علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هشت، آبان ماه ۹۹

توسعه راهکاری مکان مند برای مسیریابی بهینه خطوط *BRT*

زهرا عباسی [۱*]
Zahra_abbasi_68@yahoo.com
علی اصغر آل شیخ [۲]
سعید بهزادی [۳]
حسین آقامحمدی [٤]

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۸**

چکیده

زمینه و هدف: روش‌های متفاوتی تاکنون برای تعیین امتداد یا مسیریابی در سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی طراحی و ارایه‌شده‌اند. مسأله مسیریابی برای سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی شهری به‌صورت تعیین محل یا موقعیت بهینه ایستگاه‌ها و امتداد مسیر در یک شهر تعریف می‌شود.

روش بررسی: طراحان در حل این مسایل با گستره‌ی بزرگی از انواع معیارها مواجه هستند که در این میان معیارهای هزینه، زمان و پوشش از مهم‌ترین آن‌ها می باشند. در این مقاله بهینه سازی مسیریابی در منطقه‌ای از شهر تهران صورت گرفت که تعداد ۹ خط اتوبوس از درون آن تردد می‌کند. در این تحقیق جهت بهینه نمودن خطوط، مبدأ و مقصد هر خط بدون تغییر در نظر گرفته شد و مسیرهای اتصالی بین آن‌ها مورد بهینه‌سازی قرا گرفت. برای انجام این عمل از ۸ فاکتور (ظرفیت جاده (سطح سرویس راه *LOS*[۵])، کاربری اراضی، وضعیت روسازی، عرض خط عبور، اجزا سطح مقطع راه، حوزه‌های تراکم جمعیت و طول هر لبه (*ARC*)) انتخاب شد. بر اساس اهمیت هر فاکتور در مسیریابی وزنی به آن‌ها داده شد. پس از اجرای الگوریتم دایجسترا مسیر ۵ خط اتوبوس تغییر یافت. تغییر مسیر خطوط خود باعث نیاز به مکان‌یابی ایستگاه های جدید گشت.

یافته ها: پس از تعیین معیارهای مکان‌یابی و ایجاد لایه‌های دخیل، ۱۶ ایستگاه جدید مکان‌یابی گردید. سپس به توسعه مسیرهای پیشنهادی بین ایستگاه‌های مکان‌یابی شده پرداخته شد.

بحث و نتیجه گیری: یکی از مهم ترین جنبه های نوآوری این پژوهش این است که با استفاده از توانمندی های GIS بتوان راهکارهایی نوین برای مکان مندی و مسیریابی بهینه خطوط BRT ارایه کرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم های اطلاعات مکانی، بهینه سازی، مکان‌یابی، *BRT*

۱- کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)
۲- استاد، گروه مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
۳- استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
۴- استادیار، گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

5- Level of Service

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.8, October, 2020

Development of spatiol network for optimal routing of BRT lines

Zahra Abbasi[1]*
Zahra_abbasi_68@yahoo.com
Ali Asghar Alesheikh[2]
Saeed Behzadi [3]
Hosein Aghamohammadi [4]

Admission Date:February 7, 2020 Date Received: September 17, 2019

Abstract

Background and Objective: Numerous routing methods of public transportation systems have been designed. The main challenge of optimum routing of urban public transportation systems is defined as the determination of the optimal locations of the stations and the routh lengths in a city.

Method: To address the challeng designers are confronted with a wide range of criteria, among which cost, time and coathing are the most important ones. In this paper, routing optimization for a configuration of 9 bus lines in one of the Tehran districts was implemented. In order to optimize the bus routes, the origin and destination of each line were considered fixed and the intermediate routes were optimized. Eight factors consisting of: road capacity (LOS), land use, pavement status, crossing line width, components of road cross sections, population density and length of each edge (Arc) were selected for optimization process. According to the importance of each factor for routing, a special weighting coefficient were assigned to each criteria. After implementating Dijkstra algorithm, the routes of 5 bus lines must be changed. The line direction changing subsequently caused to new stations allocation requirement.

Findings: After determining the allocation criteria and creating corresponding layers, 16 new stations were allocated. Finally, the proposed routes between these stations were identified.

Discussion and Conclusion: One of the most important aspects of innovation in this study is the use of GIS capabilities to provide novel solutions for optimal routing of BRT lines.

Keywords: BRT, Allocation, Optimization, Allocation information systems.

1- M.Sc., RS & GIS, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(Corresponding Author)
2- Full Professor, Department of GIS Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Surveying Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.
4- Assistant Professor, GIS/RS Department, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

