌کند:

$$d_E=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2} \qquad (٧)$$

$$d_M=|x_2-x_1|+|y_2-y_1| \qquad (٨)$$

که در آن x و y مختصات دو نقطه؛
d_E فاصله اقلیدسی و d_M فاصله منهتن، می‌باشند (Eugene F. Krause, 1987).

در سفرهای خانه مبنا، ایستگاه مبدأ ایستگاه‌های واقع در مناطق مسکونی و ایستگاه‌های مقصد در مناطق فعالیت شهری و خدماتی قرار دارند. در روند تولید امتداد برای افزایش تعداد سفر جذب شده ناگزیر از عبور از این نقاط نیز هستیم. حوزه i را داریم، جذب سفر آن را با A_i و جمعیت آن را با P_i نشان دهیم. آنگاه مقدار شاخص جذب را با η_i نشان داده و به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\eta_i=\frac{A_i^{\,2}}{P_i} \qquad (٩)$$

در صورتی‌که جمعیت و جذب هر دو هم‌توان استفاده شوند، مقدار η_i به‌طور قابل ملاحظه‌ای در حوزه‌های با جمعیت بسیار کم، افزایش می‌یابد، درحالی‌که محاسبه آن شاخصی برای نشان دادن جذب بیشتر به‌ازای جمعیت حوزه است. بنابراین، برای افزودن تأثیر کمیت جذب از توان بیشتری استفاده شده است، به عبارت دیگر η بیشتر نشان‌دهنده جذب بیشتر به‌ازای جمعیت کمتر است. برای پیدا کردن مراکز جذب سفر عمده، حوزه‌های با شاخص η بیشتر انتخاب شده و نقاط ایستگاهی کاندید که در این نواحی هستند، برای حل مسئله به عنوان ایستگاه‌های جاذب سفر معرفی می‌شوند.

شروع تشکیل امتداد از یک ایستگاه ابتدایی از میان ایستگاه‌های کاندید است. با توجه به این‌که برای سیستم‌های سریع مسیرهای قطری در شبکه شهری پیشنهاد می‌شود، بنابراین، انتخاب ایستگاه اولیه از ایستگاه‌های حاشیه شهر انجام می‌گردد.

Archive of SID
www.SID.ir

مسافت حداقل r_{min} جهت تشکیل ناحیه امکان‌پذیر ۶۰۰ متر استفاده می‌شود. این فاصله حداقل فاصله‌ای است که در آن، منطقه جذب ۱۰۰ درصد دو ایستگاه باهم همپوشانی ندارند. یعنی قسمت‌های ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد دو ایستگاه متوالی می‌توانند باهم همپوشانی نمایند. برای همین قسمتی از برنامه کامپیوتری نوشته شده به منظور کسر قسمت همپوشانی از پوشش کل امتداد در نظر گرفته می‌شود. r_{max} در جریان اجرای برنامه تعیین می‌شود و هر مقداری که جواب‌های بهتری به‌دست آید، انتخاب می‌گردد.

روند تولید امتداد یک روند توسعه مرحله‌ای حریصانه است. در هر مرحله در اطراف ایستگاه آخر امتداد با استفاده از r_{min} و r_{max} ناحیه امکان‌پذیر تشکیل می‌شود. در میان ایستگاه‌هایی که در ناحیه امکان‌پذیر قرار می‌گیرند اگر ایستگاهی جاذب سفر باشد در اولویت اول انتخاب قرار می‌گیرد. در غیر این‌صورت پوشش سفر ایستگاه‌ها مقایسه شده و ایستگاهی با بیشترین مقدار پوشش جمعیت در اولویت قرار می‌گیرد. ایستگاه با بالاترین اولویت انتخاب شده و به امتداد اضافه می‌گردد و این مراحل دوباره برای این ایستگاه تکرار می‌شوند.

یکی از نشانه‌های مسیر مناسب برای سیستم‌های سریع، میزان مستقیم بودن آن است. همچنین مسیر تولیدی نباید که از روی خودش رد شده باشد. به همین منظور پارامتری به صورت حاصل تقسیم طول مسیر بر فاصله مستقیم بین ابتدا و انتهای مسیر تعریف می‌گردد.

در یک امتداد مشخص این شاخص به صورت زیر نام‌گذاری و تعریف می‌شود:

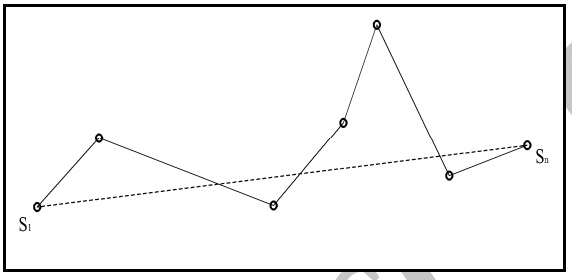
$$\gamma = \frac{\boldsymbol{L}}{|\boldsymbol{S}_1\boldsymbol{S}_{\boldsymbol{n}}|} \qquad (۱۰)$$

که L نشان دهنده طول امتداد و $|\boldsymbol{S}_1\boldsymbol{S}_{\boldsymbol{n}}|$ طول فاصله مستقیم ایستگاه‌های اول و آخر امتداد می‌باشد. مقدار γ در ضمن تشکیل امتدادها تعیین می‌شود؛ بدین معنی که با تشکیل امتدادهایی با γهای مختلف در شبکه نمونه بهترین مقدار آن تعیین می‌شود.

