

ارزیابی بهره‌وری سامانه حمل‌ونقل مترو تهران با استفاده از شاخص مالم کوئیست و روش تحلیل پوششی داده‌ها

عرفانه راسخ جهرمی*، مربی، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

سامانه نورانی، استادیار، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rasekh83@gmail.com

دریافت: ۹۷/۰۶/۱۸ - پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۵

صفحه ۱۲۴-۱۱۱

چکیده

هدف محوری این مطالعه اندازه‌گیری بهره‌وری در سامانه حمل‌ونقل مترو تهران جهت ارزیابی میزان پیشرفت و پسرفت هر خط مترو می‌باشد. بدین‌منظور از داده‌های آماری سامانه حمل‌ونقل مترو تهران طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۷ و روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. در واقع این مطالعه با بهره‌گیری از شاخص بهره‌وری مالم کوئیست، که از دو اثر تغییر در فناوری و تغییر در کارایی فنی نشأت گرفته، بهره‌وری کل عوامل تولید در دو مرحله مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج پژوهش مؤید آن است که در مرحله اول از بین چهار خط فقط یک خط با افزایش بهره‌وری (۶ در هزار) مواجه بوده است و در مرحله دوم همگی خطوط در سال‌های اولیه افزایش بهره‌وری داشته‌اند، اما با گذشت زمان نوساناتی در بهره‌وری خطوط مشاهده شده است. به‌طورکلی در خطوط مترو تهران در هر دوره اثر تغییرات فناوری بر بهره‌وری بیشتر از تغییرات کارایی فنی بوده است. از این‌رو جهت افزایش بهره‌وری خطوط مترو لازم است کارایی فنی و کارایی مقیاس بهبود یابند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، شاخص مالم کوئیست، سامانه مترو، تحلیل پوششی داده‌ها، حمل‌ونقل

طبقه‌بندی JEL: R49, R42, R41, O47, O32

۱- مقدمه

را منسوط به توسعه حمل‌ونقل درون‌شهری و برون‌شهری می‌دانند. به‌طوری‌که در برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور به‌ویژه در برنامه‌های چهارم و ششم توسعه اقتصادی به ارتقای بهره‌وری از طریق بهره‌وری سبز، بهره‌وری متکی بر رقابت‌پذیری و نوآوری، بهره‌وری در استفاده از منابع آب و خاک و انرژی، گسترش سرمایه‌گذاری و بهبود کیفیت حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری و برون‌شهری تاکید شده است. بررسی اجمالی آمارهای منتشره در سال ۲۰۱۵ توسط شرکت

یکی از مشکلات اساسی در اکثر شهرهای بزرگ، مسأله ترافیک و مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مربوط به سیستم حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری می‌باشد؛ زیرا ترافیک در شهرهای بزرگ باعث اتلاف وقت افراد و منابع موجود در جامعه شده و میزان بهره‌وری را کاهش می‌دهد. هر چند گسترش سامانه حمل‌ونقل مترو تا حدودی توانسته این مشکلات را در کشور ما مرتفع سازد اما هنوز جای بسیار دارد. امروزه بیشتر صاحب‌نظران و اندیشمندان عرصه اقتصادی رشد و توسعه کشور

حمل و نقل درون شهری کشور بیانگر آن است که مترو تهران با طول شبکه‌ی ۲۲۱ کیلومتری شامل ۷ خط فعال که ۵ خط آن درون شهری و ۲ خط آن برون شهری است رتبه ۱۹ را در بین قطارهای شهری جهان داراست. از طرفی شبکه حمل و نقل مترو تهران با این طول خط می‌تواند روزانه ۳ میلیون مسافر را به‌طور متوسط جابجا کند که البته این تعداد طبق آمارهای همین سازمان در صورت افزایش تعداد واگن‌ها به دو برابر تا ده میلیون مسافر در روز هم قابل افزایش است و در صورت دستیابی به چنین امری سهم سفرهای درون شهری با مترو به ۵۰ درصد می‌رسد. همچنین مقایسه وضعیت شبکه متروی تهران با دیگر کشورهای جهان از لحاظ تعداد خطوط، تعداد ایستگاه و میزان جابجایی مسافر در روز برتریب بیانگر رتبه ۳۲، ۳۴ و ۲۳ می‌باشد. هر چند این سیستم حمل و نقل درون شهری به لحاظ ویژگی‌های مذکور در بین کشورهای آسیایی دارای رتبه ۱۵، ۱۱ و ۱۴ و در بین کشورهای خاورمیانه برتریب حائز رتبه ۱، ۱ و ۲ می‌باشد اما هنوز با سیستم حمل و نقل متروی شهرهای پیشرفته جهان فاصله زیادی دارد. بنابراین جهت رسیدن به وضعیت مطلوب و بدست آوردن رضایت مسافران، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و صوتی و ارتقای سطح بهره‌وری بایستی تلاش‌های جدی توسط مسئولین و برنامه‌ریزان در این خصوص انجام پذیرد. از این‌رو با توجه به اینکه یکی از اهداف برنامه توسعه کشور افزایش بهره‌وری از طریق سرمایه‌گذاری و بهبود کیفیت حمل و نقل درون شهری است پژوهش حاضر در صدد ارزیابی بهره‌وری در سامانه حمل و نقل مترو تهران می‌باشد تا به این سوال پاسخ دهد که میزان کارایی فنی، تغییرات تکنولوژیکی و کارایی مقیاس در این زیر بخش چه اندازه است؟ بدین منظور از داده‌های آماری سامانه حمل و نقل مترو تهران طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۷ استفاده شده است تا ضمن اندازه‌گیری شاخص مال‌کوئیسیت میزان

کارایی فنی، تغییرات تکنولوژیکی و کارایی مقیاس طی دو مرحله که مرحله اول ۴ خط مترو در بازه زمانی سه ساله و مرحله دوم ۳ خط مترو در یک بازه زمانی ۵ ساله را پوشش می‌دهد مورد سنجش و ارزیابی قرار گیرد. در ادامه این مقاله، مطالعات انجام شده در داخل و خارج کشور مرور می‌گردد. سپس مبانی نظری تحقیق و روش ارزیابی بهره‌وری با استفاده از شاخص مال‌کوئیسیت به بحث گذاشته می‌شود. در بخش سوم مقاله به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته و با بهره‌گیری از روش تحلیل پوششی داده‌ها ضمن ارزیابی بهره‌وری سامانه حمل و نقل مترو تهران به این بخش غنا بخشیده، در نهایت در بخش پایانی به نتیجه‌گیری و ارائه راهکارهای عملی برای بهبود بهره‌وری پرداخته شده است.

