فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

تعیین میزان نظارت سامانه توزین در حال حرکت به جهت توجیه‌پذیری اقتصادی استفاده از این سامانه در محورهای کشور(مطالعه موردی محور اصفهان – نائین)

راضیه اکبری[۱]، عباس محمودآبادی[۲]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲- عضو هیئت علمی و مدیرگروه مهندسی صنایع، دانشگاه مهرآستان، گیلان، ایران

چکیده

از آنجایی که سیستم توزین در حال حرکت به عنوان یک جز مهم از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند شناخته شده است استفاده از آن برای اجرای قوانین مرتبط با میزان مجاز بار محوری بکار گرفته می‌شود. از سوی دیگر، صرف سرمایه‌های عظیم در احداث و نگهداری روسازی موجب شده است که سیاستگذاران تمایل به استفاده از سامانه توزین در حال حرکت را در برنامه‌های کاری خود قرار داده‌اند. نصب و راه‌اندازی سیستم توزین در حال حرکت یک پروژه مرتبط با حمل‌ونقل با سرمایه‌گذاری زیاد می‌باشد. با توجه به موارد فوق ضرورت دارد بین میزان کاهش هزینه تجدید روسازی و نصب سامانه توزین در حال حرکت تعادل سازنده‌ای وجود داشته باشد. بنابراین در این مقاله مدلی بر مبنای روش تجزیه و تحلیل نقطه سربه‌سر ارائه شده است و میانگین محورهای غیرمجازی که باید توسط مجریان قانون نظارت شود به عنوان منافع، مطالعه می‌شود. یک سامانه توزین در حال حرکت به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده و میزان نظارت مورد نیاز محاسبه شده است که می‌تواند به تصمیم‌گیران در حوزه حمل‌ونقل کمک کند، تا در میزان بهره‌برداری از سامانه توزین در حال حرکت به منظور رسیدن به تعادلی بین هزینه‌ها و درآمدهای حاصل از آن به نحو مناسب اتخاذ تصمیم نمایند.

واژگان کلیدی: سیستم حمل‌ونقل هوشمند، سامانه توزین در حال حرکت، تجزیه و تحلیل نقطه سربه‌سری

۱– مقدمه

سالانه مبالغ هنگفتی در ساخت جاده‌های کشور و نگهداری و ترمیم روسازی آنها هزینه می‌شود. چنین سرمایه‌ای نیازمند نگهداری و مدیریت در جهت بهره‌برداری بهینه از آن است. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته حمل بار اضافی علاوه بر تخریب روسازی راه‌ها و ابنیه فنی و کاهش عمر روسازی، ایمنی و روانی ترافیک عبوری را دچار مشکل می‌کند به همین منظور برای کنترل وسایل نقلیه سنگین از روشهای مختلف نظارتی استفاده می‌شود که از جمله آنها که در قالب طرحهای سیستمهای حمل‌ونقل هوشمند نیز قابل تعریف هستند می‌توان به سیستم توزین در حال حرکت (WIM) اشاره کرد. سیستم توزین در حال حرکت یکی از ابزارهای هوشمند برای کنترل وزن وسایل عبوری از یک مقطع است [۱]. از جمله مزایای سیستم توزین در حال حرکت می‌توان به کاهش زمان توقف وسایل نقلیه برای توزین از طریق توزین بدون توقف وسایل نقلیه و در حال حرکت، کاهش تعداد وسایل نقلیه با بار اضافه، افزایش طول عمر روسازی، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ... اشاره کرد. بکارگیری سیستمهای توزین در حال حرکت در کشور از سوی ارگانهای متولی امر حمل‌ونقل جاده‌ای، سالانه مبلغ قابل توجهی را در راستای راه‌اندازی و نگهداری این سامانه‌ها متحمل می‌شوند و باید مشخص شود که در چه سطحی از بهره‌برداری نصب و راه‌اندازی سیستمهای توزین در حال حرکت به صرفه اقتصادی می‌باشد. از آنجا که موضوع نحوه و میزان استفاده از سیستمهای توزین در حال حرکت از اهمیت قابل توجهی برخوردار است، آنچه که در این تحقیق بررسی خواهد شد نقش این سامانه در کاهش خسارات وارده از جمله کاهش هزینه‌های مربوط به تخریب روسازی راه و ابنیه فنی می‌باشد. بنابراین هدف آن است که مشخص گردد تا چه سطحی از بهره‌برداری از سیستم توزین در حال حرکت، صرفه اقتصادی با نصب و راه‌اندازی می‌باشد و در چه سطحی نیز با توجه به وضعیت هزینه‌های راه‌اندازی و

