

توسعه مدل فنی و اقتصادی مقایسه سیستم اتوبوسهای تندرو (BRT) و سیستم قطار سبک شهری (LRT)

سید محمد سید حسینیⁱ؛ علیرضا زمانیانⁱⁱ

چکیده

امروزه مبحث جابجایی مسافرین و حمل و نقل همگانی در شهرهای متوسط و بزرگ اهمیت دو چندان پیدا کرده است، زیرا از یک طرف روز به روز به جمعیت و مهاجر پذیری آنها افزوده شده و از جانبی دیگر رشد اقتصادی روز افزون، موجب افزایش سفرهای درون شهری و در نتیجه ترافیک گشته است. در این میان تصمیم گیران شهری به فکر راه حلیهایی همچون راه اندازی سیستم های حمل و نقل عمومی انبوه می افتند؛ آن هم سیستم هایی که در کمترین زمان به بهره برداری رسیده و بهره وری مناسبی داشته است. دو نمونه از این سیستم ها قطار سبک شهری (LRT) و دیگری اتوبوس تندرو (BRT) می باشد. انتخاب بین این دو سیستم همواره بدلیل نزدیکی ویژگیهای کلی مورد بحث بوده است. در این تحقیق بر آن شدیم که با استفاده از نمونه های آزمایش شده در سراسر دنیا و یا در نظر گرفتن یک جامعه آماری که بیانگر انواع رفتارهای این دو سیستم باشد، با بکار گرفتن مدل های ریاضی گزینه بهتر را معرفی نموده و نتیجه نهایی را بعنوان یک آنالیز گزینش ارائه دهیم.

کلمات کلیدی: BRT – LRT – مدلسازی

Economical-technical evaluation model development of Bus Rapid Transit (BRT) in comparison with Light Rail Transit (LRT)

Alireza Zamanian; S. Mohammad Hoseeini;

ABSTRACT

Urban transportation is one of the most controversial issues in current societies. This problem has caused to produce several theories in this subject. One of the most important issued is public transportation. Operation and construction of optimum system from mass public transportation system group either in cooperation with other systems or alone; was always discussed. This fact has different aspects and different groups pay attention to it in different ways. These three groups are people, experts and decision makers. Because of high cost of construction, this is decision makers that finally decide. Final estimations and solutions for achieving determined goals were presented by experts. This research tries to introduce a mathematical model by using reliable statistical data for comparing between bus rapid transit (BRT) and light rail transit (LRT) in an urban corridor. For achieving this aim, we used a new

ⁱ استاد گروه مهندسی حمل و نقل دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

ⁱⁱ ویرستار دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حمل و نقل دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

Email: arzamanian2006@yahoo.com

method that prepare and calculate shares of each mode according to dual comparison between two modes by different variables in three sections: traffic, operational expenses, infrastructure capital funds that it calculates utility function in assumed corridor. After calculating the share of each mode by Logit model, you can compare two modes according to different variables. Final results according to determined hierarchy by decision makers about the most important parameters, introduce the best choice between BRT and LRT in an assumed corridor. This method can present an estimation about mentioned variables in each part, which lead to choose best option.

KEYWORDS: BRT, LRT, MODELING.

فنی نسبتاً شبیه بهم آیندو است که اغلب نمونه های مشاهده شده این موارد را تصدیق می نماید.

– اهداف این تحقیق نیز بشرح زیرند:

– تعیین مدلی جهت تعیین سیستم بهینه در کریدورهای شهری در قالب برنامه های کوتاه و میان مدت.
– معرفی سهم و مقادیر تاثیر هر یک از پارامترها برای انتخاب سیستم (مد) بهینه

۲- روش شناسی تحقیق

روش شناسی انجام این تحقیق به شرح زیر است:

– جمع آوری اطلاعات ورودی جهت مدلسازی از مراجع معتبر در شهرهایی از سراسر جهان که دارای دو سیستم اتوبوس تندرو (BRT) و قطار سبک شهری (LRT)، بطور همزمان، باشند.

– تقسیم بندی اطلاعات ورودی در سه رده اطلاعات ترافیکی، مخارج عملیاتی و هزینه های سرمایه گذاری برای احداث زیر ساختها به تفکیک مد و شهر.

– جستجو در میان مدلهایی که بتوانند میزان سهم هر سیستم (یا مدلهای تفکیک وسیله) در یک کریدور فرضی را نشان دهند که از آن جمله می توان به مدلهای لجیست و پروبیت اشاره نمود.

