

رهیافتی نوین در طراحی مسیر حمل و نقل اتوبوس های شهری با استفاده از GIS

جواد صابریان*، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
محمدسعدی مسگری، استادیار گروه مهندسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
علی شیرزادی بابکان، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

E-mail: javadsaberian@gmail.com

دریافت: ۱۳۸۷/۱۲/۲۸ - پذیرش: ۱۳۸۸/۰۹/۰۸

چکیده

GIS

GIS

واژه های کلیدی: GIS، تقاضای سفر، گراف وزن دار، مسیریابی، زمان سفر

۱. مقدمه

حمل و نقل اتوبوسهای شهری با استفاده از GIS است. ساختار مقاله برای رسیدن به این هدف به این شرح تنظیم شده است. در بخش دوم این مقاله مروری بر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه به همراه ذکر بعضی از معایب آنها انجام گرفته است. از جمله این معایب این است که در تحقیقات گذشته بیشترین تاکید بر میزان دسترسی به شبکه بوده است، در حالی که در طراحی سیستمهای حمل و نقل عمومی باید به مسائل مختلف دیگری نیز توجه شود. در بخش سوم، اهداف مختلفی که در مدل پیشنهادی این تحقیق به آنها توجه شده است، توضیح داده شدهاند.

حمل و نقل یکی از زیرساختهای کشور است که تعیین کننده سطوح مختلف دسترسی مردم و اجناس در یک مکان به مکانهای دیگر است [Kuswara (et al.), 2006]. سیستم حمل و نقل یکی از فاکتورهای نشان دهنده میزان توسعه یک کشور است. سیستمهای اطلاعات مکانی در زمینه مدیریت و طراحی بهینه تسهیلاتی چون حمل و نقل، دارای قابلیتهای فراوانی هستند. قابلیتهای تجزیه و تحلیل شبکه در سیستمهای اطلاعات مکانی از جمله محاسبه کوتاهترین مسیر یکی از مهمترین این قابلیتهاست. هدف این مقاله ارائه روشی جدید برای طراحی مسیر

در بخش چهارم روشی برای پیش‌بینی تقاضای سفر بین بلوکهای شهری ارائه شده است. برای این منظور در این مقاله بیان می‌شود که چگونه ابتدا، پیش‌بینی تولید و جذب سفر برای هر یک از بلوکها انجام و سپس با توجه به میزان تولید و جذب سفر پیش‌بینی شده برای هر یک از بلوکها و فاصله مکانی بین آنها، به توزیع سفر میان آنها پرداخته می‌شود. در بخش پنجم روشی برای وزن‌دار کردن یالهای شبکه راه‌های شهری به منظور استفاده از قابلیت‌های شبکه GIS ارائه شده است. روش ارائه شده، از ماتریس توزیع سفر به دست آمده از مرحله قبل و همچنین زمان سفر عبور از یالهای شبکه شهری به عنوان ورودی استفاده می‌کند. همچنین در این بخش به قابلیت‌های شبکه GIS به منظور طراحی مسیر حمل و نقل اتوبوس شهری پرداخته خواهد شد. این کار بر روی شبکه وزن دار شده به دست آمده از مرحله قبل انجام می‌شود. در بخش ششم به منظور فهم بهتر و آزمون مدل، یک نمونه موردی که روش پیشنهادی در آن اجرا شده است، توضیح داده شده است. نهایتاً مزایا و معایب روش ارائه شده نسبت به روش‌های موجود در بخش نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲. تحقیقات صورت گرفته در طراحی سیستم‌های

حمل و نقل

تحقیقاتی که در مورد طراحی سیستم‌های حمل و نقل عمومی انجام گرفته اند، اکثراً بر پایه نواحی تحلیل ترافیکی قرار دارند. در این تحقیقات برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک و اجرای مدل‌های پیش‌بینی تقاضای سفر، نیازمند تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به واحدها و نواحی جداگانه‌ای هستند. در این صورت برنامه‌ریز قادر خواهد بود که اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها، سفرها و حمل و نقل را به مکان‌های فیزیکی موجود در منطقه مورد مطالعه متصل سازد [Meyer and Miller, 2001]. بنابراین در این تحقیقات، نواحی تحلیل ترافیکی، یک ورودی ضروری در برنامه‌ریزی حمل و نقل به شمار می‌روند. مبدأ و مقصدهای سفر با استفاده از همین نواحی تحلیل ترافیکی تعیین می‌شوند. محدوده‌های نواحی تحلیل ترافیکی برای اینکه اطلاعات سفر را به طور صحیحی نمایش دهند، با اعمال چندین معیار زیر مشخص می‌شوند [You (et al.) 1997, O'Neill, 1991]:

- همگنی مشخصات اقتصادی - اجتماعی نواحی،
- کمینه بودن تعداد سفرهای درون ناحیه‌ای و بیشینه بودن تعداد سفرهای بین ناحیه‌ای،
- مجاورت مکانی نواحی تحلیل ترافیکی،

- به هم فشردگی در شکل ناحیه‌ای، و
 - شباهت در تولید و توزیع سفر.
- اندازه نواحی تحلیل ترافیکی باید به گونه‌ای انتخاب شود که تنها ۱۰ تا ۱۵٪ سفرهای انجام شده در آنها درون ناحیه‌ای باشند [Meyer and Miller, 2001]. در طراحی نواحی تحلیل ترافیکی سعی می‌شود که این نواحی، فعالیت‌های همگن شهری را در برگیرند، یعنی تمامی نواحی مسکونی، تجاری یا صنعتی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که دارای مشخصات نسبتاً همگنی باشند [Ortúzar (et al.) 2006, Banister, 2002] همان طور که بیان شد در طراحی شبکه حمل و نقل عمومی، همواره از نواحی تحلیل ترافیکی که نشان دهنده تقاضای بالقوه ناحیه‌ای هستند، استفاده شده است. به عنوان مثال در [Ramirez and Seneviratne, 1996] با استفاده از داده‌های آماری، مدلی برای طراحی یک مسیر حمل و نقل جدید که مسافت کل سفر را کمینه و تعداد کل مسافران آن را بیشینه می‌کند، توسعه داده شده است. اما برخی از ضعف‌ها و مشکلات تحقیقات انجام شده به شرح زیرند:
- در اکثر تحقیقاتی که در بالا به آنها اشاره شد و تحقیقات دیگر، به صورت محدودی از قابلیت‌های GIS استفاده شده است، در حالی که نقش GIS در این مسأله می‌تواند بسیار مفیدتر و کارآتر باشد.

