



## تحلیل اثر تعداد فضای توقف در ایستگاه بر ظرفیت خط ویژه اتوبوس مطالعه موردی: سامانه دو اتوبوس‌های تندرو شهر تهران

علی فغانی<sup>۱</sup>، رضا بزرگمهرنیا<sup>۲</sup>، شروین بابایی<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۲- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
- ۳- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران

### چکیده

در کشور مسئله تعیین ظرفیت خطوط اتوبوسرانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و بنابراین تصویری روشن از سطح عملکرد سیستم اتوبوسرانی در دست نمی‌باشد. امروزه با وجود آنکه در کشورهای توسعه یافته مطالعاتی این چنین صورت گرفته و مبنای تحلیل عملکرد در داخل کشور، مطالعات مذکور می‌باشد، نیاز است تا در کشورهای در حال توسعه روش‌ها و مدل‌های ارائه شده مورد بازبینی قرار گرفته و مطابق با شرایط همان کشورها کالیبره شود. با توجه به آنکه تعداد فضای توقف (پهلوه‌گاه‌های) درون یک ایستگاه و نحوه طراحی آنها تاثیر مستقیم بر ظرفیت خط اتوبوسرانی دارد، در این پژوهش اقدام به آمارگیری میدانی از خط دو سامانه اتوبوس‌های تندرو شهر تهران شده است و با استفاده از نرم افزار AIMSUN v.6 خط مورد مطالعه شبیه سازی و حساسیات تعداد فضای توقف ایستگاه بر ظرفیت خط بررسی گردیده است. در نهایت نتایج این مطالعات با مطالعات مشابه مورد مقایسه قرار گرفته و نشان داده است که مقادیر بدست آمده برای ضریب عملکردی فضای توقف برای فضای توقف دوم و سوم، کمتر از مقادیر ارائه شده در گزارش‌های مشابه بوده، حال آنکه ضرائب عملکردی فضای توقف چهارم و پنجم بیشتر از نتایج مطالعات مشابه برآورد شده است.

**کلید واژه:** ظرفیت خط اتوبوسرانی، ضریب عملکردی فضای توقف ایستگاه، شبیه‌سازی.

<sup>۱</sup> مدیر کل مهندسی و ایمنی ترافیک معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.

<sup>۲</sup> مدیر واحد مهندسی ترافیک و شبکه، اداره کل مهندسی و ایمنی ترافیک معاونت حمل و نقل و ترافیک.

<sup>۳</sup> مدیر بخش مهندسی ترافیک، شرکت مهندسی آرتا نقش رامونا، ۰۹۲۰۳۶۲۱۳۶۷، babaei.shervin@gmail.com



## ۱- مقدمه

با توجه به آنکه کارایی سیستم حمل‌ونقل بر اساس سطح خدمت آن سنجیده می‌شود، در این راستا یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که به‌منظور تعیین سطوح خدمت در سیستم حمل‌ونقل همگانی تعریف گردیده است، ظرفیت این سیستم‌ها می‌باشد که بر حسب تعداد وسایل نقلیه و یا تعداد مسافر جابجا شده بیان می‌گردند [۱]. در این راستا و در کشور ایران، مسئله تعیین ظرفیت خطوط اتوبوسرانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، حال آنکه برای نمونه در کلان‌شهری مانند تهران ۲۰ درصد از سفرهای روزانه از طریق این سیستم صورت می‌گیرد [۲]. بر این اساس، آگاهی از چگونگی و میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف بر سطح خدمت این مد حمل و نقلی منجر به افزایش و بهبود عملکرد سیستم و افزایش سرعت حرکت و به تبع آن کاهش زمان سفر و صرفه جویی در وقت شهروندان خواهد شد. در کنار این مزایا، این عمل افزایش قابلیت اطمینان و مطلوبیت سیستم را به دنبال خواهد داشت که انتظار می‌رود با انتقال هرچه بیشتر سفرها از وسایل نقلیه شخصی به سیستم حمل‌ونقل عمومی و اتوبوسرانی، کاهش تراکم در معابر شهری مشاهده گردد. تعداد فضای توقف موجود ناوگان اتوبوس در یک ایستگاه و نحوه طراحی آنها یکی از عوامل اثرگذار بر ظرفیت خط اتوبوسرانی است که در مدل برآورد ظرفیت خط بصورت ضربی با عنوان ضریب عملکردی فضای توقف وارد می‌شود. در این تحقیق و برای ارائه ضرائب عملکردی متناسب با تعداد فضای توقف یک ایستگاه در ظرفیت خط اتوبوسرانی با آمارگیری از خط شماره ۲ سامانه‌های اتوبوس‌های تندرو شهر تهران و شبیه‌سازی این خط با استفاده از نرم افزار Aimsun v.6 این ضرائب برآورد و برای استفاده در مدل ظرفیت خط اتوبوس دارای حق مسیر B از نوع I ارائه شده است. بر این اساس و در ادامه این تحقیق مروری بر ادبیات موضوع صورت گرفته است و سپس آمارگیری صورت گرفته از خط ۲ سامانه اتوبوس‌های تندرو شهر تهران تشریح گردیده است. در ادامه بر اساس اطلاعات برداشت شده، فرآیند شبیه‌سازی خط مورد مطالعه و نتایج بدست آمده ارائه گردیده است. در نهایت نتایج بدست آمده با سایر مطالعات صورت گرفته در این زمینه مورد مقایسه قرار گرفته و در بخش آخر این پژوهش نتیجه‌گیری ارائه گردیده است.

