سنجش بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران با بهره‌گیری از روش تحلیل پوششی داده‌ها

شهریار افندی‌زاده* - سیدمحمد سیدحسینی - امیرحسین سلاحورزی*****

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۳/۰۹/۰۱

چکیده

سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند می‌توانند نقش بسیار مؤثری در دستیابی به تمامی اهداف طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران داشته باشند. لذا برای بهره‌گیری از این پتانسیل، لازم است که با استفاده از روش‌های مناسب ریاضی، نسبت به افزایش کارایی و بهره‌وری آن‌ها اقدام نمود. این پژوهش با هدف سنجش بهره‌وری و کارایی اجزای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران به انجام رسیده است. روش انجام این تحقیق نیز به‌کارگیری مدل ریاضی و با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. در این مقاله پس از شناسایی اجزای اصلی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران، میزان منافع و هزینه‌های این سیستم‌ها از مطالعه تحقیقات و منابع موجود در چهار بعد ایمنی، عملکرد، سودمندی و محیط زیست به‌دست آمد و در قالب یک جدول میزان شاخص موردانتظار بعد از به‌کارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران ارائه شده است. در ادامه با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و ارائه یک مدل پیشنهادی (مدل درآمد)، منافع و هزینه‌ها با بهره‌گیری از مدل مذکور در نرم‌افزار GAMS کد نویسی شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل درآمد در نرم‌افزار نشان داد سیستم‌های هوشمند راهگردبانی و مدیریت هوشمند اولویت‌دهی عبور از تقاطع دارای بیشترین ضرایب بهره‌وری در بین سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران می‌باشند و سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانیِ پیش از سفر، مدیریت هوشمند پارکینگ، چراغ‌راهنمایی هوشمند و تابلوهای متغیر خبری دارای ضرایب بهره‌وری نسبتاً بالایی بودند.

واژگان کلیدی: حمل‌ونقل هوشمند، تحلیل پوششی داده‌ها، مدل درآمد، تهران.

* دانشیار برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
** استاد تولید صنعتی، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
*** دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
Email: amir_selahvarzi@yahoo.com

مقدمه

سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند به مجموعه‌ای از ابزارها، امکانات و تخصص‌ها از قبیل مفاهیم مهندسی ترافیک، تکنولوژی‌های نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و مخابراتی اطلاق می‌شود که به‌صورت هماهنگ و یکپارچه به‌منظور بهبود کارایی و ایمنی در سیستم حمل‌ونقل به کار گرفته می‌شوند (Afandizadeh & Rahimi, 2009, p. 115). میزان کارایی و بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند تابعی از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی است که با سرعت بسیار زیاد در حال تغییر است. بنابراین با گذشت زمان، برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. از این‌رو برنامه‌ریزی‌های انجام شده برای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند باید اجرایی و به روز باشند. بدین معنی که به‌طور مستمر مورد بازبینی قرار گرفته و نیازهای جدید و راهبردها و راهکارهای نوین را مورد بررسی قرار دهد. پس از اجرای برخی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در سطح منطقه و کسب تجربه کافی، برنامه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند باید مجدداً مورد بازبینی قرار گیرد (Ryan N. Fries, 2012)[1]. از این‌رو لازم است در طراحی و برنامه‌ریزی این سیستم‌ها با در نظر گرفتن هر چه دقیق‌تر جزئیات، نسبت به قابلیت ارتقاء سیستم در آینده اطمینان حاصل نمود. در برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند باید به نیازهای آتی حمل‌ونقل از قبیل نیازهای جغرافیایی و وظیفه‌مندی سیستم به‌منظور تکمیل وظایف این سیستم‌ها جهت پاسخگویی به نیازهای آینده توجه نمود (South Carolina Department of Transportation, 2010)[2]. برای این منظور، با تعریف شاخص‌های عملکردی در زمینه بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و اندازه‌گیری آن‌ها با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، اقدام به سنجش عملکرد و کارایی اجزای مختلف این سیستم ها جهت ارتقاء کارآیی و در نتیجه بهبود بهره‌وری شده است. استفاده از این روش با توجه به اهمیت کارایی در توسعه فعالیت‌های مرتبط با سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و به‌دلیل هزینه‌بر بودن خرید، بهره‌برداری و نگهداشت این سیستم‌ها، می‌تواند رویکردی بسیار مؤثر جهت انتخاب و اولویت‌بندی این فعالیت‌ها باشد. در این پژوهش کارایی درآمد واحدهای تصمیم‌گیرنده با ساختار شبکه پایداری مناسب جهت حفظ دسته‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده به‌دست آورده می شود. از مزایای روش ارائه داده شده این است که تحلیل حساسیت در زمینه کارایی درآمد به تصمیم‌گیران کمک می‌کند که از دید اقتصادی تا چه میزان ورودی و خروجی واحدهای تحت ارزیابی را باید تغییر دهند به‌گونه‌ای که بیشترین بهره‌وری و سود را داشته باشد (Wei, 2012; Zhu, 2002)[3و4].

