

مدل ارزیابی فنی و اقتصادی عملکرد سیستم های اتوبوس تندرو و قطار سبک شهری در کلان شهرهای ایران (مطالعه موردی: تهران)

دکتر سید محمد سید حسینی¹، مهندس ایمان راستیان تهرانی²

1- عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی صنایع، نارمک، تهران

2- کارشناس ارشد حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده تحصیلات تکمیلی، تهران

چکیده

هدف این تحقیق، ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم های حمل و نقل همگانی اتوبوس تندرو (BRT) و قطار سبک شهری (LRT) از جنبه های مختلف اقتصاد، تسهیلات و محیط زیست می باشد. به طوری که بعد از شناخت و نحوه عملکرد آنها، به انتخاب معیارهای مناسب از میان منابع موجود و گسترش مدل پرداخته شده است و در نهایت به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و تلفیق آن با روش *Merit Ratio*، بخشی از یک کریدور فرضی بعنوان مثال مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس مطالعه موردی بر روی یکی از کریدورهای شهر تهران انجام گشته است.

کلید واژه: ارزیابی فنی و اقتصادی، معیارها، تحلیل سلسله مراتبی، ضریب شایستگی.

1 استاد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران، تلفن: 77240540 داخلی 2306. seydhoseini@yahoo.com

2 کارشناس ارشد حمل و نقل، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، 09125073599. imanrastian62@gmail.com

1- مقدمه

رشد روز افزون جمعیت در کشوری مانند ایران و به تبع آن کلان شهرهایی مانند تهران و نیز افزایش مالکیت وسائط نقلیه شخصی، همواره مشکلاتی را از قبیل ترافیک و آلودگی های زیست محیطی ناشی از آن در شهرهای بزرگ به همراه داشته است. از آنجا که سیستم های حمل و نقل عمومی سنتی نمی تواند پاسخگوی این گونه مشکلات باشد، لذا توسعه حمل و نقل عمومی مدرن یکی از راهکارهای اصلی برای بر طرف کردن این گونه مشکلات ترافیکی به حساب می آید. لذا انتخاب سیستم مناسب از میان سایر سیستم ها که بتواند پاسخگوی نیازهای شهروندان و از طرفی کاهش دهنده معضلات ترافیکی و عوارض آن نیز باشد، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. حال با توجه به آن که در بین سیستم های حمل و نقل عمومی BRT و LRT از هزینه های احداث کمتری نسبت به مترو برخوردار هستند و همچنین دارای قابلیت حمل تعداد زیادی مسافر نیز می باشند، مورد توجه کارشناسان حمل و نقل و ترافیک قرار گرفته اند. لذا انتخاب گزینه بهینه تر از میان این دو سیستم هدف این تحقیق می باشد.

2- پیشینه تحقیق

تحقیقات مختلفی در متون گوناگون در رابطه با سیستم های حمل و نقل صورت گرفته که از میان آنها مواردی که با موضوع این تحقیق مرتبط است ذکر گردیده است. این تحقیقات به این شرح بوده است:

تحقیقی که توسط پاک ، تسوجی و سوزوکی انجام شده ، به ارزیابی فنی و اقتصادی سه نوع سیستم حمل و نقل مونوریل، خودرو موتور القایی خطی، خودرو شناور مغناطیسی برای منطقه کانسای پرداخته شده که در آن معیارهای کیفی و کمی از سه دیدگاه مختلف یعنی کاربر، ساکنین محل و مجری به صورت توأم مورد بررسی قرار گرفته و با روش تحلیل سلسله مراتبی AHP ارزیابی گشته است [1].

در تحقیقی دیگری که توسط کوبایاشی، اوکی و تانی انجام شده، تاثیرات اجتماعی به صورت پیشاپیش در نظر گرفته شده است. هدف این تحقیق ارزیابی آلترناتیوهای حمل و نقلی بر اساس دیدگاه کاربران برای شهر جدید توکادای و پس از آن نیز پیش بینی انتخاب مد سفر مبتنی بر ارزیابی احتمالی صورت گرفته است. سود کاربران از دیدگاه هزینه سفر، زمان سفر، راحتی و تسهیلات در نظر گرفته شده است [2].

در تحقیق دیگری که توسط ویهوا، هاپو، ژبجان و کیانگ انجام گرفته است، از روش ارزیابی فازی چند لایه ای¹ که ترکیبی است از روش AHP و روش ارزیابی جامع فازی² استفاده گشته است. به گونه ای که معیارهایی از قبیل اقتصادی-اجتماعی، فاکتور های تابع ترافیکی، تاثیرات زیست محیطی و مصرف منابع را جهت ارزیابی حالت های مختلف اتوبوس تندرو معرفی نموده است [3].

در یکی از تحقیقات که توسط س.م.سید حسینی و ع. زمانیان انجام گشته است از توابع مطلوبیت لوجیت استفاده شده است و صرفاً متغیرهای اقتصادی و ترافیکی مورد بررسی قرار گرفته اند [4].

در تحقیق دیگری که توسط م. صفارزاده و ع.ملک زاده انجام گردیده به ارزیابی سیستم حمل و نقل عمومی مناسب برای یکی از کریدور های شهری تهران از دیدگاه اقتصادی پرداخته شده است. که این کار توسط روش مرسوم سود به زیان (B/C) انجام پذیرفته است. هزینه ها شامل ساخت و بهره برداری و منافع شامل صرفه جویی در زمان سفر استفاده کنندگان و غیر استفاده کنندگان از حمل و نقل عمومی در نظر گرفته شده است [5].