## ۲- مطالعات تطبیقی

با توجه به اهمیت ضریب عملکردی فضای توقف در ظرفیت خط اتوبوسرانی، در این تحقیق سعی گردیده است روندی از مطالعات صورت گرفته در خصوص این پارامتر ارائه گردد. بطور کلی مطالعات انجام گرفته در مورد ظرفیت خط اتوبوسرانی، به دلیل هزینه و زمان زیادی که برای جمع‌آوری داده‌ها به صورت دستی صرف می‌شود، کم می‌باشد [۱]. در نتیجه بیشتر تحلیل‌های قبلی با توجه به مسیرهای نسبتاً خاص و یا برروی تحلیل عواملی که باعث تاخیر اتوبوس می‌شود، متمرکز شده‌اند و تحقیقات متمرکز تنها در آمریکای شمالی و آیین نامه‌ها و راهنماهای آن مشاهده شده است [۱].



## ۱-۲- آیین نامه ظرفیت بزرگراه‌ها - ویرایش ۱۹۸۵

در این کتابدست برای اولین بار فصل جداگانه ای (فصل ۱۲) بمنظور ارائه روش محاسبه ظرفیت سیستم های حمل‌ونقل همگانی (اتوبوسرانی و ریلی) اختصاص داده شده است [۳] که به معرفی مفاهیم اصلی در خصوص ظرفیت خطوط حمل‌ونقل همگانی پرداخته شده و در ادامه پارامترهای تاثیرگذار بر ظرفیت سیستم حمل‌ونقل همگانی معرفی گردیده است.

آنچه در خصوص ظرفیت سیستم اتوبوسرانی به آن توجه شده است، بحث ظرفیت بر حسب تعداد مسافر جابجا شده توسط سیستم می‌باشد که از لحاظ مفهومی در مرحله ای بالاتر از بحث ظرفیت بر حسب وسیله نقلیه می‌باشد. بر این اساس مدل (۱) ارائه شده است که در آن ظرفیت مسافر در یک پهلوگاه محاسبه می‌گردد.

$$C_p = \frac{(g/c)3600nSR}{(g/c)D + t_c} \quad (1)$$

که در آن:

$C_p$  = ظرفیت مسافر ایستگاه با یک فضای توقف در یک ساعت

$g$  = زمان سبز چراغ راهنمایی (ثانیه)

$c$  = طول سیکل چراغ راهنمایی (ثانیه)

$n$  = تعداد واحدهای وسیله نقلیه (برای اتوبوس برابر با یک و برای سیستم ریلی بین یک الی یازده واحد)

$S$  = تعداد مسافر در هر واحد وسیله نقلیه

$R$  = ضریب کاهش برای اعمال تاثیرات حاصل متغیر بودن زمان توقف و زمان رسیدن به ایستگاه

$D$  = زمان توقف وسیله نقلیه (ثانیه)

$t_c$  = زمان لازم جهت ترک کامل ایستگاه (ثانیه)

در این روش و مطابق با جدول (۱)، با ضرب پارامتر ضریب عملکردی فضای توقف (زمانی که قرارگیری فضای توقف در ایستگاه بصورت خطی باشد) در ظرفیت بدست آمده از مدل (۱)، ظرفیت ایستگاه تعیین می‌گردد.