گسترش شهرها باعث افزایش تقاضای سفر در ساعات اوج کار و تحصیل شده است. پاسخ گویی به نیاز انجام سفرهای روزانه جمعیت شهرها به‌ویژه در شهرهای بزرگ از عهده وسایل نقلیه غیر جمعی ساخته نیست. لذا روی آوردن به سمت استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و در رأس آن‌ها سیستم‌های سریع جهت جابجایی مردم در شهرها امری بدیهی و اجتناب‌ناپذیر است (۱). در سطح جهانی به خصوص در دهه نود و به دنبال رواج سیاست طرفداری از محیط‌زیست و حفاظت از آن، در سطح جهانی گسترش حمل‌ونقل سریع در شهرهای بزرگ جزو خط‌مشی اصلی مدیریت شهری شهرهای بزرگ جهان قرارگرفته است (۲). به‌کارگیری سیستم‌های سریع حمل‌ونقل عمومی در سراسر جهان به‌سرعت در حال رشد است؛ زیرا این سیستم‌ها باعث افزایش سرعت و کاهش ازدحام و راه‌بندان در شبکه شهری می‌شوند. قطار زیرزمینی، قطار سبک، مونوریل و اتوبوس سریع سیستم‌هایی هستند که در این رده قرار می‌گیرند. سیستم سریع اتوبوسی (*BRT*[1]) سیستم نوپایی است که توانسته باقابلیت‌های بالای خود در رقابت با سیستم‌های ریلی قرار گیرد (۳). رفت‌وآمد با استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی یکی از مسایلی است که تأثیرات زیادی بر کاهش آلودگی هوا و ترافیک دارد. در این میان ایجاد خطوط *BRT* تأثیر بسزایی در رفت‌وآمد افراد جامعه داشته است. به‌طور کل امروزه مشکل نابسامانی حمل‌ونقل عمومی به‌خصوص در حیطه اتوبوس‌رانی به معضل جدی در زمینه مدیریت شهری تبدیل‌شده است. این موضوع در مورد کلان‌شهر تهران به دلیل روند رو به رشد جمعیت و جابجایی بیش‌ازحد مسافران بیش از هر چیز موردتوجه مدیران شهری قرارگرفته است (۴، ۵). کلان‌شهر تهران نیز از این قاعده استثنا نبوده و تقریباً اغلب مناطق این شهر دارای حجم تردد بالایی می‌باشد. فقدان وسایل حمل‌ونقل عمومی کافی مشکلات زیادی را برای رفت‌وآمد شهروندان ایجاد نموده است. به نظر می‌رسد که یکی از روش‌های مؤثر برای حل این مشکل احداث خطوط *BRT* بیش تر در قسمت‌هایی که حمل نقل عمومی کافی ندارند باشد (۶). *BRT* سیستمی است که بر اساس ۶ عنصر یعنی مسیر حرکتی، ایستگاه اتوبوس، نحوه پرداخت کرایه، سیستم حمل‌ونقل هوشمند، *BRT*، سرویس‌های عملیاتی و ایجاد یکپارچگی بین آن‌ها شکل می‌گیرد (۷). هدف اصلی این مقاله ارایه یک الگوریتم مناسب و مکان مند برای مسیریابی *BRT* با استفاده از توانمندی‌های *GIS* است. مسیریابی برای سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی سریع که بعضاً به‌عنوان مکان‌یابی خطوط سیستم حمل‌ونقل سریع در مقالات از آن یاد می‌شود تلاشی برای تعیین مسیری مناسب برای عبور سیستم سریع در شبکه شهری است.

پیشینه پژوهش

احمد احمد پور و بهزاد عمران زاده (۱۳۹۱) طی مقاله ای با عنوان " ارزیابی و ارایه راهکارهای توسعه سیستم حمل و نقل *BRT*در کلان شهر تهران با استفاده از مدل *SWOT*[2]"بر این باورند که یکی از راه حل های رفع مشکل ترافیک کلان شهرهایی مانند تهران ایجاد خطوط اتوبوس های تندرو *BRT* می باشد. آن ها با بررسی خط یک *BRT* تهران به این نتیجه رسیدند که در کل حدود ۹۷ عامل اثرگذار بر خط یک سیستم *BRT* کلان شهر تهران قابل شناسایی است: که شامل ۳۹ ضعف، ۲۸ قوت، ۱۴ فرصت و ۱۶ تهدید می باشد. بنابراین می توان نتیجه گیری کرد که سیستم حمل و نقل *BRT* در خط یک دارای توان و قابلیت قابل قبولی است که در صورت برنامه ریزی مناسب می توان کارکرد آن را در حد خیلی مطلوبی ارتقاء بخشید که بدین منظور راهکارهای توسعه مناسب ارایه شد(۸).

کرامت الله زیاری و همکارانشان (۱۳۹۲) طی مقاله ای با عنوان "بررسی میزان رضایت مندی از سیستم *BRT* مطالعه موردی خط (۳) پایانه علم و صنعت – خاوران " به این نتیجه رسیده اند که حدود ۶۸ درصد استفاده کنندگان از خطوط *BRT*