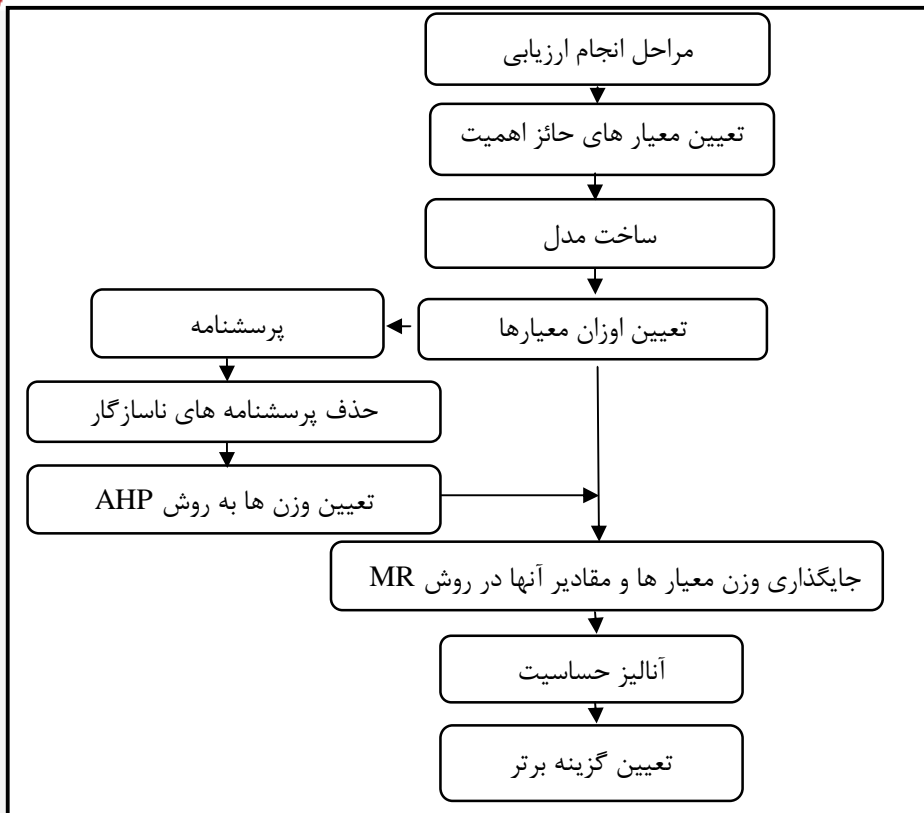
3- متدولوژی تحقیق

فرآیند این تحقیق مطابق شکل 1 و به شرح زیر می باشد:

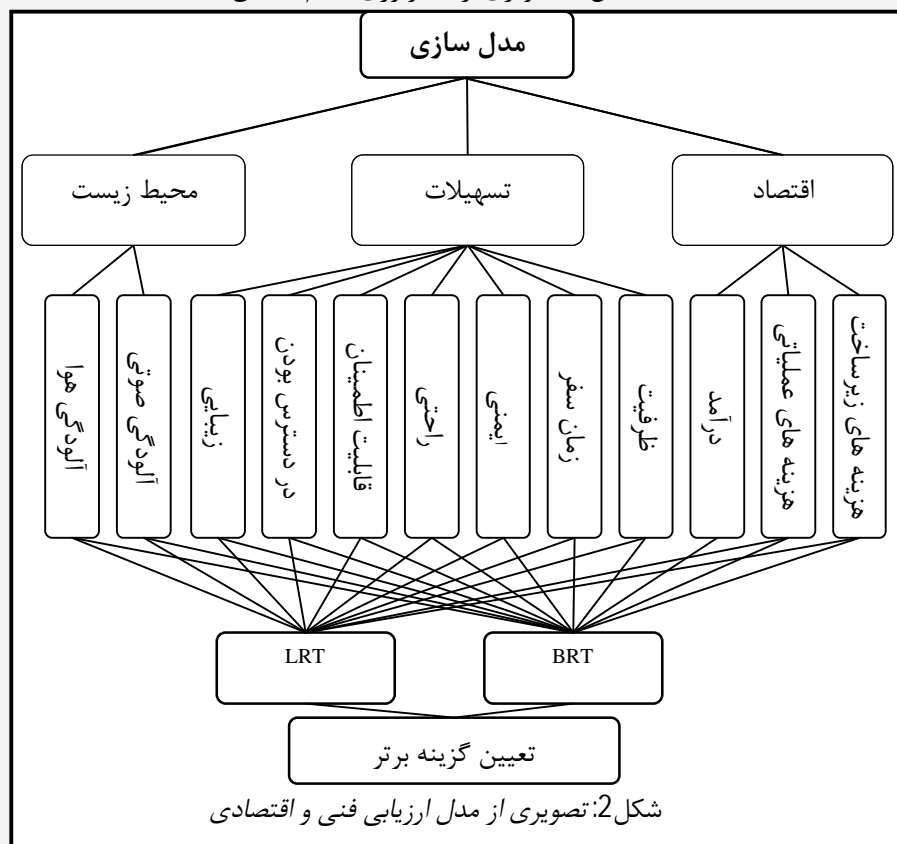
- 1- انتخاب معیارهای حائز اهمیت و توسعه مدل ارزیابی فنی و اقتصادی عملکرد سیستم های اتوبوس تندرو (BRT) و قطار سبک شهری (LRT)، که این معیارها در 3 دسته اقتصادی، تسهیلات و محیط زیست و هر دسته مطابق شکل 2 به زیر شاخه های مربوطه تقسیم بندی می شوند.
- 2- ایجاد ساختار سلسله مراتبی وزن معیارها و تعیین مقادیر وزن ها که توسط نظرسنجی از طریق پرسشنامه از خبرگان و تحلیل آنها از طریق AHP انجام می شود.
- 3- جایگذاری وزن ها در عبارت Merrit Ratio.
- 4- تعیین مقادیر معیارهای کمی و کیفی و جایگذاری مقادیر در عبارت MR و تعیین گزینه برتر.
- 5- آنالیز حساسیت