جدول ۱: ضریب عملکردی فضای توقف در آیین نامه بزرگراه‌ها ویرایش ۱۹۸۵ [۳]

شماره فضای توقف در یک ایستگاه	درصد عملکرد بر ظرفیت ایستگاه	ضریب عملکردی فضای توقف
۱	۱۰۰	۱
۲	۷۵	۱/۷۵
۳	۵۰	۲/۲۵
۴	۲۰	۲/۴۵
۵	۵	۲/۵۰



## ۲-۲- گزارش ۲۶ TCRP

این گزارش که در سال ۱۹۹۹ انتشار یافت، مجموعه‌ای از نتایج مطالعات صورت گرفته بر روی خصوصیات عملکردی خطوط اتوبوسرانی در خیابان‌های شریانی است [۱]. این مطالعات با هدف توسعه و پوشش روش‌های مورد استفاده در آیین نامه ظرفیت بزرگراه‌ها در خصوص سیستم اتوبوسرانی می‌باشد که از نتایج آن در ویرایش سال ۲۰۰۰ آیین نامه بزرگراه‌ها [۴] و سپس در گزارش TCRP ۱۰۰ [۵]، استفاده شده است.

این مطالعات بر مبنای اطلاعات میدانی جمع‌آوری گردیده از خطوط اتوبوسرانی در آمریکای شمالی و شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار TRAF-NETSIM صورت گرفت. با توجه به آنکه یکی از مهم‌ترین بخش‌های فرآیند محاسبه ظرفیت خط اتوبوسرانی تعیین ظرفیت یک فضای توقف و در ادامه تعیین ضریب عملکردی فضای توقف می‌باشد، این گزارش ضرایبی را جهت اعمال اصلاحاتی در خصوص پارامترهای محاسبه ظرفیت خطوط نسبت به آیین نامه ظرفیت بزرگراه‌ها ویرایش ۱۹۸۵، ارائه داد (جدول ۲).

این گزارش تاکید می‌کند که تمرکز اصلی این مطالعات بر وضعیت عملکردی خطوط اتوبوسرانی در ایالات متحده و کانادا بوده و در نتیجه نیازمند کالیبره نمودن و اعمال اصلاحاتی جهت استفاده در سایر نقاط جهان می‌باشد. بخصوص این گزارش تاکید دارد برای کشورهای آسیایی می‌بایست مطالعات جداگانه صورت گیرد، زیرا پیش‌بینی می‌شود که ظرفیت در آنها حدود دو برابر باشد [۱].

جدول ۲: ضریب عملکردی فضای توقف در گزارش ۲۶ TCRP [۱]

شماره فضای توقف	ضریب عملکردی فضای توقف
۱	۱
۲	۱/۸۳
۳	۲/۴۳

## ۲-۳- خلاصه گزارش تحلیل عملکردی خطوط اتوبوسرانی در معابر شهری

این گزارش تحلیلی در سال ۲۰۰۰ به بررسی استفاده از روش ارائه شده‌ی گزارش ۲۶ TCRP در شش خط موجود اتوبوسرانی در ایالات متحده پرداخته است و پیشنهادات اصلاحی را در این خصوص ارائه نموده است [۶]. یکی از موارد اصلاحی که در این مطالعات جهت اصلاح روش گزارش ۲۶ پیشنهاد شده شامل افزایش تاثیر عملکرد پهلوگاه‌ها در ایستگاه‌های در طول مسیر و مطابق با جدول (۳) می‌باشد.



جدول ۳: ضریب عملکردی اصلاحی فضای توقف - خلاصه گزارش تحلیل عملکردی خطوط اتوبوسرانی در معابر شهری [۶]

ضریب عملکردی فضای توقف		شماره فضای توقف
حرکت تصادفی <sup>۱</sup>	حرکت گروهی <sup>۲</sup>	
۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۱/۸۵	۱/۷۵	۲
۲/۶۵	۲/۴۵	۳
۲/۹۰	۲/۶۵	۴
۳/۰۰	۲/۷۵	۵

#### ۲-۴- مدل برآورد زمان توقف در گزارش ۱۰۰ TCRP

گزارش شماره ۱۰۰ منتشر شده توسط TCRP در سال ۲۰۰۳ کامل‌ترین گزارش انتشار یافته در خصوص تعیین ظرفیت خطوط اتوبوسرانی می‌باشد [۵]. در این گزارش و پس از ارائه فرآیند برآورد ظرفیت یک فضای توقف، در بخش تعیین ظرفیت ایستگاه بر اساس تعداد فضای توقف آن (در شرایطی که چیدمان فضاهای توقف بصورت خطی باشد)، ضرائب عملکردی فضای توقف را همانند خلاصه گزارش تحلیل عملکردی خطوط اتوبوسرانی در معابر شهری و جدول (۳) ارائه داده است تا با ضرب آنها در ظرفیت یک فضای توقف، ظرفیت ایستگاه محاسبه گردد.