نکته دیگر در مورد پارامتر γ نقش آن در ساخت امتدادی قطری می‌باشد. شکل کلی شهرهای بزرگ در سه لایه کم جمعیت داخلی، پر جمعیت میانی و بسیار کم جمعیت بیرونی ترسیم می‌شود. این توزیع جمعیت شکلی کلی است و می‌تواند دارای استثناهایی نیز باشد. با فرض داشتن چنین توزیعی می‌توان گفت با انتخاب اولین نقطه ایستگاهی در نقاط کناری شهر، به واسطه طبیعت توسعه این روش، نقاط بعدی امتداد را به سمت داخل شهر هدایت خواهند کرد. از سوی دیگر با داشتن نقاط جاذب سفر در داخل شهر امتداد راه خود را به مرکز شهر نیز خواهد یافت و معکوس این روال به سمت دیگر شهر ادامه خواهد یافت. چنین توسعه‌ای از امتداد ناگزیر به ایجاد امتدادی قطری منجر می‌گردد. در این میان پارامتر γ در عدم انحراف و توسعه امتداد در لایه میانی (حلقه پرجمعیت) شهر نقش مهمی ایفا خواهد کرد.

بر اساس ابعاد شهر مقدار ماکزیممی برای طول امتداد تعیین می‌شود. در حین تشکیل امتداد، طول امتداد نیز در هر مرحله محاسبه می‌گردد و با حد نهایی طول مقایسه می‌شود و رسیدن به این طول مبنای پایان کار است.

پس از تولید هر امتداد مقدار پوشش سفر آن با فرمول لاپورته، که در رابطه (۱۱) و (۱۲) آمده، محاسبه می‌شود تا برای ارزیابی روش و مقایسه با جواب دو روش دیگر مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ٤. طول امتداد در مقابل فاصله مستقیم

$$OD_{ij}(k,k') = \sum_{l,m=1,(l\neq m)}^{L} \frac{a^2}{\overline{r_k}^2\,\overline{r'_k}^2} \frac{Area\left((B_{ik} \setminus B_{i(k-1)}) \cap z_l\right)}{Area(z_l)} \times \frac{Area\left((B_{jk'} \setminus B_{j(k'-1)}) \cap z_m\right)}{Area(z_m)} t_{lm} \qquad (۱۱)$$

$$f_{ij} = \sum_{k,k'} OD_{ij}(k,k') \qquad (۱۲)$$

Archive of SID
www.SID.ir

بر این اساس گام‌بندی مرحله اول به صورت زیر بیان می‌شود:

۱- تشکیل مجموعه ایستگاه‌های برگزیده (کاندید).

۲- محاسبه پوشش جمعیتی و تشکیل ماتریس فواصل بین ایستگاهی و محاسبه شاخص جذب.

۳- انتخاب ایستگاه اولیه.

٤- حذف ایستگاه از لیست ایستگاه‌های کاندید.

۵- تشکیل حلقه‌های r_{min} و r_{max} در اطراف ایستگاه. (همسایگی امکان‌پذیر)

٦- انتخاب ایستگاه در داخل همسایگی امکان‌پذیر با شرط بیشتر بودن مقدار شاخص جذب یا بیشترین پوشش جمعیتی بسته به نوع ایستگاه و با اولویت نقاط جاذب سفر. در هر دو حالت اگر مقدار شاخص γ بیش از حد تعیین شده گردد، ایستگاه در اولویت بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

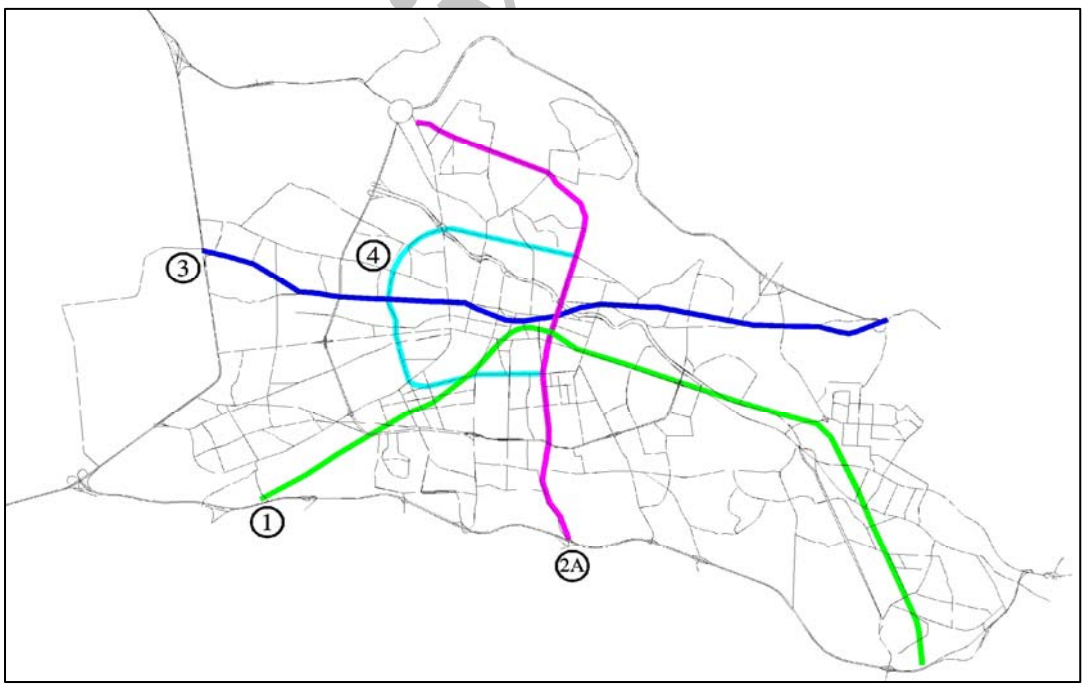
۷- اضافه کردن پوشش ایستگاه انتخابی به پوشش کل امتداد.

