

ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقل مترو با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی و تحلیل پوششی داده با رویکرد توسعه حمل و نقل پایدار (مطالعه موردی: کلان شهر تهران)

مقاله پژوهشی

علی پایدار، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
علیرضا عاملی*، مربی، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
هیراد طهرانی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Amelii@gmail.com

دریافت: ۹۸/۱۱/۰۵ - پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۰

صفحه ۲۰-۱

چکیده

حمل و نقل پایدار به عنوان یکی از عوامل اصلی و تاثیر گذار بر شرایط و ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی جامعه، می‌تواند در جریان تغییر، تحول و تکامل هر جامعه ای مورد استفاده قرار گیرد. مترو (قطار شهری) در شبکه حمل و نقل شهری به صورت پاک، سالم، سریع و ایمن نقش انکار ناپذیری در حل مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی ناشی از معضل ترافیک دارد. در این پژوهش خطوط متروی کلانشهر تهران با رویکرد پایداری حمل و نقل توسط ۸ شاخص هزینه و ۶ شاخص منفعت و در مجموع ۱۴ شاخص مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تحلیل داده‌ها و ارزیابی عملکرد خطوط مترو در ابتدا از روش‌های اقتصاد مهندسی؛ نسبت منفعت به هزینه BCR، ارزش هم ارز یکنواخت سالانه EUAW و ارزش فعلی خالص NPW، خطوط ۱ تا ۵ مترو کلانشهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) که میزان کارایی واحد های کارا (خطوط مترو) را نشان می‌دهد، به عنوان روشی مکمل و جهت قابلیت اطمینان بیشتر به جهت تحلیل نتایج خطوط مترو استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که خط ۲ متروی تهران به عنوان پایدارترین خط از نظر مجموع شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی قرار گرفته و خط ۳ کمترین میزان پایداری را دارا می‌باشد. همچنین توسط تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) مشخص گردید خطوط ۱، ۲، ۴، ۵ از لحاظ ارزیابی عملکرد مورد قبول و خط ۳ قابل قبول نمی‌باشد، خط ۳ در ارزیابی به هر دو روش دارای غیر قابل قبول ترین خط از منظر پایداری عملکرد در حمل و نقل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل پایدار، مترو، شاخص‌های اقتصادی اجتماعی زیست محیطی، BCR، DEA

۱-مقدمه

کاربری‌های گوناگون موجود در سطح شهر است. پس می‌توان گفت رابطه سیستمی برنامه‌ریزی حمل و نقل و برنامه‌ریزی شهری از دیدگاه مدیریت شهری معاصر می‌بایست بر اهمیت تلقی گردد (جهانشاه‌لو و همکاران، ۱۳۸۵). داشتن رویکرد پایدار در این حوضه مستلزم داشتن تطابق و هماهنگی میان فعالیت‌های انسانی با یک محیط با نشاط و مبری از آلاینده‌ها در کنار حمایت از پویایی و عدالت اقتصادی به همراه سرزندگی و عدالت اجتماعی می‌باشد که به عنوان ابعاد اصلی توسعه پایدار

روند رشد شتابان کلانشهرها در جهان توأم با افزایش جمعیت در این شهرها، مشکلات متعددی از جمله معضل ترافیک و اختلال در سیستم حمل و نقل درون شهری را به وجود آورده است. از این رو، این معضل یکی از چالش‌های اساسی فرا روی برنامه‌ریزی شهری در اواخر قرن بیستم بوده که دستیابی به توسعه شهری پایدار را تحت تأثیر خود قرار داده است. این در حالی است که یکی از ویژگی‌ها و شاخصه‌های محیط شهری مطلوب، دسترسی آسان، سریع و مطمئن شهروندان به نقاط مختلف شهر و بهره‌مندی از

مطرح می‌باشد (زیارتی و همکاران، ۱۳۹۵). از این رو توسعه حمل و نقل همگانی و به خصوص سیستم حمل و نقل ریلی (مترو) در کلانشهرها می‌تواند پایداری مطروحه را بیش از پیش محقق سازد.

۲- پیشینه تحقیق

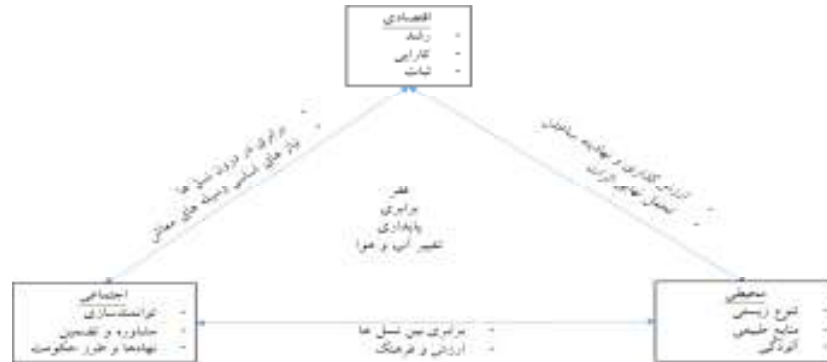
عدم نگرش فزاینده و عدم بهره‌وری مناسب از امکانات و تجهیزات حمل و نقل و ترافیک، هزینه‌ها و خسارت‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی فراوانی در کشور بر جا گذاشته و می‌گذارد که مهم‌ترین آن‌ها تهدیدهای سه‌گانه زیر است؛ تهدید منابع انسانی (در نتیجه ۱۲۸۰۳ کشته و ۲۶۳۳۱۵ نفر زخمی در نه ماه اول سال ۹۶ می‌باشد)، تهدید منابع زیست محیطی (عامل اصلی آلودگی هوای شهر تهران مصرف بی‌رویه انرژی است و بیش از ۷۰ درصد آلودگی هوا در تهران از وسایل نقلیه منتشر می‌شود) و تهدید منابع انرژی (زیارتی و همکاران، ۱۳۹۵). به علاوه میلیون‌ها ساعت اتلاف وقت ارزشمند مردم و ناراحتی‌های روحی و روانی ناشی از تأخیر در تراکم ترافیک بخشی دیگر از این خسارت‌ها است می‌باشد. اهداف اصلی این تحقیق به ارزیابی عملکرد حمل و نقل ریلی نسبت به جاده‌ای از دیدگاه توسعه پایدار می‌پردازد که در راستای توسعه حمل و نقل پایدار؛ ارزیابی زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی مد نظر قرار می‌گیرد (کاظمیان و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین از اهداف دیگر تحقیق تعیین مقایسه عملکرد خطوط احداث شده (خط ۱، ۲، ۳، ۴، ۵) با یکدیگر در کلان شهر تهران می‌باشد. سؤالات تحقیق عبارتند از:

- شاخص‌های تاثیرگذار جهت ارزیابی سیستم حمل و نقل مترو و بر اساس رویکرد حمل و نقل پایدار کدامند؟
- منافع و هزینه‌های به دست آمده حمل و نقل ریلی مترو نسبت به جاده‌ای به تفکیک هر خط مترو در کلان شهر تهران چقدر است؟
- مقایسه خطوط ۱ تا ۵ مترو از منظر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و پیداکردن کارایی نسبی هر خط به روشهای اقتصاد مهندسی و تحلیل پوششی داده (DEA) چگونه می‌باشد؟ غلامرضا کاظمیان و همکاران به بررسی مزیت‌های حمل و نقل ریلی درون شهری نسبت به جاده‌ای، بر اساس رویکرد توسعه پایدار پرداخته شده است. بر اساس

این پژوهش محیط زیست یکی از ارکان بسیار مهم حیات و توسعه اقتصادی محسوب می‌شود، هم اکنون این ثروت خدادادی به دلایل مختلف، به طور آزاد و نامحدود، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. یکی از این بخش‌های تهدید کننده، حمل و نقل و به خصوص بخش حمل و نقل خصوصی است. تأثرات شگرف زیست محیطی از حمل و نقل ریلی علیرغم محدودیت‌های خاص مربوطه و نقش انکارناپذیر مترو در کاهش خسارات و هزینه‌ها، برآورد و تخمین ارزش اقتصادی صرفه جویی شده توسعه این نوع از حمل و نقل نسبت به جاده‌ای و ارزیابی اقتصادی-زیست محیطی آن، برای نشان دادن ارزش اجتماعی این زیرساخت پیشنهاد گردید (کاظمیان، ۱۳۹۴). محسن مزجی و شهریار افندی زاده (۱۳۹۴) به بررسی ارزیابی اقتصادی توسعه حمل و نقل همگانی سریع‌السیر ریلی با رویکرد شاخص اقتصادی حمل و نقل پایدار پرداخته شده است. بررسی منافع و هزینه‌ها بصورت منافی که برای جامعه بطور غیرمستقیم و مستقیم تاثیر می‌گذارد به ویژه از دیدگاه توسعه پایدار، مسأله تحقیق بود. همچنین از روش نسبت منافع به هزینه‌ها برای ارزیابی اقتصادی استفاده گردیده و در نتیجه پس از محاسبه و بروز آوری منافع و هزینه‌های غیر مستقیم و مستقیم که در قالب شاخص‌های اقتصادی حمل و نقل پایدار است، توسعه مترو با توجه به محاسبات شاخص‌های موجود در این تحقیق، منافع وارد شده به جامعه از سری شاخص‌های اقتصادی حدود ۲۰ درصد بیشتر از هزینه‌های مربوطه بوده است. (افندی و همکاران، ۱۳۹۴) شرفی (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با عنوان بررسی زیرساخت‌های حمل و نقل و نقش آن در امنیت ترافیکی-اجتماعی شهروندان کرمان به این نتیجه رسید که در زمینه زیرساخت‌های ترافیکی شهر کرمان ضعف زیادی وجود دارد. تقاطع‌های غیرمسطح ساخته شده در سطح شهر با مشکلات متعدد مکان‌یابی، اجتماعی، فنی، چشم‌اندازی و غیره همراه بوده‌اند و نتوانسته‌اند امنیت پایدار شهروندان را تضمین کنند. (زیارتی و همکاران، ۱۳۹۵). تقوایی به بررسی ارزیابی و تحلیل شاخص‌های حمل و نقل پایدار شهری پرداخته شده است. بر اساس این پژوهش حمل و نقل پایدار در واقع یافتن مؤثرترین و آسوده‌ترین راه جابه‌جایی مردم و وسایل نقلیه، با کمترین میزان مصرف انرژی (در زمینه سوخت و

با مشکلاتی تراکم ترافیک در تهران پرداختند. نتایج حاکی از آن است که هزینه ناشی از آلودگی در گزینه احداث تونل ۱۷ درصد بیشتر از گزینه وضع موجود است در صورتی که این هزینه در گزینه احداث مترو ۴۷ درصد کمتر از گزینه وضع موجود می‌باشد به عبارت دیگر میزان این هزینه در گزینه احداث مترو ۵۱ درصد کمتر از احداث تونل می‌باشد زیارتی و همکاران، ۱۳۹۵).