¹ . Multi- Layer Fuzzy Evaluation Method

² . Fuzzy Comprehensive Evaluation Method



شکل 1: تصویری از متدولوژی انجام تحقیق



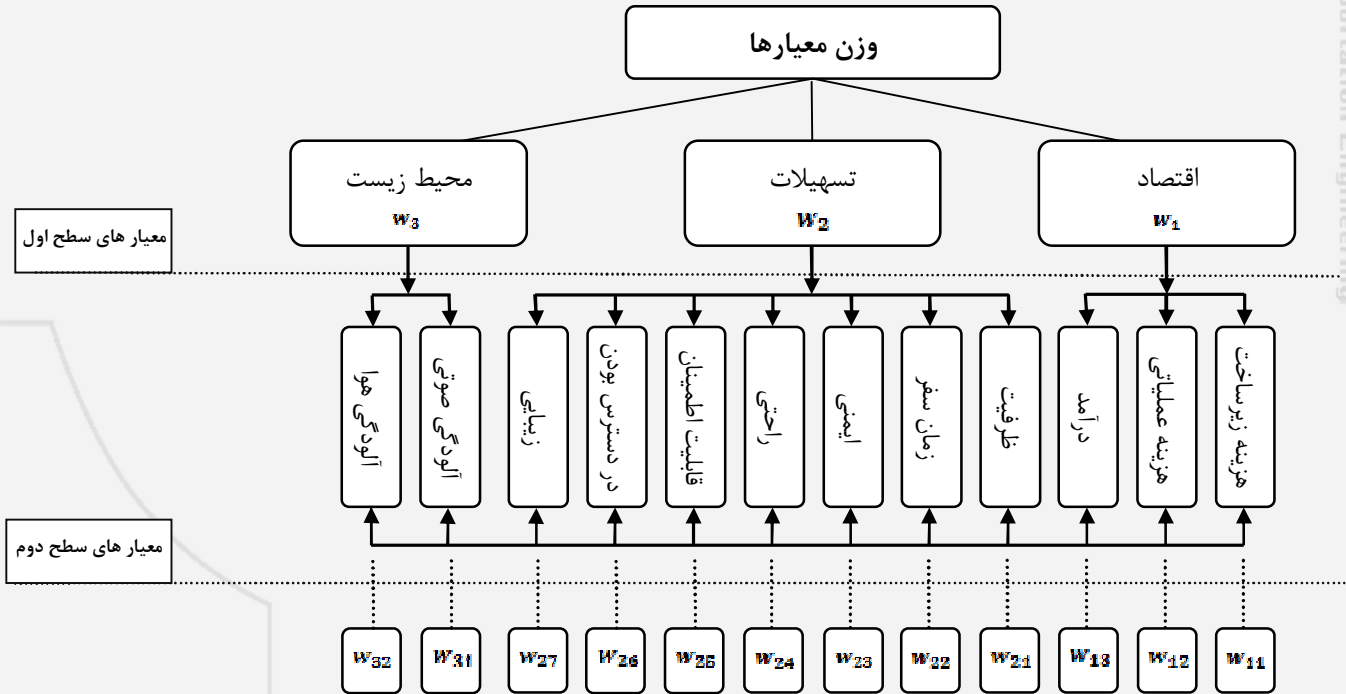
شکل 2: تصویری از مدل ارزیابی فنی و اقتصادی

4- تعیین وزن معیارها

برای بدست آوردن وزن معیارها از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد زیرا در عین سادگی می تواند وزن معیارهای مختلف را به روشی منطقی با یکدیگر تلفیق نماید ضمن اینکه امکان مشارکت گروهی را فراهم می آورد. این روش از پیچیدگی ذهن تصمیم گیرنده برای مقایسات زوجی معیارها استفاده می نماید. مراحل این روش به شرح زیر می باشد.

4-1- ساختار سلسله مراتبی معیارها

ساختار سلسله مراتبی معیارها در دو سطح و مطابق مدل ارائه شده می باشد و به هر سطح و معیارهای مربوط به آن یک وزن مطابق شکل 3 اختصاص داده شده است. این مرحله به نوعی ارزش گذاری برای معیارها جهت ارزیابی می باشد، به طوری که ابتدا با تهیه پرسشنامه از خبرگان، میزان اهمیت نسبی هر معیار نسبت به سایر معیارها بررسی می گردد.



شکل 3: ساختار سلسله مراتبی معیارها و وزن های مربوطه

همان طور که در شکل 3 ملاحظه می گردد ابتدا معیارها در سطح اول با هم مقایسه گشته سپس معیارها در سطح دوم مقایسه می گردد و در نهایت معیارهای سطح اول با سطح دوم تلفیق می گردد و اوزان تک تک معیارها نسبت به هم به دست آید. اهمیت وزن ها نیز از 1 تا 9 در نظر گرفته شده است به طوریکه پارامترهایی که دارای اهمیت یکسان هستند دارای وزن 1 و پارامتری که در مقایسات زوجی دارای اهمیت خیلی بیشتری نسبت به دیگری است دارای وزن یا ارزش 9 می باشد [6].

4-2- محاسبه وزن معیارها در این تحقیق

در این تحقیق برای محاسبه وزن معیارها از نرم افزار Expert Choice استفاده شده به گونه ای که پس از وارد کردن مدل مورد نظر در نرم افزار مطابق شکل 3 در دو سطح و وارد کردن ارقام پرسشنامه ها به صورت تک تک، ابتدا ضریب ناسازگاری هر یک از پرسشنامه ها بررسی شده و از پرسشنامه هایی که دارای میزان ناسازگاری بیش از 0/1 بودند در تصمیم گیری صرف نظر گردید. برای تلفیق نظرات مختلف و رسیدن به وزن نهایی از روش AHP گروهی استفاده گردید، بدین معنی که میان پرسشنامه هایی که دارای ناسازگاری قابل قبولی بودند در هر سطح و مطابق رابطه (1) میانگین هندسی گرفته شد.

$$a_{ij}^t = \left(\prod_{k=1}^k a_{ij}^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad ; \quad I=1,2,\dots,k \quad (1)$$

تعداد تصمیم گیرندگان

$i,j=1,2,\dots,n ; i \neq j$

بدین طریق تمام پرسشنامه ها به یک پرسشنامه تبدیل می گردد که با وارد کردن اطلاعات آن در نرم افزار و بررسی کردن نرخ ناسازگاری کل، می توان به اوزان نهایی و مطلق جهت جایگذاری در روش Merit Ratio و رسیدن به گزینه برتر دست یافت.

5- روش مقایسه ای ضریب شایستگی (Merit Ratio Comparison Method)

روش مقایسه ضریب شایستگی یکی از روش های گزینه برتر و از تکنیک های اقتصاد مهندسی پیشرفته است که دارای ویژگی های زیر می باشد [7].

1- این روش مقایسه زوجی میان گزینه ها را انجام می دهد و گزینه نامطلوب را حذف می نماید تا به گزینه برتر دست یابد.

2- از مزایای این روش آن است که نیازی نیست معیارهای مختلف، به یک واحد یکسان تبدیل شود.

3- باید توجه شود که معیارهایی که دارای مطلوبیت منفی هستند، باید به صورت معکوس در عبارت فوق جایگذاری گردند.

4- زمانی که گزینه X نسبت به گزینه Y مقایسه می گردد، اگر حاصل عبارت ذیل بیشتر از 1 ($MR > 1$) گردد، گزینه X بر Y برتر است و اگر مقدار MR کمتر از 1 گردد گزینه Y بر X ترجیح داده می شود.

$$X \dots X \left(\frac{a_{xm}}{a_{ym}} \right)^{w_m} \quad (2)$$

$$Merit Ratio_{X-Y} = \left(\frac{a_{x1}}{a_{y1}} \right)^{w_1} \times \left(\frac{a_{x2}}{a_{y2}} \right)^{w_2}$$

که در عبارت فوق:

a_{xm} : مقدار عددی معیار مورد نظر از گزینه X

a_{ym} : مقدار عددی معیار مورد نظر از گزینه Y

w_m : میزان وزن یا ارزش معیار مورد نظر

عبارت فوق با جایگذاری نماد اوزان هر معیار مطابق شکل 3، برای ارزیابی میان دو سیستم BRT و LRT مطابق رابطه زیر می باشد.