۸- در صورتی که طول امتداد از طول ماکزیمم تجاوز نکرده باشد (به گام ٤ بروید).

برای انجام این مراحل برنامه‌ای در محیط ویژوال بیسیک نوشته شد. ورودی‌ها و ارقام توسط برنامه مایکروسافت اکسل وارد شدند. برای محاسبه پوشش‌ها از روی نقشه نیز از برنامه اوتوکد استفاده شده است.

٦- مطالعه موردی

تبریز مرکز استان آذربایجان‌شرقی با مساحتی حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۱۵۷۹۳۱۲ (سرشماری ۱۳۸۵) نفر است. تا سال ۱۳۸۵ تنها سیستم حمل و نقل عمومی تبریز شامل تاکسی‌رانی و اتوبوس عادی بود و از سال ۱۳۸٦ سیستم BRT با یک خط راه‌اندازی گردید و سیستم متروی این شهر نیز از مرداد ماه سال ۱۳۸۲ در حال احداث می‌باشد. مطابق گزارش شرکت مشاور طرح جامع حمل و نقل تبریز چهار مسیر برای حمل و نقل انبوه قطار شهری در نظر گرفته شده است که در شکل (۵) مشاهده می‌شود. تمامی اطلاعات ورودی برای این قسمت از طریق معاونت ترافیکی شهرداری تبریز تهیه شده است. آمار مربوط به سال ۱۳۸۳ و نتایج آمارگیری و تحلیل‌های آن سال می‌باشند. در کل، شهر دارای ۱۳۸ حوزه است که در شکل (٦-الف) نقشه حوزه‌ها به صورت رنگ شده نشان داده شده است. تیرگی رنگ نواحی نشان دهنده تراکم بالای جمعیتی آنهاست. شکل (٦- ب) نیز مقدار شاخص جذب حوزه‌ها را نمایش می‌دهد. در مجموع ۲۰۰ ایستگاه کاندید در سطح شبکه شهر انتخاب گردید و مساحت‌های پوششی مشترک هر کدام با حوزه‌های شهری در محیط برنامه اتوکد محاسبه گردید و وارد اکسل شد.



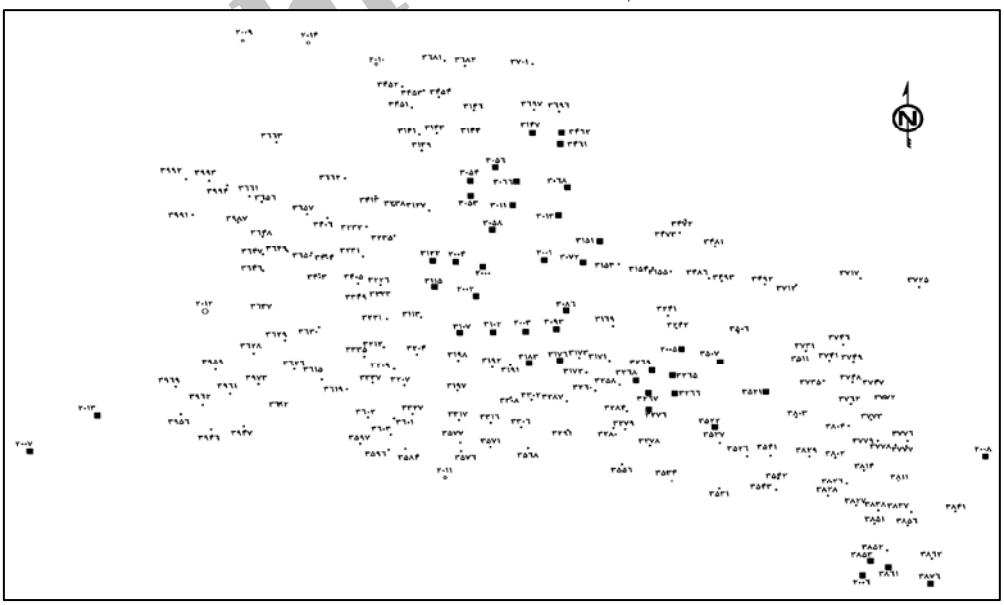
شکل ۵. مسیرهای قطار شهری تبریز استخراج شده از گزارش طرح جامع حمل و نقل تبریز (مشاور اندیشکار، ۱۳۸٤).