نگهداری نصب سیستم از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نمی‌باشد. روش کار به این صورت است که با محاسبه هزینه‌های نصب و راه‌اندازی و همچنین هزینه‌های نگهداری و تعمیرات سالیانه بهره‌برداری از سیستمهای یاد شده و عواید ناشی از آن در کاهش میزان خسارت وارده به سطح روسازی راهها از روش تجزیه و تحلیل نقطه سربه سری استفاده می‌شود بدین صورت که هزینه‌های این سامانه که شامل هزینه‌های نصب و نگهداری سالانه این سامانه است، با درآمد ناشی از آن که شامل کاهش خسارات وارده به راه می‌باشد، ارزیابی می‌گردد. بر اساس موارد فوق مدلی توسعه داده شده که از آن بتوان در محلهای متفاوت استفاده نمود و در محور اصفهان - نائین نیز مدل مورد استفاده قرار خواهد گرفت و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مروری بر ادبیات

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه نقش سیستم‌های توزین در حال حرکت در کاهش خسارت وارده به روسازی و ارزیابی اقتصادی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند انجام شده است. در سال ۲۰۱۱، تعداد وسایل نقلیه با اضافه‌بار، مقدار اضافه‌بار، نوع سنجش، متوسط ترافیک روزانه وسایل نقلیه سنگین و تعداد وسایل نقلیه اضافه‌بار با بیشتر از ۵ تن اضافه‌بار در سراسر کشور در طی ۶ ماه جمع‌آوری و با استفاده از روش مینیم انحراف از میانگین در گروه‌ها، تعداد گروه‌ها محاسبه و باتوجه به روش ward برای ترکیب داده‌ها، استفاده از روش خوشه‌بندی (Clustering)، عملکرد ایستگاه‌های توزین در ۱۶ گروه تقسیم‌بندی شد [۲]. در سال ۲۰۱۴ نیز با معرفی کردن روش آنالیز هزینه - سود، آن را به عنوان یک ابزاری برای ارزیابی پروژه‌ها به تصمیم‌گیران معرفی کرده‌اند. مؤلفان در این مقاله به ضعف‌های این ابزار پرداخته‌اند و برای رفع این اشکال، روش محاسبه ارزش اسقاطی را پیشنهاد داده‌اند [۳]. در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۳، سعی شده است تا با استفاده از نظریه آشوب، نسبت وسایل نقلیه‌ای که ممکن است اضافه‌بار داشته‌باشد، پیش‌بینی شود. تحلیل پیش‌بینی بر پایه فواصل زمانی مختلف یک، سه و هفت روز طبق فرآیند اعتبارسنجی و روش پیش‌بینی ارائه شده و نشان داده شده که استفاده از روش بی‌نظمی روشی مناسب برای پیش‌بینی تعداد وسایل‌نقلیه که ممکن است اضافه‌بار داشته باشند، است [۴]. در سال ۲۰۱۴، روشی کاراً برای تعیین بهترین مکان برای نصب سامانه WIM با استفاده از مدلهای ریاضی پیشنهاد شده است که هدف تعیین بهترین مکان برای نصب سامانه، به دست آوردن ماکزیمم تعداد کامیونهای که یک بار چک شوند و مینیمم کردن تعداد فعالیتهای غیر ضروری است. روش پیشنهادی شامل دو مرحله است: ۱. اجرای الگوریتم کوتاهترین مسیر ۲. به دست آوردن بهترین مکان برای نصب سامانه. نتایج حاکی از آن بود که روش پیشنهادی کارآمدتر بوده است [۵]. در مقاله‌ای در سال ۲۰۰۹، نشان داده شده است که ارزیابی اقتصادی پروژه‌های ITS در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای قابل انجام است. در این تحقیق مؤلفان با انجام مطالعه موردی و جایگزین کردن یک دستگاه اخذ عوارض مبتنی بر ITS با دستگاه نیمه اتوماتیک، نشان می‌دهند که این دستگاه‌ها علاوه بر مزیت‌هایی مانند صرفه‌جویی در زمان کاربر، کاهش آلودگی صوتی و آلودگی هوا، بهبود منظره شهر از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه هستند. در تحقیقی با استفاده از روش BCA (آنالیز منفعت- هزینه) نشان داده شده که استفاده از حمل‌ونقل هوشمند در برابر هزینه‌های بسیار گزاف شیوه‌های سنتی حمل‌ونقل جاده‌ای بسیار سودآورتر است [۶]. در سال ۲۰۰۲ اداره حمل‌ونقل مونتانا تحقیقی در زمینه WIMانجام دادند که هدف از آن تحقیق، استفاده از داده‌های WIM به عنوان ابزاری برای کنترل وزن، برای برنامه‌ریزی و هدایت فعالیت‌های مربوط به اجرای توزین وسایل نقلیه بود. مقایسه قبل و بعد از تکمیل تلاشهای اجرایی فعالیت بر اساس سامانهWIM نشان داد که خسارات وسایل نقلیه با بار اضافی به طور قابل توجهی کاهش یافته‌بود. تخریب روسازی ناشی از اضافه‌بار، ۳۱۵۰۰۰ دلار کاهش یافته‌است و درصد وسایل نقلیه با بار اضافی ۲۰٪ تقلیل یافته بود [۷]. در سال ۱۳۹۳، در مقاله‌ای به بررسی اثرات مثبت استفاده از سامانه‌های کنترل سرعت در کاهش تعداد تصادفات اعم از جرحی، فوتی و خسارتی پرداخته‌اند. این مطالعه ارزیابی اثرات دوربینهای کنترل سرعت و برخوردها را در محورهای محل نصب دربازه‌های زمانی یک سال قبل و یک سال بعد از نصب و راه‌اندازی سامانه‌های کنترل سرعت متوسط در محورهای کرمان- ماهان (هفت باغ)، کرمان – ماهان (بزرگراه قدیم)، بردسیر - باغین و دو راهی راین- ماهان بررسی می‌نماید[۸].

