بررسی‌تأثیر تردد ناوگان باری دارای‌اضافه تناژ برکاهش طول عمر روسازی‌های انعطاف‌پذیر با استفاده از اطلاعات سامانه‌های توزین حین حرکت

مقاله علمی- پژوهشی

جلال ایوبی نژاد*، استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، ایران
نصیر برادران رحمانیان، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، ایران
آرمین جراحی، استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خیام، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: j.ayoubinejad@pnu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۰- پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵
صفحه ۱۸۶-۱۷۷

چکیده

حمل اضافه بار، باعث آسیب به راه‌ها و ابنیه راه همچون پل‌ها می‌گردد و شبکه راه‌های کشور را که با صرف هزینه‌های زیاد ساخته شده‌اند دچار اضمحلال سریعتری می‌کند. اضافه بار بیش از ظرفیت اصلی و استاندارد وسایل نقلیه ، یکی از عوامل موثر در آسیب و خسارت وارده به راهها، ابنیه، پل‌ها و زیر سازی آسفالت و شبکه راهها می باشد که این موضوع باتوجه به هزینه‌های سنگین اجرای آسفالت معابر ، باعث خسارت و کاهش عمر روسازی می‌گردد. به طور کلی پدیده اضافه تناژ وسایل نقلیه باری معمولاً در کشورهای در حال توسعه ای رایج است که اقدامات کنترل ترافیک در سطح ضعیفی انجام می گیرد. در راههای کشور طبق بررسی های صورت گرفته پیش بینی می شود به طور متوسط حداقل بین ۵ تا ۱۰ درصد از کامیونهایی که تردد می‌نمایند با شرایط تناژ اضافه بر ظرفیت مواجه باشند که این موضوع یکی از فاکتورهای مهم کاهش عمر سرویس روسازی راه‌ها می‌باشد. در این مقاله نتایج آنالیز داده‌های به دست آمده از سیستم توزین حین حرکت (WIM)[1] و تأثیر تردد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ بر عمر روسازی ارایه شده است. براین اساس به عنوان یک روش جدید با محاسبه بارهای محوری هم ارز و فاکتور خسارت به روسازی راه (DF)[2]، برای نخستین بار در کشور، عمر سرویس باقیمانده روسازی با لحاظ نمودن ترددهای اضافه بر ظرفیت ناوگان باری تخمین زده شده است. تجزیه و تحلیل نشان داد که فاکتور خسارت به راه بدست آمده از اطلاعات WIM به میزانی است که منجر به کاهش عمر سرویس سازه روسازی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اضافه تناژ، طول عمر روسازی، توزین حین حرکت

۱- مقدمه

تردد ناوگان باری دارای اضافه تناژ در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به این دلیل که متحمل هزینه‌های بالایی در بخش‌های نگهداری و ترمیم راه‌های خسارت دیده می‌شوند به یک پدیده و معضل بسیار جدی تبدیل شده است. حمل بار اضافه بر ظرفیت مجاز توسط کامیون‌ها نه فقط بدلیل هزینه‌های بالا بلکه از حیث ایمنی و مسائل زیست محیطی نیز حائز اهمیت است هرچند در بسیاری از مطالعات، این پدیده را یکی از ویژگی‌های اجتناب ناپذیر یک اقتصاد در حال توسعه قلمداد می‌نمایند (Ying Chuen Chan,2008).

از بررسی سوابق مطالعاتی انجام شده در این خصوص سه نکته قابل ذکر استخراج می‌شود: ابتدا اینکه اضافه تناژ ناوگان باری نوعی پیامد اجتناب ناپذیر از رشد اقتصادی می‌تواند باشد و بسیاری از کشورهای توسعه یافته با این پدیده قبل از توسعه و شکوفایی اقتصادی مواجه شده‌اند. دوم اینکه مشکل اضافه تناژ وسایل نقلیه باری بطور کامل حذف نمی‌شود همانطور که به عنوان یک حقیقت در سیستم حمل و نقل و

ترافیک کشورهای توسعه یافته نظیر ایالات متحده و کانادا موجود و مشهود است. هرچند که درصد تخلفات اضافه تناژ در اینگونه کشورها ۲ تا ۵ درصد است ولیکن در کشورهای در حال توسعه به میزان درصد قابل توجهی از کل تردد ناوگان باری می‌رسد. سوم اینکه تنها راه کنترل این پدیده، اقدامات نظارتی، اعمال قانون و آموزش می‌باشد (Ying Chuen Chan,2008). در ایران نیز به دلیل اهمیت موضوع و در راستای تقویت اقدامات نظارتی، سیستم‌های توزین حین حرکت (WIM) که قابلیت توزین وسایل نقلیه بدون نیاز به توقف آنها در طول مسیر را دارا می‌باشند برای اولین بار در سال ۱۳۸٦ در ۸ محور و سپس به تدریج در محورهای شریانی و مهم دیگر در سطح راه‌های کشور مورد نصب و بهره برداری قرار گرفته است. لذا، باتوجه به انتخاب یک محور به عنوان نمونه و دسترسی به اطلاعات موردنیاز، تجزیه و تحلیل داده‌های ثبت شده توسط WIM به منظور تعیین میزان عمر سرویس کاهش یافته در روسازی‌های انعطاف پذیر در اثر تردد ناوگان دارای اضافه تناژ به عنوان هدف اصلی این تحقیق انتخاب گردید.

