تاثیر ازدحام جمعیت در ساعات پیک بر استفاده مسافران از مترو

رضا مویدفر*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
حمید نیک پسند، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r-moayedfar@araku.ac.ir
دریافت: ۹۵/۰۲/۱۲- پذیرش: ۹۵/۰۶/۱۵

چکیده

در این مقاله به بررسی این موضوع خواهیم پرداخت که چگونه مطلوبیت و جذابیت استفاده از مود مترو از سوی مسافران در کنار آیتم‌های اصلی هزینه و زمان در انتخاب این مود تاثیرگذار خواهد بود. روش ما جهت ساده سازی این مورد، استفاده از تراکم و ازدحام مسافرین به عنوان موردی است که می‌توان میزان رضایت و مطلوبیت مسافرین را جهت انتخاب مود نشان دهد. جهت کمی کردن این آیتم و در نهایت مقایسه آن با موارد ذکر شده از تراکم مسافران سرپایی در هر متر مربع از وسیله نقلیه استفاده می‌کنیم. با استفاده از مدل لاجیت خطی، با مقایسه دو شرایط : یک- شرایط بدون ازدحام در مترو و اتوبوس و دو- شرایط ازدحام جمعیت در مترو و بدون ازدحام در اتوبوس، به بررسی این موضوع خواهیم پرداخت که چه تعداد از مسافران ترجیح خواهند داد تا از مزایای مترو (هزینه و زمان) چشم پوشی کنند و در عوض آسایش بیشتری داشته باشند و در نهایت از نتایج به دست آمده می‌توان متوجه شد که تغییرات در میزان ازدحام جمعیت می‌تواند تاثیر زیادی بر روی انتخاب مود مسافران داشته باشد.

واژه‌های کلیدی : مترو، ازدحام جمعیت، چگالی مسافران سرپایی، آنالیز الاستیسیته

۱- مقدمه

حمل‌ونقل سریع‌السیر (مترو) و حمل‌ونقل عمومی زمینی (اتوبوس) مهم‌ترین عضو هسته اصلی سیستم حمل‌ونقل در شهرهای بزرگ می‌باشند. حمل‌ونقل سریع‌السیر (مترو) هنگامی که توسعه پیدا می‌کند، به عنوان جز کلیدی در سیستم حمل‌ونقل عمومی درون شهری قرار می‌گیرد، که بسیار کار آمد و سازگار با شرایط محیطی و شرایط پر جمعیت و با ظرفیت بالا نیز می‌باشد. با توسعه سریع مترو، رابطه‌ی تنگاتنگ بین مترو و حمل‌ونقل عمومی (اتوبوس) مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. در سیستم حمل‌ونقل درون شهری مهمترین فاکتورهایی که در انتخاب مسافران موثر است: هزینه سفر، زمان سفر و راحتی سفر می‌باشند.

بیشترین مطالعات موجود در خصوص انتخاب مود برروی خصوصیات بیرونی و ویژگی‌هایی که به سادگی‌قابل اندازه‌گیری می‌باشند، مانند زمان و هزینه متمرکز شده‌اند و به احساسات درونی مسافرین (تراکم جمعیت درون وسیله نقلیه) و تأثیر آن به انتخاب مود پرداخته نشده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که احساسات درونی مسافران تأثیرات بیشتری در تصمیم‌گیری آن‌ها دارد و یک فاکتور مهم در آنالیز شکل‌دهی تصمیم آن‌ها در انتخاب مود می‌باشد. وسایل مختلف برقرار باشد.

۲- پیشینه تحقیق

نازولو مدل مجزایی که عملکرد زمانی و مالی حمل‌ونقل سریع‌السیر را ارزیابی می‌کند ارایه کرده است و به طور خاص به این موضوع می‌پردازد که استفاده هر چی بیشتر از حمل‌ونقل سریع‌السیر و به ویژه مترو چه عوایدی را از بعد هزینه‌ای و زمانی برای دولت و سرمایه گذاران این صنف به همراه دارد. های یانگ مدل به کمینه رسانی هزینه‌ها را توسعه داده و در رابطه با امتیاز صرفه جویی زمانی با اتوبوس‌های تندرو مطالعه کرده است، در مجموع در مقاله خود به این مهم می‌پردازد که