– تعیین نمونه بعنوان مورد مطالعاتی (فرضی) با میانگین گیری از مقادیر هر پارامتر برای شهرهای مختلف یا در نظر گرفتن آمار ترانزیت یک شهر جهت حصول به جواب نهایی که یا مد برتر را برای ساخت و یا ادامه کار و برنامه ریزی برای آینده معرفی کند.

– ارائه سهم هر کدام از مدها و نسبت سهم آنها به تفکیک و درحالت کلی جهت هر کدام از پارامترها.

– مشخص نمودن میزان تفاوت سهم موثر هر مد در ارتباط با پارامترهای مورد بحث.

۱- تعریف مساله و اهداف تحقیق

– با توجه به توسعه روز افزون شهرها و جمعیت آنها و نیز افزایش خودروهای در حال تردد در معابر شهری، مشکل ترافیک شهری کم کم در همه سطوح به عنوان یک مشکل عمده رخ نمایانده است. یکی از روش های کاهش این روند تمایل دادن مردم به استفاده از حمل و نقل همگانی می باشد. سیستمهای حمل و نقل همگانی ارائه شده به عموم بایستی کارایی خود را چنان نشان دهد که مقبولیت استفاده از خودروی شخصی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. در این میان انتخاب سیستمهای حمل و نقل همگانی با توجه به ترافیک معبر و بافت جمعیتی می بایست صورت پذیرد.

– جهت انتخاب سیستم منتخب و مناسب، برنامه های مطالعات جامع ترافیکی آن شهر و یا کریدور می تواند بعنوان چراغی نشاندهنده راه و انتخاب صحیح از جانب تصمیم گیران باشد. با در نظر گرفتن اینگونه مطالعات برخی از سیستمها (مدها) بعنوان اهداف بلند مدت و برخی دیگر بعنوان هدفهای کوتاه یا میان مدت مورد توجه قرار می گیرند. از جمله سیستمهایی که می تواند بعنوان هدف بلندمدت قرار گیرد می توان به مترو اشاره نمود. نمونه های سیستمهای هدف کوتاه مدت را نیز می توان اتوبوس و قطار سبک شهری برشمرد.

– در این تحقیق با در نظر گرفتن یک کریدور فرضی، با استفاده از آمار کسب شده از منابع آماری معتبر و بکار بستن روشهای مدلسازی، سعی بر مقایسه فنی و اقتصادی دو سیستم اتوبوس سریع السیر (تندرو) (BRT) و قطار سبک شهری (LRT) داریم که پس از ارائه نتایج نهایی، سیستم برتر، جهت معرفی به مسوولین و تصمیم گیران، مشخص می گردد.

– در واقع، دلیل انتخاب این دو سیستم، رفتار و مختصات

۳- فرضیات و محدودیتهای تحقیق [1][2][3][4]

۳-۱- فرضیات

با توجه به در نظر گرفتن روش مدلسازی برای مقایسه و ارزیابی دو سیستم BRT و LRT، ناگزیر به در نظر گرفتن پارامترها و متغیرهایی هستیم که در قالبهایی مشخص، بیان کننده رفتار دو سیستم مزبور باشند.

قالبهای فرض شده در این تحقیق که اصولاً برای مقایسه دو سیستم (مد) حمل و نقلی بکار می رود به شرح زیرند: قالب اول: مباحث ترافیک و ظرفیتهای ترافیک قابل جذب توسط هر سیستم.

قالب دوم: مباحث مخارج عملیاتی که بر حسب واحدهای مختلف بیان می گردد.

قالب سوم: مباحث هزینه های سرمایه گذاری برای احداث زیر ساختهای هر سیستم که بصورتی کلی بصورت سرانه هزینه بیان می گردد.

اما در مورد پارامترها یا متغیرهای در نظر گرفته شده در قالب های فوق باید این نکته را اذعان داشت که با توجه به محدودیت های آماری در مورد پارامترهای مورد نظر، حداکثر تلاش در انتخاب نمودن متغیرهایی که بیان کننده رفتار سیستم بصورت صحیح در قالبهای اشاره شده باشد، شده است.

۳-۲- محدودیت ها

محدودیت های این تحقیق را می توان در سه رده طبقه بندی نمود:

نخست اینکه آماری که بیان کننده رفتار هر سیستم در قالب پارامترهای مورد نظر باشد بسیار کم بود و در برخی مواقع نیز با نواقصی همراه بود و همین امر موجب محدود شدن بازه انتخاب پارامترها می شد.