۲- پیشینه تحقیق

برخی از مطالعات صورت گرفته در ارتباط با وسایل نقلیه باری دارای تناژ اضافه بر ظرفیت بر محاسبات فاکتور خسارت وسایل نقلیه (DF) و نیز آنالیزهای عمر سرویس باقیمانده روسازی راه و برخی دیگر بر روی آنالیز هزینه‌های از دست رفته در اثر اضافه تناژ متمرکز شده‌اند. این مطالعات (Pais, Amorim and Minhoto,2015)، بیشتر بر مبنای داده‌های ایستگاههای توزین و وزن ناخالص خودروها انجام شده است. از طرفی بطور محدود تحقیقاتی بر پایه آنالیز داده‌های سیستم‌های توزین حین حرکت صورت گرفته است که از طریق این تجزیه و تحلیل، داده‌های ترافیکی می‌توانند بار واقعی را نشان داده و نتیجه بهتری را در مقایسه با مطالعات قبلی ارایه دهند. از آنجا که مبنای مطالعه در این مقاله آنالیز داده‌های سیستم توزین حین حرکت (WIM) نصب شده در کشور (با انجام مطالعه موردی) می‌باشد. لذا، بطور خلاصه به بررسی چند مطالعه صورت گرفته با این متدولوژی پرداخته می‌شود. در مطالعه آنالیز تردد کامیون‌های اضافه تناژ در اندونزی که با مطالعه موردی راه ملی سوماترا شرقی انجام شد (Jihanny, Subagio and Hariyadi,2018)، خروجی‌های WIM جهت تخمین اثر اضافه تناژ بر سازه روسازی استفاده شد. تقریبا از ۸۰ هزار تردد کامیون ثبت شده و از آنالیز صورت گرفته مشخص شد کل کامیون‌های دارای اضافه تناژ حداقل ۳۰ درصد می باشد و مشخص شد که مقدار DF بدست آمده از WIM تقریباً بزرگتر از میزان استاندارد آن در راه‌های اندونزی می‌باشد و کامیون‌های دارای اضافه تناژ در کاهش عمر سرویس روسازی به طور قابل توجهی موثر هستند.

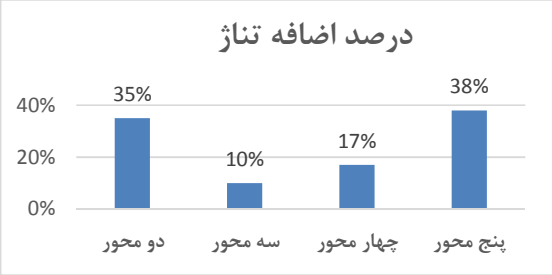
در مطالعه دیگری تحت عنوان تأثیر تردد ناوگان اضافه تناژ بر هزینه طول عمر روسازی‌های انعطاف پذیر در لهستان (Rys,Jaskula,2018) داده‌های WIM مورد استفاده قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد درصد بارگیری بیش از حد ظرفیت مجاز از ۵ درصد در راه‌های با سطح کنترل بالا تا ۲۳ درصد در راههای با سطح پایین کنترل متغیر است. در این تحقیق رابطه بین مقادیر متوسط فاکتورهای هم ارز و درصد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ مشخص شد و این رابطه به عنوان پایه و اساس تعیین اثر اضافه تناژ بر روی کاهش عمر خستگی سازه روسازی و افزایش فاکتوری که بیان کننده توسعه و افزایش دوره خدمت روسازی است مورد استفاده قرار گرفت و بررسی‌های لازم نشان داد که کاهش درصد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ از ۲۳ به ۵، به افزایش دوره خدمت روسازی با ضریب ۱,۵ و کاهش هزینه عمر روسازی تا حدود ۱۱ درصد کمک خواهد کرد. در تحقیق دیگر تحت عنوان تخمین اثر تردد کامیون‌های دارای اضافه بار بر عمر روسازی که در یکی از محورهای اصلی کشور نیجریه انجام شده است (O.Olufemi,2020) با روش تبدیل بارهای محوری به بارهای تک محور و محاسبه فاکتور خسارت و مقایسه با استاندارد ملی بزرگراه‌های این کشور، عمر باقیمانده روسازی راه محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل در این تحقیق نشان داد که فاکتور خسارت به دست آمده بسیار بالاتر از ضریب خسارت استاندارد ملی بوده و حدود ۱۰/٤۸ سال از عمر طراحی روسازی راهها در اثر اضافه تناژ ناوگان باری کاسته می‌شود و بدان معناست که عمر مفید روسازی که برای ۱۵ سال طراحی شده است پس از حدود ٤ سال و ٦ ماه از بهره‌برداری رو به اضمحلال می‌رود. در مطالعه اضافه تناژ و عمر روسازی راه بر روی یک راه تفکیک شده در کشور نپال (K.Ojha,

