

کارآیی پایدار شبکه حمل و نقل عمومی با رویکرد تحلیل فراگیر داده‌ها (نمونه موردی: خطوط اتوبوس‌رانی شهر و حومه اردبیل)

فرهاد برندک^۱ و زهره فنی^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۷

چکیده: هدف مطالعه حاضر، سنجش و ارزیابی کارآیی خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل در کاربست با مدل تحلیل پوششی داده‌هاست. در تحقیق کاربردی حاضر، شاخص‌های مطرح در کاربست مدل DEA در قالب عوامل ورودی (تعداد ایستگاه‌های اتوبوس، تعداد اتوبوس در نرخ رفت و برگشت، مسافت و طول هر خط اتوبوس‌رانی) و عامل خروجی (متوسط جابه‌جایی در هر خط) قرار گرفته‌اند. همان‌طوری که از نتایج این پژوهش مشاهده می‌شود؛ خطوط شماره ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳ با وزن‌های ۱، ۰، ۰، ۰ در رتبه اول سنجش کارآیی خطوط شهری و حومه‌ای، واقع شده‌اند. لذا خطوط اشاره شده، کارآترین خطوط شهری اردبیل در شرایط مقایسه نسبی بین خطوط شهری و حومه‌ای را داراست. در بین خطوط اتوبوس‌رانی شهری و حومه‌ای اردبیل، خط شماره ۱۲ با ۲۰ بار مرجع واقع‌شدن برای خطوط ناکارای اردبیل، الگوی غالب خطوط ناکارآ، ارزیابی شده است. لذا با توجه به درک مقادیر و ارزش‌های به‌دست آمده از پژوهش و ماهیت شاخص خروجی تحقیق (مبنی بر اینکه شاخص خروجی پژوهش (مسافران) با افزایش خود سبب بهبود کارایی خطوط می‌گردند)، می‌توان با تغییر و افزودن مسیر به طراحی جدیدی از خطوط برای تجهیز همه مناطق و بلوک اصلی شهر به فراگیری دسترسی شهروندان به حمل و نقل عمومی پرداخت. در این راستا، از نظر پژوهشی، پیشنهاد می‌شود تحقیق پیمایشی در سطح شهر برای سنجش میزان رضایت ساکنین در دسترسی به خدمات یاد شده صورت گیرد، که دید شهروندان را نسبت به پخش و دسترسی به امکانات حمل و نقل عمومی (اتوبوس)، رصد نماید.

واژگان کلیدی: کارآیی، تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه اتوبوس‌رانی، شهر اردبیل.

۱ کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور رشت، رشت، ایران. (نویسنده مسئول) farhadbarandak20@gmail.com

۲ دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۱- مقدمه

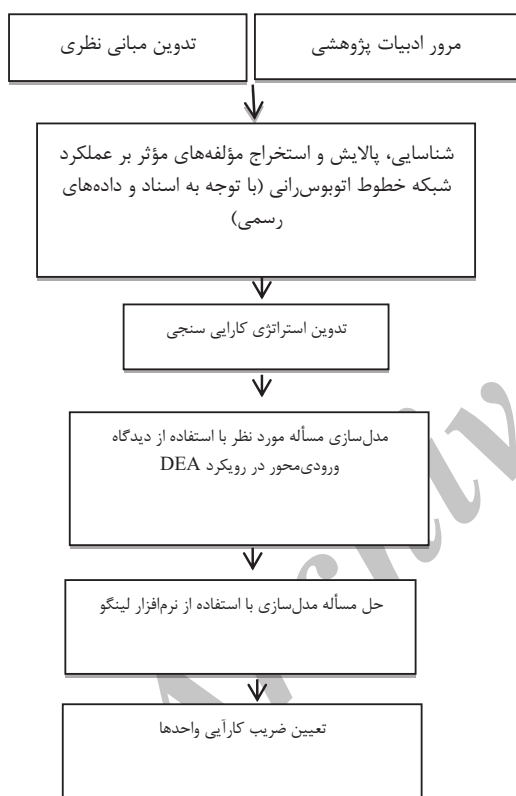
در دهه‌های اخیر با دستیابی به تجهیزات محاسباتی و سیستم‌های تصمیم‌گیری توانمند، امکان انتخاب دقیق‌تر گزینه‌ها، تحلیل مشخصه‌های کمی و کیفی مؤثر و بررسی اثرات متقابل آن‌ها برهم فراهم شده است (نظم‌فر و پادروندی، ۱۳۹۴: ۳۲). احتمالاً مهمترین چالش در علوم، اتخاذ تصمیم در موقعیت‌های مختلف است و این مسأله‌ای است به قدمت نوع بشر. MADM^۱ که یکی از شناخته شده‌ترین شاخه‌های تصمیم‌گیری است، دارای تنوع تکنیکی بسیار گسترده‌ای است (آذر و وفاهی، ۱۳۸۹: ۲۴) که امروزه در زمینه‌های متعدد و مختلف به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. دلیل این امر توانایی و قابلیت بالای این روش‌ها در مدل‌سازی مسایل واقعی و سادگی و قابل فهم بودن آن‌ها برای اکثر کاربران است. فنون و روش‌های ریاضی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری اگرچه جوابی بهینه را ارائه می‌دهند؛ اما تحت شرایط و مفروضات خاصی از این توانایی برخوردار هستند. طبیعی است که حل مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره دارای پیچیدگی است و به راحتی امکان‌پذیر نیست، به‌ویژه آنکه اغلب معیارهای مورد نظر با یکدیگر تعارض دارد و افزایش مطلوبیت یکی می‌تواند باعث کاهش مطلوبیت دیگری شود. به همین دلیل روش‌هایی تحت عنوان تصمیم‌گیری چند معیاره توسعه داده شده‌اند که به حل مسایل مزبور کمک می‌کنند (زنجیرانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۶). تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیر پارامتری برای تخمین کارایی فنی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری از یک پایگاه داده شامل ورودی- خروجی است (Gonzalez et al, ۲۰۱۵: ۳۷۴) و به موجب ویژگی‌های منحصر به فردش، در حوزه‌های مختلف علوم نفوذ نموده است. لذا، روش DEA در زمینه‌های مختلفی مثل سیستم‌های آموزشی، بهداشتی، محصولات کشاورزی، حمل‌ونقل و تدارکات نظامی کاربرد دارد (Bray et al, ۲۰۱۵: ۱۸۸). در این میان؛ هدف مطالعه حاضر، سنجش و ارزیابی کارایی خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل در کاربست با مدل تحلیل پوششی داده‌هاست.