۱. پیشینه تحقیق

میزان کارایی و بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند تابعی از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی است که با سرعت بسیار زیاد در حال تغییر است. بنابراین با گذشت زمان، برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. از این‌رو برنامه‌ریزی‌های انجام شده برای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند باید اجرایی و به‌روز باشند. بدین معنی که به‌طور مستمر مورد بازبینی قرار گرفته و نیازهای جدید و راهبردها و راهکارهای نوین را مورد بررسی قرار دهد. پس از اجرای برخی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در سطح منطقه و کسب تجربه کافی، برنامه سیستم حمل‌ونقل هوشمند باید مجدداً مورد بازبینی قرار گیرد. در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۹۸ با کمک FHWA[5] صورت گرفته، با پیشنهاد نهادینه کردن برنامه‌ریزی عملیاتی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند از طریق وارد کردن آن به طرح جامع حمل‌ونقل و سیستم مدیریت راهکار تراکم برای جلب حمایت و پشتیبانی مستمر ارائه شده است براساس این مطالعه، اقدامات فوق به تلفیق سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند با فرآیند تصمیم‌گیری حمل‌ونقلی کمک می‌کند. این پژوهش دو راهکار مختلف را جهت برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند ارائه می‌دهد. راهکار اول مبتنی بر بسته‌های بازار و راهکار دوم مبتنی بر قابلیت پیگیری پروژه‌ها از چشم‌انداز، اهداف کلان و جزئی صورت می‌گیرد (Luis, 2009, pp. 492-500). طرح جامع استراتژیک برای ارزیابی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند که در سال ۱۹۹۹ توسط موسسه علوم سیستماتیک کمبریج تهیه شده بود شامل راهبردهای ارزیابی، اهداف ارزیابی و فعالیت‌های ارزیابی برای پروژه های متناظر با آن بود. این پروژه شامل اطلاعات ترافیک به‌صورت لحظه ای (در زمان واقعی) بوده است (Do H. Nam, 1999, pp. 437-457). ساختار ارزیابی منافع مرکز کنترل ترافیک، یکی دیگر از متدولوژی‌های افزایش بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است که توسط پروفسور وانگ وی از دانشگاه سوت استرن در سال ۲۰۱۰ ارائه شد. این پژوهشگر یک چارچوب تحلیل کمی برای منافع تولید شده از طریق اعمال آن در سیستم ارائه داد (Xiong, 2012, pp. 55). همچنین در همان سال، پژوهش موفق دیگری به‌منظور توسعه پایدار سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند ترافیک شهری توسط این پژوهشگر به انجام رسید. او در این پژوهش متغیر افزایش عمر ناوگان وسایل نقلیه را وارد نمود (Hsu-Yung, 2012). ژیان وی و همکاران در پژوهشی که در سال ۲۰۱۰ انجام دادند، یک ساختار عملیاتی برای دستیابی به سودبخشی اجتماعی قابل ارزیابی پروژه های سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند که در شهرهای چین به طور عمده اجرا شده بود، ارائه کردند. این پژوهش با هدف تخمین تمامی منافع اقتصادی در قالب یک خروجی جهت بهره برداری مقامات دولتی و مهندسان حمل‌ونقل و ترافیک کشور چین انجام شد. در این پژوهش شهر پکن برای مطالعه موردی انتخاب شد. نتایج این پژوهش نشان داد،

سرمایه‌گذاری جهت افزایش بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مطابق چارچوب تعریف شده می‌تواند یک راه‌حل برای حل مشکلات موجود میان رشد سریع تعداد وسایل نقلیه موتوری و محدودیت سطح زمین در شهر باشد.
وی و همکاران در پژوهش خود در سال ۲۰۱۲، یک چارچوب ارزیابی کارایی برای سیستم مدیریت هوشمند ترافیک بر پایه مدل های تحلیل پوششی داده‌ها[۶] ارائه کردند. این پژوهشگران در تحقیق خود یک مدل کارایی هزینه تحلیل پوششی داده‌ها را توسعه دادند. اطلاعات مبنای این پژوهش براساس تحلیل تجربی پروژه های انجام شده سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در شهر پکن انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد، با توجه به رشد سریع گسترش شهرها و شهرنشینی، مدیریت ترافیک شهری در وضع حاضر و در مواجه با افزایش تقاضای سفر با مشکلات بسیاری روبروست و بهبود برنامه‌ریزی عملیاتی جهت بهبود کارایی و افزایش بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی امری اجتناب ناپذیر است. بر این اساس یک ساختار قوی برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند می تواند راهی برای بهینه نمودن ساختار توسعه شهری و ترکیب مدهای حمل‌ونقل شهری، تضمین اولویت دهی به حرکت سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و دستیابی به توسعه پایدار شهری باشد.