2018)، برای جهت مورد بررسی به دلیل شرایط بارگیری مشخص شد که عمر روسازی در اثر تردد ناوگان دارای بار اضافه بر ظرفیت مجاز تا ۵۹/۹ درصد کاهش می‌یابد در حالیکه در جهت مخالف عمر مفید تغییری نمی‌کند. از طرفی دیگر مشخص شد که بار ترافیک عبوری استاندارد در محور مورد مطالعه در طول ۱۰ سال معادل ۳٤/۲ میلیون ESAL می باشد که این تعداد در شرایط عبور وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ در مدت ٤/۱۰ سال بدست می‌آید و به معنی کاهش ۵/۹۰ سال از عمر روسازی راه است. در مطالعه بعدی با عنوان متدولوژی بررسی اثر اضافه تناژ بر روسازی و طراحی ضخامت کلی آن که در کشور هند انجام شد (S.Kumar1, 2020)، هدف بررسی اثر تردد ناوگان دارای اضافه تناژ در طراحی ضخامت روسازی می‌باشد که در این راستا فاکتورهای بار محوری معادل و خسارت محاسبه شده و به لحاظ جبران بخشی از میزان کاهش عمر روسازی در اثر اضافه تناژ وسایل نقلیه موارد لازم در طراحی ضخامت روسازی مدنظر قرار گرفته است.

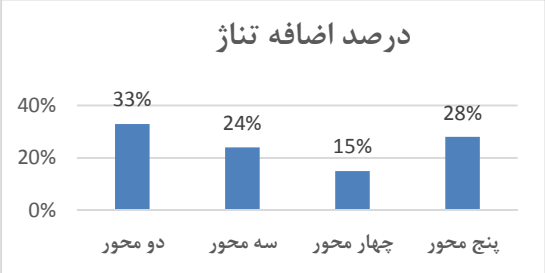
در آخرین مطالعه بررسی شده (D.Rys, 2015) با عنوان تجزیه و تحلیل اثر وسایل نقلیه با تناژ اضافه بر عمر روسازی انعطاف پذیر بر اساس داده‌های سیستم توزین حین حرکت، داده‌های ۸ ایستگاه WIM در کشور لهستان مورد بررسی قرار گرفت. مدل رگرسیون ضریب هم ارز بار باتوجه به توزیع بار محوری و درصد وسایل نقلیه باری محاسبه گردید و آنالیز صورت گرفته نشان داد که افزایش درصد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ تا ۲۰ درصد می تواند عمر روسازی راه را تا ۵۰ درصد کاهش دهد.

۳- اطلاعات موردنیاز جهت تحلیل

جهت انجام این مقاله و در بخش بررسی وضعیت موجود، از داده‌های ثبت شده توسط دو ایستگاه (سایت) WIM در استان خراسان رضوی برای انجام تجزیه و تحلیل استفاده می‌شود. سیستم مورد بهره برداری بصورت طبقه بندی شده برای انواع مختلف وسایل نقلیه باری می‌باشد. اطلاعات مربوط به داده‌های ثبت شده در سامانه توزین حین حرکت مذکور و مدت زمان ثبت و اندازه گیری داده‌ها در جداول ۱و۳ آورده شده است (Performance Report, 1398, in Persian). اطلاعات درنظر گرفته شده در این مطالعه مربوط به سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ می‌باشد. سنسورهای WIM در مسیرهای شادمهر-گناباد و باغچه-نیشابور در یک جهت ترافیکی نصب شده است و لذا تجزیه و تحلیل داده‌های ترافیکی و اضافه تناژ برای یک جهت حرکتی صورت گرفته است. داده‌های خام به دست آمده از سامانه WIM به تفکیک هر وسیله نقلیه شامل پارامترهای ساعت و تاریخ، وزن کل وسایل نقلیه، میزان کل اضافه بار، تعداد محور و اضافه بار محوری می‌باشد. همانطور که در جداول ۱و۳ نشان داده شده است در محور شادمهر-گناباد در کل تعداد ۱۱۵۸۵۳۹ عبور و در محور باغچه-نیشابور تعداد ۳۷۹۰٤۷۲ وسیله نقلیه در انواع خودروها از جمله سواری، وانت و سنگین باری و مسافری ثبت شده است که در محور اول تعداد ۱۸٦۹۹۰ و در محور دوم تعداد ٤۰۱۳۸۳ عبور مربوط به رکورد کامیون‌ها می‌باشد. درصد کامیون‌های دارای اضافه تناژ با شناسایی و تعیین بار محوری هریک از وسایل نقلیه که بیش از حداکثر میزان مجاز است تخمین زده شده است. هریک از انواع ناوگان باری دارای درصد متفاوتی از اضافه تناژ می‌باشند. در شکل‌های ۱و۲ ، درصد کامیون‌های دارای اضافه تناژ به تفکیک هریک از انواع آن در مدت زمان و محل‌های مورد بررسی (محور شادمهر-گناباد و محور باغچه-نیشابور) نشان داده شده است.



شکل۱. درصد خودروهای اضافه تناژ به تفکیک نوع وسیله نقلیه براساس داده‌های سامانه WIM شادمهر (۱۳۹۷)



شکل۲. درصد خودروهای اضافه تناژ به تفکیک نوع وسیله نقلیه براساس داده‌های سامانه WIM نیشابور (۱۳۹۸)

٤- بررسی اثر تردد ناوگان با تناژ اضافه بر روسازی راه

بررسی‌های آماری بر روی داده‌های ثبت شده توسط سامانه WIM نشان می‌دهد که در برخی از ناوگان باری که در مدت یک سال تردد داشته‌اند وزن ناخالص خودرو از حد مجاز قانونی آن بیشتر بوده است. در برخی دیگر فقط بارهای محوری (محور تک، محور تاندوم یا محور تریدم) نیز از حد مجاز قانونی آن بزرگتر بوده است و در بخشی دیگر از ناوگان هم وزن کل ناخالص و هم بار محوری از حد مجاز بیشتر است.

