# Performance Management of Public Transportation by the Network Data Envelopment Analysis (DEA) Model

**Babak Farhang Moghaddam**[1] | farhang@imps.ac.ir
**Zahra Saedi**[2]

**Abstract** Public transportation and bus route management is a serious challenge for any city, and its efficiency is an important problem for cities and transport agencies. Routing of public transport systems is also a very complex issue that affects not only the performance efficiency and the construction or operation costs, but also the performance indicators such as passenger transport, travel speed, and savings in travel time. Data Envelopment Analysis (DEA) is an optimization-based method that is widely used to measure the relative performance efficiency of public transportation systems. This paper attempts to evaluate the performance of bus routes in a public transportation system using the two-stage DEA model. A conceptual framework for performance appraisal is presented and appropriate input and output indicators are selected to calculate the performance efficiency and service efficiency of each route. The performance of the achievement (model) is then analyzed and the bus routes that need to be reconfigured and optimized are identified. Ten bus routes in Tehran have been selected for practical applications.

**Keywords:** Performance Evaluation, Public Transportation, BRT Route, Data Envelopment Analysis, Two-Stage DEA.

**JEL Classification:** C61, C80, L91.

1. Associate Professor, Department of Economics, Institute for Management and Planning studies, Tehran, Iran, (Corresponding Author).
2. Ph.D. Student, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.

The Journal of PLANNING & BUDGETING
Vol. 25 | No. 2 | Summer 2020 | PP 45-58
doi 10.52547/jpbud.25.2.45 | ISSN: 2251-9092

# توسعه حمل‌ونقل بر اساس ارزیابی عملکرد با استفاده از تحلیل پوششی شبکه‌ای داده‌ها

**بابک فرهنگ مقدم** | farhang@imps.ac.ir
دانشیار گروه اقتصاد موسسه عالی آموزش و پژوهش
مدیریت و برنامه‌ریزی (نویسنده مسئول).

**زهرا ساعدی**
دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات و فناوری.

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶ | پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۷

**چکیده:** مدیریت اتوبوس‌ها و مسیرهای حمل‌ونقل اتوبوسی یک چالش جدی برای هر شهر است و اجرای کارامد آن یک مسئله حیاتی برای شهرداری‌ها و شرکت‌های حمل‌ونقل به‌شمار می‌رود. از این‌رو، ارزیابی حمل‌ونقل همگانی مسئله‌ای است که جزو جدایی‌ناپذیر سیستم‌هایی است که خواهان بهبود و ارتقا در بازه‌های زمانی هستند. در این پژوهش، عملکرد مسیرهای اتوبوس در یک سیستم حمل‌ونقل عمومی با استفاده از مدل Two Stage DEA ارزیابی می‌شود. یک چارچوب مفهومی برای ارزیابی عملکرد ارائه می‌شود و شاخص‌های ورودی و خروجی مناسب برای محاسبه بازده عملیاتی و اثربخشی خدمات هر یک از مسیرها انتخاب می‌شود. سپس، تابع دستاورد تجزیه‌وتحلیل می‌شود و مسیرهای اتوبوس که نیاز به بهینه‌سازی و تنظیم مجدد دارند، مشخص می‌شوند. مطالعه موردی این پژوهش، خطوط اتوبوس‌های تندروی شهر تهران است که پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر اساس اطلاعات اشاره‌شده نتایج قابل‌توجهی را به همراه دارد.

**کلیدواژه‌ها:** ارزیابی عملکرد، حمل‌ونقل عمومی، مسیر اتوبوس تندرو، تحلیل پوششی داده‌ها، Two Stage DEA

**طبقه‌بندی JEL:** C61, C80, L91.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | doi 10.52547/jpbud.25.2.45
سال بیست و پنجم | شماره ۲ | تابستان ۱۳۹۹ | ص ص ۵۸-۴۵

## مقدمه

ارزیابی عملکرد در حوزه خدمات شهری، به‌ویژه حمل‌ونقل شهری، از موضوع‌های جذاب و پرمخاطب حوزه ارزیابی عملکرد محسوب می‌شود. با افزایش تراکم ترافیک در شهرها و افزایش مشکلات ناشی از آن، به‌ویژه آلودگی‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه، نیاز برای بهبود حمل‌ونقل بیش‌تر احساس می‌شود. با وجود مزایای زیادی که سیستم اتوبوسرانی از نظر انعطاف‌پذیری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایین دارد، اما همان‌طور که عیان است، کاربران این سیستم کم‌تر کیفیت مناسبی را در خدمات سیستم اتوبوسرانی مشاهده می‌کنند که بیش‌تر ناشی از نبود سیستم‌های ارزیابی مناسب است.