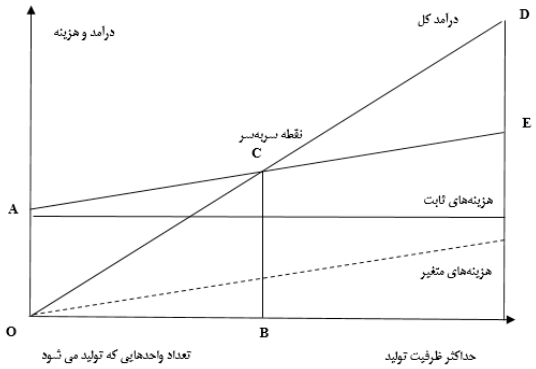
در مقاله‌ای با انجام ارزیابیهای قبل و بعد از اجرای سیستمهای حمل‌ونقل هوشمند اثبات کرده‌اند سرمایه‌گذاری در زمینه حمل‌ونقل هوشمند بازدهی مطلوب دارد. در این مقاله با مروری بر روش‌های مختلف ارزیابی اقتصادی پروژه‌های حمل‌ونقل هوشمند، به عنوان مطالعه موردی سیستم هوشمند پارکینگ لاله شهر تهران با استفاده از روش آنالیز چند معیاره ارزیابی شده است. نتایج حاصل شده حاکی از آن است که هوشمند سازی به میزان ۱۱٫۶٪ در میانگینی از معیارها از گزینه ی

عدم هوشمند سازی برتر است [۹]. همچنین در تحقیقی مشخص شده است که سیستمهای هوشمند حمل‌ونقل یا تکنولوژیهای نوین از قبیل الکترونیک، ارتباطات و سیستم‌های کنترل رایانه‌ای و تلفیق با علوم مهندسی ترافیک و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ابزارهای لازم برای کنترل و مدیریت را نیز فراهم ساخته‌اند. در این تحقیق شاخصهایی که در ارزیابی سیستمهای حمل‌ونقل هوشمند اثرگذار و از اهمیت بیشتری برخوردارند شناسائی و بکارگیری سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل به عنوان بهترین راه حل در جهت بهبود زیر ساختهای موجود حمل‌ونقل تعیین گردیده است. سپس نحوه ارزیابی فنی بر اساس معیارهای کمی و (B/C)، پروژه سیستمهای هوشمند حمل‌ونقل ارائه و با استفاده از روش تحلیل منفعت به هزینه از دیدگاه اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است، به طوری که سرمایه‌گذاری بر روی سیستمهای هوشمند حمل‌ونقل به منظور بهبود کارائی زیر ساختهای موجود از دیدگاه فنی و اقتصادی مثبت ارزیابی شده است [۱۰]. نتیجه نهایی این است که در واقع موضوع نظارت در مطالعات نصب تجهیزات هوشمند در کشور تقریباً به صورت جدی مورد بررسی قرار نگرفته است در مقاله پیش‌رو ارزیابی اقتصادی سامانه توزین در حال حرکت مورد بررسی قرار خواهد گرفت تا میزان بهره‌وری سامانه برای صرفه اقتصادی آن مشخص شود.