۲- پیشینه تحقیق

مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور در خصوص بررسی رشد بهره‌وری عوامل تولید در بخش حمل و نقل کشور با استفاده از روش‌های پارامتریک و غیر پارامتریک انجام شده است. اما مطالعه در زمینه‌ی اندازه‌گیری رشد بهره‌وری عوامل در شبکه حمل و نقل مترو کشور کمتر صورت گرفته است. بنابراین در ادامه این بخش برخی از این مطالعات باختصار مرور می‌شود. باران و گورسکا (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص بهره‌وری مال‌کوئیسیت و روش تحلیل پوشش داده‌ها به ارزیابی بهره‌وری حمل و نقل دریایی در ۱۸ پایانه دریایی کشورهای منتخب آسیا، اروپا و آمریکا در سال ۲۰۱۲ پرداختند. آنها در مطالعه خود دریافتند که در بین ۱۸ پایانه دریایی مورد مطالعه ۷ شهر دارای بازدهی نسبت به مقیاس فزاینده ۳ شهر بازدهی کاهنده و بقیه پایانه‌ها بازدهی ثابت نسبت به مقیاس دارند. همچنین متوسط نرخ رشد بهره‌وری در نمونه مورد بررسی ۰/۳۵ بوده و دو کشور هلند و هنگ کنگ به ترتیب با مقدار متوسط بهره‌وری ۰/۵۷ و ۰/۳۶ دارای بالاترین نرخ رشد بهره‌وری می‌باشند (باران و گورسکا، ۲۰۱۶: ۹-۱). آلفرایی و همکاران (۲۰۱۵)، در مقاله خود به تحلیل پتانسیل رشد و ارزیابی تغییرات بهره‌وری در صنایع تولید پلاستیک کشور اردن می‌پردازند. آنها از داده‌های روزانه در بازه زمانی ۲۰۱۴:۱ تا ۲۰۱۴:۲ جهت محاسبه

شاخص مالم کوئیست استفاده نمودند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص مالم کوئیست بیانگر ناکارایی در این صنعت بوده است. بنابراین آنها در جهت افزایش کارایی فنی، آموزش درونی، گسترش فرایندهای عملیاتی موثر، افزایش فرایندهای کیفی را لازم و ضروری می‌دانند. همچنین آنها نتیجه گرفتند که با بکارگیری تکنولوژی جدید می‌توان تغییرات تکنولوژی و میزان بهره‌وری را افزایش داد (آل‌رفایی، آل‌تهات و نجدادی، ۲۰۱۵: ۴۰۰-۳۸۴). چو و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای به بررسی رشد بهره‌وری در بخش‌های حمل‌ونقل ریلی، جاده‌ای، دریایی، هوایی و مترو در ایالت متحده آمریکا طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۴ پرداختند. آنها با استفاده از شاخص مالم کوئیست و روش تحلیل پوشش داده‌ها میانگین بهره‌وری در دوره ۸ ساله را محاسبه نمودند. نتایج مطالعه بیانگر رشد مثبت و معنی‌دار بهره‌وری در تمامی سال‌ها به جز سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ که آمریکا با بحران مالی مواجه بوده است، می‌باشد. همچنین در بین ۵ زیر بخش حمل‌ونقل، حمل‌ونقل ریلی و دریایی بیشترین بهره‌وری را در سال ۲۰۱۱ داشته است (چو، روبرتس و لی، ۲۰۱۴: ۲۰-۱).

ملو و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای به ارزیابی بهره‌وری ناشی از سرمایه‌گذاری در زیربخش‌های حمل‌ونقل اقتصاد آمریکا و کشورهای اروپایی پرداختند. آنها دریافتند که اثرات بهره‌وری در زیربخش‌های حمل و نقل به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند و این اثر در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای بیشتر از دیگر بخش‌ها است. همچنین ملو در مطالعه خود با مقایسه بهره‌وری آمریکا و کشورهای اروپایی بهره‌وری بالاتری را در اقتصاد آمریکا نسبت به کشورهای اروپایی بدست آورد (ملو، گراهام و اردو، ۲۰۱۳: ۷۰۶-۶۹۵).

هالکوس و تزریمس (۲۰۱۲)، در مقاله‌ای با بهره‌گیری از شاخص مالم کوئیست و روش تحلیل پوشش داده‌ها به اندازه‌گیری بهره‌وری و عوامل موثر بر آن در بخش حمل و نقل دریایی کشور یونان طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۶ می‌پردازند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تعداد پایانه‌های کانتینر به‌عنوان مهمترین عامل موثر بر بهره‌وری در بخش حمل‌ونقل دریایی کشور یونان بوده است. همچنین طول مسافت پایانه کانتینر تاثیر منفی بر بهره‌وری طی سال‌های مورد مطالعه داشته است (هالکوس و تزریمس، ۲۰۱۲: ۳۴-۱). مارگاری و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای با بهره‌گیری از داده‌های ۴۲ شرکت حمل‌ونقل عمومی و تلفیق دو روش پارامتریک (SFA) و

غیرپارامتریک (DEA) کارایی انواع سیستم‌های حمل‌ونقل شهری، بین شهری و مختلط کشور ایتالیا طی سال‌های ۹۹-۱۹۹۳ را بررسی نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که میانگین کارایی برای شرکت‌های حمل‌ونقل شهری ۹۳٪ و برای شرکت‌های حمل‌ونقل عمومی بین شهری و مختلط به ترتیب ۸۶٪ و ۸۵٪ بوده است. همچنین این مطالعه بر این نکته تاکید دارد که متغیرهای برون‌زایی مانند سیاست‌های اتخاذ شده دولت در خصوص زیر ساخت‌های حمل‌ونقل و دیگر متغیرهای غیر قابل کنترل می‌توانند از طریق کاهش هزینه ارائه کالا و خدمات مربوط به حمل‌ونقل بر کارایی اثرگذارند و باعث افزایش کارایی حمل و نقل عمومی شوند (مارگاری، اربتا، پترانگلیا و پیاسنزا، ۲۰۱۰: ۱۵۱-۱۳۱).

فازیولی و فلپینی (۲۰۰۹)، در مقاله‌ای با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ، کارایی حمل‌ونقل عمومی در یک دوره ۵ ساله برای ۴۰ شرکت اتوبوس‌رانی کشور ایتالیا را بررسی نمودند. آنها در مطالعه خود به وجود ناکارایی مقیاس و عملکرد غیربهبوده در شرکت‌های حمل‌ونقل عمومی پی‌بردند بنابراین آنها بر لزوم تنظیم سیاست‌های زیر ساختی حمل‌ونقل عمومی در جهت بهبود کارایی هزینه تاکید نمودند (فازیولی و فلپینی، ۲۰۱۰). سپهردوست و معصومی (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای با استفاده از داده‌های حمل‌ونقل ریلی در نواحی ۱۴ گانه راه‌آهن ایران طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۶ به بررسی کارایی بخش حمل‌ونقل ریلی- مسافری کشور با استفاده از روش تحلیل پوشش داده‌ها پرداختند. آنها در مطالعه خود دریافتند که میزان ناکارایی در این بخش برای سال‌های ۸۶، ۸۷ و ۸۸ به ترتیب ۴۴٪، ۴۲٪ و ۳۶٪ است. همچنین نتایج حاصل از برآورد اجزای کارایی نشان می‌دهد که میانگین کارایی فنی، مدیریتی و مقیاس در سال‌های مورد بررسی به ترتیب ۵۹٪، ۶۵٪ و ۸۷٪ می‌باشد. آنها دلایل عمده برای این ناکارایی فنی در بخش حمل و نقل را به عواملی از قبیل فرسودگی، محدود بودن ناوگان، عدم توسعه میزان خطوط راه آهن کشور که باعث اتلاف انرژی و وقت می‌شود، نسبت داده‌اند.