پیش از ورود خودرو به ایران، از وسایلی همچون واگن اسبی و درشکه برای جابه‌جایی افراد در شهرهای بزرگ استفاده می‌شد. با گسترش تولید خودرو در ایران و ایجاد زیرساخت‌های آن در طول دهه‌های اخیر، و با وجود تهیه بسیاری از طرح‌های حمل‌ونقلی در شهرهای مختلف، استفاده از حمل‌ونقل همگانی به‌شدت کاهش یافت. اما امروزه با وجود ناتوانی این شیوه حمل‌ونقلی در برآورد میزان نیاز شهروندان و ناهماهنگی با آن‌ها، تلاش‌هایی در زمینه بهبود شرایط حمل‌ونقل همگانی در شهرها، به‌ویژه شهرهای بزرگ، صورت گرفت. زیرا حمل‌ونقل همگانی در محیط‌های شهری با دارا بودن مزایایی همچون امکان جابه‌جایی حجم بالای مسافران، امکان استفاده اقشار مختلف اجتماعی و با دارا بودن منافع همگانی و اقتصادی به عنوان یکی از مولفه‌های اصلی برای دستیابی به توسعه پایدار سهم بسزایی در کاهش آلودگی هوا در نواحی شهری دارد (شریفیان‌پور و فریادی، ۱۳۹۱).

از آن‌جا که شبکه اتوبوسرانی تهران سهم قابل‌توجهی در جابه‌جایی روزانه مسافران دارد، پژوهش حاضر بر آن است که با استفاده از روشی دقیق و نوین با ماهیتی کاربردی و با استفاده از جدیدترین روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) به ارزیابی کارایی سامانه اتوبوسرانی در تهران بپردازد.

سیستم‌های حمل‌ونقل به شیوه‌های مختلف بر ذی‌نفعان تاثیر می‌گذارد. برای مثال، زمان سفر برای مسافران، رعایت محدودیت‌های مالی برای ارائه‌دهندگان خدمات حمل‌ونقل، و مسائل مربوط به ایمنی و محیط‌زیست برای جوامع اهمیت دارد. منافع متضاد، روش‌های ارزیابی[2] اقتصادی سنتی مانند تحلیل هزینه ـ سود را ناکارامد می‌کند، زیرا این روش‌ها برای در نظرگرفتن همزمان دیدگاه‌های مختلف (استفاده‌کنندگان، ارائه‌دهندگان خدمات، و جامعه)، که برای ارزیابی عملکرد سیستم حمل‌ونقل مهم است، ناکافی هستند. همچنین، در نظرگرفتن همزمان جنبه‌های مختلف دیدگاه‌های مختلف در بسیاری از

1. Data Envelopment Analysis
2. Evaluation

ماموریت‌های حمل‌ونقل یک ضرورت است که به عنوان شکاف پژوهش این حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## مبانی نظری پژوهش

حمل‌ونقل همگانی از اجزای مهم و صحیح سیستم حمل‌ونقل محلی است. با توجه به روندهای اخیر و همچنین کاهش بودجه سازمان‌های درگیر حمل‌ونقل همگانی، این سازمان‌ها سعی دارند با کارایی بیش‌تری عمل کنند. توماز‌ینیس[1] (۱۹۷۷)، مجموعه‌ای از شاخص‌ها را برای سنجش عملکرد سیستم حمل‌ونقل همگانی تعیین می‌کند و جنبه‌های مفهومی این ارزیابی را شامل کارایی، بهره‌وری، و کیفیت خدمت برمی‌شمارد. فیلدینگ و همکاران[2] (۱۹۷۸)، تعداد زیادی از شاخص‌ها را که می‌توانند برای ارزیابی عملکرد حمل‌ونقل استفاده شوند، پیشنهاد می‌دهند. در ادامه این پژوهش‌ها، پژوهشگران بسیاری از شاخص‌های پیشنهادی برای تحلیل عملکرد و بهره‌وری سیستم حمل‌ونقل استفاده می‌کنند. به باور کارلافتیس[3] (۲۰۰۴)، مشکل نتایج پژوهش‌های پیشین این است که تنوع این شاخص‌ها که عموماً نتایج متناقضی درباره عملکرد نشان می‌دهند، رسیدن به یک نتیجه کلی را دشوار می‌کند. نتیجه این ادراک نیازمندی یک شاخص یا مجموعه کوچک‌تری از شاخص‌ها برای توصیف عملکرد سیستم حمل‌ونقل است. برای تحقق این امر از انواع مختلف روش‌ها[4] و داده‌ها استفاده می‌شود، اما مشکل اصلی این است که سنجه عملکرد از اساس بستگی به روش‌ها و خروجی‌هایی دارد که در هر پژوهش استفاده می‌شود. کارلافتیس و سامبولس[5] (۲۰۱۲)، ارزیابی عملکرد را به سوی رویکرد DEA سوق می‌دهند.

روش‌های سنجش کارایی با استفاده از رویکرد DEA، بر اساس کار اصیل فارل[6] (۱۹۵۷) آغاز می‌شود. چارنز و همکاران[7] (۱۹۷۸)، مدل ارزیابی کارایی را برای امکانات تولید با بازده ثابت به مقیاس ارائه می‌دهند که بعدها توسط بنکر و همکاران[8] (۱۹۸۴)، مدل ارزیابی کارایی برای هر دو بازدهی به مقیاس ثابت و کاهنده توسعه می‌یابد. ویتن[9] (۱۹۹۷)، با استفاده از رویکرد DEA، کارایی نمونه‌ای از شرکت‌های اتوبوسرانی فرانسه را ارزیابی می‌کند. ویتن (۱۹۹۸)، با استفاده از رویکرد DEA