#### ۳- تعریف مسئله

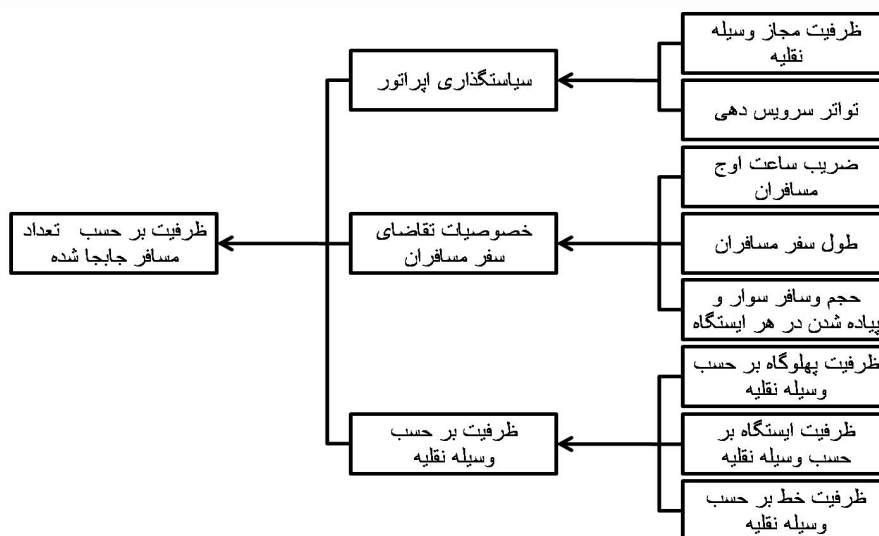
به طور کلی عوامل اثرگذار بر ظرفیت مسافر در سیستم حمل‌ونقل اتوبوسرانی در شکل (۱) نشان داده شده است. براساس این شکل، فرآیند تعیین ظرفیت خطوط اتوبوسرانی شهری شامل دو مرحله اصلی می‌باشد که این مراحل به ترتیب عبارتند از:

- تعیین پارامترهای فیزیکی و عملکردی خط مورد مطالعه

- محاسبه ظرفیت خط مورد مطالعه

<sup>1</sup> Random arrival

<sup>2</sup> Platoon arrival



شکل ۱: عوامل اثرگذار بر ظرفیت مسافر سیستم اتوبوسرانی [۴]

این دو مرحله به طور مستقیم با یکدیگر در ارتباط بوده و خروجی مرحله اول به عنوان ورودی برای مرحله بعدی در نظر گرفته می‌شود.

ظرفیت خط اتوبوسرانی بر حسب وسیله نقلیه بطور معمول در سه نقطه محاسبه می‌گردد: پهلوگاه، ایستگاه و مسیر، بطوریکه عملکرد هر محل بر محل بعدی تاثیر گذار می‌باشد [۱]. بدین ترتیب ظرفیت ایستگاه توسط ظرفیت پهلوگاه کنترل می‌شود و ظرفیت مسیر متاثر از ظرفیت ایستگاه بحرانی در طول مسیر تعیین می‌گردد.

تعداد فضای توقف در یک ایستگاه و به تبع آن ضریب عملکردی فضای توقف عامل اصلی محاسبه ظرفیت ایستگاه بر حسب ظرفیت یک فضای توقف می‌باشد. طبق تعریف، فضای توقف<sup>۱</sup> فضایی در داخل ایستگاه می‌باشد که وسیله نقلیه در آن فضا توقف نموده و به مسافران سرویس دهی می‌نماید و بر این اساس ایستگاه شامل یک یا تعداد بیشتری فضای توقف می‌باشد. نحوه قرارگیری فضای توقف در ایستگاه معمولاً بصورت خطی می‌باشد. در این نوع طراحی پهلوگاه در محل خط عبوری و یا در کنار آن قرار می‌گیرد.

