

## بررسی کارایی فنی خطوط قطار شهری تهران

### مقاله پژوهشی

فروغ شادمان لاهیجی، استادیار، گروه مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد تهران غرب، تهران، ایران  
فائزه شادمان لاهیجی، دانش آموزخته کارشناسی ارشد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد، تهران، ایران  
محمدجواد کاملی\*، استادیار، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، گروه مدیریت دولتی، تهران، ایران  
\*پست الکترونیک نویسنده مسئول: [Foroogh.shadman@gmail.com](mailto:Foroogh.shadman@gmail.com)

دریافت: ۹۸/۰۱/۲۲ - پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۸

صفحه ۷۹-۹۳

### چکیده

رشد جمعیت کلان شهرها در کنار افزایش فعالیت‌های اجتماعی، سبب افزایش تقاضای سفرهای روزانه شهروندان شده است. صنعت حمل و نقل به عنوان یکی از محورهای توسعه اجتماعی و اقتصادی در بیشتر کشورها، مورد توجه سیاستگذاران اقتصادی است. سند چشم انداز ۱۴۰۴، ایران را توسعه یافته، فعال و تاثیرگذار در اقتصاد جهانی معرفی می کند. با توجه به معضل تراکم ترافیک، در دهه های اخیر حمل و نقل در شهرها به عنوان یکی از اصلی ترین چالش های شهری مطرح می باشد. با توجه به نامگذاری سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به عنوان سال اقتصاد مقاومتی از سوی مقام معظم رهبری، عدم دسترسی کافی به تکنولوژیهای روز دنیا و افزایش آلودگی هوا، بهبود کارایی و بهره وری در سیستمهای حمل و نقل شهری موجود اهمیت دوچندان می یابد. لذا، پژوهش حاضر با هدف اندازه گیری کارایی فنی قطار شهری تهران به عنوان یکی از بزرگترین شهرهای غرب آسیا و بیست و چهارمین شهر بزرگ دنیا و بمنظور بهبود کیفیت خدمات ارائه شده بزرگترین ناوگان حمل و نقل عمومی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها می پردازد. نتایج نشان می دهد که متوسط کارایی فنی حدود ۷۳ درصد ناشی از فعالیت ۵ خط فعال قطار شهری در دوره مطالعاتی حاکی از آنست که این ناوگان دارای کارایی فنی نسبتا مناسب بوده و تنها با کاهش حدود ۲۷ درصدی ورودی ها و بهبود ساختاری خود در این محدوده می تواند به حداکثر کارایی فنی خود در این حوزه دست یابد.

واژه‌های کلیدی: کارایی فنی، قطار شهری و تحلیل پوششی داده‌ها

### ۱- مقدمه

سیاستگذاران اقتصادی است. بخش حمل و نقل، نه تنها به عنوان یکی از بخش‌های مهم و زیربنایی در روند توسعه کشورها نقش دارد، بلکه تاثیر چشمگیری در حیات اقتصادی خانوارها دارد. همچنین، در دهه‌های اخیر گسترش حمل و نقل عمومی شهری به عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه پایدار و راهکار مناسبی برای حفظ منابع و محیط زیست و کاهش معضلات ترافیکی شهرها مورد توجه و در دستور کار دولتها و تصمیم گیران قرار گرفته است. از این رو معضل مذکور از چالشهای اساسی فرآوری برنامه ریزی شهری در اواخر قرن

رشد جمعیت کلان شهرها در کنار افزایش فعالیت‌های اجتماعی، سبب افزایش تقاضای سفرهای روزانه شهروندان شده است. با توجه به معضل تراکم ترافیک، تقویت و توسعه حمل و نقل عمومی نقش موثری را جهت دستیابی به توسعه شهری ایفا می کند. بنابراین، در دهه‌های اخیر جایجایی و حمل و نقل در شهرها مخصوصا شهرهای پرجمعیت همواره به عنوان یکی از اصلی ترین چالش‌های شهری مطرح می‌باشد. صنعت حمل و نقل به عنوان یکی از محورهای توسعه اجتماعی و اقتصادی در بیشتر کشورها، مورد توجه

انسانی و وقت را افزایش می‌دهد. مترو به عنوان پاک‌ترین، سالم‌ترین، سریع‌ترین، ایمن‌ترین و به طور کلی کارآمدترین شبکه حمل و نقل، نقش انکارناپذیری در حل مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی ناشی از معضل ترافیک دارد. همچنین، مترو در کم شدن مشکل ترافیک و آلودگی هوا در شهرها بسیار موثر و ضروری است. ایمنی بسیار بالا، راحتی و آسایش مسافران، کاهش مصرف انرژی، سرعت مناسب، قیمت پایین حمل مسافر در مقایسه با خودروهای شخصی از جمله مزیت های قطار شهری نسبت به سایر وسایل نقلیه عمومی است. حال با توجه به جمعیت روزافزون جهان و محدود بودن امکانات، حتی برای کشورهای صنعتی پیشرفته، استفاده بهینه از امکانات موجود، راهی برتر به منظور افزایش تولید کالاها و خدمات و در نتیجه افزایش رفاه جامعه بشری تلقی می‌شود. کشور ما نیز نه تنها از این مورد مستثنی نیست، بلکه به علل مختلف باید با دید گسترده تر و عمیق تر و از تمام ابعاد به این موضوع توجه کند (جعفری صمیمی و طهرانچیان ۱۳۸۳).

اصولاً یکی از حوزه‌های مورد توجه مدیران، ارزیابی عملکرد بخش‌های مختلف سازمان و سنجش کارایی آنها در استفاده از منابع ورودی و تبدیل آنها به محصولات و ستانده‌های خروجی است. سینک و توتل (Sink, and Tuttle, 1989) بیان می‌کنند: "آنچه را نمی‌توانید اندازه‌گیری کنید، نمی‌توان مدیریت کرد". بنابراین، اندازه‌گیری کارایی حمل و نقل ریلی تهران به عنوان یکی از بزرگترین شهرهای غرب آسیا و بیست و چهارمین شهر بزرگ دنیا بمنظور بهبود کیفیت خدمات ارائه شده بزرگترین ناوگان حمل و نقل عمومی پایتخت ضروری بنظر می‌رسد. با توجه به اینکه براساس آخرین بررسی‌های انجام گرفته توسط محقق تاکنون مطالعه ای با هدف برآورد کارایی خطوط مترو تهران (۵ خط) انجام نگرفته است بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی فنی در ساختار خطوط قطار شهری تهران و حومه بدنبال شناسایی روند تغییر کارایی فنی و جایگاه هر خط در افزایش یا کاهش کارایی فنی خطوط قطار شهری تهران و حومه و بدنبال آن شناسایی شاخص‌های کلیدی در افزایش یا کاهش کارایی فنی خطوط قطار شهری تهران و حومه می‌باشد.

بیستم بوده است که به دستیابی به اهداف توسعه پایدار شهری تاثیر نهاده است. افزایش سریع حمل و نقل موتوری، به ویژه اتومبیل و استفاده زیاد از آن در شهرهای کشور و مخصوصاً کلان شهر تهران نیز همراه با رشد جمعیت و نیز عدم برنامه ریزی علمی و جامع و مشکلات عدیده سیستم حمل و نقل، باعث بروز مشکلاتی نظیر آلودگی شدید زیست محیطی، تراکم های ترافیکی زیاد و خسته‌کننده، اتلاف وقت شهروندان، مصرف بیش از حد انرژی، ناامنی مسیرها و تصادفات شده است. (صدرموسوی، هادیلی و فرج الهی ۱۳۹۰). یکی از راه حل هایی که طی سال های اخیر برای رفع مشکلات حمل و نقل عمومی و پاسخگویی به نیازهای این بخش به وسیله مدیران شهری در کلان شهر تهران به کار گرفته شده است، پیاده سازی سیستم حمل و نقل ریلی است که به عنوان یکی از انواع سیستم های حمل و نقل عمومی سریع در دنیا شناخته می شود. از آنجا که ارائه راهکار جهت حل مشکلات فعلی و ارتقاء سطح خدمات رسانی تنها با شناخت دقیق مسئله امکان پذیر است، رفع نواقص موجود، بهبود عملکرد و برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی تنها با شناخت و ارزیابی دقیق ممکن خواهد بود. بنابراین، از آنجایی که سیستم حمل و نقل عمومی، به عنوان یکی از مهمترین زیرساختهای کشور در نظر گرفته می شود و نیز با توجه به قانون هدفمندی یارانه ها در کشور و به تبع آن افزایش هزینه های استفاده از وسایل نقلیه شخصی، به دلیل افزایش هزینه های سوخت مصرفی خودروها، تمایل افراد به استفاده از وسایل نقلیه عمومی افزایش می یابد. همچنین با توجه به نامگذاری سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به عنوان سال اقتصاد مقاومتی از سوی مقام معظم رهبری، افزایش کارایی و بهره وری قطار شهری کلان شهر تهران اهمیت دوچندان می یابد. لذا، تحقیق حاضر به ارزیابی عملکرد و میزان کارایی این سیستم در مطلوبیت حمل و نقل عمومی در کلان شهر تهران می پردازد. مترو یا سیستم حمل و نقل ریلی با هدف کاهش میزان تراکم سفرهای شهری و بین شهری در سطح اشباع شده شهرهای بزرگ (متروپل) از طریق انتقال بخشی از آنها به سطح و یا سطوحی دیگر، یعنی به فضاهای زیرزمینی و یا هوایی و در بین شهری حتی روزمینی است. استفاده از سطوح دیگر حمل و نقل ریلی، نه فقط با کاهش سوخت‌های فسیلی، به سالم سازی محیط زیست یاری می‌رساند، بلکه به دلیل افزایش سرعت و سهولت جابجایی، میزان بهره وری در منابع