محدودیت اصلی دوم استخراج شهرهای کاندید و مورد نیاز برای مدلسازی بود که بطور همزمان هر دو سیستم حمل و نقل همگانی BRT و LRT را دارا باشند.

محدودیت سوم استخراج آمار مورد نیاز برای پارامترهای اشاره شده فوق در شهرهای منتخب و دارای شرایط مورد نظر بود.

بدین منظور پس از جستجوی فراوان، و برای در نظر

گرفتن رفتارهای گوناگون این دو سیستم در شهرهای دارای جمعیتهای مختلف و نیز وارد نمودن انواع گوناگون روشهای سرویس دهی این دو سیستم، کشور ایالات متحده آمریکا با توجه به دسترسی به اطلاعات آماری کافی و مورد نیاز این تحقیق، بعنوان مبنا مدلسازی قرار گرفت. در این میان تعداد ۱۲ شهر در این کشور که دارای دو سیستم (مد) بطور همزمان می باشند، بعنوان اطلاعات ورودی در مدل در نظر گرفته شد.

۴- شرح مدل و فرآیند مدلسازی

مدل سازی انجام شده در این تحقیق به سه بخش

مجزا تقسیم بندی می گردد:

– مدلسازی پارامترهای ترافیکی

– مدلسازی متغیرهای مخارج عملیاتی

– مدلسازی متغیرهای هزینه های سرمایه گذاری در زیرساخت ها

با مراجعه به تحقیقات انجام شده، مشخص گردید که اکثر تحقیقات به مباحث هزینه ای توجه بیشتری دارند و یا به بخش خاصی از فاکتورها در قالبی خاص توجه نموده اند. اما این مطالعه سعی بر این دارد که دیدی تا حد امکان جامع نسبت به موضوع و قالبهای مختلف داشته باشد.

با توجه به روند صحیح در مسئله مقایسه، انتخاب پارامترهایی که در واحد فاکتوری خاص باشد، گزینش صحیح تری را ارائه می دهد. اینگونه پارامترها که عموماً در اکثر تحقیقات مزبور بگونه ای از آن استفاده شده است، آمار ارائه شده از سوی مراکز معتبر است که در این پروژه با توجه به انتخاب شهرهای مورد استفاده در مدلسازی از جامعه آماری و مطالعاتی ایالات متحده آمریکا، National Transit Database [9] می باشد. این مجموعه اطلاعاتی هر ساله از سوی موسسات وابسته به دولت فدرال که در برگیرنده آمار همه مدهای ترانزیت (حمل و نقل همگانی انبوه) می باشد، منتشر می گردد.

همانگونه که در مباحث قبل ذکر گردید، چند مسئله اساسی باعث انتخاب ایالات متحده آمریکا بعنوان جامعه مطالعاتی، شد که بشرح زیرند:

- اطلاعات مورد نیاز ما بایستی چگونه ای بود که هر دو مد را بطور همزمان در یک شهر پوشش می داد، زیرا رفتار ترافیکی و جمعیتی یکسان مورد اهمیت است.

- شهرهای انتخابی باید چگونه ای بود که هر سطح از سرویس دهی و حجم ترافیک و جمعیت را پوشش دهد و در حقیقت از هر نوع نمونه ای در جامعه مطالعاتی ما وجود داشته باشد.

- شهرهای انتخابی باید همه انواع سیستم BRT یعنی Bus way ، HOV Lanes و Arterial Street را پوشش دهد.

- شهرهای انتخابی باید همه انواع سیستم LRT یعنی Streetcar و LRV را پوشش دهد.

- وجود آمار مورد نیاز در مورد دو سیستم در یک شهر در مورد پارامترهای مد نظر بصورت همزمان.

بنابراین، طبق دلایل عمده مذکور ایالات متحده آمریکا و شهرهای آن، مبنای مطالعات قرار گرفتند.

از عوامل ضعف آماری در مناطق دیگر دنیا، میتوان این موارد را بر شمرد که :

- در دسترس نبودن آمارهای جزئی و تفکیک شده کشورهای اروپایی، آسیایی و آمریکای جنوبی که هر کدام از این سیستم ها را دارا هستند.

- پراکندگی وجود سیستم ها، چگونه ای که اکثر سیستم های در حال عملیات و پربازده LRT در قاره اروپا و BRT در آمریکای جنوبی واقع شده اند.