1. Tomazinis
2. Fielding *et al.*
3. Karlaftis
4. Methodologies
5. Karlaftis & Tsamboulas
6. Farrel
7. Charnes *et al*.
8. Banker *et al*.
9. Viton

کارایی سیستم اتوبوسرانی[1] آمریکا را بین سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۹۲ برای تشخیص تغییرهای کارایی این سیستم با استفاده از دو سنجه راسل (ایستا) و مالمکوئیست (پویا) ارزیابی می‌کند که دو سنجه تغییر بهره‌وری هستند. نولان و همکاران[2] (۲۰۰۱)، کارایی سیستم اتوبوسرانی چندوسیله‌ای[3] آمریکا را با استفاده از رویکرد DEA تحلیل می‌کنند. بویله[4] (۲۰۰۱)، برای یک گروه از سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی اتوبوس کارایی فنی و مقیاسی نسبی آن‌ها را تحلیل می‌کند. پینا و تورس[5] (۲۰۰۱)، کارایی دو بخش خصوصی و عمومی را در ارائه خدمات حمل‌ونقل همگانی با استفاده از رویکرد DEA، مدل رگرسیون خطی چندگانه، مدل لوجیت، و تحلیل خوشه‌ای ارزیابی می‌کنند. ادک و الکدی[6] (۲۰۰۱)، عملکرد شرکت‌های حمل‌ونقل همگانی اتوبوس نروژ را که از دولت یارانه دریافت می‌کنند، با استفاده از رویکرد DEA با نقطه‌نظر کارایی سازنده[7] مورد بررسی قرار می‌دهد. کارلافتیس (۲۰۰۴)، با استفاده از رویکرد DEA، کارایی و اثربخشی سیستم حمل‌ونقل همگانی را به عنوان اجزای تشکیل‌دهنده کارایی می‌داند، و رابطه این دو بعد را ارزیابی می‌کند. وی همچنین، اقتصاد مقیاس سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی را بر اساس تخمین کارایی آن‌ها اندازه‌گیری می‌کند. بووام[8] (۲۰۰۴)، با یک روش خودراه‌انداز DEA کارایی فنی سیستم حمل‌ونقل همگانی شهری کانادا را بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۸ تخمین می‌زند. سامبولس[9] (۲۰۰۶)، اثر مقررات تنظیمی مختلف مانند مقررات رقابت و بهره‌برداری خصوصی نمونه بزرگی از کشورهای اروپایی را بر عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی با استفاده از رویکرد DEA ارزیابی می‌کند. بارنوم و همکاران[10] (۲۰۰۸)، از رویکرد DEA برای ارزیابی عملکرد چندین مسیر (خط) اتوبوس[11] یک سیستم حمل‌ونقل به‌جای ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل مختلف استفاده می‌کنند. همچنین، با استفاده از یک رویه جدید تاثیرهای محیطی را که خارج از کنترل نهاد حمل‌ونقل[12] است، در داده‌های ورودی ارزیابی عملکرد تنظیم می‌کنند. سامپایو

1. Bus Transit Systems
2. Nolan *et al*.
3. Multi-Mode
4. Boilé
5. Pina & Torres
6. Odeck & Alkadi
7. Productive Efficiency Point of View
8. Boame
9. Tsamboulas
10. Barnum *et al*.
11. Multiple Bus Routes
12. Transit Agency

و همکاران[1] (۲۰۰۸)، از رویکرد DEA برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل واقع در کشورهای اروپایی و در برزیل استفاده می‌کنند تا با توجه به عملکرد این سیستم‌ها و خصوصیات آن‌ها برای مشکل سیستم حمل‌ونقل منطقه شهری رسیف[2] راه‌حل ارائه دهند. لائو و لیو[3] (۲۰۰۹)، عملکرد سیستم حمل‌ونقل همگانی اتوبوس را با استفاده از روشی ارزیابی می‌کنند که تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی[4] (GIS) را در هم تلفیق می‌کنند. حتی برای سیستم‌های ریلی که نسبت به سایر سیستم‌ها عملکرد آن بر پایه تجهیزات مشخص می‌شود، به‌تازگی بررسی‌های خوبی انجام شده است (Taboada & Han, 2020).

**جدول ۱: ساختارهای مختلف داده در سیستم‌های ارزیابی حمل‌ونقلی (Cavaignac Petiot, 2017)**

| شبکه | ورودی | | | خروجی | |
|---|---|---|---|---|---|
| سیستم حمل‌ونقل شهری | تعداد کارکنان، مقدار سوخت، تعداد وسایل نقلیه | | | در مدل کارایی: مجموع وسایل نقلیه ـ مایل<br>در مدل اثربخشی: تعداد رانندگان سالانه | |
| ایرلاین | عملیات:<br>تعداد کارکنان<br>نفت کیهانی | خدمات:<br>هزینه فروش صندلی موجود ـ کیلومتر<br>تن بار موجود ـ کیلومتر<br>اندازه ناوگان | فروش:<br>درآمد مسافر ـ کیلومتر<br>درآمد تن ـ کیلومتر | عملیات:<br>صندلی موجود ـ کیلومتر<br>تن موجود ـ کیلومتر | خدمات:<br>درآمد مسافر ـ کیلومتر<br>درآمد تن ـ کیلومتر<br>فروش:<br>درآمد کلی کسب‌وکار |
| مسیر اتوبوس | صندلی موجود در هر مسیر ـ کیلومتر<br>تعداد صندلی موجود در هر مسیر ـ ساعت | | تعداد راننده، محدوده خدمات، متوسط فرکانس، کارایی به‌موقع | کارایی عملیاتی: تعداد مسافر جابه‌جاشده<br>اثربخشی: مجموع مسافران | |
| حمل‌ونقل شهری | تعداد اتوبوس، تعداد کارکنان نگهداری، تعداد گالن سوخت | | | مسیر طی‌شده ـ مایل<br>کارکنان غیر از تعمیر و نگهداری | |