۲. متدولوژی

در این پژوهش، پس از بررسی تأثیرات سیستم‌های حمل‌ونقل بر مسائل مرتبط با ایمنی، عملکرد ترافیک، رضایت کاربران و زیست‌محیطی، هزینه‌های عملکردی سیستم‌های حمل‌ونقل به‌منظور برآورد منافع فعالیت‌های پیشنهادی جهت توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، محاسبه خواهد شد. بدین صورت میزان بهبود شاخص‌های ایمنی، کارایی، سودمندی و زیست محیطی پس از به‌کارگیری این فعالیت‌ها محاسبه خواهد شد. در ادامه با توجه به پیشنهادات پژوهش وی و همکاران (Wei, 2012) از روش تحلیل پوششی داده‌ها و به‌کارگیری مدل درآمد، ضرایب بهره‌وری فعالیت‌های پیشنهادی جهت توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند تعیین می‌شود.

۲-۱- برآورد منافع و هزینه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند

ارزیابی پروژه‌ها و برنامه‌ریزی آن‌ها، غالباً شامل تحلیل اقتصادی به‌منظور مشخص نمودن توجیه اقتصادی یک انتخاب خاص از نقطه‌نظر هزینه‌ای و پاسخ به این پرسش که کدام انتخاب دارای حداکثر توجیه اقتصادی است، صورت می‌گیرد. از این دیدگاه هر پروژه نیازمند یک مطالعه به‌منظور تعیین هزینه‌ها و منافع مرتبط با آن بوده که در برنامه‌ریزی‌های حال و یا آینده به‌منظور بهبود عملکرد آن سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود تعدد ارزیابی‌های قبل و بعد از اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند که اثبات کرده‌اند سرمایه‌گذاری در زمینه حمل‌ونقل هوشمند بازدهی مطلوب را دارد، ارزیابی منافع حاصل از به‌کارگیری این سیستم‌ها هنوز چالش‌های قابل‌توجهی را دربر دارد. برای تصمیم‌گیری مناسب در جهت اجرای یک سیستم هوشمند، روشی برای ارزیابی دقیق و مطمئن طرح‌ها مورد نیاز است. ارزیابی پروژه‌ها شامل فرآیند بررسی مزایا و معایب یک پروژه برای تصمیم‌گیری در خصوص مطلوبیت به‌کارگیری پروژه‌ها می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان گفت که هدف از ارزیابی اقتصادی به‌دست آوردن اطلاعاتی برای کمک به هدایت سیاست‌ها و تصمیم‌های سرمایه‌گذاری به‌منظور برآورده کردن اهداف مشخصی است. پروژه‌های سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند به‌طورکلی شش هدف اصلی را دنبال می‌کنند که عبارتند از: افزایش ایمنی، افزایش کارایی، بازدهی و بهره‌وری، افزایش پویایی و قابلیت حرکت و راحتی مسافرین، افزایش سودمندی اقتصادی در وضع موجود و افق طرح برنامه، کاهش میزان مصرف انرژی و هزینه‌های زیست محیطی در اثر تراکم ترافیک، و ایجاد زمینه‌های توسعه و پیشرفت (Lee, D.B, 1999)[۷]. براساس این شش هدف، شاخص‌های مؤثر در ارزیابی منافع پروژه‌های سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، تعیین می‌شوند و براساس این شاخص‌ها می‌توان منافع سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند را مورد ارزیابی قرار داد. حوزه بررسی منافع، شاخص‌های ارزیابی مستقل و مرکب دارد که هر کدام هزینه‌هایی در بر دارند. این شاخص‌ها در چهار حوزه اصلی ایمنی، کارایی، سودمندی و زیست‌محیطی تعریف می‌شوند.
باتوجه به آن‌که مطالعات حین اجرا و بعد از اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران صورت نگرفته نمی‌توان منافع حاصل از این سیستم‌ها را در این شهر به دست آورد و همچنین از آنجا که یکی از پیش‌نیازهای اساسی ارزیابی اجتماعی، اقتصادی، کاربری زمین، حمل ونقلی و زیست محیطی دسترسی به مطالعات قبل و بعد زیر سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و طرح‌های به اجرا در آمده است، بنابراین منافع حاصل از اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. توجه به شرایط مشابه در شهرهای مورد بررسی و شهر تهران و با درنظرگرفتن این اصل که اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند باید منافعی در حد قابل قبول در پی داشته باشد می‌توان آمار منافع حاصل از اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهرهای سایر کشورها را به‌عنوان معیار مناسبی برای شهر تهران نیز لحاظ نمود. یعنی در صورتی‌که منافع حاصل در بازه مشخصی قرار نگرفته باشد هدف از اجرای پروژه به‌طور کامل محقق نمی‌شود و باید با رفع مشکلات و بهبود شرایط به منافع مورد نظر دست یافت. هزینه‌های ایجاد هر