ع-۱-۱-۴- مدلسازی زوجی ترافیکی

مدلسازی بخش ترافیک دو سیستم (مد) بر حسب یک مقایسه زوجی مابین متغیر وابسته و متغیر مستقل صورت می پذیرد.

بر این اساس پس از استخراج مقادیر متغیر وابسته و هر کدام از متغیرهای مستقل برای دو سیستم BRT و LRT ، برای ۱۲ شهر از ایالات متحده آمریکا که دارای دو سیستم مزبور بطور همزمان می باشند، کار مدلسازی طبق روابطی که در پی می آید ادامه می یابد [7][8][9][10][11].

این شهرها عبارتند از:

- شهر هوستون در ایالت تگزاس
- شهر لوس آنجلس در ایالت کالیفرنیا
- شهر فیلادلفیا در ایالت پنسیلوانیا
- شهر پیتزبورگ در ایالت پنسیلوانیا
- شهر دنور در ایالت کلمبیا
- شهر بالتیمور در ایالت مریلند
- شهر بوستون در ایالت ماساچوست
- شهر سیاتل در ایالت واشنگتن
- شهر نیوآرک در ایالت نیوجرسی
- شهر دالاس در ایالت تگزاس
- شهر سانفرانسیسکو در ایالت کالیفرنیا

- شهر سن خوزه در ایالت کالیفرنیا (کریدور سانتا کلارا) مدلسازی ترافیکی بدین صورت است که پس از محاسبه LN نسبت متغیرهای مربوط به LRT به BRT ، LN متغیرهای وابسته در یک ستون و متغیر مستقل در ستونی دیگر دسته بندی می شوند. سپس عملیات رگرسیون خطی بدون در نظر گرفتن متغیر ثابت انجام می گیرد. (دلیل اینکه ثابت در نظر گرفته نمی شود این است که نوع رفتار کلی دو سیستم به هم شبیه می باشد). در نهایت پس از جایگذاری نتایج بدست آمده در مدل محاسبه سهم، سهم هر سیستم قابل محاسبه است.

$$\ln\left(\frac{V_d^{LRT}}{V_d^{BRT}}\right) = a \ln\left(\frac{V_i^{LRT}}{V_i^{BRT}}\right) + \ln(b) \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{V_d^{LRT}}{V_d^{BRT}}\right) = \ln\left(\frac{Part^{LRT}}{1 - Part^{LRT}}\right) \quad (2)$$

$$\ln\left(\frac{Part^{LRT}}{1 - Part^{LRT}}\right) = a \ln\left(\frac{V_i^{LRT}}{V_i^{BRT}}\right) + \ln(b) \quad (3)$$

$$\left(\frac{Part^{LRT}}{1 - Part^{LRT}}\right) = \left(\frac{V_i^{LRT}}{V_i^{BRT}}\right)^a, b = 1 \quad (4)$$

$$u(V_i^{LRT}) = b \times (V_i^{LRT})^a, u(V_i^{BRT}) = (V_i^{BRT})^a \quad (5)$$

که در آن:

V_d : متغیر وابسته هر یک از سیستم ها (مدها)

V_i : متغیر مستقل هر یک از سیستم ها (مدها)

a : ضریب کالیبره شده بدست آمده از رگرسیون

خطی

در حالت ماکزیم سرویس بر واحد طول
(Vehicle(Car)Operated in Max Service/Length)

ج: مسافر- مایل (Passenger-Miles)

د: وسیله نقلیه(خودرو)- مایل (Vehicle(Passenger)
Revenue Miles (Car)

ه: وسیله نقلیه(خودرو)- ساعت
(Vehicle(Passenger Car)Revenue Hours)

۴-۱-۳- مراحل مدلسازی

پس از استخراج اطلاعات آماری هر یک از متغیرهای وابسته و مستقل فرآیند مدلسازی به شرح گامهای زیر صورت می گیرد:

گام ۱: نسبت هر یک از متغیرهای وابسته و مستقل نسبت به هم محاسبه می گردد.

گام ۲: پس از مشخص شدن نسبت ها، \ln هر دو طرف در دو ستون یعنی زوج متغیر وابسته و هریک از متغیرهای مستقل، استخراج می گردد.

گام ۳: ضرایب بدست آمده در مدلسازی در روابط شرح داده شده در قسمت قبل قرار گرفته و در نهایت سهم هر کدام از سیستم ها (مدها) محاسبه می شود.