۱ روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

۱-۱- کارایی در حمل‌ونقل عمومی (خطوط اتوبوس‌رانی)

حمل‌ونقل و جابه‌جایی از جنبه‌های اصلی حیات شهری است. در زندگی شهری معاصر شبکه‌های حمل‌ونقل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، تا جایی که از آن به عنوان "شریان‌های حیاتی" شهر امروزی نام برده می‌شود. از سوی دیگر، داشتن ناوگان حمل‌ونقل درون‌شهری روان و پویا از شاخص‌های مهم رضایت شهروندان و همچنین شاخص‌های شهرنشینی پایدار و مطلوب به حساب می‌آید (نقدی، ۱۳۸۹: ۱۹۱). توسعه روزافزون شهرنشینی، جابه‌جایی انسان و کالا را به‌صورت مسأله‌ای درآورده که پیچیدگی آن دائماً در حال افزایش است. حمل‌ونقل و جابه‌جایی انسان و کالا فعالیت مهمی برای هر جامعه انسانی به شمار می‌آید و تأثیرات عمده‌ای بر روی الگوهای زندگی و تعاملات اجتماعی خواهد داشت. لذا، گسترش روز افزون شهرها و افزایش جمعیت شهری موجب شده است که تقاضا برای حمل و نقل درون شهری و استفاده از خدمات شهری افزایش یابد. افزون بر این، افزایش تقاضا برای سفرهای درون‌شهری موجب ایجاد تأثیرات منفی زیادی در زندگی انسان‌ها نظیر آلودگی هوا، آلودگی صوتی، افزایش مسایل مربوط به سلامتی افراد، ترافیک سنگین و تصادفات و... شده است. با وجود اینکه شهرداری‌ها با احداث بزرگراه‌ها، تونل‌ها، پل‌ها و اعمال محدودیت‌های ترافیکی تلاش می‌کنند که این اثرات ناخوشایند را تقلیل دهند، ولی ترافیک و مشکلات ناشی از آن همچنان در حال افزایش است و به یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران تبدیل شده است (قوامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۲). یکی از روش‌هایی که اغلب پژوهشگران حوزه حمل‌ونقل شهری برای کاهش ترافیک بر آن تأکید دارند، ارتقای کیفیت ناوگان حمل‌ونقل عمومی است. لذا استفاده از حمل‌ونقل عمومی یکی از راه‌کارها در کاهش تراکم ترافیک و ارتقای جابه‌جایی در شهرها مطرح است (بهزاد و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵۹). ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل شهری یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها در مبحث برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است، تا بتوان نقاط ضعف و قوت سیستم موجود را شناخت و برنامه‌ریزی بهتری را برای بهبود سیستم موجود ارائه نمود (قوامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۲). لذا با توجه به توسعه و گسترش شهرنشینی و به دنبال آن، افزایش تقاضای سفر در سال‌های اخیر که شهرها را با

نظری از روش‌های مختلفی همچون مطالعات کتابخانه‌ای، مراجعه به اسناد و منابع علمی و جستجوی رایانه‌ای در سایت‌ها و پایگاه‌های مختلفی استفاده شده است. همچنین برای شناسایی معیارهای ارزیابی برخورداری و همچنین عملکرد خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل در قالب منابع ورودی- خروجی (نهاده‌ها و ستاده‌ها)، از اطلاعات مربوط به تحقیقات گذشته در ایران و کشورهای دیگر بهره گرفته شده است. به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، روش شناسی طراحی و تدوین گردد. این روش شناسی شامل چندین مرحله به صورت شکل ۱ است.