1. Sampaio *et al*.
2. Recife Metropolitan Area
3. Lao & Liu
4. Geographic Information Systems

**ادامه جدول ۱: ساختارهای مختلف داده در سیستم‌های ارزیابی حمل‌ونقلی (Cavaignac Petiot, 2017)**

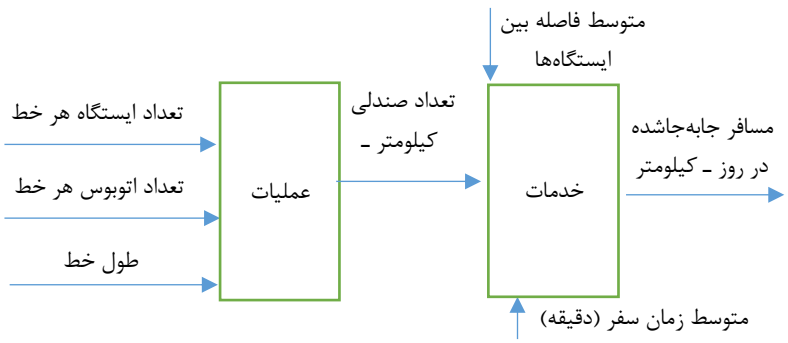
| شبکه | ورودی | | خروجی |
|---|---|---|---|
| ایرلاین | تعداد کارکنان، صندلی موجود ـ مایل | درآمد مسافر ـ مایل، درآمد عملیات، کیفیت خدمات | مایل وسیله نقلیه |
| ایرلاین | کیلومتر پرواز، مجموع دارایی‌ها | | تعداد پرواز، وزن بار حمل‌شده |
| ایرلاین | سرمایه پرواز، تعداد کارگر، کمّیت متریال | کمّیت درآمد حاصل از پرواز، بار حمل‌شده | تن بار موجود ـ کیلومتر |

اگرچه ابزار DEA از یک منطق مشخص و واحد تبعیت می‌کند، ولی بر اساس مورد مطالعه انعطاف بسیار بالایی دارد و بر اساس تمرکز بر هدف مدل‌های متفاوتی را می‌توان از آن استخراج کرد. همچنین، بر اساس هدفی که پژوهشگر به دنبال آن است، می‌توان از داده‌هایی استفاده کرد که گاه ساختار مختلفی دارند. در جدول (۱)، برخی از پژوهش‌هایی جمع‌آوری می‌شود که در خصوص ارزیابی سیستم‌های حمل‌ونقل از ابزار تحلیل پوششی استفاده می‌کنند. دلیل این کار نشان می‌دهد که تفاوت ساختاری و داده‌های مختلفی در ارزیابی استفاده می‌شود، برای مثال روشن است که در مطالعات ارزیابی ایرلاین‌ها چه تفاوت‌هایی در پژوهش‌های مختلف وجود دارد (Mahmoudi *et al.*, 2020).

در گذشته، سنجه‌های عملکرد سازمان‌های حمل‌ونقلی محدود به خدمات اصلی آن‌ها می‌شده و موضوع مطالعات سنتی عملکرد حمل‌ونقل بوده است. راه‌های زیادی برای بررسی عملکرد در بخش حمل‌ونقل وجود دارد. به‌طور معمول در دوره‌های اولیه سنجه‌های عملکرد، شاخص‌ها نسبتی بودند. برای مثال وسیله ـ ساعت بر مستخدم، وسیله ـ کیلومتر بر وسیله فعال، مسافران بر درآمد وسیله ـ ساعت، درآمد وسیله ـ ساعت بر هزینه عملیاتی، در مواقعی که یکی از این نمایانگرها افزایش عملکرد و دیگر نمایانگرها کاهش را نشان می‌دهند، برآورد عملکرد کلی دشوار است و همچنین در نظرگرفتن تنها یکی از این نمایانگرها گمراه‌کننده است. بنابراین، این سنجه‌ها فقط در مواردی مناسب و کافی است که فقط یک ورودی و یک خروجی وجود داشته باشد (Hwang *et al.*, 2016). با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد حمل‌ونقل استفاده از روش‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها مناسب نیست، بنابراین مدل‌های شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها پیشنهاد می‌شود (Omrani *et al.*, 2019).

## روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش، بر اساس برداشت موضوعی از مرور ادبیات و همچنین بررسی اطلاعات موجود در بانک‌های اطلاعاتی موجود در شرکت اتوبوسرانی شهر تهران، مدل دومرحله‌ای ارزیابی شبکه اتوبوسرانی سریع شهر تهران بنا می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود، برای تعدیل ساختار ارزیابی عملکرد، یک متغیر ورودی در مرحله دوم به مدل وارد می‌شود که در تحلیل نتایج تاثیری قابل‌توجهی دارد.




**شکل ۱: مدل تحلیل پوششی دومرحله‌ای**

بر اساس مفاهیم اولیه تحلیل پوششی داده‌ها، برای هر یک از خطوط در بخش سمت چپ شکل (۱) یک کارایی را مطابق مدل (۱) محاسبه می‌کنیم. سپس بر اساس خروجی که از این مدل به‌دست می‌آید، به همراه ورودی بخش خدمات مدل (۲) طراحی می‌شود که اثربخشی را در مرحله دوم تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی می‌کند. با توجه به این‌که ترتیب حل مدل باید از بین برود و یک مدل همزمان اثربخشی سیستم را بسنجد، مدل‌های (۱) و (۲)، به صورت تلفیقی و مطابق مدل (۳) ارائه می‌شوند.

کارایی بخش عملیات (مدل ۱)

$$\text{Max} \frac{U_A^T Y_{A_0}}{V_A^T X_{A_0}} = E_{AA}$$

$$\text{s.t} \quad \frac{U_A^T Y_{A_j}}{V_A^T X_{A_j}} \leq 1 \qquad j = 1, \dots, n$$

$$U_A^T, V_A^T \geq 0$$

اثربخشی بخش خدمات (مدل ۲)

$$\text{MAX}\ \frac{U_B^T Y_{B_o}}{V_B^T X_{B_0} + D \times \mu_A^T Y_{A_0}} = E_{AB}$$
$$\text{s.t}\ \frac{U_B^T Y_{Bj}}{V_B^T X_{B_j} + D \times \mu_A^T Y_{A_j}} \le 1 \qquad j = 1, \dots, n$$
$$\mu_A^T Y_{A_0} = E^*_{AA}$$
$$\omega_A^T X_{A_j} - \mu_A^T Y_{A_j} \ge 0 \qquad j = 1, \dots, n$$
$$\omega_A^T X_{A_0} = 1$$
$$\omega_A^T, \mu_A^T, U_B^T, V_B^T, D \ge 0$$

$$e_{AB} = \frac{1}{2}(E^*_{AA} + E^*_{AB})$$

کارایی کل (مدل ۳)

$$\text{MAX}\ \frac{1}{2}\left[\frac{C^T Y_{A_0}}{V_A^T X_{A_0}} + \frac{U_B^T Y_{B_0}}{C^T Y_{A_0} + V_B^T X_{B_0}}\right]$$
$$\text{s.t}\ \frac{C^T Y_{A_j}}{V_A^T X_{A_j}} \le 1 \qquad j = 1, \dots, n$$
$$\frac{U_B^T Y_{Bj}}{C^T Y_{A_j} + V_B^T X_{Bj}} \le 1 \qquad j = 1, \dots, n$$
$$c^T, V_A^T, V_B^T, U_B^T \ge 0$$

مدل (۳)، که کارایی کل را ارزیابی می‌کند، یک مدل کسری است که حل آن درجه سختی بالایی دارد و بر اساس مفاهیم تحلیل پوششی داده باید آن را خطی کرد (Liu *et al*., 2020). پس از خطی‌سازی مدل تلفیقی مدل (۴) به‌دست می‌آید:

کارایی کل خطی‌شده (مدل ۴)

$$\text{MAX}\ \frac{1}{2}(C_A^T Y_{A_0} + \mu_B^T Y_{B_0}) = V_p$$
$$\text{s.t}\ \ \omega_A^T X_{A_j} - C_A^T Y_{Aj} \ge 0 \quad j = 1, \dots, n$$
$$\omega_B^T X_{Bj} + k \times C_A^T Y_{Aj} - \mu_B^T Y_{Bj} \ge 0 \qquad j = 1, \dots, n$$
$$\omega_A^T X_{A_0} = 1$$
$$\omega_B^T X_{B0} + k \times C_A^T Y_{A0} = 1$$

همان‌طور که اشاره شد، یکی از مهم‌ترین مسائل در استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، شاخص‌هایی است که می‌توان در ارزیابی استفاده کرد. در این پژوهش، بر اساس مرور ادبیات و بررسی داده‌های ذخیره‌شده در شرکت اتوبوسرانی، مدل طراحی‌شده بر اساس اطلاعات جدول (۲) صورت می‌گیرد.