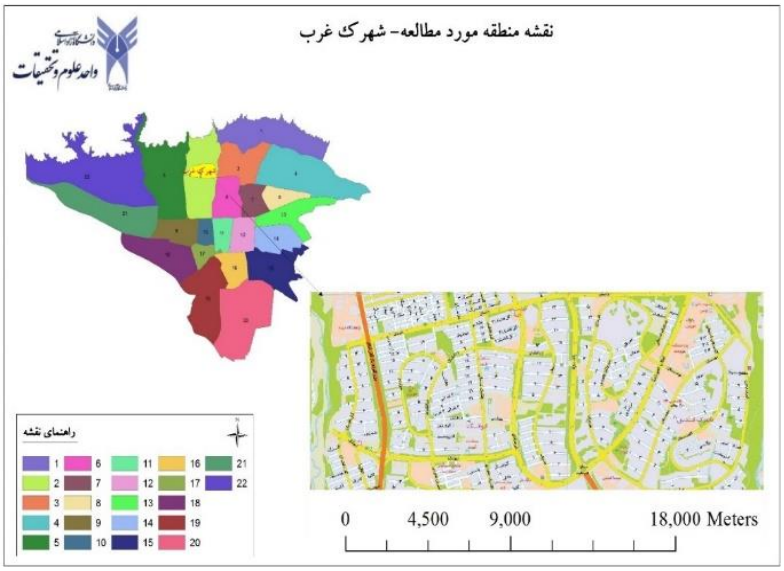
1- Bus Rapid Transit

2- Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

افراد شاغل با درآمدهای مختلف و سطح تحصیلات بالا مانند لیسانس و بالاتر می‌باشند. این یافته یکی از نقاط قوت در راستای جلب اعتماد اقشار مختلف در استفاده از این سیستم برخلاف سیستم های اتوبوسی قدیمی می باشد. ولی در کل این سیستم دارای نواقص و مشکلاتی است که با رفع این مشکلات می توان گفت به مرور زمان حمل و نقل عمومی جایگزین اتومبیل های شخصی می شود(۹).

معرفی منطقه موردمطالعه

در این بخش برای مدل نمودن شبکه راه و همچنین طراحی ژئودیتابیس، از اطلاعات بخشی از شبکه راه‌های شهر تهران واقع در منطقه شهرک غرب استفاده‌شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه منطقه موردمطالعه

Picture1. The map of case study

مواد و روش‌ها

فرایند انجام تحقیق در شکل ۲ نشان داده‌شده است. موضوع تحقیق به‌وسیله مصاحبه با مسئولین سازمان اتوبوس‌رانی و همچنین توسط تحقیقات میدانی محقق شناسایی گردید. بر همین اساس سؤالات و اهداف تحقیق مشخص شد. سپس داده‌های موردنیاز برای حل مشکل طرح‌شده شناسایی و جمع‌آوری گشت. در مرحله بعدی معیارهای مؤثر برای برطرف کردن مشکل موجود تعیین و وزن دهی شدند و درنهایت با تلفیق معیارها و تحلیل شبکه در محیط *GIS* خطوط جدید برای سیستم سریع اتوبوسی تهیه گردیدند.

طراحی یکپارچه شبکه اتوبوس‌رانی

در ابتدا به تعیین فاکتورهای مؤثر در مسیری که صلاحیت تردد وسایل نقلیه عمومی خصوصاً سیستم اتوبوسی سریع را داشته باشد پرداخته شد. سپس به تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای مؤثر و اختصاص وزن مناسب به هریک از آن‌ها پرداخته شد و با توجه به فاکتورهای مؤثر و اهمیت هریک از آن ها مسیر موردنظر را تشکیل داده و درنهایت مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس و پارامترهای دخیل در آن بیان می‌شود.

شکل ۲- فلوچارت کلی پژوهش

Figure 2. Overall research flowchart

○ تعیین فاکتورهای مؤثر

پس از مطالعه و ارزیابی منابع موجود و کسب نظرات کارشناسان حمل‌ونقل برای مسیریابی در شهرک غرب تهران، ۸ عامل اصلی در نظر گرفته شد:

- ظرفیت جاده (سطح سرویس راه *LOS*)
- سرعت متوسط
- کاربری اراضی
- وضعیت روسازی
- عرض خط عبور
- اجزا سطح مقطع راه (نوع جاده (بلوار یا غیر بلوار)
- حوزه‌های تراکم جمعیت
- طول هر لبه (*ARC*)

در این تحقیق وزن هر لایه نسبت به‌کل موردبحث قرارگرفته است که جزییات آن ذیلاً آمده است.

○ تعیین وزن داده‌ها

یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق فاکتورها و نقشه‌های مربوطه، تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای مؤثر و اختصاص وزن مناسب به هریک از آن‌ها است. در حالت کلی وزن دهی فاکتورها می‌تواند با استفاده از دانش کارشناسی، داده مبنا[1] و یا ترکیبی از آن‌ها صورت گیرد. سه روش وزن دهی که به‌طورکلی در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و با استفاده از دانش کارشناسی صورت می‌گیرد، در زیر اشاره‌شده است (۷، ۱۸).

- رده‌بندی[2]
- رتبه‌بندی[3]
- مقایسه زوجی[4]

1- Data Driven
2- Ranking
3- Rating
4- Pair Wise Comparison

در این تحقیق از روش رده‌بندی برای وزن دهی فاکتورها استفاده شد. وزن دهی جهت منظور کردن اهمیت متفاوت فاکتورهای اطلاعاتی مورداستفاده قرار می‌گیرد (۱۹). در این روش برای هرکدام از فاکتورها برحسب اهمیت در مسیریابی خطوط وزن مناسبی اختصاص داده می‌شود. تعیین وزن فاکتورها نسبی بوده به‌طوری‌که مجموع وزن‌ها برابر ۱۰۰ خواهد شد. برای مشخص کردن درجه اهمیت هرکدام از فاکتورهای اطلاعاتی با توجه به تعریف اهداف موردنظر، از دانش کارشناسی استفاده‌شده است. در این مدل علاوه بر وزن دهی به فاکتورهای اطلاعاتی، به کلاس‌های موجود در هر فاکتور اطلاعاتی نیز بر اساس پتانسیل خود برای مسیریابی وزن خاصی داده‌شده است. هر فاکتور به کلاس‌های متفاوتی تقسیم‌شده است که کلاسی که دارای بیش ترین ارزش است دارای کمترین اهمیت بوده و بااهمیت‌ترین کلاس‌ها دارای کم ترین ارزش خواهند بود (جدول ۱). علت چنین وزن دهی این است که الگوریتم مورداستفاده کم ترین وزن را بهترین دانسته و از مسیری عبور می‌کند که دارای کم ترین ارزش‌ها باشد. برای این که میزان تأثیر هر کلاس در کل عناصری که دارای وزنی برابر باشد، وزن‌ها به‌صورت استانداردسازی شده بر روی عناصر اعمال گردید. درنهایت وزن نسبی هر فاکتور در وزن کلاس‌های خودش ضرب گردید تا وزن نهایی هر کلاس به دست آید.