## ۲- پیشینه تحقیق

شاخص‌های حمل و نقل و توسعه پایدار شهری را از طریق پرسشنامه و توزیع آن بین نخبگان امر و با استفاده از نرم افزار AMOS شناسایی کردند. سپس با استفاده از پرسشنامه در بین مسافران مختلف متروی خط ۴ بصورت تصادفی انتخاب جایگزین آنها در صورت نبودن مترو را شناسایی کرده و به ارزیابی زیست محیطی بدیل‌های مختلف در مقایسه با حمل و نقل جاده ای در ابعاد مصرف سوخت، آلودگی‌های صوتی و هوایی و سایر هزینه‌های مرتبط پرداخته شد. در پایان با توجه به تاثیرات شگرف زیست محیطی در حمل و نقل ریلی علیرغم محدودیت‌های خاص مربوطه و نقش انکارناپذیر مترو در کاهش خسارات و هزینه‌ها، ارزش اقتصادی صرفه جویی شده توسعه این نوع از حمل و نقل نسبت به جاده ای و ارزیابی اقتصادی-زیست محیطی و ارزش اجتماعی، این زیرساخت پیشنهاد گردید (کاظمیان، رسولی، و رفیع پور، ۱۳۹۴).

امین ناصری و بهنام (۱۳۹۰) ابراز داشتند سفر یکی از وجوه مهم زندگی بشر بوده و از مهمترین فعالیت‌های ادواری یا غیر ادواری محسوب می‌شود. به همین دلیل، طی سالیان دراز، شیوه‌های مختلفی برای تأمین این نیاز جوامع ابداع شده است. شیوه‌های مختلف سفر هر یک خصوصیات (مزایا و معایب) خاص خود را دارند. در این میان، سفر ریلی از ابتدای ظهور به دلیل ایمنی، پاکي و حتی در برخی از موارد سرعت آن، برتری‌های قابل توجهی نسبت به سایر حالات سفر به صنعت حمل و نقل شناسانده است، که باعث می‌شود از معایب اندک آن چشم‌پوشی و به آن به چشم گزینه‌ای برتر در میان سایر گزینه‌ها نگاه کنیم. به همین دلیل تمامی کشورها در سرتاسر جهان بودجه هنگفتی را صرف برنامه ریزی و تأمین زیرساخت‌ها و ناوگان حمل و نقل ریلی می‌نمایند. توسعه زیرساخت‌های ریلی اعم از خطوط ریلی، ناوگان و ... همچنین برنامه ریزی حمل و نقل در سطوح استراتژیک و عملیاتی، نیاز به اطلاعات تقاضای آینده سفر دارد. بنابراین، پیش بینی تقاضای آینده سفر ریلی از اهمیت و موضوعیت زیادی برخوردار است. هیچیک از این روش‌ها را نمی‌توان به عنوان بهترین روش معرفی کرد؛ زیرا در شرایط گوناگون، هر یک از این روش‌ها می‌توانند عملکرد خاصی داشته باشند (امین ناصری و بهنام ۱۳۹۰).

Fort Myres (2005)، با مطالعه‌ای در مورد ارزیابی اقتصادی پروژه راه آهن هارت لند که بزرگترین پروژه در طول این دهه بود، انجام داد و ارزش حال پروژه را منفی ۳۴۳ میلیون

کاظمیان و همکاران (۱۳۹۴) نیز براین باورند که در صورت توسعه مناسب سیستم حمل و نقل عمومی و مترو می‌توان از مصرف بی‌مورد این حامل‌های انرژی جلوگیری کرده و با صادرات آن یا مصرف آن در صنایع با ارزش افزوده بالا در مسیر توسعه پایدار قرار گرفت (کاظمیان، رسولی، و رفیع پور، ۱۳۹۴). پورجعفر و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان دادند که کاهش زمان سفرها، مسافت جابه‌جایی‌های درون شهری، امکان بهبود وضعیت هوای موجود و در نتیجه کاهش منواکسیدکربن، اکسیدهای ازت، هیدروکربن‌های نسوخته و ذرات معلق در هوا و تغییر نوع مصرف سوخت با هدف تأثیر مثبت بر کاهش آلودگی هوای شهر تهران، از جمله محاسن توسعه فضاهای حمل و نقل زیرزمینی در این شهر شمرده می‌شوند. در پایان برای شهر بزرگ تهران با شرایط کنونی، معابر هم سطح و قیمت بالای اراضی و توسعه حمل و نقل عمومی در سطوح زیرین با استفاده از سوخت‌های غیر فسیلی توصیه می‌شود (پورجعفر، بمانیان، رنجبرو پورجعفر ۱۳۹۳).

حسامی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که از میان روش‌های ارزیابی عملکرد حمل و نقل عمومی، روش تحلیل پوششی داده‌ها DEA به علت قابلیت انعطاف و توسعه و سازگاری با ماهیت مسئله ارزیابی عملکرد حمل و نقل عمومی بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. این پژوهش علاوه بر بررسی اهداف، ابعاد و جوانب مختلف مسئله ارزیابی عملکرد حمل و نقل عمومی، به تشریح روش تحلیلی پوششی داده‌ها و سپس با بیان خلاصه‌ای از آخرین مطالعات صورت گرفته در این زمینه به کمک روش مذکور پرداخته است (حسامی، هاشمی کمانگر و جوانشیر ۱۳۹۱). Hutchison (2010) اشاره کرد که حمل و نقل به عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیرساختی پیش روی کلانشهرها شناخته شده است. به عبارتی اگر کلانشهرها موتور اقتصاد جهانی باشند، این شبکه حمل و نقل است که این موتورها را کارآمد نگه می‌دارد، در مقابل ناکارآمدی سیستم حمل و نقل شهری عوارض جدی محیطی همانند آلودگی هوا و پیامدهای منفی اجتماعی و اقتصادی را به دنبال خواهد داشت و باعث ناکارآمدی عملکرد شهر می‌گردد (Hutchison, R. 2010).

کاظمیان و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی مزیت‌های حمل و نقل ریلی نسبت به جاده‌ای می‌پردازند که برای این منظور ابتدا

سازمانی در بخش حمل و نقل عمومی آشکار می نماید (حسامی، هاشمی کمانگر و جوانشیر، ۱۳۹۱). هدف این سیستم افزایش کارایی و جابه جایی افراد، کالاها و خدمات با حداقل مشکلات دسترسی است. و این مهم بدون سازماندهی مجدد استراتژی‌ها، سیاست‌ها و برنامه‌ها قابل دستیابی نخواهد بود. واقعیت این است که وضعیت جابه جایی مردم در دنیای امروز نامطلوب است و بدون انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه بدون شک در آینده نزدیک تبدیل به یک بحران خواهد گردید. لذا هم کشورهای توسعه یافته و هم در حال توسعه ناگزیر به حرکت بسوی مدیریت پایدار حمل و نقل هستند و برای حل معضلات عدیده ترافیکی در شهرها میبایست مبانی و اصول حمل و نقل پایدار را به عنوان مرکز ثقل برنامه های آتی حمل و نقل مد نظر قرار دهند. عملکرد یا کارایی و اثربخشی سیستم حمل و نقل عمومی از دیدگاه اداره کنندگان که رویکرد تحقیق حاضر نیز می باشد، با آنچه از دیدگاه کاربران و جامعه قابل بیان است، متفاوت است (Chintan Sheth) Konstantinos Triantis, ۲۰۰۷, Dusan Tendrovic). بطور خلاصه هدف اداره کنندگان حداکثر کردن سود می باشد، در حالی که کاربران به دنبال سرویسی هستند که سرعت، راحتی، امنیت و قیمت مناسبی داشته باشد. محیط و جامعه نیز هدف حداقل کردن اثرات منفی و استفاده از منابع را پی می گیرد (Ming-Miin Yu, Chih-Ku Fan, ۲۰۰۹). جدول شماره ۱ اهداف و شاخصهای سه دیدگاه مذکور و برخی از شاخصهای بیانگر این اهداف را نشان می دهد.

