ارزیابی خطوط اتوبوس‌رانی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و تحلیل پوششی داده‌ها، مطالعه موردی: خطوط اتوبوس‌رانی تهران

سید مرسل قوامی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
علی کریمی (نویسنده مسئول)،دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
محمد سعدی مسگری، دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
E-mail:ali.karimi@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۷/۰۵ تاریخ پذیرش:۹۰/۱۲/۱٤

چکیده

خطوط اتوبوس‌رانی شهر تهران، هم از جنبه عملکردی مانند مصرف سوخت و یا استهلاک زیاد اتوبوسها، و هم از جهت مکانی مانند مکان ایستگاه‌ها و یا میزان دسترسی، در وضعیت مناسبی قرار ندارند. بنابراین ارایه روش کارآمدی که با در نظر گرفتن هر دو جنبه شاخصهای عملکردی و مکانی به ارزیابی عملکرد خطوط اتوبوس‌رانی بپردازد، ضرورت دارد. در این تحقیق با ترکیب مدل تحلیل پوششی داده‌ها و سامانه اطلاعات مکانی، کارآیی خطوط اتوبوس‌رانی ارزیابی می‌شود. از سامانه اطلاعات مکانی برای تهیه شاخصهای مکانی و از مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه کارآیی خطوط استفاده می‌شود. برتری این مدل، تخصیص وزن به شاخصها توسط خود مدل تحلیل پوششی داده‌هاست، به گونه‌ای که هر خط بهترین مقدار کارآیی ممکن را داشته باشد. شاخصهای تعداد ایستگاه‌ها و مصرف سوخت، به عنوان شاخصهای ورودی و شاخصهای تعداد افراد ناتوان در استفاده از سرویس و جمعیت تحت پوشش هر خط، به عنوان شاخصهای خروجی در نظر گرفته شده اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که از میان ١٤ خط مورد مطالعه، ۵ خط دارای کارآیی بالا و ۸ خط دارای کارآیی متوسط و ۱ خط دارای کارآیی ضعیف است.

واژه‌های کلیدی: سامانه اطلاعات مکانی، تحلیل پوششی داده‌ها، کارآیی، سیستم اتوبوس‌رانی

۱. مقدمه

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 درون شهری موجب ایجاد تأثیرات منفی زیادی در زندگی انسانها نظیر آلودگی هوا، آلودگی صوتی، افزایش مسائل مربوط به سلامتی افراد، ترافیک سنگین و تصادفات و ... شده است. با وجود اینکه شهرداریها با احداث بزرگ راهها، تونلها، پلها و اعمال محدودیتهای ترافیکی در تلاش‌اند 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 [United Nations, 2003].

یکی از روشهایی که اغلب پژوهشگران حوزه حمل و نقل شهری برای کاهش ترافیک بر آن تاکید دارند، ارتقای کیفیت ناوگان حمل و نقل عمومی است. ارزیابی عملکرد سیستمهای حمل و نقل شهری یکی از مهم‌ترین فعالیتها در مبحث برنامه ریزی حمل و نقل است تا بتوان نقاط ضعف و قوت سیستم موجود را شناخت و برنامه‌ریزی بهتری را برای بهبود سیستم موجود ارائه کرد [Karlaftis, 2004]. در این پژوهش برخی از خطوط اتوبوس‌رانی شهر تهران مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ناوگان اتوبوس‌رانی فراگیرترین سیستم حمل و نقل عمومی در سطح شهر تهران است، وجود بیش از ۶۵۰۰ دستگاه اتوبوس، ۳۰۰ خط اتوبوس و دارا بودن بیش از ۳۰۰۰ ایستگاه اتوبوس، بیانگر این موضوع است. [Tehran Municipality, 2008].

از بهترین روشهای ارزیابی خطوط اتوبوس‌رانی، محاسبه کارآیی آنهاست. کارآیی[1] به عبارت ساده، به نسبت خروجیها به ورودیهای یک واحد گفته می‌شود. بنابراین هر چه یک واحد تصمیم گیری با مصرف ورودی کمتر، خروجی بیشتری تولید کند، کارآیی و عملکرد آن بیشتر خواهد بود [Gilbert, 2003]. مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[2])، یکی از بهترین مدلهای ارایه شده برای محاسبه کارآیی نسبی واحدهای مختلف تصمیم‌گیری (DMU[3]) است. در این مدل، که با یافتن بهترین وزنها برای ورودیها و خروجیها، بیشترین مقدار کارآیی ممکن برای هر واحد محاسبه می‌شود، برخلاف سایر مدلها که وزن خروجیها و ورودیها به صورت ثابت و با اعمال نظر فرد تصمیم‌گیرنده تخصیص داده می‌شود (که این امر از دقت نتایج می‌کاهد) در DEA، تخصیص وزن به شاخصها توسط خود مدل صورت می‌گیرد [Banker et. al, 1984].