www.SID.ir

همچنین با داشتن اطلاعات جمعیتی و تقاضای سفر حوزه‌ها و ضرایب جذب اطراف هر ایستگاه، مقدار جمعیت جذب شده و سفر جذب شده به هر ایستگاه در اکسل محاسبه شد. تمامی این مراحل توسط برنامه‌ای که تحت اکسل و در محیط ویژوال نوشته شده بود، اجرا گردید. قبل از اجرای برنامه مقادیر محدود کننده γ و r_{max} ، با انجام چندین نوبت اجرای برنامه با مقادیر مختلف این دو پارامتر برای شبکه شهری حاضر کالیبره شدند و پس از آن مقادیری که بهترین نتایج را ارایه دادند اجرای اصلی برنامه مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد ۲۰ امتداد در هر سه روش تولید می‌شود. به واسطه طبیعت روش ماکزیمم پوشش سفر که امتداد از وسط شروع به توسعه می‌نماید، ابتدا این روش اجرا شده و با استفاده از نقاط انتهایی جواب‌های آن، دو روش دیگر نیز اجرا شده‌اند. نمودار (۱) دو شاخص پوششی را برای روش پیشنهادی در یک جا نشان می‌دهد. برای دو روش دیگر نیز اگر چنین نموداری رسم شود، شکل کلی به همین صورت است. یعنی دو نمودار شکل مشابهی دارند و نقاط فراز و فرود تقریباً یکسانی دارند. به طور کلی این مطلب نشان‌دهنده وابستگی این دو کمیت است، یعنی با اطمینان قریب به یقین می‌توان گفت هر امتدادی که مقدار پوشش جمعیت بالایی دارد، مقدار پوشش سفر بالایی نیز خواهد داشت. ولی با استناد به نتایج سه روش، واضح است پوشش سفر امتدادهای روش پوشش جمعیت در مقایسه با دو روش دیگر پوشش سفر کمتری دارند. یعنی اگرچه پوشش جمعیت معیار خوبی برای تشخیص بالا بودن پوشش سفر امتداد است ولی به تنهایی نمی‌تواند امتدادهای خوبی تولید کند.

(الف) (ب)

شکل ٦. (الف) تراکم جمعیتی حوزه‌ها و (ب) مقدار شاخص η حوزه‌ها



شکل۷. نقشه موقعیت ایستگاه‌های کاندید و نقاط مهم شهری (شماره ایستگاه‌ها هم‌نام شماره گره شبکه است).

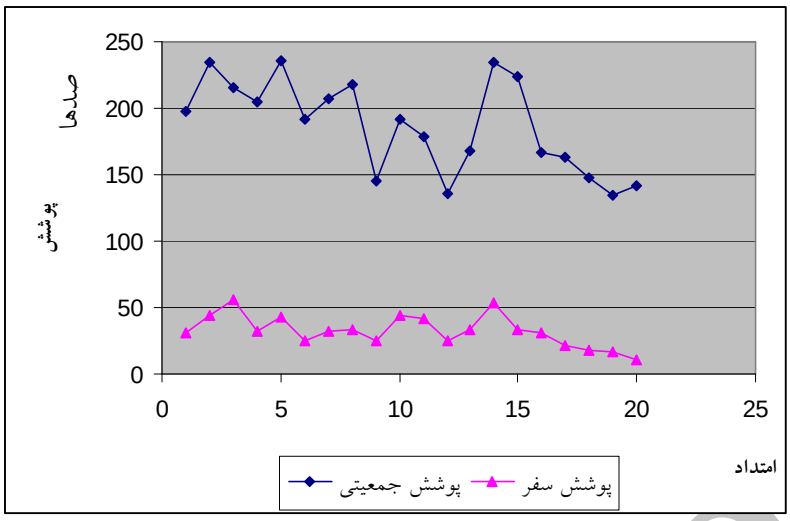
www.SID.ir

مشخصات امتدادهای هر سه روش در جدول (۱) آمده است. با توجه به مقادیر متوسط در جدول (۱) می‌توان نتیجه گرفت، طول امتدادهای تولید شده توسط روش پیشنهادی حدود ۱/۱۳ و پوشش سفر آن ۳/۳۳ برابر روش بیشترین پوشش جمعیتی است. طول متوسط امتدادهای روش پیشنهادی اندکی کمتر از جواب‌های روش پوشش سفر می‌باشد و در عین نزدیکی پوشش سفر این دو، برتری پوشش سفر امتدادهای روش پیشنهادی به روشنی مشهود است، به‌طوری‌که مقدار پوشش سفر آنها به ترتیب (متوسط دو جهت) ۳۲,٦٥٦ سفر در مقابل ۲۸,۰۲٥ سفر می‌باشد؛ یعنی ۱٦/٥ درصد افزایش در متوسط پوشش سفر. شکل ۸ امتدادهای با بیشترین پوشش سفر (امتداد شماره ۳ در هر کدام) را برای دو روش حداکثر پوشش سفر و روش پیشنهادی نشان می‌دهد. اعداد جدول گویای این هستند که بیشترین پوشش سفر روش پیشنهادی ٥۷,۲۷٥ و برای روش دیگر ٤٦,۱۰۰ سفر است، و این در حالی است که مطابق شکل ۸، هر دو امتداد به طور مشابه ابتدا و انتها و مسیر تقریباً یکسانی دارند.

