دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال هشتم، شماره سی و هشتم، مهر و آبان ۱۴۰۱
شماره شاپا: ۵۸۸-۲۵۸۸X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهش‌های نوین در ریاضی

تعیین کارایی، رضایتمندی و بهره‌وری سیستم حمل و نقل عمومی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و مطالعه کاربردی آن روی خطوط اتوبوسرانی مشهد

ملیحه شاهکوئی[۱]، فرزاد رضائی بالف[۲*]، محسن ربانی[۳]، مهدی فلاح جلودار[۴]

[۱و۳] ساختمان گروه ریاضی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران
[۲] ساختمان گروه ریاضی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران
[۴] ساختمان گروه ریاضی، واحد آیت ا...آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

چکیده

روند رشد جمعیت و توسعه‌ی شهرها در دهه‌های اخیر، استفاده از وسایل نقلیه اعم از شخصی و عمومی را به دنبال داشته است. در این میان وسایل حمل و نقل عمومی با توجه به مقرون به صرفه بودن از نظر اقتصادی، توجهات زیادی را بخود جلب کرده است. بنابراین مسئولین برنامه‌ریزی شهری و شهرداری‌ها سعی در رفع مشکلاتی همچون؛ آلودگی‌های زیست محیطی، تراکم ترافیک‌های سنگین، ناامنی در برخی مسیرها، وجود تصادفات شدید در برخی معابر و مصرف بی‌رویه‌ی سوخت‌های متناسب با وسایل نقلیه (اعم از نفت و گاز– گازوئیل و بنزین) می‌باشند تا تدابیری مناسب بیندیشند. تحلیل پوششی داده‌ها با راهکارهای مناسب ریاضی ابزاری دقیق و جامع برای بررسی چنین وضعیت‌هایی می‌باشد، تا مدیران بتوانند با کمک آن بهترین تصمیم را اتخاذ و موانع موجود را برطرف نمایند. هدف ما در این مقاله، تعیین کارایی، رضایتمندی و بهره‌وری (بهره‌وری کارایی و بهره‌وری رضایتمندی) وسایل نقلیه‌ی عمومی بطور خاص ۱۰ خطوط اتوبوسرانی شهر مشهد می‌باشد، بطوری که بهره‌وری آنها در سه سال متوالی ۹۱، ۹۲ و ۹۳ مورد ارزیابی قرار گرفته است و نسبت بهره‌وری رضایتمندی به بهره‌وری کارایی هر خط مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی، رضایتمندی، بهره‌وری، حمل و نقل عمومی.

*. عهده‌دار مکاتبات: Email: fr.balf@qaemiau.ac.ir

۱- مقدمه

حمل و نقل عمومی یکی از ارکان مهم در زندگی بشر امروزی محسوب می‌شود و یکی از ملزومات توسعه و چگونگی شکل‌دهی به یک جامعه را تعیین می‌کند. با توجه به پیشرفت‌های اخیر، نوع استفاده از وسایل نقلیه نیز دچار تغییرات فراوانی شده است. استفاده بیش از حد از وسایل نقلیه با توجه به محدود بودن جاده‌ها و معابر، مشکلات زیادی چون، اتلاف وقت، افزایش مصرف بی‌رویه‌ی سوخت، آلودگی‌های صوتی و زیست محیطی، ترافیک‌های بسیار طولانی و طاقت فرسا، تصادفات متعدد و خطرات جانی زیادی را بهمراه داشته است. بنابراین برای رفع این مشکلات باید استفاده از وسایل نقلیه شخصی را کاهش و سهم ناوگان عمومی را افزایش داد و این موضوع جز با ارتقای سطح کیفی و کمی و همچنین رضایت عمومی و راهکارهای تشویقی برای استفاده حداکثری افراد ازآن امکان‌پذیر نخواهد بود. همانطور که قابل درک است اتوبوس یکی از وسایل نقلیه عمومی است که طرفداران زیادی را دارد و استفاده از آن مزایایی چون: سفر ارزانتر، ایمن‌تر و قابل اعتماد نسبت به سایر وسایل نقلیه‌ی عمومی (بویژه برای زنان جامعه)، ترافیک سبک، کاهش آلودگی هوا، ازدحام ترافیک و وجود فاصله مناسب افراد از یکدیگر در شرایط حاد حاضر بدلیل وجود بیماری واگیردار کرونا و غیره را به همراه دارد[2]. اتوبوس با توجه به طرفداران زیادش به سرمایه گذاری اندک برای راه اندازی نیاز دارد و این یکی از مواردی است که می‌تواند برای مدیران شهری قابل توسعه و تغییر باشد. با توجه به تعداد متوسط سرنشین‌های اتوبوس، فضای شهری که اشغال می‌کنند در مقایسه با سایر وسایل نقلیه به مراتب کمتر است[1], [21] .

در دنیای پیشرفته امروز با توجه به بحران‌های اقتصادی در جهان و پایین بودن سطح درآمد افراد، بهره‌مندی همگان از وسایل نقلیه شخصی امکان پذیر نبوده و این موضوع نیز می‌تواند یکی از دلایل افزایش تقاضا برای استفاده از وسایل نقلیه عمومی ارزان‌تر و مقرون به صرفه‌تر بطور ویژه اتوبوس باشد [14]. برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب شهری می‌تواند نقش بسیار مهم و حساسی را در توسعه ی فضاهای شهری و کاهش ترافیک ایفا کند تا رضایت مسافران را فراهم آورد. مدیران و شهرداران باید به این نکته توجه داشته باشند که سیستم‌های حمل و نقل عمومی به روز و زیباسازی آنها، خود یکی از عوامل مهم در توسعه‌ی یک کشور محسوب می‌شود. بکارگیری خدمات نو و با کیفیت جز با برنامه ریزی‌های بلند مدت و خدمات مطلوب به مسافرین امکان‌پذیر نخواهد بود. ضمنا توجه به این نکته ضروریست که اتوبوس بعنوان یکی از وسایل حمل و نقل عمومی در شهر مشهد (سالانه پذیرای حجم بسیاری از گردشگران و زائران است) نقش بسیار مهمی در جابجایی مسافران در سطح شهر ایفا می‌کند، حائز اهمیت می‌باشد.

بر این اساس، ما در این مقاله می‌خواهیم با راهکارهای مدیریتی مناسب به ارتقای کیفیت، خدمات و کارایی وسایل حمل ونقل عمومی (اتوبوسرانی) بپردازیم. لازم به توضیح است که کارایی، حاصل نسبت خروجی‌ها به ورودی‌های یک سیستم می‌باشد. به‌عبارتی واحدی کارا است که بیشترین خروجی را در قبال مصرف ورودی کمتر تولید کند. دراینصورت آن واحد تصمیم گیرنده (DMU)[2] کارا بوده و عملکرد آن نسبت به واحدهای دیگر بیشتر خواهد بود [13]. پس با توجه به تعریفی که بیان شد خطوطی کارا هستند که با حداقل منابع، میزان تقاضای بیشتری را از جانب مسافران داشته باشند.