تاکنون پژوهشهای زیادی در زمینه ارزیابی کارآیی حمل‌ونقل عمومی با استفاده از مدلDEA انجام شده است. مارگاری و همکاران [Margari et. al, 2007] ۴۰ شرکت حمل و نقل در ایتالیا را با استفاده از تلفیق DEA-SFA[4] مورد ارزیابی قرار دادند. آنها پارامترهایی همچون تعداد مسافران، تعداد کارکنان، میزان مصرف سوخت و هزینه‌ها را به عنوان شاخصهای ورودی و خروجی DEA در نظر گرفتند. کارلافتیس [Karlaftis, 2004] ۲۵۶ خط اتوبوس در شهر نیویورک را با استفاده از DEA مورد ارزیابی قرار داد. او تعداد اتوبوسها، میزان مصرف سوخت و تعداد کارکنان را به عنوان شاخص ورودی و تعداد مسافران را به عنوان شاخص خروجی در نظر گرفت. بارنوم و همکاران [Barnum et. al, 2008] از DEA دو مرحله‌ای برای ارزیابی کارآیی ۴۶ خط اتوبوس‌رانی در آمریکا استفاده کردند. در مرحله اول DEA برای مقایسه خطوط یک شرکت حمل و نقل ارایه شد. در مرحله دوم نیز یک روش بهبود یافته برای تغییر مقادیر اولیه حاصل از DEA مرحله اول بیان شد. آنها همچنین تعداد مسافران، میزان مصرف سوخت، تعداد سرویسهای روزانه و تعداد کارکنان، به عنوان شاخصهای DEA رادر نظر گرفتند. دی بورگر و همکاران [De Borger et. al, 2002] تعداد رانندگان، تعداد کارکنان و میزان سوخت را به عنوان شاخصهای ورودی و تعداد مسافران را به عنوان شاخص خروجی مدل DEA برای ارزیابی خطوط اتوبوس‌رانی انتخاب کردند.

یک مدل مبتنی بر DEA و برنامه‌ریزی چندهدفه برای ارزیابی ۴۰ خط اتوبوس‌رانی از دیدگاه مسافران و سرویس دهندگان، توسط شس و همکاران [Sheth et. al, 2007] ارایه شد. آنها هزینه کلی، طول مسیر، تعداد ایستگاه‌ها و تعداد سفرها را به

عنوان شاخصهای ورودی و خروجی DEA در نظر گرفتند. یو و فان [Yu and Fan, 2009] از یک مدل DEA با ساختار شبکه‌ای تلفیقی، برای ارزیابی خطوط اتوبوس ۲۳ شرکت در کشور تایوان استفاده کردند. آنها تعداد رانندگان، تعداد اتوبوسها، میزان مصرف سوخت، طول مسیر، میزان فروش و تراکم جمعیت را به عنوان شاخصهای مدل DEA استفاده کردند. ژاو و همکاران [Zhao et. al., 2011] با استفاده از ترکیب DEA شبکه‌ای و شبیه‌ساز ترافیک، به ارزیابی سیستم حمل و نقل پرداختند .آنها شاخصهای هزینه و میزان مصرف سوخت را به عنوان شاخص ورودی مدل DEA و درآمد، مسافر- کیلومتر را به عنوان شاخص خروجی مدل در نظر گرفتند.کونترا مونتویا و سانتوس [Contreras-Montoya and Santos, 2001] از DEA برای ارزیابی کارآیی تکنیکی سرویس اتوبوس‌رانی در شهر سن خوزه کاستاریکا استفاده کرد.آنها میزان سفرهای ماهانه اتوبوسها (برحسب کیلومتر)، تعداد صندلیهای اتوبوسهای شرکت (به عنوان شاخص معرف کیفیت ناوگان)، هزینه‌های مربوط به شرکت (هزینه‌های اجرایی و اداری) و میزان مصرف سوخت را به عنوان شاخصهای ورودی و خروجی DEA در نظر گرفتند.

همان‌گونه که از تحقیقات پژوهشهای یاد شده مشخص است، در بیشتر آنها تنها به ارزیابی بعد عملکردی و منافع شرکتهای اتوبوس‌رانی توجه شده است و مؤلفه‌های مکانی کمتر مورد نظر بوده اند. مکان‌یابی نامناسب ایستگاه‌ها و خطوط اتوبوس، موجب تحمیل هزینه‌های اضافی و همچنین از دست دادن جمعیت بالقوه استفاده کننده از اتوبوس می‌شود. وجه تمایز این تحقیق با سایر تحقیقات، ارزیابی کارآیی خطوط اتوبوس‌رانی با در نظر گرفتن توأم شاخصهای عملکردی و مکانی است. یک خط اتوبوس‌رانی که از جنبه عملکرد و هزینه برای شرکت مناسب بوده و سودمندی لازم را برای مدیران بنگاه داشته باشد، ولی رضایت مشتریان را فراهم نکند در کل کارآیی لازم را نخواهد داشت. عکس این مطلب نیز درست است، یعنی این که خط اتوبوس‌رانی که رضایت مشتریان را جلب کرده، ولی برای شرکت از دیدگاه هزینه و سود، مناسب نباشد، کارآیی لازم را نخواهد داشت.در این پژوهش با تلفیق DEA و سامانه اطلاعات مکانی (GIS[۵])، کارآیی خطوط اتوبوس‌رانی شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت.

GIS نوعی از سیستمهای اطلاعاتی بر مبنای رایانه است که توانایی اخذ، بازیابی، مرتب سازی، مدل‌سازی، تغییر و تحول، تحلیل و پردازش و همچنین نمایش داده‌های زمین مرجع[۶] را دارد [De By, et. al, 2004]. در این پژوهش از GIS در دو مرحله استفاده می‌شود، مرحله اول: استفاده به عنوان پایگاه داده و آماده سازی داده‌های ورودی مدل DEA و مرحله دوم: نمایش بصری چگونگی توزیع ایستگاه‌های اتوبوس و مسیرها، تعیین میزان پوشش سرویس و ... که تحلیل سیستم موجود را تسهیل می کند. در بخش دوم این پژوهش DEA و مدل انتخابی مناسب برای پژوهش تشریح خواهد شد. در بخش سوم روند کلی انجام تحقیق، چگونگی جمع آوری داده‌ها و آماده سازی مقادیر شاخصهای عملکردی و مکانی به عنوان ورودی و خروجی مدل DEA بیان می‌شود. مطالعه موردی صورت گرفته روی خطوط اتوبوس‌رانی تهران، حل مدل DEA و بیان نتایج کارآیی خطوط در فصل چهارم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل پنجم یافته‌ها و نتایج حاصل از تحقیق مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲. مدل DEA