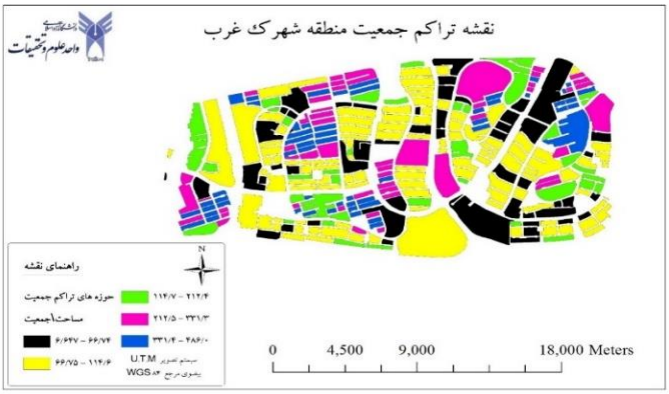
جدول ۱- فاکتورهای دخیل در مسیریابی و وزن مربوط به هریک از آن‌ها

Table 1. The involved factors in route finding and their related weight

ردیف	فاکتورهای مؤثر در تحلیل	وزن نسبی
۱	حوزه‌های تراکم جمعیت	۲۵
۲	طول هر لبه (ARC)	۲۳
۳	کاربری اراضی	۱۵
۴	ظرفیت جاده	۱۰
۵	سرعت متوسط	۱۰
۶	وضعیت روسازی	۷
۷	عرض خط عبور	۵
۸	نوع جاده (بلوار یا غیر بلوار)	۵
۹	مجموع	۱۰۰

- **حوزه‌های تراکم جمعیت**

تراکم جمعیتی، به معنای جمعیت در واحد سطح و به‌صورت نفر در هکتار بیان می شود. تراکم کلی مسکونی، حاصل تقسیم کل جمعیت شهر بر سطح ساخته‌شده آن است. در این تعریف، سطح موردمحاسبه شامل کلیه اراضی با کاربری‌های مختلف می‌باشد. لیکن در محاسبات مزبور سطوح اراضی ساخته نشده و کشاورزی لحاظ نمی‌گردد. یکی از اهداف مسیریابی خطوط اتوبوس‌رانی تحت پوشش قرار دادن اکثریت جمعیت می‌باشد؛ چراکه عدالت اجتماعی ایجاب می‌کند که نه‌فقط تعداد خاصی از جمعیت، بلکه تمامی یا حداکثر جمعیت از مزایای چنین خدمت‌رسانی بهره‌مند شوند (۹). داده‌های موردنیاز جهت این فاکتور از سازمان نقشه‌برداری که مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵ جمع‌آوری کرده است تهیه گردید. حوزه‌های جمعیتی به ۵ دسته تقسیم شدند که عدد پنج به کم ترین میزان جمعیت و عدد ۱ به بیش ترین میزان جمعیت الصاق گردید (شکل ۳). بیش ترین تعداد جمعیتی که به یک لبه وزن اعمال می‌کند ۶۱۵۳ نفر بود. تراکم جمعیت به پنج دسته بین ۶/۶۴۷-۴۸۶ تقسیم شد.

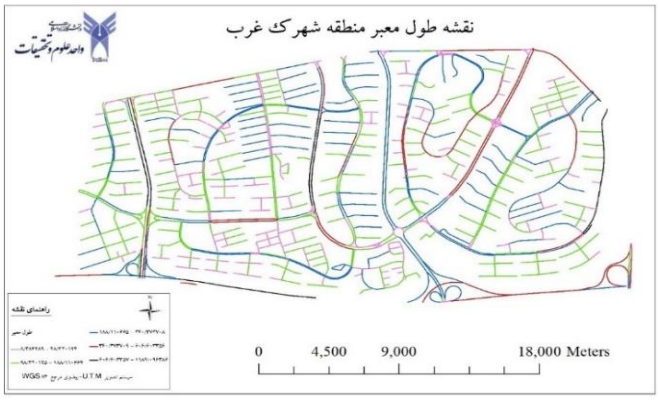


شکل ۳- نقشه تراکم جمعیت منطقه شهرک غرب

Figure3. The map of population density of Shahrak Gharb

- **طول هر لبه (*ARC*)**

هرچه مسافت بین ابتدا و انتهای مسیر کوتاه‌تر باشد افزایش سرعت خدمات‌دهی را سبب می‌شود. نرم‌افزار توسعه داده‌شده مسافت هر لبه را به‌طور جداگانه برحسب سیستم مختصات شبکه محاسبه کرده و در یک ستون به نام طول شکل ذخیره‌سازی می‌کند (شکل ۴) (۱۰). با توجه به این که با افزایش طول هر لبه میزان مطلوبیتش کم می‌شود کوتاه‌ترین لبه دارای بیش ترین ارزش می‌باشد. پس از تقسیم لبه‌ها به کلاس‌های متفاوت وزن ارجاعی به هر لبه به‌صورت استاندارد به آن تعلق گرفت. طبق نظر کارشناسان تعداد ۵ کلاس برای طول هر لبه تعیین گردید که بین ۱۱۸۹/۰۹ -۸/۳۴ متر قرار می‌گیرد (۱۱).