پروژه نیز براساس قیمت روز و تمام شده هر کدام از پروژه‌ها در نظر گرفته شده است. بنابر نتایج مذکور، میزان شاخص مورد انتظار بعد از به‌کارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران در جدول ۱ نشان داده شده است. در این جدول میزان بهبود شاخص‌های مختلف شامل ایمنی، کارآیی، سودمندی و زیست محیطی ناشی در اثر استفاده از هر یک از سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل آورده شده است.

بر این اساس در صورت استفاده از دوربین‌های نظارت تصویری، می‌توان زمان پاکسازی سطح معابر در اثر ایجاد حوادث را تا سقف ۵۰٪ کاهش داد. استفاده از سیستم هوشمند کنترل خط موجب افزایش ۲۰ درصد ایمنی خواهد شد. استفاده از سیستم مدیریت راهگردبانی هم در بهبود ایمنی مؤثر است و هم می‌تواند موجب افزایش کارآیی و کاهش مصرف سوخت شود.

چراغ‌های راهنمایی هوشمند مورد استفاده در تقاطع‌ها می‌توانند ضمن افزایش کارآیی شبکه معابر، میزان مصرف سوخت و در نتیجه آلودگی هوا و محیط زیست را کاهش دهند. تابلوهای پیام متغیر خبری که می توانند در مواقع مورد نیاز پیامها و راهنمایی‌های مناسبی را برای کاربران شبکه معابر فراهم کنند موجب افزایش ایمنی و کارآیی شبکه معابر خواهندشد. سیستم‌های ثبت تخلفات بسته به نوع مورد استفاده، اثرات مختلفی در میزان ایمنی خواهند داشت. برای نمونه استفاده از سیستم‌های محدودیت سرعت بزرگراهی موجب کاهش ۳۵ درصد تلفات فوتی، ۱۵ درصد تلفات جرحی و ۶۰ درصد تخلفات تخطی از سرعت مجاز می‌شوند که اثرات افزایش ایمنی آن‌ها قابل ملاحظه است. استفاده از سیستم ثبت تخلفات چراغ راهنمایی، می‌تواند بین ۳۰ تا ۷۵ درصد از تصادفات انجام شده در تقاطع‌ها را کاهش دهد و به‌طور متوسط سه تخلف انجام شده در هر ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه را حذف کند. سیستم هوشمند ثبت تخلف ورود به طرح می‌تواند بین ۲۰ تا ۶۰ درصد از تخلفات ورود به محدوده ممنوعه ترافیک را بکاهد.

استفاده از سیستم مدیریت هوشمند پارکینگ موجب خواهد شد کارآیی پارکینگ‌ها تا ۹ درصد افزایش یابد. درحالی‌که مدیریت هوشمند اولویت‌دهی عبور از تقاطع می‌تواند هم‌زمان ایمنی و کارآیی را افزایش دهد و موجب بهبود وضعیت زیست محیطی شود.

مدیریت هوشمند اولویت‌دهی عبور از تقاطع‌ها که می‌تواند موجب افزایش کارآیی حمل‌ونقل همگانی شود، ضمن افزایش ایمنی و کارایی تاثیر به‌سزایی در کاهش مصرف سوخت خواهد داشت. مدیریت هوشمند حمل‌ونقل همگانی با کاهش تأخیر و نوسانات زمان سفر موجب افزایش کارآیی سیستم حمل‌ونقل همگانی می شود و از طریق افزایش تقاضای سفر با حمل‌ونقل همگانی هم می‌تواند موجب سودمندی کل سیستم شبکه معابر شهری باشد.

سیستم هوشمند اعلام سرعت مجاز ضمن اطلاع‌رسانی به حداکثر سرعت مجاز به رانندگان که می‌تواند افزایش ظرفیت و کارآیی شبکه معابر را در پی داشته باشد موجب بهبود ایمنی خواهد شد. سیستم هوشمند اطلاع‌رسانی پیش از سفر با راهکارهایی نظیر رادیو مشاور، واسط‌های اطلاع‌رسانی اینترنتی و کیوسک‌های تعاملی می‌تواند موجب کاهش نوسانات زمان سفر و افزایش تقاضای حمل‌ونقل همگانی شود.