- اگر چه داده‌های تجمع شده مکانی به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل و برنامه‌ریزی حمل و نقل بکار گرفته شده‌اند، اما به نظر می‌رسد که این داده‌ها اثرات گوناگونی بر روی نتایج مدل‌سازی دارند [Miller, 1999]. اثرات تجمع داده‌ها معمولاً در اکثر مطالعات حمل و نقل بررسی نمی‌شوند و فرض می‌شود که داده‌های تجمع شده بکار گرفته شده، از جزئیات کافی برای تولید نتایج دقیق و مدل‌سازی صحیح برخوردار هستند. مسأله ایجاد واحدهای مکانی پایه مناسب برای تحلیل و مدل‌سازی تنها مختص به مدل‌سازی حمل و نقل نیست، بلکه یک موضوع تحقیقاتی مهم در علم اطلاعات مکانی برای سالیان متمادی بوده است.
 - محدوده‌های نواحی تحلیل ترافیکی اغلب بر اساس پارامترها و معیارهای کیفی تشکیل می‌شوند و نمی‌توان محدوده‌های دقیقی را با استفاده از آنها استخراج کرد.
- با توجه به مشکلات و ضعف‌های روش‌های موجود در طراحی سیستم‌های حمل و نقل که به آنها اشاره شد، در این مقاله روشی ارائه شده است که بر پایه قابلیت‌های GIS است و تقریباً مبری از مشکلات فوق است.

۳. اهداف و معیارهای مورد نظر در طراحی

سیستم حمل و نقل اتوبوس های شهری

اهدافی که در این مقاله برای طراحی سیستم حمل و نقل اتوبوسهای شهری در نظر گرفته می شوند، شامل موارد زیرند:

- حداکثرسازی پوشش شهری توسط سیستم حمل و نقل: برای این منظور لازم است که مسیر حرکت اتوبوسها به گونه ای در سطح شهر گسترش یابند که فاصله هر نقطه از شهر تا نزدیک ترین ایستگاه، از یک حد معین بیشتر نباشد. برای رسیدن به این هدف، طراحی سیستم باید به گونه ای باید انجام شود که تقریباً تمامی بلوکهای شهری را تحت پوشش قرار دهد.
- حداکثر سازی حجم جابجایی افراد توسط هر اتوبوس: برای این منظور لازم است که مسیر حرکت اتوبوسها به گونه ای طراحی شود که از مراکز با تقاضای بالای سفر عبور کند.
- کاهش زمان مسافرت که شامل موارد زیر می شود:
 - کمینه سازی زمان دسترسی به نزدیک ترین ایستگاه اتوبوس، این معیار با همان حداکثرسازی سطح پوشش شهری سیستم حمل و نقل برآورده می شود.
 - کمینه سازی زمان سفر با انتخاب مسیر بهینه برای حرکت اتوبوس؛ انتخاب مسیر بهینه با کمترین زمان سفر، مستلزم در اختیار داشتن طول هر یک از لینکها و همچنین اطلاعات ترافیکی در هر یک از آنها است.
- کاهش تعداد سوار و پیاده شدن یک مسافر، به عبارت دیگر مسیرها باید بگونه ای طراحی شوند که مسافران برای رفتن از یک مبدأ به یک مقصد مشخص، هزینه کمتری پرداخت کنند [Vuchic, 2005]. برای این منظور نیز لازم است که مسیر حرکت اتوبوسها بر اساس تقاضاهای سفر در سطح شهر طراحی شود.

۴. پیش بینی تقاضای سفر

در این بخش، روشی برای پیش بینی تقاضای سفر بین بلوکهای شهری ارائه شده است. پس از آماده سازی داده های مورد نیاز در محیط GIS، پیش بینی تولید و جذب سفر برای هر یک از بلوکها انجام می شود. معمولاً مدل های تولید و جذب سفر متفاوتی برای سفرهای با اهداف مختلف توسعه داده می شوند [Wilmot, 1995]، سپس با توجه به میزان تولید و جذب سفر پیش بینی شده برای هر یک از بلوکها و فاصله مکانی بین آنها، به توزیع سفر میان آنها پرداخته می شود.

۴-۱ تولید و جذب سفر

هدف این بخش ارائه راه حلی برای مدل سازی تولید و جذب سفر برای اهداف مختلف سفر در هر یک از بلوکهای شهری است. مدل های تولید و جذب سفر با استفاده از روابط شناخته شده میان تعداد سفرها و اطلاعات آماری به پیش بینی تعداد سفرهای شروع و یا ختم شده به بلوکها می پردازند. تعداد سفرها به یک ناحیه و از یک ناحیه، به کاربری اراضی موجود در آن ناحیه و خصوصیات اقتصادی-اجتماعی تولیدکنندگان سفر بستگی دارد [Ortúzar (et al.), 2006]. استفاده از قابلیت های GIS در مرحله مدل سازی تولید سفر می تواند به برنامه ریزان و تصمیم گیران حمل و نقل کمک قابل توجهی کند [Berglund, 1999]. عربانی و همکاران مدل سازی توزیع سفر را با استفاده از منطق فازی و با استفاده از پارامترهای مؤثر در آن انجام داده اند [عربانی، ربیعی و امانی - ۱۳۸۵]. مدل ارائه شده توسط آنها بر یک عملگر فازی و چهار تابع: تعداد افراد خانواده، مالکیت خودرو، درآمد و ساختار منزل به عنوان توابع ورودی استوار است. برای مدل سازی تولید و جذب سفر، به دلیل قدرت و سادگی تحلیل رگرسیون، عموماً از این تحلیل استفاده می شود [Papacostas and Prevedouros, 2001, Banister, 2002]. در این تحقیق نیز برای تولید و جذب سفر از روش رگرسیون چند متغیره، استفاده شده است. روش بکار گرفته شده یک روش ریاضی است که در آن تمامی متغیرها، متغیر اتفاقی و با توزیع نرمال می باشند. شکل کلی یک مدل رگرسیون به صورت رابطه (۱) است:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

در این رابطه y متغیر وابسته، x_i متغیرهای مستقل و a_i پارامترهای مدل هستند که ابتدا در مدل برآورد می شوند. متغیر وابسته تعداد سفرهای ایجاد شده از نواحی یا جذب شده به آنها برای هر یک از اهداف سفر است و هر یک از پارامترهای مستقل در این مدلها معرف یکی از مشخصات و ویژگی های نواحی هستند. برای تخمین پارامترهای مدل از داده های واقعی مربوط به تعداد سفرهای تولید و جذب شده و اطلاعات مربوط به هر یک از مشخصه های تأثیر گذار بر روی میزان تولید و جذب سفر استفاده می شود [Wilmot, 1995].