در صورتی که شکل قرارگیری فضاهای توقف بگونه‌ای باشد که عملکرد یک فضای توقف بر عملکرد دیگری در یک ایستگاه تاثیر نگذارد، ضریب عملکردی فضای توقف برابر با تعداد فضاهای توقف یک ایستگاه می‌باشد. به عبارت دیگر اگر اشغال بودن یک فضای توقف توسط یک اتوبوس، مانع از عدم استفاده از سایر فضاهای توقف توسط سایر اتوبوس‌ها نشود و یا اتوبوس موجود در سایر فضاهای توقف بتواند پس از پایان سرویس دهی، ایستگاه را تخلیه نماید (قرارگیری پهلوگاه‌ها بصورت غیر خطی)، ضریب عملکردی فضای توقف برابر با تعداد فضاهای توقف یک ایستگاه می‌باشد. با این حال در بیشتر موارد، طراحی ایستگاه‌ها بگونه‌ای می‌باشد که فضاهای توقف آن بصورت خطی قرار می‌گیرند. زمانی که این خطوط مورد مطالعه قرار گیرند، همانگونه که مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند، تعیین

<sup>1</sup> - Loading area



ضریب فضای توقف با استفاده شبیه‌سازی رایانه‌ای امکان‌پذیر می‌باشد [۶۱]. دلیل این امر آن است که نمی‌توان بر اساس شرایط فعلی عملکرد خط، مشخص نمود که میزان تاثیر تعداد مختلف فضای توقف به چه میزان بر ظرفیت خط تاثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر در حالت قرارگیری خطی فضاهای توقف، عملکرد واقعی فضای توقف دوم (و یا فضای توقف سوم و بیشتر) زمانی خود را نشان می‌دهد که تقاضا برای استفاده از آنها وجود داشته باشد (امری که ممکن است در واقعیت و در هنگام برداشت اطلاعات رخ ندهد و به عبارتی خط اتوبوسرانی در حالت اشباع و ظرفیت خود عمل نکند). براین اساس و برای تعیین ضریب عملکردی فضای توقف، اقدام به شبیه‌سازی رایانه‌ای بر اساس شبکه خط مورد مطالعه می‌شود.

#### ۴- متدولوژی انجام مطالعات

با توجه به توضیحات ارائه شده، در این تحقیق و برای شبیه‌سازی و تعیین ضریب عملکردی فضای توقف در خط مورد مطالعه، خصوصیات وضع موجود مسیر، موقعیت ایستگاه‌ها، زمان توقف ناوگان در ایستگاه‌ها و سرفاصله اعزام آنها در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی شده و سپس محیط بر اساس ظرفیت عبوری از ایستگاه بحرانی در وضع موجود کالیبره شده است. پس از کالیبره نمودن شبکه شبیه‌سازی شده، با تغییر تعداد فضاهای توقف ایستگاه‌ها، اقدام به کاهش سرفاصله زمانی اعزام اتوبوس‌ها می‌شود. این عمل تا زمانی صورت می‌گیرد که با کاهش سرفاصله و افزایش حجم ورودی اتوبوس‌ها به شبکه شبیه‌سازی شده، حجم عبوری از ایستگاه افزایش نیابد و شاهد تشکیل صف طولانی در جریان بالادست باشیم [۱]. حجم نهایی بدست آمده معرف حداکثر ظرفیت ایستگاه می‌باشد که در صورت عدم وجود سایر عوامل کاهش دهنده ظرفیت خط، ظرفیت خط برابر با ظرفیت ایستگاه بحرانی می‌باشد. در نهایت نسبت ظرفیت عبوری برای دو فضای توقف و بیشتر به ظرفیت عبوری برای یک فضای توقف، ضریب عملکردی را برای دو فضای توقف و بیشتر تعیین می‌کند.

#### ۵- آمارگیری از خط مورد مطالعه

خط دو سامانه اتوبوس‌های تندرو شهر تهران به طول تقریبی ۱۸ کیلومتر از پایانه آزادی در بخش غربی شهر تهران آغاز شده و به پایانه خاوران در جنوب شرقی شهر تهران منتهی می‌گردد. از خصوصیات ویژه این خط آنکه در محدوده ایستگاه رازی تا ایستگاه میدان قیام، از محدوده بازار تهران عبور می‌کند و بنابراین به تعداد زیادی از سفرهای کاری و خرید در طول روز پاسخگویی می‌نماید. این خط در اکثر بخش‌های خود دارای مسیر جدا شده بوده و یک خط به مسیر رفت و یک خط به مسیر برگشت اختصاص داده شده است. در محدوده بازار نیز چند تقاطع چراغدار وجود دارد که در ساعات پیک، زمان‌بندی آنها توسط محترم راهور و با توجه به احجام ورودی به تقاطع، تنظیم می‌شود و روند مشخصی برای آن وجود ندارد.