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[3] [6] یک روش ریاضی غیر پارامتری برای ارزیابی کارایی،

[2] Decision making units
[3] Data envelopment analysis

رضایتمندی و نیز محاسبه بهره‌وری تعداد متناهی واحد تصمیم‌گیرنده متجانس در حالت چند ورودی و چند خروجی می‌باشد. تحلیل پوششی داده‌ها کاربردهای فراوانی در حل بسیاری از مسائل کاربردی [3, 10, 11, 12, 16]. بنابراین ضرورت استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی کارا سبب می‌شود شهروندان از سطح کیفی بالایی در فعالیت های روزمره خود برخودار شوند. البته به این نکته هم باید توجه داشت که عدم رسیدگی‌های لازم به خواسته‌ی شهروندان، نبود زیر ساخت‌های مناسب سبب کاهش کارایی آن شده و افراد را به سمت استفاده از وسایل شخصی خود سوق می‌دهد که این موضوع خود به تنهایی می‌تواند بار اقتصادی بالا و مشکلات بسیاری را تولید نماید. این مقاله با استفاده از علم ریاضی، بطور خاص روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی و عملکرد سیستم‌های حمل و نقل عمومی (خطوط اتوبوسرانی) شهر مشهد پرداخته و نیز میزان رضایت مسافرین را از کیفیت خدمات شهری ارائه شده مورد بررسی قرار می‌دهد. همچنین با سنجش عملکرد آن‌ها در چند سال اخیر برای بهبود خدمات رسانی هر چه بیشتر به شهروندان تلاش نموده تا به این ترتیب به نقاط ضعف و قوت آن‌ها پی‌ببریم. بنابراین دیدگاه کاربردی و جامع، جهت توسعه و پیشرفت عملکرد خطوط اتوبوسرانی می‌تواند ابزاری مفید برای تصمیم‌گیری در جهت مدیریت شهری ایده‌آل برای مدیران مربوطه باشد. از این‌رو، با دادن راهکارهای بهینه و مناسب آنان را در خدمات رسانی مطلوبتر یاری نموده و باعث افزایش استفاده شهروندان از حمل و نقل عمومی شده که این موضوع می‌تواند تاثیری بسیار مثبت در جامعه و حتی کشور داشته باشد.

ساختار مقاله به صورت زیر می‌باشد. در بخش ۲، مفهوم کارایی، اثربخشی و رضایتمندی ارائه و در بخش۳، تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص بهره‌وری مالم کویست معرفی می‌شود. در بخش ۴، مثال کاربردی و در ادامه آن در بخش ۵، ارزیابی از شاخص بهره‌وری برای کارایی و رضایتمندی بین دو دوره ۹۲ و۹۳ انجام می‌گیرد. همچنین نتایج هم در بخش ۶، آورده شده است.

۲- کارایی، اثربخشی و رضایتمندی

مفهوم کارایی و اثر بخشی دو موضوع کاملا از هم متمایز هستند [7]، بعبارتی کارایی یعنی "خوب کارکردن" و در مقابل، اثر بخشی یعنی "کار خوب کردن" و این دو به ترتیب حاصل مقایسه شاخص های درون سازمانی و برون سازمانی می‌باشند. روش‌های ارزیابی حمل و نقل شهری می‌توانند عملکرد مجموعه‌ای از شهرداری‌ها را در طول زمان در هر دو موضوع مقایسه کنند [4]. برای ارزیابی عملکرد، ادغام هر دو مفهوم ضروری است [18]. کارایی، معیاری از توانایی یک سازمان برای تولید خروجی مطلوب (حداکثر کردن استفاده از منابع) با ورودی مطلوب (حداقل کردن هزینه‌ها) می‌باشد. اثر بخشی در سیستم حمل و نقل مسافر، می‌تواند از نظر دسترسی مسافران به بخش‌های خاص، کیفیت خدمات ارائه شده، قابلیت اطمینان، راحتی و... اندازه‌گیری شود. هدف نهایی از خدمات ارائه شده در مورد حمل و نقل مسافر، رضایت مشتری از نتیجه سفر است. از طرفی مسافران می‌خواهند در زمان برنامه‌ریزی شده به مقصد خود برسند و از سوی دیگر، رضایت آن‌ها با تأمین نیازها و انتظارات درطول سفر تحقق یابد. بدین ترتیب از رضایتمندی و اثر بخشی می‌توان مفاهیم مشابه را در این زمینه برداشت کرد. بر اساس نوشته‌های کوتلر [15]، حس رضایت یا ناامیدی، ناشی از مقایسه عملکرد مورد انتظار یک محصول یا خدمات به انتظارات شخصی است. مسافر در حمل و نقل عمومی خواهان خدماتی است که نیازهای حرکتی او را فراهم آورد و اگر انتظارات اولیه او برآورده شود، در چنین حالتی

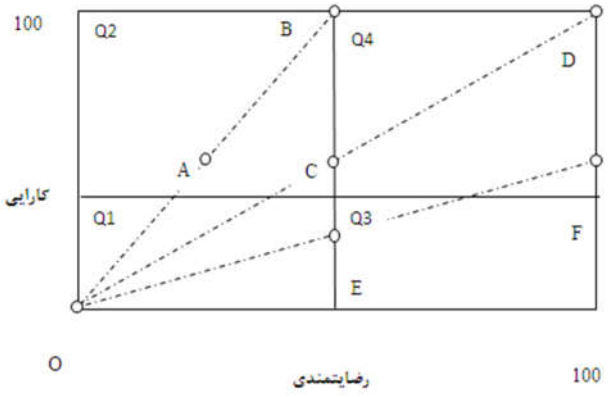
رضایتمندی او نیز ازعملکرد سیستم حمل و نقل افزایش می‌یابد. زیرا عملکرد سیستم حمل و نقل عمومی تابعی از رضایتمندی مسافر با خدماتی است که ارائه می شود. در این تحقیق ارزیابی عملکرد، به کارایی خدمات ارائه شده، سطح رضایت مسافران و نسبت بین آن‌ها مرتبط است.