### ۳-۱- اندازه گیری کارایی

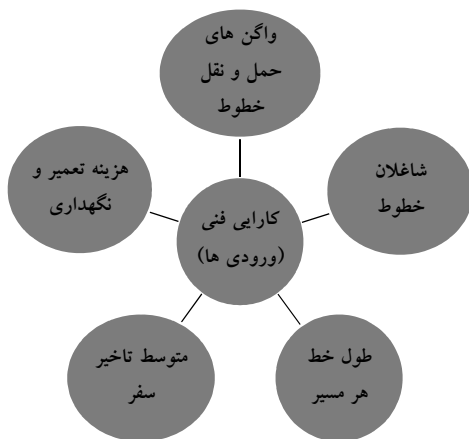
کارایی، مفهوم مدیریتی است که سابقه طولانی در علم مدیریت دارد (Colombier, 2008). مفهوم کارایی را می توان به دو روش تعریف کرد (Coelli, Rao, O'donnell, Battese, 2005). یکی کارایی را به مفهوم رسیدن به سطح محصول بالقوه، وقتی که هر بنگاه می تواند به آن رسیده، و یا نرسیده باشد، تعریف کرد. شاید چنین تعریفی از لحاظ فنی و نظری ممکن باشد، لکن اندازه گیری آن در عمل غیرممکن است. دوم اینکه کارایی به مفهوم بهترین رفتار بالفعل مشاهده شده از بنگاه در صنعت تعریف شود (Sharma, 2008)، به

دلار برآورد کرد، اما این استدلال را کرد که اگر اثرات خارجی منفی استفاده از وسایل نقلیه شخصی و اثرات خارجی مثبت این خط آهن را هم به حساب بیاوریم، سرمایه گذاری در این پروژه توجیه اقتصادی خواهد داشت (Myres, 2005). رسولی (۱۳۸۳)، در این تحقیق نقش مترو را بر سازماندهی فضایی و کالبدی منطقه شهری کرج مورد بررسی قرار داد. در جریان این برآورد، مناطقی که ایستگاهها در آن واقع گردیده اند به دلیل دسترسی سریع به مترو شدیداً توسعه پیدا کرده و تراکم محلی و منطقه ای نیز به تبعیت از آن متحول و به توسعه عمودی و رشد بلندمرتبه سازی منجر شده و مراکز منطقه ای، جذب و توزیع سفر جدیدی نیز شکل می گیرند که توسعه چند هسته ای ناقص فعلی را کامل و کاربری های موجود شهری را در محل و منطقه دچار دگرگونیهای اساسی می نمایند. به این ترتیب سازمان فضایی و کالبدی شهر تحت تأثیر راه اندازی مترو شدیداً دگرگون گردیده و پروسه نظام چند هسته ای ناقص فعلی را تکمیل و شکل خواهد داد (رسولی، احد ۱۳۸۳). دلیل گرامام (۲۰۰۸) در مقاله ای تحت عنوان بهره وری و کارایی در خطوط قطار شهری به مقایسه و برآورد بهره وری پارامتری و نمرات کارایی غیر پارامتری برای شرکت های راه آهن شهری پرداخت. لذا، به تشریح تغییرات بهره وری کل عوامل تولید (TFP). پرداخت و پیشنهاد برخی فرضیه ها را در مورد چگونگی ارتباط آن به تجزیه و تحلیل بهره وری با استفاده از تحلیل پوششی داده ها (DEA) پرداخت. این برآورد همچنین به آزمون برخی فرضیه در مورد عناصر فن آوری یک شرکت شامل تکنولوژی ویژه است، می پردازد. نتایج نشان می دهد که در حالی که تخمین بازده به مقیاس با استفاده از روش TFP و DEA، متفاوت باشد، رتبه بندی کارایی قطار شهری به طور گسترده ای مشابه است (Graham, 2008).

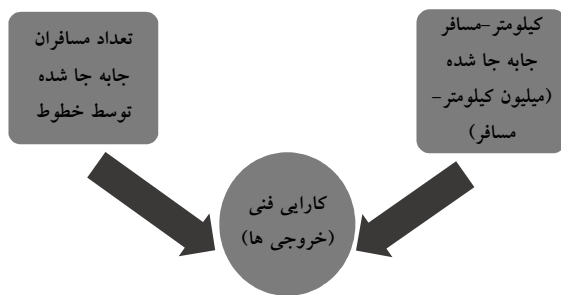
### ۳-۲ کارایی سیستم حمل و نقل

دیدگاه های موجود در بیان عملکرد حمل و نقل عمومی را میتوان به سه دسته دیدگاه اداره کننده سیستم، دیدگاه کاربر و دیدگاه جامعه (محیط) تقسیم بندی نمود. سیستم حمل و نقل عمومی خود را در قالب سرویسی که توسط اداره کنندگان ارائه شده و توسط کاربران مصرف می گردد، نشان می دهد. این ماهیت، اهمیت سیاستگذاری و مدیریت را در سطوح کلان و

باشند. انتخاب بهترین مجموعه از ورودی‌ها و خروجی‌ها یکی از مهمترین مراحل محاسبه کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها است. با توجه به منطق روش تحلیل پوششی داده‌ها بر مبنای ورودی‌ها (داده‌ها) و خروجی‌ها (ستاده‌ها) واحدهای مورد مقایسه (در این تحقیق حمل و نقل ریلی تهران و حومه) شکل گرفته است. با توجه به تحقیقات خارجی انجام شده، مجموع نظرات متخصصان و افراد خبره در حوزه حمل و نقل، در این پژوهش در مجموع تعداد پنج متغیر ورودی و دو متغیر خروجی در نظر گرفته شده است.



نمودار ۱. شاخص‌های خروجی جهت سنجش کارایی فنی



نمودار ۲. شاخص‌های ورودی جهت سنجش کارایی فنی

با توجه به حداقل سرویس مورد نیازی که مشخص است، اداره کننده به دنبال روشی است که به کمک آن بتوان با حداقل استفاده از منابع در دسترس سرویس مطلوبی تولید نمود. بطور خلاصه می‌توان گفت هدف اداره کنندگان حداکثر کردن سود می‌باشد. در سال ۱۹۵۷ فارل با استفاده از روشی مانند اندازه

عبارتی بنگاه‌ها با بهترین عملکردهایشان با یکدیگر مقایسه شوند. این برداشت از کارایی، روشهای عملی اندازه‌گیری کارایی را ممکن ساخته و مفهوم توابع مرزی را پدید آورده است. کارایی فنی نشان‌دهنده میزان توانایی هر بنگاه برای حداکثرسازی میزان تولید با توجه به منابع و عوامل تولید مشخص شده است. کارایی فنی نشان می‌دهد که سازمان چگونه از منابع خود در راستای تولید نسبت به بهترین عملکرد در مقطعی از زمان استفاده کرده است (Goncharuk, 2009).

جدول ۱. اهداف و شاخص‌های عملکرد از دیدگاه‌های مختلف

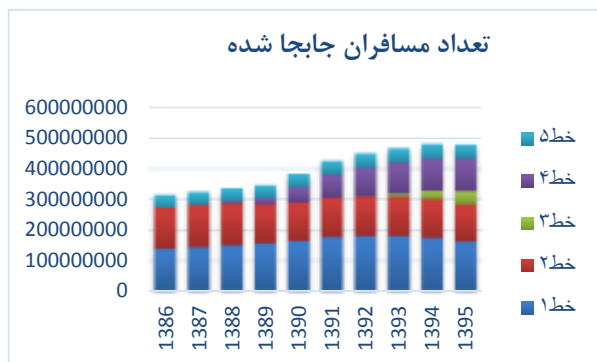
(z.wheihu, Lu Huapu, 2005)

شاخص	هدف	دیدگاه
مقدار سفر (مسافر) - کیلومتر میزان جمعیت شهر به ازاء هر دستگاه ناوگان متوسط تعداد ناوگان به ازاء هر مسیر نسبت ناوگان فعال به کل ناوگان متوسط تعداد سفر در روز در کل ناوگان	حداکثر کردن سود	اداره کننده
میزان تأخیر میزان سر فاصله زمانی نسبت مسافر به صندلی نسبت مساحت تحت یافته به مساحت شهر	سرعت، راحتی، دسترسی مناسب	کاربر
میزان مصرف سوخت میزان آلایندگی محیط	حداقل کردن استفاده از منابع حداقل کردن اثر منفی بر محیط و جامعه	جامعه (محیط)

$$E = \frac{\text{عملکرد واقعی}}{\text{زمان واقعی}} = \frac{\text{عملکرد واقعی}}{\frac{\text{عملکرد مطلوب}}{\text{زمان واقعی}}}$$

برای محاسبه کارایی بنگاه‌ها روشهای مختلفی به کار برده می‌شود در روش تحلیل مرزی، ابتدا مرزی به عنوان مرز کارایی تولید یا هزینه در نظر گرفته، و فعالیت بر روی مرز به عنوان بهترین عملکرد (کارا) در نظر گرفته می‌شود و قرار گرفتن در زیر آن، ناکارایی را نشان می‌دهد. برای این منظور، با توجه به دیدگاه اداره کننده تحقیق حاضر به اندازه‌گیری کارایی فنی ساختار قطار شهری تهران پرداخته می‌شود تا بتوان پس از حصول نتایج نسبت به ارائه راهکارهایی در جهت ارتقاء و بهبود عملکرد ساختار حاضر پرداخت. بدین منظور نیازمند شاخص‌هایی هستیم که به خوبی بیانگر این جوانب