بدون در نظرگیری پایانه‌های ابتدایی و انتهایی مسیر، این خط شامل ۵۰ ایستگاه می باشد (مسیر رفت و برگشت هر یک دارای ۲۵ ایستگاه) که تمامی ایستگاه‌های واقع در این مسیر جز ایستگاه خیابان خراسان در مسیر پایانه خاوران به پایانه آزادی دارای ارتفاع همسطح با کف اتوبوس‌های این خط بوده و دارای دو پهلوگاه می باشند. ایستگاه خیابان خراسان بدلیل وضعیت هندسی این خیابان از نوع معمولی بوده و تراز آن پایین‌تر از کف اتوبوس‌های این خط می باشد.

بمنظور برداشت اطلاعات مورد نیاز، آمارگیری از خط موردنظر بوسیله استقرار آمارگیر در هر اتوبوس اعزامی در محل پایانه‌های ابتدایی و انتهایی مسیر انجام گرفته و اطلاعات لازم در خصوص زمان توقف اتوبوس‌ها در ایستگاه‌های مختلف و زمان سفر وسیله نقلیه در طول مسیر و ایستگاه‌های متوالی در ساعات مختلف روز برداشت گردید. همچنین حجم عبوری اتوبوس‌های خط مورد مطالعه در طول مسیر و بصورت آمارگیری نقطه‌ای برداشت شده است.

#### ۶- محاسبه ضریب فضای توقف

در این تحقیق و برای تعیین ضریب عملکردی فضای توقف از نرم افزار AIMSUN v.6 استفاده شده است. با توجه به آنکه زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی در طول مسیر بصورت دستی انجام می‌گیرد و روند مشخصی برای آن نمی توان مفروض داشت، برای تعیین ضریب فضای توقف و شبیه سازی، دو قسمت از خط مورد مطالعه برای شبیه سازی در نظر گرفته شد تا تاثیر چراغ راهنمایی بر ظرفیت خط به حداقل کاهش پیدا کند. این دو قسمت عبارتند از:

- ایستگاه میدان آزادی تا ایستگاه سه راه آذری در مسیر پایانه آزادی به پایانه خاوران.

- ایستگاه پمپ بنزین تا ایستگاه میدان خراسان در مسیر پایانه خاوران به پایانه آزادی.

در اولین مرحله شبیه سازی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بعنوان پس زمینه در محیط نرم‌افزار، مسیرهای مورد نظر ساخته و محل ایستگاه‌ها در آن تعیین گردید.

با توجه به آمار نقطه‌ای برداشت شده، حداکثر حجم عبوری از قسمت‌های شبیه سازی شده مربوط به ساعت ۷:۱۵ تا ۸:۱۵ برای مسیر ایستگاه آزادی به ایستگاه سه راه آذری و با حجم تردد ۶۳ اتوبوس در ساعت و ساعت ۷ الی ۸ برای مسیر ایستگاه پمپ بنزین به ایستگاه میدان خراسان با حجم تردد ۶۱ اتوبوس در ساعت بوده است.

در ادامه اطلاعات مربوط به متوسط زمان توقف، انحراف معیار ایستگاه‌ها و مقادیر زمان ترک ایستگاه بر اساس اطلاعات برداشت شده در ساعات فوق به هر ایستگاه تخصیص داده شد که مقادیر آنها در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس این ارقام، ایستگاه سه راه آذری و ایستگاه میدان خراسان بحرانی‌ترین ایستگاه‌ها در طول مسیرهای موردنظر می باشند.





سرفاصله عبور از ایستگاه‌های ابتدایی در ساعت‌های شبیه سازی به مسیر اختصاص داده شد و با توجه به فاصله میان ایستگاه‌ها و متوسط زمان سفر اتوبوس‌ها میان ایستگاه‌ها در ساعات مطالعه، متوسط سرعت حرکت در مسیر تعیین شد (جدول (۵)) و مقادیر آن به مسیرهای حرکتی اختصاص داده شد.

جدول ۴: خصوصیات عملکردی ایستگاه‌های واقع در مسیر در ساعات شبیه سازی

نام ایستگاه	پارامترهای مرتبط با زمان توقف ناوگان در ایستگاه		زمان ترک ایستگاه (ثانیه)
	متوسط زمان توقف (ثانیه)	انحراف معیار زمان توقف (ثانیه)	
میدان آزادی	۳۴/۸۴	۱۱/۲۸	۴
هاشمی	۲۱/۴۸	۶/۳۸	۶
سی متری جی	۲۵/۷۱	۸/۱۳	۶
جرجانی	۳۷/۵۰	۱۰/۷۱	۷
سه راه آذری	۶۳/۴۵	۳۱/۰۹	۸
پمپ بنزین	۳۰/۵۴	۸/۰۷	۷
فرهنگسرای خاوران	۲۶/۰۲	۷/۹۷	۵
باسکول	۲۴/۷۷	۷/۶۶	۶
اتابک	۳۷/۷۸	۱۷/۴۶	۷
امیر سلیمانی	۳۷/۶۲	۹/۶۶	۷
مخبر	۳۲/۷۵	۸/۵۰	۷
میدان خراسان	۷۳/۶۵	۲۶/۰۲	۷