سیستم هوشمند نگهداری و مرمت مسیر می‌تواند موجب کاهش زمان بازبینی بعد از سوانح و حوادث تا سقف ۴۰ درصد شود. سیستم مکانیابی خودکار خودروها می‌تواند ضمن کاهش زمان انتظار مسافران از طریق اطلاع‌رسانی به آن‌ها، موجب افزایش بهره‌وری عملکرد ناوگان وسایل‌نقلیه امدادی، کاهش سرفاصله حرکتی اتوبوس‌ها و افزایش قابلیت عملکرد سیستم اتوبوسرانی شود.

سیستم هوشمند مدیریت وقایع هم می‌تواند موجب افزایش ایمنی از طریق کاهش وقایع ثانویه تا حد ۲۰ درصد و کاهش نرخ تصادفات تا حد ۱۵، شود. این سیستم از طریق کاهش زمان پاسخگویی تا سقف ۱۵ درصد می تواند موجب ایجاد سوددهی و مزیت‌های اجتماعی شود و با توجه به میزان کاهش مصرف سوخت ناشی از استفاده از این سیستم می‌توان پیش‌بینی کرد وضعیت محیط زیست بهبود یابد.

جدول ۱: میزان شاخص مورد انتظار بعد از به‌کارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران

شاخص / سیستم	ایمنی	کارایی	سودمندی	زیست محیطی
دوربین‌های نظارت تصویری[8]	–	–	به‌صورت تلفیقی به‌عنوان نمونه در مدیریت وقایع زمان پاکسازی منطقه را ۵۰٪ کاهش می‌دهد.	–
سیستم هوشمند کنترل خط	٪۲۰	–	–	–
سیستم هوشمند راهگردبانی (رمپ‌میترینگ)	٪۲۵-۵۰	٪۵-۲۰	–	کاهش سوخت: ٪۲-۵۵
چراغ راهنمایی هوشمند	چراغ راهنمایی تطبیقی[9]: –	٪۵-۴۰	–	کاهش آلودگی: ٪۴-۷ کاهش سوخت: ٪۵-۱۰
	چراغ راهنمایی پیشرفته[10]: ٪۵	٪۱۰-۱۵	–	کاهش سوخت: ٪۱۵
تابلوهای متغیر خبری	۲ تا ٪۵	٪۲۵	–	–
ثبت تخلف	محدودیت سرعت[11] بزرگراه: کاهش تصادفات فوتی:٪۳۵ کاهش تصادفات جرحی:٪۱۵ کاهش‌تخلف:٪۶۰	–	–	–
	چراغ راهنمایی: کاهش‌تصادفات: ٪۳۰-۷۵ کاهش تخلفات: ۳ تخلف به‌ازای ۱۰۰۰۰ وسیله‌نقلیه-سیکل در تقاطع	–	–	–
	ورود به محدوده طرح: کاهش تخلفات:٪۲۰-۶۰	–	–	–
مدیریت هوشمند پارکینگ	–	٪۹ افزایش	–	–
مدیریت هوشمند اولویت‌دهی عبور از تقاطع	حمل‌ونقل عمومی: ٪۲-۲۰	٪۱۵ افزایش	-	کاهش سوخت: ٪۲-۵
	وسایل نقلیه امدادی: –	٪۱۴-۲۳	–	–
مدیریت هوشمند حمل‌ونقل عمومی	–	کاهش تأخیر: ٪۲۰ کاهش نوسان زمان سفر: ٪۵-۲۰	کاهش تعداد اتوبوس‌ها: ٪۵-۱۰	–
سیستم هوشمند اعلام سرعت مجاز	٪۲۵-۳۰	–	–	–

سیستم هوشمند اطلاع‌رسانی پیش از سفر	رادیو مشاور واسط‌های اطلاع‌رسانی اینترنت کیوسک تعاملی	–	کاهش نوسان زمان سفر ۵۰-۴۵٪	افزایش ۱۵٪ تقاضای سفر با وسائل نقلیه عمومی۰	–
سیستم هوشمند نگهداری و مرمت مسیر	–		زمان پاکسازی ۴۰٪ کاهش می‌یابد.	–	–
سیستم CAD / AVL	–		۳۰٪ کاهش زمان انتظار مسافران	۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش بهره‌وری در عملکرد وسایل نقلیه امدادی ۵٪ کاهش سرفاصله اتوبوس‌ها ۱۲ تا ۲۱ درصد افزایش قابلیت عملکرد سیستم اتوبوسرانی	–
سیستم هوشمند مدیریت وقایع	کاهش وقایع ثانویه: ۲۰ درصد کاهش تصادفات: ۱۵ درصد		-	کاهش زمان پاسخ‌گویی: ۱۵درصد	منجر به کاهش مصرف سوخت می‌شود ولی میزان آن نامعلوم است.