شاخص نسبت کارایی به رضایتمندی (ESR)[4] موضوعی مهم در انجام خدمات عمومی می‌باشد [20]. در شکل (۱)، به شرح بیان تفاوت بین رضایتمندی وکارایی در یک سازمان پرداخته شده است. در ربع Q1، تعادل ناکافی (نامطلوب) را نشان می‌دهد، به عبارتی سازمان حالتی که دو شاخص کارایی و رضایتمندی کم هستند را نشان می‌دهد که در اینجا نیاز به بهبود هر دو وضعیت می‌باشد. در ربع Q2، دامنه ارائه شده خدمات در سازمان نامناسب است و برای رسیدن به وضعیت مطلوب، رضایتمندی باید افزایش یابد تا به سطح کافی خدمات برسد. در ربع Q3، سازمان نیاز به بهبود کارایی برای رسیدن به وضعیت مناسب است. در ربع Q4، تعادل کافی (مطلوب) وجود دارد و چنین وضعیتی نمایانگر آن سازمان‌هایی است که سطح خوبی از کارایی و رضایتمندی را ارائه می‌دهند. سازمان مرجع در ربع Q4 با سود آوری پایدار و مقدار شاخص ESR نزدیک به ۱ می‌باشد. مطابق شکل (۱)، $\overline{OD}$ خط بازده پایدار، $\overline{OF}$ خط بازده پایین، $\overline{OB}$ خط نامناسب، ناحیه $\overline{ABC}$ برای ارائه دهنده‌ی خدمات مورد قبول است و فقط برای مسافر قابل تحمل می‌باشد، در ربع Q3، ناحیه محدود شده بوسیله $\overline{CEF}$ برای مسافر قابل قبول و فقط برای ارائه دهنده خدمات قابل تحمل است.

با توجه به تعریف کارایی که حاصل نسبت خروجی به ورودی می‌باشد، سیستم حمل و نقل شهری زمانی کارا می‌باشد که امکان تولید خروجی با کم کردن حداقل یک شاخص ورودی از ترکیب سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده امکان‌پذیر نباشد. از طرف دیگر رضایتمندی معیاری برای تحقق نیازهای کاربران است. از این رو، شاخص‌های ورودی و خروجی برای تعیین رضایتمندی ممکن است بر شاخص‌های ورودی و خروجی درتعیین کارایی واحدهای تصمیم گیرنده کاملاً منطبق نباشد. به بیان دیگر شاخص های واحدهای تصمیم‌گیرنده از منظر کارایی و رضایتمندی کاملا یکسان نیستند. همچنین متذکر می‌شویم، توجه فقط به کارایی و غفلت از رضایتمندی سود آوری ناپایدار را به دنبال خواهد داشت و در مقابل تمرکز بر رضایتمندی و چشم پوشی از کارایی ممکن است منجر به هزینه‌های بیشتر و در نهایت عملکرد غیر سودآور را برای سیستم باعث شود. لذا با توجه به مطالب بیان شده توجه به هر دو مفهوم در بررسی‌ها لازم و ضروری است.

در شکل (۱) شاخص ESR (نسبت کارایی به رضایتمندی)، استراتژی ارزیابی سیستم حمل و نقل شهری را مشخص می‌کند، بدین صورت که $ESR > ۱$، به استراتژی حمل و نقل شهری برای ارائه خدمات مطلوب اشاره دارد. مسافر، $ESR \leq ۱$ را ترجیح می‌دهد، زیرا رضایتمندی بیشتر مربوط به کیفیت خدمات بهتر می‌باشد و نیز $ESR = ۱$ در ربع Q4، حالت تعادل مطلوب در خدمات و رضایتمندی را بیان می‌کند.

[4] Efficiency/satisfaction ratio



شکل (۱) نسبت بین کارایی و رضایتمندی

۳- تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم کوئیست[5]

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش برنامه‌ریزی خطی غیر پارامتری است که کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده را در حالت چند ورودی و چند خروجی اندازه‌گیری می‌کند. یکی از مزایای بسیار خوب این روش این است که نیازی به هیچ پیش فرضی در مورد وزن تابع تولید ندارد. این روش ابتدا توسط چارنز و همکارانش [4] در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد گردید و با معرفی مدل CCR[6] عمومیت پیدا کرد.

۳-۱- مدل CCR در تحلیل پوششی داده‌ها

مدل مورد استفاده ما در این مقاله، مدل مضربی CCR در ماهیت ورودی می‌باشد که به صورت زیر معرفی می‌گردد [4]:

$$
\begin{aligned}
& E_o = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} \\
& st. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1, \qquad (1) \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, \quad j = 1,..,n, \\
& u_r, v_i \ge 0, \qquad r = 1,...,s;\ i = 1,...,m,
\end{aligned}
$$

که $x_j = (x_{1j},...,x_{mj}) \in \mathrm{R}_+^{\mathrm{m}}$ ، $y_j = (y_{1j},...,y_{sj}) \in \mathrm{R}_+^{\mathrm{s}}$ به ترتیب بردار ورودی و خروجی برای واحد تصمیم گیرنده j هستند، بطوری که داریم، $x_j \ge 0$ ، $x_j \ne 0$، $y_j \ne 0$، $y_j \ge 0$. همچنین، v_i و u_r وزن‌های ورودی iام و خروجی rام، به ترتیب هستند که بوسیله‌ی مدل (۱) در ارزیابی واحد تصمیم‌گیرنده o، تعیین می‌شوند. مدل (۱) مقدار کارایی را با فرض بازده به مقیاس ثابت محاسبه می‌نماید، بطوری که اگر مقدار تابع هدف بدست آمده در بهینگی یعنی E_o در ارزیابی واحد o برابر ۱ باشد آنگاه واحد o، $o \in \{1,...,n\}$ کارا است، در غیر این صورت آن ناکارا است. بنابراین در تحلیل پوششی داده‌ها دو مفهوم کارایی و ناکارایی از اصلی‌ترین مباحث در این حوزه می‌باشد. اما با بیانی ساده‌تر می‌توان گفت، واحدهایی در تحلیل پوششی داده‌ها کارا هستند که بر روی مرز تابع تولید (مرز کارایی) قرار دارند. مرز کارایی بیشترین خروجی را برای سطوح ورودی داده شده و کمترین ورودی را برای سطوح خروجی معین دارا است. همچنین یکی از شاخصه‌های مثبت تحلیل پوششی داده‌ها این است که معیاری برای کارایی واحدهایی که روی مرز نیستند فراهم می‌کند.

---

[5] Malmquist productivity index
[6] Charnes, Cooper and Rhodes

۳-۲- شاخص بهره‌وری مالم کوئیست (MPI)

تحلیل پوششی داده‌ها وضعیت هر واحد را در زمان داده شده مشخص می‌کند، اما اجازه به شناسایی دلایلی که منجر به تغییر وضعیت آن در طول زمان شده است را نمی‌دهد. بنابراین، فار و همکارانش (۱۹۹۴) [7,8] شاخص بهره‌وری پیشنهاد شده توسط مالم کوئیست (۱۹۵۳) [17] را با مدل CCR معرفی کردند.