تلاش‌های انسانی) با مقبول‌ترین هزینه، کمترین ترافیک و کمترین اثرات سوء زیست محیطی مانند آلودگی هوا و صدا است. هدف اصلی این پژوهش حاضر تعیین مهم‌ترین عوامل و شاخص‌های مؤثر بر حمل و نقل شهری بود که نتایج مطالعات نشان می‌دهد وضعیت حمل و نقل پایدار شهر اصفهان روند نزولی داشته است (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۵). میریبا و همکاران در سال ۱۳۹۱ در پژوهشی با انجام یک مطالعه موردی نسبت به مطالعه تعادل



شکل ۱. روابط متقابل بین اهداف سه گانه توسعه پایدار (کاظمیان و همکاران، ۱۳۹۴)

جستجوی روش‌هایی است که امکان دسترسی مناسب را برای همه اقشار جامعه فراهم کرده، هزینه‌های اقتصادی را تعدیل نموده و زمینه آلودگی‌های زیست محیطی را کاهش دهد. از طرفی دیگر، تجارب کنونی حمل و نقل درون شهری در کشور ما و ادامه روند موجود، قرابت اندکی با چشم انداز حمل و نقل پایدار دارد یافته‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های جاری مدیریت شهری شیراز از نظر معیارها (راهبرد حمل و نقل یکپارچه)، وضعیت مطلوبی ندارد. از دیدگاه کارشناسی، اولویت بندی سیاست‌های یکپارچه سازی با محوریت توسعه حمل و نقل عمومی و به ترتیب شامل افزایش دسترسی و کارایی اتوبوسرانی در مناطق شهری دارای پتانسیل تقاضا، تخصیص بخشی از عواید ناشی از دریافت عوارض شهرداری در بخش حمل و نقل عمومی و ایجاد مسیرهای ویژه اتوبوس در کریدورهای پر تردد و بخش مرکزی شهر می‌باشند (سلطانی، ۱۳۹۲). نمودار ذیل به سه هدف کلی و روابط متقابل آنها در توسعه پایدار اشاره می‌کند، که دیدگاه‌های سه گروه اقتصاددانان، جامعه‌شناسان و اکولوژیست‌ها را در بر می‌گیرد (کاظمیان، ۱۳۹۴). با توجه به در نظرگیری سایر تعاریف و انتظارات از حمل و نقل پایدار مفهوم حمل و نقل پایدار، رویکرد توسعه پایدار روندی از

خاکساری رفسنجانی و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل رابطه بین افزایش طول خطوط مترو و کیفیت آلودگی هوای شهر تهران پرداخته شده است. بر اساس این پژوهش به منظور قرار گرفتن تهران در مسیر توسعه پایدار ناگزیر باید چاره‌ای برای مقابله با آلودگی هوا یافت استفاده از حمل و نقل عمومی به خصوص مترو یکی از گزینه‌های پیش رو برای نیل به این هدف است. (خاکساری و همکاران، ۱۳۹۴). خوش‌منش و نصر (۱۳۹۴) به تاثیر حمل و نقل شهری در آلودگی هوا و نقش مترو در کنترل آن پرداخته شده است. آلودگی هوا دو منشا طبیعی و مصنوعی دارد. در این میان حمل و نقل یکی از عوامل ایجاد آلودگی می‌باشد که در گروه آلاینده‌های مصنوعی قرار دارد و سهم بزرگی در آلودگی هوا دارا است. حمل و نقل ریلی درون شهری از عوامل کارآمد در کاهش آلودگی مرتبط با حمل و نقل به حساب می‌آید و در نتیجه مترو می‌تواند علاوه بر توانایی خود در جابجایی‌های سریع و پر حجم مردم نقش به سزایی را در توسعه پایدار شهری ایفا کند (خوش‌منش و همکاران، ۱۳۹۴). سلطانی و فلاح منشادی (۱۳۹۲) به یکپارچه‌سازی سیستم حمل و نقل راهکاری در جهت دستیابی به حمل و نقل پایدار پرداخته شده است. بر اساس این پژوهش سیاست‌های حمل و نقل پایدار در صد

تاکسی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند (احدی و همکاران، ۱۳۹۲). جدول ۱ خلاصه‌ای از تحقیقات پیشین که در آن به ارزیابی حمل و نقل همگانی و به خصوص مترو از منظر توسعه حمل و نقل پایدار را نشان می‌دهد. انتخاب متغیرهای تاثیرگذار در این پژوهش به جهت ارزیابی عملکرد خطوط مترو با رویکرد توسعه پایدار با نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی امری انتهای این جدول آمده است.

۳- متغیرهای تحقیق

به رویکرد توسعه پایدار که شامل متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تقسیم می‌شود، متغیرهای این تحقیق بر اساس ادبیات نظری پژوهش و جدول ۱ به ۱۴ متغیر که ۸ مورد آن جزو منافع و ۶ مورد کوچک هزینه طبقه بندی می‌شوند که شکل ۲ نمایان شده است.

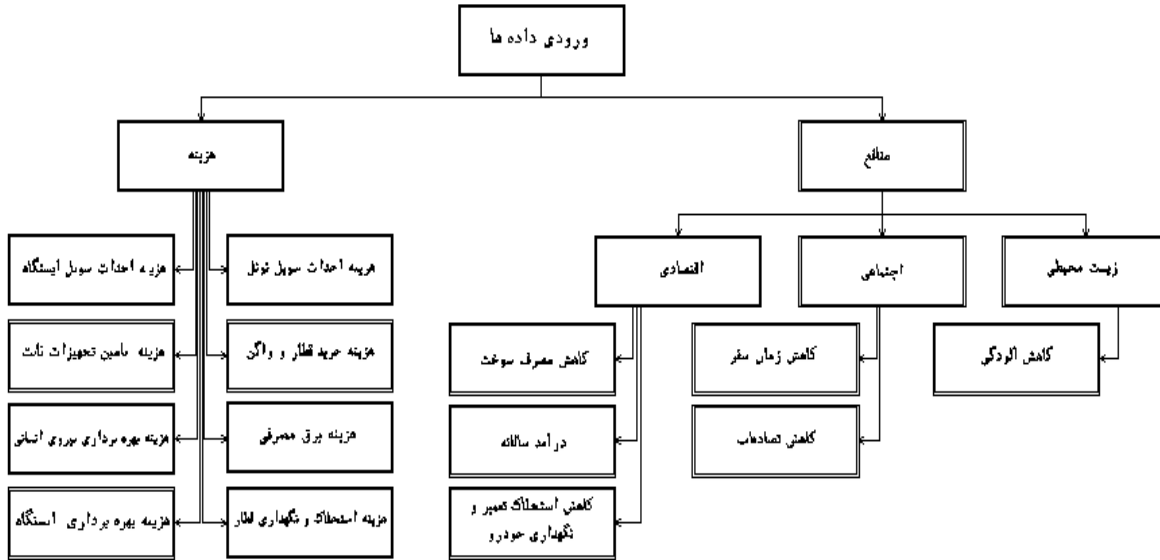
۳-۱- روش و طرح کلی تحقیق

شکل ۳ چارچوب کلی انجام تحقیق را نشان می‌دهد. پس از تبیین متغیرها جمع آوری داده از طریق پرسشنامه تنظیم گردید. جامعه آماری به روش جدول مورگان تعیین شد (جامعه آماری، ۱۳۹۶) که در ادامه در جدول ۲ تعداد پرسش شوندگان برای هر خط مشخص می‌شود. سپس با توجه به اینکه تحلیل اقتصادی برای خطوط پنجگانه مترو صورت می‌گیرد. پارامترهای منفعتی و هزینه‌ای محاسبه گردیده و به روش‌های BCR، EUAW، NPW و تحلیل پوششی داده‌ها خطوط مترو مقایسه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. روش جمع آوری داده بدین صورت می‌باشد که ابتدا از مسافران خطوط ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ به طور تصادفی و حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران انتخاب می‌گردد (محاسبه حجم نمونه، ۱۳۹۶). بدین صورت برای ۵ خط مورد بررسی و هر خط ۳۸۴ عدد نمونه پرسشنامه در مجموع ۱۹۲۰ نفر از مسافران خطوط مختلف مترو به تفکیک هر خط به صورت تصادفی در ۵۰ ایستگاه خطوط مختلف، این سوال پرسیده می‌شود که در صورت نبود مترو، از چه وسیله‌ای برای رسیدن به مقصد استفاده می‌گردد. نتایج نظرسنجی به تفکیک هر خط مترو به شرح زیر دسته بندی گردید.