٤-١- فاکتور خسارت

فاکتور خسارت وسیله نقلیه (DF)، اثر مخرب یک کامیون را بر روی سازه روسازی مشخص می‌کند و به شکل معادله توان چهارم در رابطه ۱ جهت تعیین تعداد محورهای هم ارز استاندارد برای هر وسیله نقلیه و هر نوع محور (تک، تاندوم و تریدم) جداگانه تعریف و محاسبه می‌شود (Jihanny, Subagio and Hariyadi,2018).

$$DF = K(\frac{Q_j}{Q_s})^4 \quad (۱)$$

که در آن:

DF: فاکتور خسارت

Qj : بار واقعی

Qs : بار محوری تک استاندارد ۸/۲ تنی

K: برابر ۱ برای محور تک، ۰/۰۸٦ برای محور تاندوم و ۰/۰۵۳ برای محور تریدم

٤-٢- عمر سرویس

برای محاسبه تأثیر اضافه تناژ ناوگان باری بر سازه روسازی، می‌توان عمر سرویس باقیمانده روسازی راه محاسبه نمود. عمر باقیمانده سرویس (RSL)[۳] به عنوان تخمینی از کل سالهایی که یک روسازی از لحاظ عملکردی و سازه‌ای در شرایط عادی صرفاً از طریق نگهداری روتین و نرمال باشد تعریف می‌شود (Jihanny, Subagio and Hariyadi,2018) و از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. (D. Gedafa et al., 2010).

$$RSL = \frac{CESAL_S}{CESAL_O} * DL \quad (۲)$$

که در آن:

RSL: عمر سرویس باقیمانده روسازی (سال)

DL : عمر طراحی روسازی (سال)

CESALs : جمع بارهای محوری هم‌ارز در حالت استاندارد

CESALo : جمع بارهای محوری هم‌ارز در حالت اضافه تناژ.

برای محاسبه عمر سرویس باقیمانده روسازی ابتدا بایستی جمع بارهای محوری هم ارز در دوحالت استاندارد (فاقد اضافه تناژ) و دارای اضافه تناژ محاسبه نمود. بدین منظور تعیین ضرایب بار هم ارز به تفکیک هریک از انواع وسایل نقلیه‌ای که تردد آنها در سیستم WIM ثبت شده است ضروری می‌باشد تا از حاصلضرب ضریب بار هم ارز در حجم تردد هر نوع وسیله نقلیه ESAL[٤] محاسبه شود. همچنین باتوجه به رابطه RSL، میزان کاهش عمر سرویس روسازی در اثر تردد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ را می توان از ضریب DSL[٥] طبق رابطه ۳ تعریف نمود. به عبارتی، فاکتور DSL تخمین می‌زند که چگونه افزایش درصد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ باعث کاهش عمر سرویس روسازی می‌شود.

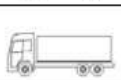
$$DSL = 1 - \frac{CESAL_S}{CESAL_O} \quad (۳)$$

رابطه بین ضریب DSL و درصد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ از کل تردد ناوگان باری ثبت شده که از چند مطالعه صورت گرفته در این خصوص حاصل شده در شکل ۷ نشان داده شده است (Jihanny, Subagio and Hariyadi,2018) و (Wang, Zhao, Zilong,2015).

در مطالعات صورت گرفته، از شکل مذکور نتیجه گرفته شده است که اگرچه از سه روش متفاوت برای تعیین تأثیر درصد وسایل نقلیه اضافه تناژ بر روی فاکتورهای هم ارز بار استفاده شده است. اما، نتایج پارامتر یا ضریب DSL تقریبا مشابه می‌باشد. بر این اساس افزایش درصد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ بطور کلی تا ۲۰ درصد، منجر به کاهش عمر سرویس روسازی از ٤۰ درصد تا ٦۰ درصد می‌شود.

۵-مطالعه موردی محورهای شادمهر-گناباد و باغچه-نیشابور

همانگونه که در بخش قبل اشاره شد در مطالعه موردی صورت گرفته، ایستگاه‌های WIM واقع در محورهای شادمهر-گناباد و باغچه-نیشابور جهت بهره‌برداری از اطلاعات ناوگان باری دارای بار اضافه بر ظرفیت مجاز مدنظر قرار گرفته است. با توجه به تنوع وسایل نقلیه، همانگونه که قبلا اشاره شد ناوگان باری متردد و ثبت شده در محورهای فوق الذکر در چهار کلاس یا طبقه براساس تعداد محور، مورد بررسی قرار گرفتند. در شکل ۳ حداکثر بار مجاز برای هر محور به تفکیک کلاس وسیله نقلیه براساس آخرین ضوابط مشخص شده است (Pavement Regulations,1390 in persian). محدودیت بار کل خودرو، براساس جمع کل حداکثر بار برای هر محور است. محدودیت‌های ارائه شده در این شکل برای تعریف اضافه بار در نظر گرفته شده در این مقاله استفاده می‌شود که در آن وسیله نقلیه دارای اضافه تناژ حداقل دارای یک محوری با وزن بیشتر از حد مجاز در قانون می باشد. هریک از وسایل نقلیه باری عبوری و ثبت شده در سامانه توزین حین حرکت محورهای مورد مطالعه دارای میزان متفاوتی از اضافه تناژ محوری می‌باشند که به ترتیب در شکلهای ٤ و٥ جهت مشخص شدن حدود وضعیت اضافه تناژهای عبوری به تفکیک هر دسته از چهار نوع ناوگان باری مورد بررسی، حداکثر میزان بار محوری ثبت شده نشان داده شده است.