**جدول ۲: داده‌های ورودی و خروجی مربوط به خطوط اتوبوس‌های تندرو (BRT) شهر تهران**

| DMU (مسیر اتوبوس) | تعداد ایستگاه‌ها | تعداد اتوبوس | طول خط ـ کیلومتر | تعداد صندلی ـ کیلومتر | تعداد صندلی ـ کیلومتر | متوسط فاصله ایستگاه‌ها ـ کیلومتر | متوسط زمان سفر ـ دقیقه | تعداد مسافر جابه‌جاشده ـ روزانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۵ | ۱۲۴ | ۱۸/۷ | ۲۴۶ | ۲۴۶ | ۰/۷۴۸ | ۴۵ | ۲۵۰۰۰۰ |
| ۲ | ۲۸ | ۱۱۶ | ۲۰ | ۲۱۴ | ۲۱۴ | ۰/۷۱۴ | ۶۵ | ۲۰۰۰۰۰ |
| ۳ | ۱۸ | ۹۵ | ۱۳/۵ | ۲۷۰ | ۲۷۰ | ۰/۷۵۰ | ۴۰ | ۱۵۰۰۰۰ |
| ۴ | ۲۴ | ۱۰۰ | ۲۱/۵ | ۱۷۲ | ۱۷۲ | ۰/۸۹۵ | ۷۰ | ۱۷۰۰۰۰ |
| ۵ | ۱۰ | ۴۰ | ۸/۵ | ۶۸ | ۶۸ | ۰/۸۵۰ | ۲۵ | ۶۵۰۰۰ |
| ۶ | ۳۹ | ۱۰۵ | ۱۸ | ۲۱۵ | ۲۱۵ | ۰/۴۶۱ | ۶۵ | ۲۰۰۰۰۰ |
| ۷ | ۶ | ۴۰ | ۸ | ۱۸۵ | ۱۸۵ | ۱/۳۳ | ۲۵ | ۷۰۰۰۰ |
| ۸ | ۵۲ | ۱۳۹ | ۳۶ | ۱۴۲ | ۱۴۲ | ۰/۶۹۲ | ۸۰ | ۲۵۰۰۰۰ |
| ۹ | ۱۵ | ۱۰۰ | ۱۰/۳ | ۳۰۸ | ۳۰۸ | ۰/۶۸۵ | ۵۵ | ۱۸۰۰۰۰ |
| | ورودی‌های طبقه عملیات | | | خروجی عملیات | ورودی‌های طبقه خدمات | | | خروجی خدمات |

## تجزیه‌وتحلیل مدل

مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل می‌شود که برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌شود. بهترین راه برای به‌دست‌آوردن یک تصویر جامع از عملکرد مسیرها، مقایسه جامع بازده عملیاتی با اثربخشی خدمات است که در جدول (۳) اشاره می‌شود.

**جدول ۳: نتایج ارزیابی عملکرد مسیرهای اتوبوس**

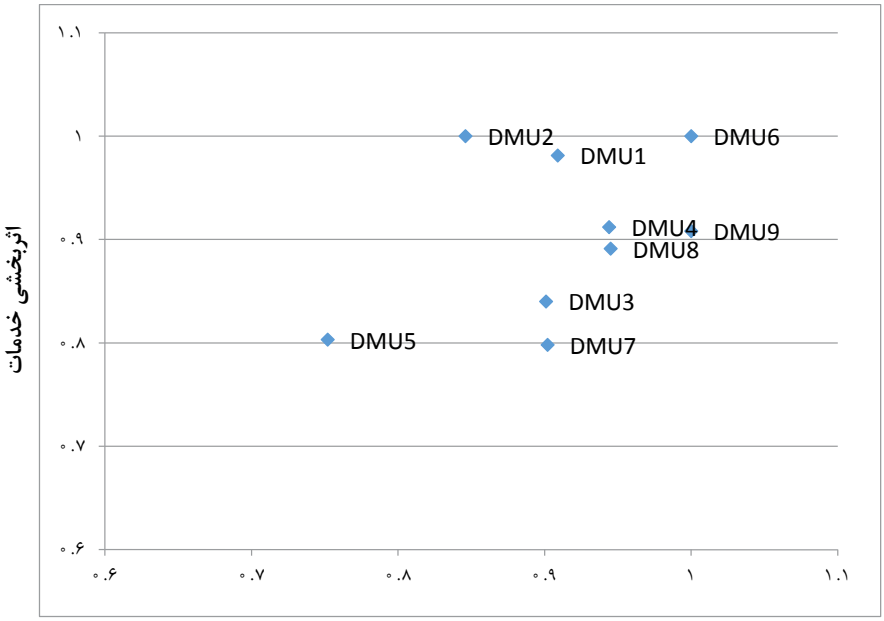
| DMU | بازده کلی | بازده عملیات | اثربخشی خدمات |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۹۴۵ | ۰/۹۰۹ | ۰/۹۸۱ |
| ۲ | ۰/۹۲۳ | ۰/۸۴۶ | ۱/۰۰ |
| ۳ | ۰/۸۷۰ | ۰/۹۰۱ | ۰/۸۴۰ |
| ۴ | ۰/۹۲۸ | ۰/۹۴۴ | ۰/۹۱۲ |
| ۵ | ۰/۷۷۷ | ۰/۷۵۲ | ۰/۸۰۳ |

**ادامه جدول ۳: نتایج ارزیابی عملکرد مسیرهای اتوبوس**

| DMU | بازده کلی | بازده عملیات | اثربخشی خدمات |
|---|---|---|---|
| ۶ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ |
| ۷ | ۰/۸۵۰ | ۰/۹۰۲ | ۰/۷۹۸ |
| ۸ | ۰/۹۱۸ | ۰/۹۴۵ | ۰/۸۹۱ |
| ۹ | ۰/۹۵۴ | ۱/۰۰ | ۰/۹۰۸ |