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

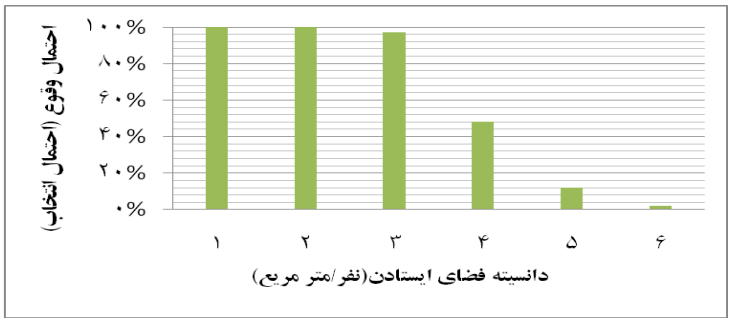
چگونه شهروندان با استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی مختلف هزینه‌های متفاوتی را متحمل می‌شوند و در نهایت هم آثار و تبعات مثبت استفاده از اتوبوس‌های تندرو را بررسی کرده و به این نتیجه می‌رسد که استفاده از اتوبوس‌های تندرو علاوه بر صرفه‌جویی‌های مالی موجب صرفه‌جویی‌های زمانی بسیاری نیز برای استفاده کنندگان می‌شود. ماکائوگان طول مسیر و زمان سفر را در دو حالت حمل‌ونقل عمومی و حمل‌ونقل سریع‌السیر مقایسه کرده و مورد آنالیز قرار می‌دهد، و یک تابع بر حسب هزینه ارائه می‌دهد که در آن هر دو مود ترافیکی را در یک مدل لاجیت قرار می‌دهد، در واقع یک مطالعه خیلی کاربردی و جدیدی انجام می‌دهد و دو پارامتر موثر از استفاده دو مود ترافیکی اتوبوس‌های معمولی درون شهری و مترو را که این دو پارامتر طول مسیر سپری شده و زمان مصرف شده می‌باشند. به این صورت که زمان و طول مسیر را برای یک سفر با یک مبدا و مقصد ثابت را در هر دو حالت بررسی می‌کند و سپس تمام این آیتم‌ها به صورت هزینه‌ای که برای مسافر صرف می‌شود تبدیل می‌کند و مورد مقایسه قرار می‌دهد. لیان لیجوان یک مدل لاجیت شامل زمان و هزینه سفر را بر اساس مطلوبیت آن از دید مسافرین درون شهری ارایه می‌دهد تا بتوان بین حمل‌ونقل عمومی و حمل‌ونقل سریع‌السیر مقایسه‌ای انجام داد، تفاوت تحقیق لیجوان با سایر تحقیقات انجام شده در این است که ایشان مقایسه خویش را صرفاً از دید مسافرین انجام داده و هیچ نگاهی به سود و زیان یک بنگاه اقتصادی یا دولتی بر این موضوع نداشته است و در واقع از دیدگاه او تنها هزینه و زمانی مسافرین و استفاده کنندگان از وسایل نقلیه صرف می‌کنند مورد بررسی و در نهایت نتیجه‌گیری قرار گرفته است. کومار از شواهد و تجربیات شخصی و با عنایت به پرسش و پاسخ‌هایی که با استفاده کنندگان و مسافران دائمی سفرهای درون شهری انجام داده است، این ایده را مطرح می‌کند که می‌بایست یک فاکتور و ضریبی بین احساس راحتی مسافران و چگونگی توزیع سفرهای درون شهری با وسایل مختلف برقرار باشد.

۳- چگالی مسافران سرپایی در مترو

دراین مقاله از چگالی مسافرین سرپایی جهت انعکاس احساس درونی مسافران از تراکم استفاده می‌نماییم. چگالی مسافران سرپایی در وسایل نقلیه را می‌توان توسط محاسبه فضای ایستادن و شمارش مسافران به دست آورد. به‌عنوان مثال برای یک وسیله نقلیه مشخص که فضای ایستادن آن ثابت است با محاسبه تعداد مسافران، تعداد مسافران در هر متر مربع مشخص می‌شود که از آن به عنوان چگالی مسافرین تعبیر می‌شود (نفر بر مترمربع).

به صورت عمومی استاندارد فضای ایستادن وسایل نقلیه می‌تواند در دو مفهوم طبقه‌بندی شود: یکی استاندارد مطلوب است (سه نفر بر مترمربع) و دیگری استاندارد متراکم (شش نفر بر مترمربع). این پژوهش بر اساس وسیله نقلیه سریع‌السیر (متروی تهران) جهت محاسبه‌ی فضای ایستادن، می‌باشد و براساس فضای واقعی اندازه‌گیری شده‌ی ایستادن مسافرین می‌باشد.