کلاس وسیله نقلیه		حداکثر بار محوری مجاز (تن)				
		محور یک	محور دو	محور سه	محور چهار	محور پنج
دو محور		٦	١٣	-	-	-
سه محور		٦	١٠	١٠	-	-
چهار محور		٦	١٠	٨	٨	-
پنج محور		٦	٨	٨	٩	٩

شکل۳.حداکثر بار محوری مجاز به تفکیک کلاس وسیله

کلاس وسیله نقلیه		حداکثر بار محوری ثبت شده (تن)				
		محور یک	محور دو	محور سه	محور چهار	محور پنج
دو محور		٧/٧	١٨/٣	-	-	-
سه محور		٨/١	١٧/٥	١٦/٨	-	-
چهار محور		٨/٣	١٦/٤	١٢/٥	١٢/٢	-
پنج محور		٨/٧	١٧/٨	١٣/١	١٦/٩	١٥/١

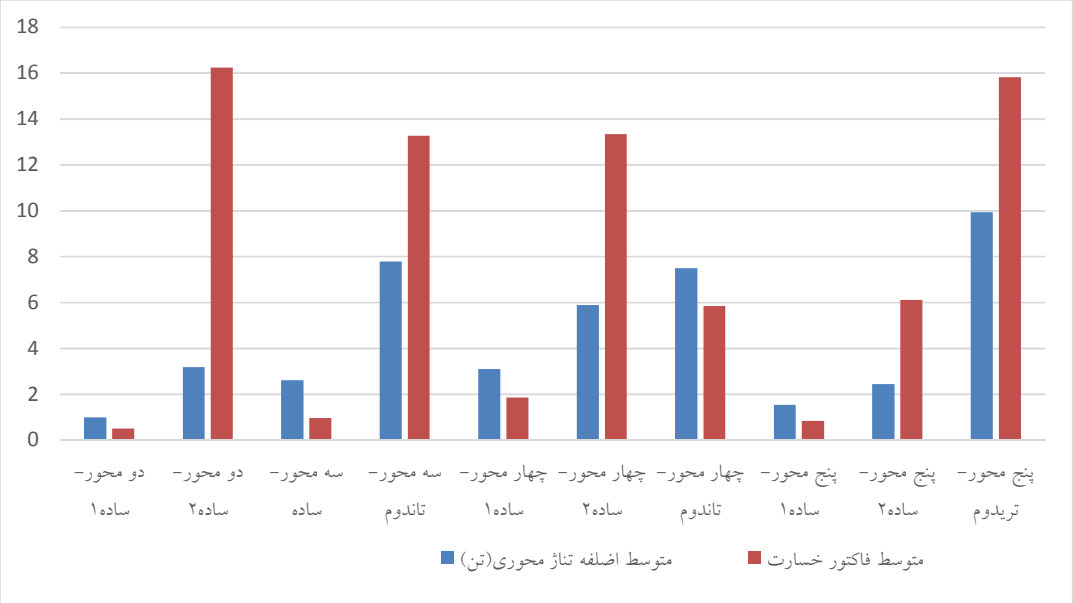
شکل٤. حداکثر بار محوری ثبت شده در سامانه شادمهر

کلاس وسیله نقلیه		حداکثر بار محوری ثبت شده (تن)				
		محور یک	محور دو	محور سه	محور چهار	محور پنج
دو محور		٧/٣	١٧/٩	-	-	-
سه محور		٧/٩	١٧/٢	١٧/٨	-	-
چهار محور		٨/١	١٧/٥	١٣/٤	١٣/١	-
پنج محور		٧/٩	١٦/٩	١٤/٨	١٧/١	١٦/٤

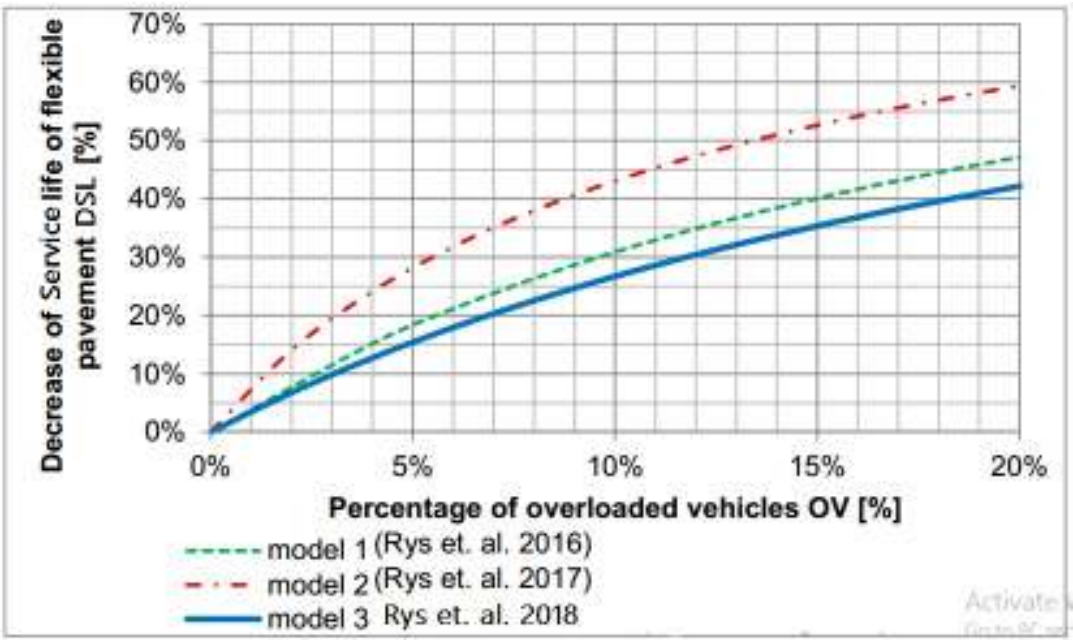
شکل۵. حداکثر بار محوری ثبت شده در سامانه نیشابور