شاخص بهره‌وری بر پایه تحلیل پوششی داده‌ها یک شاخص ترکیبی می‌باشد که در طول زمان می‌تواند برای اندازه‌گیری تغییرات بهره‌وری گسترش یابد. با توجه به مطالب ذکر شده در فوق، با استفاده از شاخص بهره‌وری مالم کوئیست امکان ارزیابی تغییرات بهره‌وری شناخته شده بین دوره‌های متوالی براساس شاخصی بنام فاکتور بهره‌وری کل (TPF)[7] داده می‌شود.

حال در ادامه، برای مثال کاربردی از تحلیل پوششی داده‌ها روی مجموعه ای از خطوط اتوبوسرانی را در نظر بگیرید که به سوال زیر پاسخ می‌دهد، آیا خط A در زمان t کاراتر ازخط B است یا خیر، به‌طوری که ممکن است در زمان t+1 بدلیل برخی از تغییرات در سیاست‌های عمومی حمل ونقل وضعیت واحدها معکوس گردد. بدین منظور، شکل (۲) واحدهای A و B را در دو زمان مختلف نشان می‌دهد. این واحدها بهره‌وری خود را از زمان t به t+1 بهبود داده‌اند، زیرا آنها نسبت خروجی به ورودی را افزایش داده‌اند. مطابق شکل (۲)، تلاش صرف شده برای واحد A نسبت به واحد B برای نزدیک شدن به مرز کارایی، در زمان t نسبت به t+1 کمتر است، شاید بدلیل این که B بیشتر از A بهبود یافته است.

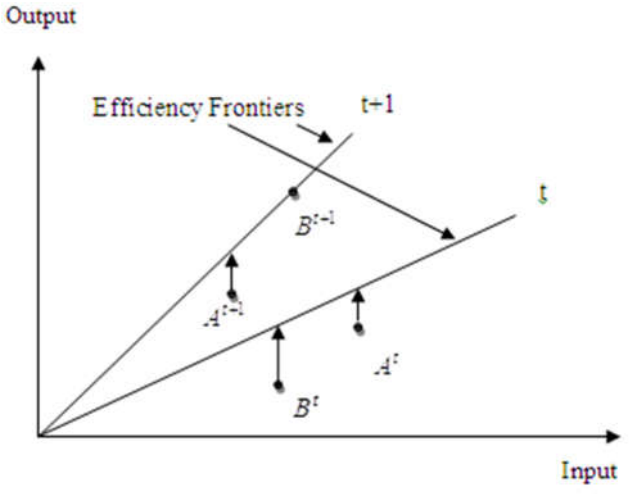
برخی از شرایطی که ممکن است رخ دهد عبارتند از:

(۱). هر دو واحد بهبود یافته اند ولی در واحد B بیشتر از واحد A بهبودی قابل مشاهده می‌باشد.

(۲). واحد B بهبود یافته اما A در همان مرحله باقی مانده است.

(۳). واحد A بدتر شده است اما واحد B در همان سطح خود باقی مانده است.

(۴). هر دو واحد بدتر شده‌اند، اما واحد A از B بدتر شده است.



شکل (۲). مقایسه بهره وری دو واحد A وB در دو دوره t و t+1

[7] Total productivity factor

اکنون با حل چهار مسأله برنامه‌ریزی خطی زیر، مقدارشاخص بهره‌وری مالم کوئیست (MPI) را برای دو دوره زمانی t و t+1 اندازه گیری کرده و به بررسی پیشرفت و پسرفت و یا عدم تغییردرعملکرد واحدها می‌پردازیم. البته بیان این نکته ضروری است که دو مدل بصورت منفرد (سیستم و واحد هر دو همزمان در یک دوره t یا t+1 باشند) و دو مدل دیگر به صورت ترکیبی (سیستم در زمان t و واحد در زمان t+1 باشند و بالعکس) بیان می‌شوند. با بکارگیری مدل (۱) داریم:

$$\begin{aligned} & E_t^t = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^t \\ & s.t. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^t = 1, \qquad (2) \\ & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^t \le 0, \quad j = 1,\ldots,n, \\ & u_r, v_i \ge 0, \qquad r = 1,\ldots,s;\ i = 1,\ldots,m, \end{aligned}$$

که در آن x_{ij}^t و y_{rj}^t بترتیب i امین مولفه بردار ورودی و j امین مولفه خروجی واحد تصمیم‌گیرنده j است و x_{io}^t و y_{ro}^t بترتیب iامین ورودی و j امین خروجی واحد تصمیم‌گیرنده تحت ارزیابی o و E_t^t تابع فاصله برای آن در دوره زمانی t است. مقدار بهینه تابع هدف مدل (۲)، E_t^t، نشان می‌دهد مقدار کاهش در ورودی را تا اینکه واحد تحت ارزیابی در حداقل سطح خروجی خود باقی بماند. اگر $E_t^t = 1$، آنگاه واحد تحت ارزیابی o در دوره زمانی t کارا است، در غیر این صورت آن ناکارا خواهد بود. با جایگزین کردن $t+1$ به t در مدل (۲)، کارایی تکنیکی E_{t+1}^{t+1} برای واحد تحت ارزیابی o در دوره $t+1$ محاسبه می‌شود. شاخص بهره وری مالم کوئیست به محاسبه تابع فاصله (کارایی تکنیکی) در دو دوره منفرد و همچنین به اندازه گیری تابع فاصله (کارایی تکنولوژیکی) در دو دوره ترکیبی نیاز دارد. بنابراین، به منظور محاسبه تابع فاصله در دو دوره مختلط، مدل‌های زیر ارائه شده است:

$$\begin{aligned} & E_t^{t+1} = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^t \\ & s.t. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^t = 1, \qquad (3) \\ & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{t+1} \le 0, \quad j = 1,\ldots,n, \\ & u_r, v_i \ge 0, \qquad r = 1,\ldots,s;\ i = 1,\ldots,m, \end{aligned}$$

که در آن، مدل (۳) اندازه‌ی کارایی بهره‌وری (کارایی تکنولوژیکی) را با داده‌های دوره زمانی $t+1$ نسبت به مرز تکنولوژی در دوره زمانی t ارائه می‌دهد. همچنین، مدل (۴) اندازه‌ی کارایی بهره وری را با داده‌های دوره زمانی t نسبت به مرز تکنولوژی در دوره زمانی $t+1$ ارائه می‌دهد. بنابراین، شاخص بهره وری مالم کوئیست در ماهیت ورودی را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد[8]:

$$\begin{aligned} & E_{t+1}^t = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^{t+1} \\ & s.t. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^{t+1} = 1, \qquad (4) \\ & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^t \le 0, \quad j = 1,\ldots,n, \\ & u_r, v_i \ge 0, \qquad r = 1,\ldots,s;\ i = 1,\ldots,m, \end{aligned}$$