زراءنژاد و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله‌ای به ارزیابی کارایی فنی در صنایع کارخانه‌ای ایران پرداختند. آنها از داده‌های تلفیقی صنایع کارخانه‌ای ایران در سطح کدهای ۴ رقمی طی سال‌های ۸۶-۱۳۷۵ استفاده نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که میانگین کارایی فنی صنایع کارخانه‌ای ایران طی دوره‌ی مورد مطالعه ۵۵٪ بوده است. همچنین صنایع

فعال در زمینه‌ی تولید محصولات اساسی مسی و تولید فرآورده‌های نفتی تصفیه شده به ترتیب با سطح کارایی ۰/۸۳ و ۰/۷۸ از سطح کارایی فنی بالاتری در مقایسه با دیگر فعالیت‌های صنعتی برخوردار بوده‌اند. در مقابل، صنایع فعال در زمینه‌ی تولید آجر و آماده‌سازی و آرد کردن غلات و حبوبات با سطوح کارایی ۰/۲۱ و ۰/۲۳ دارای پایین‌ترین میزان کارایی فنی بوده‌اند. متوسط سطح کارایی بیشتر صنایع بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۰ متغیر بوده است و فقط ۵ صنعت دارای کارایی بالای ۷۰/ همچنین بررسی عوامل موثر بر کارایی صنایع کارخانه‌ای نشان می‌دهد که با وجود افزایش شدت انرژی و افزایش ناکارایی صنایع، افزایش اندازه‌ی صنایع کارخانه‌ای ایران، سطح ناکارایی صنایع را کاهش نداده و مالکیت دولتی صنایع کارخانه‌ای نیز اثری بر سطح ناکارایی آنها نداشته است. زراءنژاد و یوسفی حاجی‌آباد (۱۳۸۹)، در تحقیقی با بهره‌گیری از داده‌های تلفیقی ۴۱ شرکت توزیع برق ایران طی سال‌های ۸۵-۱۳۸۲ به ارزیابی کارایی اقتصادی در این شرکت‌ها می‌پردازند. آنها از مدل خطای ترکیب و اثرات ناکارایی باتیس و کولی برای اندازه‌گیری میزان ناکارایی استفاده نمودند. نتایج مطالعه بیانگر آن است که میانگین کارایی اقتصادی شرکت‌های توزیع برق طی دوره مورد مطالعه در قالب الگوی اول و دوم باتیس و کولی به ترتیب ۱/۷۴ و ۱/۶۵ بوده است. همچنین در میان عوامل موثر بر کارایی اقتصادی این شرکت‌ها، نسبت کارکنان با تحصیلات لیسانس به بالا و سابقه کاری دارای بیشترین تاثیر بر کارایی هستند. از سوی دیگر شرکت‌های توزیع برق قم و گیلان به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین میزان کارایی در دوره مورد مطالعه است. حسین‌زاده لطفی و همکاران (۱۳۸۸)، در تحقیقی به ارزیابی بهره‌وری در واحدهای مجتمع نیروگاهی با استفاده از شاخص مالم کوئیست پرداختند. در این مقاله با توجه به اطلاعات بدست آمده از ۴ واحد نیروگاهی شازند در بازه زمانی ۸۶-۱۳۸۲ شاخص بهره‌وری مالم کوئیست به‌عنوان شاخصی برای تعیین پیشرفت و پسرفت واحد نیروگاهی ارائه گردید. آنها در مطالعه خود مقادیر کارایی و فاصله هر واحد تا مرز کارایی را با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی و تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه نمودند. نتایج این مطالعه بیانگر سیر نزولی شاخص مالم کوئیست در تعدادی از این واحدها و در بعضی از سال‌ها بوده است که این امر ناشی از تعمیرات اساسی، تلفات بالا، حوادث عمدی و طبیعی بوده و منجر به

کاهش بهره‌وری در واحدها شده است.

پورکاظمی و سلطانی (۱۳۸۶)، در مطالعه خود با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم کوئیست به مقایسه میزان کارایی در راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران با سایر کشورهای خاورمیانه در بازه زمانی ۲۰۰۴-۲۰۰۰ پرداخته‌اند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که در بخش حمل‌ونقل ریلی، کشور فلسطین اشغالی بهترین کارایی را دارد در حالیکه کشور ایران در میان ۲۴ کشور مورد مطالعه در رتبه دهم را به‌خود اختصاص داده است. آنها برای بهبود کارایی مدیریتی در ایران پیشنهاد الگوبرداری از نحوه مدیریت راه‌آهن کشورهای کره جنوبی و فلسطین را داده‌اند.

۳- مبانی نظری تحقیق

با توجه به‌اینکه این مطالعه درصدد ارزیابی بهره‌وری در سامانه حمل‌ونقل مترو تهران می‌باشد. از این‌رو در ابتدا ضروری است که با توجه به ماموریت پژوهش دو مفهوم کارایی و بهره‌وری و نحوه ارتباط آنها از بعد نظری در حد مجمل بررسی شود و تنها اندازه‌گیری شاخص مالم کوئیست و روش تحلیل پوشش داده‌ها به بحث گذاشته شود.

اساساً واژه بهره‌وری به‌معنای « قدرت تولید، باروری و مولد بودن است» و معیاری است که بیانگر نحوه ترکیب و به کارگیری عوامل تولید در راستای تحقق اهداف تعیین شده بنگاه می‌باشد به‌طوری‌که بیشترین بازده و کمترین هزینه حاصل شود. در بحث بهره‌وری بسته به اینکه یک یاچند عامل در فرایند تولید مدنظر باشد به دو گروه بهره‌وری جزئی و بهره‌وری کلی طبقه بندی می‌شوند. در مجموع در بهره‌وری جزئی تنها یک عامل در فرایند تولیدی دخیل است در حالی‌که بهره‌وری کل عبارت است از نسبت ستاده (ارزش افزوده واقعی) به میانگین وزنی نهاده‌ها که این وزن‌ها منعکس کننده سهم هریک از نهاده‌ها از کل هزینه تولید است (کراگمن، ۱۹۹۴). از سوی دیگر، کارایی نیز مفهومی است که به نحوه بکارگیری منابع و استفاده از آن و عدم‌اتلاف منابع اشاره دارد. به‌عبارت دیگر نسبت بازدهی واقعی به بازدهی مورد انتظار کارایی است. فارل در مطالعه خود سه نوع کارایی فنی، کارایی تخصیصی و کارایی اقتصادی را معرفی نمود. در کارایی فنی چگونگی تبدیل نهاده‌ها به محصولات مطرح است و با ساختار تکنولوژیکی ارتباط دارد. به‌عبارت دیگر در بحث کارایی فنی اگر محور بحث بر تغییر