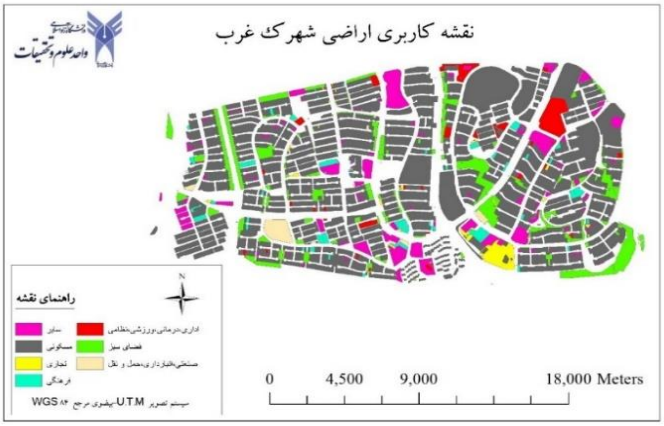


شکل ۴- نقشه طول معبر منطقه شهرک غرب

Figure 4. The map of street length of Shahrak Gharb

- **کاربری اراضی**

بر اساس نوع کاربری در اطراف خیابان، میزان تقاضای جذب جمعیت متفاوت بوده و همچنین تراکم این جمعیت نیز در ساعات و روزهای مختلف دارای تفاوت می‌باشد. وجود سازمان‌های دولتی جاذب جمعیت بوده و جذب جمعیت نیز در ساعات و روزهای مختلف هفته متفاوت است. کاربری اراضی در شهرها را می‌توان به انواع مهم مسکونی، تجاری، دولتی، فرهنگی، فضای سبز، زمین‌های بایر و مکان‌های تفریحی تفکیک نمود (شکل ۵) (۱۲). به همین صورت کاربری اراضی در منطقه موردنظر به هفت نوع مسکونی، عمومی، فرهنگی، (اداری، درمانی، ورزشی، نظامی و انتظامی)، (صنعتی، انبارداری، حمل‌ونقل و غیره)، فضای سبز و کاربری متفرقه تقسیم شدند.



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی منطقه شهرک غرب

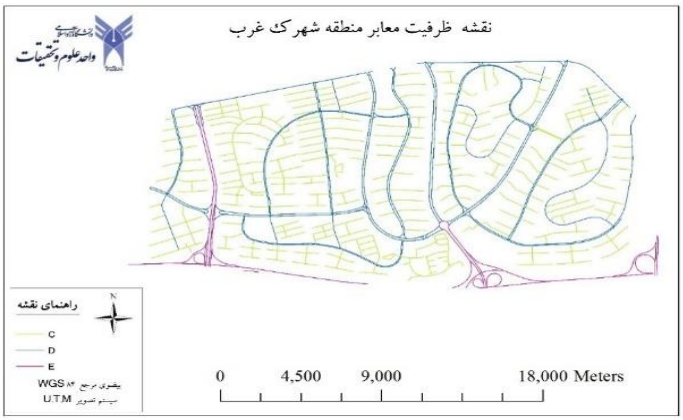
Figure 5. The map of land use of Shahrak Gharb

- **ظرفیت جاده (سطح سرویس راه *LOS*)**

ظرفیت جاده عبارت است از حداکثر تعداد وسیله نقلیه‌ای که بتواند در مدت‌زمان معین باکیفیتی قابل‌قبول، در مقطعی مشخص از جاده، از یکی از خطوط یا تمام عرض جاده، در یک‌جهت یا در هردو جهت از جاده عبور کنند (۱۳). ظرفیت جاده تابع عوامل متعددی چون طرح هندسی، نوع روسازی، عوامل جوی، خصوصیات رانندگان و وضعیت ترافیک است. وضعیت ترافیک جاده را ازنظر کیفی با سطح سرویس مشخص می‌کنند. وضعیت ترافیک ازنظر کیفی شش سطح سرویس A,B,C,D,E,F دارد که به‌صورت زیر تعریف می‌گردند:

- A: که در آن جریان ترافیک آزاد، حجم ترافیک و چگالی آن کم و سرعت وسایل نقلیه زیاد است.
- B: که در آن جریان ترافیک متعادل سرعت حرکت به علت تراکم وسیله نقلیه محدود می‌شود. هرچند رانندگان ازنظر انتخاب سرعت و خط به‌طورکلی آزادند.
- C: که در آن جریان ترافیک هنوز متعادل است ولی در اثر افزایش حجم ترافیک سرعت و قابلیت مانور در جاده کم می‌شود.
- D: که در آن سرعت وسایل نقلیه از حالت یکنواخت و متعادل خارج و برحسب وضعیت ترافیک کم یا زیاد می‌شود. آزادی مانور نسبتاً کم است.
- E: که در آن جریان ترافیک به‌صورت حرکت و توقف درمی‌آید و سرعت به‌ندرت به ۵۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد.
- F: که در آن سرعت وسایل نقلیه کم است و جریان ترافیک گاهی به علت تراکم زیاد متوقف می‌شود. میزان تأخیر در این سطح زیاد و آزادی حرکت و مانور آن بسیار محدود است (۱۴).