۳– تجزیه و تحلیل سربه‌سری پروژه‌ها:

هدف از تجزیه و تحلیل نقطه سربه‌سر تعیین سطح تولید یا بخشی از ظرفیت مورد نیاز بکار گرفته شده است، به طوری که درآمد کل برابر هزینه کل گردد. هزینه کل ترکیبی از هزینه‌های ثابت و متغیر می‌باشد [۱۱]. در این روش Q: مقداری که تولید و یا فروخته می‌شود، P: قیمت فروش هر واحد از محصول، F: کل هزینه‌های ثابت در کل دوره، V: هزینه متغیر به ازای واحد محصول. بنابراین درآمد و هزینه کل در هر سطح از تولید قابل محاسبه‌اند.

QP: درآمد کل و F + (QV)هزینه کل می‌باشند. محاسبات فوق می‌تواند برای هر سطح از تولید به کار گرفته شده و به صورت شکل ۱ رسم شود. با توجه به شکل می‌توان گفت همچنان که هزینه‌های ثابت در طی دوره مشخص ثابت می‌ماند، نمودار هزینه‌های کل موازی هزینه‌های متغیر خواهد بود. نقطه سربه‌سر در B رخ می‌دهد که درآمد برابر هزینه کل می‌شود، در هر سطح تولید پایین نقطه B زیان ایجاد می‌شود. این موضوع در شکل با ناحیه ACO مشخص شده است. حجم زیاد هم ایجاد شده در هر سطح تولید خاص، بخشی از ناحیه ACO خواهد بود و در هر سطح تولید بالاتر از B منفعت ایجاد می‌شود که در شکل با ناحیه CDE معین می‌شود که این حجم از منفعت در سطح تولید خاص (بالای B) به خاطر جمعی قابل حصول است.



شکل ۱: تعیین نقطه سربه‌سر

۴– نحوه تاثیر بار بر خرابی روسازی:

در طراحی راه‌ها سه پارامتر اصلی نوع بستر راه، طول عمر طرح و تعداد بار محوری معادل استاندارد مدنظر قرار می‌گیرد. در نتیجه اگر تعداد بار محوری معادل استاندارد بیشتر از بار پیش‌بینی شده از یک روسازی عبور کند، طول عمر طرح کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، قابلیت خدمت‌دهی روسازی کاهش پیدا می‌کند که منجر به تعمیر و نگهداری در کوتاه‌مدت می‌گردد. بر اساس این نمودار با ۱۰ درصد افزایش بار، میزان خرابی روسازی ۴۵ درصد افزایش می‌یابد [۱۲]. با محاسبه تعداد بار محوری غیر مجاز ($ESAL_{overloaded}$) به بار محوری مجاز ($ESAL_{Allowed}$) آن نسبت تخریب روسازی (M) محاسبه می‌شود که N-n عمر بهره‌برداری روسازی می‌باشد و n عمر تخریب روسازی می‌باشد.

$$\frac{ESAL_{Overloaded}}{ESAL_{Allowed}} = M \qquad (۱)$$

$$N \times (۱ - (M - ۱)) = N\text{-}n \qquad (۲)$$

۵– تبیین توسعه مدل ارزیابی اقتصادی اثربخشی سامانه توزین در حال حرکت:

برای ارزیابی اقتصادی طرح چند گام انجام شود. در گام اول محاسبه هزینه‌ها و منافع سالیانه حاصل از نصب سامانه (اطلاعات مربوط به هزینه‌های سامانه از طریق سازمان راهداری

جمع‌آوری شده است). گام دوم: تعیین عمر بهره‌داری روسازی از برابری هزینه‌ها و درآمدها. گام سوم: تعیین نسبت تخریب روسازی در نقطه سربه‌سر. گام چهارم: تعیین نسبت تخریب روسازی در در عمربهره‌برداری روسازی. گام پنجم: تعیین میزان نظارت سامانه بر روی بار محوری معادل غیر مجاز از طریق مقایسه نسبت تخریب روسازی در مرحله سوم و چهارم. این نکته قابل ذکر است که به دلیل عدم یکشان بودن عمر طراحی روسازی و عمر بهره‌برداری سامانه توزین در حال حرکت باید از روش ارزش یکنواخت سالیانه (NEUA) استفاده کرد.

