



Research Article

Prioritization Of The Factors On The Efficiency Of The Urban Train (Case Study: Tehran)

Parsa Hassanzadeh^{1*}, Reza Amin², Ali Khodaii²

1* - Master's student In road and transportation engineering, AmirKabir University of Technology, Tehran, Iran

2- Master's degree in transportation planning, AmirKabir University of Technology, Tehran, Iran

3- Full professor, Department of Civil & Environment, AmirKabir University of Technology, Tehran, Iran

Received: 20 November 2023; Revised: 20 December 2023; Accepted: 29 December 2023; Published: 29 December 2023

Abstract:

Urban trains, as one of the most important public vehicles in cities, are related to traffic and environmental issues. To improve the efficiency of these systems, it is necessary to examine and prioritize the factors affecting their efficiency. This article tries to identify and prioritize the important factors affecting the efficiency of urban trains. In this article, the factors affecting the efficiency of urban trains are first examined, which include important aspects such as time interval, time wastage, safety, energy consumption, number of trains, management and planning, and passenger satisfaction; Then, by using case studies and data analysis collected from Tehran, the factors that have the greatest impact on efficiency are prioritized. The results show that in different conditions, different factors can have priority. In the end, recommendations for improving the efficiency of urban trains are presented, which can be effective as practical solutions for urban officials, public transport managers, and policymakers to improve the performance of urban train systems.

Keywords: *Urban trains, Urban train efficiency, prioritize, rail transport organizatio*

Cite this article as: Hassanzadeh, P., Amin, R., & Khodaii, A. (2023). Prioritization Of The Factors On The Efficiency Of The Urban Train (Case Study: Tehran). Civil and Project, 5(9), 53-64. <https://doi.org/10.22034/cpj.2023.431570.1244>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2023 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: Parsahasanzadehh@gmail.com



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

اولویت بندی عوامل موثر بر کارایی قطار شهری (مطالعه موردی: شهر تهران) پارسا حسن زاده*^۱، رضا امین^۲، علی خدایی^۳

* ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی راه و ترابری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۳- استاد تمام، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۲۹ آبان ۱۴۰۲؛ تاریخ بازنگری: ۲۹ آذر ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۰۸ دی ۱۴۰۲؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۸ دی ۱۴۰۲

چکیده:

قطارهای شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین وسایل نقلیه عمومی در شهرها، با ترافیک و مسائل زیست‌محیطی مرتبط هستند. برای بهبود کارایی این سیستم‌ها، لازم است عوامل مؤثر بر کارایی آنها مورد بررسی و اولویت‌بندی قرار گیرند. این مقاله تلاش می‌کند تا عوامل مهم تأثیرگذار بر کارایی قطارهای شهری را شناسایی کند و اولویت‌بندی کند. در این مقاله، ابتدا به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی قطارهای شهری پرداخته می‌شود که این عوامل شامل جنبه‌های مهمی چون فاصله زمانی، اتلاف وقت، ایمنی، مصرف انرژی، تعداد قطارها، مدیریت و برنامه‌ریزی، و رضایت مسافران می‌باشند؛ سپس، با استفاده از مطالعات موردی و تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از شهر تهران، عواملی که بیشترین تأثیر را بر کارایی داشته‌اند، اولویت‌بندی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که در شرایط مختلف، عوامل مختلفی می‌توانند اولویت داشته باشند. در پایان، توصیه‌هایی برای بهبود کارایی قطارهای شهری ارائه می‌شود که می‌تواند به عنوان راهکارهای عملی برای مسئولین شهری، مدیران ترابری عمومی و سیاست‌گذاران موردنیاز برای بهبود عملکرد در سیستم‌های قطار شهری مؤثر باشد.

کلمات کلیدی:

قطارهای شهری، کارایی قطار شهری، اولویت بندی، سازمان حمل و نقل ریلی

۱- مقدمه

قطارهای شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین وسایل نقلیه عمومی در شهرها با ترافیک شلوغ و مسائل محیطی مرتبط هستند. با افزایش روزه‌روز جمعیت و نیاز به نقل‌وانتقال آسان‌تر آن‌ها در شهر، اهمیت بهره‌وری و کارایی این قطارها بیش‌ازپیش واضح است. در یک سیستم حمل‌ونقل عمومی، مهم است که "مشتریان تنها ارزیابی‌کنندگان خدمات هستند"؛ بنابراین، اگر می‌خواهیم کیفیت خدمات حمل‌ونقل را اندازه‌گیری کنیم، این کار باید از دیدگاه مسافران صورت پذیرد. این نکته مهم در طراحی استراتژی‌های بهبودی و توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی بسیار حیاتی است.