نتایج حاصل از کالیبراسیون و توابع مطلوبیت در بخش ترافیک به شرح زیر می باشند:

$$U_1 = t_1^{0.33}$$

$$U_2 = t_2^{0.955}$$

$$U_3 = t_3^{0.633}$$

$$U_4 = t_4^{0.852}$$

$$U_5 = t_5^{0.83}$$

که در آن t ها متغیرهای به شرح زیر و U ها توابع مطلوبیت متناظر با آنها می باشند.(جدول ۱). این توابع پس از جایگذاری مجهولات فوق، آماده استفاده در مدل استخراج سهم زوجی(رابطه ۶) جهت محاسبه سهم ها هستند.

۴-۲- مدلسازی زوجی مخارج عملیاتی

روش محاسبه استفاده شده در این بخش نیز همانند روش شرح داده شده در بخش ترافیک می باشد. متغیرهای مستقل بشرح جدول(۲) هستند که پس از انجام عملیات رگرسیون خطی با متغیر وابسته مخارج عملیاتی

b : ضریب ثابت که در اینجا برابر با یک(۱) در نظر گرفته می شود.

$u(V_i)$: تابع مطلوبیت هر یک از متغیرهای مستقل مدل استخراج سهم هر مد برای روش زوجی(روش جدید) و مدل لوجیت برای محاسبه سهم در روش فراگیر نیز به شرح زیر می باشند:[4][5][6]
مدل استخراج سهم مد در روش زوجی

$$Part^{LRT}_{ij} = \left(\frac{u(V_i^{LRT})}{\sum(u(V_i^m))} \right) (6)$$

مدل استخراج سهم مد (مدل لوجیت) در روش فراگیر

$$P(A) = \frac{e^{UA}}{e^{UA} + e^{UB}} (7)$$

در این رابطه ها پارامترها به شرح زیر هستند.

$u(V_i^{LRT})$: تابع مطلوبیت متغیر مستقل (در اینجا LRT در نظر گرفته شده است)

$\sum(u(V_i^m))$: مجموع توابع مطلوبیت متغیر مستقل دو سیستم مورد مقایسه(در اینجا BRT و LRT)

$Part^{LRT}$: سهم یکی از سیستم ها در کریدور مورد نظر(در اینجا LRT)

A, B : مدهای حمل و نقل

$P(A)$: احتمال انتخاب مد حمل و نقل A

U_A, U_B : تابع مطلوبیت سفر با مدهای A, B

نکته: توابع فوق در قسمت بعد یعنی در قالب هزینه های سرمایه گذاری زیرساخت ها نیز صدق می نماید.

۴-۱-۱- متغیر وابسته (Dependent Variable)

متغیر وابسته انتخاب شده در بخش ترافیک عبارتست از میانگین سفرهای مسافرین تفکیک شده در روزهای کاری هفته (Average Weekday Unlinked Passenger Trips)

۴-۱-۲- متغیرهای مستقل (Independent Variable)

متغیرهای مستقل در بخش ترافیک که هر کدام بصورت زوجی با متغیر وابسته در مدلسازی شرکت می کنند بشرح زیرند:

الف: تعداد وسیله نقلیه- مایل بر تعداد وسیله نقلیه- ساعت (Vehicle(Passenger Car)Revenue)
(Mile/Vehicle(Passenger Car)Revenue Hour)

ب: وسیله نقلیه (قطار یا خودرو) درحال سرویس دهی

جدول (۱) - نمایه متغیرهای مستقل ترافیکی

ترافیک (۲۰۰۵ آمریکا)	
متغیرهای مستقل	نمایه
تعداد وسیله نقلیه - مایل بر تعداد وسیله نقلیه - ساعت	t_1
مسافر - مایل (*۱۰۰۰)	t_2
وسیله نقلیه (قطار یا خودرو) در حال سرویس دهی بیشینه در یک مایل طول مسیر	t_3
وسیله نقلیه (خودرو) - مایل (*۱۰۰۰)	t_4
وسیله نقلیه (خودرو) - ساعت (*۱۰۰۰)	t_5

جدول (۲) - نمایه متغیرهای مستقل مخارج عملیاتی

مخارج عملیاتی	
متغیرهای مستقل	نمایه متغیر
مخارج عملیاتی بر واحد وسیله نقلیه مایل	e_1
مخارج عملیاتی بر واحد وسیله نقلیه ساعت	e_2
مخارج عملیاتی بر واحد مسافر - مایل	e_3
مخارج عملیاتی بر واحد سفر مسافر تفکیک شده	e_4

نظر گرفتن ($b=1$) معادلاتی که در پی بعنوان توابع مطلوبیت می آیند را نتیجه می دهند. ضرایب محاسبه شده از مدلسازی بترتیب متغیرهای مستقل به شرح زیر می باشند:

$$U_1 = f_1^{0.447}$$

$$U_2 = f_2^{0.154}$$

$$U_3 = f_3^{0.452}$$

که در آن f ها متغیرهای به شرح جدول (۳) و U ها توابع مطلوبیت متناظر با آنها می باشند. این توابع پس از جایگذاری مجهولات فوق، آماده استفاده در مدل استخراج سهم زوجی (رابطه ۶) جهت محاسبه سهم ها هستند.