DEA، روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی برای برآورد کارآیی است. این روش با حل مدلهای ریاضی برای مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) و با استفاده از اطلاعات مربوط به میزان ورودیها و خروجیهای واقعی آن واحدها، یک واحد مجازی با بالاترین کارآیی ساخته و واحدهای ناکارآ را می سنجد. کارآیی یک واحد عبارت از نسبت ترکیب وزنی خروجیها بر ترکیب وزنی ورودیها. برای توضیح بیشتر، n واحد تصمیم‌گیری را در نظر می‌گیریم که واحد jام، m ورودی x_{ij} را برای تولید s خروجی y_{rj} مصرف می‌کند. در این حالت، کارآیی واحد تصمیم‌گیری jام، به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$efficieny_j = \frac{\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \qquad j = 1,...,n. \qquad (۱)$$

تعیین وزنهای μ_r (وزن خروجی rام) و v_i (وزن ورودی iام) یکی از مشکلاتی است که مدل DEA برای یافتن این وزنها طراحی شده است. مدل بالا را می‌توان به فرم مدل برنامه‌ریزی خطی زیر بیان کرد که هدف آن یافتن کارآیی هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری با فرض تخصیص بهترین وزنهای خروجی و ورودی است، به عبارت دیگر در مدل DEA نیازی به تخصیص وزنها توسط تصمیم نیست، بلکه مدل DEA به صورت اتوماتیک بهترین وزنها را به ورودی و خروجیها تخصیص می‌دهد.

$$Max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp} \qquad (۲)$$

$$s.t: \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ip} = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \quad j = 1,...,n,$$

$$u_r, v_i \ge 0 \quad r = 1,...,s,\ i = 1,...,m.$$

مدل (۲) که به مدل CCR معروف است توسط چارنز [Charnes, 1978] پیشنهاد شد. این مدل برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری حل می‌شود و مقدار بهینه مدل، میزان کارآیی آن واحد را نشان می‌دهد. در مدل CCR بازده نسبت به مقیاس ثابت است. بازده به مقیاس، نشانگر میزان تغییرات خروجیها نسبت به تغییرات ورودیهاست. یعنی اگر با دو برابر کردن مقدار ورودیها، مقدار خروجیها دقیقاً دو برابر شود، بازده به مقیاس مدل ثابت و در غیر این صورت متغیر خواهد بود. به همین دلیل در سال ۱۹۸٤، بنکر و همکاران [Banker et. al, 1984] مدل BCC را که در آن بازده به مقیاس متغیر است ارایه کردند. این مدل به صورت رابطه ۳ است.

$$Max \quad \sum_{r=۱}^{s} u_r y_{rp} + u_{\cdot} \qquad (۳)$$

$$s.t:$$

$$\sum_{i=۱}^{m} v_i x_{ip} = ۱$$

$$\sum_{r=۱}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=۱}^{m} v_i x_{ij} + u_{\cdot} \le ۰ \qquad j = ۱,...,n,$$

$$u_r, v_i \ge ۰ \qquad r = ۱,...,s,\ i = ۱,...,m.$$

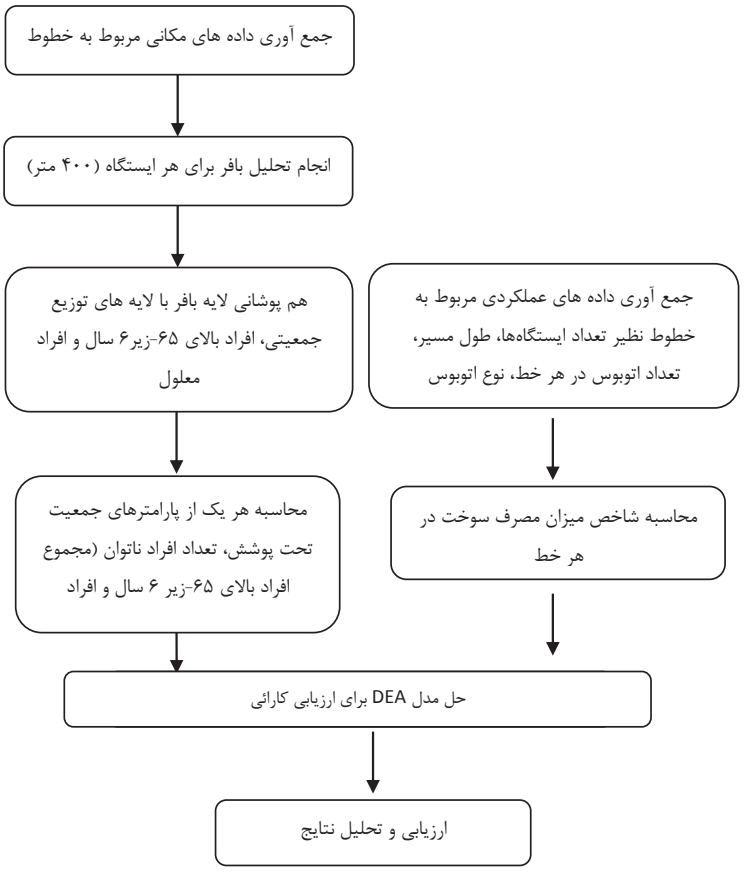
در این بخش مبانی تئوری تحقیق بیان شده و در بخش آتی مراحل و چگونگی انجام تحقیق تشریح می‌شود.