با بررسی نقش تعیین‌کننده مترو در تسهیل حمل و نقل و رسیدگی به ترافیک روزافزون شهری، ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقل ریلی موجود به ویژه مترو در کشورمان ایران امری ضروری است. علیرغم اهمیت غیرقابل انکار ایستگاه‌های مترو در حمل و نقل کارآمد مردم، فقدان قابل توجهی از تلاش‌های اساسی در ارزیابی عملکرد آنها وجود داشته است. با توجه به ماهیت ضروری این ارزیابی برای مدیران ارشد سازمان حمل و نقل ریلی و با اذعان به جایگاه برتر مترو در حمل و نقل مردم، انجام تحقیقاتی با هدف شناسایی شاخص‌های عملکردی و ارزیابی کارایی ایستگاه‌های مترو ضروری است (مائو و همکاران، ۱۳۹۲).

در زمینه حمل‌ونقل، نادیده‌گرفتن ارزیابی عملکرد توجیه‌پذیر نیست. ارائه خدمات باکیفیت عالی و هم‌زمان بهینه‌سازی منابع در بخش حمل‌ونقل امری حیاتی است. نظارت دقیق بر عملکرد و جنبه‌های انسانی فعالیت‌ها و خدمات ارائه شده در این بخش، یک ارزیابی دقیق و معتبر است (هی و تنگ، ۱۳۹۲).

برای تدوین یک استراتژی مؤثر حمل‌ونقل، سیاست‌گذاران و مقامات باید در مورد کیفیت خدمات و جنبه‌های کلیدی حمل‌ونقل عمومی که نیاز به تأکید دارند، از مسافران بازخورد بگیرند. این اطلاعات ارزشمند معمولاً از طریق نظرسنجی‌های رضایت مشتری جمع‌آوری می‌شود و داده‌های حاصل در پالایش و نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی مفید است. با این حال، سیاست‌گذاران باید از ارزیابی نظرات مسافران فراتر بروند. آنها همچنین باید در اولویت‌بندی این ویژگی‌ها در بخش‌های مختلف جامعه ماهر باشند. اهمیت این گروه‌بندی زمانی مشخص می‌شود که جذب گروهی خاص از جامعه برای استفاده از حمل‌ونقل عمومی نسبت به سایر افراد مورد توجه قرار داشته باشد.

۲- پیشینه تحقیق

تعدادی از تحقیقات در کشور در زمینه ارزیابی کارایی مترو با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام شده است. یکی از این تحقیقات، تحت عنوان «بررسی کارایی ایستگاه‌های مترو با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها» توسط احدی و راشد انجام گرفته است. این تحقیق به بررسی عملکرد ایستگاه‌های مترو با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها متناسب با متغیرهای قابل کنترل تحت نظر مترو انجام شده است (احدی و همکاران، ۱۳۸۲).

راوی و همکاران^۱ (۱۳۸۳) موضوع لجستیک معکوس^۲ کامپیوتر با استفاده از ترکیبی از فرایندهای تحلیل شبکه و رویکرد کارت امتیازی متوازن مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه یک روش جامع را برای انتخاب گزینه‌ها برای عملیات لجستیک معکوس معرفی کرد.

¹ Ravi, Vadlamani

² Reverse Logistics

لی و همکاران^۳ (۱۳۸۶) در این مطالعه نشان دادند کارت امتیاز سنتی چالشی است که در ادغام موثر شاخص‌های عملکرد متنوع با مشکل مواجه است. برای پرداختن به این موضوع، راه‌حلی پیشنهاد دادند که شامل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره است. باتوجه به ماهیت ذاتاً مبهم بسیاری از مسائل ارزیابی، اعداد فازی در این فرایند برای کاهش ابهامات به کار گرفته شدند. لی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیق خود در مورد ارزیابی عملکرد بخش‌های فناوری اطلاعات در صنایع تولیدی تایوان، از مدلی استفاده کردند که کارت امتیازی متوازن و فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی را ادغام می‌کند. این رویکرد یکپارچه برای محاسبه وزن ۱۴ شاخص عملکرد در چهار بعد اصلی کارت امتیازی متوازن استفاده شد.

نیلی و همکاران^۴ (۱۳۷۳) ارزیابی عملکرد را کارایی و اثربخشی فعالیت‌ها تعریف می‌کنند. کارایی معمولاً به‌عنوان نسبت ورودی به خروجی مشخص می‌شود، درحالی‌که اثربخشی ارتباط بین خروجی و ورودی را مشخص می‌کند. اهمیت عملکرد در یک سازمان به تأثیرگذاری بر تصمیم‌گیری توسط مدیریت و شکل‌دادن به سیاست‌ها و راهبردهای سازمان گسترش می‌یابد. اتخاذ تصمیمات راهبردی آگاهانه مستلزم درک جامعی از نقاط قوت و ضعف سازمان است، دانشی که از طریق اجرای ارزیابی عملکرد به دست می‌آید (وو و همکاران، ۱۳۹۳)^۵.