۴-۴- مدلسازی فراگیر هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت ها

در این روش از مدلسازی متغیرهای مستقل بطور همزمان با متغیر وابسته در مدل وارد می شوند. در این حالت عدد ثابت در مدل در نظر گرفته شده است.

ضرایب محاسبه شده از مدلسازی بترتیب متغیرهای مستقل به شرح جدول (۴) می باشند. متغیر وابسته نیز در اینجا هزینه های سرمایه گذاری کل زیر ساخت ها است.

کل و با در نظر گرفتن ($b=1$) معادلاتی که در پی بعنوان توابع مطلوبیت می آیند را نتیجه می دهند. ضرایب محاسبه شده از مدلسازی بترتیب متغیرهای مستقل به شرح زیر می باشند:

$$U_1 = e_1^{-2.274}$$

$$U_2 = e_2^{-1.699}$$

$$U_3 = e_3^{-1.825}$$

$$U_4 = e_4^{-1.995}$$

که در آن e ها متغیرهای مستقل به شرح جدول (۲) و U ها توابع مطلوبیت متناظر با آنها می باشند. این توابع پس از جایگذاری مجهولات فوق، آماده استفاده در مدل استخراج سهم زوجی (رابطه ۶) جهت محاسبه سهم ها هستند.

چون جنس مخارج عملیاتی از جنس هزینه است و در حقیقت استهلاک سیستم را ناشی می گردد، بدین دلیل، ضرایب محاسبه شده منفی می باشد.

۴-۳- مدلسازی زوجی هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت ها

این روش همانند آنچه که در بخش های ترافیک و مخارج عملیاتی ذکر گردید، می باشد. متغیرهای مستقل بشرح جدول (۳) هستند که پس از انجام عملیات رگرسیون خطی با متغیر وابسته هزینه های سرمایه گذاری کل زیر ساخت ها بر واحد طول مسیر و با در

جدول (۳) - نمایه متغیرهای مستقل هزینه های زیرساخت ها

هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت ها	
متغیر های مستقل	نمایه متغیر
هزینه های خرید وسایل نقلیه بر واحد تعداد وسیله نقلیه	f_1
هزینه های خرید تجهیزات نگهداری در یک مایل طول مسیر	f_2
هزینه های سرمایه گذاری احداث مسیر در یک مایل طول مسیر	f_3

جدول (۴) - نتایج رگرسیون از متغیرهای وابسته و مستقل مدل فراگیر هزینه های زیر ساخت

هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت ها			
	متغیر مستقل	Coefficient(LRT)	Coefficient(BRT)
X_1	هزینه های سرمایه گذاری خرید وسایل نقلیه	1.34	1.12
X_2	هزینه های سرمایه گذاری خرید تجهیزات نگهداری	1	1.45
X_3	هزینه های سرمایه گذاری احداث مسیر	0.98	1.2
-	b(ثابت)	70963.74	46632.21
-	R^2	0.988	0.984

پس توابع مطلوبیت از قرار زیرند:

$$U(\text{BRT})=1.12x_1+1.45x_2+1.2x_3+46632.21$$

$$U(\text{LRT})=1.34 x_1+ x_2+0.98 x_3+70963.74$$

این توابع پس از جایگذاری مجهولات فوق، آماده استفاده در مدل لجیست (رابطه ۷) جهت محاسبه سهم ها هستند.