۳. روش کار

مراحل کلی انجام تحقیق در شکل ۱ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در دیاگرام شکل ۱ نمایش داده شده است، ابتدا باید شاخصهای لازم مدل DEA تهیه و آماده شوند. به این منظور در بخشهای زیر، روند آماده سازی شاخصهای مکانی و عملکردی تشریح می‌شود.

۳-۱ جمع آوری و تهیه شاخصهای مکانی

شاخصهای مکانی مدل DEA نشان دهنده میزان تقاضای موجود برای سرویسهای اتوبوس‌رانی هستند. عموماً دو روش برای مدل‌سازی چنین تقاضایی وجود دارد [Miller and Shaw, 2001]. در روش اول از یک توالی چهار مرحله‌ای (تولید سفر، توزیع سفر، تفکیک مدل و تخصیص سفر) برای برآورد میزان تقاضا استفاده شود. این روش نیازمند فرایندهای پیچیده برای تهیه داده، تصحیح مدل و ارزیابی نتایج است. روش دوم استفاده از تلفیقی از GIS و DEA برای محاسبه میزان تقاضا است. در این روش با استفاده از تحلیلهای موجود در GIS ، پارامترهایی همچون جمعیت موجود و تعداد افراد ناتوان در استفاده از سرویس، حول هر خط محاسبه می‌شود. از آنجایی که در سنجش کارآیی هر خط اتوبوس‌رانی، یک خط اتوبوس کارآمد خطی است که از مکانی عبور کند که حداکثر جمعیت بالقوه را در برمی گیرد و جمعیت ناتوان استفاده کننده از سرویس در آن منطقه حداقل باشد. بنابراین، این شاخصها (جمعیت بالقوه، جمعیت ناتوان) به گونه‌ای باید وارد مدل DEA شوند که در آن جمعیت بالقوه به عنوان شاخص خروجی (به منظور حداکثر سازی) و جمعیت ناتوان استفاده کننده از سرویس به عنوان شاخص ورودی (به منظور حداقل سازی) وارد مدل DEA شوند.بنابراین می‌توان در مقایسه های نسبی خطوط اتوبوس‌رانی مورد مطالعه، جمعیت تقاضای سفر برای هر خط اتوبوس را با استفاده از DEA



شکل ۱. مراحل کلی تحقیق

مدل‌سازی کرد. در این تحقیق از روش دوم برای برآورد میزان تقاضا استفاده می‌شود.

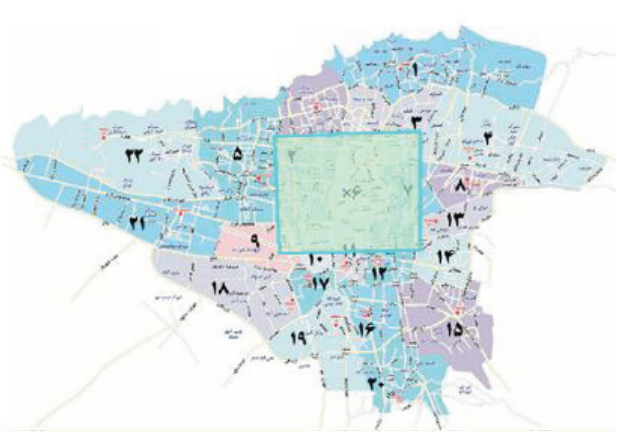
برای تهیه شاخصهای مکانی ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مربوط به اتوبوس‌رانی برای بخش‌هایی از مناطق ۲، ۳، ٦، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲ شهری تهران با مراجعه به واحد GIS شرکت کنترل ترافیک تهران جمع‌آوری شده که محدود جغرافیایی آن در شکل ۲ نمایش داده شده است.

علت انتخاب چنین محدوده‌ای به عنوان محدوده مطالعاتی، به دلیل حجم بالای میزان تقاضای سفر در این محدوده است و نقشه میزان جذب سفر و محدوده مورد مطالعه به صورت مربع در شکل ۳ نمایش داده شده است.

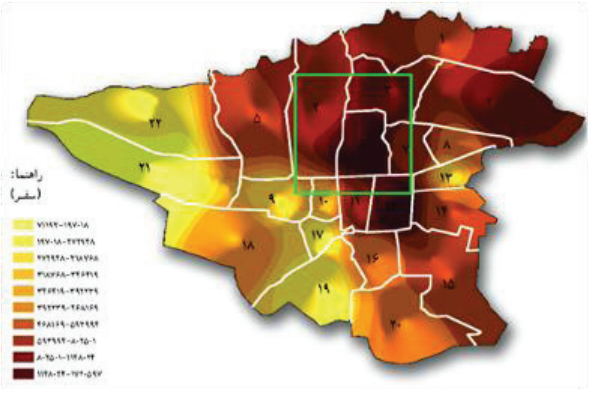
داده های مکانی مورد استفاده در این تحقیق و سازمان جمع آوری این داده در جدول ۱ بیان شده است.