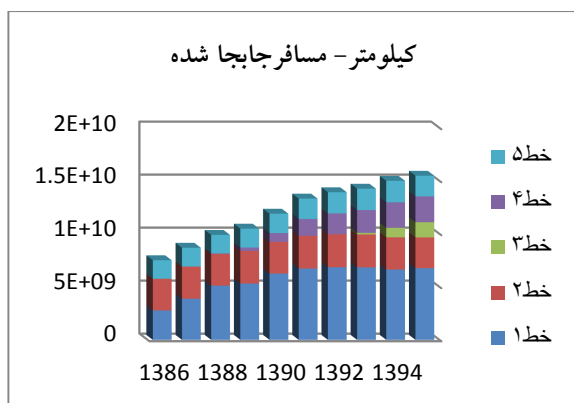
به کلیه مسافرانی که توسط قطار شهری در هر یک از خطوط پنجگانه از جایی به جای دیگر جابجا می شوند، اطلاق می گردد. نمودار (۳) تعداد مسافران جابجا شده توسط خطوط حمل و نقل ریلی تهران را در فاصله سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می دهد.



نمودار ۳. تعداد مسافر جابجا شده

۴ - کیلومتر-مسافر جابه جا شده (میلیون کیلومتر- مسافر)

از حاصل ضرب طول خط مسیر در تعداد مسافران جابجا شده به دست می آید. نمودار (۴) کیلومتر- مسافر جابه جا شده (میلیون کیلومتر-مسافر) خطوط حمل و نقل ریلی تهران را در فاصله سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می دهد.



نمودار ۴. کیلومتر- مسافر جابجا شده (میلیون کیلومتر- مسافر)

۵ - واگن های حمل و نقل خطوط

هر قطار شامل تعدادی واگن جهت حمل مسافر می باشد. نمودار (۵) واگن های حمل و نقل مسافر توسط خطوط حمل و نقل ریلی تهران را در فاصله سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می دهد.

گیری کارایی در مباحث مهندسی به اندازه گیری کارایی برای یک واحد تولیدی اقدام کرد (Seydel, 2006). سال ۱۹۷۸، چارلز، کوپر و رودز دیدگاه فارل را توسعه دادند و الگویی را ارائه کردند که توانایی اندازه گیری کارایی با چندین ورودی و چندین خروجی را داشت (Charnes, Cooper, and Rhodes, 1978). این الگو تحلیل پوششی داده ها نام گرفت و با توجه به نام ارائه دهندگان آن به الگوی CCR معروف شد. این الگو بر اساس تعریف فارل از کارایی نسبی، طبق رابطه زیر توسعه یافته است:

$$E_j = \text{Max} Z_0 \frac{\sum_{r=1}^k U_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^s v_i x_{ij}}$$

در این رابطه  $E_j$  کارایی نسبی واحد  $j$  ام،  $U_r$  وزن خروجی  $r$  ام،  $V_i$  وزن ورودی  $i$  ام،  $y_{rj}$  میزان خروجی  $r$  ام و  $x_{ij}$  میزان ورودی  $i$  ام در واحد  $j$  ام،  $k$  تعداد خروجی ها و  $s$  تعداد ورودی ها است. محدودیت دیگر در این تعریف این است که مقدار  $E_j$  در هر  $n$  واحد باید کمتر از یک باشد. هرگاه نتیجه حل این الگو برابر عدد یک باشد، آن واحد تصمیم گیری کارا خواهد بود. با تبدیل این الگو به یک الگوی خطی، الگوی برنامه ریزی خطی برای سنجش کارایی نسبی به دست خواهد آمد (Charnes, Cooper, and Rhodes, 1978).

و اگر فرض کنیم  $u=(u_1, u_2, \dots, u_s)$  و  $v=(v_1, v_2, \dots, v_m)$  به ترتیب بردارهای وزن های خروجی ها و ورودی ها باشد در این صورت کارایی به صورت زیر تبدیل خواهد شد:

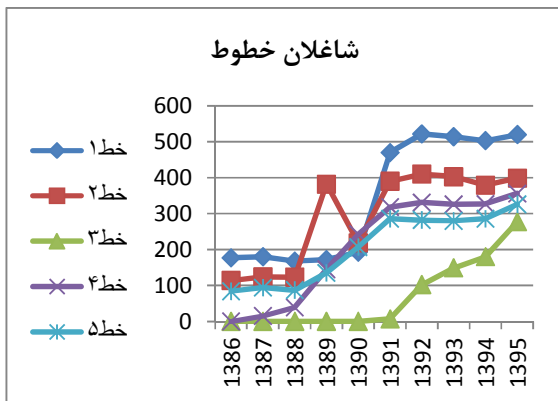
$$\text{کارایی} = \frac{u_1 y_{10} + \dots + u_r y_{r0}}{v_1 x_{10} + \dots + v_m x_{m0}}$$

مشکل محاسبه کارایی مشخص نبودن ضرایب است. که چارلز و همکاران توانستند مشکل ضرایب را برطرف کنند. برای این منظور پیشنهاد گردید که هر واحد تصمیم گیرنده، هر وزنی را که می خواهد برای ورودی یا خروجی خود در نظر بگیرد به شرط آن که وقتی این وزن ها، در محاسبه کارایی سایر واحدهای دیگر لحاظ می شود کارایی آنها را بیشتر از یک نشود و این اساس کار در روش تحلیل پوششی داده ها است.

شاخص های کارایی فنی ساختار قطار شهری تهران و حومه را برای تحقیق حاضر عبارتند از:

- مسافران جابجا شده توسط خطوط

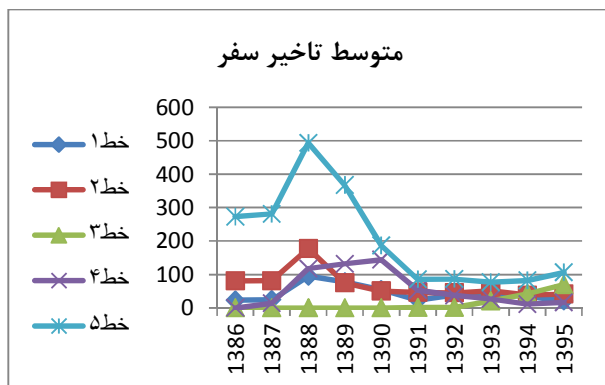
ایستگاههای خطوط حمل و نقل ریلی تهران را در فاصله سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می دهد.



نمودار ۷. شاغلان خطوط مستقر در ایستگاهها

#### متوسط تاخیر سفر

به نسبت کل تاخیرها به کل حرکتهای مسافری گفته می شود. نمودار (۸) متوسط تاخیر سفر توسط خطوط حمل و نقل ریلی تهران را در فاصله سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می دهد.

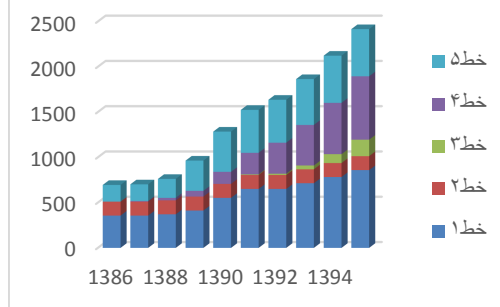


نمودار ۸. متوسط تاخیر سفر توسط خطوط

#### هزینه تعمیر و نگهداری خطوط

این هزینه ها شامل هزینه تعمیرات و نگهداری، هزینه لوازم یدکی، هزینه آب و برق و سوخت، هزینه نفر نیرو، هزینه قطارشویی، آبیاری و نظافت و سایر هزینه های از این قبیل به میلیارد ریال می باشد که متاسفانه به دلیل لینک بودن این مدل هزینه ها در کلیه خطوط، اطلاعات موجود و ثبت شده هزینه تعمیر و نگهداری خطوط به تفکیک هر خط موجود نبوده و قابل استفاده در سنجش و ارزیابی کارایی خطوط در این مطالعه نمی باشد.

#### تعداد واگن ها



نمودار ۵. واگن های حمل و نقل مسافر

#### طول خط هر مسیر

به فاصله مابین شروع تا پایان هر خط به همراه خطوط انشعابی به کیلومتر، گفته می شود که شامل کلیه ایستگاههای هر خط می باشد. نمودار (۶) طول خط هر مسیر را در خطوط حمل و نقل ریلی تهران در فاصله سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می دهد.