٦-تحلیل نتایج

باتوجه به آنالیز اطلاعات سامانه‌های شادمهر و نیشابور، در مجموع دو محور متوسط فاکتور خسارت و متوسط میزان اضافه تناژ محوری به تفکیک محورهای تک، تاندوم و تریدم در هر نوع وسیله نقلیه در شکل ٦ نشان داده شده است. آنچه در نمودار این شکل به وضوح قابل مشاهده است این است که افزایش میزان اضافه تناژ محوری سبب افزایش فاکتور خسارت می‌شود با این توضیح که تناژ غیرمجاز بالاتر در محورهای ساده دوم همه انواع کامیون‌ها و در محور تاندوم کامیونهای سه محور، فاکتور خسارت بیشتری را به دنبال خود خواهد داشت. در ادامه جهت محاسبه عمر سرویس باقیمانده، جمع بارهای محوری هم ارز در دو حالت استاندارد و اضافه تناژ محاسبه شد که در جداول ۲ و ٤ به تفکیک انواع وسایل نقلیه ارایه شده است. فرضیات درنظر گرفته شده جهت تعیین پارامترهای موردنیاز شامل عدد ضخامت ۵، pt برابر ۳ و دوره طراحی ۱۵ سال می‌باشد.



شکل۶. متوسط فاکتور خسارت و اضافه تناژ محوری به تفکیک نوع وسیله نقلیه باری در مجموع دو محور



شکل۷. رابطه بین ضریب DSL و درصد وسایل نقلیه دارای اضافه تناژ

جدول۱. اطلاعات تردد وسایل نقلیه ثبت شده در سامانه‌های WIM و ترددشمار (محور شادمهر-گناباد- ایستگاه WIM)

ایستگاه WIM	دوره زمانی	کل تردد انواع وسایل نقلیه (یک جهت)	کل تردد انواع ناوگان باری	درصد ناوگان سنگین باری	تعداد ناوگان باری دارای اضافه تناژ	درصد ناوگان باری دارای اضافه تناژ
شادمهر	۱۳۹۷	۱/۱۵۸/۵۳۹	۱۸۶۹۹۰	٪۱۶	۱۰۶۳۲	٪۵

جدول ۲. اطلاعات ترافیکی و محاسباتی به دست آمده از داده‌های ثبت شده در سامانه توزین حین حرکت شادمهر

وضعیت	نوع وسیله نقلیه	حجم تردد (وسیله نقلیه)	ضریب بار هم ارز	ESAL	ESAL در یک جهت و با احتساب ضریب توزیع ترافیک
استاندارد (فاقد اضافه تناژ)	سواری و وانت	۱۸۵۷۳۸۲	۰/۰۰۰۷۶	۱۴۱۲	۶۳۵
	کامیونت و مینی بوس	۳۵۶۴۷	۰/۰۴۱۲۲	۱۴۶۹	۶۶۱
	اتوبوس	۵۰۰۶۸	۰/۳۴۳۶۱	۱۷۲۰۴	۷۷۴۲
	کامیون دو محور	۱۳۴۷۵۱	۴/۸۰۳	۶۴۷۲۰۹	۲۹۱۲۴۴
	کامیون سه محور	۴۴۸۳۳	۳/۰۵۴	۱۳۶۹۲۰	۶۱۶۱۴
	کامیون چهار محور	۲۴۱۲۳	۳/۵۹۵۱	۸۶۷۲۵	۳۹۰۲۶
	کامیون پنج محور	۱۷۰۲۷۳	۳/۸۵۵۳	۶۵۶۴۵۳	۲۹۵۴۰۴
	جمع کل	۲۳۱۷۰۷۷	۱۵/۶۹	۱۵۴۷۳۹۲	۶۹۶۳۲۶
دارای اضافه تناژ	سواری و وانت	۱۸۵۷۳۸۲	۰/۰۰۰۷۶	۱۴۱۲	۶۳۵
	کامیونت و مینی بوس	۳۵۶۴۷	۰/۰۴۱۲۲	۱۴۶۹	۶۶۱
	اتوبوس	۵۰۰۶۸	۰/۳۴۳۶۱	۱۷۲۰۴	۷۷۴۲
	کامیون دو محور	۱۳۱۰۴۵	۴/۸۰۳	۶۲۹۴۰۹	۲۸۳۲۳۴
	کامیون سه محور	۴۳۷۶۲	۳/۰۵۴	۱۳۳۶۴۹	۶۰۱۴۲
	کامیون چهار محور	۲۲۲۵۸	۳/۵۹۵۱	۸۰۰۲۰	۳۶۰۰۹
	کامیون پنج محور	۱۶۶۲۸۳	۳/۸۵۵۳	۶۴۱۰۷۱	۲۸۸۴۸۲
	کامیون دو محور با اضافه تناژ	۳۷۰۶	–	۴۲۹۵۷	۴۲۹۵۷
	کامیون سه محور با اضافه تناژ	۱۰۷۱	–	۷۶۱۷	۷۶۱۷
	کامیون چهار محور با اضافه تناژ	۱۸۶۵	–	۲۵۱۷۸	۲۵۱۷۸
	کامیون پنج محور با اضافه تناژ	۳۹۹۰	–	۶۱۷۵۹	۶۱۷۵۹
	جمع کل	۲۳۱۷۰۷۷	–	۱۶۴۱۷۴۵	۸۱۴۴۱۶