اما یک معضل اساسی در ایجاد معادلات رگرسیون، استفاده از مشخصه هایی است که به بهترین وجه بیانگر تعداد سفرهای تولید یا جذب شده باشند، زیرا استفاده از تمامی مشخصه ها در یک

- مدل‌های جذب سفر:

- سفرهای کاری:

$$J_j^w = 1.627 * E_j + 2.414 * Shp_j + 5710 * DM_j$$

$$, R^2 = 86.1\% \quad (4)$$

- سفرهای تحصیلی:

$$J_j^s = 1.231 * St_j + 0.762 * St_u_j + 2176 * DU_j$$

$$, R^2 = 80.5\% \quad (5)$$

که در آنها:

VP_i : سرانه مالکیت خودرو شخصی در ناحیه i ,

RE_i : تعداد افراد شاغل ساکن در ناحیه i ,

E_i : تعداد کارکنان در واحدهای اشتغال موجود در

ناحیه i ,

RSt_i : تعداد دانش‌آموزان ساکن در ناحیه i ,

St_i : تعداد دانش‌آموزان واحدهای آموزشی موجود در

ناحیه i ,

$RStu_i$: تعداد دانش‌جویان ساکن در ناحیه i ,

Stu_i : تعداد دانش‌جویان واحدهای آموزش عالی

موجود در ناحیه i ,

Shp_i : تعداد واحدهای کسبی موجود در ناحیه i ,

DM_i : متغیر کمکی بازار برای ناحیه i ,

DU_i : متغیر کمکی مربوط به دانشگاه‌های بزرگ واقع

در ناحیه i ,

باید توجه داشت که علاوه بر عوامل اصلی مؤثر در تولید و جذب سفر، تعدادی متغیر کمکی (مجازی) نیز برای برخی از نواحی خاص در نظر گرفته شده است. تمامی این متغیرها با حرف D شروع می‌شوند و مقدار آنها برای نواحی مورد نظر یک و برای سایر نواحی صفر است. علت انتخاب این متغیرها انطباق بیشتر میزان تولید و جذب سفر در آن نواحی با نمونه‌برداریهای انجام شده است. با استفاده از روابط بالا می‌توان میزان تولید و جذب سفر برای هر یک از بلوکهای شهری را به دست آورد. باید توجه داشت که تمامی این مدل‌ها تنها سفرهای رفت را پیش‌بینی می‌کنند. بنابراین برای محاسبه تعداد کل سفرهای تولید شده یا جذب شده یک ناحیه، کافی است که مقادیر تولید و جذب سفر آن را با هم جمع کرد، چرا که هر ناحیه‌ای به هر اندازه که جذب سفر رفت داشته باشد، معمولاً به همان اندازه نیز تولید سفر بازگشت خواهد داشت.

مدل، کاری دشوار، پرحجم و غیر عملی است. همچنین در این صورت نیاز به حجم وسیعی از اطلاعات ورودی است که جمع‌آوری آنها کاری دشوار و حتی غیر ممکن است. از این رو برای دستیابی به کوتاه‌ترین و مناسب‌ترین معادله برازش خطی در ساخت مدل‌ها از روش گام به گام استفاده می‌شود. در این روش ابتدا میزان همبستگی (R^2) تک‌تک پارامترهای مستقل در برآورد پارامتر وابسته مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا مشخص شود کدام پارامتر مستقل بیشترین میزان همبستگی را با پارامتر وابسته دارد. در مرحله بعدی، این فرآیند را با افزایش هر یک از پارامترهای مستقل دیگر به غیر از پارامتر اولیه در قالب یک معادله برازش خطی دو متغیره ادامه می‌دهند و در هر مرحله میزان R^2 به دست آمده را محاسبه و با مقدار قبلی آن مقایسه می‌کنند. این روند تا زمان تعیین بهترین پارامتر ثانویه ادامه خواهد داشت، به صورتی که معادله برازش خطی حاصل از آن با پارامتر اولیه در مقایسه با باقی ترکیبات دو متغیره، بیشترین میزان R^2 را دارا باشد. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که با افزایش هر کدام از پارامترهای مستقل باقیمانده به مدل، تغییرات مشاهده شده در میزان R^2 اندک و قابل چشم پوشی باشد. پارامترهای موجود در معادله خطی به دست آمده از این روش، به ترتیب مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تولید و جذب سفر خواهند بود.

به این ترتیب، یک مدل جداگانه برای هر یک از اهداف سفر به دست می‌آید. از آنجا که هدف این تحقیق، طراحی شبکه مسیر حمل و نقل عمومی برای زمانهای اوج سفر است و از آنجایی که سفرهای کاری و تحصیلی بیشترین تعداد را در زمانهای اوج سفر دارند، به همین خاطر تنها این سفرها به عنوان تقاضای سفر بلوکها در نظر گرفته شدند. این مدلها به همراه مقادیر ضریب همبستگی آنها در زیر آورده شده‌اند:

- مدل‌های تولید سفر:

- سفرهای کاری:

$$J_i^w = 0.565 * VP_i * RE_i + 1.112 * RE_i$$

$$, R^2 = 95.7\% \quad (2)$$

- سفرهای تحصیلی:

$$J_i^s = 1.473 * VP_i * RSt_i + 0.825 * RStu_i$$

$$, R^2 = 86.3\% \quad (3)$$

۴-۲ توزیع سفر

پس از به دست آوردن میزان تولید و جذب سفر برای هر یک از بلوکهای شهری، هدف از این بخش رسیدن به توزیع سفرهای پیش‌بینی شده میان بلوکها است. توزیع سفر اغلب بر اساس مدل جاذبه انجام می‌شود، اما استفاده از مدل‌های دیگر نیز کم و بیش رواج دارد. در مدل‌های جاذبه می‌توان از پارامترهای مختلفی مانند فاصله، زمان یا هزینه به عنوان عامل مقاومت در برابر سفر استفاده کرد. در این تحقیق به دلیل نداشتن اطلاعات مربوط به ترافیک و سرعت حرکت در معابر، تنها فاصله بر روی شبکه معابر به عنوان عامل مقاومت در نظر گرفته شده است. برای محاسبه فاصله‌ی میان بلوک‌های شهری، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.1 مراکز ثقل آنها به عنوان نقاط نماینده تولید و جذب سفر مشخص شده و سپس نزدیک‌ترین معبر موجود به آن نقاط شناسایی و کوتاه‌ترین مسیر میان بلوکها به این ترتیب محاسبه می‌شود. طول کوتاه‌ترین مسیر حاصل به‌علاوه فاصله میان مراکز ثقل تا نزدیک‌ترین معبر به عنوان فاصله میان بلوکها نقش عامل مقاومت در برابر سفر را خواهد داشت. نهایتاً ماتریسی تشکیل داده می‌شود که تعداد سطرها و ستون‌های آن برابر با تعداد بلوکها و هر درایه آن فاصله میان بلوکهای مبدأ و مقصد را مشخص می‌کند.