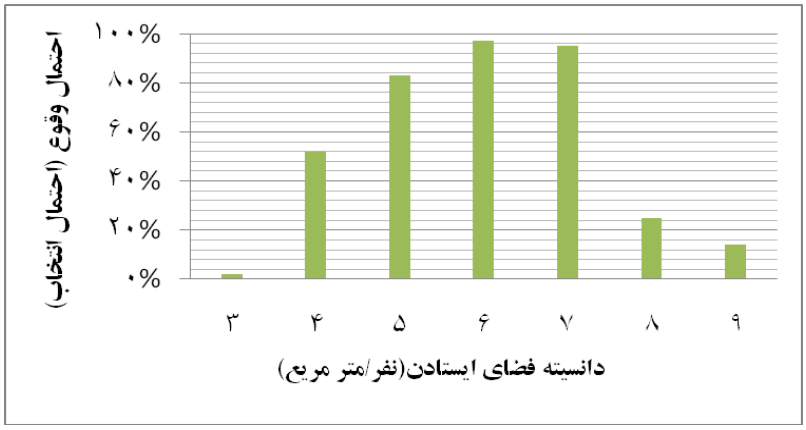
بنابراین به روابط فضای اندازه‌گیری شده واقعی و احساس تراکم از طرف مسافران خواهیم رسید و تراکم را به واسطه فضای ایستادن مسافران توصیف خواهیم کرد. این تحقیق به ترتیب در ساعت شلوغی و غیر شلوغی در مترو انجام شده است که نتیجه آن نیز در نمودارهای ۱ تا ۳ مشخص می‌باشد.



شکل ۱. احتمال انتخاب مسافران در شرایط راحتی و بدون تراکم

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۲. احتمال انتخاب مسافران در شرایط متراکم

شکل ۳. احتمال انتخاب مسافران در شرایط بسیار متراکم

از نمودارهای بالا می‌توان متوجه شد که احتمال انتخاب در شرایط غیر متراکم هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان فضای ایستادن کمتر از ٤ نفر بر مترمربع باشد. بنابراین میزان بحرانی فضای ایستادن در شرایط بدون تراکم ۳ نفر بر مترمربع می‌باشد.

احتمال انتخاب در شرایط متراکم هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان فضای ایستادن کمتر از ۸ نفر بر مترمربع و بیشتر از ٤ نفر بر مترمربع باشد. بنابراین میزان میانگین فضای ایستادن در شرایط متراکم ٦ نفر بر مترمربع می‌باشد.

احتمال انتخاب در شرایط کاملاً متراکم هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان فضای ایستادن بیشتر از ۸ نفر بر مترمربع باشد. بنابراین میزان بحرانی فضای ایستادن در شرایط بسیار متراکم ۹ نفر بر مترمربع می‌باشد.

تمامی این استانداردهای محاسبه شده در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. ارزیابی میزان تراکم

احساسات درونی مسافرین از تراکم	چگالی ایستادن مسافران (نفر/متر مربع)	درجه تراکم
مسافران به راحتی می‌توانند حرکت کنند، کتاب بخوانند، و آسایش نسبی دارند.	≥۳	راحت و بدون تراکم
مسافران می‌توانند خیلی کند حرکت کنند، به سختی می‌توانند مطالعه کنند، به افراد دیگر برخورد می‌کنند و آرامش خیلی کمی دارند.	۷-٤	متراکم
مسافران به سختی می‌توانند حرکت کنند، کاملاً به مسافران دیگر چسبیده‌اند و احساس پرس شدن دارند.	≤۸	بسیار متراکم

Archive of SID

www.SID.ir

براساس عملکرد آماری خطوط متروی تهران در طول مدت شلوغی میزان فضای ایستادن به ٦ نفر بر مترمربع می‌رسد. در شرایط ٦ نفر بر مترمربع مسافران احساس راحتی ندارند و فقط به سختی قادر به ورود و خروج هستند. بنابراین در نهایت آنالیز بر اساس دسته‌ی شرایط متراکم می‌باشد.

٤- مدل کردن تاثیر میزان تراکم درون وسیله نقلیه

٤-١- آمار و اطلاعات

روش اصلی جهت ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی برای برآورد پارامترهای مدل، آمارگیری از نمونه‌هایی در شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل است. گرچه فرآیند جمع آوری آمار و اطلاعات به نظر ساده می آید، ولی در حقیقت یکی از مراحل دشوار، زمانبر و هزینه بر در فرآیند مدلسازی انتخاب وسیله نقلیه است. در بسیاری از مطالعات برنامه ریزی حمل‌ونقل تا حدود نصف بودجه صرف جمع‌آوری آمار و اطلاعات می‌شود.

در این پژوهش از روش بیانی (SP) برای به دست آوردن تاثیر تغیرات تراکم بر انتخاب مود مطلوب استفاده می‌شود. روش SP بر اساس اقتصاد و شرایط مالی متکی است و از سال ۱۹۷۰ از این روش برای مطالعه بر روی ترافیک استفاده نموده‌اند. این روش در طی ۳۰ سال به صورت عمیق در مسائل ترافیک وارد شده است. Hensher و Hole به طور موفقیت آمیزی از روش SP و مدل مشخص مجزایی برای انتخاب مود استفاده کرده‌اند.