شکل ۱- فرآیند انجام پژوهش

۲-۱- شاخص‌سازی، محدوده و جامعه آماری پژوهش

مطابق پیشینه‌های بررسی شده و منابع و اسناد رسمی موجود در دسترس، شاخص‌های ارزیابی کننده برخورداری و کارایی خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل، با توجه به ساختار تکنیک DEA، شاخص‌سازی گشته و وارد محیط عملکردی تکنیک شده‌اند؛ داده‌های اولیه پژوهش حاضر را می‌توان به مثابه عبارت مقابل توجه

مشکلاتی نظیر؛ ترافیک، نبود پارکینگ‌های مناسب و کافی، مسائل زیست‌محیطی و... مواجه ساخته است؛ حمل‌ونقل عمومی، به ویژه اتوبوس‌رانی در توسعه کارکردهای شهری از اهمیت خاصی برخوردار است (ابراهیم زاده و بهارلو، ۱۳۹۱: ۸۷). همچنین است؛ توسعه حمل‌ونقل عمومی به عنوان مناسب‌ترین راه‌کار برای حل مشکلات حمل‌ونقل درون‌شهری مانند ازدحام، شلوغی، آلودگی هوا و مصرف زیاد فرآورده‌های نفتی است. از میان سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی، سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی به علت هزینه‌های کم راه‌اندازی و انعطاف‌پذیری زیاد در جابه‌جایی مسافران، نسبت به سایر سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی از دیدگاه برنامه‌ریزان حمل‌ونقل شهری، اهمیت بیشتری در کاهش مشکلات شهری دارد (امین ناصری و برادران، ۱۳۸۹: ۱۱).

افزایش تقاضای حمل و نقل در آینده و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، استفاده بیش از پیش از سیستم‌های حمل و نقل عمومی را توجیه می‌نماید. از این رو، بهبود سیستم حمل‌ونقل عمومی به ویژه سیستم اتوبوس‌رانی می‌تواند نقش مهمی را در این راه ایفا کند. این بهبود، در دو سطح قابل انجام است؛ نخست بهبود سیستم از طریق تغییر در شبکه اتوبوس‌رانی از نظر مسیر و تعداد خطوط و طراحی یک شبکه جدید و دیگری بهبود عملکرد خطوط از طریق تخصیص مناسب ناوگان به خطوط، به گونه‌ای که بتوان حداکثر استفاده را از وضعیت موجود به دست آورد (شفابخش و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۸). می‌توان گفت؛ برای افزایش سهم حمل‌ونقل همگانی از سفرهای درون شهری، لازم است تا اقداماتی جهت بهبود و توسعه سیستم‌های همگانی در دو زمینه کمی و کیفی انجام گیرد. از این جمله در زمینه کمی به گسترش زیرساخت‌ها، پوشش، امکانات سیستم اتوبوس‌رانی و ناوگان می‌توان اشاره نمود. بهبود سیستم حمل و نقل همگانی به دو طریق صورت می‌گیرد. یکی تغییر تکنولوژی و استفاده از سیستم‌های همگانی سریع مثل مترو (قطار درون شهری) و دیگری، بهبود سیستم اتوبوس‌رانی و استفاده بهتر از امکانات موجود و توسعه آن از طریق انجام تغییراتی در سیستم موجود است (مهراوران و همکاران، ۱۳۹۱).

۲- روش تحقیق

در پژوهش حاضر برای دستیابی به اطلاعات بخش

مورد استفاده قرار می‌گیرد. گفتنی است؛ شاخص‌های مطرح در کاربست مدل DEA؛ تعداد ایستگاه‌های اتوبوس (X_1) - تعداد اتوبوس در نرخ رفت و برگشت (X_2) - مسافت و طول هر خط اتوبوس‌رانی (X_3) - متوسط جابه‌جایی در هر خط (X_4) است. در شکل ۲ نمایش شماتیک نحوه کاربست شاخص‌ها در تکنیک‌های یاد شده نمایش داده می‌شود.

کرد: تعداد خط - مبدا خط - مقصد خط - تعداد ایستگاه در یک رفت و برگشت - تعداد اتوبوس - مسافت و طول خط در یک رفت و برگشت (کیلومتر) - تعداد رفت و برگشت توسط یک دستگاه در روز - متوسط جابه‌جایی روزانه در خط. بر این اساس، بعد از پالایش و استخراج شاخص‌ها، گروه طبقه‌بندی شده شاخص‌ها مطابق ماهیت ورودی-خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها



شکل ۲- داده‌ها و شاخص‌های پژوهش

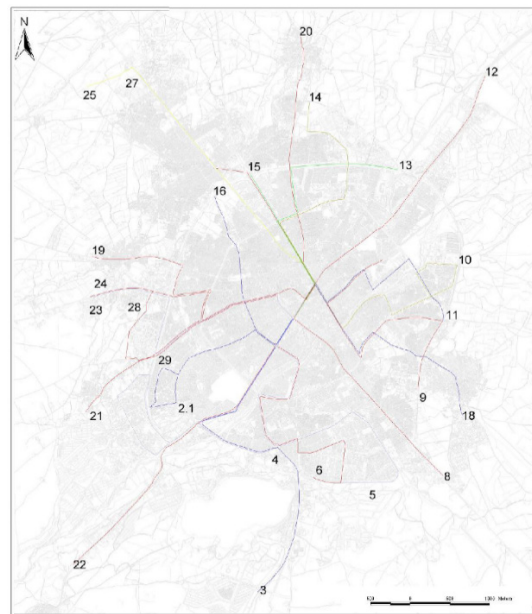
(مطابق طرح جامع ۱۳۹۰) است. لذا، محدوده و داده‌های مربوط به شبکه اتوبوس‌رانی شهر اردبیل مبتنی بر طرح جامع شهر اردبیل (۱۳۹۰) استخراج و طبقه بندی و نمایش داده شده است.