۲-۲- روش تحلیل پوششی داده‌ها

برای فراهم آوردن امکان تصمیم‌گیری مناسب برای مدیران و تصمیم‌گیران، روش‌های مختلف و متنوعی ابداع شده است. روش تحلیل پوششی با حرکت بر روی مرز جواب‌های بهینه و قابل قبول، توانایی قابل قبول و زیادی در یافتن جواب‌های بهینه و یا نزدیک به بهینه در شرایط تصمیم‌گیری چندمعیاره دارد. تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک روش غیر پارامتری به‌منظور محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود. استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها علاوه بر تعیین میزان کارایی نسبی، نقاط ضعف سازمان را در شاخص‌های مختلف تعیین کرده و با ارائه میزان مطلوب آن‌ها، وضعیت جاری سیستم را به سوی ارتقاء کارایی و بهره‌وری مشخص می‌کند. همچنین الگوهای کارا که ارزیابی واحدهای ناکارا براساس 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 ورودی‌های کمتر تولید کرده‌اند. این تنوع وسیع در نتایج است که موجب شده استفاده از این تکنیک با سرعت فزاینده‌ای رو به گسترش باشد. مدل های اولیه تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه کارایی واحد های تصمیم‌گیرنده بسیار محدود می‌باشند ، در صورتی‌که در جهان واقعی با مسائلی روبه‌رو می‌شویم که بسیاری از واحدهای تصمیم‌گیرنده دارای ساختارهای پیچیده می‌باشند، به‌عنوان مثال سیستم‌هایی که دارای ساختار شبکه‌ای یا پویا می‌باشند. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، وی و همکاران[۱۲] در پژوهش خود، استفاده از روش‌های تحلیل پوشش داده‌ها را جهت سنجش بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند شهری پیشنهاد داده بودند. برای این در متدولوژی پیشنهادی این مقاله از مدل کارایی هزینه ژو[۱۳] که مدل متفاوتی برای کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با ساختار شبکه‌ای طراحی کرده می‌باشد، استفاده می‌شود. در این روش داده‌ها مبتنی بر یک سری بهینه‌سازی با استفاده از اصول برنامه‌ریزی خطی (روش ناپارامتریک) است و منحنی مرزی کارا براساس نقاط مشخص شده به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی شکل می‌گیرد. این روش، بعد از انجام چند بهینه‌سازی مشخص می‌کند که آیا واحد تصمیم‌گیری مورد نظر روی خط کارایی قرار گرفته است و یا خارج از آن قرار دارد. بدین وسیله واحدهای کارا و ناکارا از یکدیگر تفکیک می‌شوند. در رابطه (۱) مدل درآمد پیشنهادی این پژوهش نشان داده شده است.

$$\text{Max} \quad w = \sum_{i=1}^{m} p_r\, t_r \qquad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\, \lambda_j, \quad i = 1, \ldots, m \qquad (2)$$

$$t_r \geq \sum_{j=1}^{n} y_{ri}\, \lambda_j, \quad r = 1, \ldots, s \qquad (3)$$

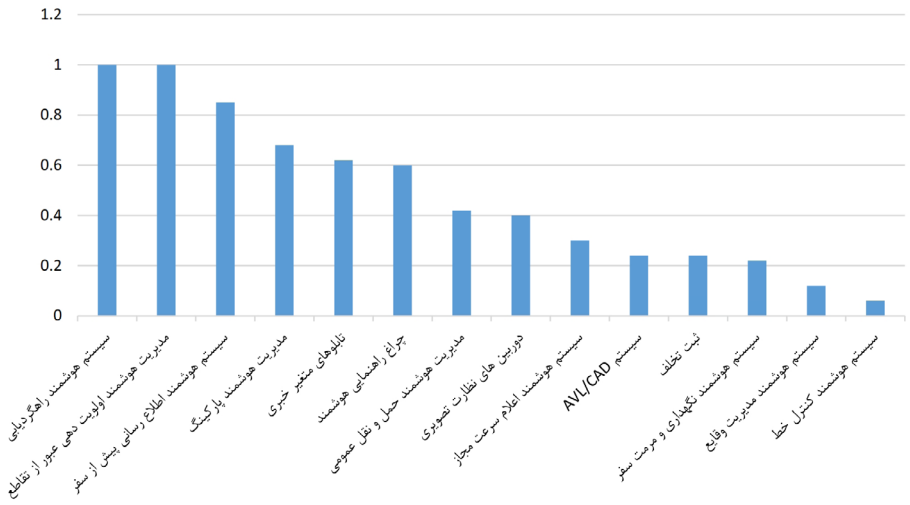
$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \ldots, n \qquad (4)$$

کارایی درآمد نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$e_r = \frac{\sum_{r=1}^{s} p_r y_{ro}}{w} \qquad (۵)$$