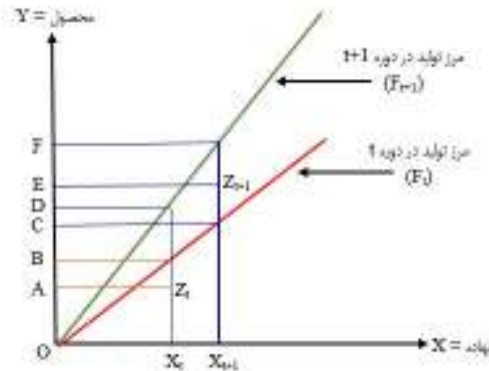
عوامل تولید به دو مولفه تغییرات تکنولوژیکی و تغییرات در کارائی فنی، قابل تفکیک است. از طرفی در استفاده از شاخص مالم کوئیست که روش غیر پارامتریک ارزیابی بهره‌وری نامیده می‌شوند از یک عدد شاخص با برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین مرز تولید استفاده می‌شود. در این روش که بر پایه تابع فاصله بنا شده است با بهره‌گیری از روش تحلیل پوشش داده‌ها میزان بهره‌وری کل عوامل تولید محاسبه می‌گردد. از مزایای این شاخص آن است که اولاً بر اساس مقادیر داده‌ها ساخته شده و نیازی به آمار و اطلاعات قیمت‌ها در محاسبه آن نمی‌باشد؛ ثانیاً این روش برای حالتی که در آن فناوری تولید پیچیده است (چند ستاده و چند نهاده) مناسب می‌باشد ثانیاً در آن نیازی به رفتار حداکثر سازی منفعت وجود ندارد، رابعاً این روش علاوه بر فرضیه آزادی وجود امکانات، این اجازه را می‌دهد که تمامی مشاهدات مرتبط به واحدهای کارا، توسط قسمت‌های مختلف منحنی، با هم مرتبط شوند.

این شاخص نیازی به برآوردهای اقتصادسنجی ندارد، در نتیجه محدودیتهای تکنیکی و آماری که معمولاً در این روشها بروز می‌کند، وجود ندارد. در حالیکه در روش پارامتریک مرز کارائی تولید با استفاده از تکنیک‌های اقتصادسنجی و تابع تولید و هزینه برآورد و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

بنابراین، با توجه به ویژگی‌های مذکور برای شاخص مالم کوئیست در تحقیق حاضر برای بهره‌وری کل عوامل تولید مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع این شاخص (M) می‌تواند ضمن اندازه‌گیری تغییرات بهره‌وری کل عوامل، تغییرات کارائی E (که توسط نزدیکی یا دوری از مرز تولید در دوره t نمایش داده می‌شود) را از تغییرات تکنولوژیکی A (که توسط جایجائی مرز تولید در دوره t+1 اندازه‌گیری می‌شود) متمایز نماید. این مفهوم در نمودار (۱) نمایش داده شده است.

میزان تولید متمرکز باشد که به آن کارایی ستاده‌مدارمی گویند و در صورتی که با توجه به سطح ثابت محصول از یک یا چند عامل تولید کمتر استفاده شود به آن کارایی نهاده‌مدار می‌گویند. کارایی فنی ارتباطی با قیمت عوامل ندارد و در مواردی که نتوان قیمت عوامل را بدرستی ارزش‌گذاری نمود می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. کارایی تخصیصی، توانایی یک واحد اقتصادی در استفاده از ترکیب بهینه عوامل با توجه به قیمت‌های آن‌ها می‌باشد. کارایی اقتصادی نیز از حاصل ضرب کارایی فنی و تخصیصی به دست می‌آید و به توانایی واحد اقتصادی در بدست آوردن حداکثر سود با توجه به قیمت و سطح نهاده‌ها اشاره دارد. بنابراین بطورکلی به واسطه بهره‌وری می‌توان به مقایسه کارایی یک بنگاه در طی دو زمان متفاوت و یا مقایسه کارایی دو بنگاه نسبت به یکدیگر در یک زمان پرداخت. به طوری که در ادبیات اقتصادی بهره‌وری و کارایی به دور روش پارامتریک و غیرپارامتریک قابل سنجش و ارزیابی است. در روش غیرپارامتریک که یکی از روش‌های متداول و کاربردی و روش برگزیده موسسات تولید کننده آمارهای رسمی شناخته می‌شوند معمولاً از شاخص‌هایی مانند شاخص ابتدایی سولو، شاخص کندریک، شاخص تورنکوئیست- تیل و شاخص مالم کوئیست برای سنجش میزان بهره‌وری عوامل و کارایی در اقتصاد یا در هر بخش استفاده می‌شود.

فار و همکاران (۱۹۹۴) نشان داد که می‌توان با استفاده از روش تحلیل پوشش داده‌ها شاخصی از بهره‌وری کل عوامل تولید را بدست آورد که به آن شاخص مالم کوئیست گفته می‌شود. این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۵۳ توسط مالم کوئیست، در زمینه تئوری مصرف مورد استفاده قرار گرفت و سپس، کاربرد آن در بخش‌های تولیدی نیز عمومیت یافت. در ابتدا مبنای این شاخص براساس بازده ثابت به مقیاس تولید بوده است. تا اینکه این شاخص با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس تولید، ارائه و مورد استفاده قرار گرفت. در این شاخص برخلاف دیگر شاخص‌های مهم سنجش بهره‌وری عوامل تولید نظیر تورنکوئیست- تیل نیازی به داشتن قیمت نهاده‌ها و ستاده نیست. همچنین در این شاخص تغییرات کل بهره‌وری



نمودار ۱. تغییرات بهره‌وری با گذشت زمان

از یک باشند، این امر به معنی این است که بهبود (وخامت) فناوری یا کارایی نسبی وجود دارد و اگر حاصل ضرب این دو عامل بالاتر از (کمتر از) یک باشد به معنای افزایش (کاهش) بهره‌وری کل عوامل تولید خواهد بود. از طرفی با توجه به اینکه کارایی فنی در دوره t و $t+1$ به ترتیب برابر با $E_t = OA/OB$ و $E_{t+1} = OE/OF$ هستند می‌توان عامل افزایش کارایی فنی را از نسبت کارایی فنی دو دوره به صورت $e = (OE/OF)/(OA/OB)$ بدست آورد همچنین میانگین هندسی پیشرفت فناوری خالص (ستاده مدار) اندازه‌گیری شده در دو دوره t و $t+1$ که به ترتیب برابر با $A_t = OD/OB$ و $A_{t+1} = OF/OC$ می‌باشند برابر $a = [(OA/OC) * (OD/OB)]^{1/2}$ خواهد بود بنابراین ضریب افزایش بهره‌وری به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$M = [(OE/OF)/(OA/OB)] * [(OA/OC) * (OD/OB)]^{1/2} \quad (2)$$