پس از تعیین ماتریس فاصله می‌بایست تابع مقاومت مناسبی برای هر یک از اهداف سفر تعیین شود. این تابع به طور کلی بیان می‌کند که هر چه میزان مقاومت (مانند: زمان، هزینه، مسافت سفر و...) میان دو ناحیه افزایش یابد، مسافران رغبت کمتری به انجام سفر میان آن نواحی نشان می‌دهند. اگر چه در مدل جاذبه می‌توان از معکوس ساده مقاومت (یا مجذور مقاومت) استفاده کرد، اما به طور تجربی نشان داده شده است که توابع پیچیده‌تر، از عملکرد بهتری برخوردار هستند. پرکاربردترین توابع مقاومت مورد استفاده در مدل جاذبه، توانی، توانی، و گاما هستند [Ortúzar (et al.), 2006]. در این تحقیق از تابع گاما با صورت کلی رابطه (۶) استفاده شده است:

$$f(d_{ij}) = a * d_{ij}^{-b} * e^{-c(d_{ij})}, \quad a, b, c > 0 \quad (6)$$

این تابع به دلیل دارا بودن مؤلفه‌های توانی و نمایی از انعطاف پذیری بیشتری برای استفاده در مدل جاذبه جهت توزیع سفر برخوردار است. به این ترتیب یک تابع مقاومت گامای مجزا، جهت توزیع سفر هر یک از اهداف سفر توسعه داده می‌شود.

علت متفاوت بودن تابع مقاومت برای هر یک از اهداف سفر این است که میزان تمایل افراد برای انجام سفرهای با طولهای مختلف با توجه به هدف سفر تغییر می‌کند.

اما قبل از بکارگیری تابع مقاومت گاما در مدل جاذبه باید با استفاده از داده‌های نمونه‌برداری شده موجود آن را کالیبره کرد. در واقع هدف اصلی از کالیبراسیون مدل جاذبه، تخمین پارامترهای تابع مقاومت است. پس از انجام کالیبراسیون، توابع مقاومت به تفکیک اهداف سفر به دست می‌آیند که با بکارگیری آنها میان جفت نواحی، مقداری برای هر یک از اهداف سفر به دست می‌آید که عموماً تحت عنوان مقدار اصطکاک میان نواحی شناخته شده و در ماتریسی به نام ماتریس اصطکاک ذخیره می‌شود. تابع مقاومت گاما برای توزیع سفرهای کاری و تحصیلی به صورت زیر به دست آمد:

- تابع مقاومت گاما برای توزیع سفرهای کاری:

$$f(d_{ij}) = 12103 * d_{ij}^{-1.389} * e^{-0.000602(d_{ij})} \quad (7)$$

- تابع مقاومت گاما برای توزیع سفرهای تحصیلی:

$$f(d_{ij}) = 4854 * d_{ij}^{-2.076} * e^{-0.000925(d_{ij})} \quad (8)$$

نهایتاً برای هر یک از اهداف سفر به طور جداگانه توزیع سفرها میان بلوکهای شهری انجام می‌شود، به گونه‌ای که مجموع هر سطر از ماتریس توزیع سفر حاصل برابر با تولید سفر و مجموع هر ستون آن برابر با جذب سفر پیش‌بینی شده در مرحله تولید سفر باشد. برای انجام این کار از موازنه دوگانه توزیع سفر (مشروط به تولید و جذب) استفاده می‌شود. به این ترتیب برای هر یک از اهداف سفر یک ماتریس توزیع سفر مجزا به دست می‌آید که تعداد سطرها و ستون‌های آن برابر با تعداد بلوک‌های آماری مورد استفاده است. در مطالعه موردی انجام شده در بخش ۶، نمونه‌ای از این ماتریسهای محاسبه شده نمایش داده شده‌اند.

۵. وزن دهی یالها بر اساس تقاضای سفر و

زمان سفر

قبل از بیان چگونگی وزن دهی یالهای شبکه، لازم است که توضیح مختصری در مورد گراف و توریهای مربوط به آن آورده شود:

مفهوم گراف در سال ۱۷۳۶ توسط اویلر و با طرح راه‌حلی برای

[1999]. الگوریتمهای ماتریسی، کوتاهترین فاصله بین همه جفت رأسها در شبکه را با عملیات تکراری پیدا می‌کنند. اساس کار این الگوریتم ها این است که شبکه را به صورت یک ماتریس در نظر می‌گیرند. اما الگوریتمهای با ساختار درختی کوتاهترین مسیر را از راس مبدأ به سایر راسها می‌یابند. در این الگوریتم ها، درختی از کوتاهترین مسیرها با شاخه‌هایی منشعب شده از مبدأ تولید می‌شود. از الگوریتمهای درختی می‌توان به الگوریتم دایجسترا [Cormen (et al.), 2001] بلمن فورد، و A^* [Dechter and Pearl, 1985] و از الگوریتمهای ماتریسی می‌توان به الگوریتم فلوید-وارشال و جانسون [Gosper, 1998] اشاره کرد.

در مساله طراحی مسیر حمل و نقل اتوبوسهای شهری لازم است که وزن دهی یالهای شبکه بر اساس اهداف طراحی انجام گیرد. برای این منظور چند مرحله را در نظر می‌گیریم:

مرحله ۱) در مرحله اول، شبکه‌ای از تمامی خیابان‌هایی که استاندارد لازم برای حرکت اتوبوس شهری را دارند تولید می‌کنیم، و سپس گراف مربوط به این شبکه را استخراج می‌کنیم که در آن یالها همان خطوط شبکه و گره‌ها نقاط اتصال خطوط (چهارراه‌ها و ...) هستند.

مرحله ۲) در این مرحله به هر یک از یالهای گراف بر اساس زمان سفر در آن و همچنین میزان تقاضای سفر بلوکهای اطراف آن، یک وزن نسبت داده می‌شود. وزن نهایی هر یال از رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$W_{e_i} = \frac{T_{e_i}}{C_{e_i}} \quad (9)$$

که در آن W_{e_i} : وزن یال e_i ، C_{e_i} : میزان تقاضای سفر در یال e_i که از مجموع میزان تولید و جذب سفر پیش‌بینی شده برای بلوکهای اطراف آن به دست می‌آید، و T_{e_i} : مدت زمان عبور از یال e_i هستند.

همان‌طور که بیان شد، در تحلیل‌های شبکه بهترین مسیر به نحوی انتخاب می‌شود که مجموع وزن یالهای آن مسیر حداقل شود. به عبارت دیگر یال با وزن کمتر نسبت به یال با وزن بیشتر، ارجحیت دارد. به همین علت برای به دست آوردن وزن نهایی هر یال، زمان عبور از یال (T) باید در صورت قرار گیرد و C باید در مخرج قرار گیرد.