آقا بیگی و همکاران برای تعیین کارایی و رتبه‌بندی ایستگاه‌های مترو از ترکیب روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد فازی استفاده کرده‌اند. در ابتدا، آنها معیارهای عملکرد را با استفاده از روش کارت امتیازی متوازن انتخاب کردند که شامل چهار بعد مالی، مشتری، فرایندهای داخلی در سیستم حمل‌ونقل مترو، و نسبت کارکنان تحصیل کرده به کل نیروی کار است. متغیرهای خروجی برای مدل به‌عنوان نسبت تعداد سفرها به ظرفیت کلی مسافر تعیین شد. در مورد متغیرهای ورودی، ملاحظات شامل نسبت هزینه نیروی انسانی به بهره‌برداری قطار، نسبت هزینه نیروی انسانی به تعداد سفر، نسبت مسافر به‌ازای هر مترمربع قطار، نسبت ثانیه کارکرد به جابه‌جایی مسافر، نسبت از کل تأخیرها به تعداد جابه‌جایی مسافران و نسبت تعداد کلی جابه‌جایی‌های تأخیر یافته به کل جابه‌جایی مسافر در نظر گرفته شد. در پایان از رویکرد درجه ترجیح برای رتبه‌بندی ایستگاه‌ها استفاده شده است.

رابرت کاپلان و دیوید نورتون مفهوم^۶ "شاخص‌هایی که محرک عملکرد هستند" را از طریق مقاله خود معرفی کردند و از کارت امتیازی متوازن به‌عنوان یک ابزار مدیریتی جدید برای ارزیابی عملکرد پرده‌برداری کردند. این تکنیک در سنجش عملکرد سازمانی کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. هدف این روش با تمرکز بر چهار جنبه سازمانی در کارت امتیازی متوازن، پر کردن شکاف بین کنترل‌های عملیاتی کوتاه‌مدت و چشم‌انداز بلندمدت و استراتژی‌های تجاری است. از طریق این رویکرد، مدیران می‌توانند سازمان را از چهار منظر و بعد مجزا ارزیابی کنند.

ارزیابی کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل، به‌ویژه سیستم‌هایی که از شبکه‌های مترو استفاده می‌کنند، برای مدیران و مقامات عالی‌رتبه در سطح جهانی اهمیت دارد. تلاش‌های تحقیقاتی برای ارزیابی عملکرد چنین سیستم‌های حمل‌ونقل انجام شده است. چن و همکاران^۷ (۲۰۱۴) مطالعه‌ای را برای ارزیابی کارایی سیستم مترو، همان‌طور که در تحقیقات خود مستند شده است، انجام دادند.

اتو^۸ (۱۳۸۸) در مطالعه خود تأثیر عوامل روان‌شناختی را بر انتخاب گزینه‌های حمل‌ونقل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM)^۹ مورد بررسی قرارداد. معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل هنجارهای اجتماعی، عوامل جمعیت‌شناختی، ملاحظات اقتصادی و شرایط و الگوهای تحرک کاربران می‌باشد.

³ Lee, Amy HI

⁴ Neely, Andy

⁵ Wu, Xianguo

⁶ Kaplan, Robert

⁷ Chen, Shaokuan

⁸ Otto

⁹ multiple Attribute Decision making

چی ونگ و همکاران^{۱۰} (۱۳۸۴) مطالعه‌ای را برای ارزیابی کارایی عملکرد شرکت ایسر^{۱۱} با استفاده از تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها و یک کارت امتیازی متوازن انجام دادند.

ایل و همکاران^{۱۲} (۱۳۸۳) مقالاتی در مورد ایجاد و ارزیابی سهام‌های متوازن و همچنین در مورد پروژه‌های تحقیق و توسعه تألیف کردند. این آثار با استفاده از روشی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^{۱۳} به بررسی تراکنش‌ها و اقدامات پرداختند. این مقالات در مجله اروپایی تحقیقات عملیات منتشر شد.

| نوع تحقیق | نویسندگان و سال تحقیق |
|---|-----------------------|
| تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) | ۱۳۸۸، اتو |
| بررسی عملکرد ایستگاه‌های مترو با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها | ۱۳۸۲، همکاران |
| ترکیب روشهای تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد فازی | ۱۳۸۴، همکاران |
| تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) | ۱۳۸۳، همکاران |
| روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکورفازی | ۱۳۹۲، همکاران |
| تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها و یک کارت امتیازی متوازن | ۱۳۸۴، همکاران |
| کارت امتیازی متوازن | ۱۳۸۲، دیوید نورتون |
| موضوع لجستیک معکوس کامپیوتر با استفاده از ترکیبی از فرآیندهای تحلیل شبکه و رویکرد کارت امتیازی متوازن | ۱۳۸۳، همکاران |
| رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی | ۱۳۸۶، همکاران |
| ارزیابی عملکرد، کارایی و اثربخشی فعالیت‌ها | ۱۳۷۳، همکاران |

۳- روش تحقیق

یکی از راه‌های نشان‌دادن تحولات و پیشرفت‌ها در یک جامعه، جمع‌آوری داده‌های آماری و توضیح رویدادهای اجتماعی و اقتصادی با استفاده از زبان عددی است. با مقایسه این داده‌های آماری و شاخص‌ها می‌توان به تفسیر و تحلیل آن‌ها پرداخت. برای بررسی عملکرد سازمان حمل و نقل ریلی، به سالنامه آماری سازمان مراجعه شد و اطلاعات به دست آمده را به چند دسته از

¹⁰ Wang, Jui-Chi

¹¹ Acer Incorporated

¹² Eilat, Harel

¹³ Data Envelopment Analysis

جمله مسافرین جابه‌جا شده، اتلاف وقت مسافرین، تعداد قطارها، مصرف سوخت و هزینه تعمیر و نگهداری معابر شهری تقسیم شد (سالنامه آماری تهران ۱۴۰۰:۱۳۹۳).