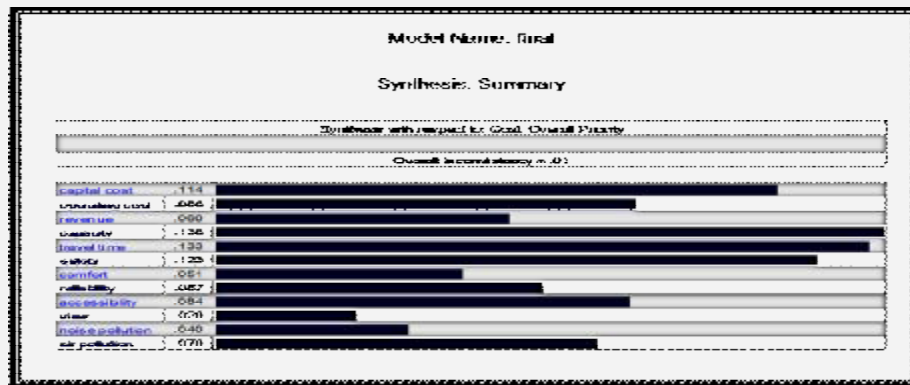
$$\begin{aligned} & \times \left(\frac{Y_{12}}{Y_{11}}\right)^{W_{12}} \times \left(\frac{Y_{21}}{Y_{21}}\right)^{W_{21}} \times \left(\frac{Y_{22}}{Y_{22}}\right)^{W_{22}} \times \left(\frac{Y_{23}}{Y_{23}}\right)^{W_{23}} \times \left(\frac{Y_{24}}{Y_{24}}\right)^{W_{24}} \times \left(\frac{Y_{25}}{Y_{25}}\right)^{W_{25}} \times \left(\frac{Y_{26}}{Y_{26}}\right)^{W_{26}} \times \left(\frac{Y_{27}}{Y_{27}}\right)^{W_{27}} \times \left(\frac{Y_{31}}{Y_{31}}\right)^{W_{31}} \times \left(\frac{Y_{32}}{Y_{32}}\right)^{W_{32}} \quad (3) \\ & MR_{B-L} = \left(\frac{Y_{11}}{Y_{11}}\right)^{W_{11}} \times \left(\frac{Y_{12}}{Y_{12}}\right)^{W_{12}} \end{aligned}$$

6- پیاده سازی مدل و جایگذاری مقادیر و تحلیل نتایج

اطلاعات مورد نیاز در این مرحله به دو دسته تقسیم بندی می گردد که عبارتند از اوزان معیارها و مقادیر معیارها.

6-1- اوزان معیارها

وزن معیارها که در این تحقیق از طریق نظر سنجی از خبرگان گردآوری شد، با استفاده از نرم افزار EC مورد بررسی قرار گرفته و خروجی های نرم افزار حاصل از پرسشنامه های سازگار به عنوان وزن نهایی و مطلق معیارها که قابل جایگذاری در رابطه MR است در شکل 4 آورده شده است.



شکل 4: وزن های نهایی حاصل از خروجی نرم افزار EC

مشاهده می شود که مقدار $I.R = 0/01$ می باشد که مقدار کاملاً قابل قبولی است حال با جایگذاری

وزن ها در رابطه (3) داریم:

$$\begin{aligned} & \times \left(\frac{Y_{11}}{Y_{11}}\right)^{0.06} \times \left(\frac{Y_{12}}{Y_{12}}\right)^{0.136} \times \left(\frac{Y_{21}}{Y_{21}}\right)^{0.132} \times \left(\frac{Y_{22}}{Y_{22}}\right)^{0.129} \times \left(\frac{Y_{23}}{Y_{23}}\right)^{0.081} \times \left(\frac{Y_{24}}{Y_{24}}\right)^{0.087} \times \left(\frac{Y_{25}}{Y_{25}}\right)^{0.084} \times \left(\frac{Y_{26}}{Y_{26}}\right)^{0.079} \times \left(\frac{Y_{27}}{Y_{27}}\right)^{0.046} \times \left(\frac{Y_{31}}{Y_{31}}\right)^{0.04} \times \left(\frac{Y_{32}}{Y_{32}}\right)^{0.078} \quad (4) \\ & MR_{B-L} = \left(\frac{Y_{11}}{Y_{11}}\right)^{0.114} \times \left(\frac{Y_{12}}{Y_{12}}\right)^{0.066} \end{aligned}$$

پس از این مرحله باید مقادیر را برای معیارها برآورد نمود که در ادامه محاسبه یا گردآوری بعضی از این مقادیر آمده است. مقادیر هر یک از معیارهای مدل جهت دستیابی به ارزیابی نهایی به روش MR باید محاسبه گردد. که این مقادیر خود به 2 بخش تقسیم می‌گردد:

1- مقادیر کمی: که تا حدی قابل محاسبه و برآورد و یا تخمین می‌باشد.

2- مقادیر کیفی: که قابل محاسبه نبوده و مقادیر آنها از طریق پرسشنامه تعیین می‌گردد.

2-6- برآورد مقادیر کمی:

محاسبه مقادیر کمی معیارها در ادامه توضیحات آورده شده است:

هزینه‌های احداث و عملیاتی، برابر میانگین متوسط 10 شهر آمریکا که هر دو سیستم در آنها موجود می‌باشد و از پایگاه آماری National Transit Database استخراج گشته است [8].

جدول 1: هزینه‌ها بر حسب دلار آمریکا

پارامترها	قطار سبک شهری	اتوبوس تندرو
هزینه احداث مسیر به ازای یک کیلومتر (هزار دلار)	10,199	1,619
هزینه عملیاتی و تعمیر و نگهداری (مسافر- کیلومتر)	0/78	0/56
هزینه عملیاتی و تعمیر و نگهداری (سفر مسافر تفکیک شده)	4	3
هزینه خرید هر دستگاه وسیله نقلیه	2,500,000	550,000

محاسبه گنجایش سیستم‌ها برای برآورد ظرفیت سیستم با در نظر گرفتن سطح سرویس، ابعاد ناوگان و خصوصیات فیزیکی طبق رابطه زیر امکان پذیر است [13].

$$C_c = \left[\frac{(L_c - 5L_a)W_c - 5D_n W_s D_w}{S_{sp}} \right] + N \left[\left(1 - \frac{S_a}{S_{sp}} \right) \left(\frac{(L_c - L_a) - D_n (D_w + 2S_p)}{S_w} \right) \right] \quad (5)$$