پس از جمع‌آوری داده‌ها از سطح شهر سطح سرویس برای مسیرها مطابق شکل ۶ مشخص گردیدند.



شکل ۶- نقشه ظرفیت معابر منطقه شهرک غرب

Figure 6. The map of street capacity of Shahrak Gharb

- **وضعیت روسازی (آسفالت)**

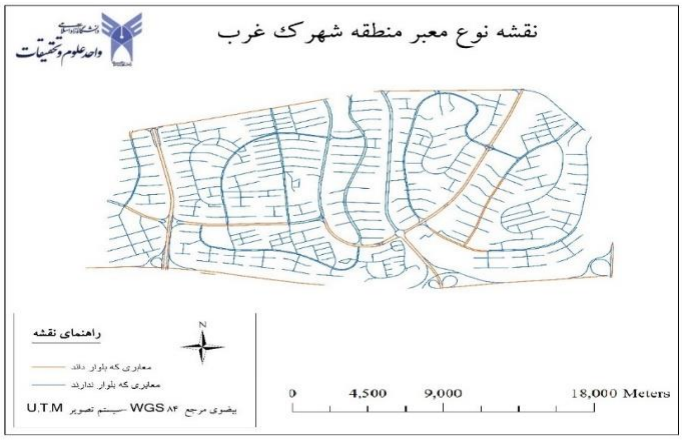
وضعیت روسازی راه‌ها در حجم ترافیک مؤثر بوده و به طبع آن خیابان‌هایی که دارای وضعیت روسازی بهتری هستند، دارای ترافیک روان‌تر و زمان سفر کم تری بوده و اتومبیل بیش تری را به سمت خود می‌کشانند. سطح رویه به‌طورکلی به چهار نوع عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم‌بندی می‌شود. انتخاب نوع پوشش رویه بستگی به حجم ترافیک و خصوصیات آن، موجود بودن مصالح و پیمانکاران خوب، هزینه اولیه و هزینه نگهداری دارد (۱۵). برای تشخیص وضعیت رویه از یکسری معیارها استفاده گردید که توسط کارشناسان مربوطه مشخص کردند. این فاکتورها شامل میزان ترک‌خوردگی در واحد سطح، خرابی‌های سطحی، رنگ رویه، تغییر شکل و تعداد سرعت‌گیر می‌باشد. این فاکتور به ۴ کلاس از عالی با وزن کلاس ۱ تا ضعیف با وزن کلاس ۴ تقسیم شد.

- **عرض خط عبور**

عرض خط عبور تأثیر مستقیمی بر ایمنی و راحتی رانندگی دارد. عرض خط عبور برابر ۳ الی ۳/۵ متر استاندارد می‌باشد و تمایلی برای افزایش آن با توجه به افزایش مداوم درروند حجم ترافیک، سرعت وسایل نقلیه و عرض کامیون‌ها وجود دارد. عرض کم تر از ۳ متر می‌تواند بالعکس در ظرفیت و ایمنی تأثیر داشته باشد؛ بنابراین به‌کارگیری آن باید درراه‌هایی به‌غیراز تسهیلات دارای حجم ترافیک و سرعت زیاد باشد (۱۶). آشکار است که مسیرهای با عرض کم تر به دلیل افزایش تردد و تراکم ترافیک سبب کاهش سرعت عبور وسایل نقلیه می‌گردند.

- **نوع جاده (بلوار یا غیر بلوار)**

تردد در بلوار به خاطر جدایی مسیرهای تردد دارای ایمنی بیش تر و تردد سریع‌تر بوده و توانایی این رادارند که ترافیک را سریع‌تر از خود عبور دهند. به همین دلیل خیابان‌های که به‌صورت بلوار هستند وزن صفر و خیابان‌هایی که به‌صورت غیر بلوار هستند وزنی برابر یک را گرفتند (شکل ۷).



شکل ۷-تقسیم‌بندی معابر منطقه براساس وجود بلوار

Figure 7. Area crossing division based on boulevard existence

- **مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس و پارامترهای دخیل در آن**

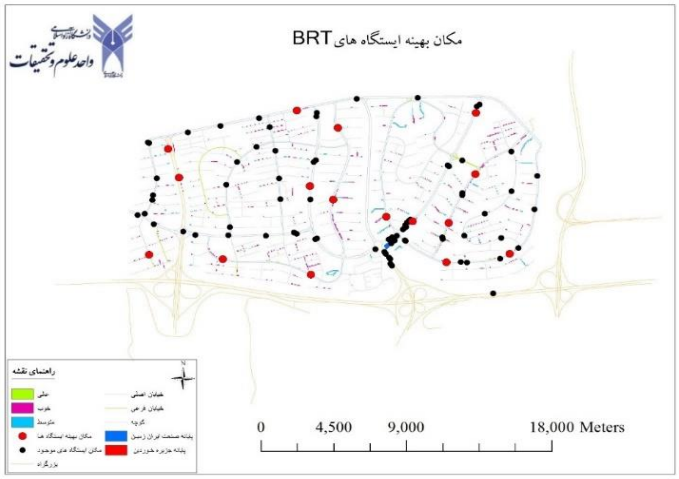
از عوامل مؤثر و مهم در تعیین موقعیت ایستگاه‌های اتوبوس می‌توان به وضعیت هماهنگی چراغ‌های راهنمایی، دسترسی کاربران سیستم سریع اتوبوسی، مسیر خط سیستم اتوبوسی سریع، شرایط فیزیکی معبر، وضعیت تراکم معابر، محل‌های عبوری عابران پیاده و شرایط هندسی اتوبوس‌های سریع به لحاظ گردش و توقف اشاره نمود. در این پژوهش مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس در ۴ مرحله صورت گرفت (۱۷).