مرحله ۳) پس از آنکه وزن هر یک از یالهای شبکه با توجه به اهداف طراحی تعیین شد، نوبت به استخراج شبکه نهایی مسیر اتوبوسها می‌رسد که باید از بین کل یالهای شبکه، یالهای مناسب

مساله یالهای کونینگسبرگ ارایه و به تدریج توسعه یافت [Barnett, 2005, Ore, 1990]. در دنیای اطراف ما، وضعیت‌ها و حالت‌های فراوانی وجود دارد که می‌توان آنها را توسط مجموعه گره‌ها و یالها مدل سازی کرد. گراف G مجموعه ای شامل دو مولفه (N, E) بوده که در آن N مجموعه‌ای متناهی و ناتهی از گره‌ها و E مجموعه‌ای از ارتباطات دودویی بین گره‌ها است. N، مجموعه گره‌ها در گراف و E مجموعه یالهای گراف است [Boundy and Murty, 1999].

گراف جهت دار

گراف جهت دار گرافی است که به هر یال آن یک جهت اختصاص یافته باشد. در مواردی مثل تحلیل شبکه لازم است به منظور مدلسازی دنیای واقعی از گرافهای جهت‌دار برای نشان دادن جهت حرکت مجاز در خیابانها (یالها) استفاده شود [Keshtiarast (et al.), 2006].

گراف وزن دار

گراف وزن دار گرافی است که به هر یال آن وزنی نسبت داده شده باشد. در تحلیل‌های شبکه این وزن می‌تواند نشان دهنده فاصله دو راس زمان عبور از یال گراف در شبکه و غیره باشد.

مسیر

مسیر p دنباله‌ای از رأسها $\langle V_1, V_2, V_3, \dots, V_n \rangle$ است به گونه‌ای که زوج (V_i, V_{i+1}) عضو مجموعه E (یالها) باشد. در صورتی که گراف وزن دار باشد، کوتاهترین مسیر از V_i به V_j مسیری است که جمع کل وزن یالهای آن کمترین مقدار ممکن در مقایسه با سایر مسیرهای از V_i به V_j باشد. (بین دو نقطه از هر گراف تعداد زیادی مسیر ممکن وجود دارد) [Keshtiarast (et al.), 2006].

الگوریتم‌های محاسبه کوتاهترین مسیر

مسئله کوتاهترین مسیر همواره یکی از کاربردی‌ترین مسائل در تحلیل‌های مکانی در حمل و نقل و همچنین سیستمهای خدماتی مکان مینا بوده است. با توسعه و پیشرفت روزافزون این سیستمها با توجه به پیچیدگی‌های مدل‌های ریاضی و ساختار شبکه‌ای، الگوریتم‌های مختلفی برای مسیریابی بهینه با توجه به پارامترها و خصوصیات و ساختار شبکه ارایه شده است. با توجه به تنوع مسائل مسیریابی از لحاظ ساختار گراف و پارامترها هیچگاه یک الگوریتم بهینه برای کلیه مسائل مسیریابی وجود نداشته است و متناسب با هر مسئله یک الگوریتم می‌تواند بهترین نتیجه را بدهد. الگوریتمهای مسیریابی به دو دسته اصلی الگوریتمهای ماتریسی و الگوریتمهای با ساختار درختی تقسیم‌بندی می‌شوند [Preygel,

منظور ابتدا قسمتی از منطقه ۱۰ شهر تهران به عنوان منطقه مطالعاتی برگزیده شده است (شکل ۱). منطقه تقریباً به شکل مربع و به ابعاد تقریبی ۲ کیلومتر است.

برای انجام این تحقیق از نرم افزار ArcGIS 9.1 استفاده شده است. روش اجرا در نمودار ۱ نشان داده شده است.

با توجه به مراحل ذکر شده در نمودار ۱ ابتدا همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، شبکه ای از تمامی خیابان هایی که استاندارد لازم برای حرکت اتوبوس شهری را در داخل خود دارند، تولید و سپس گراف مربوط به آن استخراج می شود که در آن پالها همان خطوط شبکه و گره ها نقاط اتصال خطوط هستند.

در ادامه با استفاده از روشی که در بخش ۳ بیان شد، میزان تقاضای سفر بلوکهای شهری پیش بینی می شود.

برای این منظور، ابتدا با استفاده از مدل های تولید و جذب سفر، میزان سفرهای مربوط به هر بلوک به دست آورده می شوند. منطقه مورد مطالعه شامل ۴۸۲ بلوک است که باید برای هر یک از آنها طبق مدل های ارایه شده، مجموع تولید و جذب سفر محاسبه شود.

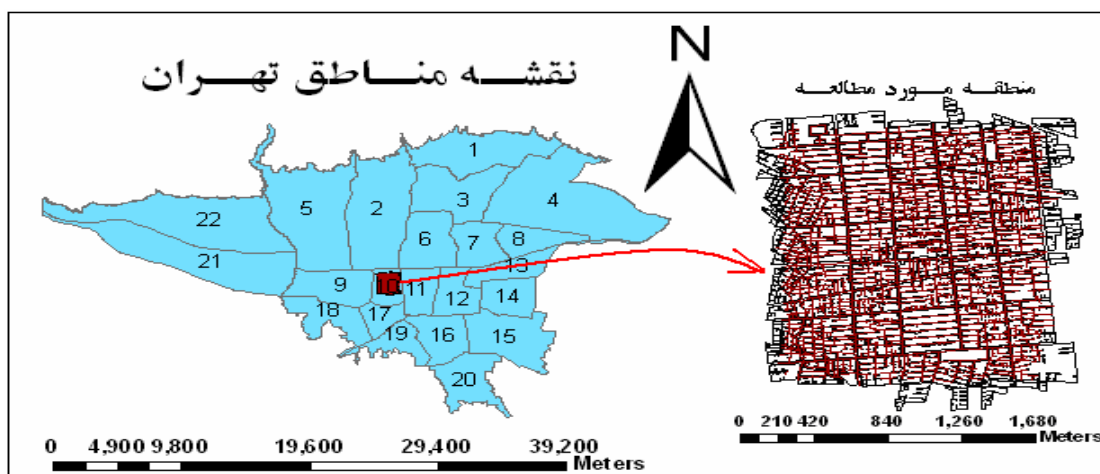
جدول (۱) محاسبات انجام شده به تفکیک انواع سفرها را برای ۱۰ بلوک از کل منطقه نشان می دهد.

پس از آنکه میزان تولید و جذب سفر برای هر یک از بلوکها به دست آمد، باید به توزیع سفر میان بلوکها پرداخته شود. همان طور که در بخش ۳ بیان شد، این کار با استفاده از مدل جاذبه صورت می گیرد. جدول (۲) توزیع سفر بین بلوکهای ارایه شده در جدول (۱) را نشان می دهد.