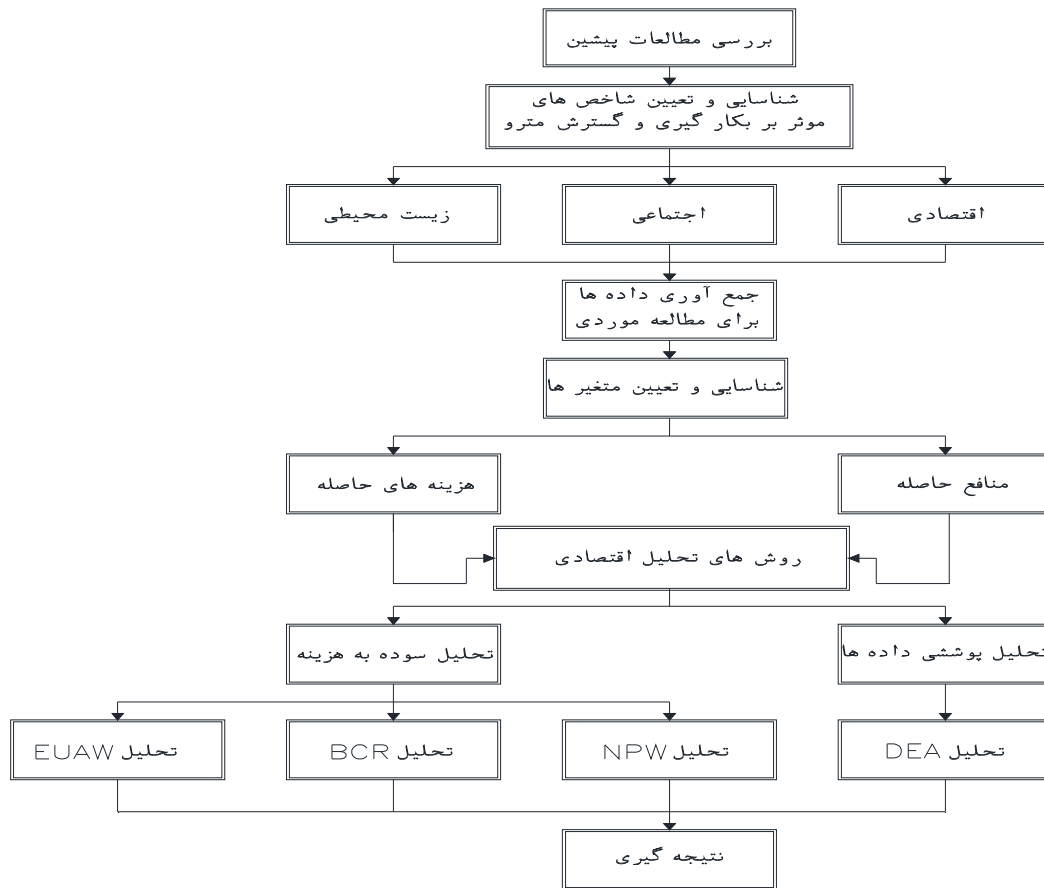
تغییرات است که در آن مصرف منابع، جهت گیری سرمایه گذاری و توسعه فناوری علاوه بر نیازهای حاضر، سازگار با نیازهای آینده انجام می‌شود (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۵). در تحقیق دیگری هدف اصلی پژوهش تعیین مهم‌ترین عوامل و شاخص‌های موثر بر حمل و نقل شهری برای تجزیه و تحلیل تکنیک‌های کمی و کیفی از نرم افزار SPSS استفاده شده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد در شهر اصفهان وضعیت حمل و نقل پایدار شهر اصفهان روند نزولی داشته است. راهبرد مناسب در شهر اصفهان اجرای همزمان سیاستهای حمل و نقل پایدار است (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۵). آلودگی هوا، آلودگی صوتی، مسائل بهداشتی و عوارض روحی- روانی بخشی از نتایج این افزایش جمعیت در کلانشهرهای تهران است، شهر تهران طبق آخرین اطلاعات مرکز آمار ایران با جمعیت ساکن نزدیک به ۱۳ میلیون و ۲۶۷ هزار نفر در سال ۱۳۹۵، با مشکلات جدی و عديده‌ای در سیستم حمل و نقل خود مواجه است. توسعه سیستم حمل و نقل عمومی امری واجب الاجرا نموده است و همچنین امروزه در اکثر کشورهای پیشرفته بعد از ارتقا و ایجاد سیستم‌های حمل و نقل همگانی راحت، ارزان و مطلوب راهکارهایی را در خصوص کاهش استفاده از وسایل نقلیه شخصی نیز در نظر می‌گیرند (معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، ۱۳۹۵). در تحقیق دیگری سیاست. "راهبرد حمل و نقل یکپارچه" با هدف یکپارچه‌سازی و هماهنگ کردن خدمات جابجایی در راستای دستیابی به آرمان حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق کلانشهر شیراز مورد مطالعه قرار گرفت. یافته‌های پژوهش و تحلیل به روش AHP نشان می‌دهد که سیاست‌های جاری مدیریت شهری شیراز از نظر معیارهای "راهبرد حمل و نقل یکپارچه" وضعیت مطلوبی ندارد و تخصیص بخشی از عواید ناشی از دریافت عوارض شهرداری در بخش حمل و نقل عمومی و ایجاد مسیرهای ویژه اتوبوس در کریدورهای پرتردد و بخش مرکزی شهر می‌باشند (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۲). احادی در تحقیقی به اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف حمل و نقل عمومی در شهر تهران و بازنگری در مدیریت تخصیص بودجه حمل و نقل عمومی، براساس این اولویت‌ها پرداخت. به منظور انجام این مطالعه، از روش تحلیل سلسله مراتبی) استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که گزینه مترو دارای بالاترین اولویت در بین گزینه‌های، اتوبوس، ون و

جدول ۱. متغیرهای مورد استفاده در تحقیقات مرتبط

منبع	عنوان مقاله	نخبه‌های، پروژه برادری و استهلاکی	تعدادات	مصرف سوخت	مزیت زیر ساخت	مزیت ناوگان	اقتصادی						زیست محیطی
							مزیت نگهداری ناوگان	مزیت نگهداری زیر ساخت	مزیت نگهداری ناوگان	حقوق و دستمزد کارکنان	برق مصرفی زیر ساخت و ناوگان	زوالنگ	
(زیارتی، ۱۳۹۵)	بررسی اقتصاد زیر ساخت های حمل و نقل شهری	✓											تحلیل مبتنی بر مزیت BCR
(اندی، ۱۳۹۴)	ارزیابی اقتصادی توسعه حمل و نقل همگانی سریع السیر ریلی با رویکرد شاخص های اقتصادی حمل و نقل پایدار	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				تحلیل مبتنی بر مزیت BCR
(خوش منش، ۱۳۹۴)	تاثیر حمل و نقل شهری در آلودگی هوا و نقش مترو در کنترل آن (تهران، پکن، بارسلونا) (پهنوش خوش منش و همکاران ۱۳۹۴)											✓	روش موردی
(کاظمیان، ۱۳۹۴)	مزیت های حمل و نقل ریلی برون شهری نسبت به جاده ای، بر اساس رویکرد توسعه پایدار (مطالعه موردی خط ۴ متروی تهران) (غلامرضا کاظمیان ۱۳۹۴) نشریه	✓		✓									تحلیل مبتنی بر مزیت BCR
(خاکساری، ۱۳۹۴)	تحلیل رابطه بین افزایش طول خطوط مترو و کیفیت آلودگی هوای شهر تهران (علی خاکساری ۱۳۹۴)											✓	توسعه و کالبدی‌های
(Kadlubek, 2015)	Examples of Sustainable Development in the Area of Transport											✓	تحقیقات توسعه
(نقوی، ۱۳۹۵)	ارزیابی و تحلیل شاخص های حمل و نقل پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر اصفهان)		✓	✓									آزمون های آماری
(آزادانی، ۱۳۹۷)	اولویت بندی گزینه‌های طراحی مسیر راه آهن دورود-اندیمشک با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای ANP و تکنیک DEMATEL	✓			✓	✓	✓	✓	✓				AHP و DEMATEL
(Xiaolong, 2015)	Environmental and social Challenges for urban subway construction: An empirical study in China				✓							✓	
	تحقیق پیش رو	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	BCR, E UAW, DEA,



شکل ۲. مدل مفهومی متغیرهای پژوهش



شکل ۳. فلوچارت کلی روند انجام پژوهش

جدول ۲. گزارش انتخاب وسایل نقلیه جایگزین خطوط متروی تهران

ردیف	شرح	نوع روش حمل و نقل	درصد انتخاب مسافران خط ۱	درصد انتخاب مسافران خط ۲	درصد انتخاب مسافران خط ۳	درصد انتخاب مسافران خط ۴	درصد انتخاب مسافران خط ۵
۱	وسایل نقلیه جایگزین مترو	سواری شخص	34.3%	17.3%	38.2%	18.4%	53.1%
۲		آژانس	18.1%	20.4%	12.2%	12.2%	3.5%
۳		تاکسی	15.2%	26.5%	21.7%	21.7%	14.6%
۴		ون	8.1%	9.2%	5.6%	10.3%	9.2%
۵		اتوبوس	20.8%	22.0%	16.3%	26.3%	18.3%
۶		موتور سیکلت	3.3%	4.5%	6.0%	10.6%	1.3%
۷		پیاده	0.3%	0.1%	0.1%	0.5%	0.0%
جمع کل			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

سپس محاسبات منفعت (ارزش پولی) کاهش آلودگی هوا، کاهش زمان سفر، کاهش مصرف سوخت، کاهش وقوع تصادف، کاهش استهلاک خودرو و لوازم یدکی انجام می‌گردد و همچنین محاسبات هزینه (ارزش پولی) احداث سیویل ایستگاه‌ها، احداث سیویل تونل، تامین تجهیزات ثابت، خرید قطار و واگن، بهره‌برداری نیروی انسانی، برق مصرفی، بهره‌برداری ایستگاه و استهلاک و نگهداری قطارها انجام می‌گیرد و سپس با استفاده از تحلیل‌های ارزش فعلی خالص (NPW) و تحلیل ارزش هم ارز یکنواخت سالانه (EUAW) هر یک از خطوط مترو مورد بررسی قرار گرفته و از نتایج به دست آمده، تحلیل نسبت منفعت به هزینه (BCR) هر یک از خطوط مترو صورت گرفته و مورد مقایسه قرار می‌گیرند و در انتها با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) عملکرد کلیه شاخص داده و ستاده خطوط مختلف شرکت بهره‌برداری متروی تهران مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

محاسبات آن بیان می‌گردد و سپس هزینه خطوط که شامل هزینه‌های احداث ثابت از قبیل هزینه سیویل هر ایستگاه، هزینه سیویل هر کیلومتر تونل، هزینه خرید قطار و واگن و هزینه احداث متغیر از قبیل هزینه بهره برداری نیروی انسانی، هزینه برق مصرفی، هزینه بهره‌برداری ایستگاه و هزینه استهلاک و نگهداری هر قطار می‌باشند که جداول هزینه‌ها هم برای خط ۱ مترو به همراه محاسبات آن آورده شده و بقیه جداول و محاسبات منافع و هزینه بقیه خطوط مترو (خطوط ۲ تا ۵) به دلیل زیاد شدن حجم جداول و محاسبات دیگر آورده نشده ولی نتایج نهایی منافع و هزینه‌ها کلیه خطوط (۱ تا ۵) در شکل ۴ آورده شده است. سپس با روشهای اقتصاد مهندسی از قبیل BCR، EUAW و NPW و همچنین در ادامه تحلیل کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام می‌پذیرد و بهترین و کاراترین خط مترو مشخص گردیده و در ادامه با هم مقایسه می‌شوند.