C_c : حداکثر گنجایش واگن در زمان اوج 15 دقیقه‌ای بر حسب (مسافر بر واگن)

L_c : طول واگن بر حسب متر

L_a : طول قسمت مفصلی واگن بر حسب متر

W_s : عرض پله ورودی بر حسب متر

W_c : عرض داخلی واگن بر حسب متر

S_{sp} : فضای اشغال شده به ازاء هر مسافر ایستاده بر حسب متر مربع

N : چیدمان صندلی‌ها (عدد 2 برای صندلی‌های طولی، عدد 3 برای صندلی‌های عرضی در حالت

1+2، عدد 4 برای صندلی‌های عرضی در حالت 2+2 و عدد 5 برای صندلی‌های عرضی در حالت

(3+2)

D_w : عرض در بر حسب متر

S_w : طول اشغال شده توسط هر صندلی (0/69 متر برای صندلی عرضی و 0/43 متر برای صندلی

طولی)

S_b : فاصله نقطه انتهایی در تا حفاظ تفکیک کننده حد فاصل در و صندلی ها (حدوداً 0/2 متر و یا کمتر)

S_a : فضای اشغال شده توسط هر صندلی (حدود 0/4 متر مربع برای صندلی های طولی و 0/5 متر مربع برای صندلی های عرضی)

D_n : تعداد درهای هر طرف واگن

لذا می توان با استفاده از اطلاعات بالا و حاصل شدن گنجایش های هر ناوگان به محاسبه ظرفیت که هدف نهایی از مباحث بالا و در نهایت تعیین کننده انتخاب سیستم مناسب برای یک کریدور می باشد، پرداخت.

ظرفیت عبارت است از تعداد مسافری که یک سیستم در طول مشخصی از مسیر (معمولاً یک کیلومتر)، در بازه زمانی مشخص (معمولاً یک ساعت) و در یک جهت جابجا می کند [9].

$$P = \frac{3600}{h_{min}} \times N_c \times P_e \times PHF \quad (6)$$

h_{min} : حداقل سر فاصله زمانی بر حسب ثانیه

N_c : تعداد واگن

PHF: فاکتور ساعت اوج

P_e : گنجایش هر واگن

P : ظرفیت بر حسب مسافر در هر ساعت در هر جهت (pphpd)

که در رابطه فوق PHF که تغییر در ساعت اوج می باشد از رابطه زیر به دست می آید.

$$PHF = \frac{P_k}{4P_{15}} \quad (7)$$

که در این رابطه:

P_k : میزان تقاضا در ساعت اوج

P_{15} : میزان تقاضا در اوج 15 دقیقه ای

لازم به ذکر است که در این تحقیق محاسبات ظرفیت بر اساس فاکتور ساعت اوج 0/75 و فضای اشغال شده به ازای هر مسافر $0/2 m^2$ در نظر گرفته شده است.

از مقادیر دیگری که در این تحقیق نیاز بوده مقادیر مربوط به میزان آلاینده های هوا و آلودگی صوتی است که به استناد منابع مختلف در این بخش آورده شده است.

جدول 2: میزان آلاینده ایجاد شده به ازاء 100 مسافر-کیلومتر [10]

نوع آلودگی	اتوبوس تندرو (گرم)	قطار سبک شهری (گرم)
منو اکسید کربن	41/9	0/8
هیدروکربن	15/4	2/8
اکسید نیٹروژن	125	13/7
دی اکسید گوگرد	12/6	4/2
میزان متوسط آلاینده تولید شده	48/7	5/4

جدول 3: میزان صدای ایجاد

میزان متوسط	میزان تولید صدا در فاصله مبنای 15 متری (دسی بل)	نقلیه وسیله	
		اتوبوس	دیزلی
88/5	92-85	قطار سبک	در سطح زمین
83	86-80	شهری	زیر زمین
-	-		

میزان تقریبی ارزش زمان سفر با توجه به میزان جمعیت فعال اقتصادی و تولید ناخالص داخلی به روش زیر قابل برآورد است.

در محاسبه ارزش زمان سفر موارد زیر در نظر گرفته شده است [12,11].

میزان ارزش ریالی یک ساعت کاری مطابق آمار سال 88 طبق رابطه زیر محاسبه گشته است.

$$(8) \quad \text{ریال} = \frac{2,890,227,000,000}{61,247,082} = 47196180/2 = \frac{\text{تولید ناخالص داخلی}}{\text{جمعیت فعال اقتصادی}} = \text{متوسط درآمد سالیانه هر شخص}$$

که با احتساب 48 هفته کاری بطور سالیانه و 44 ساعت کاری در هر هفته ارزش یک ساعت زمان معادل 22337 ریال در نظر گرفته شده است.

3-6- محاسبه مقادیر معیار های کیفی

مقادیر معیار های کیفی نیز با نظر سنجی از کارشناسان حوزه حمل و نقل و از طریق روش AHP محاسبه گشته و در جدول زیر آمده است.

جدول 4: مقادیر معیارهای کیفی

مقادیر معیارهای کیفی		
معیارهای کیفی	قطار سبک شهری	اتوبوس تندرو
ایمنی	0/826	0/174
راحتی	0/89	0/21
قابلیت اطمینان	0/81	0/19
زیبایی	0/72	0/28

7- انتخاب گزینه برتر از لحاظ حداکثر میزان ظرفیت جابجایی

نظر به اینکه ظرفیت از اساسی ترین مراحل تصمیم گیری است لذا در این بخش مورد ارزیابی و تحلیل قرار می گیرد.

7-1- بیشترین ظرفیت متعارف با احتساب حداقل سرفاصله زمانی ممکن

ابتدا در این بخش می خواهیم به بررسی فنی و اقتصادی گزینه برتر از دیدگاه حداکثر ظرفیت جابجایی هر سیستم بپردازیم. این بخش شامل مفروضات زیر می باشد:

- طول مسیر فرضی برابر 1 کیلومتر از یک کریدور به طول 18 کیلومتر در نظر گرفته می شود.
- مسیر به صورت رفت و برگشت و تفکیک شده از جریان ترافیک، برای مدت زمان 1 ساعت بررسی می گردد.

- هزینه های احداث و عملیاتی سیستم که به دلار بوده با احتساب دلار 10000 ریال به مقادیر درج شده در جدول 9 تبدیل گشته است.

- در این مبحث از تقاضای سفر کریدور صرف نظر شده و هر دو سیستم در قابلیت بالای خود جهت جابجایی مسافر مورد ارزیابی قرار می گیرند.