ابتدا اطلاعات آماری مربوط به نقشه رقومی مربوط به محلات مختلف تهران مانند جمعیت کل، تعداد افراد زیر ٦ سال و بالای ٦٥ سال (افراد مسن و خردسال) و نیز تعداد افراد معلول هر محله شهری محلات تهران در فرمت Microsoft excel 2007 جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از امکانات تعبیه شده در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 نقشه رقومی مربوط به این داده‌ها تهیه وزنها و اطلاعات توصیفی مورد نظر به این لایه‌های اطلاعاتی تخصیص شد. در ادامه با استفاده از تحلیلهای تراکمی موجود در این نرم‌افزار نقشه تراکمی مربوط به هر کدام از اطلاعات جمعیت کل، تعداد افراد زیر ٦ سال و بالای ٦٥ سال و نیز تعداد افراد معلول به دست آمد. در نتیجه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به جمعیت تهیه شد.

با توجه به اطلاعات رقومی جمع‌آوری شده در مورد خطوط اتوبوس و ایستگاه‌های نظیر آنها، ناحیه سرویس‌دهی توسط هر ایستگاه اتوبوس با استفاده از تحلیل بافر موجود در نرم افزار ArcGIS، حول هر کدام از ایستگاه‌های اتوبوس بافری به



شکل۲. نقشه منطقه مطالعاتی [Tehran Traffic Master Studies, 2007].



شکل ۳. نقشه میزان جذب سفر در منطقه مورد مطالعه [Tehran Traffic Master Studies, ۲۰۰۷]

جدول۱.داده های مکانی تحقیق

نام داده	توضیحات و داده های توصیفی	محل جمع آوری
ایستگاههای اتوبوس	نام، طول و عرض جغرافیایی	شرکت کنترل ترافیک تهران
خطوط اتوبوس رانی	نام، طول مسیر، تعداد ایستگاه، جهت	شرکت کنترل ترافیک تهران
لایه اطلاعاتی جمعیت و تراکم جمعیت	-	مرکز آمار ایران
لایه اطلاعاتی تعداد افراد معلول	-	مرکز آمار ایران
لایه اطلاعاتی تعداد افراد بالای ٦٥ سال و زیر ٦ سال	-	مرکز آمار ایران

اندازه ٤٠٠ متر به دست آمد. بافر ٤٠٠ متر در اکثر تحقیقات استفاده شده است. [Horner and Murray, 2004] سپس با همپوشانی این لایه اطلاعاتی با لایه آماری مربوط به جمعیت، امکان یافتن تعداد افراد ساکن، تراکم جمعیتی، تعداد افراد زیر ٦ سال و بالای ٦٥ سال و نیز تعداد افراد معلول موجود ناحیه سرویس‌دهی هر ایستگاه امکان‌پذیر شده و در نهایت شاخصهای آماری همچون جمعیت کل، تعداد افراد زیر ٦ سال و بالای ٦٥ سال (ناتوان در استفاده از اتوبوس) و نیز تعداد افراد معلول (ناتوان در استفاده از اتوبوس) برای هر خط اتوبوس محاسبه شد و در جدول ۲ نشان داده می‌شود. شاخص جمعیت افراد ناتوان مجموع افراد معلول، افراد پیر و کودک می‌باشد. نقشه مربوط به منطقه مورد مطالعه و خطوط اتوبوس‌رانی انتخاب شده، در شکل ٤ دیده می‌شود.

در این نقشه، ١٤ خط اتوبوس رانی مورد مطالعه با رنگهای مختلف و بر اساس مبدأ و مقصد مسیر همراه با شماره خط مشخص شده است.

۳-۲ جمع آوری و تهیه شاخصهای عملکردی

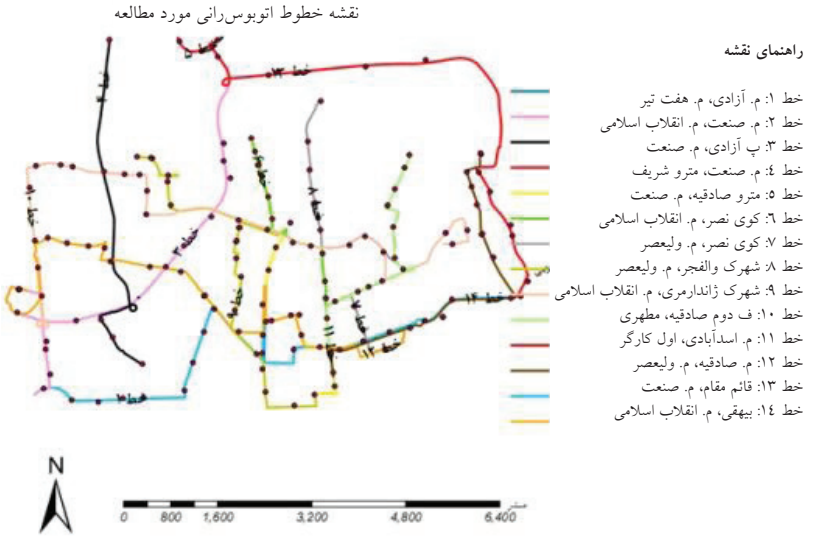
ابتدا داده های لازم، مورد نیاز و مرتبط با مسئله، شامل تعداد ونوع اتوبوسهای موجود در هر خط، میزان مصرف سوخت هر یک از اتوبوسها، تعداد ایستگاهها و طول مسیر هر یک از خطوط، از سازمان کنترل ترافیک تهران تهیه شد. شاخصهای عملکردی مورد استفاده در این پژوهش بنا بر مرور ادبیات صورت گرفته و نظر کارشناس انتخاب شده‌اند. برای به دست آوردن شاخص میزان سوخت مصرف شده در هر خط اتوبوس (μ) از رابطه ٤ استفاده می‌شود.