۶– مطالعه موردی (سیستم توزین در حال حرکت در محور اصفهان – نائین)

در این پژوهش یکی از دستگاههای نصب شده در محور اصفهان- نایین مورد مطالعه قرار گرفته است.

در ابتدا باید طبق مدل مذکور در بخش قبل، به برآورد هزینه‌ها و درآمدهای ناشی از سامانه پرداخت:

طبق اسناد مناقصه خرید، نصب، راه‌اندازی، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری دستگاه توزین در حال حرکت (WIM) که از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای جمع‌آوری شده‌است، اطلاعات مربوط به این سامانه به شرح جدول شماره ۱ است:

- محاسبه هزینه سالیانه سامانه توزین در حال حرکت (C):

در این مطالعه نرخ بازگشت سرمایه (i)، ۸٪ در نظر گرفته شده است.

$$C = ۳۰۳.۳۷۹.۴۰۰F(A/P,۸\%,۴) + ۱۴.۰۴۰.۰۰۰ = ۴/۸۱.۰۸۶.۸۴۷ \quad (۳)$$

$$C = C_۱ \times F(A/P,i\%,۴) + C_۲$$

- محاسبه درآمد (کاهش هزینه‌های مربوط به تخریب روسازی) سالیانه حاصل از نصب سامانه توزین در حال حرکت (B) :

$$B = C_۳ \times F(A/P,i\%,N) \times F(P/A,i\%,n) \times F(A/F,i\%,N-n) \times KM \quad (۴)$$

$$B = ۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰ \times F(A/P,۸\%,۲۵) \times F(P/A,۸\%,n) \times F(A/F,۸\%,۲۵-n) \times ۶۰$$

- تعیین عمر بهره‌برداری روسازی (N-n):

در این مرحله هزینه سالیانه سامانه که ۸۱,۰۸۶,۸۴۷/۴ می‌باشد باید با درآمد سالیانه برابر قرار گیرد تا عمر بهره‌برداری روسازی مشخص شود.

$$C = B$$

$$۸۱.۰۸۶.۸۴۷/۴ = ۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰ \times F(A/P,۸\%,۲۵) \times F(P/A,۸\%,n) \times F(A/F,۸\%,۲۵-n) \times ۶۰$$

از معادله بالا عمر بهره‌برداری روسازی ۲۲,۵۹ محاسبه می‌شود.

- تعیین نسبت تخریب روسازی در عمر بهره‌برداری روسازی:

در این مرحله با استفاده از عمر بهره‌برداری روسازی که در مرحله قبل ۲۲,۵۹ محاسبه شد، نسبت تخریب روسازی از رابطه زیر محاسبه می‌شود: نسبت تخریب روسازی در این مرحله ۱,۰۹۶ بوده است.

$$۲ - \frac{N-n}{N} = M_۱(۵) \quad ۲ - (\frac{۲۲.۵۹}{۲۵}) = ۱,۰۹۶$$

- تعیین متوسط بار محوری هم‌ارز مجاز و غیرمجاز و تعیین نسبت تخریب روسازی:

در این مرحله اطلاعات به دست آمده توسط سامانه از سایت اصفهان، مورد محاسبه قرار می‌گیرد. به دلیل حجم زیاد اطلاعات، این داده‌ها برای یک دوره مشخص و به تعداد ۸۸۵۹ داده بوده‌است که از بین این تعداد وسیله‌نقلیه عبوری، ۴ نوع از آنها مورد مطالعه قرار گرفته است. که اطلاعات مربوط به آنها در جدول ذیل آمده است و سپس برای هر ۴ نوع از وسیله‌نقلیه، میانگین بار محوری مجاز و غیرمجاز مشخص می‌شود.