در این رابطه n واحد تصمیم‌گیری موجود است که هر کدام ، m ورودی مختلف را جهت تولید s خروجی استفاده می‌کند و xij و yri به ترتیب ورودی i ام (m, …,۱)=i و خروجی r ام (s, …,۱)=r از واحد تصمیم‌گیری j ام (n, …,۱)=j می‌باشد. هر یک از DMUها (پروژه‌ها) چهار ورودی و یک خروجی دارند و منافع (درآمدها) ورودی‌ها و قیمت خروجی می‌باشد که به‌ترتیب با pr و tr نمایش داده شده‌اند و خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیری نامنفی می‌باشند. تابع هدف این تابع حداکثر سازی متغیر منافع (درآمدها) است که با w نشان داده شده است و jλ اسکالر (درجه‌بندی) غیر منفی می‌باشد (تضمین اینکه ورودی و خروجی ما منفی نباشد). همچنین، yro و xio نیز به ترتیب خروجی ها و ورودی های تحت ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) است. تابع هدف این معادله، رابطه (۱)، بیانگر حداکثر نمودن سود حاصل از فعالیت‌های توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند می‌باشد و محدودیت‌های (۲) و (۳) نیز به ترتیب تضمین بزرگتر بودن ورودی‌های تحت ارزیابی از هر کدام از ورودی های منفرد تحت ارزیابی و بزرگ‌تر بودن قیمت خروجی از قیمت خروجی هر کدام از واحدهای ورودی است. محدودیت (۴) نیز بیانگر مثبت بودن متغیر کمکی λ است. در ادامه نسبت به کدنویسی مدل در نرم‌افزار GAMS اقدام شد که نتایج حاصل از اجرای مدل جهت سنجش و رتبه‌بندی میزان کارایی زیرسیستم‌های حمل‌ونقل در این نرم‌افزار را در نمودار ۱ مشاهده می‌نمایید.

نمودار ۱: مقایسه ضرایب بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند



۳-۲- تفسیر نتایج

مطابق نمودار ۱، سیستم‌های هوشمند راهگردبانی و مدیریت هوشمند اولویت‌دهی عبور از تقاطع دارای بیشترین ضرایب بهره‌وری در بین سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران است. سیستم‌های هوشمند راهگردبانی بزرگراه‌ها یکی از مهمترین سیستم‌های کنترل وضعیت بزرگراهی در ساعات اوج ترافیک می باشد که می‌تواند در ساعاتی که ترافیک مسیر اصلی مقداری نزدیک به حد ظرفیت دارد از طریق کاهش تداخلات و تغییر خط‌های حاصل از جریان ورودی و همچنین کاهش حجم تردد نهایی از مسیر، سطح خدمت‌دهی مسیر اصلی را افزایش دهد. یکی از مهم‌ترین مشکلات ناشی از ورود جریان از شیبراهه به مسیر اصلی و بروز تداخلات و نهایتاً گلوگاه در مسیر اصلی می باشد که این خود باعث کاهش سرعت سفر، افزایش زمان سفر و افزایش سوانح ترافیکی می‌شود. از این رو با توجه به شرایط شهر تهران، توجه ویژه به این سیستم کاملاً ضروری به‌نظر می‌رسد.

سیستم مدیریت هوشمند اولویت‌دهی عبور از تقاطع برای بهبود عملکرد سیستم های حمل‌ونقل عمومی از طریق کاهش زمان سفر آن‌ها و در نتیجه افزایش مطلوبیت و جاذبه استفاده از آن‌ها در مقایسه با سیستم‌های حمل‌ونقل شخصی به‌کار می‌روند. همچنین تبعات منفی چراغ‌های راهنمایی را برای خودروهای امداد که هر چه سریع‌تر باید به محل حادثه برسند، کاهش می‌دهند. با توجه به گسترش خطوط اتوبوسرانی تندرو در شهر تهران و همچنین رویکرد حمل‌ونقل در شهر تهران به سمت گسترش استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی، به‌کارگیری این سیستم نیز ضروری به‌نظر می‌رسد.

پس از این سیستم‌ها به‌ترتیب، سیستم‌های هوشمند اطلاع‌رسانی پیش از سفر، مدیریت هوشمند پارکینگ، چراغ‌راهنمایی هوشمند، و تابلوهای متغیر خبری سیستم‌های هستند که دارای بیشترین ضریب بهره‌وری در شهر می‌باشند و کاربرد آن‌ها به‌صورت موازی با سایر سیستم‌ها به‌منظور افزایش بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران حائز اهمیت به‌نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش میزان کارایی و بهره‌وری اجزای اصلی سیستم حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و به‌کارگیری مدل درآمد سنجیده شد که در نتیجه آن مشخص شد سیستم‌های هوشمند راهگردبانی و مدیریت هوشمند اولویت‌دهی عبور از تقاطع دارای بیشترین ضرایب بهره‌وری در بین سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شهر تهران می‌باشند. با این حال توجه به این نکته ضروری است که مزایای واقعی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در زمانی بروز خواهد کرد که به شکل مرتبط، هماهنگ، و همراه با به‌کارگیری تجهیزات مشترک در قالب یک برنامه‌ریزی استراتژیک استفاده شوند. از این‌رو، تجمیع و یکپارچگی در توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، علاوه‌بر آن‌که بهره‌مندی از مزایای تک‌تک آن‌ها را دربر دارد، همفزایی در استفاده از این سیستم‌ها، ارزش‌های افزوده‌ای از جمله؛ امکان اقدامات مدیریتی متعادل و هماهنگ، امکان فرصت‌های سرمایه‌گذاری مشترک به‌منظور بهره‌برداری، و امکان کاهش هزینه‌ها و کسب درآمدهای ثانویه را به‌دنبال دارد. همچنین در این مقاله نشان داده شد استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند رویکردی مناسب جهت سنجش میزان بهره‌وری از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند باشد.