۳- یافته‌های پژوهش

۳-۱- طراحی مدل DEA

گفتنی است که به موازات تلاش اندیشمندان مدیریت، مهندسی و اقتصاد، دانشمندان تحقیق در عملیات به طراحی مدل‌های کمی برای اندازه‌گیری عملکرد پرداختند که در این خصوص می‌توان از مدل‌های مالکوییست^۱، تحلیل پوششی داده‌ها و... نام برد. ویژگی‌ها و قابلیت‌های اغلب مدل‌ها و روش‌های اندازه‌گیری مزبور در تحلیل پوششی داده‌ها خلاصه و یا تکمیل می‌شود (آذر و موتمنی، ۱۳۸۲: ۵). یکی از خصوصیات مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، این است که مدل‌های مذکور، فضای محدبی را به وجود می‌آورند که همه واحدهای مورد ارزیابی را شامل می‌شود. از این رو، به مدل‌های مذکور، "مدل‌های پوششی" نیز گفته می‌شود. در این مدل‌ها، آن دسته از واحدهای تصمیمی که بر روی حد نهایی فضای محدب قرار گرفته‌اند و مرز این فضا را تشکیل می‌دهند، واحدهای کارا هستند. سایر واحدها که درون فضای محدب قرار گرفته‌اند و مرز این فضا را تشکیل می‌دهند، واحدهای کارا هستند. البته واحدهای کارا را نیز می‌توان رتبه‌بندی کرد. برای رتبه‌بندی این واحدها، از سال ۱۹۹۳ به بعد الگوریتم‌های جالبی تدوین شده است که از جمله آنها، مدل کارایی متقاطع اشاره کرد (میرغفوری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۰). برای تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی و داده‌های خروجی از نرم افزارهای Lingo، Deap بهره گرفته می‌شود. برای ارزیابی کارایی خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل، ابتدا با تنظیم ویژگی‌های فضایی-عملکردی این خطوط، به شناخت توصیفی حاصل از خطوط پی برده می‌شود.

انجام سفرهای روزانه به صورت پیاده، نشان دهنده فاصله‌ای کوتاه مبدأ و مقصد بخش چشم‌گیری از سفرهاست. لیکن با توسعه فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی، پراکندگی فعالیت‌های عمده و سطح پایین مالکیت اتومبیل، نقش مؤثر سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی به‌ویژه اتوبوس‌رانی و ایجاد تجهیزات لازم برای آن، روز به روز محسوس‌تر می‌شود. در سال ۱۳۶۱، شرکت واحد اتوبوس‌رانی و مینی‌بوس‌رانی اردبیل و حومه با تعداد ۸ دستگاه اتوبوس با کمک شرکت واحد اتوبوس‌رانی تهران و حومه و ۲۳ نفر عضو شروع به کار نمودند. در سال ۱۳۶۴ با استفاده از وام انجمن حمایت از زندانیان و پنج دستگاه اتوبوس اهدایی شهرداری، ناوگان خود را توسعه داد و در سال ۱۳۷۰ با ۲۴ دستگاه اتوبوس و ۱۲ دستگاه مینی‌بوس به کار خود ادامه داد (۶۴) دستگاه مینی‌بوس نیز در شهر اردبیل به طور مستقل و بدون مجوز فعالیت می‌نمایند که ۲۷ دستگاه آن در سلمان‌آباد دایر است و بیشتر آنها در خطوط فاقد هر گونه وسیله نقلیه و یا در حاشیه شهر، فعالیت می‌نمایند. در حال حاضر ۹۸ دستگاه اتوبوس در ۲۶ مسیر تعدادی بیش از ۹۰۰۰۰ نفر را به طور متوسط در روز جابه‌جا می‌نماید (طرح جامع شهر اردبیل، ۱۳۹۰). اما به علت نبود داده‌های تکمیلی در ۲ خط شماره ۱۷ و ۲۵ جامعه آماری پژوهش حاضر ۲۴ مسیر اتوبوس‌رانی شهر اردبیل



شکل ۳- مسیرهای ۲۹ گانه خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل
(منبع: طرح جامع شهر اردبیل، ۱۳۹۰)

جدول ۱- ویژگی فضایی- عملکردی خطوط اتوبوس رانی

(منبع: طرح جامع شهر اردبیل، ۱۳۹۰)