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال شانزدهم / زمستان ۱۳۹۵ / شماره ۶۷

جدول شماره ۱: اطلاعات مربوط به سامانه و روسازی

پارامتر	هزینه‌ها	مبالغ (تومان)
C_1	خرید سامانه توزین در حال حرکت	۲۶۰,۸۲۹,۴۰۰
	نصب و راه‌اندازی	۴۲,۵۵۰,۰۰۰
C_2	بهره‌برداری و نگهداری (سالیانه)	۱۴,۰۴۰,۰۰۰
C_3	هزینه اولیه احداث یا تجدید روسازی برای هر کیلومتر	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰

N	عمر طرح	۲۵ سال
KM	برد تقریبی تأثیر عملکرد دستگاه	۶۰ کیلومتر

جدول شماره ۲ : انواع وسیله‌نقلیه مورد مطالعه و کلاس و تعداد آنها

ردیف	نوع وسیله‌نقلیه	تعداد وسایل‌نقلیه
۱	کامیون ۲ محور سنگین	۷۲۰
۲	کامیون ۳ محور	۵۳۶
۳	تریلی ۵ محور ۱۲ چرخ	۲۲۷
۴	تریلی ۵ محور ۱۸ چرخ	۱۳۶۰

جدول ۳: محاسبه بار محوری مجاز و غیرمجاز انواع وسایل‌نقلیه در طول دوره

وسایل‌نقلیه	وضعیت	بار محوری (ضریب بار محوری استاندارد هم ارز)				
		۸ تن (۰,۹۳)	۱۳ تن (۷,۱۴۴)	۲۲ تن (۴,۷۹۹)		۲۴ تن (۱,۵۳۰)
کامیون ۲ محور	مجاز	۰,۱۸۳	۲,۶۵	–		–
	غیرمجاز	۰	۹,۰۴	–		–
کامیون ۳ محور	مجاز	۰,۱۹۶	–	۱,۴۶		–
	غیرمجاز	۱,۴۵	–	۵,۵۹۱		–
تریلر ۵ محور ۱۲ چرخ	مجاز	۰,۲۶۵	۳,۱۰۶	–		۰,۳۷۵
	غیرمجاز	۰,۹۵۲	۱۹,۲۶۴	–		۰
تریلر ۵ محور ۱۸ چرخ	مجاز	۰,۱۳۷	–	۰,۰۵۸۳	۰,۶۳۶۶	–
	غیرمجاز	۰	–	۷,۶۵۳	۶,۳۵۲	–

نسبت تخریب روسازی در این سال (M_2) از طریق فرمول شماره ۶ محاسبه می‌گردند.:

(۶)

$$\text{Average ESAL}_{\text{crossing allowed axis}} = ۰/۶۰۲$$

$$\text{Average ESAL}_{\text{crossing Overloaded axis}} = ۱۶/۸۰$$

$$\frac{\text{Average ESAL}_{\text{crossing allowed axis}} + \text{Average ESAL}_{\text{crossing overloaded axis}}}{\text{Average ESAL}_{\text{Total Allowed}}} = M_2$$

$$\frac{۰/۶۰۲ - ۱۶/۸۰}{۳/۴۷۵} = ۵/۰۰۷$$

- تعیین میزان نظارت سامانه برای توجیه پذیری نصب سامانه در محور اصفهان – نائین:

در مرحله قبل نسبت تخریب روسازی در عمر بهره‌برداری روسازی ۵/۰۰۷ محاسبه که در واقع برای توجیه‌پذیری نصب سامانه باید این تخریب به مقدار ۱/۰۹۶ برسد، بر این اساس باید میانگین بار محور غیرمجاز کمتر شود و این مقدار مورد قبول (X) از طریق شماره ۷ محاسبه می‌شود:

$$\frac{\text{Average ESAL}_{\text{crossing allowed axis}} + X}{\text{Average ESAL}_{\text{Total Allowed}}} = M_1 \qquad (۷)$$