- به دلیل ثابت بودن جایگاه ایستگاه ها میزان در دسترس بودن هر دو سیستم برابر در نظر گرفته شده است. این بررسی با در نظر گرفتن داده های ذیل انجام می پذیرد.

جدول 5: مشخصات در نظر گرفته شده برای بیشترین ظرفیت با احتساب حداقل سرفاصله ممکن

LRT	BRT	پارامتر	LRT	BRT	پارامتر
48	164	حداقل تعداد ناوگان مورد نیاز با توجه به سرفاصله زمانی (برای مسیر رفت و برگشت)	90	60	حداقل سرفاصله مشاهده شده در جهان (ثانیه)
18420	*18000	ظرفیت جابجایی pphpd	101.990.000.000	16.910.000.000	هزینه های احداث مسیر برای 1 کیلومتر (ریال)
5/4	48/7	آلودگی هوا به ازاء هر 100 مسافر بر کیلومتر (گرم)	7800	5600	هزینه های عملیاتی و نگهداری به ازاء مسافر بر کیلومتر (ریال)
83	88/5	آلودگی صوتی (دسی بل)	25.000.000.000	5.500.000.000	هزینه خرید ناوگان (ریال)
0/826	0/174	ایمنی	1000	1000	هزینه دریافت بابت هر بلیط (ریال)
0/89	0/21	راحتی	30	27	متوسط سرعت عملکردی به ازاء توقف 20 ثانیه در هر ایستگاه (کیلومتر بر ساعت)
0/81	0/19	قابلیت اطمینان	0/033	0/037	زمان سفر بر اساس متوسط سرعت عملکردی برای 1 کیلومتر به ازاء یک سفر مسافر (ساعت)
1	1	در دسترس بودن	شامل 4 واگن تکی	مفصلی (18 متری)	نوع ناوگان انتخاب شده
0/72	0/28	زیبایی	616 (4 * 154)	200	گنجایش هر ناوگان به ازاء 0/2 متر مربع فضای ایستاده برای افراد

* ظرفیت pphpd 18000 برای حرکت دو اتوبوس مفصلی به صورت گروهی است.

جدول 6: محاسبه مقادیر معیارها برای هر دو سیستم

مقادیر		پارامتر
LRT	BRT	
1/31 E12	0/9E12	هزینه زیر ساخت (احداث + خرید ناوگان)
287.352.000	201.600.000	هزینه عملیاتی
36.840.000	36.000.000	درآمد حاصل از بلیط (ریال)
2.597.347	-	درآمد حاصل در صرفه جویی در زمان سفر LRT نسبت به BRT (ریال)
1989/4	17532	میزان آلودگی هوای تولید شده بابت مسافر جابجا شده در 1 کیلومتر (گرم)

با جایگذاری مقادیر فوق در عبارت فوق میزان ضریب $MR = 0/599$ بوده که نمایان گر ارجحیت LRT به BRT می باشد.

7-2- مقایسه برای حالت رایج

در این بخش می خواهیم به ارزیابی گزینه برتر از دیدگاه حداکثر ظرفیت جابجایی مرسوم هر سیستم بپردازیم. لازم به ذکر است که مفروضات این بخش مانند قسمت قبل است با این تفاوت که حالت های عادی و مرسوم این سیستم ها مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرند.

جدول 7: مشخصات در نظر گرفته شده برای بیشترین ظرفیت با احتساب حداقل سرفاصله مرسوم

LRT	BRT	پارامتر	LRT	BRT	پارامتر
36	106	حداقل تعداد ناوگان مورد نیاز با توجه به سرفاصله زمانی (برای مسیر رفت و برگشت)	120	90	حداقل سرفاصله مرسوم در جهان (ثانیه)
13860	*12000	ظرفیت جابجایی pphpd	101.990.000.000	16.910.000.000	هزینه های احداث مسیر برای 1 کیلومتر (ریال)
5/4	48/7	آلودگی هوا به ازاء هر 100 مسافر بر کیلومتر (گرم)	7800	5600	هزینه های عملیاتی و نگهداری به ازاء مسافر بر کیلومتر (ریال)
83	88/5	آلودگی صوتی (دسی بل)	25.000.000.000	5.500.000.000	هزینه خرید ناوگان (ریال)
0/826	0/174	ایمنی	1000	1000	هزینه دریافت بابت هر بلیط (ریال)
0/89	0/21	راحتی	30	27	متوسط سرعت عملکردی به ازاء توقف 20 ثانیه در هر ایستگاه (کیلومتر بر ساعت)
0/81	0/19	قابلیت اطمینان	0/033	0/037	زمان سفر بر اساس متوسط سرعت عملکردی برای 1 کیلومتر به ازاء یک سفر مسافر (ساعت)
1	1	در دسترس بودن	شامل 4 واگن تکی	مفصلی (18 متری)	نوع ناوگان انتخاب شده
0/72	0/28	زیبایی	616 (4 * 154)	200	گنجایش هر ناوگان به ازاء 0/2 متر مربع فضای ایستاده برای افراد

* ظرفیت pphpd 12000 برای حرکت دو اتوبوس مفصلی به صورت گروهی است.

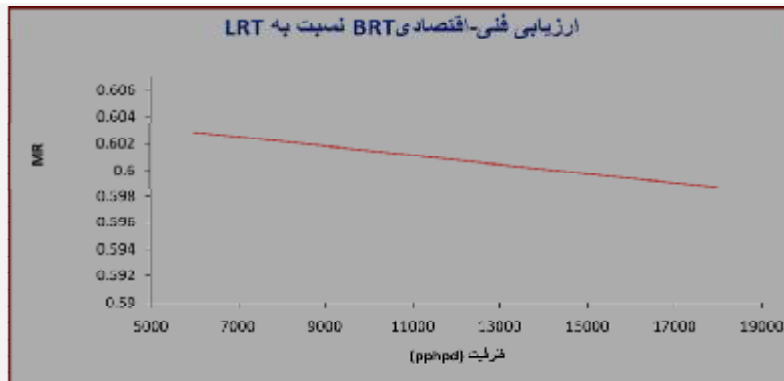
جدول 8: محاسبه مقادیر معیارها برای هر دو سیستم

مقادیر		پارامتر
LRT	BRT	
1 E12	0/59E12	هزینه زیر ساخت (احداث + خرید ناوگان)
216.216.000	134.400.000	هزینه عملیاتی
36.840.000	36.000.000	درآمد حاصل از بلیط (ریال)
2.144.352	-	درآمد حاصل در صرفه جویی در زمان سفر LRT نسبت به BRT (ریال)
1497	11688	میزان آلودگی هوای تولید شده بابت مسافر جابجا شده در 1 کیلومتر (گرم)

با جایگذاری مقادیر فوق در عبارت مربوطه میزان ضریب $MR = 0/61$ بوده که نمایان گر ارجحیت LRT به BRT می باشد.