۵- نتایج نهایی

برای محاسبه سهم هریک از سیستم ها (مدها)، می بایست یک نمونه مطالعاتی یا فرضی در نظر گرفته شود. بدین منظور، نمونه مطالعاتی فرضی یک عدد میانگین از همه متغیرهای مستقل به تفکیک بود. میانگین این ارقام به شرح زیر است که بعنوان مورد مطالعاتی فرض شده است (جدول ۵ تا ۸):

نتایج نهایی که بیانگر سهم، نسبت سهم مدها (BRT) به LRT) و درصد کاهش یا افزایش میزان تاثیر پذیری یا در حقیقت درصد نفوذ BRT نسبت به LRT را نشان می دهد، در جدول (۹) آمده است:

در این میان ستون Delta، بیانگر تفاوت یا تفاضل اثر هر پارامتر برای سیستم BRT نسبت به LRT است. (مثال: علامت \downarrow ۱۱/۶، در بخش هزینه های زیر ساخت، نمایانگر هزینه کمتر به میزان ۱۱/۶ درصد کمتر از سوی BRT برای متغیر ساخت مسیر بر واحد طول، می باشد).

یا علامت \uparrow ۸۴، در بخش ترافیک، نمایانگر حداکثر وسیله نقلیه قابل سرویس دهی در واحد طول به میزان ۸۴ درصد بیشتر از سوی BRT، می باشد).

جدول (۵) - مقادیر متغیرهای مستقل ترافیک نمونه مطالعاتی

متغیرهای ترافیک		
متغیر های مستقل	BRT	LRT
تعداد وسیله نقلیه - مایل بر تعداد وسیله نقلیه - ساعت	12.7	14.2
مسافر - مایل	417361.2	82430.75
ماکزیمم تعداد وسیله نقلیه بر واحد طول مسیر	56.02	1.15
وسیله نقلیه - مایل	33544.08	3309.56
وسیله نقلیه - ساعت	2625.16	236.25

جدول(۶)- مقادیر متغیرهای مستقل مخارج عملیاتی نمونه مطالعاتی

متغیرهای مخارج عملیاتی		
متغیرهای مستقل	BRT	LRT
مخارج عملیاتی بر وسیله نقلیه مایل (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	10.9	21.3
مخارج عملیاتی بر وسیله نقلیه ساعت (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	120.26	264.27
مخارج عملیاتی بر مسافر- مایل (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	0.90	1.25
مخارج عملیاتی بر سفر مسافر تفکیک شده (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	3.17	4.04

جدول(۷)- مقادیر متغیرهای مستقل هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت های نمونه مطالعاتی

متغیرهای هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت ها		
متغیرهای مستقل	BRT	LRT
هزینه های سرمایه گذاری خرید وسایل نقلیه بر تعداد وسیله نقلیه (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	588.31	2658.53
هزینه های خرید تجهیزات نگهداری در یک مایل طول مسیر(هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	1691.46	829.28
هزینه های احداث مسیر در یک مایل طول مسیر(هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	2605.46	16410.36

جدول(۸)- مقادیر متغیرهای مستقل هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت های نمونه مطالعاتی(مدل فراگیر)

متغیرهای هزینه های سرمایه گذاری زیر ساخت ها(مدل فراگیر)		
متغیرهای مستقل	BRT	LRT
هزینه های سرمایه گذاری خرید وسایل نقلیه (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	103082.3	118812.4
هزینه های خرید تجهیزات نگهداری (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	83855.08	72331.42
هزینه های احداث مسیر (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	208472.9	467735.2

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

جمع بندی نهایی، با استفاده از نتایج این تحقیق و تحقیق های گذشته، برتری BRT را نسبت به LRT، در اغلب پارامترها نشان می دهد، اما بر اساس آمارگیری و مطالعات میدانی گسترده توسط محققان صاحب نام این عرصه، BRT یک سیستم حمل و نقل عمومی انبوه بسیار مناسب برای شهرهای کوچک و متوسط می باشد. اما در مورد شهرهای بزرگ تصویر و کیفیت سرویس دهی ارائه شده از سوی LRT بویژه در کریدورهای با حجم ترافیک بالا نظیر CBD ها، هزینه های بیشتر را توجیه می نماید. هزینه هایی که مواردی چون تامین برق، سیگنالینگ و... را نیز علاوه بر پارامترهای دیگر در بر دارد. نکته دیگر اینکه در چنین شرایطی BRT می تواند بعنوان سیستم مکمل و تغذیه

نتایج نهایی که بیانگر سهم، نسبت سهم مدها(BRT به LRT) و درصد کاهش یا افزایش میزان تاثیر پذیری یا در حقیقت درصد نفوذ BRT نسبت به LRT را نشان می دهد، در جدول (۹) آمده است:

در این میان ستون Delta، بیانگر تفاوت یا تفاضل اثر هر پارامتر برای سیستم BRT نسبت به LRT است.