نشانگر	نوع خط	مبدأ	مقصد	تعداد ایستگاه در یک رفت و برگشت	تعداد اتوبوس	مسافت و طول خط در یک رفت و برگشت (کیلومتر)	تعداد رفت و برگشت در دستگاه در روز	متوسط جابه جایی روزانه
۱	شهری	حافظ	امام حسین	۳۰	۸	۶	۱۸	۹۵۶۰
۲	شهری	کوثر	شریعی	۲۴	۴	۴.۵	۱۹	۳۴۰۰
۳	شهری	بسپج	امام حسین	۲۰	۴	۱.۴	۱۹	۳۶۰۰
۴	شهری	باکری	سرچشمه	۳۴	۹	۷.۵	۱۴	۹۵۰۰
۵	شهری	جانیازان	شریعی	۲۰	۳	۵	۱۸	۱۵۰۰
۶	شهری	بسپج	شریعی	۲۴	۲	۵	۲۱	۵۶۰
۷	شهری	هاشم آباد	مسجدسرچشمه	۳۰	۵	۶	۱۷	۳۸۱۷
۸	شهری	بهشت فاطمه	منبع آب	۲۰	۴	۶	۱۵	۲۵۰۰
۹	شهری	شهرک زرناس داخلی	بازار	۳۲	۳	۱.۴	۱۸	۱۶۶۰
۱۰	شهری	شهرک توحید	بازار	۲۶	۳	۴.۷	۱۸	۲۰۲۰
۱۱	شهری	میدان جام جم	بازار	۲۸	۶	۶.۲	۱۹	۵۹۵۰
۱۲	شهری	رسالت	امام حسین	۲۶	۵	۶	۱۸	۸۶۰۰
۱۳	شهری	شهرک سینا	امام حسین	۳۰	۲	۶.۵	۱۹	۱۲۰۰
۱۴	شهری	وحدت	بعثت	۲۸	۶	۷	۱۵	۲۳۰۰
۱۵	شهری	خاتم النبیین	امام حسین	۲۸	۶	۴	۱۸	۷۰۰۰
۱۶	شهری	مفید	سرچشمه	۲۶	۴	۵	۲۱	۳۱۰۰
....	حومه	میدان بهار	ایستگاه سرعین	۲۰	۲	۵	۲۱	-
۱۷	حومه	نیار	امام حسین	۲۴	۴	۴	۱۹	۴۵۱۰
۱۸	حومه	کلخوران	امام حسین	۲۴	۳	۶.۳	۱۷	۳۶۰۰
۱۹	حومه	گلمغان	مصطفی	۲۴	۳	۷	۱۸	۳۸۰۰
۲۰	حومه	ملاباشی	عالی قاپو	۱۸	۱	۵.۵	۱۷	۹۳۵
۲۱	حومه	شام آسی	شریعی	۱۴	۱	۵	۱۷	۱۱۰۰
۲۲	حومه	آراز علی	قیام	۱۴	۲	۶	۱۷	۱۱۵۷
۲۳	حومه	نوبران	عالی قاپو	۴۰	۱	۹	۱۴	۲۷۵۰
....	حومه	حسن یاری	امام زاده مصلح	۳۴	۲	۸	۱۶	-
۲۴	حومه	سلمان آباد	قیام	۲۴	۵	۶	۱۷	۴۵۰۰

ارزیابی شده‌اند و بقیه خطوط هم مسلماً ناکاراً هستند. لذا با توجه به درک مقادیر و ارزش‌های به‌دست آمده از پژوهش (اینکه شاخص خروجی پژوهش (مسافران) با افزایش خود سبب بهبود کارایی خطوط می‌گردند،

جدول ۲- پارامترهای کلی مربوط به کارایی خطوط اتوبوس رانی شهر اردبیل در مدل CCR-I

پارامتر	ارزش
مجموع ضرایب کارایی	۱۴.۲
میانگین کارایی	۰.۵۹
انحراف معیار کارایی	۰.۲۷
ضریب بیشترین کارایی	۱
ضریب کمترین کارایی	۰.۱۲۷
درصد خطوط کاراً	٪۱۷
درصد خطوط ناکاراً	٪۸۳

در مدل CRS-I کارایی واحدها در بازه‌های بین ۰ و ۱ تعریف شده است و قرار گرفتن واحدی در مرز کارایی، با عدد ۱ مشخص می‌گردد و به موازات فاصله گرفتن از این مقدار از کارایی واحدها کاسته می‌شود. با استناد به یافته‌های تحقیق و نتایج حاصله کلی به‌دست آمده، پارامترهای کلی مربوط به کارایی خطوط اتوبوس رانی شهر اردبیل در جدول ۲ آورده شده است.

مطابق نتایج به‌دست آمده، در مدل تحلیل پوششی داده‌ها با فرض ثابت بودن بازده به مقیاس، تنها خطوط شماره ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳ دارای کارایی کامل هستند. در تقسیم بندی کارایی در ۳ گروه کاراً ($\mu=1$)، قابل قبول ($\mu \geq 0.7$) و غیر قابل قبول ($\mu < 0.7$) باید اشاره کرد که؛ علاوه بر کارایی کامل خطوط ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳، خطوط اتوبوس رانی ۴، ۱۵ و ۱۷ دارای کارایی قابل قبول

است بلندمدت که منعکس کننده افزایش در خروجی به ازاء افزایش در میزان ورودی‌هاست. این نسبت می‌تواند ثابت، صعودی و یا نزولی باشد. نسبت بازده ثابت به مقیاس وقتی صادق است که افزایش در ورودی به همان نسبت موجب افزایش خروجی شود. بازده صعودی نسبت به مقیاس آن است که میزان خروجی به نسبتی بیش از میزان افزایش در ورودی‌ها، افزایش یابد و در صورتی که میزان افزایش در خروجی‌ها کمتر از نسبتی باشد که ورودی‌ها افزایش داده شوند، بازده نزولی نسبت به مقیاس ایجاد شده است (مهرگان، ۱۳۸۱: ۱۸).

در مدل تحلیل پوششی داده‌ها، برای به مرز کارایی رسیدن واحدهای ناکارآ، واحد مجازی برای الگوگیری پیشنهاد می‌شود (کیانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۸) که با ترکیب شدن ضرایب الگوهای مطرح باهم در یک پروسه الگوگیری، مختصات جدیدی برای واحد ناکارآ ایجاد می‌شود که موجب کارآ شدن عملکرد آن

می‌توان با تغییر و افزودن مسیر به طراحی جدیدی از خطوط برای تجهیز همه مناطق و بلوک اصلی و بلوک شهر به فراگیری دسترسی شهروندان به حمل و نقل عمومی پرداخت.