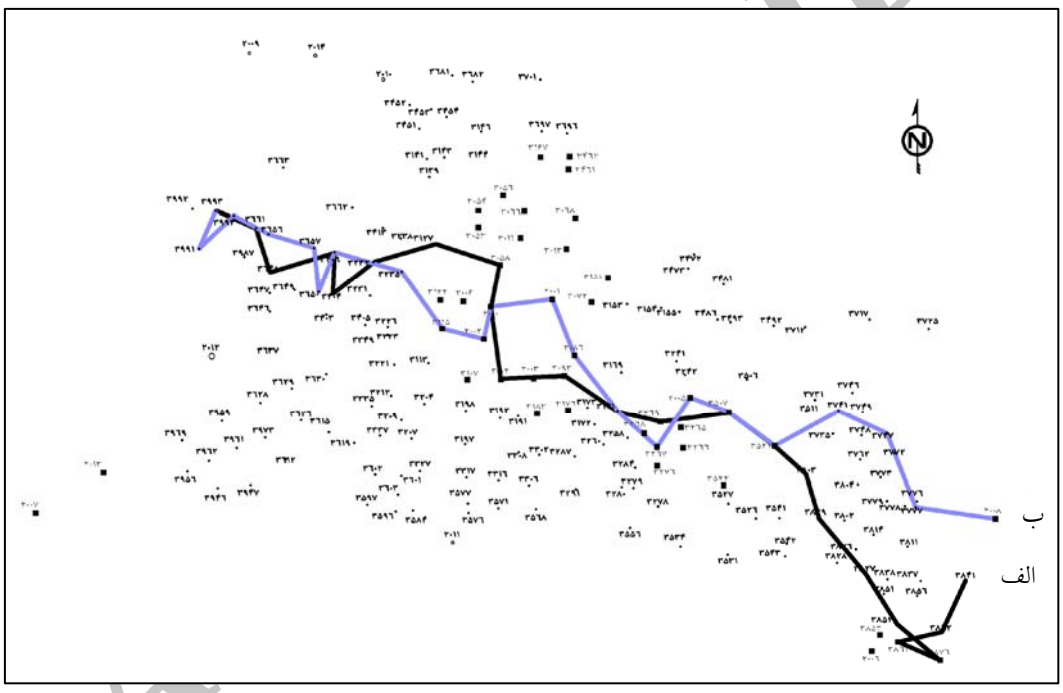
جدول ۱. مشخصات امتدادهای به‌دست آمده از روش پیشنهادی