(مثال: علامت \downarrow ۱۱/۶، در بخش هزینه های زیر ساخت، نمایانگر هزینه کمتر به میزان ۱۱/۶ درصد کمتر از سوی BRT برای متغیر ساخت مسیر بر واحد طول، می باشد..

یا علامت \uparrow ۸۴، در بخش ترافیک، نمایانگر حداکثر وسیله نقلیه قابل سرویس دهی در واحد طول به میزان ۸۴ درصد بیشتر از سوی BRT، می باشد.)

کننده LRT نیز عمل نماید. در پایان می توان این عقیده را ابراز کرد که، ممکن است در آینده نزدیک، با پیشرفت تکنولوژی و اعمال بیشتر امور مهندسی در مطالعات و احداث سیستم های حمل و نقل عمومی، BRT بعنوان یک جانشین واقعی LRT در همه شرایط، معرفی گردد.

جدول (۹) - نتایج نهایی سهم های هر مد در کریدور فرضی نمونه مطالعاتی میانگین

Traffic (exclusive method)			
Average Weekday Unlinked Passenger Trips	Dependent Variable		
Independent Variable	Share(%)		Ratio
	BRT	LRT	
تعداد وسیله نقلیه - مایل بر تعداد وسیله نقلیه - ساعت	49.2	50.8	0.96
مسافر - مایل (*۱۰۰۰)	82.5	17.5	4.71
ماکزیمم تعداد وسیله نقلیه بر واحد طول مسیر	92	8	11.5
وسیله نقلیه - مایل (*۱۰۰۰)	87.8	12.2	7.2
وسیله نقلیه - ساعت (*۱۰۰۰)	88	12	7.34
Expense (exclusive method)			
Operating Expense	Dependent Variable		
Independent Variable	Share(%)		Ratio
	BRT	LRT	
مخارج عملیاتی بر وسیله نقلیه مایل (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	82.2	17.8	4.61
مخارج عملیاتی بر وسیله نقلیه ساعت (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	60	40	1.5
مخارج عملیاتی بر مسافر - مایل (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	80.8	19.2	4.2
مخارج عملیاتی بر سفر مسافر تفکیک شده (دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	65.8	34.2	1.92
Infrastructure Capital Funds (common method)			
Infrastructure capital funds	Dependent Variable		
Independent Variable	Share(%)		Ratio
	BRT	LRT	
هزینه های سرمایه گذاری خرید وسایل نقلیه (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	44.2	55.8	0.79
هزینه های خرید تجهیزات نگهداری (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)			
هزینه های احداث مسیر (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)			
Infrastructure Capital Funds (exclusive method)			
Total Infrastructure capital funds/Length	Dependent Variable		
Independent Variable	Share(%)		Ratio
	BRT	LRT	
هزینه های سرمایه گذاری خرید وسایل نقلیه بر تعداد وسیله نقلیه (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	33.8	66.2	0.51
هزینه های خرید تجهیزات نگهداری بر طول مسیر (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	52.8	47.2	1.12
هزینه های احداث مسیر بر طول مسیر (هزار دلار ۲۰۰۵ آمریکا)	30.4	69.6	0.43

۵- سیدحسینی، سید محمد، برنامه ریزی مهندسی حمل و نقل و تحلیل جابجایی مواد، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۰

۶- افندی زاده، شهریارورحیمی، امیر مسعود، روشهای ارزیابی پروژه های حمل و نقل، فصلنامه تازه های ترافیک، شماره ۱۳۸۳، ۲۱

7. www.fta.dot.gov/brt
8. www.nbrti.org
9. www.ntdprogram.gov
10. www.TRB.org
11. www.lrtnow.org

۷- مراجع

1. Levinson. H.S., Zimmerman. S., Clinger. J., Gast. J., Rutherford S., Bruhn. E./ TCRP report 30 (Transit Scheduling *Basic & Advanced Manuals*) /Transportation Research Board/Washington.D.C/2003
2. Levinson.H.S./ *Characteristics of BUS RAPID TRANSIT*/Federal Transit Administration/(August2004)
3. Levinson. H.S., Zimmerman. S., Clinger. J., Gast. J., Rutherford S., Bruhn. E./ *TCRP report90 (Implementation Guidelines)*/Transportation Research Board/Washington.D.C/2003/v2
4. Vuchic.V.R./*Urban Transit*/John Wiley & Sons,Inc.,Hoboken,New Jersey,USA/2005/ISBN:0-471-63265-1