7-3- آنالیز حساسیت

برای حصول اطمینان از عملکرد های مختلف سیستم، موارد مختلف ظرفیت تحت تواتر سرویس های گوناگون مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به صورت نمودار در ادامه مشاهده می شود.



شکل 5: نمودار ضرائب MR جهت ارزیابی فنی-اقتصادی

با توجه به نسبت ضرائب MR که در نمودار فوق مشاهده می گردد مطلوبیت قطار سبک شهری بیشتر است و این گواه این موضوع است که صرفه نظر از دیدگاه صرفاً اقتصادی، قطار سبک شهری می تواند گزینه خوبی برای کریدورهایی که تقاضای آن با ظرفیت سیستم مطابقت دارد باشد. همچنین مشاهده می گردد که با افزایش ظرفیت، ضریب Merit رو به کاهش است و این نماد این است که این افزایش ظرفیت کاهش مطلوبیت اتوبوس تندرو را به همراه دارد که البته این موضوع با منطق نیز سازگاری دارد و به عبارتی هر چه ظرفیت های بالاتری مد نظر باشد استفاده از قطار سبک شهری منطقی و مطلوب تر است و این در شرایطی است که مجری با دیدگاه اقتصادی بودن به پروژه نگاه نکند و تسهیلات و محیط زیست نیز در انتخاب گزینه برتر نقش موثری داشته باشد.

8- ارزیابی گزینه مناسب برای کریدور تهرانپارس - آزادی

کریدور مورد نظر از مسیرهای حیاتی شهر تهران می باشد به طوری که مسیر شرق را از تهرانپارس به غرب تهران و میدان آزادی متصل می کند. این کریدور دارای تقاضای سفر روزانه بالایی می باشد و در عین حال از مناطق مهمی که در مرکز شهر و جاذب سفر می باشند عبور می کند لذا این مسیر به دلیل حساسیت آن و قابل اجرا بودن هر دو سیستم انتخاب گشته است. تقاضای روزانه موجود در این کریدور طبق اطلاعات سازمان حمل و نقل و ترافیک در آخر سال 88 بطور متوسط در یک ساعت 12000 مسافر در یک جهت در یک ساعت می باشد که با پیش بینی های انجام شده توسط کارشناسان این حوزه، این عدد به 16000 مسافر در ساعت اوج می رسد. فرضیات مسئله:

- لازم به ذکر است که ارزیابی برای کریدور مذکور به فرض جدا بودن سیستم های LRT و BRT از جریان ترافیک و تقاطعات در نظر گرفته شده است و هر دو سیستم عرض یکسانی را از مسیر به دلیل تشابه در ابعاد ناوگان و موقعیت ساخت اشغال می کنند. مطابق حالات قبل که مورد بررسی قرار

گرفته است در این ارزیابی از مقادیر ثابت همانند نرخ تنزیل، به علت مقایسه زوجی میان دو سیستم صرفنظر گردیده است. همچنین فرض بر این است که در هر سفر، مسافر نیمی از این کریدور را پیموده باشد و محاسبات برای مسیر بصورت رفت و برگشت و برای مدت 1 سال انجام می شود. قابل توجه است که در محاسبه زمان سفر از زمان های پیاده روی تا رسیدن به ایستگاه به دلیل ثابت در نظر گرفتن محل ایستگاه ها برای هر دو سیستم صرفنظر گشته است ولی زمان های انتظار در ایستگاه ها با توجه به متفاوت بودن تواتر سرویس ها در زمان سفر منظور گشته است.

جدول 9: مشخصات در نظر گرفته شده برای کریدور تهرانپارس - آزادی

LRT	BRT	پارامتر	LRT	BRT	پارامتر
53	150	*حداقل تعداد ناوگان مورد نیاز با توجه به سرفاصله زمانی (برای مسیر رفت و برگشت)	120	90	حداقل سرفاصله مرسوم در جهان (ثانیه)
13860	**12000	ظرفیت جابجایی pphpd	101.990.000.000	16.910.000.000	هزینه های احداث مسیر برای 1 کیلومتر (ریال)
5/4	48/7	آلودگی هوا به ازاء هر 100 مسافر بر کیلومتر (گرم)	40000	30000	هزینه های عملیاتی و نگهداری به ازاء سفر مسافر تفکیک شده
83	88/5	آلودگی صوتی (دسی بل)	000.25.000.000	5.500.000.000	هزینه خرید ناوگان (ریال)
0/826	0/174	ایمنی	1000	1000	هزینه دریافت بابت هر بلیط (ریال)
0/89	0/21	راحتی	27	25	متوسط سرعت عملکردی به ازاء توقف 20 ثانیه در هر ایستگاه و مجزا از جریان ترافیک (کیلومتر بر ساعت)
0/81	0/19	قابلیت اطمینان	0/36	0/38	زمان سفر بر اساس متوسط سرعت عملکردی با فرض 9/5 کیلومتر مسافت طی شده به ازاء یک سفر مسافر (ساعت)
1	1	در دسترس بودن	شامل 4 واگن تکی	مفصلی (18 متری)	نوع ناوگان انتخاب شده
0/72	0/28	زیبایی	616 (4*154)	200	گنجایش هر ناوگان به ازاء 0/2 متر مربع فضای ایستاده برای افراد
0/8		متوسط فواصل ایستگاه ها (کیلومتر)	19		طول کریدور (کیلومتر)

* تعدادی نیز بیش از حد نیاز جهت ذخیره و تعویض با ناوگان در حال سرویس در نظر گرفته شده است.

** ظرفیت pphpd 12000 برای حرکت دو اتوبوس مفصلی به صورت گروهی است.

جدول 10: محاسبه مقادیر معیارها برای هر دو سیستم

مقادیر		پارامتر
LRT	BRT	
3/26 E12	1/15E12	هزینه زیر ساخت (احداث + خرید ناوگان)
4/42 E11	3/32 E11	هزینه عملیاتی در طول 1 سال
1/33 E10	1/33 E10	درآمد حاصل از بلیط (ریال) (برای 1 سال)
6 E10	-	درآمد حاصل در صرفه جویی در زمان سفر LRT نسبت به BRT در 1 سال با فرض این موضوع که هر مسافر نیمی از مسیر را سفر کند و احتساب زمان انتظار در ایستگاه (ریال)
68000	615000	میزان آلودگی هوای تولید شده بابت مسافر جابجا شده در 1 سال (کیلو گرم)

با جایگذاری مقادیر فوق در عبارت مربوطه میزان ضریب $MR = 0/577$ بوده که نمایان گر ارجحیت LRT به BRT برای کریدور مورد نظر می باشد.