نمودار ۶. طول خط هر مسیر

#### شاغلان خطوط (مستقر در ایستگاهها)

به کلیه کارکنان شاغل و مستقر در ایستگاهها مانند مسئولین خط، تکنسینهای فنی، کارکنان سکو، کارکنان گیت، راهبران قطار، راهبران اتاق کنترل ایستگاهها، کارکنان خدمات و ... که در جهت پیشبرد و رسیدن به اهداف سازمان در محدوده زمانی مورد مطالعه در تحقیق حاضر اقدام به همکاری و فعالیت نمودند، اطلاق می گردد. نمودار (۷) شاغلان خطوط مستقر در

## تحلیل پوششی داده‌ها

رود. فرض اصلی در این روش این است که هر واحد تصمیم‌گیری دارای تعدادی ورودی (منابع داده ای) برای تولید خروجی‌ها است. در این مطالعه از الگوی ثابت نسبت به مقیاس (CCR) جهت محاسبه کارایی نسبی خطوط قطار شهری تهران بهره گرفته شده است. الگوی بازده ثابت به مقیاس بدین معناست که افزایش در مقدار ورودی به افزایش خروجی به همان نسبت منجر می‌شود که در واقع هدف سیستم حمل و نقل عمومی در هر بخش می‌باشد. بدین معنا که با افزایش تعداد مسافران این سیستم، خروجی آن نیز بیشتر می‌گردد. مطالعه حاضر از نوع تحلیلی-کاربردی بوده و از داده‌های واقعی سال‌های بهره برداری از قطار شهری تهران شامل تمامی خطوط فعال از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۵ دربرگیرنده ۵۰ واحد تصمیم‌گیری بوده که با مراجعه به اسناد و مدارک و آمارهای عملکردی شرکت بهره برداری مترو تهران و حومه بهره گرفته شده است، و به منظور تحلیل داده‌ها در راستای اندازه‌گیری کارایی فنی خطوط قطار شهری از مدل مضربی (CCR) ورودی محور، یکی از مدل‌های رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده شده است. در فرم پوششی مدل CCR با ماهیت ورودی هدف کاهش حداکثر سطح ورودی است به طوری که حداقل همان خروجی بتواند تولید شود. در تمایز رویکرد خروجی و ورودی‌گرا، مهم‌ترین دلیل برای انتخاب مناسب، توجه به تغییرپذیری و امکان دستکاری برای مدیران واحدهای تصمیم‌گیرنده اعلام شده است، یعنی در صورتی که امکان تغییر در شاخص‌های ورودی بیشتر از خروجی باشد و مسئولین هر واحد تصمیم‌گیری، آزادی عمل بیشتری در تغییر آن داشته باشند، از مدل‌های ورودی‌گرا استفاده می‌شود (صبور، ۱۳۸۸). در این تحقیق با توجه به این رویکرد که اولین ضرورت انجام برنامه ریزی حمل و نقل شهری کلان شهر تهران، بهینه‌سازی استفاده از زیرساخت‌های موجود، بهینه‌سازی استفاده از ناوگان موجود در کنارگسترش آن جهت ارتقاء سطح کیفی حمل و نقل عمومی در کلان شهر تهران روش ورودی‌گرا برای این تحقیق استفاده شده است. فرض وجود بازده به مقیاس ثابت در مدل بدان معناست که اندازه سازمان در تشخیص کارایی مورد توجه قرار نمی‌گیرد گاهی با بزرگ‌شدن سازمان افزایش ورودی‌ها به میزان دو برابر، خروجی‌هایی کمتر از دو برابر را ارایه می‌کند که بیانگر بازده به مقیاس نزولی است این امر ممکن است به علت عدم توانایی

در این تحقیق با هدف محاسبه کارایی نسبی خطوط قطار شهری تهران از روش ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها بهره گرفته شده است. روش تحلیل پوششی داده‌ها بر بهینه‌سازی ریاضی مبتنی است و برای محاسبه کارایی نسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مفهوم نسبی در این جمله، بسیار حائز اهمیت است؛ چرا که کارایی در این روش در نتیجه مقایسه بنگاه‌های موجود با یکدیگر حاصل می‌شود. در صورت حذف و یا اضافه شدن تعداد مشاهدات، ممکن است مقدار کارایی محاسبه شده نیز تغییر کند (Charnes, Cooper, and Rhodes, 1978). روش‌های ناپارامتریک خود به دو دسته، روش تابع غیرمرزی (گروه‌های شاخص) و روش تابع مرزی (تحلیل پوششی داده‌ها) تقسیم می‌شود. تحلیل پوششی داده‌ها با رویکرد سیستمی به مجموعه واحدهای تصمیم‌گیری تحت ارزیابی می‌نگرد. مشخص کردن نهاده‌ها و ستانده‌های واحدهای تصمیم‌گیری تحت ارزیابی با استفاده از رویکرد سیستمی یکی از گام‌های اساسی در ارزیابی کارایی با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها است. بدین ترتیب با مشخص کردن مقدار نهاده‌های مصرف شده و ستانده‌های تولید شده، ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود و کارایی یک واحد تصمیم‌گیری به صورت نسبت ستانده تولید شده به نهاده‌های مصرف شده محاسبه می‌شود (Seydel, 2006). تحلیل پوششی داده‌ها، یکی از ابزارهای مناسب و کارآمد در زمینه اندازه‌گیری کارایی می‌باشد که به عنوان یک روش غیر پارامتری به منظور محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود. امروزه استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها با سرعت زیادی در حال گسترش بوده و در ارزیابی سازمان‌ها و صنایع مختلف مانند صنعت بانکداری، حمل و نقل، پست، بیمارستان‌ها، مراکز آموزشی، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و... استفاده می‌شود. روش تحلیل پوششی داده‌ها به علت سازگاری با ماهیت مسئله ارزیابی حمل و نقل عمومی، فراهم نمودن امکان رتبه‌بندی کامل واحدها و قابلیت انعطاف و گسترش یافتن باتوجه به شرایط، در سال‌های اخیر مورد توجه محققان و برنامه‌ریزان حمل و نقل عمومی قرار گرفته است. روش تحلیلی پوششی داده‌ها روشی است مبتنی بر برنامه ریزی خطی که برای ارزیابی کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدها که به آنها واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) اطلاق می‌شود، بکار می



ورودی‌های کمتر تولید کرده‌اند. در تحقیق حاضر اجرای مدل مورد استفاده (مدل DEA) با استفاده از نرم افزارهای معتبر و رایج مانند AIMMS و یا سایر Solverها.

۳-۴- بررسی کارایی فنی خطوط قطار شهری تهران و حومه با توجه به عدم شروع به فعالیت خط سوم قطار شهری تهران تا سال ۱۳۹۰، وجهت در نظر گرفتن همزمان تمامی خطوط جهت حصول به نتیجه و امکان تغییر نتایج در حضور فعالیت خط سوم، بار دیگر سنجش و اندازه گیری اطلاعات بر اساس مدل انجام شد. در ادامه کارایی فنی نسبی ساختار قطار شهری تهران و حومه مورد سنجش و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است

### خط یک

بررسی کارایی فنی خط یک قطار شهری تهران و حومه که از تاریخ ۱۳۸۰/۰۶/۰۶ شروع به فعالیت نموده است در فاصله سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵، حاکی از آن است که این خط تا سال ۱۳۹۳ با کارایی فنی کامل به فعالیت خود ادامه داده است، حال آنکه در محدوده زمانی سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۴ بدلیل کاهش تعداد مسافران جابجا شده همزمان با افزایش تعداد واگن های حمل و نقل، به میزان تقریبی ۳ درصد کاهش یافته است و مجدداً تا سال ۱۳۹۵ با توجه به کاهش قابل توجه متوسط تاخیر سفر، به کارایی کامل دست یافته است. جدول (۳) و نمودار (۹) کارایی فنی نسبی خط یک قطار شهری تهران و حومه را نشان می‌دهد.