باتوجه به جدول ۱ مسافریهای جابه‌جا شده در سال‌های مختلف که از سالنامه‌های آماری استخراج شده است قابل‌مشاهده است. همچنین هزینه‌هایی که در بخش‌های اتلاف وقت مسافرین، تعداد قطارها، مصرف سوخت و هزینه تعمیر و نگهداری معابر شهری صرفه‌جویی شده در جدول ۲، و تعداد قطارها، طول مسیر بهره‌برداری شده به کیلومتر، حداقل فاصله زمانی عبور قطارها و جابه‌جایی مسافرین جمع‌آوری شده که در جدول ۳ قابل‌مشاهده است. در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ داده‌ای برای حداقل فاصله زمانی عبور قطارها و جابه‌جایی مسافرین در دسترس نمی‌باشد.

جدول ۱_ تعداد مسافرین جابه‌جا شده در سال‌های اخیر

| سال | مسافر جابه‌جا شده به کیلومتر |
|------|------------------------------|
| 1392 | 5,883,817 |
| 1393 | 5,185,522 |
| 1394 | 4,565,172 |
| 1395 | 3,866,862 |
| 1396 | 4,008,914 |
| 1397 | 4,585,938 |
| ۱۳۹۸ | 4,608,829 |
| 1399 | 1,646,798 |
| 1400 | 3,256,287 |

جدول ۲_ برآورد هزینه‌های صرفه‌جویی شده در متروی تهران و حومه در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۲ (میلیارد ریال)

| نوع صرفه‌جویی | سال ۹۲ | سال ۹۳ | سال ۹۴ | سال ۹۵ | سال ۹۶ | سال ۹۷ | سال ۹۸ | سال ۹۹ | سال ۱۴۰۰ |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| مصرف سوخت | 4,382 | 7,816 | 5,192 | 6,876 | 7,770 | 7,921 | 17,530 | 9,881 | 11,422 |
| اتلاف وقت مسافرین | 4,641 | 6,366 | 7,966 | 8,358 | 9,571 | 11,512 | 12,381 | 9,519 | 12,975 |
| بهداشت و درمان و نظافت ناشی از آلودگی هوا | 1,281 | 1,557 | 3,985 | 4,200 | 7,571 | 7,853 | 7,414 | 4,805 | 5,673 |
| استهلاک و لوازم یدکی خودروها | 3,115 | 4,125 | 4,408 | 4,005 | 8,290 | 8,600 | 15,451 | 21,130 | 42,417 |
| هزینه خسارت تصادف | 1,246 | 1,650 | 1,763 | 1,602 | 3,316 | 3,440 | 61,851 | 8,451 | 16,966 |
| هزینه تعمیر و نگهداری معابر شهری | 122 | 124 | 132 | 93 | 94 | 94 | 93 | 54 | 63 |

جدول ۳_ عملکرد مقایسه‌ای مترو در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۳

| عنوان | خط | سال ۹۳ | سال ۹۴ | سال ۹۵ | سال ۹۶ | سال ۹۷ | سال ۹۸ | سال ۹۹ | سال ۱۴۰۰ |
|---------------------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| قطارها-عدد | ۱ و توسعه جنوبی | ۱۰۲ | ۱۱۲ | ۱۲۴ | ۱۳۸ | ۱۳۹ | ۵۲ | ۵۰ | ۵۰ |
| | ۲ | ۲۲ | ۲۲ | ۲۲ | ۲۲ | ۲۲ | ۴۴ | ۴۷ | ۴۷ |
| | ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲۴ | ۲۵ | ۲۵ |
| | ۴ (مشترک با ۲و۱) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲۶ | ۳۲ | ۳۲ |
| | ۵ | ۲۴ | ۲۵ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۳ | ۲۴ | ۲۴ |
| | ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ | ۶ | ۶ |
| | ۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۸ | ۹ | ۹ |
| | فرودگاه امام خمینی(ره) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | ۲ |
| طول مسیر بهره برداری شده (کیلومتر) | ۱ | ۴۲ | ۳۹ | ۴۳ | ۴۲ | ۴۲ | ۴۲ | ۴۲ | ۴۲ |
| | ۲ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۶ | ۲۶ |
| | ۳ | ۱۹ | ۳۵ | ۳۵ | ۳۷ | ۳۷ | ۳۷ | ۳۷ | ۳۷ |
| | ۴ | ۲۲ | ۲۴ | ۲۴ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵ |
| | ۵ | ۴۳ | ۴۲ | ۴۲ | ۴۳ | ۴۳ | ۴۳ | ۴۳ | ۴۳ |
| | ۶ | - | ۰ | ۰ | ۰ | ۹ | ۱۰ | ۱۸ | ۱۸ |
| | ۷ | - | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۴ | ۲۲ | ۲۲ | ۲۲ |
| | فرودگاه امام خمینی(ره) | - | | | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ |
| حداقل فاصله زمانی عبور قطارها - دقیقه | ۱ | ۵ | ۵ | ۵ | ۴ | ۴ | ۴ | | |
| | ۲ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | | |
| | ۳ | ۱۵ | ۱۵ | ۹ | ۹ | ۸ | ۷ | | |
| | ۴ | ۶ | ۶ | ۵ | ۴ | ۴ | ۴ | | |
| | ۵ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۱۰ | | |
| | ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۲ | ۱۵ | | |
| | ۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۵ | ۱۰ | | |
| | فرودگاه امام خمینی(ره) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | | |
| جابجایی مسافر- میلیون سفر | ۱ | ۲۳۱ | ۲۳۹ | ۲۳۱ | ۲۲۶ | ۲۲۵ | ۲۱۴ | | |
| | ۲ | ۱۹۸ | ۲۰۱ | ۱۹۲ | ۱۸۴ | ۱۸۰ | ۱۹۵ | | |
| | ۳ | ۹ | ۳۰ | ۵۰ | ۶۶ | ۷۲ | ۹۰ | | |
| | ۴ | ۱۶۳ | ۱۷۴ | ۱۸۰ | ۱۸۳ | ۱۸۷ | ۱۶۸ | | |
| | ۵ | ۷۰ | ۷۳ | ۶۹ | ۶۳ | ۶۳ | ۷۸ | | |
| | ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | | |
| | ۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۲۱ | | |
| | فرودگاه امام خمینی(ره) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | | |

در ادامه به محاسبه شاخص‌هایی که از نسبت تعداد قطارها به مسافره‌های جابه‌جا شده، حداقل فاصله زمانی عبور قطارها به مسافره‌های جابه‌جا شده و تعداد قطارها نسبت به طول مسیر بهره‌برداری شده به دست می‌آید، پرداخته می‌شود. شاخص اول که تعداد قطارها به مسافره‌های جابه‌جا شده است می‌بایست برای تحلیل با شاخص دوم و سوم که نسبت حداقل فاصله زمانی عبور قطارها به مسافره‌های جابه‌جا شده و تعداد قطارها نسبت به طول مسیر بهره‌برداری شده است، مقایسه شود.

۴- تحلیل داده

در این بخش به تحلیل شاخص‌ها پرداخته می‌شود، سه شاخص محاسبه شده در جداول زیر مشاهده می‌شود. شاخص اول که نسبت تعداد قطارها به مسافره‌های جابه‌جا شده می‌باشد در جدول ۴، شاخص دوم که نسبت حداقل فاصله زمانی عبور قطارها به مسافره‌های جابه‌جا شده می‌باشند در جدول ۵ و شاخص سوم که از نسبت تعداد قطارها به طول مسیر بهره‌برداری شده به دست می‌آید در جدول ۶ قابل مشاهده است.

جدول ۴_ نتیجه شاخص اول

| عنوان | خط | سال ۹۳ | سال ۹۴ | سال ۹۵ | سال ۹۶ | سال ۹۷ | سال ۹۸ |
|---|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| قطارها- عدد نسبت به جابجایی مسافر | ۱ و توسعه جنوبی | ۰,۴۴۲ | ۰,۴۶۹ | ۰,۵۳۷ | ۰,۶۱۱ | ۰,۶۱۸ | ۰,۲۴۳ |
| | ۲ | ۰,۱۱۱ | ۰,۱۰۹ | ۰,۱۱۵ | ۰,۱۲۰ | ۰,۱۲۲ | ۰,۲۲۶ |
| | ۳ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۲۶۷ |
| | ۴ (مشترک با ۲) | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۲۱۴ |
| | ۵ | ۰,۳۴۳ | ۰,۳۴۲ | ۰,۳۷۷ | ۰,۴۱۳ | ۰,۴۱۳ | ۰,۲۹۵ |
| | ۶ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۲,۵۰۰ |
| | ۷ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۳۸۱ |
| | فرودگاه امام خمینی(ره) | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ |

جدول ۵_ نتیجه شاخص دوم

| عنوان | خط | سال ۹۳ | سال ۹۴ | سال ۹۵ | سال ۹۶ | سال ۹۷ | سال ۹۸ |
|---|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| حداقل فاصله زمانی عبور قطارها- دقیقه نسبت به جابجایی مسافر | ۱ | ۰,۰۱۹ | ۰,۰۱۹ | ۰,۰۱۹ | ۰,۰۱۸ | ۰,۰۱۸ | 0.016 |
| | ۲ | ۰,۰۲۰ | ۰,۰۲۰ | ۰,۰۲۱ | ۰,۰۲۲ | ۰,۰۲۲ | 0.018 |
| | ۳ | ۱,۶۶۷ | ۰,۵۰۰ | ۰,۱۸۰ | ۰,۱۳۶ | ۰,۱۰۴ | 0.078 |
| | ۴ | ۰,۰۳۷ | ۰,۰۳۴ | ۰,۰۲۸ | ۰,۰۲۲ | ۰,۰۲۱ | 0.021 |
| | ۵ | ۰,۱۰۰ | ۰,۰۹۶ | ۰,۱۰۱ | ۰,۱۱۱ | ۰,۱۱۱ | 0.128 |
| | ۶ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | 7.500 |
| | ۷ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۱۳,۶۳۶ | 0.476 |
| | فرودگاه امام خمینی(ره) | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | 0.000 |