۴-۱- منافع حاصل از بکارگیری مترو و گسترش آن

۴-۱-۱- منفعت حاصل از کاهش ترافیک

در این بخش به محاسبه دقیق کاهش ترافیک ناشی از بکارگیری مترو و گسترش آن در شهر پر جمعیت تهران پرداخته می‌شود. با مشخص شدن وسایل نقلیه جایگزین و تعداد سفرهای صورت گرفته خطوط مترو تعداد وسایل نقلیه کاهش یافته در سطح شهر مطابق جدول زیر مشخص می‌گردد.

آنالیز و تحلیل داده‌ها

جهت تعیین داده‌ها در ادامه منافع حاصل ناشی از جایگزینی حمل و نقل شخصی با مترو برای هر یک از خطوط مترو که بر اساس متغیرهای پژوهش شامل منافع حاصل از کاهش ترافیک، آلودگی هوا، مصرف سوخت، استهلاک و تعمیر نگهداری، صرفه‌جویی در زمان سفر و تصادفات می‌باشند. برای خط ۱ مترو به همراه جداول و

جدول ۳. ترافیک کاهش یافته توسط خط ۱ متروی تهران

ردیف	شرح	نوع روش حمل و نقل	درصد	تعداد سفر انجام شده با مترو	تعداد سفر جایگزین شده	ظرفیت هر وسیله نقلیه	تعداد وسایل نقلیه
			A	B	C=A*B	D	E=C/D
			%	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)
۱	کاهش ترافیک	سواری شخصی	34.3%	239,318,344	82,086,192	۱	82,086,192
۲		آژانس	18.1%				21,658,310
۳		تاکسی	15.2%				12,125,463
۴		ون	8.1%				1,926,513
۵		اتوبوس	20.8%				1,422,235
۶		موتور سیکلت	3.3%				7,777,846
۷		پیاده	0.3%				0
	جمع کل		100.0%	239,318,344	239,318,344	-	126,996,559

**تعداد سفرهای انجام شده = B (گزیده آمار و اطلاعات، ۱۳۹۴)

دست می‌آید و ظرفیت هر وسیله نقلیه از رفرنس مزیت‌های حمل و نقل به دست آمده که از حاصلضرب تعداد سفرهای جایگزین شده و ظرفیت وسیله نقلیه، تعداد وسیله نقلیه کاهش یافته به دست می‌آید.

درصد تفکیک مسافری حاصل از پرسشنامه از بین مسافریین بوده است. تعداد سفرهای انجام شده از منبع گزیده آمار و اصلاحات حمل و نقل شهری به دست آمده که از حاصل ضرب ستون اول در ستون دوم تعداد سفر جایگزین شده به

جدول ۴. ترافیک کاهش یافته توسط کلیه خطوط متروی تهران

ردیف	شرح	خطوط مترو	تعداد کل سفرهای انجام شده	تعداد وسایل نقلیه
۱	وسایل نقلیه جایگزین مترو	خط ۱	239,318,344	126,996,559
۲		خط ۲	200,499,346	84,931,334
۳		خط ۳	30,112,236	17,611,859
۴		خط ۴	173,932,462	76,699,164
۵		خط ۵	72,668,014	45,388,095
	جمع کل		716,530,402	351,627,011

۴-۲-منفعت حاصل از کاهش مصرف سوخت

برای محاسبه کاهش مصرف سوخت با استفاده از تعداد وسایل نقلیه جایگزین شده مقدار سوخت مصرفی محاسبه می‌گردد. تعداد وسیله نقلیه از جدول کاهش ترافیک به دست آمده است و متوسط حمل و نقل از سازمان حمل و نقل شهرداری به دست آمده که از حاصلضرب تعداد وسیله نقلیه و متوسط حمل و نقل، متوسط طول سفر با وسیله نقلیه به دست آمده و متوسط مصرف سوخت نیز به صورت میدانی به دست آمده که در تحقیقات دیگر (کاظمیان، ۱۳۹۴) ذکر شده است که از حاصلضرب مسافت طی شده و متوسط سوخت، مقدار مصرف انرژی به دست می‌آید که در تحقیق ۰،۵۵ سنت بوده است و هزینه حمل و بارگیری برابر ۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده که از حاصلضرب مقدار مصرف در بهای واحد، بهای کل مصرف سوخت به دست

می‌آید. ستون‌های H, E, D و I مفروضات در این جدول هستند.

قیمت هر لیتر بنزین فوب خلیج فارس ۰،۵۵ سنت و قیمت هر لیتر گازوییل فوب خلیج فارس ۰،۱۱ سنت و قیمت هر دلار برابر با ۴۵،۵۰۰ ریال و مطابق اعلام کارشناسان هزینه حمل و توزیع هر لیتر بنزین ۵،۰۰۰ ریال می‌باشد $H, I =$

۴-۳-منفعت حاصل از کاهش آلودگی هوا

در این مرحله به بررسی منفعت حاصل از کاهش آلودگی هوا از طریق بکارگیری مترو به عنوان شیوه حمل و نقل جایگزین خودروهای شخصی پرداخته می‌شود. جدول زیر میزان انتشار آلاینده‌های اصلی و مهم حاصل از مصرف یک لیتر بنزین و گازوییل را نشان می‌دهد. ستون‌های پارامتر A

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال هفدهم، دوره دوم، شماره ۶۳، تابستان ۱۳۹۹

و D از منبع (کاظمیان، ۱۳۹۴) استخراج شده‌اند. میزان انتشار آلاینده‌ها از فرانس ۷ مقاله مزیت حمل و نقل به دست آمده و مصرف سوخت از جدول کاهش سوخت استخراج گردیده است که کل میزان تولید آلاینده‌ها از حاصلضرب میزان انتشار و مصرف سوخت به دست می‌آید. هزینه اجتماعی هر آلاینده نیز از منبع ۷ استخراج شده است که کل هزینه اجتماعی آلاینده‌ها به دست می‌آید.

جدول ۵. مصرف سوخت کاهش یافته توسط خط ۱ متروی تهران

ردیف	شرح	نوع روش حمل و نقل	تعداد وسیله نقلیه	متوسط طول سفر با مترو (کیلومتر)	متوسط طول سفر با وسایل نقلیه (کیلومتر)	مصرف سوخت (لیتر/کیلومتر)	مصرف سوخت (لیتر/کیلومتر)	کل مصرف سوخت (لیتر)	بهای واحد هر لیتر گازوییل	بهای کل مصرف سوخت (ریال)	بهای کل مصرف سوخت (ریال)	بهای کل مصرف سوخت (ریال)
			A	B	C=A*B	D	E	F=C*D	H	J=F*H	K=E*I	
۱	کاهش مصرف سوخت	سواری شخصی	82,086,192	10	820,861,920	0.14	0.00	114,920,669	30,025	3,450,493,080,720	0	
۲		آژانس	21,658,310		216,583,100	0.10	0.00	21,658,310		650,290,757,750	0	
۳		تاکسی	12,125,463		121,254,630	0.12	0.00	14,550,556		436,880,431,890	0	
۴		ون	1,926,513		19,265,130	0.10	0.00	1,926,513		57,843,552,825	0	
۵		اتوبوس	1,422,235		14,222,350	0.00	0.60	8,533,410		0	85,445,034,330	
۶		موتور سیکلت	7,777,846		77,778,460	0.03	0.00	2,138,908		64,220,702,191	0	
۷		پاده	0		0	0.00	0.00	0		0	0	
	جمع کل		126,996,559	10	1,269,965,590	-	-	155,194,955	10,013	4,659,728,525,376	85,445,034,330	

جدول ۶. آلودگی کاهش یافته توسط خط ۱ متروی تهران

ردیف	شرح	نوع آلاینده	مصرف سوخت (لیتر)	کل میزان انتشار آلاینده (تن)	هزینه اجتماعی هر تن آلاینده (ریال/تن)	کل هزینه اجتماعی ناشی از مصرف سوخت (ریال)
			B	C=A*B/1000000	D	E=C*D
۱	کاهش آلودگی مصرف بنزین	مونوکسید کربن	350.00	54318.23	7,739,670	420,405,208,213
۲		دی اکسید گوگرد	1.50	232.79	75,332,793	17,536,904,135
۳		دی اکسید نیتروژن	13.50	2095.13	24,766,945	51,890,016,366
۴		ذرات معلق	1.30	201.75	177,496,444	35,810,518,443
۵		دی اکسید کربن	2379.00	369208.80	412,782	152,402,746,082
۶		گاز متان	1.11	172.27	8,664,830	1,492,659,072
	جمع کل		155,194,955	-	-	679,538,052,311
ردیف	شرح	نوع آلاینده	مصرف سوخت گازوییل (لیتر)	کل میزان انتشار آلاینده (تن)	هزینه اجتماعی هر تن آلاینده (ریال/تن)	کل هزینه اجتماعی ناشی از مصرف بنزین (ریال)
			B	C=A*B/1000000	D	E=C*D
۱	کاهش آلودگی مصرف گازوییل	مونوکسید کربن	4.37	37.29	7,739,670	288,620,047
۲		دی اکسید گوگرد	15.23	129.96	75,332,793	9,790,538,627
۳		دی اکسید نیتروژن	21.27	181.51	24,766,945	4,495,339,973
۴		ذرات معلق	8.70	74.24	177,496,444	13,177,454,393
۵		دی اکسید کربن	2860.00	24405.55	412,782	10,074,172,813
۶		گاز متان	0.20	1.71	8,664,830	14,788,109
	جمع کل		8,533,410	-	-	37,840,913,962

**میزان انتشار = A و هزینه اجتماعی هر تن آلاینده = D (کاظمیان، ۱۳۹۴)

۴-۴-منفعت حاصل از کاهش استهلاک و تعمیر نگهداری خودروها

(افندی، ۱۳۹۴) به دست آمده و نحوه محاسبه عمر مفید و ضریب تعمیر و نگهداری و ضریب نرخ تنزیل و نرخ بهره سرمایه نیز باز از رفرنس (افندی، ۱۳۹۴) استخراج شده است. حال تعداد وسیله نقلیه از جدول کاهش ترافیک و متوسط مسافت طی شده از جدول سوخت و متوسط سرعت طی شده از منبع (گزیده‌ای از آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری، ۱۳۹۴) و ستون متوسط استهلاک خودرو نیز از جدول استهلاک به دست آمده است. هزینه متوسط استهلاک از حاصلضرب تعداد خودرو و متوسط زمان طی شده و متوسط هزینه استهلاک به دست می‌آید.