با بازنویسی MPI از فرمول (۵)، آن به دو مولفه تغییر تکنولوژی یا جابجایی مرز (FS) و تغییر کارایی تکنیکی (TEC) تجزیه می‌شود. بر همین اساس رابطه MPI بصورت زیر خواهد بود:

$$\mathrm{MPI} = \left[\frac{E^t(x^{t+1}, y^{t+1}) E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t) E^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (5)$$

در ارزیابی بهره وری واحد o، $\mathrm{MPI}_o > 1$ رشد بهره وری و $\mathrm{MPI}_o < 1$، کاهش بهره وری را برای واحد تحت ارزیابی o، نشان می‌دهد.

$$MPI_o = TEC_o.FS_o \qquad (6)$$

$$= \frac{E^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{E^t(x_o^t, y_o^t)} \left[\frac{E^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{E^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \frac{E^t(x_o^t, y_o^t)}{E^{t+1}(x_o^t, y_o^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

۴- مثال کاربردی

تحلیل پوششی داده‌ها بطور مستقیم دلیل ناکارا بودن واحدها را مشخص نمی‌کند، اما دلیلی برای ناکارا بودن آن و جهتی را برای بهبود وضعیتش ارائه می‌دهد. این جهت را می‌توان در بررسی ورودی‌های یک فرآیند تصمیم‌گیری که بر رفتار واحد تأثیر گذار است جستجو کرد.

در این بخش می‌خواهیم با یک مثال کاربردی، کارایی و رضایتمندی را در سیستم حمل و نقل عمومی (اتوبوسرانی) برای سه سال مختلف در شهر مشهد مورد بررسی قرار دهیم. داده‌های مورد ارزیابی با توجه به مفاهیم مورد بررسی تغییر می‌کنند. اما برای ارزیابی کارایی و رضایتمندی از سه ورودی و سه خروجی استفاده شده است که در بخش مربوط به خودشان معرفی خواهند شد.

۴-۱- محاسبه کارایی

در این بخش با استفاده از مدل CCR در ماهیت ورودی (۱)، به محاسبه کارایی سیستم حمل و نقل عمومی (اتوبوسرانی) برای خطوط مناطق مختلف شهر مشهد می‌پردازیم. داده‌های ورودی به سه دسته و خروجی‌ها هم به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند که در جدول (۱) آورده شده است. دسته بندی ورودی‌ها وخروجی‌ها از منظر خدمات شهری می‌باشد.

ورودی‌ها: طول خطوط، تعداد اتوبوس، درصد تخفیف

خروجی‌ها: متوسط مسافران روزانه، کرایه، جمعیت سالانه

با استفاده از مدل (۱) و بکارگیری نرم افزار GAMS کارایی خطوط اتوبوسرانی برای سال‌های ۹۱، ۹۲ و ۹۳ تعیین و نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. جدول (۲) شامل ۶ ستون می‌باشد که در ستون اول خطوط مختلف اتوبوسرانی شهر مشهد، به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده هستند که کارایی آنها باید ارزیابی شود. ستون دوم تا چهارم نتایج کارایی را در سال‌های ۹۱، ۹۲ و ۹۳ نشان می‌دهد، در دو ستون آخر نیز به ترتیب میانگین کارایی هر یک از خطوط در سه سال مختلف و رتبه بندی آنها آورده شده است. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از مدل (۱)، براحتی می‌توان دریافت خطوطی که دارای مقادیر ۱ می‌باشند کارا و خطوط دیگر با مقدار کارایی کمتر از ۱ ناکارا می‌باشند.

جدول (۱). داده‌های ورودی و خروجی سال‌های ۹۱ تا ۹۳ از منظر خدمات شهری برای ارزیابی شاخص‌های کارایی و رضایتمندی

شماره خطوط	طول خطوط (کیلومتر)			تعداد اتوبوس			کرایه (تومان)			جمعیت سالانه			متوسط مسافران روزانه			درصد تخفیف		
	۹۱	۹۲	۹۳	۹۱	۹۲	۹۳	۹۱	۹۲	۹۳	۹۱	۹۲	۹۳	۹۱	۹۲	۹۳	۹۱	۹۲	۹۳
۱	۱۰/۶	۱۰/۶	۱۰/۶	۱۸	۱۹	۱۹	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۷۵۰	۵۹۶۴۹۶۸	۴۵۱۷۰۰۱	۶۳۱۲۴۷۴	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۲/۱	۱/۱	۳/۱
۲	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶	۲۵۰	۵۰۰	۸۷۵	۲۵۱۹۵۴۴	۱۶۸۸۹۴۰	۲۴۰۲۶۱۱	۵۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۳/۳	۳/۳	۴/۳
۳	۱۰/۵	۱۴/۳	۱۴/۳	۱۵	۱۷	۱۷	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۵۰۰	۱۶۰۶۲۳۴	۱۷۰۸۱۵۸	۱۵۰۶۲۰۲	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱/۵	۱/۵	۲/۵
۴	۲۰/۴	۲۰/۴	۲۰/۴	۲۱	۱۴	۱۵	۲۵۰۰	۳۵۰۰	۵۰۰۰	۳۹۹۶۸۹۸	۲۳۲۷۴۱۰	۳۶۳۶۴۸۹	۸۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۳	۴	۶
۵	۱۸/۴	۱۸/۴	۱۸/۴	۱۶	۱۲	۱۰	۳۵۰	۶۰۰	۹۷۵	۲۵۸۷۷۷۷	۱۶۹۳۸۴۹	۲۲۱۶۱۶۴	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۴/۹	۵/۹	۷/۹
۶	۱۵/۶	۱۵/۶	۱۵/۶	۱۸	۱۸	۱۶	۲۵۰۰	۳۵۰۰	۵۰۰۰	۲۹۳۳۴۶۴	۱۶۸۷۸۸۵	۲۲۹۸۵۷۱	۱۶۰۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۶/۵	۸/۵	۹/۵
۷	۱۷/۲	۱۷/۲	۱۷/۲	۱۵	۱۸	۱۸	۱۵۰	۲۵۰	۴۳۵	۲۱۳۷۳۷۶	۱۵۰۴۹۰۶	۱۸۹۵۸۸۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۴/۲	۴/۲	۶/۲
۸	۱۲/۴	۱۲/۴	۱۲/۴	۱۸	۱۸	۱۵	۳۰۰	۵۵۰	۱۵۰۰	۳۱۱۲۲۴۲	۲۰۱۹۱۰۵	۲۶۲۹۴۲۱	۱۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰۰	۱۰	۱۰	۱۲
۹	۲۱/۲	۲۱/۲	۲۱/۲	۳۴	۵۰	۲۵	۶۰۰	۱۱۰۰	۱۸۵۰	۹۲۷۲۵۸۹	۷۷۴۶۶۲۷	۱۲۹۰۳۴۲۴	۴۰۰۰	۴۲۰۰	۴۵۰۰	۶/۵	۶/۵	۸/۵
۱۰	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۲۰	۲۰	۲۱	۴۰۰	۷۰۰	۶۳۰	۳۵۲۸۱۳۲	۳۳۳۸۱۴۰	۴۳۵۱۷۴۲	۳۲۰۰	۴۰۰۰	۴۳۰۰	۷/۶	۷/۶	۹/۶