روش SP کمک می‌کند تا داده‌های آماری و شمارشی به دست آورده شده، همان انتخاب مطلوبی را که ما پیشنهاد می‌کنیم را ارایه دهند. مشخصات شخصی مهم شامل سن، درآمد سالانه، شغل و ... می‌باشد که در آنالیز مسافرت‌ها و مقیاس نتایج انتخاب‌ها استفاده می‌شوند.

در روش SP، ابتدا آمارگیری و شمارش می‌تواند برای رسیدن به داده‌ها و ارتقاء کارآیی تحقیق موثر باشد. به هر حال، می‌توان متوجه شد که ممکن است نتایج آمارگیری دقیقاً بر واقعیت منطبق نباشد و گاهی اوقات اختلافاتی وجود داشته باشد. بنابراین در این الگو، مود منتخب فرضی می‌بایست قادر باشد تا ویژگی‌های مودهای ترافیکی مختلف (نزدیک به مود انتخابی) را برآورده سازد.

ضمناً، درطراحی الگو مطالعه SP بسیاری از ویژگی‌ها و خصوصیات مختلف وجود دارند که ممکن است پاسخ‌های افراد را تحت تأثیر قرار دهند و قابلیت اعتماد نتایج آمارگیری را تحت تاثیر قرار دهند.

پارامترهای طراحی این روش شامل ٤ آیتم: زمان درون وسیله نقلیه، زمان بیرون وسیله نقلیه، هزینه و میزان تراکم مسافرین درون وسیله نقلیه می‌باشد. تعیین میزان تاثیر فاکتورها بستگی به هدف مطالعه دارد.

در این پژوهش از ۳۵۰ پرسشنامه اخذ شده، عملیات پردازش و بررسی آنها انجام گردیده است و در نهایت تعداد ۳۲۷ رکورد ثبت شده قابل اطمینان، جهت استخراج متغیرهای مورد نیاز مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته است.

٤-٢- مدل سازی انتخاب مجزا بر اثر تراکم جمعیت

مدل سازی انتخاب بر اثر تراکم می‌تواند کمک کند که فهم رفتارهای انفرادی مسافران سیستماتیک شود. مدل لاجیت چند جمله‌ای (MNL) یکی از روش‌های معمولی در انتخاب مدل است. این مدل از فرضیه استقلال متقابل پایگاه داده‌ها (زمان درون وسیله نقلیه، زمان بیرونی یا انتظار وسیله نقلیه، هزینه و تراکم) و تابع توزیع گامبل اقتباس می‌شود. عبارت ریاضی آن (رابطه ۱) نیز به صورت زیر است:

(۱)

$$P_{in}=\frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j=1}^{C_n}\exp(V_{jn})}$$

P_{in}: احتمال این که مسافر nام مود ترافیکی i را انتخاب نماید.

V_{in}: تابع خدماتی و شرایطی که به واسطه آن مسافر nام مود ترافیکی i را انتخاب می‌کند.

C_n: تمامی مودهایی که یک مسافر می‌تواند انتخاب کند.

تابع خدماتی V_{in} از ضرب چند عبارت است. به هر حال برای تسهیل آنالیز و کالیبره کردن ضرایب موجود، عموماً از تابع خطی $V_{in}=\sum\beta_k X_{ink}$ استفاده می‌شود، که X_{ink} خصوصیت kام حمل‌ونقلی است که به واسطه‌ی آن مود iام توسط نفر n ام انتخاب می‌شود.

انتخاب یک مود خاص حاصل میزان برتری‌ها و کمبودهای کیفیت سرویس آن مود می‌باشد. بنابراین، کیفیت سرویس مهمترین فاکتور تعیین‌کننده انتخاب مود می‌باشد. ضمناً،