روش تحلیل پوششی داده‌ها به علت قابلیت انعطاف و هماهنگی با ماهیت مسئله ارزیابی عملکرد حمل‌ونقل می‌تواند به عنوان یک روش ارزیابی عملکرد جامع بکار رود. به‌طور کلی، شرکت‌های کارا در مقایسه با شرکت‌های ناکارا به صورت بهینه از ورودی‌هایشان استفاده می‌کنند و خروجی مطلوبی نیز دارند. بنابراین، برای این‌که یک واحد ناکارا کارا شود، باید مقداری ورودی مصرفی خود را کاهش دهد و به میزان خروجی تولیدی خود اضافه کند. به عبارت دیگر، مقادیر کمبود خروجی، مقدار کمبودی است که در صورت جبران، شرکت می‌تواند یک واحد کارا شود. همچنین، مقدار مازاد ورودی مقدار مازادی است که در صورت کاهش این مقدار از ورودی‌هایش، شرکت می‌تواند کارا شود.

با توجه به نتایج محاسباتی، مسیر شماره ۶، با بازده عملیاتی و اثربخشی خدمات ۱/۰۰ به عنوان کارامدترین مسیر در ارزیابی کلی است. مسیر اتوبوس شماره ۷ با وجود داشتن تعداد ایستگاه‌های کم، طول مسیر و طول خط پایین، دارای اثربخشی خدمات پایین است که باید دوباره برنامه‌ریزی شود. مسیرهای ۱، ۴، و ۹ که بازده عملیاتی و اثربخشی خدمات بالایی دارند، باید به فعالیت خود در شکل فعلی ادامه دهند. مطابق شکل (۲)، مسیرهای ۷ و ۳ که دارای بازده عملیاتی بالا ولی اثربخشی خدمات پایین هستند، باید برای جذب مسافران بیش‌تر و بهینه‌سازی عرضه خدمات بهتر برنامه‌ریزی مناسبی انجام دهند. مسیرهای ۲ و ۵ دارای اثربخشی خدمات بالایی هستند، اما بازده عملیاتی آن‌ها پایین است که نشان می‌دهد باید دوباره بررسی شوند. در نتیجه، مسیرهای اتوبوس که به لحاظ عملیاتی کارا هستند اما اثربخشی خدمات پایینی دارند، باید حمایت شوند. بازده عملیاتی نیز می‌تواند از راه افزایش بهره‌برداری و مدیریت بهبود یابد.




**شکل ۲: رابطه بین بازده عملیاتی و اثربخشی خدمات**

## بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت اتوبوس‌ها و مسیرهای حمل‌ونقل اتوبوسی یک چالش جدی برای هر شهر است و اجرای کارامد آن مسئله‌ای حیاتی برای شهرداری‌ها و شرکت‌های حمل‌ونقل است. همچنین، مسیریابی سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی مسئله بسیار پیچیده‌ای است که بر بازده عملیاتی و هزینه ساخت و بهره‌برداری، شاخص‌های عملکردی نظیر میزان حمل مسافر، سرعت سفر، صرفه‌جویی در زمان سفر، و تغییرهای کاربری زمین اثرهای زیست‌محیطی دارد. این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های نوین هرچند پیچیدگی محاسباتی خود را دارند، می‌تواند پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های حمل‌ونقل را در بر گیرد و نتایج مفید و کاربردی برای تصمیم‌گیرندگان به همراه داشته باشد.

برای نشان دادن عملکرد روش پژوهش ارائه‌شده، نُه مسیر اتوبوس در شهر تهران برای نمونهٔ عملی در نظرگرفته شد. با توجه به نتایج، مسیرهایی مشخص می‌شوند که اثربخشی خدمات کم و بازده عملیاتی بالایی دارند و نتیجه گرفته می‌شود که این مسیرها به منظور افزایش اثربخشی خدمات، برای جذب مسافران بیش‌تر، و بهینه‌سازی عرضه خدمات بهتر، باید برنامه‌ریزی مناسبی انجام دهند. یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در نبود کارایی نسبت به مقیاس، تعداد ایستگاه اتوبوس است که باعث می‌شود بیش‌تر خطوط ناکارا از این عامل تحت تاثیر قرار گیرند. به صورت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه طراحی خطوط تندرو بر اساس میزان تقاضا و گره‌های مربوطه طراحی و احداث می‌شود، ولی از آن‌جا که بسیاری از محاسبات بر اساس برآورد و باطبع دچار خطاست، بهتر است در برخی طراحی‌ها عوامل تجربی حاصل از ارزیابی‌های گذشته را نیز دخیل نمود. در این صورت می‌توان به این نکته اشاره کرد که طراحی خطوط با تعداد ایستگاه بیش‌تر می‌تواند کارایی خطوط تندرو را به واسطه نسبت به مقیاس بالاتر برد.

در این پژوهش، عوامل اجتماعی موثر بر مسیرها مانند قرارگیری تسهیلات مهم (مدرسه‌ها و بیمارستان‌ها) در مسیرها در نظرگرفته نشد که می‌تواند در پژوهش‌های آتی در نظرگرفته شود. همچنین، در نظرگرفتن نقاط انتقال بین مسیرها می‌تواند در پژوهش‌های آینده انجام شود.