از طرفی جهت تشریح شاخص مالم کوئیست (نهاده محور)، در محاسبه بهره‌وری عوامل تولید، از اطلاعات داده شده و نسبت مسافت هر مجموعه از داده‌ها در مقایسه با تکنولوژی مشترک به صورت زیر استفاده می‌شود.

$$M_{it} = \frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^t(x_i^t, y_i^t)} \quad (3)$$

اگر مرز مرجع F^t باشد در رابطه (۳) تابع مسافت $D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})$ تغییرات نهاده لازم

نمودار فوق، بیانگر یک واحد تولیدی است که در شرایط بازدهی ثابت نسبت به مقیاس، یک واحد محصول توسط یک نهاده تولید شده است بنابراین تابع تولید در زمان t توسط تابع F^t تشریح گردیده در حالی که در دوره بعدی، بر اثر پیشرفت تکنولوژیکی این تابع جابجا و به F_{t+1} تبدیل شده است. از طرفی به دلیل آنکه معمولاً کارایی حداکثری به دست نمی‌آید، تولید اولیه توسط نقطه Z_t و در تولید دوره دوم توسط Z_{t+1} نمایش داده می‌شود. در این واحد تولیدی بهره‌وری بخش تولید، بین زمان t و $t+1$ افزایش می‌یابد، زیرا این واحد تولیدی، منابع کمتری برای هر واحد تولید، نسبت به دوره قبل استفاده کرده است. حال اگر دو مولفه E_t و A_t که به ترتیب بیانگر پیشرفت تکنولوژی و کارایی فنی در دوره t می‌باشند را در دوره $t+1$ به صورت A_{t+1} و E_{t+1} در نظر گرفته شود در این صورت، عامل افزایش کارایی فنی و پیشرفت تکنولوژی به ترتیب به صورت $e = E_{t+1}/E_t$ و $a = A_{t+1}/A_t$ خواهند بود. از این رو می‌توان عامل افزایش بهره‌وری کل عوامل که حاصل دو مولفه تغییرات کارایی فنی و پیشرفت تکنولوژیکی است را به صورت زیر تعریف نمود.

$$PTF = e \times a \quad (4)$$

حال اگر در رابطه (۱) a و e بالاتر از (کمتر از)

خواهیم داشت.

$$M_i^{t+1} = \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \quad (4)$$

صورت می‌توان تابع مسافت را به صورت زیر نوشت.

$$D_i^t(x^t, y^t) = A(t)D_i(x^t, y^t)$$

جهت اجتناب از تحمیل دیگر قیود لازم برای کاربرد هریک از دو فرمول فوق، اغلب شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید برحسب میانگین هندسی دو عبارت (۳) و (۴) به صورت زیر بیان می‌شود.

$$PTF_{i,t} = \left(M_i^t * M_i^{t+1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

را به صورت یک عدد نشان می‌دهد. بنابراین فار و همکاران (۱۹۹۴)، برای رفع این نقیصه رابطه رشد بهره‌وری عوامل تولید را به صورت زیر نشان دادند.

$$PTF_{i,t} = \frac{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^{t+1}(y^t, x^t)} \left[\underbrace{\left(\frac{D_i^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \right)}_{\Delta EFF_t} \underbrace{\left(\frac{D_i^t(y^t, x^t)}{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \right)}_{\Delta TECH_t} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

رابطه (۶) تشریح می‌شود با استفاده از روش تحلیل پوشش داده‌ها که روشی غیر پارامتریکی بوده و از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کند به برآورد چهار تابع مسافت زیر پرداختند.

$$D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1}), D_i^t(y^{t+1}, x^{t+1}), D_i^{t+1}(y^t, x^{t+1}), D_i^t(y^t, x^t) \quad (7)$$

چارنر، کوپز و رودز به صورت معادله ۸ خواهد بود.

نسبت به فناوری در زمان t را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین اگر مرز F^{t+1} مرجع باشد

به طوری که نماد $D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})$ به تابع مسافت مشاهدات در دوره $t+1$ تا تکنولوژی دوره t اشاره دارد از طرفی مقادیر بالاتر از یک برای M_i نشان‌دهنده وجود رشد بهره‌وری عوامل تولید و مقادیر کمتر از یک نشان‌دهنده کاهش بهره‌وری کل عوامل تولید می‌باشد.

فار و گروسکاپ و روز (۱۹۹۸) نشان دادند که اگر تکنولوژی به صورت خنثای هیکسی باشد دو شاخص مالم کوئیست فوق معادل هستند. در این

این شاخص نیز مشابه با روابط (۳) و (۴) تفسیر می‌شود. یکی از اشکالات اساسی رابطه (۵) آن است که تغییر در رشد بهره‌وری کل عوامل تولید که از دو مولفه تغییرات در تکنولوژی تولید و کارایی فنی نشات گرفته است

به طوری که اولین عبارت تغییرات میزان کارایی فنی ΔEFF_t و دومین عبارت میزان تغییرات پیشرفت تکنولوژی $\Delta TECH_t$ را نشان می‌دهد. کولی و والدینگ (۲۰۰۵) برای محاسبه شاخص بهره‌وری مالم کوئیست که توسط

در واقع در روش تحلیل پوشش داده‌ها که از الگوهای چارنر، کوپز و رودز (ستاده مدار با بازدهی به مقیاس ثابت) و الگوی بانکر، چانز و کوپز (ستاده مدار با بازدهی به مقیاس متغیر) سرچشمه می‌گیرد فرض می‌شود که N نهاده و M ستاده، برای هر واحد تولیدی i وجود دارند. x_{ni} و y_{mi} بیانگر بردار نهاده‌ها و ستاده i امین واحد تولیدی هستند. در این صورت مساله برنامه‌ریزی خطی ریاضی با توجه به الگوی

که در آن اندیس V و C به ترتیب به بازدهی متغیر و ثابت نسبت به مقیاس اشاره دارد.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج تحقیق

با توجه به اینکه هدف محوری این پژوهش اندازه‌گیری میزان بهره‌وری در سامانه حمل و نقل مترو تهران می‌باشد. از آمارهای رسمی شرکت بهره‌برداری مترو در دو مرحله استفاده شده است. به طوری که در مرحله اول با بهره‌گیری از یک مدل نهاده‌مدار شامل یک ستاده (تعداد مسافرن در هر خط مترو) و چهار نهاده (تعداد ایستگاه‌ها، طول مسیر مترو، سطح ایستگاه‌ها برحسب متر مربع، کیلو متر مسافر جابجا شده در هر خط مترو) و بازه زمانی ۹۱-۱۳۸۹ که چهار خط مترو (۱، ۲، ۴ و ۵) را پوشش می‌دهد نسبت به برآورد توابع مسافت و اندازه‌گیری بهره‌وری عوامل اقدام گردید. سپس در مرحله دوم با در نظر گرفتن سه خط مترو (۱، ۲ و ۵) طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۷ مجدداً شاخص بهره‌وری اندازه‌گیری و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به اینکه زمان شروع بهره‌برداری از خطوط مترو متفاوت است، بنابراین به‌ناچار برای نشان دادن تغییرات بهره‌وری در دو دوره زمانی متفاوت از شاخص مالم کوئیست استفاده شده است. بنابراین نتایج مربوط به محاسبه بهره‌وری عوامل تولید و اجزای آن در مرحله اول شامل چهار خط مترو (۱، ۲، ۴ و ۵) در بازه زمانی ۹۱-۱۳۸۹ در جداول (۱)، (۲) و (۳) ارائه شده است. نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که مقدار کارایی فنی با گرایش نهاده‌مدار طی دوره مورد مطالعه برای سه خط مترو برابر یک بوده و تنها خط پنجم مترو با کاهش ۵/۵ درصدی مواجه است که منجر به کاهش ۱/۳ درصدی میانگین