واحدهای ناکارا با الگو برداری از واحدهای کارا می‌توانند وضعیت خود را بهبود بخشیده و شرایط مناسب‌تری را برای خود ایجاد نمایند. با توجه به جدول (۲)، در سال ۹۱، خطوط ۱، ۴،۶،۹ و ۱۰ کارا بوده، زیرا از امکاناتی که بطور مساوی در اختیار تمامی خطوط مورد ارزیابی از طرف شهرداری‌ها داده شده به نحو احسن استفاده نموده و بهترین نتیجه را ارائه نموده‌اند، در حالیکه باقی خطوط با همان شرایط وضعیت کاملا متفاوتی را نشان داده‌اند. این موضوع می‌تواند دلایل مختلفی مانند سوء مدیریت شهرداری‌ها در خطوط مختلف، عدم برنامه‌ریزی مناسب مدیریتی، استفاده نادرست از امکانات و نیروهای انسانی، نداشتن روش‌های تشویقی مناسب برای مسافران و یا کارکنان داشته باشد. البته توجه به این نکته قابل تامل است که خطوط ۱، ۴،۶،۹ و ۱۰ در هر سه دوره کارا بوده‌اند. در تمامی این خطوط بدترین وضعیت برای واحد شماره ۲ می‌باشد که کمترین رتبه را در بین سایر خطوط‌داراست.

۴-۲- رضایتمندی

در این بخش به ارزیابی خطوط ده گانه اتوبوسرانی مشهد از منظر رضایتمندی می‌پردازیم، که ورودی‌ها و خروجی‌ها از نگاه رضایت مسافران به صورت زیر معرفی شده است.

ورودی‌ها: طول خطوط، متوسط مسافران روزانه، کرایه

خروجی‌ها: تعداد اتوبوس، درصد تخفیف، جمعیت سالانه

همانطور که مشاهده می‌شود برای ارزیابی رضایتمندی مسافران از خطوط ده گانه، شاخص‌های تعداد اتوبوس و درصد تخفیف که قبلاً ورودی بوده‌اند تبدیل به شاخص خروجی شده‌اند و شاخص‌های متوسط مسافران روزانه و کرایه که قبلاً خروجی بوده‌اند در گروه شاخص ورودی قرار گرفته‌اند. مدل مورد استفاده در این قسمت همان مدل (۱) می‌باشد. نتایج حاصل از بکارگیری مدل (۱) در جدول (۳) آمده است.

جدول (۲) نتایج کارایی برای سال‌های ۹۱، ۹۲ و ۹۳

خطوط/سال	۹۱	۹۲	۹۳	درصد میانگین	رتبه‌بندی در سه سال
۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۲	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۵۴	۱۰
۳	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۶
۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۵	۰/۸۱	۰/۸۷	۱/۰۰	۰/۸۹	۷
۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۷	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۴۱	۰/۵۳	۹
۸	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۷۹	۰/۶۳	۸
۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱

جدول (۳) نتایج رضایتمندی برای سال‌های ۹۱، ۹۲ و ۹۳

خطوط/سال	۹۱	۹۲	۹۳	درصد میانگین	رتبه بندی در سه سال
۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۲	۱/۰۰	۰/۷۹	۰/۹۰	۰/۹۰	۵
۳	۰/۸۳	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۷۰	۸
۴	۰/۶۵	۰/۴۰	۰/۶۹	۰/۵۸	۱۰
۵	۰/۶۹	۰/۶۱	۰/۷۷	۰/۶۹	۹
۶	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۲	۷
۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱
۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۶۹	۰/۹۰	۵
۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱

همانطور که می‌دانیم رضایتمندی مشتریان سبب افزایش تقاضا خواهد شد. جدول (۳) رضایتمندی کامل مشتریان را برای خطوط ۱،۷،۸ و ۱۰ نشان می‌دهد. عوامل بسیاری در رضایتمندی مسافران در استفاده از وسایل نقلیه عمومی (اتوبوس) می‌تواند نقش داشته باشد؛ استفاده بیشتر خطوط از اتوبوس‌های پر سرعت (BRT)[8]، ارتقای کیفیت خدمات رسانی به افراد به ویژه افراد مسن و معلولان جسمی، به روز بودن شهرداری‌ها در استفاده از امکانات و توسعه دادن خدمات شهری با الگو قرار دادن موارد مشابه کشورهای در حال توسعه و مدیریت مناسب از منابع در دسترس در جهت افزایش کارایی و رضایتمندی افراد جامعه از خدماتی که به آنها ارائه می‌شود.

۴-۳- ارزیابی عملکرد و شاخص ESR

شاخص‌های کارایی و رضایتمندی خطوط مربوط به مثال خطوط اتوبوسرانی برای میانگین سه سال ۹۱ تا ۹۳ با مدل (۱) محاسبه شده و نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است. عملکرد سیستم‌های حمل و نقل عمومی شهری را می‌توان با شاخص ESR اندازه‌گیری کرد. همانطور که پیشتر ذکر شد، این شاخص (ESR) نسبت کارایی به رضایتمندی را نشان می‌دهد که برای تصمیم گیری در شهرداری‌ها بسیار مفید می‌باشد. استفاده ازاین نسبت برای توسعه‌ی استراتژی‌های حمل و نقل و بهبود برنامه‌ریزی برای سرمایه گذاری بلند مدت لازم است. $ESR < 1$ نشان می‌دهد که سیاست حمل ونقل به نفع مسافران است و اگر $ESR > 1$ به استراتژی حمل و نقل شهری برای ارائه خدمات مطلوب اشاره دارد و نیز $ESR = 1$، نشان دهنده‌ی یک تعادل بین سیستم خدماتی و مسافران می‌باشد. با توجه به جدول (۴) خطوط ۳، ۴، ۵، ۶ و ۹ دارای $ESR > 1$ و باقی خطوط این نسبت را کمتر از ۱ نشان می‌دهند.