$$\frac{۰/۶۰۲ + X}{۳/۴۷۵} = ۱/۰۹۶$$

$$X = ۳,۲۰۷$$

میانگین عبور بار محوری معادل غیرمجاز ($\text{Average ESAL}_{\text{crossing overloaded axis}}$) ۳,۲۰۷ باید باشد در صورتی که در واقعیت مقدار آن ۱۶/۸۰ شده است، پس اگر میانگین عبور محورهای معادل غیر مجاز به ۳/۲۰۷ باشد، هزینه‌ها و درآمدهای ناشی از سامانه برای متولیان حوزه حمل‌ونقل در محور اصفهان- نائین صرفه اقتصادی دارد. برای اینکه این میانگین عبور محورهای غیر مجاز به ۳/۲۰۷ برسد باید به میزان ۱۶/۸۰-۳/۲۰۷ کاهش یابد که برای تحقق این امر، نظارت توسط سامانه باید به $\frac{۱۶.۸۰ - ۳.۲۰۷}{۱۶.۸۰} = ۸۰/۹$ درصد برسد. در واقع اگر میزان نظارت توسط سامانه ۸۰/۹ درصد باشد میانگین عبور محورهای معادل غیرمجاز ۳/۲۰۷ خواهد شد و نسبت تخریب روسازی به ۱/۰۹۶ خواهد رسید که این نسبت تخریب روسازی و رسیدن عمر بهره‌برداری روسازی به ۲۲/۵۹ سال (با توجه به اینکه عمر طرح ۲۵ سال است)، نصب دستگاه دارای صرفه اقتصادی است چرا که با توجه به هزینه‌های مربوط به سامانه توزین در حال حرکت، بهترین بهره‌برداری را از سامانه داشته باشند که این میزان بهره‌برداری از سامانه، تخریب روسازی را به میزانی می‌رساند که متولیان ضرری را هم نسبت به هزینه‌های مربوط به احداث یا تجدید روسازی و هم هزینه‌های مربوط به سامانه توزین در حال حرکت متحمل نشوند.

۶– ۱– تجزیه و تحلیل حساسیت:

همان گونه که از آنالیز حساسیت در نقطه سربه‌سر که در جدول شماره ۴ خلاصه آنها ارایه شده است، به دست آمده است با تغییر عوامل ورودی پروژه، عمربهره‌داری روسازی، میزان تخریب روسازی، میانگین عبور محورهای معادل غیر مجاز و از همه مهم‌تر میزان نظارت انجام شده توسط سامانه توزین در حال حرکت تغییر می‌کند. اما آنچه که به راحتی می‌توان از این جداول به دست آورد این است که با توجه به هزینه‌ها، در نقطه سربه‌سر هر چقدر عمر بهره‌برداری روسازی بیشتر باشد، میانگین عبور محورهای معادل غیر مجاز کمتر و میزان نظارت بیشتری از سامانه‌ها انتظار می‌رود.

جدول شماره ۴ : آنالیز حساسیت نقطه سربه‌سر با تغییر پارامترهای حساس

پارامتر حساس	مقدار (میلیون)	(C)	(N-n)	(M_1)	(X)	میزان نظارت (درصد)
هزینه خرید	۴۰۰	۱۰۲,۴۴۰,۰۰۰	۲۲,۰۵	۱,۱۱	۳,۲۸	۸۱,۱۶
	۲۵۰	۶۹,۲۹۰,۰۰۰	۲۲,۹۰	۱,۰۸	۳,۱۶	۸۰,۴۵
هزینه بهره‌برداری	۱۳	۸۰۰۴۶۸۴۷,۴	۲۲,۶۱	۱,۰۹۵	۳,۲۰۳	۸۸,۸۰
	۱۵	۸۲۰۴۶۸۴۷,۴	۲۲,۵۶	۱,۰۹۷	۳,۲۱۱	۸۰,۹۲
احداث یا تجدید روسازی	۵۰۰	۸۱,۰۴۶,۸۴۷	۲۳,۰۲	۱,۰۷	۳,۱۴۷	۸۱,۲۶۶
	۳۰۰	۸۱,۰۴۶,۸۴۷	۲۱,۹۱	۱,۱۲	۳,۳۰۲	۸۰,۳۴

۷- نتیجه‌گیری

سامانه‌های توزین در حال حرکت به عنوان یکی از سامانه‌های نظارتی در قالب سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند با وجود مزایای قابل توجهی که در کاهش خسارات وارده به روسازی دارد، متولیان حوزه حمل‌ونقل را سالیانه با مبالغ زیادی جهت نصب، راه‌اندازی و نگهداری آن روبرو می‌کند. در این پژوهش مشخص شد که میزان استفاده از دستگاه نصب شده به چه نحوی محاسبه شود تا هزینه‌های ناشی از نصب و راه‌اندازی با منافع مادی حاصل از بهره‌برداری این سامانه‌ها قابل توجیه شود. بدین ترتیب با استفاده از ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها و از روش نقطه سربه‌سر میزان بهره‌برداری از سامانه به منظور صرفه اقتصادی آن محاسبه شد و در انتها نیز نتایج زیر حاصل بدست آمد:

۱. سامانه‌های توزین در حال حرکت به عنوان یکی از ابزارهای نظارتی در قالب سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جهت کاهش اضافه‌بار استفاده می‌شود که در نتیجه منجر به کاهش تخریب روسازی می‌شود.