از آنجا که وسائل نقلیه نیاز به تهیه لوازم یدکی و تعمیرات و در واقع رفع استهلاک دارند. بنابراین بکارگیری مترو و گسترش آن می‌تواند منجر به کاهش استهلاک آنها و هزینه‌های مرتبط با آن گردد. براین اساس میزان استهلاک و نیاز به لوازم یدکی بر اساس ساعت کارکرد و وسایل نقلیه به شرح ذیل محاسبه گردید با توجه به تعداد خودروهای کاهش یافته در شهر تهران می‌توان برآوردی از سود حاصل در رابطه با بکارگیری مترو و گسترش آن لحاظ نمود. ستون قیمت ماشین توسط تحقیقات میدانی در سال ۱۳۹۴ به دست آمده است. ستون قدرت موتور از کاتالوگ ماشین‌ها به دست آمده است. ستون عمر مفید بهره‌برداری از رفرنس

جدول ۷. استهلاک و تعمیر نگهداری کاهش یافته توسط خط ۱ متروی تهران

ردیف	شرح	مدل ماشین	قیمت نقدی ماشین	قدرت موتور	عمر مفید	ضریب تعمیر و نگهداری	نرخ تنزیل سرمایه	نرخ بهره سرمایه	بهای یک لیتر بنزین	هزینه روغن و سایر مواد مصرفی	هزینه تعمیر نگهداری	هزینه استهلاک	هزینه سرمایه	جمع کل
		A	B	C	$D=C*12*185$	E	F	G	H	$I=0.06*0.2*H*B$	$J=(A*E)/(D(1+0.05C))$	$K=(A*F)/(D(1+0.05C))$	$L=(A*G)/(D(1+0.05C))$	$M=L+K+J+I$
		(ریال)	(اسب بخار)	(ساعت)	(ساعت)	%	%	(لیتر)	(لیتر)	(لیتر)	(لیتر)	(لیتر)	(لیتر)	(لیتر)
1	کاهش نگهداری و تعمیر نگهداری	پراید	227,000,000	80	10	0.33	0.25	0.10	10,000	9,600	2,250	1,704	682	14,235
2		پژو ۴۰۵	335,000,000	100	10	0.33	0.25	0.10	10,000	12,000	3,320	2,515	1,006	18,841
3		پژو ۲۰۶	394,000,000	110	10	0.33	0.25	0.10	10,000	13,200	3,905	2,958	1,183	21,246
4		پژو پارس	410,000,000	105	10	0.33	0.25	0.10	10,000	12,600	4,063	3,078	1,231	20,972
														18,824
														میانگین

ردیف	شرح	تعداد خودرو	متوسط طول طی شده	متوسط سرعت طی شده	متوسط زمان طی شده	نسبت زمان تاخیر به زمان سفر	متوسط هزینه استهلاک خودرو
		A	B	C	D	E	F
		(تعداد)	(کیلومتر)	(کیلومتر/ساعت)	(ساعت)	%	(ریال)
1	کاهش استهلاک و تعمیر نگهداری	126,996,559	10	25.3	0.40	53.70%	18,824
							944,873,150,959
							944,873,150,959
							جمع کل

۴-۵- منفعت حاصل از کاهش زمان سفر

روز کاری از منبع بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و مدیریت کل آمارهای اقتصادی به دست آمده (بانک مرکزی، ۱۳۹۵) و تعداد کل مسافر و زمان طی شده و تاخیر حاصل شده نیز از منبع (گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری، ۱۳۹۴) به دست آمده است و متوسط ارزش کاری از جدول کاهش زمان سفر به دست آمده است که از حاصلضرب تعداد کل مسافر به زمان سفر و تاخیر زمان سفر و متوسط ارزش کاری کل هزینه اجتماعی زمان سفر به دست می‌آید.

برای محاسبه این منفعت، از آمار موجود زمان صرفه‌جویی شده در وقت مسافران در هر سفر با مترو بر حسب دقیقه و تعداد مسافرین استفاده می‌گردد. مرحله بعد محاسبه ارزش یک ساعت وقت تلف شده مسافرین است. برای محاسبه و به دست آوردن ارزش یک ساعت وقت تلف شده، روش‌های مختلفی وجود دارد که قبل از بیان روش که در این تحقیق به کار گرفته شده است، تنها نتیجه‌ای از کارهای قبلی بیان می‌گردد. متوسط درآمد سالیانه، متوسط درآمد ماهیانه، متوسط تعداد خانوار، متوسط افراد شاغل و تعداد

جدول ۸. زمان سفر و اتلاف وقت کاهش یافته مسافرین توسط خط ۱ مترو تهران

ردیف	شرح	متوسط درآمد سالیانه هر خانوار شهری	متوسط درآمد ماهیانه هر خانوار شهری	متوسط تعداد افراد خانواده	متوسط درصد افراد شاغل	تعداد روز کاری	متوسط ارزش کاری در هر ساعت
		A	B	C	D	E	$F=B/(C*D*E*8)$
		(ریال)	(ریال)	(تعداد)	%	(تعداد)	(ریال)
1	کاهش زمان سفر و اتلاف وقت مسافرین	393,006,000	32,750,500	3.33	30.20%	290	14,037
		جمع کل					
							14,037

ردیف	شرح	تعداد کل مسافر	متوسط طول طی شده	متوسط زمان طی شده	نسبت تاخیر به زمان سفر	متوسط ارزش کاری در هر ساعت	کل هزینه اجتماعی ناشی از مصرف بئزین
		A	B	C	D	E	$F=A*C*D*E$
		(تعداد)	(کیلومتر)	(ساعت)	%	(تعداد)	(ریال)
1	کاهش زمان سفر و اتلاف وقت مسافرین	239,318,344	10	0.40	53.70%	14,037	721,587,563,240
		جمع کل					
							721,587,563,240

۴-۶- منفعت حاصل از کاهش تصادفات

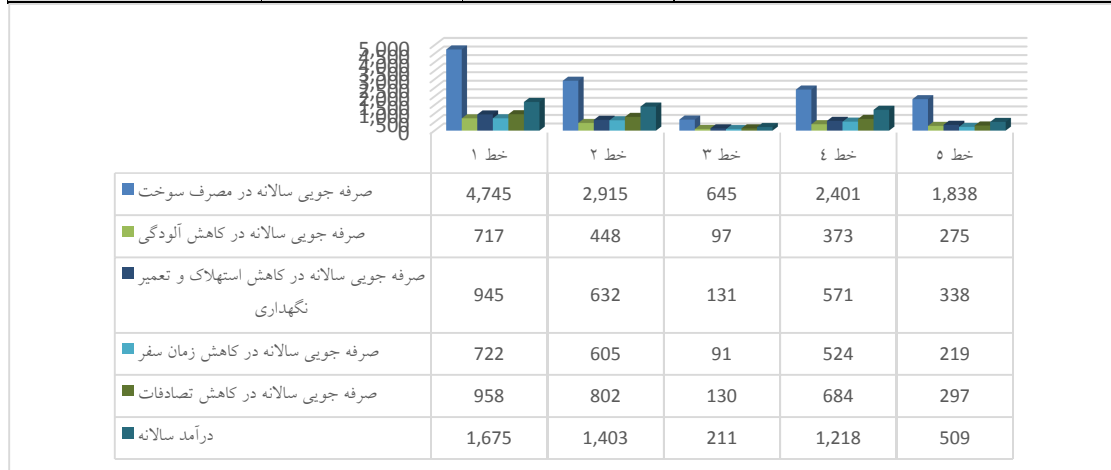
و اطلاعات حمل و نقل شهری) تعداد و تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی حاصل می‌گردد. حال از تقسیم تعداد کل سفر به حاصلضرب تعداد کل سفر به تصادفات خسارتی، تعداد تصادفات خط ۱ به دست می‌آید. تصادفات جرحی و فوتی نیز به همین روال به دست می‌آید. سپس هزینه تصادفات بر اساس محاسبات آیتی در سال ۱۳۸۳ بوده که با استفاده از نرخ تورم به سال ۱۳۹۴ تبدیل گردید و سپس با حاصلضرب تعداد تصادفات به هزینه واحد، هزینه کل تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی به دست می‌آید.