جدول ۶- نتیجه شاخص سوم

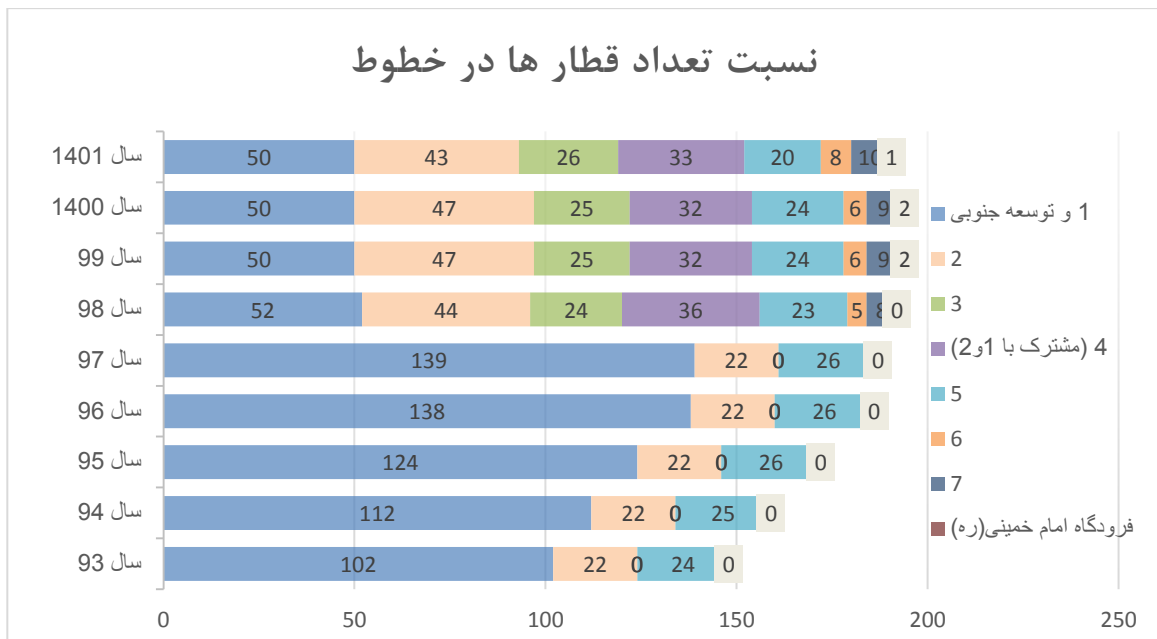
| عنوان | خط | سال ۹۳ | سال ۹۴ | سال ۹۵ | سال ۹۶ | سال ۹۷ | سال ۹۸ | سال ۹۹ | سال ۱۴۰۰ |
|----------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| قطارها - | ۱ | 2.429 | 2.872 | 2.884 | 3.286 | 3.310 | 1.238 | 1.190 | 1.190 |
| | ۲ | 0.846 | 0.846 | 0.846 | 0.846 | 0.846 | 1.692 | 1.808 | 1.808 |
| عدد | ۳ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.649 | 0.676 | 0.676 |
| نسبت به | ۴ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.440 | 1.280 | 1.280 |
| طول | ۵ | 0.558 | 0.595 | 0.619 | 0.605 | 0.605 | 0.535 | 0.558 | 0.558 |
| مسیر | ۶ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.333 | 0.333 |
| بهره | ۷ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.364 | 0.409 | 0.409 |
| برداری | فرودگاه امام خمینی(ره) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.063 | 0.063 |

باتوجه به شاخص‌های به دست آمده در جدول ۴ در سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ برای خطوط مختلف به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که در خط ۱ تا سال ۱۳۹۷ نسبت تعداد قطار به مسافری در حال افزایش بوده و در سال ۹۸ روند کاهشی داشته است، به این علت که تعداد قطارهای این خط در سال ۱۳۹۷ از ۱۳۹ عدد به ۵۲ عدد کاهش یافته است و تأثیر منفی گذاشته است که این روند در خط ۲ و ۵ هم به این صورت می‌باشد. در خطوط ۳ و ۴ داده‌ای در سالنامه آماری وجود ندارد و در خطوط ۶ و ۷ نیز که از سال ۹۸ تأسیس شده‌اند، داده‌ها فقط برای سال ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۰ وجود دارند و نمی‌توان به صورت دقیق بررسی شوند.