کارایی مقیاس بیانگر عملکرد واحدها نسبت به اندازه بهینه خود است. میانگین کارایی مقیاس در خطوط اتوبوسرانی شهر اردبیل ۰٫۶۸ است که در این میان، ۴ خط اتوبوسرانی ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳ دارای مقیاس بهینه و ۲۰ خط دیگر شهر دچار ناکارآمدی مقیاس هستند. در این بین خط شماره ۶ با ۰٫۸۲ درصد ناکارایی مقیاس، گویای بیشترین ناکارایی در مبحث مقیاس است. همچنین در ارزیابی بازدهی مقیاس خطوط ناکارآ، اکثر خطوط به جز خطوط ۴ و ۱۵ دارای بازدهی افزایشی به مقیاس هستند که بیانگر وضعیتی است که در آن، میزان افزایش در خروجی‌ها بیشتر از نسبتی باشد که ورودی‌ها افزایش داده شوند. بازده به مقیاس مفهومی

جدول ۳- کارایی خطوط اتوبوسرانی در مدل DEA

شماره	کارایی	رتبه	مراجع	وزن مراجع	وزن مقیاس	نوع بازدهی
۱	۱٫۰۰۰	۱	۱	۱٫۰۰۰	۱٫۰۰۰	ثابت
۲	۰٫۵۰۸	۱۱	۱۲-۳	۰٫۳۶۳-۰٫۰۷۸	۰٫۶۵۵	افزایشی
۳	۱٫۰۰۰	۱	۳	۱٫۰۰۰	۱٫۰۰۰	ثابت
۴	۰٫۸۶۲	۳	۱۲-۳-۱	۰٫۸۹۶-۰٫۰۴۴-۰٫۱۷۱	۰٫۸۶۲	کاهشی
۵	۰٫۲۷۸	۱۸	۲۳-۱۲	۰٫۰۴۸-۰٫۱۵۹	۰٫۴۰۹	افزایشی
۶	۰٫۱۲۷	۲۱	۲۳-۱۲	۰٫۰۳۵-۰٫۰۵۴	۰٫۱۶۷	افزایشی
۷	۰٫۴۶۷	۱۷	۲۳-۱۲	۰٫۰۱۹-۰٫۴۳۸	۰٫۷۱۰	افزایشی
۸	۰٫۴۱۱	۱۵	۲۳-۱۲	۰٫۱۰۲-۰٫۲۵۸	۰٫۶۰۹	افزایشی
۹	۰٫۵۶۰	۹	۱۲-۱	۰٫۳۳۶-۰٫۰۵۲	۰٫۵۶۰	افزایشی
۱۰	۰٫۳۷۷	۱۶	۲۳-۱۲	۰٫۰۵۱-۰٫۲۱۸	۰٫۵۰۸	افزایشی
۱۱	۰٫۶۵۰	۷	۱۲-۱	۰٫۴۸۷-۰٫۱۸۴	۰٫۸۲۲	افزایشی
۱۲	۱٫۰۰۰	۱	۱۲	۱٫۰۰۰	۱٫۰۰۰	ثابت
۱۳	۰٫۲۷۷	۱۹	۲۳-۱۲	۰٫۱۳۶-۰٫۰۹۶	۰٫۴۲۵	افزایشی
۱۴	۰٫۲۶۵	۲۰	۲۳-۱۲	۰٫۰۱۵-۰٫۲۶۳	۰٫۴۵۱	افزایشی
۱۵	۰٫۹۹۶	۲	۱۲-۱-۳	۰٫۳۴۳-۰٫۱۵۴-۰٫۰۷۱۸	۰٫۹۶۶	کاهشی
۱۶	۰٫۴۱۷	۱۴	۱۲-۳	۰٫۳۳۲-۰٫۰۶۸	۰٫۵۹۹	افزایشی
۱۷	۰٫۷۲۸	۴	۱۲-۳	۰٫۴۳۶-۰٫۲۱۲	۰٫۸۲۴	افزایشی
۱۸	۰٫۶۸۷	۸	۲۳-۱۲	۰٫۱۷۷-۰٫۳۶۲	۰٫۸۲۹	افزایشی
۱۹	۰٫۶۹۲	۵	۱۲-۲۳	۰٫۳۹۰-۰٫۱۶۲	۰٫۸۷۵	افزایشی
۲۰	۰٫۴۳۷	۱۳	۲۳-۱۲	۰٫۰۱۵۹-۰٫۰۵۸	۰٫۴۴۵	افزایشی
۲۱	۰٫۵۵۵	۱۰	۲۳-۱۲	۰٫۱۴۰-۰٫۰۸۳	۰٫۵۵۵	افزایشی
۲۲	۰٫۳۳۹	۱۷	۱۲-۲۳	۰٫۱۲۲-۰٫۰۳۹	۰٫۳۳۹	افزایشی
۲۳	۱٫۰۰۰	۱	۲۳	۱٫۰۰۰	۱٫۰۰۰	ثابت
۲۴	۰٫۵۶۷	۸	۱۲	۰٫۵۲۳	۰٫۶۹۰	افزایشی

واحد می‌شود. پس، معرفی واحدهای مرجع از مزایای روش تحلیل پوششی داده‌هاست که واحدهای ناکارا می‌توانند با الگوگیری از آنها به کارایی دست یابند. خط اتوبوس‌رانی با نشانگر ۱۲ در پژوهش حاضر با ۲۰ بار الگو واقع شدن برای خطوط ناکارا، الگوی غالب خطوط ناکارا برای الگوگیری محسوب می‌شود. ویژگی‌های کلی مربوط به کارایی خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل در جدول شماره ۳ آورده شده است.