مهم‌ترین عملکرد مترو، ارتقا ایمنی خواهد بود، چرا که تداخلی در تردد و وسائل نقلیه دیگر نداشته و زمان‌بندی مشخص آن به کاهش رخداد تصادفات کمک می‌کند و همچنین استفاده از مترو منجر به استفاده کمتر از وسائل نقلیه شخصی و در نهایت، جلوگیری از رخداد تصادف با وسائل نقلیه می‌گردد. ستون‌ها با پارامترهای A, B, D, E و F از جداول قبل و منبع (گزیده آمار و اطلاعات، ۱۳۹۴) استخراج گردیده‌اند. از حاصلضرب نوع وسیله نقلیه و تعداد کل سفر، تعداد سفر به تفکیک حاصل می‌شود و از منبع ۴ (گزیده آمار

جدول ۹. تصادفات کاهش یافته توسط خط ۱ مترو و منافع حاصل از آن

ردیف	شرح	نوع روش حمل و نقل	درصد	تعداد کل سفر	تعداد کل تصادفات تفکیک	تعداد کل تصادفات خسارتی	تعداد کل تصادفات جرحی	تعداد کل تصادفات فوتی	تعداد کل سفر خط ۱	تعداد کل تصادفات خسارتی	تعداد کل تصادفات جرحی	تعداد کل تصادفات فوتی
			A	B	C=A*B	D	E	F	G	H=G/B*D	I=G/B*E	J=G/B*F
			%	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)	(تعداد)
1	کاهش تصادفات	سواری شخص	40.0%	8,614,000,000	3,445,600,000	4800	2127	172	239,318,344	1626	721	6
2		آژانس و تاکسی	22.0%		1,895,080,000	0	8					
3		اتوبوس	20.0%		1,722,800,000	0						
5		مترو	18.0%		1,550,520,000	0						
6	جمع کل		100.0%	8,614,000,000	8,614,000,000	-	-	-	-	1626	721	6

ردیف	شرح	نوع تصادفات	تعداد کل تصادفات (تعداد)	هزینه تصادفات (ریال)	کل هزینه تصادفات (ریال)
			A	B	C=A*B
۱	کاهش تصادفات	تصادف خسارتی	1,626	37,805,292	61,471,405,116
۲		تصادف جرحی	721	947,313,380	683,012,946,637
۳		تصادف فوتی	6	35,617,674,425	213,706,046,552
	جمع کل		2,353	-	958,190,398,306



شکل ۴. منافع سالانه حاصل از احداث متروی تهران (میلیارد ریال)

هزینه‌های حاصل از بکارگیری مترو و گسترش آن

در این بخش به بررسی و تعیین هزینه‌های ناشی از بکارگیری مترو و هزینه‌های اولیه آن و هزینه گسترش آن پرداخته می‌شود. بر این اساس از اطلاعات اولیه جمع‌آوری شده از شرکت بهره برداری مترو تهران استفاده می‌گردد. هزینه احداث بر اساس منبع امکان‌سنجی پروژه اوراق مشارکت توسعه جنوبی خط ۶ به دست آمده است (شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه، ۱۳۹۴) و طول خط، تعداد

ایستگاه و تعداد قطار از منبع ۴ (گزیده آمار و اطلاعات ۱۳۹۴) حاصل شده است که از حاصلضرب هزینه طول متوسط، تعداد ایستگاه و تعداد قطار به تعداد کل، هزینه کل به دست می‌آید.

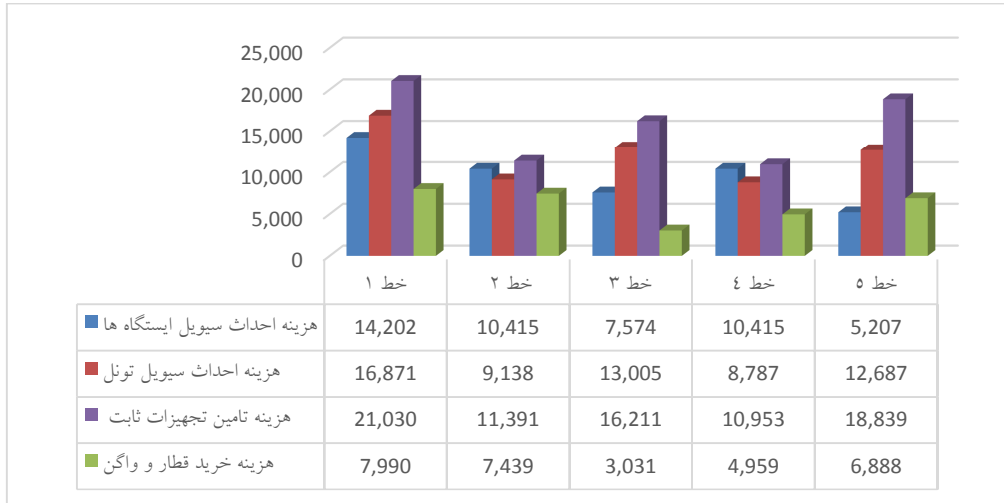
جدول ۱۰. هزینه‌های احداث و بهره‌برداری خط ۱ متروی تهران

ردیف	شرح	نوع هزینه	هزینه احداث			طول کل خط (کیلومتر)	تعداد ایستگاه (تعداد)	تعداد قطار (تعداد)	هزینه کل متناظر با تعداد ایستگاه خط	هزینه کل متناظر با طول خط	هزینه کل متناظر با تعداد قطار خط
			F=A*C	E=A*B	G=A*D						
			(ریال)	(ریال)	(ریال)						
۱	هزینه سیویل هر ایستگاه	هزینه سیویل هر ایستگاه	473,406,000,000					14,202,180,000,000	-	-	
۲		هزینه سیویل هر کیلومتر تونل	351,479,000,000					-	16,870,992,000,000	-	
۴		هزینه تجهیزات ثابت برای هر کیلومتر	438,122,000,000					-	21,029,856,000,000	-	
۵		هزینه خرید قطار و واگن	275,520,000,000					7,990,080,000,000	-	-	
۶		هزینه بهره برداری نیروی انسانی برای هر کیلومتر در سال	44,800,000,000			48	30	29	-	2,150,400,000,000	-
۷	هزینه مصرف انرژی	هزینه برق مصرفی هر قطار در سال	13,304,000,000					-	-	385,816,000,000	
۸		هزینه بهره برداری ایستگاه در سال	300,000,000					9,000,000,000	-	-	
۹		هزینه استهلاک و نگهداری هر قطار در سال	13,776,000,000					-	-	399,504,000,000	
جمع کل			40,051,248,000,000					8,775,400,000,000	14,211,180,000,000		
جمع کل هزینه ثابت			60,093,108,000,000								
جمع کل هزینه متغیر			2,944,720,000,000								

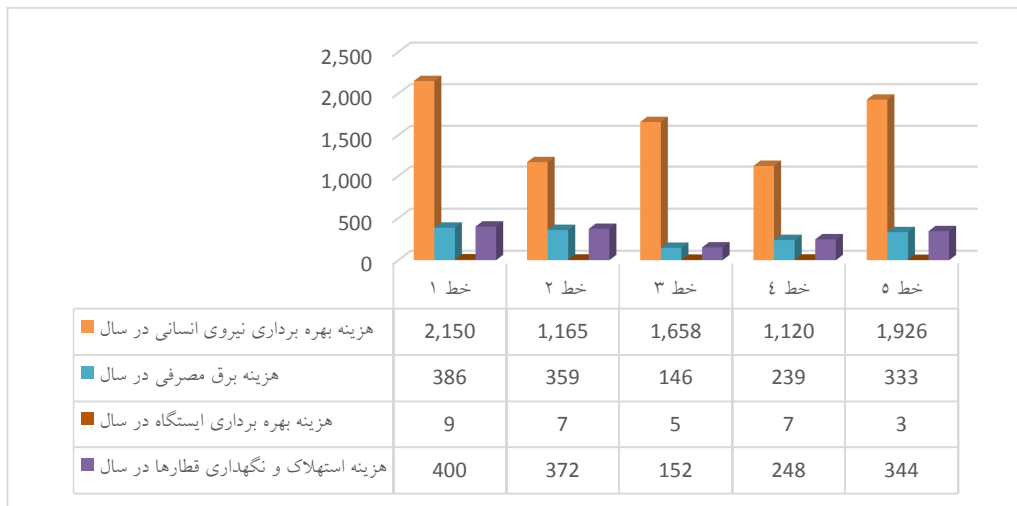
A = (شرکت راه آهن و حومه، ۱۳۹۴) و B, C, D = (گزیده آمار و اطلاعات، ۱۳۹۴)

جدول ۱۱. هزینه‌های احداث و بهره برداری کلیه خطوط مترو

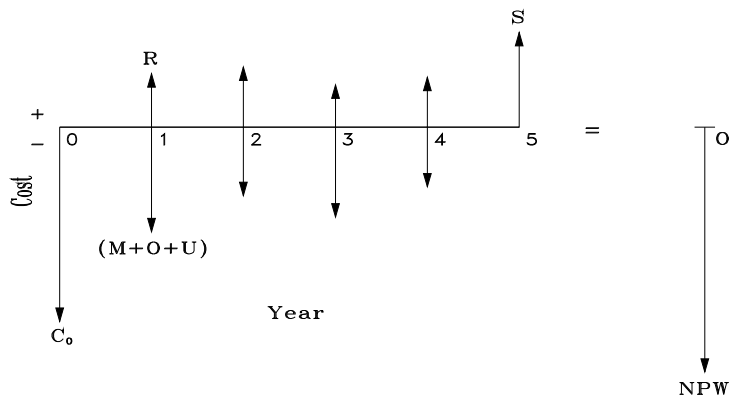
ردیف	شرح	خطوط مترو	طول کل خط (km)	تعداد ایستگاه (no)	تعداد قطار (no)	هزینه کل متناظر با طول خط	هزینه کل متناظر با تعداد ایستگاه خط	هزینه کل متناظر با تعداد قطار خط
						E=A*B	F=A*C	G=A*D
						(rial)	(rial)	(rial)
۱	هزینه احداث ثابت و متغیر	خط ۱	48	30	29	40,051,248,000,000	14,211,180,000,000	8,775,400,000,000
۲		خط ۲	26	22	27	21,694,426,000,000	10,421,532,000,000	8,170,200,000,000
۳		خط ۳	37	16	11	30,872,837,000,000	7,579,296,000,000	3,328,600,000,000
۴		خط ۴	25	22	18	20,860,025,000,000	10,421,532,000,000	5,446,800,000,000
۵		خط ۵	43	11	25	33,453,097,000,000	5,210,766,000,000	7,565,000,000,000
جمع کل			179	101	110	146,931,633,000,000	47,844,306,000,000	33,286,000,000,000



شکل ۵. هزینه ثابت احداث متروی تهران (میلیارد ریال)



شکل ۶. هزینه متغیر احداث متروی تهران (میلیارد ریال)



شکل ۷. دیاگرام گردش نقدی معمولی برای گزینه حمل و نقلی و هم ارز به عنوان ارزش فعلی خالص

۵- تحلیل به روش‌های اقتصاد مهندسی

۱-۵- تحلیل بر اساس ارزش فعلی خالص (NPW)

می‌توان ارزش پول در امروز را با ارزش آن در آینده مقایسه کرد. ارزش فعلی خالص یعنی ارزش فعلی جریان‌های نقدی با نرخ بازدهی مورد نظر در پروژه‌ی شما، در مقایسه با سرمایه‌گذاری اولیه، ارزش فعلی یک گردش نقدی معین شامل درآمدها و هزینه‌ها می‌باشد که به آن ارزش خالص فعلی (NPW) نیز گفته می‌شود. استفاده از نرخ بهره در ارزیابی اقتصادی روش رایجی است، زیرا هزینه سرمایه را رایج می‌دهد (ترجمه امیر مسعود رحیمی، ۲۰۱۵).