۲. با توجه به اینکه متولیان حوزه حمل‌ونقل سالیانه هزینه‌های زیادی را در خصوص استفاده از سامانه توزین در حال حرکت متحمل می‌شوند، توجیه اقتصادی استفاده از این سامانه منوط به افزایش نظارت توسط این سامانه به میزانی است که هزینه‌ها و درآمدها سربه‌سر شوند.

۳. میانگین تردد‌های محورهای غیرمجاز با توجه به افزایش نظارت سامانه در نقطه سربه‌سر کاهش می‌یابد.

۸- منابع

۱. فراست، مرضیه.، ذکرالهی، محمد.، سیستم توزین در حال حرکت، آیا تکنولوژی موثر در ایران است؟، ۱۳۹۳، نخستین همایش سیستمهای حمل‌ونقل هوشمند جاده‌ای، تهران، ص ۱.

2. Mahmoudabadi, A., Abolghasem,A., (2011). A Cluster-Based Method for Evaluation of Truck's Weighing Control Stations. in: Clara M. Ionescu (Ed.), MATLAB — A Ubiquitous Tool for the Practical Engineer, Book Chapter 7, ISBN: 978-953-307-907-3

3. Elsevier, 2014, Transport infrastructure project evaluation using cost-benefit analysis, Lisbon, Portugal.

4. Journal of Engineering, 2013, Application of Chaos Theory in Trucks' Overloading Enforcement, Hindawi Publishing Corporation.

5. Elsevier, 2013, Improving the efficiency of weigh in motion systems through optimized allocating truck checking oriented procedure.

6. Odeck, J., Welde, M., (2009). Economic evaluation of intelligent transportationsystems strategies: the case of the Oslo toll cordon .IET Intelligent Transport Systems

7. Stephens, J., Carson, J., Hult, D., Bisom, D., 2002, Infrastructure Preservation Using WIM Coordinated Weight Enforcement. the 82st Annual TRB Meeting, ……

۸. میرحسینی، محمد.، عبداللهی، علی.، جمیلی، مسعود.، ارزیابی اقتصادی سامانه‌های کنترل سرعت متوسط از دیدگاه سرمایه گذاری مطالعه موردی استان کرمان، ۱۳۹۳، نخستین همایش سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جاده‌ای، تهران، ص ۱.

۹. افندی زاده زرگری، شهریار.، خضراییان، سمانه.، دهقانی، نازلی.، ارزیابی منافع و هزینه‌های سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، ۱۳۹۱، یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، ص ۱.

۱۰. نقوی، رضا.، سیدحسینی، سید محمد.، ارزیابی اقتصادی و فنی کاربرد ITS در سیستم حمل‌ونقل شهری، ۱۳۹۰، دهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، ص ۱.

۱۱. اقتصاد مهندسی و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری، ۱۳۹۳، سید حسینی، سید محمد.، مرتضی، آموزگار.، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ص ۲۸۹-۲۹۰.

12. Pavement Analysis and Design, 2004, Huang, Y.H, 2nd Edition, Pearson Prentice Hall.

A benefit-cost analysis method to determine the rate of overloaded vehicle enforcement (Case Study: Esfahan – Naein)

[1]Razieh Akbari , [2]Abbas Mahmoudabadi

1-Industrial Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
2-Ph.D., Director, Master Program in Industrial Engineering, MehrAstan University, Gilan, Iran

Abstract

Weigh In Motion system (WIM) is known as an important component of ITS, its usage is increasingly to be applied for axle load enforcement. Huge investment in construction and maintenance of pavement leads policy makers to tackle overloading using weigh in motion systems. Installing weight in motion system is a high investing constructive project in terms of needed special pavement, electronic devices, and data transferring device and human resource to overloading reduction and save pavement condition in proper situation. Following the above mentioned, it is necessary to be a trade-off consideration between pavement cost repairing and installing weigh in motion system. So in this research will be presented on the basis of break-even at the cost of purchase, installation, operating and maintenance costs of the system and saves the cost to repair the pavement as the top model in terms of income. The average overloaded axles under enforcement performed by authorities to tackle overloading is studied a criterion and the proposed model determines the minimum average overloaded axes in which installing WIM would be an economic project. Although, the proposed model is designed as a parametric pattern, but an installed WIM system has been selected as case study and the number of required enforcement calculated. Results of this study will help decision-makers in the field of transport, as in the operation of WIM to achieve a balance between costs and revenues from it the right decision to take.

Key words: Intelligent Transport System, Weigh in Motion, break-even