همان‌طوری که از نتایج این روش مشاهده می‌شود؛ خطوط شماره ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳ با وزن‌های ۱،۰۰۰ در رتبه اول سنجش کارایی جای داده شده‌اند. لذا خطوط اشاره شده، کاراترین خطوط شهری اردبیل در شرایط مقایسه نسبی بین خطوط شهری و حومه‌ای را دارا هستند. در بین خطوط ارزیابی شده، خط شماره ۱۲ با ۲۰ بار مرجع واقع شدن برای خطوط ناکارای اردبیل، الگوی غالب خطوط ناکاراست.

۴- نتیجه‌گیری

با تأکید بر مؤلفه‌های "مکانی- طراحی" خطوط اتوبوس‌رانی، پژوهش حاضر اقدام به ارزیابی عملکرد کارایی خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل نموده است. در این راستا، با ملحوظ کردن مفهوم نوآورانه مطروحه، انتخاب شاخص‌های متأثر از جانمایی مکانی (وضع موجود مسافت و طول هر خط)، طراحی کالبدی- عملکردی (تعداد ایستگاه‌های اتوبوس تعبیه شده و تعداد اتوبوس‌های کاربردی در هر خط) به عنوان منابع ورودی تحلیل فراگیر داده‌ها؛ برابر با متوسط جابه‌جایی در هر خط اتوبوس‌رانی (به‌عنوان شاخص خروجی) مورد تحلیل قرار گرفته است. لذا در ابتدا، در راستای ارزیابی کارایی خطوط اتوبوس‌رانی شهر اردبیل، به تنظیم ویژگی‌های فضایی-عملکردی این خطوط از قبیل؛ تعداد خط- مبدأ خط- مقصد خط- تعداد ایستگاه در یک رفت و برگشت- تعداد اتوبوس- مسافت و طول خط در یک رفت و برگشت (کیلومتر)- تعداد رفت و برگشت توسط یک دستگاه در روز- متوسط جابه‌جایی روزانه در خط پرداخته شده است و سپس با بررسی پیشینه‌های پژوهشی و دامنه داده‌های رسمی منتشر شده در این بخش، به شاخص سازی داده‌ها مطابق با رویکرد پژوهشی مقاله (کارایی خطوط اتوبوس‌رانی) و مدل تحلیل پوششی داده‌ها در

قالب شاخص‌های ورودی و خروجی، اقدام گردید. گفتنی است؛ شاخص‌های مطرح در کاربست مدل DEA؛ تعداد ایستگاه‌های اتوبوس (X₁) - تعداد اتوبوس در نرخ رفت و برگشت (X₂) - مسافت و طول هر خط اتوبوس‌رانی (X₃) - متوسط جابه‌جایی در هر خط (X₄) است. مطابق نتایج به‌دست آمده در مدل تحلیل پوششی داده‌ها و با فرض ثابت بودن بازده به مقیاس، تنها خطوط شماره ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳ دارای کارایی کامل ارزیابی شده‌اند. اما با یک نگاه طیفی به مسأله کارایی؛ در تقسیم بندی کارایی در ۳ گروه کارآ (μ=۱)، قابل قبول (μ≥۰,۷) و غیرقابل قبول (μ<۰,۷) باید اشاره کرد که؛ علاوه بر کارایی کامل خطوط ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳، خطوط اتوبوس‌رانی ۴، ۱۵ و ۱۷ دارای کارایی قابل قبول ارزیابی شده‌اند و بقیه خطوط هم مسلماً ناکارا هستند. لذا با توجه به درک مقادیر ارزش‌های به‌دست آمده از پژوهش و ماهیت شاخص خروجی تحقیق (مبنی بر اینکه شاخص خروجی پژوهش (مسافران) با افزایش خود سبب بهبود کارایی خطوط می‌گردند)، می‌توان با تغییر و افزودن مسیر به طراحی جدیدی از خطوط برای تجهیز همه مناطق و بلوک اصلی شهر به فراگیری دسترسی شهروندان به حمل و نقل عمومی پرداخت. در این راستا، از نظر پژوهشی، پیشنهاد می‌شود تحقیق پیمایشی در سطح شهر برای سنجش میزان رضایت ساکنین در دسترسی به خدمات یاد شده صورت گیرد که دید شهروندان را نسبت به پخش و دسترسی به امکانات حمل و نقل عمومی (اتوبوس)، رصد نماید، چراکه تلفیق رویکرد کمی گرایانه با شناخت اجتماع محلی، می‌تواند در برنامه‌ریزی هرچه صحیح‌تر، کارآتر باشد.