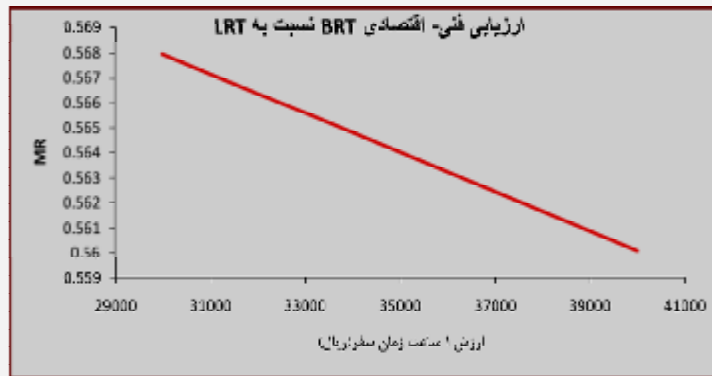
نکته ای که حائز اهمیت است این می باشد، که این سیستم جوابگوی تقاضای ساعت اوج نیز باشد که این مسئله با توجه به اطلاعات تقاضای سفری که ارائه شده محقق می گردد زیرا ظرفیت 12000 برای اتوبوس تندرو و 13860 مسافر-ساعت-کیلومتر برای قطار سبک شهری با احتساب فاکتور اوج 0/75 محاسبه گردیده در صورتی که مقدار واقعی ظرفیت ها در سطح سرویس مورد نظر (2/ متر مربع فضای ایستاده برای هر نفر) برای اتوبوس تندرو با حرکت گروهی 2 ناوگان برابر 16000 و برای قطار سبک شهری برابر 18180 مسافر-ساعت-جهت می باشد که پاسخ گوی ساعت اوج در این کریدور است.

مورد دیگری که باید بررسی شود این است که با رشد تقاضای سفر آیا در افق طرح نیز این سیستم ها پاسخگوی تقاضای این کریدور هستند و آیا اینکه سیستم احداث شده تا چه حد قابل ارتقاء است. این سیستم با پیش بینی افزایش سالانه 2 درصد تقاضای سفر تا 20 سال آینده و با توجه به قابلیت ارتقاء همانند کم کردن سرفاصله زمانی (60 ثانیه برای اتوبوس و 90 ثانیه برای قطار سبک شهری) و رسیدن به ظرفیت حدود 18000 مسافر-ساعت-جهت، جوابگو هستند. ولی اگر تقاضای سفر با رشدی بیش از این مواجه شود دیگر این سیستم ها با ظرفیت های بررسی شده جوابگو نیست و یا باید از BRT هایی که قابلیت جابجایی تا 40000 pphpd را دارند استفاده شود که خود مسائل و مشکلاتی از قبیل اختصاص دادن عرض بیشتر به مسیر و ... را به همراه دارد و یا باید از قبل تدابیری برای ایجاد زیرساخت های قابل ارتقاء برای LRT با ظرفیت های بالا (حدود 40000) اندیشیده شود که هزینه های ساخت گزافی و چیزی حدود 2 برابر هزینه های مورد بررسی باید پرداخت گردد.

8-1- آنالیز حساسیت

از موارد مد نظر این بخش بالا رفتن ارزش زمانی سفر است تا رفتارهای مدل مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر آنالیز به جز داده شده بقیه در نظر گرفته

است که در پارامتر تغییر پارامترها ثابت شده است.



شکل 6: نمودار تغییرات ضرائب MR ارزش زمان سفر

9- نتیجه گیری

لذا با بررسی های انجام شده در این تحقیق به این نتیجه می رسیم که هر چند قطار سبک شهری دارای هزینه های زیرساخت و عملیاتی بالاتری نسبت به اتوبوس تندرو می باشد ولی نقش و اهمیت تسهیلات و محیط زیست باعث می گردد که اجرای قطار سبک شهری از دیدگاه فنی و اقتصادی دارای ارجحیت باشد.

10- منابع و ماخذ

- 1- Pak, P.S., Tsuji, K. and Suzuki, Y. 1987, Comprehensive Evaluation of New Urban Transportation Systems by AHP, INT.J. Systems SCI., Vol.18, NO. 6, 1179-1190
- 2- Aoki, Y., Tani, T., 1975, A Method for Evaluating Urban transportation Planning in Term of User Benefit, Transportation Research, Vol 9. pp 67-79
- 3- Weihua, Z., Huapu, L., Zhijun, G. and Qiang, L., 2005, Study on Method Evaluation Bus Rapid Transit (BRT) Scheme, Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp 390-403
- 4- اسید حسینی، س.م، زمانیان، علیرضا، 1387، توسعه مدل فنی و اقتصادی مقایسه سیستم اتوبوسهای تندرو (BRT) و سیستم قطار سبک شهری (LRT)، مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد، سال اول، پیش شماره یک
- 5- صفارزاده، م، ملک زاده، فر، ع، انتخاب سیستم حمل و نقل عمومی مناسب برای یک کریدور شهری از دیدگاه اقتصادی، 1385، هفتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک
- 6- قدسی پور، س، حسن، س، 1379، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- 7- اقتصاد مهندسی پیشرفته
- 8- www.ntdprogram.gov
- 9- Transit Capacity & Quality of Service Manual-2nd, Chapter 3
- 10- افندی زاده، ش.، حسنی زاده، م، اردیبهشت 1379، بررسی حمل و نقل ریلی سبک "صنعت حمل و نقل، شماره 190

11- "چکیدہ طرح آمار گیری نیروی کار سال 1388"، مرکز آمار ایران

12- www.cbi.ir

13-Transportation Research Board:Bus Rapid Transit ,2003, Volume 1:Case Studies in Bus Rapid Transit

14-Transportation Research Board:Bus Rapid Transit,2003, Volume 2:Implementation Guidelines

15-Kuwabara ,T., Hiraishi,M. , Goda,K. ,Okamoto, S., Ito, A. and Sugita,Y.,2001, New Solution for Urban for Urban Traffic: small-type Monorail System, Hitachi Review Vol.50, No.4

16- Bus Rapid Transit Planning Guide , June 2007, Institute for Transportation& Development Policy