جدول ۳. کارایی فنی نسبی خط یک قطار شهری تهران و حومه

1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395
-	-	-	-	-	-	-	-	0.974	-
									خط ۱

در اداره یک سازمان بزرگ و ناهماهنگی های ناشی از آن باشد. اگر فرض کنیم  $n$  واحد تصمیم‌گیرنده به صورت  $\{DMU_j : j=1, \dots, n\}$  موجود باشد که هر کدام از  $m$  ورودی مختلف جهت تولید  $S$  خروجی استفاده می‌کنند، و  $X_{ij}$  و  $Y_{rj}$  به ترتیب خروجی  $r$  ام  $r=(1, \dots, S)$  و ورودی  $i$  ام  $i=(1, \dots, m)$  از واحد تصمیم‌گیرنده  $j$  ام  $j=(1, \dots, n)$  می‌باشند. مدل CCR برای ارزیابی  $DMU_0$  به صورت خطی زیر: بیان ریاضی این مدل با روابط (۱) الی (۴) مشخص می‌شود:

$$\text{Min } \theta, \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad (j=1, \dots, n). \quad (4)$$

$j$ : اندیس واحد تصمیم‌گیری ( $j=1, 2, \dots, n$ )

$i$ : اندیس ورودی ( $i=1, 2, \dots, m$ )

$r$ : اندیس خروجی ( $r=1, 2, \dots, S$ )

جدول ۲. تحلیلی (عملیاتی) تحقیق

مفهوم	ابعاد	مولفه	شاخص
بررسی کارایی فنی قطار شهری تهران و حومه	کارایی فنی	نهادها	تعداد واگن های حمل و نقل خطوط
			طول خط هر مسیر
			شاغلان خطوط (مستقر در ایستگاهها)
مفهوم	مفهوم	مفهوم	متوسط تاخیر سفر
			هزینه تعمیر و نگهداری خطوط
			تعداد مسافران جابجا شده توسط خطوط
مفهوم	مفهوم	مفهوم	کیلومتر-مسافر جابجا شده (میلیون کیلومتر-مسافر)

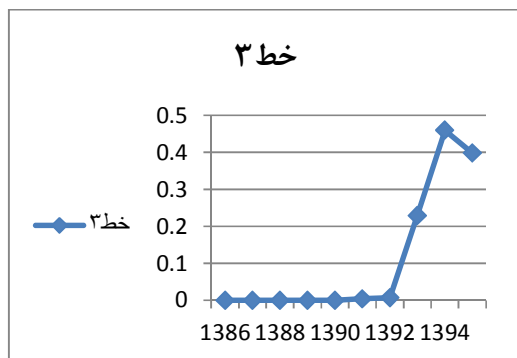
استفاده از مدل‌های تحلیلی پوششی داده‌ها علاوه بر تعیین میزان کارایی نسبی، نقاط ضعف سازمان را در شاخص‌های مختلف تعیین کرده و با ارائه میزان مطلوب آنها، خط مشی سازمان را به سوی ارتقای کارایی و بهره‌وری مشخص می‌کند. همچنین الگوهای کارا که ارزیابی واحدهای ناکارا بر اساس آنها انجام گرفته است به واحدهای ناکارا معرفی می‌شوند. الگوهای کارا واحدهایی هستند که با ورودی‌های مشابه واحد ناکارا خروجی‌های بیشتر یا همان خروجی‌ها را با استفاده از

### خط سه

بررسی کارایی فنی خط سه قطار شهری تهران و حومه که از تاریخ ۱۳۹۱/۰۹/۲۷ شروع به فعالیت نموده است، حاکی از آن است که در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ با روند بسیار پایین که ناشی از ایرادات فنی شروع بهره برداری می باشد، آغاز به کار کرده که در سال ۱۳۹۳، کارایی خود را حدود ۲۳ درصد افزایش داده و با یک روند افزایشی در سال ۱۳۹۴ به ۴۶ درصد رسیده است. حال آنکه در سال پایانی دوره مطالعاتی (۱۳۹۵)، هرچند با افزایش تعداد مسافران جابجاشده روبرو بودیم اما با توجه به افزایش چشمگیر متوسط تأخیر سفر، تعداد واگن‌های حمل و نقل و تعداد شاغلان خط، با یک روند کاهشی به میزان حدودی ۴۰ درصد رسیده است. جدول (۵) و نمودار (۱۱) کارایی فنی نسبی خط سه قطار شهری تهران و حومه را نشان می‌دهد.

جدول ۵. کارایی فنی نسبی خط سه قطار شهری تهران و حومه

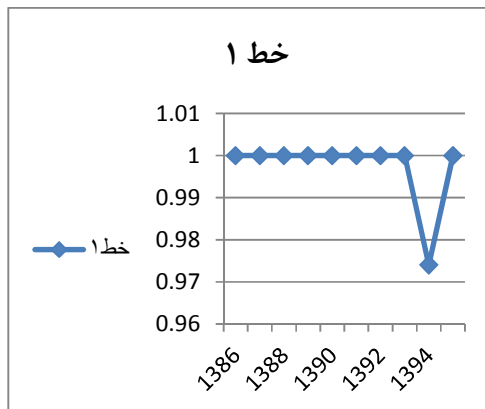
سال	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴
کارایی نسبی	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۰۰۴	۰.۰۰۷	۰.۲۲۹	۰.۴۶



نمودار ۱۱. کارایی فنی نسبی خط سه قطار شهری تهران و حومه

### خط چهار

نگاهی به روند کارایی فنی خط چهار قطار شهری تهران و حومه که در آخرین روز سال ۱۳۸۶ فعالیت خود را آغاز نموده است، بیانگر آن است که در فاصله زمانی سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴، با یک روند افزایشی مناسب به کارایی فنی کامل دست یافته است. حال آنکه در سال ۱۳۹۵، هرچند با افزایش تعداد مسافران جابجاشده روبرو بوده است اما با توجه به افزایش متوسط تأخیر سفر، تعداد واگن‌های حمل و نقل و تعداد



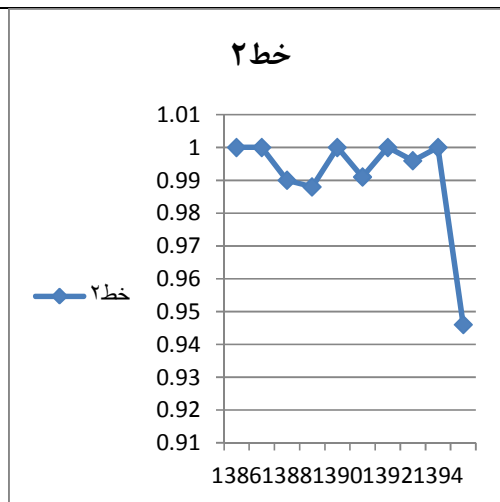
نمودار ۹. کارایی فنی نسبی خط یک قطار شهری تهران و حومه

### خط دو

بررسی کارایی فنی خط دو قطار شهری تهران و حومه که در روزهای پایانی سال ۱۳۷۸ شروع به بهره‌برداری نموده است، بیانگر آن است که در محدوده سالهای ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ با کارایی تقریباً کامل به فعالیت خود پرداخته است، حال آنکه در فاصله زمانی سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ بدلیل کاهش تعداد مسافران جابجاشده همزمان با افزایش متوسط تأخیر سفر و تعداد شاغلان خط؛ به میزان حدودی ۶ درصد کاهش یافته است. جدول (۴) و نمودار (۱۰) کارایی فنی نسبی خط دو قطار شهری تهران و حومه را نشان می‌دهد.

جدول ۴. کارایی فنی نسبی خط دو قطار شهری تهران و حومه

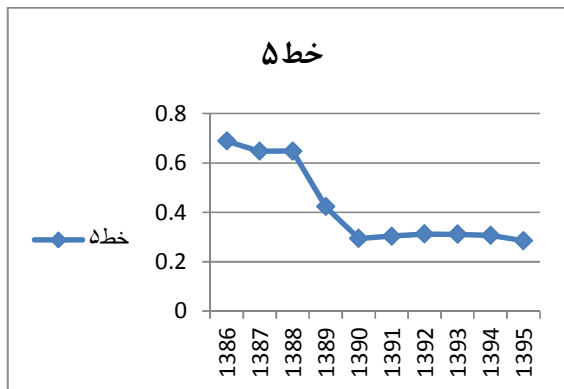
سال	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
کارایی نسبی	-	-	۰.۹۹	۰.۹۸۸	-	۰.۹۹۱	-	۰.۹۹۶	-	۰.۹۴۶



نمودار ۱۰. کارایی فنی نسبی خط دو قطار شهری تهران و حومه

جدول ۷. کارایی فنی نسبی خط پنج قطار شهری تهران و حومه

خط ۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
خط ۵	0.689	0.647	0.648	0.423	0.294	0.303	0.312	0.311	0.306	0.285

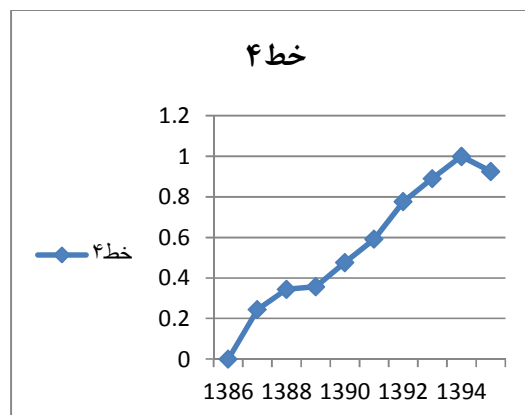


نمودار ۱۲. کارایی فنی نسبی خط پنج قطار شهری تهران و حومه

شاغلان خط، با کاهش حدود ۷ درصدی کارایی همراه بوده است. جدول (۶) و نمودار (۱۲) کارایی فنی نسبی خط چهار قطار شهری تهران و حومه را نشان می‌دهد.