[8] Bus rapid transit

جدول (۴). نتایج ارزیابی میانگین عملکردکارایی و رضایتمندی با شاخص ESR برای سال‌های ۹۱، ۹۲ و۹۳

خطوط	میانگین کارایی	میانگین رضایتمندی	ESR
۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۲	۰/۵۴	۰/۹۰	۰/۶۰
۳	۰/۹۹	۰/۷۰	۱/۴۱
۴	۱/۰۰	۰/۵۸	۱/۷۲
۵	۰/۸۹	۰/۶۹	۱/۲۹
۶	۱/۰۰	۰/۷۲	۱/۳۹
۷	۰/۵۳	۱/۰۰	۰/۵۳
۸	۰/۶۳	۱/۰۰	۰/۶۳
۹	۱/۰۰	۰/۹۰	۱/۱
۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
میانگین	۰/۸۶	۰/۸۵	۱/۰۱

۵- ارزیابی شاخص بهره‌وری برای کارایی و رضایتمندی بین دو دوره ۹۲ و۹۳

در این تحقیق به بررسی بهره‌وری سیستم حمل و نقل عمومی از طریق شاخص مالم کوئیست برای شناسایی آن در طی چند دوره می‌پردازیم [22]. در جدول (۵)، ستون‌های دوم، سوم و چهارم بترتیب تغییر کارایی تکنیکی، تغییرکارایی تکنولوژیکی و شاخص بهره‌وری وابسته به کارایی و ستون‌های پنجم، ششم و هفتم تغییرکارایی تکنیکی، تغییر کارائی تکنولوژیکی و شاخص بهره‌وری وابسته به رضایتمندی، حاصل از مدل (۱)، خطوط اتوبوسرانی ۱۰ خطوط را برای سال‌های ۹۲ و۹۳ نشان می‌دهد. شاخص MPI، مقداری از بهره‌وری بین چندین دوره‌های زمانی را بررسی می‌کند، که مقدار MPI > ۱ به معنی بهبود و یا پیشرفت وضعیت خطوط مورد ارزیابی می‌باشد، MPI = ۱ به این معنی است که خطوط مورد ارزیابی در همان موقعیت قبلی که دارند باقی می‌مانند و MPI < ۱ نشان دهنده‌ی موقعیتی است که خطوط تحت بررسی داراس پسرفت بوده‌اند.

برای موضوع کارایی، ستون دوم از جدول ۵ نشان می‌دهد که کمترین تغییر کارایی مربوط به واحد ۷ می‌باشد. در ستون سوم بیشترین و کمترین تغییرکارائی تکنولوژیکی بترتیب وابسته به واحدهای ۲ و ۴ می‌باشد. در ستون چهارم شاخص بهره‌وری وابسته به کارایی دربازه [۱/ ۳۷۰۰ ، ۰/ ۴۸۶۳] قرار دارد که متوسط آن ۰/۹۲۸۲ می‌باشد. برای موضوع رضایتمندی، ستون پنجم از جدول (۵) کمترین تغییر رضایتمندی مربوط به واحد ۴ است. در ستون ششم بیشترین و کمترین تغییر رضایتمندی تکنولوژیکی بترتیب وابسته به واحدهای ۸ و ۴ می‌باشد. در ستون هفتم شاخص بهره‌وری وابسته به رضایتمندی دربازه [۱/۶۴۳۷ ، ۰/۳۴۰۷] قرار دارد که متوسط آن ۰/ ۹۹۲۲ می‌باشد. ستون آخر جدول (۵) نسبت MPI_u / MPI_p دربازه [۳/۳۸۰۰ ، ۰/ ۲۴۸۷] بیان می‌کند.

فرض کنید که اندیس p (خدمات)[9] در MPI، بهره وری با مفهوم کارایی و اندیس u (کاربران یا مسافران)[10] در MPI، بهره‌وری با مفهوم رضایتمندی را نشان می‌دهد. اگر در نسبت MPI_u

[9] Providers
[10] Users

به MPI_p، (MPI_u / MPI_p) مقادیر بدست آمده بیشتر از ۱ باشند به این معنی است که شاخص رضایتمندی افزایش بیشتری نسبت به کارایی دارد. از این رو، با توجه به جدول (۵)، درستون چهارم مربوط به MPI_p مشاهده می‌شود که بهره وری وابسته به کارایی در ۸ خط کاهش یافته است ($MPI_p < 1$) و در ۲ خط افزایش بهره وری وجود داشته است ($MPI_p > 1$)، در حالی که برای شاخص رضایتمندی وابسته به MPI_u، در ستون شماره هفتم، افزایش بهره‌وری در۷ خط ($MPI_u > 1$) و کاهش آن را در ۳ خط نشان می‌دهد ($MPI_u < 1$). این موضوع نشان می‌دهد که در اکثر خطوط، بهبود برای مسافران وجود دارد نه برای ارائه دهندگان خدمات. در ستون آخر جدول (۵) مشاهده می‌شود که در آن نسبت MPI_u / MPI_p برای تمامی خطوط به جز ۸ و ۹ بیش‌تر از ۱ می‌باشد، یعنی سیاست‌های عمومی باید بر کارایی متمرکز شوند. با این‌وجود، سیستم‌های حمل‌و نقل عمومی شهری به عنوان موضوع رقابتی طبقه‌بندی می‌شوند تا با سرمایه گذاری در فن‌آوری وضعیت یکسانی را حفظ کنند.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی مبتنی برتحلیل پوششی داده‌ها و شاخص بهره‌وری مالم کویست برای ارزیابی دو شاخص کارایی و رضایتمندی ارائه شده است. این شاخص‌ها برای پیشبرد اهداف و اقدامات لازم جهت بررسی وضعیت سیستم‌های حمل و نقل عمومی (اتوبوسرانی) مشهد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای این منظور، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، به بررسی مشکلات آن با ابعاد مختلف پرداخته شده و تصمیمات مناسب اتخاذ وهمچنین از نرم افزار GAMS برای تجزیه و تحلیل مثال کاربردی آن در این تحقیق استفاده گردید. توجه داشته باشید که تحلیل پوششی داده‌ها عملکرد نسبی واحدهای تحت بررسی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و با شناسایی واحدهایی که عملکرد بهتری را نسبت به بقیه دارند به‌عنوان معیاری برای سایر واحدها معرفی می‌کند و این یکی از محاسن این روش برای مدیران و تصمیم گیرندگان می‌باشد.