امتداد	طول (کیلومتر)			پوشش سفر متوسط (سفر)			پوشش جمعیتی (نفر)		
	پیشنهادی	برونو	لاپورته	پیشنهادی	برونو	لاپورته	پیشنهادی	برونو	لاپورته
۱	۱۸/۱	۲۱/۸	۱۱/۰	۳۱,۳۱۳	۱٦,۱۲۹	۱۰,۹۰۳	۱۹۷,٥۹۰	۲۷۸,۸۹۰	۱۱٤,۳٥۷
۲	۱۹/٥	۱۹/٥	۱۸/٦	٤۳,۱۹۳	۱٦,٥٤۹	۲۹,۸۱٤	۲۳٤,۳۱۱	۲۹۸,۱۰٥	۱٦۱,٤۷۸
۳	۲۱/٥	۲۰/۱	۲۱/۰	٥۷,۲۷٥	۱٦,۱٤٤	٤٦,۱۰۰	۲۱٥,٦۷۰	۱۸۱,۹۹۰	۱۷٦,۱۳۱
٤	۱۷/۷	۱۷/٤	۱۹/۹	۳۲,۹۹۳	۱۲,۰٦۹	۲۳,۷۱٦	۲۰٥,۲۰۸	۲٥۳,۹٦۹	۲۲٤,۷٥۷
٥	۱۹/۱	۱۷/٥	۱۱/٤	٤۳,٥۲۸	۱۲,٤٤۸	۲۸,٦۰۸	۲۳٥,٤٤۷	۲٤٤,٦٤۰	۱٤۱,۱۱۷
٦	۱٥/٦	۱۳/۷	۲۱/٥	۲٦,۲٦٤	۱۰,۰۲۳	٤۳,٥۲٦	۱۹۱,۷۱۳	۲۰٥,۲۸۲	۱۷۲,٦۹۰
۷	۱۲/٦	۱۰/۸	۲۱/۹	۳۲,٦۹۰	٥,٤٦٦	۲۸,۷۲۰	۲۰۷,۱٤٥	۱٦۸,۹۲۳	۲۳٥,۲۰٥
۸	۱۳/٥	۱۲/۸	۱۷/٦	۳٤,۱۳۸	٦,٦۸٦	۲٤,٦۷۰	۲۱۷,٦۳۷	۱۷۷,٤۰۷	۱٤٥,۱۷٥
۹	۱٦/۳	۱۲/۷	۱٥/۸	۲٥,۱۲۸	٥,۱٤۰	۱۲,٦۸٤	۱٤٥,۲۰۳	۱۹۲,٤٥٦	۱۹۳,٤٥۷
۱۰	۲۲/۹	۲۲/٤	۱٤/۲	٤٤,۷۰۷	۱۸,٦۱٤	۳٤,٤۱۸	۱۹۱,۹۹۳	۲٦٥,۱٥۹	۱٦٤,۰۱۰
۱۱	۱۸/۳	۱۷/۸	۲۱/۳	٤۱,۹٦۱	۱۰,٦٥۸	۳۱,۷٥۸	۱۷۸,٥۰٥	۲٦۰,۳٤۲	۱۷۰,۹۸٦
۱۲	۱٦/٥	۱۷/۳	۱۰/۳	۲٤,۸۷٥	۱۲,٤٤٦	٦,۹۲۸	۱۳٥,٤۹۸	۲۱۸,۱۸٦	۱٥۲,٥٤۹
۱۳	۱۹/۷	۸/۱	۲۱/٥	۳۲,۳٤۱	۳,۰٥۰	۳۹,۹۲۰	۱٦۷,۹۱۳	۱۳۱,۹۸۲	۱٤۸,٤۰٤
۱٤	۲۲/٥	۹/٥	۲۲/۱	٥۲,٦۳۲	۳,۹٦۲	۳۰,٦۳۹	۲۳٤,۷۹٤	۱۷۰,۳۱۹	۱۸۸,۷۱۷
۱٥	۱۸/۷	۸/۰	۱۹/٦	۳۲,۹۱٤	٥,۱۷۰	٤۱,۱۰۸	۲۲۳,۳۱٦	۱٦٥,٦۹۰	۱٥۷,٦٥٤
۱٦	۱٥/۷	۱۹/۰	۱۸/۲	۳۰,۰٥۷	۱٤,٦٤۱	٤۰,۰۷۳	۱٦٦,۸۱٦	۲۳۱,۳۲٥	۱۳٤,۲۲۱
۱۷	۱۲/۳	۱٥/۰	۱۹/٥	۲۱,۳٥۸	۱۳,٥۲۲	۳٦,۹٤۸	۱٦۳,۱٥۷	۲۰۹,۰٦۹	۱٦۹,۰۲۰
۱۸	۱۰/۳	۹/۸	۱٤/۸	۱۸,۱۹۳	۳,٥۱٥	۲٦,۱۱۳	۱٤۷,۹۸۸	۱٦٤,٤۷٥	۱۳۳,۲۱۲
۱۹	۱۰/٦	۹/۱	۱۷/۸	۱٦,۸۰۰	۳,۳۱۲	۲۷,۲٥۱	۱۳٤,۷٦۹	۱۰۹,٥۳۹	۱٤۸,۱٤۲
۲۰	۱۰/۲	۹/۰	۳/۰	۱۰,۷٥٥	٦,٤۲٥	۲۱	۱٤۱,٤۳۸	۱۳٤,۲۸۲	۱۰,۸٦٤
جمع	۳۳۱/۰	۲۹۱/۳	۳٤۱/۰	٦٥۳,۱۰۷	۱۹٥,۹٦۰	٥٦۳,۹۱٤	۳,۷۳٦,۱۱۱	٤,۰٦۲,۰۳۰	۳,۱٥۲,۱٤٦
متوسط	۱٦/٦	۱٤/٦	۱۷/۱	۳۲,٦٥٦	۹,۷۹۸	۲۸,۰۲٥	۱۸٦,۸۰٦	۲۰۳,۱۰۱	۱٥۷,٦۰۷

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار ۱. مقدار پوشش سفر و پوشش جمعیتی امتدادهای تولید شده توسط روش پیشنهادی

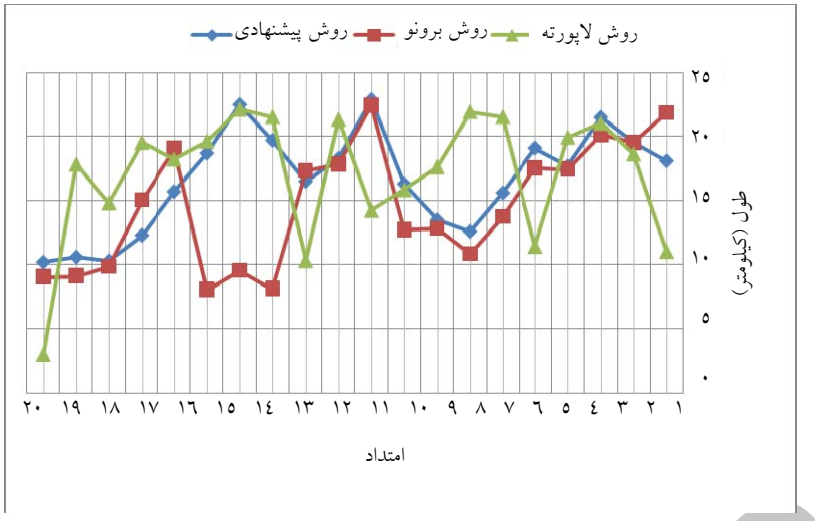


شکل ۸. امتداد شماره ۳ تولید شده توسط روش حداکثر پوشش سفر (الف) و روش پیشنهادی (ب)