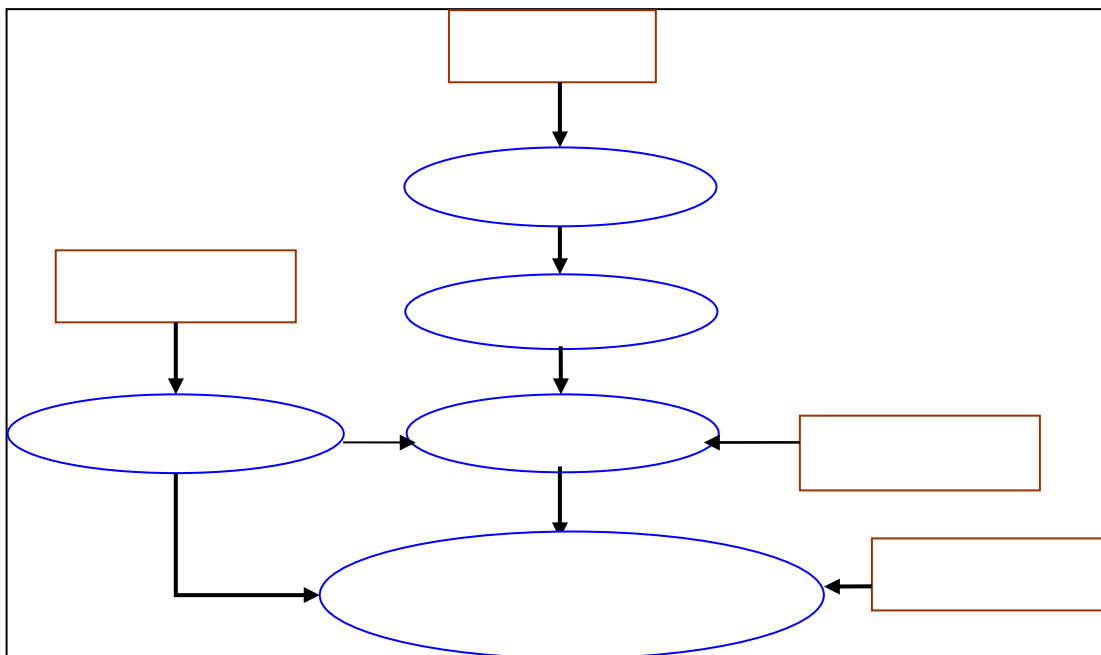
انتخاب شوند. این کار با استفاده از قابلیت شبکه نرم افزار ArcGIS 9.1 قابل انجام است. برای این منظور ابتدا دو بلوک که میزان توزیع سفر بین آنها حداکثر است، به عنوان مبدأ و مقصد سفر انتخاب می شوند و بر روی یالهای متصل به بلوکهایی که از مبدأ به آنها سفری وجود ندارد، یک مانع گذاشته می شود تا مسیر از آنها عبور نکند. سپس با استفاده از تحلیل کوتاه ترین مسیر، بهترین مسیر بین آنها با توجه به وزنه های نسبت داده شده به یالهای شبکه استخراج می شود. با این کار علاوه بر اینکه مسأله زمان سفر حداقل بین مبدأ و مقصدهای سفر در نظر گرفته می شود، مسیر از یالهایی عبور می کند که بیشترین تقاضای سفر از مبدأ به آنها وجود دارد. در مرحله بعد دو بلوک با حداکثر توزیع سفر بعدی وارد می شوند و عملیات مسیریابی بین آنها تکرار می شود. این فرآیند تا زمانی که میزان سفرهای بین بلوکها به یک حد آستانه برسد و شبکه مسیر اتوبوسها تقریباً کل شهر را پوشش دهد، ادامه می یابد. مطمئناً لازم نیست که به منظور پوشش کل شهر عملیات مسیریابی بین تمامی بلوکها به صورت جداگانه انجام شود، زیرا در هر مرحله یافتن مسیر بین دو بلوک، تقاضاهای سفر بین بعضی بلوکهای دیگر نیز برآورده می شوند. در ادامه در یک مطالعه موردی که روش ارایه شده در این تحقیق در آن اجرا شده است تمامی مراحل ذکر شده توضیح داده می شوند.

۵. مطالعه موردی

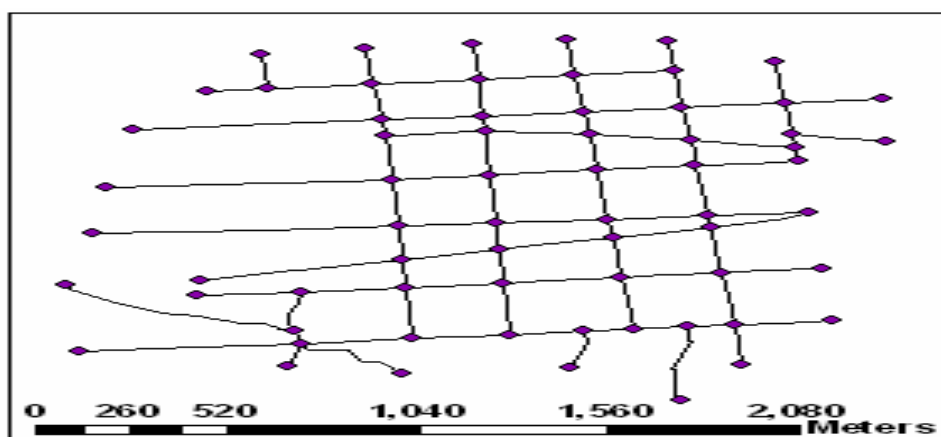
در این بخش نحوه و چگونگی پیاده سازی روش ارایه شده در این تحقیق در یک مطالعه موردی تشریح شده است. برای این



شکل (۱) منطقه مورد مطالعه



نمودار ۱. مدل معرفی شده برای اجرای طراحی سیستم حمل و نقل اتوبوس‌های شهری



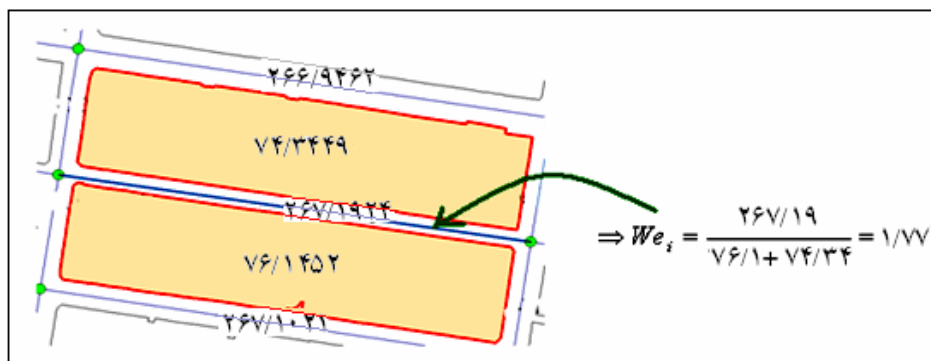
شکل ۲. استخراج خیابان‌های مناسب و تبدیل آنها به گراف