بیشتر مردم می‌دانند پولی که اکنون در اختیار دارند، ارزشمندتر از پولی است که در آینده جمع خواهند کرد. زیرا از طریق راه‌اندازی کسب‌وکار یا خرید چیزی به منظور فروش آن با قیمت بالاتر در آینده یا صرفاً بازکردن حساب سپرده در بانک و دریافت سود، می‌توان از پول کنونی برای به‌دست‌آوردن پول بیشتری استفاده کرد. دلیل دیگر پایین‌تر بودن ارزش پول در آینده، تورم است، چون تورم موجب کاهش ارزش خرید آن پول می‌شود. این همان چیزی است که به آن ارزش زمانی پول می‌گویند. ولی دقیقاً چگونه

$$NPW = \sum_{n=0}^n \frac{R_n}{(1+i)^n} + \frac{S}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^n \frac{M_n + O_n + U_n}{(1+i)^n} - C_0 \quad (1)$$

$$\left(\frac{P}{A} - 10 - 50\right) = \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} = \frac{(1+0.10)^{50} - 1}{0.10(1+0.10)^{50}} = \frac{116.39}{11.73} = 9.92$$

$i=10\%$ = نرخ تنزیل (رضازاده، ۲۰۱۶)

$N=50$ = طول بازدهی

است. خط ۲ بهترین خط و خط ۳ غیر اقتصادی‌ترین خط می‌باشد.

ارزش پولی خالص هر یک از خطوط بر اساس منافع و هزینه‌های حاصل از جدول ۱۸ و فرمول ۱ به دست می‌آید. عدد بزرگتر نشان دهنده مزیت بیشتر آن خط نسبت به دیگری

NPW5	NPW4	NPW3	NPW2	NPW1
-34991	+6113	-46328	+10244	+7585

۲-۵- تحلیل بر اساس ارزش هم ارز یکنواخت سالانه (EUAW)

با استفاده از اصل ارزش زمانی پول تمام گردش‌های نقدی سالانه مربوط به یک سرمایه‌گذاری به ارزش هم ارز یکنواخت سالانه آن تبدیل می‌شود (ترجمه امیر مسعود رحیمی، ۲۰۱۵).

$$EUAW = NPW \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N} \right] = NPW \left(\frac{A}{P} - i - N \right) \quad (2)$$

$$\left(\frac{A}{P} - 10 - 50\right) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} = \frac{0.10(1+0.10)^{50}}{(1+0.10)^{50} - 1} = \frac{11.73}{116.39} = 0.100$$

$i=10\%$ = نرخ تنزیل (رضازاده، ۲۰۱۶)

$N=50$ = طول بازدهی

محاسبات نرخ هم ارز سالانه یکنواخت نیز برای خطوط پنجگانه نشان می‌دهد خط ۲ اقتصادی‌ترین و خط ۳ غیر اقتصادی‌ترین خط می‌باشد.

EUAW5	EUAW4	EUAW3	EUAW2	EUAW1
-3492	+645	-4638	+1064	+814

۳-۵- تحلیل بر اساس نسبت منفعت به هزینه (BCR)

و مضرات آن تغییر در نظر بگیریم. آنچه در این میان اهمیت آشکاری دارد، اصل اساسی تحلیل هزینه فایده است. اثرات

برای تعیین اثرات خالص یک تغییر سیاستی پیشنهادی بر روی رفاه جامعه، ابتدا باید روشی را برای اندازه‌گیری منافع

۴-۵- تحلیل بر اساس پوششی داده‌ها (DEA)

استفاده از الگوی DEA، برای ارزیابی نسبی واحدها، نیازمند تعیین دو مشخصه اساسی، ماهیت الگو و بازده به مقیاس الگو می‌باشد. در الگوی DEA، بادیگاه ورودی، به دنبال به دست آوردن ناکارایی فنی به عنوان نسبی می‌باشیم که بایستی در ورودی‌ها کاهش داده شود تا خروجی، بدون تغییر بماند و واحد در مرز کارایی قرار گیرد. در دیدگاه خروجی، به دنبال نسبی هستیم که باید خروجی‌ها افزایش یابند، بدون آنکه تغییر در ورودی‌ها به وجود آید تا واحد مورد نظر به مرز کارایی برسد. در الگوی CCR مقادیر به دست آمده برای کارایی در دو دیدگاه مساوی هستند، ولی در مدل BCC این مقادیر متفاوت هستند. علت انتخاب دیدگاه برای یک الگو DEA، در ارزیابی نسبی عملکرد واحدهای است که در بعضی موارد مدیریت واحد هیچ کنترلی بر میزان خروجی ندارد و مقدار آن از قبل مشخص و ثابت می‌باشد و برعکس در بعضی از موارد میزان ورودی ثابت و مشخص است و میزان تولید (خروجی) متغیر تصمیم است و در چنین شرایطی، دیدگاه خروجی مناسب می‌باشد. در نهایت انتخاب ماهیت ورودی و خروجی بر اساس میزان کنترل مدیر، بر هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین می‌گردد (آموزش تحلیل پوششی داده‌ها، ۱۳۹۶)

یک تغییر سیاسی بر روی جامعه، برابر است با کل اثرات آن تغییر بر روی افرادی که آن جامعه را تشکیل می‌دهند. بنابراین اگر در اثر اجرای یک تغییر سیاستی هیچ‌کس وضع بهتری پیدا نکند، آن تغییر هیچ فایده‌ای به همراه نخواهد داشت و یا اگر وضعیت هیچ فردی بدتر از قبل نشود، آن‌گاه آن طرح هیچ هزینه‌ای به بار نمی‌آورد. به عبارت دیگر، در تحلیل هزینه فایده تنها ارزش‌هایی که افراد آن جامعه به آن‌ها اعتقاد دارند، به حساب آورده می‌شوند (پاول، آر، ۱۳۸۷) نسبت ارزش فعلی منافع خالص پروژه به هزینه‌های پروژه، نسبت منفعت به هزینه نام دارد. این روش در مواقعی استفاده می‌شود که میزان منفعت رسیده به سرمایه‌گذار را به خاطر سرمایه‌گذاری در پروژه حمل و نقلی به او نشان دهد. بدین منظور ضروری است تا مقایسه‌ای بین پروژه‌ها صورت بپذیرد. تا اینکه تعیین نماید که مقدار سرمایه‌گذاری اضافی چه منفعتی را نصیب سرمایه‌گذار خواهد نمود. معادله تعیین نسبت منفعت به هزینه عبارت است از:

$$BCR = \frac{B}{C} \quad (۳)$$

اگر نسبت منفعت به هزینه بزرگتر یا مساوی ۱ باشد گزینه پرهزینه از لحاظ اقتصادی جذاب‌تر است و اگر نسبت منفعت به هزینه کمتر از ۱ باشد این گزینه رد می‌شود. خط ۲ با مقدار ۱,۲۶۶ بهترین و خط ۳ با مقدار منفی ۰,۱۶ غیر اقتصادی‌ترین خط مترو در کلانشهر تهران می‌باشد.

$$MAX = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{ro}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{io}}$$

(۴)

s.t.

$$\frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} < 1, j = 1, 2, \dots, n$$

$$U_r \geq 0, V_i \geq 0$$

جدول ۱۲. وزن داده‌های خطوط مترو (هزینه)

ردیف	شرح	هزینه احداث سیویل ایستگاه‌ها	هزینه احداث سیویل تونل	هزینه تامین تجهیزات ثابت	هزینه خرید قطار و واگن	هزینه بهره برداری نیروی انسانی در سال	هزینه بهره مصرفی در سال	هزینه بهره برداری ایستگاه در سال	هزینه استهلاک و نگهداری قطارها در سال
۱	خط ۱ متروی تهران	3.18E-06	1.44E-06	9.95E-07	1.17E-05	1.70E-06	9.77E-04	6.59E-03	9.41E-04
۲	خط ۲ متروی تهران	1.63E-05	1.75E-05	1.73E-05	1.19E-05	1.85E-04	7.05E-06	2.34E-02	7.70E-06
۳	خط ۳ متروی تهران	6.24E-20	2.16E-20	1.73E-20	4.45E-17	1.69E-19	6.85E-03	8.61E-17	7.33E-17
۴	خط ۴ متروی تهران	1.37E-05	1.22E-05	5.11E-06	2.69E-06	6.44E-05	1.83E-03	1.77E-02	1.92E-04
۵	خط ۵ متروی تهران	1.69E-05	9.77E-07	5.67E-07	6.64E-07	5.53E-06	1.96E-05	2.87E-01	1.91E-05

جدول ۱۳. وزن ستاده‌های خطوط مترو (منافع)

ردیف	شرح	صرفه جویی سالانه در مصرف سوخت	صرفه جویی سالانه در کاهش آلودگی	صرفه جویی سالانه در کاهش استهلاک و تعمیر نگهداری	صرفه جویی سالانه در کاهش زمان سفر	صرفه جویی سالانه در کاهش تصادفات	درآمد سالانه
۱	خط ۱ متروی تهران	6.52E-05	2.70E-04	1.59E-04	1.47E-04	1.05E-04	8.31E-05
۲	خط ۲ متروی تهران	6.64E-05	3.46E-04	2.10E-04	2.62E-04	2.04E-04	1.40E-04
۳	خط ۳ متروی تهران	3.57E-18	1.72E-17	2.80E-03	6.17E-18	3.75E-17	2.62E-18
۴	خط ۴ متروی تهران	4.45E-05	3.09E-04	3.19E-04	3.70E-04	2.60E-04	1.84E-04
۵	خط ۵ متروی تهران	2.31E-04	9.30E-04	2.37E-04	3.65E-04	2.41E-04	1.74E-04

خط ۳ غیر کاراترین خط و خطوط ۱، ۲، ۴، ۵ دارای کارایی نسبی مناسب می باشند.