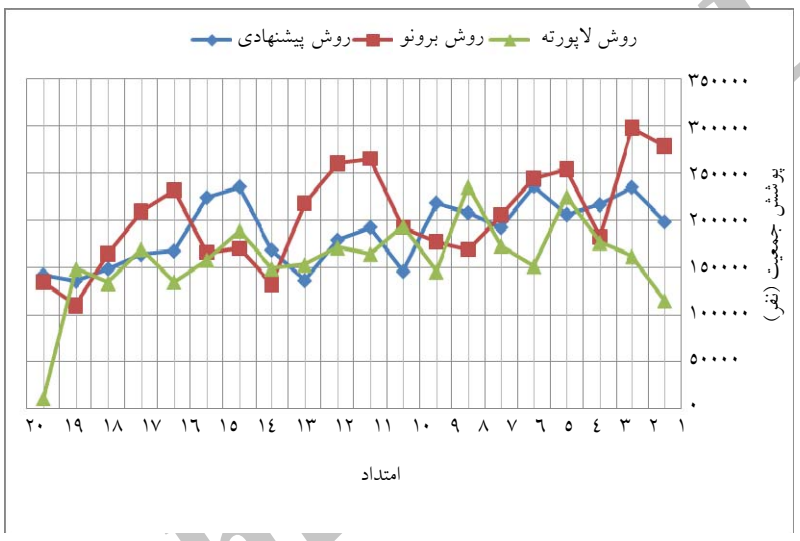
جدول ۲. مقادیر پوشش سفر متوسط راستاهای مشترک دو روش

راستا	پوشش سفر		تغییرات
	روش حداکثر پوشش سفر	روش پیشنهادی	
جنوب‌شرق به شمال‌غرب	۳۹,۹۴۸	٤٤,۷۰٦	٪۱۱/۹
جنوب‌شرق به غرب	٤٦,۱۰۰	٥۲,٦۳۲	٪۱٤/۲
شرق به غرب	٤۱,۱۰۸	٥۷,۲۷٥	٪۳۹/۳
شمال‌شرق به غرب	۲٦,۱۱۲	٤۳,٥۲۸	٪٦٦/۷

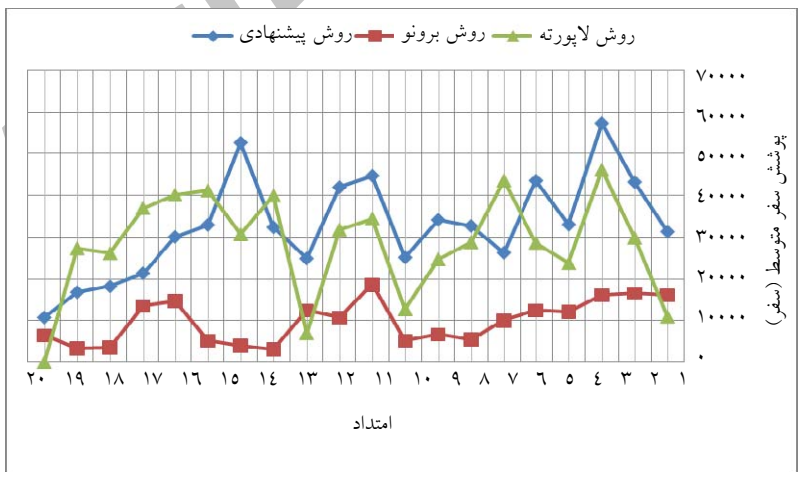
www.SID.ir



(الف)



(ب)



(ج)

نمودار ۲. الف) طول امتداد، ب) پوشش جمعیتی و ج) پوشش سفر متوسط امتدادها، برای هر سه روش