Archive of SID

www.SID.ir

مشخصه‌های اقتصادی و اجتماعی و مشخصه‌های سفر همچنین می‌تواند بر انتخاب مود موثر باشد. کیفیت سرویس می‌تواند بوسیله یک سری از پارامترها از قبیل زمان سفر، هزینه سفر، راحتی، ایمنی و تراکم بیان شود. بگونه‌ای که زمان و هزینه بطور مستقیم بر چگونگی یک مود خوب و بد تأثیر دارد. در مطالعه مود سفر زمان سفر تنها شامل زمان درون وسیله نقلیه نمی‌شود بلکه شامل تمام زمان‌های پیاده روی، و انتظار نیز می‌شود. برای انتخاب مود، مسافرین تمام زمان‌های مختلف را در نظر می‌گیرند و در نهایت کل زمان سپری شده را به عنوان زمان سفر لحاظ می‌کنند و همچنین تراکم را نیز به عنوان یک فاکتور مهم در انتخاب مود در نظر می‌گیرند. برخی از مسافران ترجیح می‌دهند که پول و زمان بیشتری صرف کنند ولی در عوض آسایش بیشتری داشته باشند و در وسایل نقلیه متراکم نشوند. بنابراین، این پژوهش سعی می‌کند که یک آنالیز کیفی از تراکم را ارایه دهد. بر اساس آنالیز بالا تراکم، هزینه سفر، زمان درون وسایل نقلیه و زمان بیرون وسایل نقلیه را به عنوان معیارهای تعیین کننده در انتخاب مودهای حمل‌ونقل در نظر می‌گیریم.

$$V_{in} = A_i + \beta_1 R_{in} + \beta_2 C_{in} + \beta_3 I_{in} + \beta_4 O_{in} \qquad (۲)$$

A_i : ثابت انتخاب مود، A_1 =۰

β_k : ضریب متغیر مستقل

R_{in} : تراکم

C_{in} : هزینه سفر

I_{in} : زمان سپری شده درون وسیله نقلیه

O_{in} : زمان سپری شده بیرون وسیله نقلیه می‌باشند.

مودهای انتخاب عبارت است از:

$$C = \{ i = 1(BUS) , i = 2(metro) \}$$

بر اساس داده‌های انتخاب مود از ۳۲۷ پاسخنامه معتبر در تحقیق، ۲۹۴۳ = ۹ x ۳۲۷ پارامترهای درجه‌بندی شده با نرم افزار Biogeme تکمیل شده‌اند که نتایج این درجه‌بندی در جدول۱ نشان داده شده است.

براساس نتایج درجه‌بندی می‌توان دریافت که، مقادیر ضرایب مختلف کمتر از صفر می‌باشد و مقادیر مختلف T تست در مدل از ۱.۹۶ بیشتر است، سطح اطمینان نتایج بیش از ۹۵٪ می‌باشد.

دقت روش مدل سازی لاجیت به دلیل استفاده از ضریب تعیین "R2" می‌باشد. مقدار قابل قبول ضریب تعیین " R2" بین ۰.۲ تا ۰.٤ می‌باشد. ضریب بالای ۰.۲ به این معنا است که مدل دارای سطح اطمینان بالایی است، و متغییر منتخب در رفتار انتخابی مسافرین موثر می‌باشد.

از نتایج به دست آمده در مدل می‌توان فهمید که مقدار ضریب زمان درون وسیله نقلیه از زمان بیرون وسیله نقلیه بیشتر است، که نشان دهنده این موضوع است که زمانی که مسافران درون وسیله نقلیه سپری می‌کنند برای آنها از زمانی که بیرون وسیله نقلیه می‌گذرانند با اهمیت‌تر است. مسافران ترجیح می‌دهند که زمان انتظار یا پیاده روی بیشتری را تحمل کنند تا اینکه درون وسیله نقلیه متراکم بمانند. همچنین می‌توان دریافت که ضریب تراکم بالاتر از این دو ضریب (زمان درون وسیله نقلیه و زمان بیرون وسیله نقلیه) است، بنابراین، تراکم به صورت شخصی بر انتخاب مود حمل‌ونقل مسافران تاثیر می‌گذارد.

جدول۱. نتایج تخمین پارامترهای مدل

متغییرات	ضریب ثابت		ضریب متغییر پارامتر			
	BUS	METRO	درجه تراکم	هزینه سفر	زمان درون وسیله نقلیه	زمان بیرون وسیله نقلیه
ضریب	۰	۱.۰۵۰	-۰.۳٤۷	-۰.۵۵۸	-۰.۱۲۱	-۰.۱۰۱
مقدار T تست	-	6.1	-۱۱.۳	-۸.۱	-۱٤.۷	-۱۰.۸
ρ^2	۰.۳۱۳					
ρ^2 تعدیل شده	۰.۳۰۸					

Archive of SID

www.SID.ir

٤-۳- آنالیز الاستیسیته تراکم

فرضیه براساس مدل لاجیت عبارت است از (رابطه ۳):

$$P_{in} = \frac{Exp(\sum \beta_k X_{ink})}{\sum exp(\sum \beta_k X_{jnk})}$$

بنابراین داریم (رابطه ٤) :

$$\frac{dP_{in}}{dX_{ink}} = \frac{\beta_k e^{\sum \beta_k X_{ink}} (\sum exp(\sum \beta_k X_{jnk})) - exp(\sum \beta_k X_{ink}) - exp(\sum \beta_k X_{ink}).\ \beta_k\ .\ exp(\sum \beta_k X_{ink})}{(\sum exp(\sum \beta_k X_{jnk}))^2}$$