جدول (۵) نتایج کارایی و رضایتمندی در برای دوره های ۹۲و۹۳ با شاخص های MPI

	کارایی			رضایتمندی			
خطوط / سال	TEC	FS	MPI_p	TEC	FS	MPI_u	MPI_u / MPI_p
۱	۱/۰۰۰۰	۱/۰۴۳۲	۱/۰۴۳۲	۱/۰۰۰۰	۱/۶۴۳۵	۱/۶۴۳۵	۱/۵۷۵۴
۲	۰/۴۹۵۷	۱/۲۹۶۴	۰/۶۴۲۷	۱/۰۰۰۰	۱/۲۶۴۴	۱/۲۶۴۴	۱/۹۶۷۳
۳	۱/۰۰۰۰	۰/۸۸۷۸	۰/۸۸۷۸	۰/۸۷۷۸	۱/۸۹۱۱	۱/۶۶۰۱	۱/۸۶۹۹
۴	۱/۰۰۰۰	۰/۷۸۳۹	۰/۷۸۳۹	۰/۵۸۴۴	۲/۰۹۴۱۴	۱/۲۲۳۸	۱/۵۶۱۷
۵	۰/۷۷۱۰	۱/۱۰۳۸	۰/۸۵۱۰	۰/۷۴۴۵	۱/۳۰۰۶	۰/۹۶۸۳	۱/۱۳۷۸
۶	۱/۰۰۰۰	۰/۸۳۶۳	۰/۸۳۶۳	۰/۸۸۱۶	۱/۱۳۹۶	۱/۰۰۴۷	۱/۲۰۱۴
۷	۰/۳۹۴۸	۱/۲۳۱۸	۰/۴۸۶۳	۱/۰۰۰۰	۱/۶۴۳۷	۱/۶۴۳۷	۳/۳۸۰۰
۸	۱/۴۴۸۵	۰/۹۴۵۸	۱/۳۷۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۳۴۰۷	۰/۳۴۰۷	۰/۲۴۸۷
۹	۱/۰۰۰۰	۰/۸۵۹۱	۰/۸۵۹۱	۰/۸۹۶۷	۰/۹۴۸۸	۰/۸۵۰۸	۰/۹۹۰۳
۱۰	۱/۰۰۰۰	۰/۸۱۲۸	۰/۸۱۲۸	۱/۰۰۰۰	۱/۵۱۳۳	۱/۵۱۳۳	۱/۸۶۱۸

در بررسی صورت گرفته در این مقاله، کارایی، رضایتمندی و در نهایت نتایج بهره‌وری ۱۰ خط اتوبوسرانی مشهد و همچنین نسبت شاخص MPI_u (بهره‌وری از منظر مسافران) به MPI_p (بهره‌وری از منظر خدمات) بدست آمد. اگر نسبت MPI_p / MPI_u برای خطوطی بیش‌تر از ۱ باشد بدان معنی است که سیاست‌های عمومی باید بر کارایی متمرکز شوند، درغیر این صورت، سیاست‌های عمومی باید بر روی رضایتمندی تمرکز کنند. بدین منظور جهت تحقیقات آتی محققین می‌توانند این موضوعات بیان شده در این تحقیق را با استفاده از انواع مختلف داده‌ها (بازه‌ای، انعطاف‌پذیر، فازی و...) و یا مدل‌های دیگری از تحلیل پوششی داده‌ها مورد مطالعه قرار داده و به ابعاد مختلف آن در این باره برای ارزیابی سیستم‌های مورد نظرشان بپردازند.

فهرست منابع

[۱] قضایی، م.، فرهمندی، ا.، عطارزاده طوسی، ه. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد خطوط اتوبوسرانی با استفاده ترکیبی سه گانه از مدلهای تحلیل پوششی داده‌ها، آنتروپی و تاپسیس. معماری و شهرسازی آرمان شهر. ۳۱۸-۳۰۷.

[2] APTA, A., (2007). Public Transportation: Benefits for the 21St Century. American Public Transportation Association.

[3] Barzegarinegad, A., Jahanshahloo, G., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2014). A full ranking for decision making units using ideal and anti-ideal points in DEA. The Scientific World Journal 2014.

[4] Borger, B., Kerstens, K., (2006). The Performance of Bus-Transit Operators Working Paper of LEM 2006–3. IESEG School of Management, Lille - France.

[5] Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. Eur. J. Oper. Res. 2, 429–444.

[6] Cook, W.D., Seiford, L.M., (2009). Data envelopment analysis (DEA). Thirty years on invited review. Eur. J. Oper. Res. 192, 1–17.

[7] Drucker, P.F., (1977). Drucker on Asia: A Dialogue between Peter Drucker and Isao. Nakauchi, Routledge UK.

[8] Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., (1994b). Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries, Am Econ Rev 84: 66–83.

[9] Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., Zhang, Z., (1994). Productivity growth. Technical progress and efficiency change in industrialized countries. The American Economic Review 84 (1), 66–83.

[10] Jahanshahloo, GR., Lotfi, F Hosseinzadeh., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2014). Using enhanced Russell model to solve inverse data envelopment analysis problems. The Scientific World Journal 2014.

[11] Jahanshahloo, GR ., Soleimani-Damaneh, M., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2005). An enhanced procedure for estimating returns-to-scale in DEA. Applied Mathematics and Computation 171 (2), 1226-1238.

[12] Jahanshahloo, GR., Sanei, M., Rostamy-Malkhalifeh, M., Saleh, H., (2009). A comment on "A fuzzy DEA/AR approach to the selection of flexible manufacturing systems". Computers & Industrial Engineering 56 (4), 1713-1714.

[13] Gilbert, D., (2003). Retail Marketing Management. London: Financial Times, Prentice Hall.

[14] Iles, R., (2005). Public Transport In Developing Countries. Amsterdam: Elsevier.

[15] Kotler, P., (2002). Marketing Management, Millenium Edition. Pearson Custom Publishing, Boston MA.

[16] Lotfi, FH., Navabakhs, M., Tehranian, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2007). Ranking bank branches with interval data the application of DEA. International Mathematical Forum 2 (9), 429-440.

[17] Malmquist, Sten, (1953). Index numbers and indifference surfaces. Trabajos de Estadistica 4 (2), 209–242.

[18] Mouzas, S., (2006). Efficiency versus effectiveness in business networks. J. Business Res. 59, 1124–1132.

[19] Novaes, A.G., (2001). Rapid-transit efficiency analysis with the assurance-region DEA method. Pesquisa Operacional 21, 179–197.

[20] Suguiy, T., Fabius Henriques de Carvalho, M., Augusto Valente Ferreira, P., (2020). Efficiency versus satisfaction in public transport: Practices in Brazilian cities.

[21] Taghvaei, M., Vafaei, A. (2008). Interior Bus Driving System Programming and Management with Emphasis on Bus Stops of Kashan City. Journal of University of Isfahan, 32(4), 19-46.

[22] Zhao, J., Jiang Y., Zhang, X., (2015). Research on Transportation Efficiency Evaluation.