جدول ۶. کارایی فنی نسبی خط چهار قطار شهری تهران و حومه

خط ۴	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
خط ۴	0	0.244	0.344	0.357	0.476	0.591	0.777	0.89	1	0.926



نمودار ۱۲. کارایی فنی نسبی خط چهار قطار شهری تهران و حومه

حومه

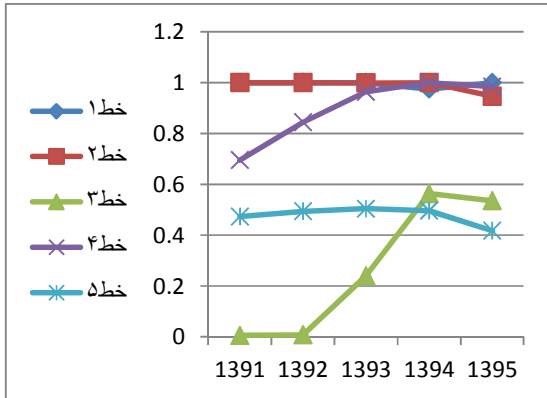
### خط پنج

#### ۴-۳-۱- متوسط کارایی خطوط قطار شهری تهران و حومه

نگاهی به روند متوسط کارایی نسبی خطوط حمل و نقل قطار شهری تهران و حومه، بیانگر آن است که خط یک این ناوگان شهری با حدود ۱۸ سال سابقه دارای بیشترین کارایی فنی در بین ۵ خط فعال حاضر و خط سه از خطوط حمل و نقل قطار شهری تهران با حدود ۵ سال سابقه در بازه زمانی مورد مطالعه کمترین کارایی را دارد. نمودار (۱۴) کارایی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه را در فاصله سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می‌دهد.

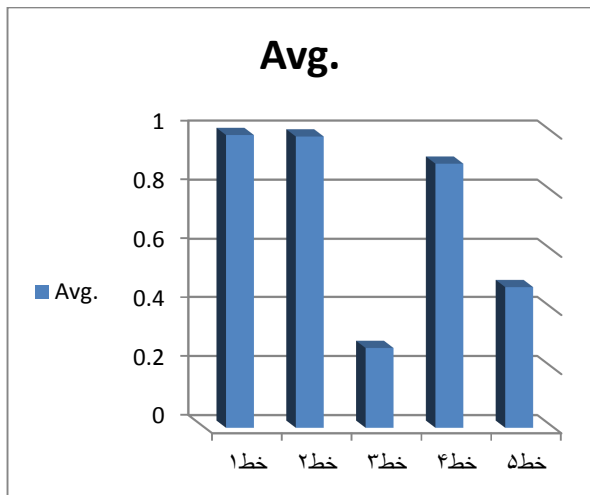
بررسی کارایی فنی خط پنج قطار شهری تهران و حومه که در روزهای پایانی سال ۱۳۷۷ شروع به فعالیت نموده است، حاکی از آن است که این خط در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ با یک روند کاهشی ملایم همراه بوده است حال آنکه در محدوده زمانی سالهای ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰، هرچند با افزایش نسبی تعداد مسافران جابه‌جا شده روبرو بوده است اما با توجه به افزایش چشمگیر متوسط تاخیر سفر، تعداد واگن‌های حمل و نقل و شاغلان خط، با یک روند کاهشی قابل توجه حدود ۳۰ درصد نزول کرده و سپس تا سال ۱۳۹۴ با شیبی بسیار ملایم، کارایی افزایش داشته و مجدداً در سال ۱۳۹۵، هرچند با کاهش نسبی تعداد مسافران جابه‌جا شده روبرو بوده است اما با توجه به روند افزایشی که در متوسط تاخیر سفر و تعداد شاغلان خط مشاهده نموده ایم، با کاهش کارایی روبرو بوده ایم. جدول (۷) و نمودار (۱۳) کارایی فنی نسبی خط پنج قطار شهری تهران و حومه را نشان می‌دهد.

اطلاعات بر اساس مدل انجام شد. تحلیل نتایج بر اساس نتایج حاصله و نمودارها حاکی از آنست که روند کلی تغییرات در کارایی مشابه با آنالیز قبلی بوده و فقط میزان آن اندکی تفاوت را برای خطوط ۳ و ۵ دارد می باشد. نمودار (۱۶) کارایی فنی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه را در فاصله سالهای ۱۳۹۱-۱۳۹۵ نشان می دهد.

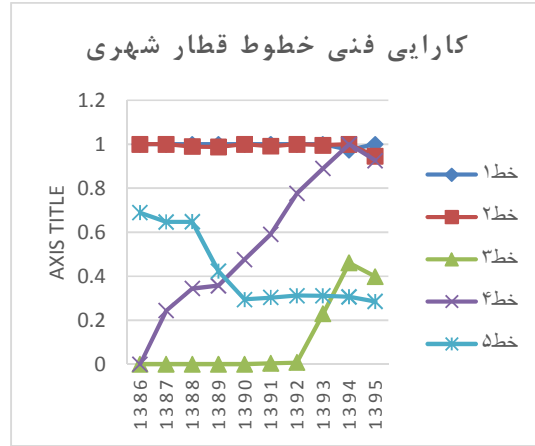


نمودار ۱۶. کارایی فنی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه

متوسط کارایی فنی نسبی حدود ۷۳ درصد ناشی از فعالیت ۵ خط فعال قطار شهری حاکی از آنست که این ناوگان دارای کارایی مناسب بوده و تنها با کاهش حدود ۲۷ درصدی ورودی‌ها و بهبود ساختاری خود در این محدوده می تواند به حداکثر کارایی خود در این حوزه دست یابد. نمودار (۱۷) متوسط کارایی فنی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه را در فاصله سالهای ۱۳۹۱-۱۳۹۵ نشان می دهد.

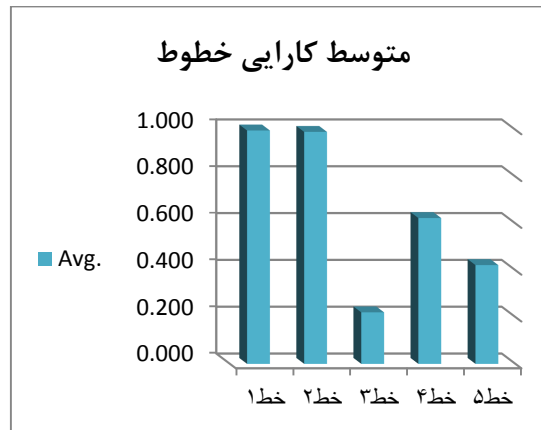


نمودار ۱۷. کارایی فنی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه



نمودار ۱۴. کارایی فنی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه

متوسط کارایی فنی نسبی حدود ۶۲ درصد ناشی از فعالیت ۵ خط فعال قطار شهری تهران با توجه به عدم راه اندازی خط ۳ تا قبل از سال ۱۳۹۱ حاکی از آنست که این ناوگان دارای کارایی تقریباً مناسب بوده و تنها با کاهش حدود ۳۸ درصدی ورودی‌ها و بهبود ساختاری خود در این محدوده می تواند به حداکثر کارایی خود در این حوزه دست یابد. نمودار (۱۵) متوسط کارایی فنی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه را در فاصله سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان می دهد.



نمودار ۱۵. متوسط کارایی فنی نسبی خطوط قطار شهری تهران و حومه

#### ۴-۳-۲- تحلیل کارایی فنی نسبی خطوط از سال ۱۳۹۱

با توجه به عدم شروع به فعالیت خط سوم قطار شهری تهران تا سال ۱۳۹۰، و جهت در نظر گرفتن همزمان تمامی خطوط جهت حصول به نتیجه و بررسی امکان تغییر نتایج در حضور فعالیت خط سوم، بار دیگر سنجش و اندازه‌گیری

## ۵- نتیجه گیری

سند چشم انداز ۱۴۰۴، ایران را توسعه یافته، فعال و تاثیرگذار در اقتصاد جهانی معرفی می‌کند. ایران برای تحقق اهداف تعیین شده در سند چشم انداز باید رشد اقتصادی بالا را تجربه کند. بر مبنای سند فوق الذکر، یکی از راه‌های اساسی موفقیت کشور، افزایش توان رقابت با سایر کشورهای منطقه با لحاظ نوآوری، بهبود کارایی و بهره‌وری علی‌الخصوص زیر ساخت‌های داخلی است که رشد و توسعه اقتصادی کشور را با ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست محیطی ترکیب می‌کند.