۱. حداقل عرض معبر ۸ متر: برای مسیریابی خطوط اتوبوس‌رانی، مسیرهایی که دارای عرضی بیش از ۸ متر بودند دارای قابلیت اتوبوس‌رانی هستند. این مسیرها از شبکه جدا گردیدند که اولین لایه جهت مکان‌یابی ایستگاه را تشکیل می‌داد.

۲. فاصله تا تقاطع‌های چراغ‌دار حداقل ۷۵ متر: جهت شناسایی نقاطی که حداقل فاصله آن‌ها از تقاطع ۷۵ متر باشد لایه‌های تقاطع ایجاد گردید که هیچ قطعه‌ای از مسیر در محدوده تقاطع قرار نگرفتند.

۳. میانگین فاصله بین دو ایستگاه متوالی ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر: در مناطقی از مسیرهای بهینه‌شده که مسیر خطوط تغییر کرده است. بر اساس پیشنهاد معاونت عمرانی دفتر حمل‌ونقل و دبیرخانه شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور، درصورتی‌که فاصله بین دو ایستگاه متوالی بیش تر از ۷۰۰ متر بود جهت ایجاد ایستگاه موردبررسی قرار گرفت.

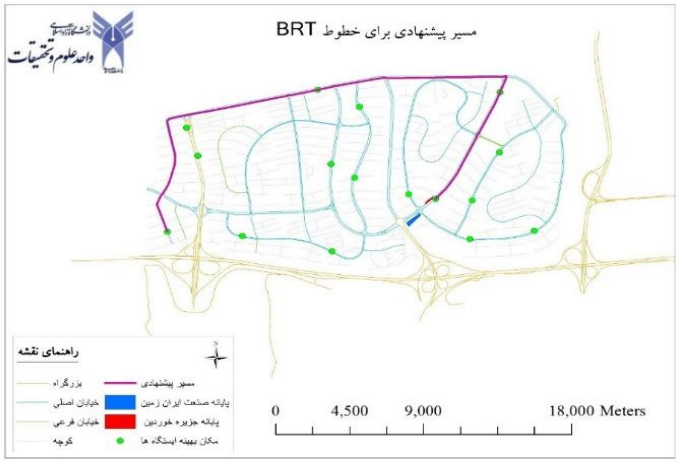
۴. میانگین فاصله تا نقطه ثقل جمعیت ۷۰۰ متر: این امر با آزمون‌وخطا امکان‌پذیر شده و ایستگاه‌های جدید برای مسیرهای بهینه‌سازی شده مکان‌یابی گردید (شکل ۸).



شکل ۸-ایستگاه‌های مکان‌یابی شده

Figure 8. Site selected stations

پس‌ازاین که مکان‌یابی ایستگاه‌ها انجام شد حال نوبت به توسعه مسیرهای بهینه در بین ایستگاه‌های مکان‌یابی شده می‌رسد که شکل ۹ مسیر پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۹- مسیریابی بین ایستگاه‌های مکان‌یابی شده

Figure 9. Route finding between sites selected stations

نتیجه‌گیری

اهمیت سیستم‌های سریع حمل‌ونقل عمومی شهری در رفع معضلات انبوه و پیچیده ترافیک و زیست‌محیطی شهری بر کسی پوشیده نیست.BRT به‌عنوان سیستمی بر پایه اتوبوس، با توجه به تجربیات موفق اجرا در برخی از شهرهای جهان، توانسته به‌عنوان رقیبی جدی در مقابل مترو و قطار سبک مطرح شود. مسیر حرکتی سیستم BRT به‌عنوان مهم‌ترین عنصر در عملکرد بهتر و کارایی بیش تر، آن مطرح است. طراحی مسیرهای مناسب جهت عبور اتوبوس‌های این سیستم و داشتن کارکرد سیستمی بالا هدف برنامه ریزان در کوتاه‌مدت و پاسخ گویی به نیازهای روبه رشد سفر در آینده از اهداف بلندمدت آن است. جهت مسیریابی بهینه خطوط BRT این تحقیق در دو بخش صورت پذیرفت. بخش اول مربوط به توسعه روش‌شناسی مسیریابی بود و در بخش دوم به مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس پرداخته شد. آنگاه مسیرهای پیشنهادی

بین ایستگاه‌های مکان‌یابی شده طراحی و توسعه داده شد. در این مقاله با توجه به این که پژوهش در منطقه‌ای از شهر تهران صورت گرفت که تعداد ۹ خط اتوبوس از درون آن تردد می‌کرد، بهینه‌سازی صورت پذیرفت. جهت بهینه نمودن خطوط، مبدأ و مقصد هر خط بدون تغییر در نظر گرفته شد و مسیرهای اتصالی بین آن‌ها مورد بهینه‌سازی قرا گرفت. برای انجام این عمل، ۸ فاکتور (ظرفیت جاده (سطح سرویس راه *LOS*)، کاربری اراضی، وضعیت روسازی، عرض خط عبور، اجزا سطح مقطع راه، حوزه‌های تراکم جمعیت و طول هر لبه (*ARC*)) انتخاب شد. بر اساس اهمیت هر فاکتور در مسیریلی، وزنی به آن‌ها داده شد. پس از اجرای الگوریتم دایجسترا ۵ خط اتوبوس در مسیرها، تغییر یافتند. پس از تغییر کردن محدوده‌ای از خطوط که تغییر کرده بود، نیاز به این پیدا شد تا در بعضی از نقاط ایستگاه اتوبوس جدید مکان‌یابی شود. پس از ایجاد لایه‌های دخیل در مکان‌یابی ایستگاه‌ها، ۱۶ ایستگاه جدید مکان‌یابی گردید سپس به توسعه مسیرهای پیشنهادی بین ایستگاه‌های مکان‌یابی شده پرداخته شد.