$$\mu = fc \times n \times p \times l \qquad (٤)$$

که در این رابطه fc میزان مصرف سوخت برای انواع مختلف

جدول ۲. شاخصهای مکانی

شماره خط	جمعیت افراد معلول (نفر)	جمعیت افراد بالای ٦٥ سال و زیر ٥ سال (نفر)	مجموع جمعیت افراد ناتوان	جمعیت حول هر خط
١	٤٠٣٧	٤٥٥١٦	٤٩٥٥٣	٤٨٤٧٤٠
٢	٣٧٣٦	٤٢٤٨٩	٤٦٢٢٥	٣٥٠٦٨٨
٣	٤١٧٣	٤٤٦٠٠	٤٨٧٧٣	٣٣٦٧١٣
٤	٣٥٠٤	٣٧٥٧٢	٤١٠٧٦	٣٠٦٠١٤
٥	٤٣٧٣	٤٦٨٥٩	٥١٢٣٢	٣٠٩٦٧٦
٦	١٨٠٨	٢٣٨١٩	٢٥٦٢٧	٢٣٣٥٦٤
٧	١٥٩٤	٢١٠٩٧	٢٢٦٩١	٢٣٣٥٦٤
٨	١٤٣٨	٢٠١٥٨	٢١٥٩٦	٢٤٠٦٨٨
٩	٣٤٣٣	٣٩٨٢٦	٤٣٢٥٩	٣٩٠٦٧٥
١٠	٥٩٧٦	٦٨٩٨٣	٧٤٩٥٩	٥٤٩٥٦٧
١١	١٧٤٨	٢٤٠٩٢	٢٥٨٤٠	٢٦٥٠٣٠
١٢	٥٧٨٥	٦٣٣٤٢	٦٩١٢٧	٥٨٠٨٥٩
١٣	٣٥٠٤	٤٣٠٠١	٤٦٥٠٥	٢٧٤١٨٤
١٤	٢٤٥٨	٣١٤٤٥	٣٣٩٠٣	٢٩٨٢١٠



شکل ٤. خطوط اتوبوس‌رانی مورد مطالعه

اتوبوسهای مورد استفاده،n تعداد اتوبوسهای مورد استفاده در هر خط اتوبوس، p تعداد رفت و برگشت روزانه هر اتوبوس، l طول مسیر است. بر اساس مرور مطالعات پیشین صورت گرفته، شاخصهای مصرف سوخت و تعداد ایستگاه‌ها به عنوان مهم‌ترین شاخصهای عملکردی انتخاب شدو در جدول ٣ آورده شده است.

٤. حل مدل DEA

پس از محاسبه شاخصهای مکانی و عملکردی، این شاخصها باید به عنوان شاخص ورودی و خروجی وارد مدل DEA گردند. شاخصهای ورودی و خروجی مدل DEA در جدول ٤ نمایش داده شده است.

همان‌گونه که از جدول ٤ مشخص است، شاخصهای ورودی

جدول ۳. شاخصهای عملکردی

شماره خط	تعداد ایستگاهها	مصرف سوخت (لیتر)
۱	۱۵	۱۰۱
۲	۱۰	۸۵
۳	٦	۹۵
٤	۱۳	۷۲
٥	۱٤	۳۹
٦	۱۱	۳۲
۷	۱۱	۲۳
۸	۱۲	۳٤
۹	۱٦	٦٥
۱۰	۲۰	۱٥۳
۱۱	۱۰	۲۸
۱۲	۱۷	۷۱
۱۳	٦	۸۹
۱٤	٦	۲٦

مدل، عملکردی و شاخصهای خروجی، مکانی هستند. قرار دادن شاخص جمعیت افراد ناتوان به حالت عکس نیز به همین دلیل است، زیرا نظر بر این بود که شاخصهای مکانی به عنوان خروجی، و شاخصهای عملکردی به عنوان ورودی وارد مدل DEA شوند تا بتوان از مدلهای DEA ورودی محور و یا خروجی محور استفاده کرد. در مدل ورودی محور، واحدهای تصمیم‌گیرنده در پی آن هستند که با کمترین میزان ورودی ممکن، مقدار مشخصی خروجی ایجاد کنند (در این حالتها، ورودیها قابل کنترل هستند). به عبارت دیگر تاکید بر شاخصهای عملکردی است که در این جا ورودی هستند. در مدل خروجی محور، عکس این مطلب صادق است و تاکید بر روی شاخصهای خروجی که در این جا شاخصهای مکانی هستند، تاکید می‌شود. بنابراین به عبارت دیگر می توان چنین گفت که استفاده از مدل BCC ورودی محور به منزله ارزیابی کارآیی عملکردی و استفاده از مدل BCC خروجی محور به منزله ارزیابی کارآیی مکانی است.

نتایج مدل BCC ورودی محور در جدول (۵) نشان داده شده است.

از ۱٤ خط، ٦ خط کارا ($e=1$) هستند، ٦ خط دارای کارآیی قابل قبول ($e^{-1} \geq 0.7$) و ۲ خط دارای کارآیی غیرقابل قبول ($e^{-1} \leq 0.7$) هستند. برای کارآیی عملکردی کم بعضی از خطوط می‌توان دلایل مختلفی را بیان کرد، همچون نامناسب بودن فهرست زمانی حرکت اتوبوسها، تعداد نامناسب ایستگاههای اتوبوس، میزان مصرف سوخت زیاد و... . برای مثال در خط ۵ اتوبوس‌رانی (مترو صادقیه- میدان صنعت) به علت مسیر نسبتاً طولانی این خط (۹۲۳۷ متر) و عدم تناسب آن با تعداد اتوبوسهای تخصیص یافته به این مسیر (۱۲ اتوبوس) موجب شده است که مسافران این مسیر زمان بیشتری را در انتظار برای مسافرت با اتوبوس بمانند و این مسیر کارآیی لازم را نداشته باشد. برای بالا بودن کارآیی بعضی مسیرها مثل خط ۱۲ که بین ایستگاه مترو صادقیه و میدان ولیعصر قرار دارد، به دلایلی همچون تناسب بین طول مسیر و تعداد ایستگاههای اتوبوس، به استفاده از اتوبوس با مصرف سوخت مناسب و ... می‌توان اشاره کرد.