(۸)

$$\left[D_i^t(y^t, x^t) \right]^{-1} = \max \theta_0$$

با توجه به قیود

$$\theta_0 y_{m,i}^t \leq \sum_{i=1}^n \lambda_i^t y_{m,i}^t \quad m=1, \dots, M$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{i,n,i}^t \leq x_{n,i}^t \quad n=1, \dots, N$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad i=1, \dots, n$$

در رابطه (۷) θ یک اسکالر و λ یک بردار $i \times 1$ از مقادیر ثابت است. مقدار θ بیانگر امتیاز کارایی i امین واحد است. و اگر مقدار $\theta \leq 1$ باشد نشان دهنده مرز کارایی فنی فارل است. در حالی که در الگوی بانکر، چارنز و کوپر قید محدب $\sum_{k=1}^k \lambda_k^t = 1$ به الگو اضافه شده است. به عبارت دیگر در فرایند تولید با بازدهی ثابت نسبت به مقیاس فقط دو منبع رشد بهره‌وری، یعنی تغییرات کارایی و تکنولوژیکی وجود دارد اما در فرایند تولید با بازدهی متغیر نسبت به مقیاس علاوه بر دو منبع فوق، اثرات کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس نیز به عنوان منبع رشد بهره‌وری در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین کارایی فنی خالص به صورت زیر خواهند بود.

$$PTECH = \frac{D_{ov}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{ov}^t(x_i^t, y_i^t)} \quad (9)$$

همچنین اثر کارایی مقیاس به صورت میانگین هندسی دو مقیاس کارایی با توجه به تکنولوژی زمان t و $t+1$ خواهد بود.

$$SECH = \left(\frac{D_{ov}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} * \frac{D_{ov}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)}{D_{oc}^t(x_i^t, y_i^t)} \right)^{0.5} \quad (10)$$

۵ ساله رشد بهره‌وری تقریباً ثابت مانده است. یکی دیگر از اجزای تعیین‌کننده تغییر بهره‌وری عوامل، تغییر در کارایی مقیاس تولید می‌باشد که در حقیقت اختلاف بین تغییر در کارایی فنی و کارایی فنی خالص را نشان می‌دهد. نتایج این بخش از محاسبه در دوره مورد مطالعه نیز دلالت بر آن دارد که دو خط ۱ و ۲ مترو تغییری در بهینه‌سازی اندازه خود انجام ندادند و خط ۵ مترو با کاهش ۳/۵ درصدی کارایی مقیاس منجر به ۱/۴ درصد کاهش در بهره‌وری شده است. از طرفی اندک تغییرات محقق شده در پیشرفت فنی باعث ثبات در نرخ رشد بهره‌وری در این دوره ۵ ساله شده است. همچنین در جدول (۴) میانگین سالانه شاخص بهره‌وری به تفکیک برای هر یک از خطوط مترو مویید آن است که هر چند متوسط رشد ۱/۳ درصدی پیشرفت فنی طی سال‌های مورد مطالعه رخ داده است اما تغییرات کارایی فنی و مقیاس تولید با کاهش ۱/۲ درصدی مواجه بوده بنابراین تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید تنها به میزان ۰/۰۱ افزایش یافته است. از طرفی میزان کارایی فنی و مقیاس طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ دارای روند نوسانی بوده به طوری که پس از کاهش ۰/۰۶ درصدی در سال ۸۸، از رشد ۳/۴ درصدی در سال ۸۹ برخوردار شده و مجدداً در سال ۹۱ با کاهش ۹/۲ درصدی روبرو می‌باشد.

بنابراین در سال ۹۱ کاهش بهره‌وری به میزان ۱۰/۶ درصدی تجربه می‌شود. از طرفی به دلیل آنکه در ۳۳ درصد از خطوط مترو کارایی فنی، پیشرفت فنی و کارایی مقیاس کاهش یافته‌اند این امر منجر به کاهش در بهره‌وری عوامل تولید در ۶۷ درصد خطوط شده است که دلیل آن تغییرات تکنولوژیکی و تغییرات کارایی مدیریت است.

کارایی فنی شده است. خط چهار مترو با داشتن کارایی تقریباً ثابت برابر یک و ۷/۲ درصد افزایش در تغییرات پیشرفت فنی در بین خطوط مورد بررسی بالاترین میزان بهره‌وری را در بازه زمانی مورد مطالعه تجربه می‌کند. دو خط دیگر مترو، یعنی خط ۱ و ۲ به دلیل داشتن پیشرفت فنی کمتر از یک هر چند دارای کارایی تقریباً ثابتی بوده اما با کاهش بهره‌وری مواجه شده‌اند. خط ۵ مترو نیز با کاهش ۱۲ درصدی بهره‌وری روبرو است. همچنین نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که متوسط بهره‌وری کل عوامل تولید طی دوره مورد مطالعه با میانگین کاهش ۴/۸- درصدی مواجه شده است که این مهم ناشی از تغییرات منفی فناوری است. متوسط کارایی نیز کمتر از یک و برابر ۰/۹۸۶ می‌باشد. از طرفی این رشد منفی کارایی را می‌توان به عدم کارایی ۵/۵ درصدی موجود در خط پنج مترو نسبت داد. طی این زمان، تغییرات فناوری نیز پس از کاهش ۷/۴ درصدی با رشد اندک ۰/۰۸ درصدی مواجه می‌باشد. از طرفی کارایی مقیاس نیز میانگین تقریبی ۱/۴ درصدی کاهش سالانه را تجربه می‌کند. از طرفی نتایج جدول (۴) نیز گویای این واقعیت است که در ۳۳ و ۶۷ درصد از خطوط مترو تغییرات فناوری به ترتیب دارای اثرات منفی و مثبت بر متوسط بهره‌وری داشته‌اند. در ادامه و در مرحله دوم شاخص مال‌کوئیست و اجزای تشکیل‌دهنده آن برای بازه زمانی ۵ ساله ۹۱-۱۳۸۷ برای سه خط مترویی که تغییرات بهره‌وری کل عوامل کمتر از یک دارند مورد بررسی قرار گرفت نتایج مربوط در جداول (۴)، (۵) و (۶) ارائه شده است. نتایج جدول (۴) نشان‌دهنده متوسط ۲/۲ درصد کاهش کارایی فنی و کارایی مقیاس و افزایش ۱/۳ درصدی تغییرات پیشرفت فنی است. در نهایت طی دوره