از آنجا که سیستم حمل و نقل عمومی، به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت‌های کشور در نظر گرفته می‌شود و نیز با توجه به قانون هدفمندی یارانه‌ها در کشور و به تبع آن افزایش هزینه‌های استفاده از وسایل نقلیه شخصی، به دلیل افزایش هزینه‌های سوخت مصرفی خودروها، تمایل افراد به استفاده از وسایل نقلیه عمومی افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به نامگذاری سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به عنوان سال اقتصاد مقاومتی از سوی مقام معظم رهبری، افزایش کارایی و بهره‌وری قطار شهری کلان شهر تهران اهمیت دوچندان می‌یابد. بنابراین، اندازه‌گیری کارایی حمل و نقل ریلی تهران به عنوان یکی از بزرگترین شهرهای غرب آسیا و بیست و چهارمین شهر بزرگ دنیا بمنظور بهبود کیفیت خدمات ارائه شده بزرگترین ناوگان حمل و نقل عمومی پایتخت ضروری بنظر می‌رسد. نتایج حاصل حاکی از آنست که متوسط کارایی فنی حدود ۶۲ درصد ناشی از فعالیت ۵ خط فعال قطار شهری تهران با توجه به عدم راه اندازی خط ۳ تا قبل از سال ۱۳۹۱ و نیز متوسط کارایی فنی حدود ۷۳ درصد ناشی از فعالیت ۵ خط فعال قطار شهری در فاصله سال‌های ۹۱ تا ۹۵ حاکی از آنست که این ناوگان دارای کارایی فنی نسبتاً مناسب بوده و تنها با کاهش حدود ۲۷ درصدی ورودی‌ها و بهبود ساختاری خود در این محدوده می‌تواند به حداکثر کارایی فنی خود در این حوزه دست یابد.

**بررسی روند تغییر کارایی فنی در خطوط قطار شهری تهران و حومه بیانگر آن است که:**

**خط یک:** این خط در دوره مطالعاتی ده ساله تحقیق دارای حداکثر کارایی فنی بوده و با متوسط ۹۹٪ کاراترین خط بوده است.

**خط دو:** این خط نیز با حداکثر کارایی فنی در رقابت تنگاتنگ با خط یک در دوره مطالعاتی تحقیق بوده و با فاصله‌ای ناچیز

عنوان دومین خط کارای مترو تهران را به خود اختصاص داده است.

**خط سه:** این خط با دارا بودن کمترین طول عمر در دوره مطالعاتی تحقیق بین خطوط موجود کمترین کارایی فنی یعنی کمتر از ۳۰٪ را بین خطوط دارد و بنابراین نیازمند اصلاح جدی در ساختار خود می‌باشد.

**خط چهار:** همانگونه که نتایج محاسبات تحقیق در دوره مطالعاتی نشان می‌دهد، این خط پس از خطوط یک و دو سومین خط کارای قطار شهری تهران و حومه از نظر کارایی فنی بوده و با کارایی پایین‌تر از ۹۰٪ نیازمند اعمال اقدامات اصلاحی جهت نیل به حداکثر کارایی می‌باشد.

**خط پنج:** این خط که عنوان قدیمی‌ترین خط قطار شهری تهران و حومه را دارد، دارای متوسط کارایی کمتر از ۵۰٪ در طول در دوره مطالعاتی بوده و بنابراین نیازمند شناسایی اقدامات اصلاحی مناسب جهت افزایش کارایی فنی و کیفیت خدمات آن می‌باشد.

همچنین نگاهی به متوسط کارایی خطوط در دوره مطالعاتی بیانگر آن است که خطوط سه و پنج بترتیب با کمترین و بیشترین سابقه فعالیت بین خطوط مطالعاتی حاضر دارای کمترین میزان کارایی بوده و خطوط یک و دو با متوسط عمر حدود ۱۷ سال دارای بیشترین کارایی می‌باشند. مطالعه حاضر شاخص‌های کلیدی در افزایش یا کاهش کارایی فنی خطوط قطار شهری تهران و حومه را کاهش زمان انتظار در ایستگاه‌ها (تاخیر سفر)، کاهش تعداد شاغلان خطوط با امکان افزایش تکنولوژی‌های هوشمند کنترلی، انتخاب کوتاهترین مسیر انتقال مسافری، در کنار آموزش و ارتقاء فرهنگ استفاده از ناوگان حمل و نقل عمومی در شهرهای بزرگ و پر ترافیک مانند تهران در کنار افزایش سلامت و ایمنی مسافران، نشان می‌دهد تا مترو از نظر شاخص‌های حمل و نقل عمومی مطلوب، سیستم کارآمدتری شده و سطح رضایتمندی شهروندان و مسافران نیز بیش از پیش افزایش یابد.

همچنین بخشی از اطلاعات مانند هزینه تعمیر و نگهداری خطوط به دلیل لینک بودن هزینه‌ها در کلیه خطوط، به تفکیک هر خط موجود نبوده و قابل استفاده در سنجش و ارزیابی کارایی خطوط در این مطالعه نمی‌باشد. پیشنهادات تحقیق به شرح پیوست اعلام می‌گردد.

- صدرموسوی، میرستار، هادیلی، ب. و فرج الهی، ع. (۱۳۹۰)، ارزیابی و تحلیل عملکرد حمل و نقل عمومی درون شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱ اتوبوسرانی تبریز).

- کاظمیان، غ. ر.، رسولی، الف.، رفیع پور، س. (۱۳۹۴)، "مزیت‌های حمل و نقل ریلی درون شهری نسبت به جاده‌ای، براساس رویکرد توسعه پایدار"، مطالعه موردی خط ۴ متروی تهران، نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ششم، شماره ۲۳، ص. ۷۷-۹۴.

-Barretta, A. D., (2008), "The exclusion of indirect costs from efficiency benchmarking", *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 15, No. 4, pp. 345-367.

-Charnes, A., W W Cooper, and E Rhodes, (1978), "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.

-Chintan Sheth, Konstantinos Triantis, Dusan Tendorovic, (2007), "Performance evaluation of bus routes: A provider and passenger perspective, *Transportation Research Part E*", pp.453-378.

-Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'donnell, C. J., Battese, G. E. (2005), "An introduction to efficiency and productivity analysis", Second Edition, Springer.

-Colombier, C., (2008), "Efficiency in public infrastructure provision: a theoretical note", *Journal of Economic Studies*, Vol. 35, No. 6, pp.528-543.

-Goncharuk, A. G., (2009), "Improving of the efficiency through benchmarking: a case of Ukrainian breweries, *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 16, No. 1, pp.70-87.

-Graham, Daniel J., (2008), *journal Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 44, Issue 1, pp. 84-99.

- کاهش متوسط فاصله زمانی عبور قطارها،  
- کاهش تعداد شاغلان خطوط با امکان افزایش تکنولوژی های هوشمند کنترلی،

- تلاش جهادی در جهت بومی‌سازی تکنولوژی مورد استفاده،  
- افزایش سلامت و ایمنی مسافران از طریق استقرار سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای (OHSAS 18001).  
سبب می‌شود تا مترو از نظر شاخص‌های حمل و نقل عمومی مطلوب، سیستم کارآمدتری شده و سطح رضایتمندی شهروندان و مسافران نیز بیش از پیش افزایش یابد.

## ۶-مراجع

- رسولی، ا.، (۱۳۸۳)، "نقش مترو بر سازماندهی فضایی و کالبدی منطقه شهری کرج"، همایش حمل و نقل ریلی.

- ناصری، الف. بهنام، ف.، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد".

-پورجعفر، ع. بمانیان، م. ر.، رنجبر، الف. و پورجعفر، مح. ر.، (۱۳۹۳)، "مقایسه تطبیقی توسعه فضاهای زیرزمینی حمل و نقل عمومی به منزله ابزاری برای کاهش آلودگی هوا (مورد مطالعه: تهران و توکیو)"، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۶، شماره ۲، ص. ۴۲۶-۴۱۵.

-جعفری صمیمی، الف.، طهرانچیان، م.، (۱۳۸۳)، "بررسی اثرات سیاست‌های پولی و مالی بهینه بر شاخص‌های عمده اقتصاد کلان در ایران، کاربردی از نظریه کنترل بهینه"، مجله تحقیقات اقتصادی؛ شماره ۶۵، ص. ۲۴۲-۲۱۳.

-حسامی، س.، هاشمی کمانگر، س. س.، جوانشیر، ح.، (۱۳۹۱)، "بررسی مسئله ارزیابی عملکرد حمل و نقل عمومی و کاربرد روش تحلیل پوششی داده‌ها در این ارزیابی".

-صبور، ع. ر. (۱۳۸۸)، "بررسی کارایی نسبی کارخانه‌های سیمان کشور"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

- Sink, D.S. and Tuttle, T.C., (1989), "Planning and Measurement in Your Organization of the Future", IE Press, Norcross, GA.
- Sharma, S., (2008), "Analyzing the technical and scale efficiency performance: a case study of cement firms in India, Journal of Advances in Management Research", Vol. 5, No. 2, pp. 56-63.
- z.wheihu, L. u., Huapu, (2005), "Study on Method for Evaluating Bus Rapid TransitScheme", pp.390-403.
- Hutchison, R., (2010), "Encyclopedia of Urban Studies", SAGE Publications.
- Myres, Fort, (2005), "the benefits of public transit in Lee County, Florida".
- Ming-Miin Yu., Chih-Ku Fan, (2009), "Measuring the performance of multimode bus transit: "A mixed structure network DEA model, Transportation Research Part, E", pp.501-515.
- Seydel, J., (2006), "Data envelopment analysis for decision support, Industrial Management & Data Systems", Vol. 106, No.1, pp. 81-95.