جدول ۵. نتایج مدل DEA برای کارآیی مدل BBC ورودی محور

شماره خط	امتیاز کارآیی (درصد) $(e^{-1}\times 100)$
۱۱	۱۰۰
۱۲	۱۰۰
۱٤	۱۰۰
۳	۱۰۰
۷	۱۰۰
۱۰	۱۰۰
۲	۸۹/۸۸۳
۹	۹۲/٦۷۷
۱	۸۸/۱۹۳
۱۳	۸٤/٤۱۷
٤	۷۹/۰۸۳
٦	۸۰/٥۸۷
۸	٦٦/٤۳۳
٥	٦٤/۸۸۷

جدول ٤. شاخصهای ورودی و خروجی مورد استفاده در مدل DEA

شاخص	ورودی	خروجی
عملکردی	تعداد ایستگاهها	
	مصرف سوخت	
مکانی		**عکس جمعیت افراد**
		تقاضای سفر

مدل BCC خروجی گرا برای محاسبه کارآیی مکانی ١٤ خط مورد مطالعه بکار گرفته شده و نتایج آن در جدول (٦) آمده است. می‌توان خطوط را از نظر کارآیی به سه دسته تقسیم کرد. ٤ خط کارا (e=١) هستند، ٨ خط، کارآیی قابل قبول ($e^{-1} \geq 0.7$) و ٢ خط کارآیی غیرقابل قبول ($e^{-1} \leq 0.7$) دارند. می‌توان دلایل گوناگونی را برای کم بودن میزان کارآیی بعضی از خطوط بیان کرد، این عدم کارآیی مکانی، دلایلی همچون مکان‌یابی نامناسب مسیر اتوبوس، مکان نامناسب ایستگاه‌های اتوبوس و ... دارد. برای مثال، بنا بر جدول ٧، خط ١٣ که دو ایستگاه قائم مقام فراهانی و میدان صنعت را به هم متصل می‌کند، به دلیل تعداد نسبتاً کم ایستگاه‌های اتوبوس در این مسیر (٦ ایستگاه) و نیز توزیع نامناسب این ایستگاه‌ها (با توجه به نقشه) کارآیی مکانی مناسب را ندارد. همچنین خط ٤ (میدان صنعت به مترو شریف) به دلایل توزیع نامناسب مکانی ایستگاه‌های اتوبوس، قرار گرفتن در یک منطقه کم‌جمعیت و وجود ایستگاه‌های اتوبوس متوالی موجب شده است که نتواند کارآیی لازم را داشته باشد و مسافران از آن استقبال لازم را نکنند. بیشترین کارآیی مکانی مربوط به خط ١ (پایانه آزادی- میدان صنعت) است. می‌توان گفت قرار گرفتن بین دو نقطه بسیار پر رفت‌وآمد (ایستگاه آخر اتوبوس تندرو به عنوان درگاه ورود و خروج مسافر و یک میدان مهم (میدان صنعت) و همچنین مکان یابی مناسب ایستگاه‌ها و مسیر این خط موجب شده این خط دارای بیشترین کارآیی باشد.

جدول ٦. نتایج مدل DEA برای کارآیی مدل BBC خروجی محور

شماره خط	امتیاز کارآیی (درصد) $(e^{-1}\times100)$
١	١٠٠
٨	١٠٠
١٢	١٠٠
١١	١٠٠
١٠	١٠٠
٧	٩٥/٩٩٥
٩	٨٨/٨٠٥
١٤	٩١/٠٩٥
٦	٨٢/٣٣٥
٢	٧٩/٤٣٥
٥	٧٢/٤٨٥
٣	٧٣/٢١٥
١٣	٦٠/٦١٥
٤	٦٥/٤٠٥

برای محاسبه رتبه بندی نهایی هر یک از خطوط، میانگین کارآیی حاصل از مدلهای BCC ورودی محور و BCC خروجی محور محاسبه و در جدول ٧ آورده شده است.

نتایج حاصل از جدول ٧ بیانگر این واقعیت است که خطوط اتوبوس‌رانی مورد مطالعه در مقایسه با یکدیگر دارای همگونی مناسبی در کارآیی هستند، به این معنا که اختلاف کارآیی خطوط مورد مطالعه زیاد نیست.