جدول ۳. اطلاعات تردد وسایل نقلیه ثبت شده در سامانه‌های WIM و ترددشمار (محور باغچه-نیشابور- ایستگاه WIM)

ایستگاه WIM	دوره زمانی	کل تردد انواع وسایل نقلیه (یک جهت)	کل تردد انواع ناوگان باری	درصد ناوگان سنگین باری	تعداد ناوگان باری دارای اضافه تناژ	درصد ناوگان باری دارای اضافه تناژ
نیشابور	۱۳۹۸	۳/۷۹۰/۴۷۲	۴۰۱۳۸۳	٪۱۰	۳۵۴۸۰	٪۸

باتوجه به اطلاعات جدول۵، نسبت CESALs به CESALo در محور شادمهر-گناباد برابر ۰/۸۵ و در محور باغچه-نیشابور نسبت مذکور برابر ۰/۸۱ بدست می‌آید که براساس رابطه۲ میزان RSL برای دو محور یاد شده به ترتیب برابر ۱۲/۷۵و ۱۲/۱۵ می‌شود.

به عبارتی دیگر میزان عمر سرویس باقیمانده روسازی محورهای مورد مطالعه باتوجه به تردد ناوگان دارای اضافه تناژ که معادل ۵درصد و ۸درصد از کل تردد ناوگان باری می‌باشد در محور شادمهر-گناباد پس از یک سال تردد، از ۱۵ سال به ۱۲ سال و ۹ ماه و در محور باغچه-نیشابور از ۱۵ سال به ۱۲ سال و ۲ ماه می‌رسد یعنی اگر سالانه در این محورها چنین ترددی با مشخصات اضافه تناژ تعیین شده عبور نماید در محور شادمهر بجای ۱۵ سال حداکثر بعد از حدود ۷ سال و در محور نیشابور بعد از تقریباً ۵/۵ سال، عمر سرویس روسازی به پایان می‌رسد. همچنین طبق رابطه ۳ ، ضریب DSL برای محور شادمهر برابر ۰/۱۵ و برای

محور نیشابور برابر ۰/۱۹ می شود که ضریب مذکور معرف کاهش بیش از ۲ سال از عمر سرویس روسازی پس از یکسال تردد با شرایط یاد شده از نظر میزان اضافه تناژ در محورهای مورد مطالعه می‌باشد. از طرفی باتوجه به اینکه در محور شادمهر-گناباد درصد خودروهای دارای اضافه تناژ حدود ۵ درصد است. لذا، با بهره گیری از نمودار شکل۷ (Rys,Jaskula,2018)، ضریب DSL در محدوده بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۷ برآورد می‌گردد. همچنین در محور باغچه-نیشابور باتوجه به اضافه تناژ حدود ۸ درصدی، ضریب DSL در نمودار فوق الذکر در محدوده ۰/۲۱ تا ۰/۳۸ تعیین می‌شود. لذا، در مجموع دو محور نشان از قابلیت اطمینان ضریب بدست آمده از رابطه۳ براساس اطلاعات ثبت شده در سامانه‌های WIM شادمهر و نیشابور و دقت محاسبات بارهای محوری هم ارز دارد به طوری که ضرایب محاسبه شده نزدیک به حداقل محدوده بدست آمده از نمودار شکل ۷ نیز می‌باشد.

جدول٤. اطلاعات ترافیکی و محاسباتی بدست آمده از داده های ثبت شده در سامانه توزین حین حرکت نیشابور