۵- نتیجه گیری

لحاظ گردیده است. در انتها، در این تحقیق خطوط از لحاظ ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و حمل و نقل رتبه بندی گردید که این امر به تصمیم گیران این امکان را می دهد تا بتوانند بودجه را برای تحقق سیاست های حمل و نقل پایدار، بسته به خطوط مورد نظر، طوری تخصیص دهند که با هزینه کمتر، اهداف بیشتری از حمل و نقل پایدار را تامین نمایند. بطور کلی تلاش گردیده است روشی مناسب و کارآمد جهت ارزیابی سطح پایداری حمل و نقل شهری کلانشهرها معرفی شود. بدیهی است که در صورت تغییر مقادیر شاخص های این پژوهش، این نتایج دچار تغییر گردیده و سطح پایداری و ناپایداری خطوط مترو تغییر پیدا خواهد نمود. به این منظور پیشنهاد می گردد. ضمن انتخاب و جمع آوری اطلاعات در خصوص افزایش شاخص هایی از قبیل رفاه و آسایش، ایمنی، آلودگی صوتی، زیبایی بصری، حاصل گردد. همچنین اولویت بندی و وزن دهی این شاخص ها براساس وضعیت و نیازهای شهرهای مختلف کشور به صورت جداگانه تحلیل گردد.

۶- مراجع

-آزادانی، م.، و اکبری، م.، (۱۳۹۷)، "اولویت بندی گزینه های طراحی مسیر راه آهن دورود-اندیمشک با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) و تکنیک دیمتل (DEMATEL)", پژوهشنامه حمل و نقل، شماره ۵۷، ص. ۱۲۹.

-احدی، ح.، قاسمی، م.، ذاکری، ج.، (۱۳۹۲)، "اولویت بندی روش های حمل و نقل عمومی در شهر تهران به منظور اصلاح نظام تخصیص بودجه" فصلنامه حمل و نقل، ص. ۲۰۶.

هدف اصلی این تحقیق بررسی خطوط ۱ تا ۵ متروی کلان شهر تهران با رویکرد توسعه حمل و نقل پایدار بود. ۱۴ متغیر متشکل از ۶ شاخص مرتبط با منفعت و ۸ شاخص مرتبط با هزینه با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی و برگرفته از ادبیات نظری پژوهش در این تحقیق مد نظر قرار گرفت. از بعد جامعه آماری و در نظر گرفتن عملکرد کلیه خطوط مترو بر اساس ۱۴ شاخص انتخابی، این پژوهش منحصر به فرد می باشد. روش تحقیق و آنالیز پارامترها نیز به روشهای اقتصاد مهندسی از قبیل EUAW.NPW و BCR و تحلیل پوششی داده (DEA) مورد ارزیابی قرار گرفت که این نیز همگرایی در نتایج و قابلیت اطمینان بالا به صحت نتایج را نشان می دهد. نتایج نشان داد که خط ۲ مترو بهترین عملکرد را از لحاظ فنی و اقتصادی دارد و کارآمدترین خط می باشد، اگرچه خطوط ۱، ۴ و ۵ نیز اقتصادی می باشند. ولی خط ۳ عملکردی غیر قابل قبول و کاملاً غیر اقتصادی می باشد. به منظور بهبود عملکرد و افزایش استفاده مسافران از حمل و نقل سریع السیر ریلی (مترو) و به خصوص خط ۳، می بایست سرفاصله (هدوی) قطار ها کاهش یابد و تعداد قطار های داخل شبکه افزایش یابد. نکته ی کلیدی و حائز اهمیت که در قالب نوآوری در پژوهش حاضر میتوان به آن اشاره نمود این است که در حال حاضر تحقیقاتی درحوزه حمل و نقل پایدار براساس شاخص های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به صورت گسترده پرداخته نشده است و فقط در کشور تعداد شاخص های کمتری مورد توجه قرار گرفته است ازاینرو این پژوهش در قالب یک مدل مفهومی، شاخص های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به صورت منفعتی و هزینه ای

-خوش‌منش، ب. و نصر، س.، (۱۳۹۴)، "تاثیر حمل و نقل شهری در آلودگی هوا و نقش مترو در کنترل آن (تهران، پکن، بارسلونا)"، دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران معماری و شهرسازی.

- "آمار سازمان مرکز آمار ایران"، (۱۳۹۶).

- مزجی، م. و افندی‌زاده، ش.، (۱۳۹۴)، "ارزیابی اقتصادی توسعه حمل و نقل همگانی سریع‌السير ریلی با رویکرد شاخص اقتصادی حمل و نقل پایدار (مطالعه موردی: مترو تهران)"، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک.

-جامعه‌آماری (۱۳۹۶)، "آریا مدیر مرکز علوم مدیریت" (www.ariamodir.com)

- "محاسبه حجم نمونه کوکران" (۱۳۹۶)، پایگاه علمی پژوهشی پارس‌مدیر (www.parsmodir.com).

-برنامه‌ریزی حمل و نقل، (۲۰۱۵)، "ترجمه امیر مسعود رحیمی و مهندس سینا رضایی‌نیا".

-آموزش تحلیل پوششی داده‌ها، (۱۳۹۶)، "پایگاه علمی پژوهشی پارس‌مدیر" (www.parsmodir.com).

-نتایج بررسی بودجه‌خانووار در مناطق شهری ایران، (۱۳۹۵)، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.

- "امکان‌سنجی پروژه اوراق مشارکت توسعه جنوبی خط ۶" (۱۳۹۴)، شهرداری تهران و شرکت راه آهن شهری تهران و حومه (مترو).

-پاول آر. پورتنی، (۱۳۸۷)، "تحلیل هزینه-فایده".

- رضازاده مهرجو، ر. و شیرکو بهادری، م.، (۲۰۱۶)، "نحوه محاسبه نرخ تنزیل در محاسبه شاخص‌های اقتصادی طرح‌های توسعه‌ای شرکت ملی نفت ایران".

-Xiaolong, X., Zhang, R., (2015), "Environmental and social challenges for urban subway construction: An Empirical Study in China", International Journal of Project Management, pp.33.

-Marta Kadlubek, (2015), "Examples of Sustainable Development in the Area of Transport".

-آیتی، ا.، قدیریان، ف.، و احمدی، م.، (۱۳۸۷)، "محاسبه هزینه‌های آسیب به وسایل نقلیه در تصادفات جاده‌ای ایران در سال دوره"، دوره ۵، شماره ۱. ص. ۱۲.

- سلطانی، ع.، فلاح‌منشادی، ا.، (۱۳۹۲)، "یکپارچه‌سازی سیستم حمل و نقل راهکاری در جهت دستیابی به حمل و نقل پایدار (مطالعه موردی: کلانشهر شیراز)، شماره پنجم فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات شهری، ص. ۹-۲.

- کاظمیان، غ. افشین‌رسولی، و رفیع‌پور، س.، (۱۳۹۴)، "مزیت‌های حمل و نقل ریلی درون شهری نسبت به جاده‌های"، بر اساس رویکرد توسعه پایدار (مطالعه موردی خط ۴ متروی تهران)"، سال ششم نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ص. ۱۵-۴.

- جهان‌شاهلو، ل.، و امینی، ا.، (۱۳۸۵)، "برنامه‌ریزی شهری و نقش آن در دستیابی به حمل و نقل پایدار شهری"، هفتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران. ص. ۱۰.

- ارجمند زیارتی، م. و صالحی، م.، (۱۳۹۵)، "بررسی اقتصاد زیرساخت‌های حمل و نقل شهری"، اولین همایش بین‌المللی اقتصاد شهری.

- "گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران"، (۱۳۹۴)، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.

- "گزارش مصرف سوخت"، (۱۳۹۶)، سایت اقتصاد آنلاین.

- تقوایی، م. و سجادی، م.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی و تحلیل شاخص‌های حمل و نقل پایدار شهری مطالعه موردی: شهر اصفهان"، سال چهارم نشریه معماری شهر پایدار.

-خاکساری، ع. دانا، ت. قانع کیاکلاویه، ح. و قانع کیاکلاویه، م.، (۱۳۹۴)، "تحلیل رابطه بین افزایش طول خطوط مترو و کیفیت آلودگی هوای شهر تهران"، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک.

Performance Evaluation of Subway Transport System Using Engineering Economics Techniques and Data Envelopment Analysis Based on Sustainable Transport Development Concept (Case Study: Tehran Metropolitan)

*Ali Paydar, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University,
Malard, Tehran, Iran.*

*Alireza Ameli, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad
University, Malard, Tehran, Iran.*

*Hirad Tehrani, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Malard Branch,
Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.*

Email: Amelii@gmail.com

Received: February 2020 -Accepted: June 2020

ABSTRACT

Sustainable transportation as one of the main factors affecting the economic, social and environmental characteristics of society can be used in the process of changing, transforming and evolving any society. Metro (urban trains) is clean, safe, fast and secure in the urban transport network, has a rough role in the economic, social and environmental issues caused by traffic problem. So, given the positive effects (urban trains), the development of a national project is very important. In this research, metro lines of Tehran metropolis in terms of sustainability of transportation by 8 cost indicators and 6 profit indicators were studied in total 14 indicators. The BCR, EUAW, NPW and DEA Method have been used to identify the stability of the metropolitan area. To conduct this evaluation, firstly, with the library and field research, the current status of the public transport of the city rail (metro) in Tehran was analyzed. And the results of this research indicate that Tehran Metro Line 2 is considered as the most stable line in terms of total economic, social and environmental indicators, and line 3 has the least sustainability. Also, by (DEA) method, lines 1,2,4,5 are acceptable in terms of performance evaluation and line 3 is not acceptable.

Keywords: Sustained Transportation, Subway – Economic, Social, Environmental Indicators, BCR - DEA