## منابع

### الف) منابع فارسی


شریفیان‌پور، نسیم، و فریادی، شهرزاد (۱۳۹۱). *تحلیل مزایا و معایب سیستم حمل‌ونقل در شهر اصفهان*. دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران.


### ب) انگلیسی


Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science, 30*(9), 1078-1092. https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078

Barnum, D. T., Tandon, S., & McNeil, S. (2008). Comparing the Performance of Bus Routes after Adjusting for the Environment Using Data Envelopment Analysis. *Journal of Transportation Engineering, 134*(2), 77-85. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2008)134:2(77)

Boame, A. K. (2004). The Technical Efficiency of Canadian Urban Transit Systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 40*(5), 401-416.

https://doi.org/10.1016/j.tre.2003.09.002
Boilé, M. P. (2001). Estimating Technical and Scale Inefficiencies of Public Transit Systems. *Journal of Transportation Engineering, 127*(3), 187-194. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:3(187)
Cavaignac, L., & Petiot, R. (2017). A Quarter Century of Data Envelopment Analysis Applied to the Transport Sector: A Bibliometric Analysis. *Socio-Economic Planning Sciences, 57*(1), 84-96. https://doi.org/10.1016/j.seps.2016.11.003
Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research, 2*(6), 429-444.
Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120*(3), 253-281. https://doi.org/10.2307/2343100
Fielding, G. J., Glauthier, R. E., & Lave, C. A. (1978). Performance Indicators for Transit Management. *Transportation, 7*(4), 365-379. https://doi.org/10.1007/BF00168037
Hwang, S.-N., Lee, H.-S., & Zhu, J. (2016). *Handbook of Operations Analytics Using Data Envelopment Analysis:* Springer.
Karlaftis, M. G. (2004). A DEA Approach for Evaluating the Efficiency and Effectiveness of Urban Transit Systems. *European Journal of Operational Research, 152*(2), 354-364. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00029-8
Karlaftis, M. G., & Tsamboulas, D. (2012). Efficiency Measurement in Public Transport: Are Findings Specification Sensitive? *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46*(2), 392-402. https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.10.005
Lao, Y., & Liu, L. (2009). Performance Evaluation of Bus Lines with Data Envelopment Analysis and Geographic Information Systems. *Computers, Environment and Urban Systems, 33*(4), 247-255. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.01.005
Liu, H.-h., Yang, G.-l., Liu, X.-x., & Song, Y.-y. (2020). R&D Performance Assessment of Industrial Enterprises in China: A Two-Stage DEA Approach. *Socio-Economic Planning Sciences, 71*(1), 100753. https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.100753
Mahmoudi, R., Emrouznejad, A., Shetab-Boushehri, S.-N., & Hejazi, S. R. (2020). The Origins, Development and Future Directions of Data Envelopment Analysis Approach in Transportation Systems. *Socio-Economic Planning Sciences, 69*(1), 100672. https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.11.009
Nolan, J. F., Ritchie, P. C., & Rowcroft, J. (2001). Measuring Efficiency in the Public Sector Using Nonparametric Frontier Estimators: A Study of Transit Agencies in the USA. *Applied Economics, 33*(7), 913-922. 10.1080/00036840122663
Odeck, J., & Alkadi, A. (2001). Evaluating Efficiency in the Norwegian Bus Industry Using Data Envelopment Analysis. *Transportation, 28*(3), 211-232. https://doi.org/10.1023/A:1010333518966
Omrani, H., Shafaat, K., & Alizadeh, A. (2019). Integrated Data Envelopment Analysis and Cooperative Game for Evaluating Energy Efficiency of Transportation Sector: A Case of Iran. *Annals of Operations Research, 274*(1-2), 471-499.
Pina, V., & Torres, L. (2001). Analysis of the Efficiency of Local Government Services Delivery. An Application to Urban Public Transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 35*(10), 929-944. https://doi.org/10.1016/S0965-8564(00)00033-1
Sampaio, B. R., Neto, O. L., & Sampaio, Y. (2008). Efficiency Analysis of Public Transport

Systems: Lessons for Institutional Planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 42*(3), 445-454. https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.01.006
Taboada, G. L., & Han, L. (2020). Exploratory Data Analysis and Data Envelopment Analysis of Urban Rail Transit. *Electronics, 9*(8), 1270. https://doi.org/10.3390/electronics9081270
Tomazinis, A. R. (1977). *Study of Efficiency Indicators of Urban Public Transportation Systems. Final Report.* Transportation Studies Center, Pennsylvania University, Philadelphia (USA).
Tsamboulas, D. A. (2006). Assessing Performance under Regulatory Evolution: A European Transit System Perspective. *Journal of Urban Planning and Development, 132*(4), 226-234. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2006)132:4(226)
Viton, P. A. (1997). Technical Efficiency in Multi-Mode Bus Transit: A Production Frontier Analysis. *Transportation Research Part B: Methodological, 31*(1), 23-39. https://doi.org/10.1016/S0191-2615(96)00019-7
Viton, P. A. (1998). Changes in Multi-Mode Bus Transit Efficiency, 1988–1992. *Transportation, 25*(1), 1-21. https://doi.org/10.1023/A:1004906024774