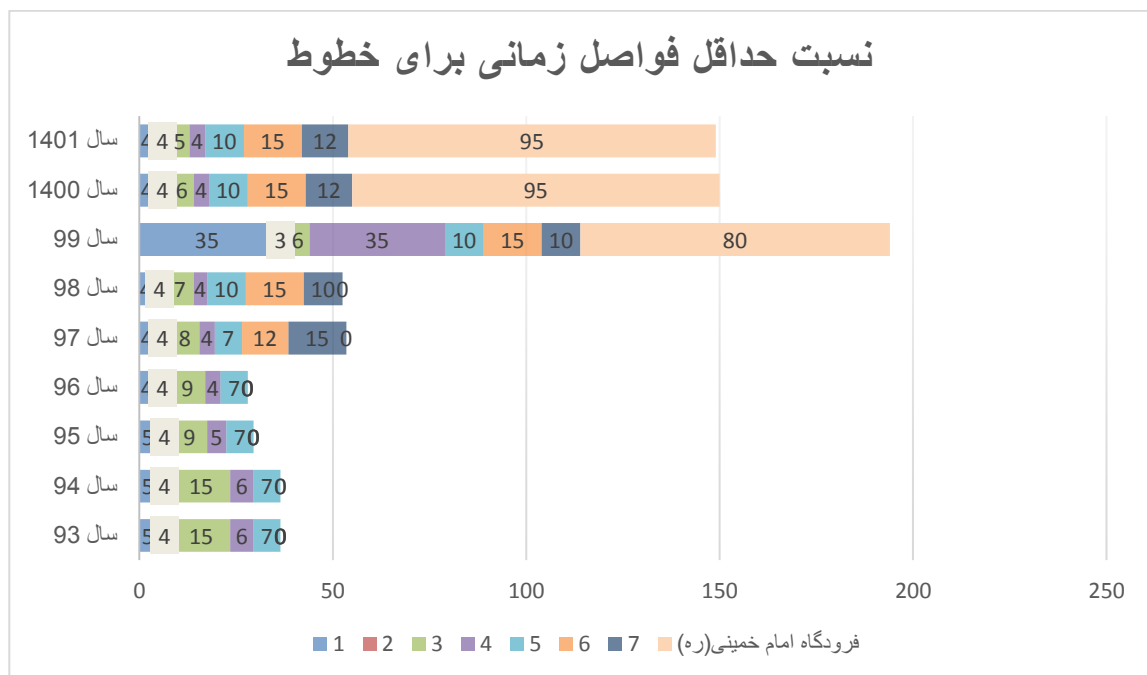
شاخص دوم که در جدول ۵ مشاهده می‌شود بیانگر فاصله زمانی عبوری خطوط است که این عدد در خطوط ۱ تا ۴ روند کاهشی دارد که به معنای کاهش اتلاف وقت مسافری می‌باشد که به علت افزایش تعداد قطار در این سال‌ها است. در خط ۵ اما این روند افزایشی است که به علت افزایش مسافری و کاهش تعداد قطار در این سال‌ها می‌باشد. در خطوط ۶ و ۷ هم به علت تازه تأسیس بودن آن‌ها، داده در دسترس نمی‌باشد و نمی‌توان آن‌ها را به صورت دقیق بررسی کرد.

شاخص سوم هم که در جدول ۶ قابل مشاهده است، بیانگر نسبت تعداد قطار به طول بهره‌برداری شده است که این شاخص برای خطوط تا سال ۱۴۰۰ روند افزایشی و مثبتی داشته است؛ اما در خط ۱ از سال ۱۳۹۹ این روند به علت کاهش تعداد قطار روند کاهشی داشته است و برای خطوط ۴ و ۶ نیز داده‌ها از سال ۱۳۹۸ موجود می‌باشند که این روند در خط ۴ به علت کاهش تعداد قطار و در خط ۶ به دلیل افزایش بیشتر طول بهره‌برداری نسبت به تعداد قطار، کاهشی است.

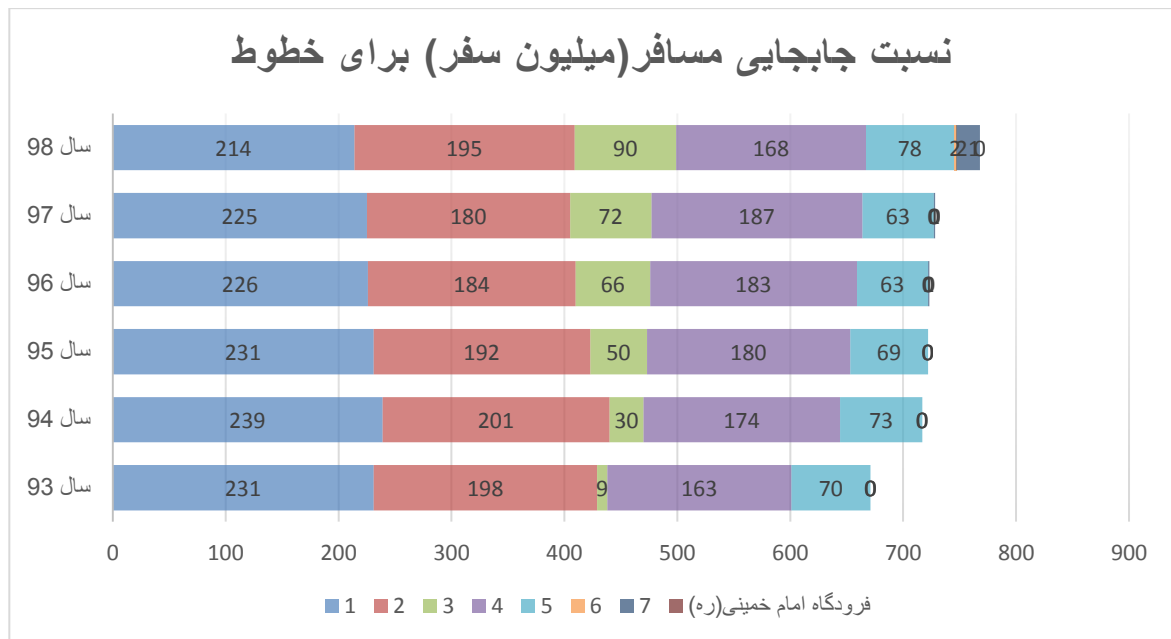
برای درک بهتر این موضوع نسبت تعداد قطارها، فاصله زمانی و مسافرهای جابه‌جا شده را برای خطوط به صورت نموداری در شکل‌های ۱ و ۲ و ۳ آورده شده است.