بنابراین مقدار نقطه الاستیسیته بر اساس رابطه زیر محاسبه خواهد شد (رابطه ۵) :

$$E^{P_{in}}_{X_{ink}} = \frac{X_{ink}}{P_{in}} * \frac{dP_{in}}{dX_{ink}} = \beta_k X_{ink} [1 - P_{in}]$$

و به صورت مشابه می‌توان مقدار نقطه الاستیسیته عمودی را بر اساس رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\frac{dP_{jn}}{dX_{ink}} = \frac{- exp(\sum \beta_k X_{ink}).\ \beta_k\ .\ exp(\sum \beta_k X_{jnk})}{(\sum exp(\sum \beta_k X_{jnk}))^2}$$

و (رابطه ٦)

$$E^{P_{jn}}_{X_{ink}} = \frac{X_{ink}}{P_{jn}} * \frac{dP_{jn}}{dX_{ink}} = - \beta_k X_{ink}\ P_{in}$$

کار شمارش و آمارگیری در مرکز شهر و نزدیک به هسته‌ی مرکزی شهر انجام شده است، برای اینکه هر دو مود حمل‌ونقل اتوبوس و مترو در هسته‌ی مرکزی شهر جهت انتخاب مسافران در دسترس می‌باشد. سیستم اتوبوس به نسبت سیستم مترو قابلیت پایین‌تری دارد، و این امر موجب مشکل شدن کار آنالیز می‌شود. بنابراین توسط آیتم زمان این مشکل را می‌توان حل کرد.

ما هزینه‌ی مترو را ٤۰۰۰ ریال و هزینه اتوبوس را ۲۰۰۰ ریال لحاظ نموده‌ایم، و زمان‌ها را مطابق جدول ذیل واقعی در نظر گرفتیم. در جدول ۲ وضعیت هر دو مود را نمایش می‌دهیم.

در طرح حالت اول، می‌توان مستقیماً نقطه الاستیسیته هر کدام از مشخصه‌های حمل‌ونقل اتوبوس و مترو را بر اساس فرمولهای (۵) و (٦) محاسبه نمود، که نتایج این محاسبات در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۲. وضعیت‌های دو مود اتوبوس و مترو در حالت اول

مود ترافیک	تراکم	هزینه (ریال)	زمان درون وسیله نقلیه (دقیقه)	زمان بیرون وسیله نقلیه (دقیقه)
اتوبوس	متراکم	۲۰۰۰	٤۵	۱۰
مترو	متراکم	٤۰۰۰	۲۵	۲۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. نقطه‌ی الاستیسیته دو مود اتوبوس و مترو در حالت اول

مود ترافیک	نقطه‌ی الاستیسیته تراکم	نقطه‌ی الاستیسیته هزینه	نقطه‌ی الاستیسیته زمان درون وسیله نقلیه	نقطه‌ی الاستیسیته زمان بیرون وسیله نقلیه
اتوبوس	-۲.۴۷۷	-۰.۸۸۵	-٤.۳۱۹	-۰.۸۰۱
مترو	-۰.٦٤٦	-۰.٤٦۲	-۰.٦۲٦	-۰.٤۱۸

جدول ٤. نقطه‌ی الاستیسیته عمودی دو مود اتوبوس و مترو در حالت اول

مود ترافیک	نقطه‌ی الاستیسیته تراکم	نقطه‌ی الاستیسیته هزینه	نقطه‌ی الاستیسیته زمان درون وسیله نقلیه	نقطه‌ی الاستیسیته زمان بیرون وسیله نقلیه
اتوبوس	۰.٤۳۱	۰.۲۳۱	۱.۱۲٦	۰.۲۰۹
مترو	۱.٦٥۱	۱.۷۷۰	۲.۳۹۹	۱.٦۰۲

با محاسبه‌ی نقطه‌ی الاستیسیته‌ی مشخصه‌ها و پارامترهای مختلف هر دو مود ترافیک از قبیل تراکم، زمان و هزینه برای تعیین تاثیر اجزای مختلف که باعث تغییر مشخصه‌های مختلف می‌شود، بطور مشخصی می‌توان متوجه شد که حساسیت تقاضا برای یک مود خاص به میزان سطح سرویس آن مود بستگی دارد. با مقایسه تمام مقدارهای نقاط الاستیسیته پارامترهای این دو مود، همچنین متوجه می‌شویم که انتخاب اتوبوس دارای نقطه الاستیسیته بالاتری نسبت به سیستم مترو در تمام آیتم‌های زمان درون وسیله نقلیه، زمان بیرون وسیله نقلیه، هزینه و تراکم می‌باشد. مقدار الاستیسیته تراکم در اتوبوس خیلی بیشتر از سیستم مترو می‌باشد، که نشان دهنده‌ی آن است که آیتم تراکم در انتخاب اتوبوس از حساسیت و جایگاه بالایی برخوردار است. در این مطالعه، آیتم‌های مهم تاثیر گذار در انتخاب مود شامل تراکم و زمان درون وسیله نقلیه می‌باشند.