جدول ۱. تغییرات در کارایی فنی، پیشرفت فنی، کارایی فنی خالص، مقیاس و بهره‌وری کل عوامل تولید در سال‌های ۹۱-۱۳۸۹

شماره خط مترو	تغییرات کارایی فنی	تغییرات پیشرفت فنی	تغییرات در کارایی فنی خالص	تغییرات کارایی مقیاس	تغییرات در بهره‌وری کل عوامل تولید
۱	۱	۰/۹۳۰	۱	۱	۰/۹۳۰
۲	۱	۰/۹۹۰	۱	۱	۰/۹۹۰
۴	۱	۱/۰۷۲	۱	۱	۱/۰۷۲
۵	۰/۹۴۵	۰/۸۸۲	۱	۰/۹۴۵	۰/۸۸۳
میانگین	۰/۹۸۶	۰/۹۶۶	۱	۰/۹۸۶	۰/۹۵۲

ماخذ: محاسبات جاری پژوهش

جدول ۲. متوسط تغییرات در کارایی فنی، پیشرفت فنی، کارایی فنی خالص، مقیاس و بهره‌وری کل عوامل تولید برای چهار خط مترو

در سال‌های ۹۱-۱۳۸۹

سال	تغییرات کارایی فنی	تغییرات پیشرفت فنی	تغییرات در کارایی فنی خالص	تغییرات کارایی مقیاس	تغییرات در بهره‌وری کل عوامل تولید
۱۳۸۹	-	-	-	-	-
۱۳۹۰	۱/۰۲۸	۰/۹۲۶	۱	۱/۰۲۸	۰/۹۵۲
۱۳۹۱	۰/۹۴۵	۱/۰۰۸	۱	۰/۹۴۵	۰/۹۵۳
میانگین	۰/۹۸۶	۰/۹۶۶	۱	۰/۹۸۶	۰/۹۵۲

ماخذ: محاسبات جاری پژوهش

جدول ۳. خلاصه نتایج و درصد تغییر بهره‌وری عوامل و اجزای آن برای چهار خط مترو طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۹

شرح	تغییرات کارایی فنی	تغییرات پیشرفت فنی	تغییرات در کارایی فنی خالص	تغییرات کارایی مقیاس	تغییرات در بهره‌وری کل عوامل تولید
حداکثر	۱	۱/۰۷۲	۱	۱	۱/۰۷۲
حداقل	۰/۹۶۵	۰/۸۸۲	۱	۰/۹۴۵	۰/۸۸۳
متوسط	۰/۹۸۶	۰/۹۶۶	۱	۰/۹۸۶	۰/۹۵۲
درصد خطوط دارای تغییر مثبت	-	۲۵	-	-	۲۵
درصد خطوط بدون تغییر	۷۵	-	۱۰۰	۷۵	-
درصد خطوط دارای تغییر منفی	۲۵	۷۵	-	۲۵	۷۵

ماخذ: محاسبات جاری پژوهش

جدول ۴. تغییرات در کارایی فنی، پیشرفت فنی، کارایی فنی خالص، مقیاس و بهره‌وری کل عوامل تولید در سال‌های ۹۱-۱۳۸۷

شماره خط مترو	تغییرات کارایی فنی	تغییرات پیشرفت فنی	تغییرات در کارایی فنی خالص	تغییرات کارایی مقیاس	تغییرات در بهره‌وری کل عوامل تولید
۱	۱	۰/۹۴۴	۱	۱	۰/۹۴۴
۲	۱	۱/۰۲۴	۱	۱	۱/۰۲۴
۵	۰/۹۶۵	۱/۰۲۲	۱	۰/۹۶۵	۰/۹۸۶
میانگین	۰/۹۸۸	۱/۰۱۳	۱	۰/۹۸۸	۱/۰۰۱

ماخذ: محاسبات جاری پژوهش

جدول ۵. متوسط تغییرات در کارایی فنی، پیشرفت فنی، کارایی فنی خالص، مقیاس و بهره‌وری کل عوامل تولید برای چهار خط مترو

در سال‌های ۹۱-۱۳۸۷

سال	تغییرات کارایی فنی	تغییرات پیشرفت فنی	تغییرات در کارایی فنی خالص	تغییرات کارایی مقیاس	تغییرات در بهره‌وری کل عوامل تولید
۱۳۸۷	-	-	-	-	-
۱۳۸۸	۰/۹۹۴	۱/۱۹۸	۱	۰/۹۹۴	۱/۱۹۱
۱۳۸۹	۱/۰۳۴	۰/۹۴۷	۱	۱/۰۳۴	۰/۹۷۹
۱۳۹۰	۱	۰/۹۶۴	۱	۱	۰/۹۶۴
۱۳۹۱	۰/۹۲۸	۰/۹۶۴	۱	۰/۹۲۸	۰/۸۹۴
میانگین	۰/۹۸۸	۱/۰۱۳	۱	۰/۹۸۸	۱/۰۰۱

ماخذ: محاسبات جاری پژوهش

جدول ۶. خلاصه نتایج و درصد تغییر بهره‌وری عوامل و اجزای آن برای سه خط مترو طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۹

شرح	تغییرات کارایی فنی	تغییرات پیشرفت فنی	تغییرات در کارایی فنی خالص	تغییرات کارایی مقیاس	تغییرات در بهره‌وری کل عوامل تولید
حداکثر	۱	۱/۰۲۴	۱	۱	۱/۰۲۴
حداقل	۰/۹۶۵	۰/۹۴۴	۱	۰/۹۶۵	۰/۹۸۶
متوسط	۰/۹۸۸	۱/۰۱۳	۱	۰/۹۸۸	۱/۰۰۱
درصد خطوط دارای تغییر مثبت	-	۶۷	-	-	۳۳
درصد خطوط بدون تغییر	۶۷	-	۱۰۰	۶۷	-
درصد خطوط دارای تغییر منفی	۳۳	۳۳	-	۳۳	۶۷

ماخذ: محاسبات جاری پژوهش

۵- نتیجه گیری

داده است که سیر نزولی شاخص بهره‌وری که در تعدادی از خطوط مترو تهران در برخی از سال‌ها اتفاق افتاده است ناشی از تغییرات فناوری بوده و تغییرات کارایی مدیریتی نقش کمتری در کاهش بهره‌وری داشته است. علاوه بر این نوسانات بهره‌وری را می‌توان به تعداد کم خطوط و ازدیاد مسافر نسبت داد. حال با توجه به ماهیت مدل (نهادمدار)، فرض بر آن بوده که مدیران توانایی کنترل نهاده‌های مورد استفاده را دارند. از این رو مدیران در خطوط ناکارا برای رسیدن به کارایی فنی و مقیاس باید در میزان استفاده از نهاده‌های به میزان خاصی صرفه‌جویی نمایند. علاوه بر این افزایش تعداد واگن‌های بیشتر و استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته‌تر به منظور حمل سریعتر مسافری در زمان کوتاه‌تر در این سامانه حمل و نقل توصیه می‌شود. همچنین به منظور افزایش بهره‌وری در خطوط مترو تهران به برنامه‌ریزان این حوزه از فعالیت حمل و نقل درون‌شهری توسعه و گسترش سرمایه‌گذاری‌های فنی نظیر افتتاح خطوط جدید مترو، کوتاه نمودن دالان‌ها جهت دسترسی سریع‌تر مسافرین به قطارهای بعدی و خروجی‌ها پیشنهاد می‌شود.