جدول ۱. میزان تولید و جذب سفر ۱۰ بلوک از منطقه مورد مطالعه به تفکیک اهداف سفر

بلوک	تولید سفرهای کاری	تولید سفرهای تحصیلی	جذب سفرهای کاری	جذب سفرهای تحصیلی	جمع کل
۱	۹۲	۱۱۷	۶۶	۱۴۱	۴۱۵
۲	۱۴۸	۱۴۹	۱۳۰	۱۲۱	۵۴۹
۳	۱۸۷	۱۵۷	۲۰۸	۱۶۱	۷۱۳
۴	۲۱۸	۱۸۳	۲۱۹	۱۱۳	۷۳۳
۵	۱۱۳	۱۳۵	۱۰۴	۷۰	۴۲۲
۶	۱۳۷	۱۸۴	۲۵۹	۲۵۰	۸۳۰
۷	۱۲۹	۶۴	۱۰۱	۱۴۳	۴۳۷
۸	۸۳	۶۶	۷۷	۴۷	۲۷۲
۹	۹۹	۳۱	۵۰	۴۶	۲۲۶
۱۰	۱۰۳	۳۱	۴۹	۷۱	۲۵۵
جمع	۱۳۰۸	۱۱۱۷	۶۷۰	۸۸۵	۳۹۸۰

جدول ۲. توزیع سفر بین بلوکهای بیان شده در جدول ۱

از/به	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	جمع
۱	۸۳	۷	۴۷	۲۸	۳	۲۴	۱۱	۳	۲	۲	۲۰۹
۲	۱۶	۱۰۴	۳۳	۹	۲۸	۶۶	۱۵	۲	۹	۱۳	۲۹۷
۳	۴۱	۱۸	۱۳۶	۴۲	۵	۵۸	۳۱	۶	۴	۳	۳۴۴
۴	۲۸	۸	۴۹	۱۷۷	۴	۴۴	۴۲	۴۲	۳	۴	۴۰۱
۵	۸	۴۷	۱۷	۷	۹۵	۳۸	۹	۲	۱۴	۹	۲۴۷
۶	۱۱	۲۴	۴۱	۱۰	۹	۱۶۸	۳۸	۶	۶	۷	۳۲۱
۷	۸	۱۰	۲۴	۲۰	۴	۴۸	۶۴	۱۲	۲	۲	۱۹۳
۸	۵	۴	۱۲	۳۳	۱	۱۸	۲۵	۴۸	۱	۱	۱۴۸
۹	۳	۱۴	۴	۳	۱۷	۱۹	۳	۱	۴۲	۲۵	۱۳۰
۱۰	۳	۱۶	۵	۳	۸	۲۴	۵	۱	۱۴	۵۵	۱۳۵
جمع	۲۰۶	۲۵۲	۳۶۹	۳۳۲	۱۷۴	۵۰۹	۲۴۴	۱۲۳	۹۶	۱۲۰	۲۴۲۶



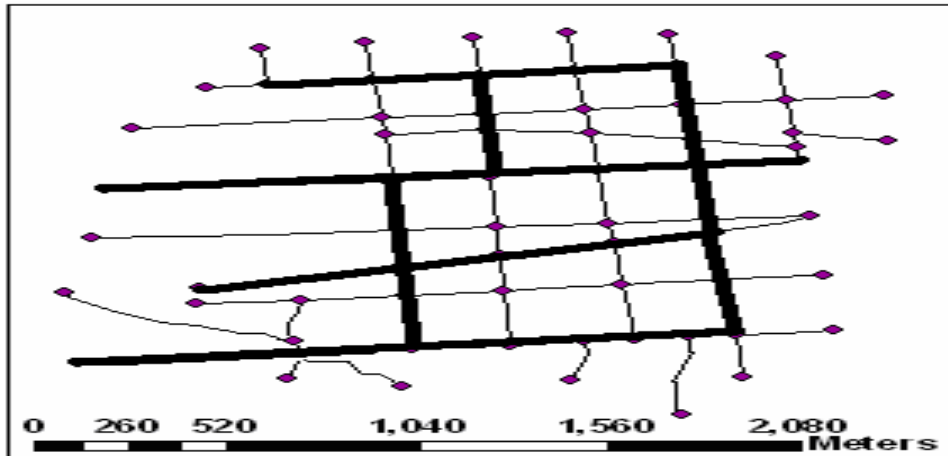
شکل ۳. نحوه استخراج وزن یالها

الگوریتم دایجسترا برای مسیریابی استفاده می کند. میزان حد آستانه برای اتمام مسیریابی بین بلوکها عدد ۵ در نظر گرفته شد، یعنی مسیریابی بین بلوکهایی که میزان سفر بین آنها بیشتر از عدد ۵ است، انجام می گیرد. شکل (۴) شبکه نهایی مسیر اتوبوسها را نشان می دهد. در این شکل خطوطی که با رنگ مشکی ضخیم نشان داده شده اند بیانگر مسیرهایی هستند که خطوط اتوبوس باید از آنها عبور کنند.

نهایتاً با توجه به مطالعه موردی انجام گرفته می توان گفت که GIS و ابزار آن می توانند در انجام محاسبات پیچیده و افزایش دقت در طراحی مسیر اتوبوسهای حمل و نقل شهری، نقش مهمی را ایفا کنند. همان طور که ملاحظه شد با استفاده از قابلیت شبکه نرم افزارهای GIS می توان در طراحی خطوط حمل و نقل اتوبوس، اهداف متعددی را در کنار هم در نظر گرفت..

در ادامه با توجه به روشی که در بخش ۴ بیان شد، وزن مناسب برای هر یک از یالهای موجود در شبکه استخراج می شود. شکل (۳) نحوه استخراج وزن هر یال را برای یکی از یالهای گراف نشان می دهد. در این شکل اعداد نوشته شده در بلوکها مجموع تولید و جذب سفر آنها (عدد واقعی گرد نشده که از مدلهای توضیح داده شده در بخش ۴ به دست آمده اند) و اعداد نوشته شده بر روی یالها زمان عبور از آنها را نشان می دهند. البته لازم به ذکر است که در این مطالعه موردی به دلیل در اختیار نداشتن زمان سفر واقعی هر یال، زمان سفر آنها شبیه سازی شده است.