نقطه الاستیسیته عمودی (Cross Elasticity)، نشان می‌دهد که چگونه تغییرات در سطح سرویس در یک مود ترافیکی بر روی تقاضا برای یک مود دیگر (مود رقیب) تاثیرگذار خواهد بود. هنگامی که مقدار نقطه الاستیسیته عمودی یک عدد منفی باشد، دو مود ترافیکی به صورت متمم و مکمل یکدیگر خواهند بود. به وضوح در حالت تکامل، مودی که عدد مطلق بزرگتری دارد به عنوان بخش اصلی است و مود دیگر مکمل آن است. هنگامی که مقدار نقطه الاستیسیته عمودی یک عدد مثبت باشد، دو مود ترافیکی به صورت متقابل یکدیگر خواهند بود. و به وضوح دراین حالت، مودی که عدد مطلق بزرگتری دارد به عنوان بخش اصلی است و مود دیگر مقابل آن و نقش کوچک‌تری دارد. با مقایسه مقدار نقطه الاستیسیته عمودی دو مود مترو و اتوبوس، درمی‌یابیم مقدار نقطه الاستیسیته عمودی تمام آیتم‌های زمان درون وسیله نقلیه، زمان بیرون وسیله نقلیه، هزینه و تراکم در مود مترو بزرگتر از مقادیر نقطه الاستیسیته عمودی مشابه آن در مود اتوبوس می‌باشد، که این نشان دهنده‌ی تغییر سطح سرویس مود مترو است که تأثیر به سزایی برای تقاضای آن به نسبت مود اتوبوس می‌باشد.

با فرض اینکه میزان تراکم درون وسیله نقلیه کاهش پیدا کند و به حالت غیر متراکم برسد، ولی مابقی آیتم‌های زمان و هزینه بدون تغییر باقی بمانند، وضعیت به صورت جدول ۵ خواهد شد.

جدول ۵. وضعیت‌های دو مود اتوبوس و مترو در حالت دوم

مود ترافیک	تراکم	هزینه (ریال)	زمان درون وسیله نقلیه (دقیقه)	زمان بیرون وسیله نقلیه (دقیقه)
اتوبوس	غیر متراکم	۲۰۰۰	٤٥	۱۰
مترو	متراکم	٤۰۰۰	۲٥	۲۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦. نقطه‌ی الاستیسیته دو مود اتوبوس و مترو در حالت دوم

مود ترافیک	نقطه‌ی الاستیسیته تراکم	نقطه‌ی الاستیسیته هزینه	نقطه‌ی الاستیسیته زمان درون وسیله نقلیه	نقطه‌ی الاستیسیته زمان بیرون وسیله نقلیه
اتوبوس	-۰.۵۵۹	-۰.٦٤۲	-۳.۱۳۲	-۰.۵۸۱
مترو	-۰.۸۸٤	-۰.۹٤۸	-۱.۲۸۵	-۰.۸۵۸

در طرح حالت دوم، می‌توان مستقیماً نقطه الاستیسیته هر کدام از مشخصه‌های حمل‌ونقل اتوبوس و مترو را بر اساس فرمول‌ها محاسبه نمود، که نتایج این محاسبات در جدول ٦ نمایش داده شده است. با مقایسه مقادیر نقاط الاستیسیته در اتوبوس و مترو، می‌توان متوجه شد که پس از کاهش تراکم در اتوبوس، مقدار الاستیسیته تراکم به شدت کاهش پیدا می‌کند، و بنابراین مقدار الاستیسیته زمان و هزینه تغییر خواهند کرد، به‌طوری که به یک مطلوبیت مشخصی خواهد رسید، و حساسیت مسافرین به روی آیتم‌های هزینه و زمان کاهش پیدا می‌کند.

۵- خلاصه آنالیز

از نتایج آنالیزهای بالا می‌توان دریافت، که تغییرات در میزان تراکم درون مترو می‌تواند تاثیر زیادی بر روی انتخاب مسافران داشته باشد. این پژوهش با آنالیز کردن نسبت و سهم سیستم مترو در دو حالت: اول (هر دو متراکم) و دوم (مترو متراکم ولی اتوبوس غیر متراکم)، تاثیرات تغییرات تراکم را بر روی انتخاب مود شفاف می‌سازد.