جدول ۵: متوسط سرعت حرکت ناوگان بر مبنای اطلاعات برداشت شده در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام مقطع	فاصله (متر)	متوسط زمان سفر (ثانیه)	متوسط سرعت (کیلومتر در ساعت)
میدان آزادی - هاشمی	۹۴۰	۸۴	۴۰
هاشمی - سی متری جی	۱۸۵۱	۱۹۱	۳۵
سی متری جی - جرجانی	۵۸۹	۵۹	۳۶
جرجانی - سه راه آذری	۱۶۲۷	۱۹۱	۳۱
پمپ بنزین - فرهنگسرای خاوران	۴۵۰	۶۲	۲۶
فرهنگسرای خاوران - باسکول	۵۷۰	۸۲	۲۵
باسکول - اتابک	۴۵۰	۵۲	۳۱
اتابک - امیر سلیمانی	۵۵۸	۷۳	۲۸
امیر سلیمانی - آقارضا	۶۱۵	۷۴	۳۰
آقارضا - میدان خراسان	۵۲۷	۷۱	۲۶



در ادامه و پس از کالیبره نمودن شبکه شبیه سازی شده، در هر مرحله تعداد فضای توقف تمام ایستگاه‌ها به ترتیب به یک، دو، سه، چهار و پنج پهلوگاه تغییر یافت و با تغییر سرفاصله اعزام و کاهش تدریجی آن، حداکثر حجم عبوری از ایستگاه‌های بحرانی تعیین گردید. معیار تعیین عملکرد خط در وضعیت ظرفیت همانگونه که در بخش چهارم نیز گفته شد، زمانی است که کاهش سرفاصله اعزام ناوگان افزایش حجم عبوری از ایستگاه بحرانی را به دنبال نداشته باشد و تنها باعث تشکیل صف طولانی در جریان بالادست شود. نتایج این شبیه‌سازی در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶: نتایج شبیه سازی برای تعداد فضای توقف مختلف در ایستگاه‌های بحرانی

شماره فضای توقف در ایستگاه	نام ایستگاه بحرانی	حداکثر حجم عبوری از ایستگاه بحرانی
۱	سه راه آذری	۴۱
	میدان خراسان	۳۸
۲	سه راه آذری	۶۵
	میدان خراسان	۶۳
۳	سه راه آذری	۹۲
	میدان خراسان	۸۳
۴	سه راه آذری	۱۰۹
	میدان خراسان	۱۰۰
۵	سه راه آذری	۱۱۸
	میدان خراسان	۱۰۸

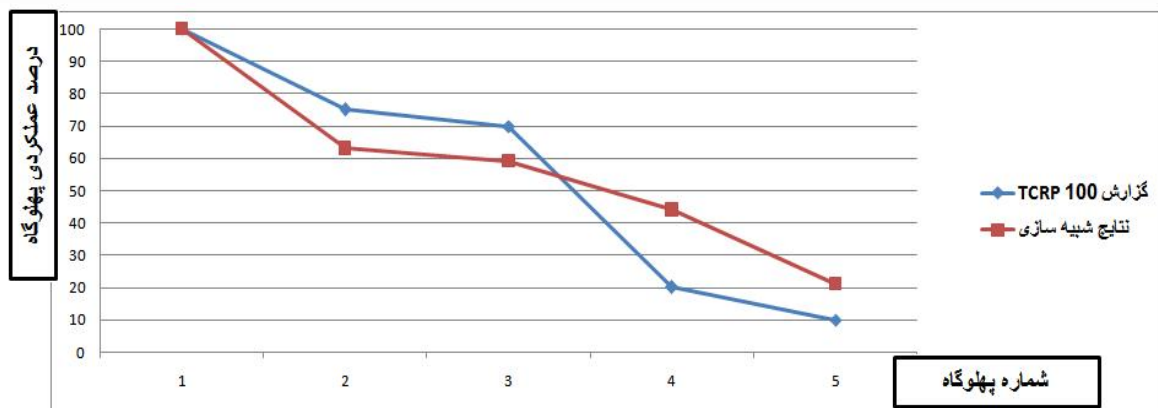
بر اساس مقادیر بدست آمده از جدول (۶)، مقادیر حجم عبوری از ایستگاه‌های بحرانی با تعداد دو فضای توقف و بیشتر در مقایسه با یک فضای توقف، ضرائب عملکردی را برای تعداد مختلف فضای توقف نشان می‌دهد که متوسط این مقادیر برای مسیرهای شبیه سازی شده در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷: ضریب عملکردی فضای توقف بر اساس نتایج شبیه سازی