www.SID.ir

نمودار (۲) نتایج جدول (۱) را به صورت دسته‌بندی شده برای سه روش نشان می‌دهد. نمودار (۲- الف)، مقادیر طول امتدادها برای هر سه روش در هر ۲۰ امتداد را نمایش می‌دهد. طول امتداد به طور مسلم نمی‌تواند مستقیماً در ارزیابی بهینه بودن امتداد مورد استفاده قرار گیرد، ولی هر چه طول بیشتر باشد، انتظار می‌رود مقدار پوشش نیز افزایش یابد و به طبع می‌تواند به نقاط بیشتری از شبکه سرویس دهد. همین‌طور امتدادهای با طول بسیار کم می‌توانند در فرآیند انتخاب مسیر حذف شوند. نمودار (۲- ب) مقادیر پوشش جمعیتی امتدادها را مقایسه می‌کند و پوشش جمعیتی روش حداکثر پوشش جمعیتی مقادیر بالاتری را به‌دست می‌دهد. نمودار (۲- ج) شاخص اصلی و هدف این مقاله را مورد بررسی قرار داده است که همان پوشش سفر امتدادها است. در محاسبه پوشش سفر امتدادها از هر دو سمت امتداد پوشش محاسبه شده و سپس میانگین آنها آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، علی‌رغم این‌که در توسعه روش پوشش سفر به‌طور مستقیم از خود پوشش سفر استفاده شده است، ولی در اکثر امتدادها مقدار پوشش سفر روش پیشنهادی بهتر از آن روش است. یعنی به‌طور کلی امتدادهایی که توسط روش پیشنهادی تولید می‌شوند، می‌توان انتظار داشت که مقادیر بیشتری از سفرهای داخل شبکه شهری را جذب کنند. به خاطر طبیعت توسعه امتداد به این روش، نمی‌توان انتظار داشت که امتدادهای با مبدأ برابر حتماً یکسان و مقصد برابری داشته باشند. بنابراین، برای مقایسه دقیق‌تر جواب‌های دو روش پوشش سفر و پیشنهادی (که پوشش سفر نزدیکی دارند)، این ۲۰ امتداد در چند راستای اصلی تقسیم‌بندی شده و امتدادهای هم‌جهت دو روش باهم مقایسه می‌شوند. ٤ راستای مشترک بین جواب‌های دو روش وجود دارد و نتایج مقایسه به شرح جدول (۲) می‌باشد. مطابق جدول در راستاهای مشترک نیز روش پیشنهادی پوشش‌های بهتری را داشته است.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شده، بر اساس روش پوششی، روش جدیدی جهت تعیین امتداد یک سیستم حمل و نقل عمومی شهری ارایه گردد. روش پیشنهادی از معیار حداکثر پوشش جمعیتی و نقاط جاذب سفر شهری بهره برده تا در نهایت امتدادهای به‌دست آمده پوشش سفر بالایی را داشته باشند. پس از اجرای برنامه کامپیوتری نوشته شده و وارد کردن اطلاعات شبکه شهر تبریز و با استفاده از نقاط شروع برابر برای روش پیشنهادی و دو روش قبلی و تحلیل نتایج، مشخص شد متوسط پوشش سفر امتدادهای روش جدید نسبت به روش‌های قبلی، بهبود یافته است. مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی و روش پوشش جمعیتی انجام شد. مطابق آن، پوشش جمعیتی در روش پیشنهادی نسبت به روش دیگر کمتر است و در مقابل بهبود چشمگیری در تولید امتدادهای با پوشش سفر بیشتر به دست آمده و جدول نتایج، نشان‌دهنده ۳/۳ برابر شدن این شاخص در امتدادهای روش پیشنهادی است. جواب‌های روش پیشنهادی نسبت به روش حداکثر پوشش سفر نیز، پوشش سفر بیشتری داشته و مقدار این ارتقا ۱٦/۵ درصد است. همچنین بیشترین پوشش سفری که توسط یکی از امتدادهای روش پیشنهادی ایجاد شده برابر ۵۸,۸٦۹ سفر در مقابل ٤٦,۹٦۲ سفر روش حداکثر پوشش سفر است، و این درحالی است که این دو امتداد تقریباً منطبق بر هم هستند. برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر، مقایسه‌ای هم بین امتدادهای هم‌جهت روش پیشنهادی و روش حداکثر پوشش انجام شد. طبق این مقایسه در هر ٤ جهت مشترک، افزایش پوشش سفر حداقل به میزان ۱۲ درصد مشهود می‌باشد.

حل مسایل با روش‌های ابتکاری هیچ تضمینی برای به‌دست آوردن بهترین جواب نخواهد داد. ولی عبور امتداد به‌دست آمده از مناطق پرجمعیت و مراکز شهری، باعث اعتبار جواب‌های آن می‌شود و سرعت اجرا و سادگی روند، این روش را در مقابل روش‌های مسیریابی دیگر بهتر جلوه می‌دهد.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Location of Rapid Transit Line
2. Heuristics and Meta-Heuristics
3. Tabu Search
4. Grid
5. Catchment Area
6. Greedy Extension of an Alignment
7. Extension of an Alignment through Greedy Insertion
8. Variant
9. Euclidean Distance
10. Manhattan Distance

Archive of SID
www.SID.ir

۹- منابع

- آیتی، الف. و باقری، م. (۱۳۸۵) "روش پوششی برای مسیریابی بهینه قطار سبک شهری LRT"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره اول، بهار ۱۳۸۵، ص ۱-۱۱.
- مهندسان مشاور اندیشکار (۱۳۸٤) "گزارش مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تبریز".
- Giuseppe, B., Ghiani, G. P. and Improta, G. (1998) "Multimodel approach to the location of a rapid Transit Line", European Journal of Operational Research, 104, pp. 321-332.
- Giuseppe, B., Gendreau, M. and Laporté, G. (2002) "A heuristic for the location of a rapid transit line", Computers and Operations Research, 29, pp. 1-12.
- Current, J. R., Revelle, C. S. and Cohon J., (1985) "The maximum/covering shortest path problem: a multi-objective design and routing formulation", European Journal of Operational Research, 21, pp. 189-199.
- Dufourd, H., Gendreau, M. and Laporté, G. (1996) "Locating a transit line using Tabu search." Location Science, 4, pp. 1–19.
- Dicesare, F. (1970) "A system analysis approach to urban transit guideway location", PHD. Dissertation, Department of Electrical Engineering, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania.
- Eugene F. Krause (1987) "Taxicab geometry: An adventure in non-euclidean geometry", USA: Dover publications.
- Laporté, G., Juan A. M., Francisco, A. and Ortega, I. S. (2005) "Maximizing trip coverage in the location of a single rapid transit alignment", Annals of Operations Research, 136, pp. 49-63.
- Laporté G., Juan A. M., Francisco, A. and Ortega, I. S. (2002) "Location Station on Rapid Transit Lines", Computers and Operations Research, 29, pp. 741-759.

Archive of SID

www.SID.ir