از طریق فرمول‌های مربوطه می‌توان محاسبه کرد که تحت شرایط یک، نسبت تسهیم اتوبوس ۲۰.۷٪، و نسبت سیستم مترو ۷۹.۳٪ می‌باشد، که به معنای این است که سهم انتخاب سیستم مترو بسیار بالاتر از انتخاب اتوبوس می‌باشد.

در حالت دوم اتوبوس بدون تراکم فرض شده است و آیتم‌های زمان و هزینه بدون تغییر باقی مانده‌اند، با استفاده از فرمول‌های مربوطه برای تخمین نسبت تسهیم، نسبت تسهیم اتوبوس ٤۲.۵٪، و سیستم مترو ۵۷.۵٪ به دست می‌آید، که به وضوح رشد نسبت تسهیم اتوبوس را نشان می‌دهد، که نتیجتاً نشان می‌دهد که تغییرات تراکم به صورت گسترده‌ای در رفتار مسافرین برای انتخاب مود تأثیرگذار است.

٦- نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه که در فصول بالا برای آنالیز تاثیر تراکم درون وسیله نقلیه بر روی مطلوبیت انتخاب مود حمل‌ونقل بررسی کردیم، نتایج ذیل به دست آمد:

برای به دست آوردن میزان تراکم درون وسیله نقلیه، معیار خاصی وجود ندارد و به سختی می‌توان به مقدار دقیقی برای آن رسید، و قابلیت اعتماد به مصاحبه‌ها و پاسخنامه‌ها برای تعیین این عدد ضعیف است. بنابراین در این پژوهش از چگالی مسافرین سرپایی به جای مصاحبه‌های حضوری برای تعیین میزان تراکم وازدحام درون وسیله نقلیه استفاده شده، و تراکم به وسیله‌ی نتایج آن کلاس بندی شده است.

بر اساس پارامترهای انتخاب مود (هزینه، زمان درون وسیله نقلیه، زمان بیرون وسیله نقلیه و تراکم درون وسیله نقلیه)، از نتایج آنالیز می‌توان دریافت که با لحاظ کردن تأثیر تراکم درون وسیله نقلیه در کنار آیتم‌های دیگر برای انتخاب مود، هنگامی که تراکم درون وسیله نقلیه بیشتر می‌شود حساسیت مسافران بر روی آیتم زمان درون وسیله نقلیه به شدت بیشتر می‌شود، چراکه مسافران تمایل دارند زمان درون وسیله نقلیه در شرایط ازدحام را کاهش دهند و زمان کمتری را در شرایط متراکم در مترو سپری کنند.

بر اساس آنالیز نقطه الاستیسیته، می‌توان به این مهم دست یافت که انتخاب مود مسافران بسیار حساس به تراکم درون وسیله می‌باشد، و پس از کاهش تراکم درون وسیله نقلیه،

Archive of SID

www.SID.ir

حساسیت مسافرین به هزینه و زمان نیز به مراتب کاهش می‌یابد و در می‌یابیم تغییر سطح سرویس مترو می‌تواند تأثیر به سزایی بر تقاضای اتوبوس داشته باشد.

۷- مراجع

Agostino Nuzzolo , Umberto Crisalli, Francesca Gangemi. A behavioural choice model for the evaluation of railway supply and pricing policies [J]. Transportation Research Part A 34, 2000: pp. 395-404

Hai Yang, Hoi yan Kong, Qiang meng. Value-of-time distributions and competitive bus service [J]. Transportation Research Part E 37, 2004: pp. 441- 424

Ma Chao-qun, Wang Yu-ping1, Chen Kuan-min. Competition Model between Urban Rail and Bus Transit, [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(3): pp.140-143.

Liang Lijuan, Wu Jiaorong, Wang Hao. Competition Model between Rapid and Bus Transit, Urban Mass Transit, 2009(9): pp. 30-34.

Kumar, C. V. P., Basu. D. and Maitra. B. Modeling generalized cost of travel for rural bus users: TRB 2012 Annual Meeting Paper revised from original submittal. A case study. [J]. Journal of 1 Public Transportation, 2004, 7(2): pp.59-62.

Shen jingyan, on the Carriage Passenger Capacity and the Crowdedness Involved [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007, 20(5):pp.14-18.

Hensher, D.A., Stated preference analysis of travel choices: the state of the practice [J] Transportation, 1994, 21(2): pp.107-133.

Hole,A.R., Modelling commuters mode choice in Scotland.[D]. Department of Economics, University of St Andrews, 2003.

Archive of SID

www.SID.ir