منابع

- آذر، عادل و داود غلامرضایی، (۱۳۸۸)، رتبه‌بندی استان‌های کشور با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها) با به کارگیری شاخص‌های توسعه انسانی، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال هشتم، شماره ۲۷، صص ۱۵۳-۱۷۳.
- آذر، عادل و علی رجب زاده، (۱۳۹۱)، تصمیم‌گیری کاربردی رویکردی MADM، تهران، انتشارات نگاه دانش.
- آذر، عادل و علیرضا مؤتمنی، (۱۳۸۲)، طراحی مدل پویای بهره‌وری با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها، مدرس علوم انسانی، دوره ۷، شماره ۳، صص ۱-۲۲.
- آذر، عادل و فرهاد وفايي، (۱۳۸۹)، رتبه بندی فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه MADM با استفاده از برخی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط فازی و مقایسه آن با رتبه بندی به روش DEA، دوماهنامه دانشور رفتار، مدیریت و پیشرفت، سال ۱۷، شماره ۴۱، صص ۲۳-۳۸.
- ابراهیم زاده، عیسی و عباس بهارلو، (۱۳۹۱)، تحلیلی بر کارکرد سیستم اتوبوس‌رانی و نقش آن در حمل و نقل شهری مورد شناسی؛ شهر زاهدان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۳، صص ۸۷-۱۱۰.
- امین ناصری، محمدرضا و وحید برادران، (۱۳۸۹)، بررسی عوامل مؤثر بر زمان توقف اتوبوس‌ها در ایستگاه‌ها و پیش‌بینی آن در سیستم حمل و نقل اتوبوس‌رانی شهر تهران، پژوهش‌نامه حمل و نقل، سال هفتم، شماره ۱، صص ۱۱-۲۶.
- بهزاد، رضا؛ افشین شریعت مهیمنی و محمود احمدی نژاد، (۱۳۹۱)، ارائه روش ابتکاری طراحی شبکه اتوبوس‌رانی با استفاده از نظریه گراف، پژوهش‌نامه حمل و نقل، سال نهم، شماره ۴، صص ۳۵۹-۳۷۱.
- پوراصغر، فرزاد؛ اسماعیل صالحی و مرتضی دیناروندی، (۱۳۹۲)، مقایسه روش‌های سنجش توسعه پایدار منطقه‌ای با استفاده از شاخص‌های ترکیبی (مطالعه موردی: استان‌های کشور ایران)، فصل‌نامه محیط زیست، سال چهارم، شماره ۷، صص ۴۵-۵۸.
- پورطاهری، مهدی، (۱۳۹۳)، کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در جغرافیا، تهران، سمت.
- شرکت مهندسی طرح کاوش، طرح جامع شهر اردبیل، ۱۳۹۰.
- شفابخش، غلامعلی؛ حسین نادرپور و حمیدرضا راسخی، (۱۳۸۹)، مدل‌سازی تخصیص ناوگان اتوبوس‌رانی شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: مشهد مقدس)، نشریه مهندسی حمل و نقل، سال اول، شماره ۳، صص ۶۷-۷۹.
- قوامی، سیدمرسل؛ علی کریمی و محمد سعیدی مسگری، (۱۳۹۰)، ارزیابی خطوط اتوبوس‌رانی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و تحلیل پوششی داده‌ها، مطالعه موردی: خطوط اتوبوس‌رانی تهران، نشریه مهندسی حمل و نقل، سال دوم، شماره ۳، صص ۲۶۱-۲۷۱.
- کیانی مقدم، منصور؛ مهدی جعفرزاده کناری و علیرضا بخشی زاده، (۱۳۹۲)، ارزیابی کارایی بنادر ایران با تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، اقیانوس شناسی، سال چهارم، شماره ۱۳، صص ۷۳-۸۳.
- محمدی زنجیرانی، داریوش؛ خدکارم سلیمی‌فر و شهلا یوسفی ده‌بیدی، (۱۳۹۳)، بررسی عملکرد متداول‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با رویکرد بهینه‌یابی، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، دوره ۱۱، شماره ۴۰، صص ۶۵-۸۴.
- مهرآوران، مانده؛ وحید فرقانی و علیرضا باقری، (۱۳۹۱)، مسیریابی بهینه سیستم‌های اتوبوس‌رانی داخل شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.
- مهرگان، محمدرضا، (۱۳۸۱)، مدل‌های کمی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها، تهران، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- میرغفوری، سیدحبيب اله، میثم شفیعی رودپشتی و غزاله ندافی، (۱۳۹۰)، مقایسه و رتبه بندی عملکرد مالی شرکت‌های مخابرات استانی با رویکرد مدل جمعی تحلیل پوششی داده‌ها و وروش کارایی متقاطع، نشریه فرایند مدیریت و توسعه، شماره ۷۶، صص ۱۰۳-۱۲۷.
- نقدی، اسداله، (۱۳۸۹)، دیدگاه‌های شهروندان همدانی درباره خصوصی سازی اتوبوس‌رانی شهری، فصلنامه تخصصی علوم اجتماعی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد شوشتر، سال چهارم، شماره ۸، صص ۱۹۱-۲۱۲.
- نظم‌فر، حسین و پادروندی، بهزاد، (۱۳۹۴)، تحلیل مقایسه‌ای از کاربرد روش‌های تحلیل چندمعیاره در مطالعات منطقه‌ای (مطالعه موردی: استان لرستان)، فصل‌نامه برنامه ریزی منطقه‌ای، سال پنجم، شماره ۱۷، صص ۳۱-۴۴.



Bray, S., L. Caggiani, & O. Ottomanelli, (2013). Measuring transport systems efficiency under uncertainty by fuzzy sets theory based Data Envelopment Analysis: theoretical and practical comparison with traditional DEA model, *Transportation Research*, Vol. 5, pp. 186-200.

Gonzalez, M., J. Looez Espin, J. Aparicio, D. Gimenez, & T. Pařtor, (2015). Using Genetic Algorithms for Maximizing Technical Efficiency in Data Envelopment Analysis, *Computer Science*, Vol. 51, pp. 374-383.

Archive of SID