شکل ۱_ نمودار نسبت تعداد قطارها در خطوط مختلف



شکل ۲_ نمودار نسبت حداقل فواصل زمانی در خطوط مختلف



شکل ۳_ نمودار نسبت جابجایی مسافر (میلیون سفر) برای خطوط مختلف

نتیجه گیری

امروزه باتوجه به افزایش روزافزون ترافیک و استفاده مردم از حمل و نقل عمومی، مترو نقشی مهمی در حمل و نقل عمومی کلان شهرها ایفا می کند. باتوجه به بررسی و تحلیل جداول و نمودارهای بالا، می توان نتیجه گیری کرد که با افزایش تعداد واگن های قطار در شبکه قطار شهری، افزایش قابل توجهی در جابه جایی مسافران داشته است. این امر سبب می شود که اتلاف زمان مسافری به حداقل ممکن رسیده و باعث افزایش بهداشت روانی و عمومی جامعه گردد. در نتیجه استفاده از وسایل نقلیه شخصی کاهش یافته و سبب کاهش آلودگی هوا، آلودگی صوتی و ترافیک شهری می شود. به طور کلی با کاهش ترافیک، مصرف سوخت نیز کاهش پیدا کرده و عمر روسازی جاده نیز افزایش پیدا می کند.

بنابراین این عوامل نیازمند برنامه ریزی جامع و بلندمدت در سطح کشور و کلان شهرها می باشد و مسئولین باید نگاه جامع و دقیق تری به مسائل حمل و نقل عمومی کشور و نگاه ویژه ای در زمینه خودکفایی تولید واگن ها داشته باشند.

مراجع

Aghabeigi, P., Khalili, M., & Ebrahimnejad, S. (2014). Designing a model for ranking and evaluating the efficiency of metro stations (case study: Tehran metro stations) 12th International Industrial Engineering Conference

Ahadi, H., & Rashid, F. (2013). Evaluating the efficiency of metro stations in Tehran using the method of data envelopment analysis, the 6th international conference on data envelopment analysis,

Chen, S., Y. Leng, et al. (2014). "Integrated weight-based multi-criteria evaluation on transfer in large transport terminals: A case study of the Beijing South Railway Station." Transportation Research Part A: Policy and Practice 66: 13-26

Eilat, H., Golany, B., & Shtub, A. (2006). Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. *European journal of operational research*, 172(3), 1018-1039.

He, C., & Teng, J. (2014). Traffic organization and simulation evaluation outside the urban rail transit station in emergent events. In *CICTP 2014: Safe, Smart, and Sustainable Multimodal Transportation Systems* (pp. 3797-3808).

<https://data.tehran.ir/>

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2004). *Strategy maps: converting intangible assets into tangible outcomes*. Harvard Business Press.

Lee, A. H., Chen, W. C., & Chang, C. J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert systems with applications*, 34(1), 96-107.

Mao, L., Zheng, B., Gao, H., & Liu, P. (2014). Evaluation and Optimization of Subway Plan Based on Complex Network. In *Challenges and Advances in Sustainable Transportation Systems* (pp. 389-396).

Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International journal of operations & production management*, 15(4), 80-116.

Otto, S. (2010). *The psychology of transport choice*. Institute for Ecological Economic Research (IÖW), Corpus-The SCP Knowledge Hub.

Ravi, V., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2005). Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. *Computers & industrial engineering*, 48(2), 327-356.

Wang, J. C., & Wu, H. (2006). Corporate performance efficiency investigated by data envelopment analysis and balanced scorecard. *Journal of American Academy of Business*, 9(2), 312-318.

Wu, X., Liu, Q., Zhang, L., Skibniewski, M. J., & Wang, Y. (2015). Prospective safety performance evaluation on construction sites. *Accident Analysis & Prevention*, 78, 58-72.