Reference

1. Ayati, E. Bagheri, M. (1385). Coverage method for optimal routing of LRT urban style train. Transportation Research Journal, Third Year, No. 1, pp. 1-11. (In Persian)
2. Afandi Zadeh, Sh. Porteimouri, M. (1385). Provide a quick design methodology for the bus system, a case study of Kermanshah. Transportation Research Journal. No. 3. p. 21-28. (In Persian)
3. Al Sheikh, A. Soltani, M and Hilali, H. (1381). GIS application in site selection of flood spreading areas. Quarterly journal of geographic research, seventh year, issue 4 (winter). P. 21-29. (In Persian)
4. Behbahani, H and Ziari, H. (1374). Traffic Engineering Theory and Application. First edition, Tehran Traffic Transportation Organization Press, Tehran, pp. 19-21 and 49. (In Persian)
5. Roya Habibi, Ali A. Alesheikh, Ali Mohammadinia and Mohammad Sharif (2017). "An Assessment of Spatial Pattern Characterization of Air Pollution: A Case Study of CO and PM2.5 in Tehran, Iran." International Journal of Geo-Information. Vol.6, NO.6. pp 270 doi: 10.3390/ijgi6090270. (In Persian)
6. Peshizkar, A and Ghaffari Gilanadeh, A. (1385). Geographic Information System and Multi-criteria Decision Analysis. Malchovsky, Yalikak. Printing, Printing and Publishing Organization, Ministry of Culture and Guidance (office), Tehran, pp. 306-336. (In Persian)
7. Tehran Comprehensive Traffic Transportation Studies (2000). Summary of project reports feasibility and routing of public high-speed systems. Report No. (153-1). (In Persian)
8. Pour Ahmad, Ahmad, and Behzad Omranzadeh. "The Evaluation of Bus Rapid Transit (BRT) in Tehran Metropolis and Offering Strategies for its Development, Using SWOT Technique." Research and Urban Planning 3, no. 15 (2013): 17. (In Persian)
9. Ziari, K. Haji Sharifi, A and Ramezanzadeh, M. (1392)." Investigate the level of satisfaction pf the BRT system (case study: line (3) (Terminals of Elm-O-Sanat-Khavaran)". Journal of Spatial Planning. No. 8. p. 57-74. (In Persian)

10. Sadr Sadat, H. (1382). Designing a Bus Network Using Genetic Algorithm. Master Paper, Sharif University of Technology. (In Persian)
11. Arabi, M. (1381). Traffic Engineering. Second Edition, Guilan University Press, Rasht, pp. 13, 16-17, 20-22, 27 and 44. (In Persian)
12. Azizi, M. (1383). Application of Geographic Information Systems in site selection, Spatial Distribution and Network Analysis of Health Centers in Case Study of Mahabad. Master's Paper in Geography and Urban Planning from Tabriz University. No. 66872. p. 30-, 38-43, 54-56, 102 and 130. (In Persian)
13. Ghibi, F. (1384). Designing a network of bus lines in the dynamics of the network with the help of neural networks. "M.Sc. paper, Imam Khomeini International University, Qazvin. (In Persian)
14. Meharabian, V. (1382). An Innovative Method for Routing the Urban Style LRT Train Case Study of Mashhad. Master Paper, Sharif University of Technology. (In Persian)
15. Teimourian, F. Al Sheikh, A. Ali Mohammadi, A and Sadeghi Nayarki, A. (1393). "Development of Information and Evaluation System for Urban Bus Performance by Using Vigilance Data (VGI)" Journal of Research in Transportation Engineering. Volume 6. Number 2. Winter 93. Pages 225-236. (In Persian)
16. Behzadi, S and Al Sheikh, A. (1391). "Development of Routing Algorithm Based on the Model of Bover-Mill-Nit of Smart Factors" Journal of Surveying Science and Technology. Journal of Surveying Sciences and Technologies. Second course number two. Pages 1-1. (In Persian)
17. Alavand,M. Malek, M and Al Sheikh,A. (2010) "Improving routing algorithms in mobile spatial information systems through path risk estimation" Journal of Science and Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 184-210. (In Persian)
18. Houshangi,N and Allsheikh,A. (1396) " Regional assessment of Iran's potential for Solar Farms by TOPSIS, Fuzzy TOPSIS and Sugeno-type Fuzzy Inference Methods" Journal of Geography and Planning. Vol. 21, No. 59, pp. 303-327. (In Persian)
19. Rahbar, M. and Alesheikh, A. (1395). "Developing a weighted-base map matching algorithm with the focus on modeling parameters and weights optimization". Journal of Geospatial Information Technology, Vol.4, No.2, pp. 103-122. (In Persian)