در پایان با استفاده از روش ارائه شده در مرحله سوم بخش ۴، شبکه مسیر اتوبوسها استخراج می شود. این کار با استفاده از ماتریس توزیع سفر بین بلوکها و مسیریابی در گراف استخراج شده از مرحله قبل انجام می شود. مسیریابی با استفاده از تحلیل کوتاه ترین مسیر نرم افزار ArcGIS انجام می گیرد. این نرم افزار از



شکل ۴) شبکه نهایی مسیر حرکت اتوبوس‌ها

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همان‌طور که بیان شد طراحی مسیر حرکت اتوبوس‌های شهری یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی در سیستم‌های حمل و نقل عمومی به شمار می‌رود. در این تحقیق برای طراحی مسیر حرکت اتوبوس‌های شهری، روشی ارائه شد که می‌تواند راه‌حل مناسبی برای پرداختن همزمان به چندین هدف در طراحی سیستم‌های حمل و نقل باشد. این هدفها در بخش سوم مقاله توضیح داده شدند. همان‌طور که دیده شد در این تحقیق از بلوک‌های شهری و اطلاعات مرتبط با آن به عنوان نواحی تحلیل ترافیکی استفاده شد تا همزمان هم مساله پوشش شهری شبکه حمل و نقل در نظر گرفته شود و هم مساله حداکثر سازی جابجایی مسافر. به این ترتیب می‌توان گفت که در این روش بر خلاف روش‌های موجود طراحی شبکه حمل و نقل، که کاملاً وابسته به دقت تعیین نواحی تحلیل ترافیکی هستند، می‌توان از بلوک‌های شهری که از قبل تعیین شده هستند به عنوان نواحی تحلیل ترافیکی استفاده کرد.

برای مدل‌سازی تولید و جذب سفر در بلوک‌های شهری، به دلیل قدرت و سادگی تحلیل رگرسیون، از روش رگرسیون چند متغیره و همچنین از مدل جاذبه با تابع مقاومت گاما به منظور توزیع سفر بین بلوک‌ها استفاده شد. برای پرداختن همزمان به تمامی اهداف طراحی از قابلیت شبکه نرم‌افزارهای GIS بهره گرفته شد. تحلیل‌های شبکه در GIS بر اساس مبانی و تئوری‌های گراف انجام می‌شود در این کار تحقیقاتی نشان داده شد که به منظور پرداختن به تمامی اهداف طراحی، وزنی که به یالهای گراف در

شبکه معابر شهری اختصاص می‌یابد، باید بر اساس زمان سفر و میزان تقاضای سفر بین بلوک‌ها به دست آید. مطالعه موردی انجام گرفته در این مورد نیز، دستیابی به نتایج بسیار مفید با در نظر گرفتن اهداف مختلف در طراحی و استفاده از قابلیت‌های GIS را به خوبی نشان داد.

نهایتاً موارد زیر به عنوان ادامه این کار تحقیقاتی پیشنهاد می‌شوند:

- ۱- بعد از مشخص کردن شبکه مسیر حرکت اتوبوس‌ها که در این مقاله به آنها پرداخته شد، نوبت به جداسازی خطوط و تعیین تعداد خط مناسب برای شبکه استخراج شده می‌رسد که نیازمند مشخص کردن مبدأ و مقصد و مکان قرار گیری ایستگاه‌های هر خط است. مبدأ و مقصدها باید بر اساس اطلاعات تقاضای سفر بین بلوک‌ها تعیین شوند.

- ۲- پس از مشخص کردن و جداسازی خطوط، لازم است که برای هر خط با توجه به میزان تقاضای سفر، طول مسیر، ترافیک مسیر و ... فرکانس مناسب برای حرکت اتوبوس‌ها در آن طراحی شود و سپس با توجه به فرکانس طراحی شده، تعداد اتوبوس مناسب به آن اختصاص یابد. به نظر می‌رسد که بعضی تبدیلات مثل تحلیل فوریه و موجک^۳ که یک سیگنال اطلاعاتی در فضای آرگومان (مثلاً مکان یا زمان) را به فضای فرکانس می‌برند، می‌توانند در این بخش مورد استفاده قرار گیرند.

۷. پانویس‌ها

- 1- Traffic Analysis Zones
- 2- Geospatial Information System
- 3-Wavelet Analysis

- O'Neill, W.A., 1991 "Developing optimal traffic analysis zones using GIS", ITE Journal, 61, 33-36.
- Ore, O, (1990), "Graphs and Their Uses", new mathematical library(34), the mathematical association of america.
- Ortúzar, J. de D. and Willumsen, L.G. (2006) "Modelling Transport", 4th edition, New York: John Wiley & Sons, pp. 199-257.
- Papacostas, C.S. and Prevedouros, P.D. (2001) "Transportation Engineering and Planning", 3rd edition, Prentice Hall International Inc., pp. 345-358.
- Preygel, A. (1999) "Path finding: A Comparison of algorithms". Management Science pd, Matthews.
- Ramirez, A.I. and Seneviratne, P.N. (1996) "Transit route design applications using geographic information systems", Transportation Research Record, 1557, 10-14.
- Vuchic, Vukan R., (2005) "Urban Transit: operation, planning, and economic", John Wiley & Sons, Inc.
- Wilmot, C.G., (1995) "Evidence on transferability of trip generation models", Transportation Engineering, 09, 405-410.
- You, J., Nedović-Budić, Z. and Kim, T.J., (1997), "A GIS-based traffic analysis zone design: Technique", Transportation Planning and Technology, No 21, pp. 45-68.
- عربانی، مهیار، ربیعی، شهره و امسانی، بابک (۱۳۸۵)، "پیش بینی تولید سفرهای شهری با استفاده از منطق فازی بر مبنای مطالعه موردی شهر رشت"، پژوهشنامه حمل و نقل، شماره ۴، ص ۲۸۹-۳۰۵.
- Banister, David (2002) "Transport Planning", 2nd edition, London: Spon Press.
- Barnett. H. J (2005) "Early Writings on Graph Theory: Euler Circuits and The Konigsberg Bridge problem. An Historical Project", Colorado State University – Pueblo Pueblo, CO 81001 – 4901.
- Berglund, S. and Karlström, A. (1999) "TECHNICAL REPORT: Computing G_i and G_{ij} , Program Documentation.
- Boundy, J.A. and U.S.R. Murty (1999) "Graph Theory with Applications", ISBN: 964-6761-57- 7.
- Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L. and Stein C, (2001), "Introduction to Algorithms", MIT Press and McGraw-Hill, pp. 588-601.
- Dechter R., Pearl J (1985) "Generalized best-first search strategies and the optimality of A*", Journal of the ACM; Vol. 32, No. 3, pp. 505-536.
- Gosper, J, (1998) "Floyd-Warshall all Pairs shortest path algorithm". Brunel University, www.brunel.ac.uk, 1998.
- Keshtiarast A., Alesheikh A.A., Kheirbadi A (2006) "Best Route Finding Based on Cost in Multimodal Network with care of networks constraints", Map Asia 2006; India, Ref. No. 66.
- Kuswara, M., Prihandana, R. and Desriani, R. (2006) "Characteristics of urban development and commuters in metropolitan Bandung", MapAsia.
- Miller, H.J., (1999), "Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation (GIS-T)", Geographical Analysis, Vol 31, No 4, pp. 373-399.
- Meyer, M.D. and Miller, E.J. (2001) "Urban Transportation Planning", Mc Graw -Hill Press, New York.