شماره فضای توقف در ایستگاه	ضریب عملکردی فضای توقف
۱	۱/۰۰
۲	۱/۶۳
۳	۲/۲۱
۴	۲/۶۵
۵	۲/۸۶



نتایج ضریب عملکردی فضای توقف بر اساس شبیه‌سازی صورت گرفته و مقایسه آن با ضرائب ارائه شده در گزارش ۱۰۰ TCRP نشان می‌دهد که میزان کاهش عملکرد فضای توقف دوم به بعد در شبیه‌سازی، دارای شیب کمتری نسبت به مقادیر ارائه شده در این گزارش می‌باشد که این مهم در فضای توقف چهارم و پنجم نمود پیدا کرده است (شکل (۲)). با این حال نتایج شبیه‌سازی، ضرائب عملکردی کمتری را برای فضای توقف دوم و سوم نسبت به گزارش فوق‌الذکر نشان می‌دهد.



شکل ۲: درصد اثرگذاری تعداد فضای توقف بر ظرفیت عبوری از ایستگاه

## ۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ضرائب عملکردی فضای توقف برای خطوط اتوبوسرانی دارای حق مسیر B نوع I صورت گرفت که برای این منظور و بعنوان مطالعه ای موردی با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات میدانی از خط دو سامانه اتوبوس‌های تندرو شهر تهران و شبیه‌سازی خط مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار Aimsun v.6 این امر تحقق نمود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ضرائب عملکردی فضای توقف برای دو و سه فضای توقف در یک ایستگاه کمتر از مقادیر ارائه شده در گزارش ۱۰۰ TCRP می‌باشد، با این حال ضرائب عملکردی فضای توقف چهارم و پنجم در یک ایستگاه بیشتر برآورد شده است. این امر نشان می‌دهد که استفاده از مدل ظرفیت خط اتوبوسرانی ارائه شده در گزارش فوق و استفاده از ضرائب کالیبره شده در این تحقیق، برای دو و سه فضای توقف، ظرفیت کمتری را برای خط مورد مطالعه برآورد می‌نماید.

## ۸- مراجع

- 1-S.T. Jacques, H.S. Levinson,1997, TCRP Report 26: “Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials”, Transportation Research Board, Washington D.C.
- ۲- گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران، ۱۳۹۲، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.
- 3- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 1985, Published by the National Research Council, Washington D.C.
- 4- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2000, Published by the National Research Council, Washington D.C.
- 5-Orlando. FL , Bethesda. MD ,2003, TCRP REPORT 100 : Transit Capacity and Quality of Service Manual - 2nd Edition, TRB , Washington D.C.
- 6-TCRP Research Results Digest, 2000, Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials: Application and Refinement, TRB , Washington D.C.



## **Analysis of loading area numbers in bus station on bus lane capacity A case study : BRT line 2 of Tehran**

**Ali Faghani<sup>1</sup>, Reza Bozorgmehrnia<sup>2</sup>, Shervin Babaei<sup>3</sup>**

2- M.Sc. Transportation planning, Iran University of Science & Technology

2- M.Sc. Transportation planning, Imam Khomeini International University

2- M.Sc. Transportation planning, Iran University of Science & Technology

### **Abstract**

A question of determining a bus lane capacity has not yet been properly answered in our country, therefore there is not a clear image of the operation of bus lines. Although such studies have been carried out in developed countries and are used as base for analysis of the operation within in our country, there is the need for developing countries to revise the proposed methods and models and calibrate them with the condition of the destination country. As number of loading areas and the way of design in bus station have direct effects on bus lane capacity, a field survey has been conducted into line 2 of Bus Rapid Transit of Tehran city and with use of AIMSUN v.6 software, studied bus line simulated and sensitive analysis for determine the relation between number of loading areas of bus station on bus lane capacity done. Finally the results has compared with similar studies and indicate that coefficient of effective loading areas for second and third loading area is less than the coefficient shown in similar studies, while coefficient of effective loading areas for fourth and fifth loading area is more than the coefficient shown in similar studies.

**Keywords:** *Bus exclusive lane capacity, coefficient of effective loading areas, Simulation.*