پی‌نوشت

1. Ryan N. Fries, 2012, Part 45-34 ,25
2. South Carolina Department of Transportation
3. Wei, Z, 2012
4. Zhu, J. 2002
5. The Federal Highway Administration
6. DEA
7. Lee, D.B , 1999
8. CCTV
9. Adaptive Signal Control
10. Advanced Signal System
11. Speed Enforcement
12. Wei Z, 2012
13. Zhu, J. 2002

References

1. Afandizadeh, Sh., Rahimi, A.M. (2009). *Transportation Engineering: Planning and Design*. Iran University of Science and Technology.
2. Cheng, H.Y., Huang, C.W., Hwang, J.N. (2012). Advanced Formation and Delivery of Traffic Information in Intelligent Transportation Systems, *Expert Systems with Applications*, 39, 8356–8368.
3. City of Sydney, City of Sydney Strategic Plan 2030: Final Consultation Draft, City of Sydney. (2008).(www.sydney2030.com.au).
4. Evaluation of Communication Alternatives for Intelligent Transportation Systems. (2010). *South Carolina Department of Transportatio*n.
5. Hashemi, M., Taherkhani, H. Saeidi Rezvani, H. Basirat, M. (2011). A Pattern for Mid-Term Program Development of Municipalities in Iran. *Shahr Negar Journal*, 55 (15).
6. Jianwei, H., Zhenxiang, Z., Zhiheng, L. (2010). Benefit Evaluation Framework of Intelligent Transportation Systems, *Journal of Transportation System Engineering and Information Technology*, 10(1).
7. Lake Tahoe Transportation Planning Overall Work Program. (2013). *Tahoe Metropolitan Planning Organization*, Federal Highway Administration.
8. Lee, D. B. (1999). *Benefit-Cost Evaluation of ITS Projects: Seattle WSDOT Web Site* (SE-26), paper prepared for the FHWA/FTA Joint Program Office, USDOT.
9. Nam, D.H., Drew, D.R. (1999). Automatic Measurement of Trace Variables for Intelligent Transportation Systems Applications, *Transportation Research Part B*, 33, 437-457.
10. N. Fries, R., Reisi Gahrooei, M., Chowdhury, M., & J. Conway, A. (2012). Meeting Privacy Challenges While Advancing Intelligent Transportation Systems, *Transportation Research Part C*, 25, 34–45.
11. Quezada. L.E. (2009). Method for Identifying Strategic Objectives in Strategy Maps, *Int. J. Production Economics*, 122, 492–500.
12. Saeidnia, A. (2003). *Review of Detailed and Comprehensive Design's Services*. Ministry of Housing and Urban Development of Iran.
13. Seyed Hosseini, S.M. *Transportation Engineering Planning and Material Handling Analysis*. Iran University of Science and Technology.
14. Siadat Mousavi, M. (2010). *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning*. Transportation and Traffic Assistance of Tehran Municipality.
15. State Planning and Research Work Program FFY 2013. (2013). Oklahoma Department of Transportation, US Department of Transportation Federal Highway Administration.
16. Taherkhani, H., Saeidi Rezvani, H., Basirat, M. (2012). Structure and Achievements of Mid-Term operating plan of Tehran Municipality. *Monthly Journal of Municipalities*, 107 (112).
17. Transportation and Traffic Comprehensive Design Studies. (2008). *Transportation and Traffic Assistance of Tehran Municipality*.
18. Wei, Z., Zhao, P., Shulin, A. (2012). Efficiency Evaluation of Beijing Intelligent Traffic Management System Based on super-DEA, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 12(3).
19. Xiong, Z., Sheng, H., Rong, W., Cooper, D. (2012). *Intelligent Transportation Systems for Smart Cities: A Progress Review*, Sci China Inf Sci, 55, doi: 10.1007/s11432-012-4725-1.
20. Zhu, J. (2002). *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets and DEA Excel Solver*, Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers Group.