این پژوهش با استفاده از شاخص بهره‌وری مال‌کوئیسیت و روش تحلیل پوشش داده‌ها به بررسی تغییرات بهره‌وری عوامل تولید و وضعیت کارایی در سامانه حمل و نقل مترو تهران طی سال‌های ۹۱-۱۳۷۸ پرداخته است. از نتایج تحقیق، تشخیص روند تغییرات بهره‌وری عوامل تولید و نقش هر یک از عوامل فنی و مدیریتی آن تغییرات و نحوه رسیدن به سطح مطلوب بهره‌وری و کارایی است. با توجه به نتایج بدست آمده طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۹ میانگین سالانه شاخص بهره‌وری مال‌کوئیسیت با کاهش ۴/۸ درصدی مواجه بوده است که دلیل آن کاهش کارایی فنی و کارایی مقیاس در خط در خط ۵ مترو بوده است. در این میان با وجود ثابت ماندن میانگین کارایی فنی خالص چهار خط مترو در زمان، کارایی تکنولوژیکی و بهره‌وری کل عوامل در تمام خطوط طی زمان تغییر کرده است. همچنین در مرحله دوم محاسبات که تنها سه خط مترو را در بازه زمانی ۹۱-۱۳۸۷ را پوشش می‌دهد تنها در خط ۵ مترو میزان بهره‌وری با کاهش ۱/۴ درصدی مواجه است و در بقیه خطوط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس بهره‌وری عوامل تولید افزایش یافته است. بررسی‌های جزئی‌تر نشان

۶- مراجع

- امامی میدی، ع.، (۱۳۸۴)، "اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی (چاپ دوم)".
- پورکازمی، م.ح. و سلطانی، ح.ع.، (۱۳۸۶)، "ارزیابی کارایی راه آهن جمهوری اسلامی ایران در مقایسه با راه آهن های کشورهای آسیایی و خاورمیانه". مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۷۸، بهار ۸۶، ص. ۸۷-۱۲۱.
- حسین زاده لطفی، ف. آریانزاد، م.ب.، ابن الرسول، س. الف. و نجفی، س. الف.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی در واحد های مجتمع نیروگاهی با استفاده از شاخص مال‌کوئیسیت". فصلنامه مدیریت صنعتی، سال چهارم، شماره ۱۰، دانشگاه آزاد واحد سنندج.
- زراء، م.، خدادادکاشی، ف. و یوسفی حاجی‌آباد، ر.

- روى عوامل توليد بانک مسکن با استفاده از شاخص مالم کوئیست"، فصلنامه پول و اقتصاد، شماره ۲، ص. ۱۱۷-۱۴۴.
- سالنامه آماری شرکت بهره برداری مترو تهران.
- سپهر دوست، ح. معصومی، پ.، (۱۳۹۵)، "بررسی کارایی شبکه حمل و نقل ریلی - مسافری کشور با استفاده از رهیافت "DEA. پژوهشنامه حمل و نقل، سال سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۹۵.
- Farrell, M.J., (1957), "The measurement of productive efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Series A 120, pp. 253- 281. (Part 3).
- Färe, R., Grosskopf, S.H. (1990), "The fisher ideal index and the indirect malmquist productivity index: A comparison", New Zealand Economic Papers, Vol.24, No.1, pp.66-72.
- Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris and Z. Zhang (1994), "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Changes in Industrialised Countries", American Economic Review, Vol.84, pp. 66-83.
- Färe, R., S. Grosskopf and P. Roos (1998), "Malmquist Productivity Indexes: A Survey of Theory and Practice", In R. Färe, S. Grosskopf and R.R. Russell (Eds.), Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Fazioli, R. and Filippini, M., (2009), "Cost-Structure And Efficiency of Local Public Transport :The Cost Of Emilia Romagna Bus Companies", International Journal Of Transport Economics, Vol. 20, available at and order URL: <http://worldcat.org>.
- Halkos, G., and Tzeremes, N., (2012), "Measuring seaports' productivity: A Malmquist productivity index decomposition approach", MPRA Paper No. 40174, <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/40174/>.
- (۱۳۹۱)، "ارزیابی کارایی فنی صنایع کارخانه‌ای ایران"، فصلنامه اقتصاد مقدراری، دوره ۹، شماره ۲، ص. ۳۱-۴۸.
- زراء، م. یوسفی حاجی‌آباد، ر.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی کارایی اقتصادی شرکتهای توزیع برق ایران"، پژوهشنامه علوم اقتصادی، سال ششم، شماره ۱۱، نیمه اول ۹۰.
- زراءنژاد، م. یوسفی حاجی آباد، ر.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی بهره
- Al-Refaie, A., Al-Tahat, M. D., and Najdawi, R. (2015), "Using Malmquist Index Approach to Measure Productivity Change of a Jordanian Company for Plastic Industries", American Journal of Operations Research, Vol. 5, pp. 384-400.
- Barani ,J., and Gorecka, A. (2016), "Seaport efficiency and productivity based on Data Envelopment Analysis and Malmquist Productivity Index", Logistics & Sustainable Transport, Vol. 6, No. 1, pp. 25-33.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W., (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis", Managment science, Vol. 30, pp. 1078-1092.
- Choi, J., Roberts, D. C., and Lee, E., (2014), "Productivity Growth in the Transportation Industries in the United States: An Application of the DEA Malmquist Productivity Index", American Journal of Operations Research, Vol. 5, pp. 1-20.
- Charens, A., Cooper, W., and Rhodes, E., (1978), "Measuring the efficiency of decision making units" European Journal of Operational Research, Vol. 2, Issue. 6, pp.429-444.
- Coelli, T., and Walding, S., (2007), "Performance Measurement in the Australian Water Supply Industry", Centre for Efficiency and Productivity Analysis, Working Paper Series No. 01/2005.

Efficiency; A Mixed DEA-SFA Approach", Journal of Regulatory Economics, Vol. 32, Issue. 2, pp.131-151.

-Melo, P. C., Graham, D. J. and Ardao, B. R., (2013), "The productivity of transport infrastructure investment", Regional science and Urban Economics, 43, pp.695-706.

-Krugman, p., (1994), "definition and measuring productivity", 1-2 <https://www.oecd.org/std/productivity-stats/40526851.pdf>.

- Margari, B.B., Erbetta, E., Petraglia, C. and Piacenza, M., (2010), "Regulatory and Environmental Effectson Public Transit