٥. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تلفیق DEA و GIS، کارآیی خطوط اتوبوس‌رانی شهر تهران از هر دو جنبه عملکردی و مکانی مورد ارزیابی قرار گرفت. از GIS، برای تهیه شاخصهای مکانی و از DEA برای ارزیابی خطوط اتوبوس‌رانی استفاده شد. نتایج حاصل از جداول ٥ و ٦ نشان می‌دهند که برخی از خطوط، هم از لحاظ عملکردی و هم از دیدگاه مکانی در مقایسه با سایر خطوط ناکارآمد هستند (خط ٥) و برخی خطوط از لحاظ عملکردی دارای کارآیی مطلوب و از لحاظ مکانی ناکارآمد هستند (خط ٨). برخی از لحاظ عملکردی دارای کارآیی مطلوب و از لحاظ مکانی ناکارآمد هستند (خط ٣) و برخی از خطوط از هر دو جنبه کارآمد هستند (خطوط ١٠، ١١و ١٢). همچنین نتایج حاصل از جدول ٧ نشان می‌دهد که سیستم حمل و نقل اتوبوس‌رانی تهران در بخش مطالعه شده در حال حاضر، ١٤٪ زیر ظرفیت اسمی فعالیت می‌کند و این امر بازگو کننده این حقیقت است که خطوط از جنبه مدیریت، دارای فضای خالی (با ثابت فرض کردن سایر شرایط) است، بنابراین باید ترتیبی اتخاذ شود که از این منابع به طور بهینه استفاده گردد. می‌توان پیشنهادات کلی زیر را برای افزایش کارآیی خطوط مورد نظر ارائه کرد: تغییر مسیر خطوط اتوبوس، تغییر مکان ایستگاه‌های خطوط، کاهش تعداد ایستگاه‌های موجود در مناطق کم جمعیت، تغییر مکان ایستگاه‌ها به مکان پرجمعیت، استفاده از اتوبوسهای با کیفیت بیشتر و کاهش مصرف سوخت، زمان‌بندی بهینه سرویس‌ها و ... .

برای تحقیقات آینده در این زمینه پیشنهاد می‌شود که از مدلهای

جدول ۷. کارآیی نهایی هر یک از خطوط

شماره خط	میانگین	رتبه بندی نهایی
۱۰	۱۰۰	۱
۱۱	۱۰۰	۲
۱۲	۱۰۰	۳
۷	۹۷/۹۹۷۵	٤
۱٤	۹۵/۵٤۷۵	۵
۱	۹٤/۰۹٦۵	٦
۹	۹۰/۷٤۱	۷
۳	۸٦/٦۰۷۵	۸
۲	۸٤/٦۵۹	۹
۸	۸۳/۲۱٦۵	۱۰
٦	۸۱/٤٦۱	۱۱
۱۳	۷۲/۵۱٦	۱۲
٤	۷۲/۲٤٤	۱۳
۵	٦۸/٦۸٦	۱٤
میانگین	۸٦/۳۸٤	

دیگر تقاضای سفر همچون مدل ٤ مرحله ای (تولید سفر، توزیع سفر، تفکیک مدل و تخصیص سفر) برای تهیه داده‌های تقاضای سفر استفاده کرد. همچنین می‌توان از متغیرهای بیشتر و مختلفی در ارزیابی کارآیی مکانی و عملکردی استفاده کرد.

٦. سپاسگزاری

از زحمات خانم زنگی‌آبادی، مسئول بخش GIS شرکت کنترل ترافیک تهران که داده‌های مورد نیاز برای این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند، سپاسگزاری می شود.

۷. پی نوشتها

1- Efficiency
2- DEA: Data Envelopment Analysis
3- DMU: Decision Making Unit
4- SFA: Stochastic Frontier Analysis
5- GIS: Geospatial Information System
6- Georefernce

۸. مراجع

- شرکت جامع حمل و نقل و ترافیک تهران(۱۳۸٦) .“حمل و نقل و ترافیک تهران در یک نگاه”، تهران: شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران.

- شهرداری تهران(۱۳۹۰) ”صفحه وب درباره تهران“، وب سایت شهرداری تهران. آخرین بازدید در تاریخ ۳۱/٦/۱۳۹۰. http:// www.tehran.ir/Default.aspx?tabid=۱۱۷

- Banker, R., Charnes, D. and Cooper, W. (1984) "Some methods for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", Management Science , pp.1078-1092.

- Barnum, D., Tandon, S. and McNeil, S. (2008) "Comparing the performance of bus routes after adjusting for the environment using data envelopment analysis". Journal of Transportation Engineering , pp.77-87.

- Charnes, W. (1978) "Measuring the efficiency of decision making units". European Journal of Operational Research, pp. 429-444.

- Contreras-Montoya, C. and Santos, E. (2001) "Regulation, competition and technical efficiency in bus public transport: Discussing the case of the metropolitan area of San José, Costa Rica", pp. 23-34.

- DeBorger, B., Kerstens, K. and Costa, A. (2002) "Public transit performance, What does one learn from frontier studies?" Transportation Review , pp.1-38.

- De By, R. A. (2004) "Principles of geographic information systems: an introductory textbook", Enschede, ITC.

- Gilbert, D. (2003) "Retail marketing management", Financial Times, London: Prentice Hall.

- Horner, M. and Murray, A. (2004) "Spatial representation and scale impacts in transit service assessment", Environment and Planning , pp.785–797.

- Karlaftis, M. (2004) "A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems", European Journal of Operational Research , pp.354-364.

- Margari, B., Erbetta, F., Petraglia, C. and Piacenza, M. (2007) "Regulatory and environmental effects on public transit efficiency:a mixed DEA-SF approach", Journal of Regulatory Economics , pp.131-151.

- Miller, H. J. and Shaw, S (2001) "Geographic information systems for transportation: Principles and applications." New York: Oxford University Press.

- Sheth, C., Triantis, K. and Teodorovic, D. (2007) "Performance evaluation of bus routes: A provider and passenger perspective", Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review , pp.453-478.

- United Nations (2003) "Review of developments in transport in the ESCAP region, 2003", United Nations Publications.

- Yu, M. and Fan, C. (2009) "Measuring the performance of multimode bus transit: A mixed structure network DEA model". Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review , pp.501-515.

- Zhao, Y., Triantis, K., Murray-Tuite, P. and Edara, P. (2011) "Performance measurement of a transportation network with a downtown space reservation system: A network-DEA approach", Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review , pp.1140-1159.