وضعیت	نوع وسیله نقلیه	حجم تردد (وسیله نقلیه)	ضریب بار هم ارز	ESAL	ESAL با احتساب ضریب توزیع ترافیک
استاندارد (فاقد اضافه تناژ)	سواری و وانت	۳۱۷۳۱۳۰	۰/۰۰۰۷۶	۲٤۱۲	۲۱۷۰
	کامیونت و مینی بوس	۱۳۵۵۱۱	۰/۰٤۱۲۲	۵۵۸٦	۵۰۲۷
	اتوبوس	۱۰۰٤٤۸	۰/۳٤۳٦۱	۳٤۵۱۵	۳۱۰٦۳
	کامیون دو محور	۱۳۳۷٤۸	٤/۸۰۳	٦٤۲۳۹۲	۵۷۸۱۵۲
	کامیون سه محور	۵۸۹۵۱	۳/۰۵٤	۱۸۰۰۳٦	۱٦۲۰۳۳
	کامیون چهار محور	۲۵۷٦٤	۳/۵۹۵۱	۹۲٦۲٤	۸۳۳٦۲
	کامیون پنج محور	۱۸۲۹۲۰	۳/۸۵۵۳	۷۰۵۲۱۱	٦۳٤٦۹۰
	جمع کل	۳۸۱۰٤۷۲	۱۵/٦۹	۱٦٦۲۷۷٦	۱٤۹٦٤۹۸
دارای اضافه تناژ	سواری و وانت	۳۱۷۳۱۳۰	۰/۰۰۰۷٦	۲٤۱۲	۲۱۷۰
	کامیونت و مینی بوس	۱۳۵۵۱۱	۰/۰٤۱۲۲	۵۵۸٦	۵۰۲۷
	اتوبوس	۱۰۰٤٤۸	۰/۳٤۳٦۱	۳٤۵۱۵	۳۱۰٦۳
	کامیون دو محور	۱۲۲۲۲۵	٤/۸۰۳	۵۸۷۰٤۷	۵۲۸۳٤۲
	کامیون سه محور	۵۰۳۰۱	۳/۰۵٤	۱۵۳٦۱۹	۱۳۸۲۵۷
	کامیون چهار محور	۲۰٤۱۳	۳/۵۹۵۱	۷۳۳۸۷	٦٦۰٤۸
	کامیون پنج محور	۱۷۲۹٦٤	۳/۸۵۵۳	٦٦٦۸۲۸	٦۰۰۱٤۵
	کامیون دو محور با اضافه تناژ	۱۱۵۲۳	–	۱۷٤۰۳۷	۱۷٤۰۳۷
	کامیون سه محور با اضافه تناژ	۸٦۵۰	–	٦۹۹۰۰	٦۹۹۰۰
	کامیون چهار محور با اضافه تناژ	۵۳۵۱	–	۵۸۸٦۱	۵۸۸٦۱
	کامیون پنج محور با اضافه تناژ	۹۹۵٦	–	۱٦۹۲۹٦	۱٦۹۲۹٦
	جمع کل	۳۸۱۰٤۷۲	–	۱۹۹۵٤۸۷	۱۸٤۳۱٤۸

جدول۵. نتایج محاسبات عمر باقیمانده سرویس روسازی و ضریب کاهش عمر

محور	CESALs	CESALo	RSL	DSL
شادمهر-گناباد	٦۹٦۳۲٦	۸۱٤٤۱٦	۱۲/۷۵	۰/۱۵
باغچه-نیشابور	۱٤۹٦٤۹۸	۱۸٤۳۱٤۸	۱۲/۱۵	۰/۱۹

۷- نتیجه‌گیری

این مطالعه به تشریح بررسی داده‌های سیستم توزین حین حرکت و اطلاعات ترافیکی دو محور شادمهر-گناباد و باغچه-نیشابور در استان خراسان رضوی جهت برآورد تأثیر تردد کامیون‌های دارای اضافه تناژ بر روی سازه روسازی (عمر سرویس) می‌پردازد. در محور اول بیش از ۱۸۶ هزار تردد کامیون بطور سالانه ثبت می‌شود به طوری که تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد بیش از ۵ درصد از آنها دارای اضافه تناژ می‌باشند و میزان تناژ غیر مجاز آنها بسیار قابل توجه است (متوسط ۸ تن). در محور دوم تردد کامیون بطور سالانه بیش از ۴۰۰ هزار می‌باشد و تجزیه و تحلیل داده‌های ثبتی نشان می‌دهد حدود ۸ درصد از آنها دارای تناژ اضافه بر ظرفیت می‌باشد (متوسط ۸/۶ تن). نتیجه مشخص این مطالعه نشان می‌دهد که در دو محور مورد مطالعه پس از یک سال تردد ناوگان اضافه تناژ به میزان بیش از ۲ سال از عمر سرویس روسازی راه کاسته می‌شود. به عبارتی مقدار CESAL در حالت اضافه تناژ به طور قابل توجهی از مقدار آن در حالت استاندارد بیشتر است و عملاً ناوگان باری دارای اضافه تناژ در کاهش عمر سرویس روسازی نقش بسزایی دارد و آسیب جدی به روسازی در طول عمر آن وارد می‌کنند بطوریکه در محور شادمهر-گناباد باتوجه به شرایط ترافیکی و اضافه تناژ ناوگان باری، عمر روسازی ۱۵ ساله آن بعد از گذشت ۷ سال و در محور باغچه-نیشابور بعد از گذشت ۵/۵ سال وضعیت روسازی رو به اضمحلال و عمر آن به پایان می رسد. نتیجه دیگری که می‌توان داشت این است که درصد کامیون‌های دارای اضافه تناژ که در این مطالعه مشاهده شد حاکی از کنترل و نظارت ضعیف است و باید در این خصوص محدودیت‌ها و اعمال قانون به صورت جدی‌تر مدنظر قرار گیرد و تقویت شود.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Weigh-In-Motion
2. Damage Factor
3. Remaining Service Life
4. Equivalent Single-Axle Loads
5. Decrease in Service Life

۹- مراجع

- مرکز مدیریت راه‌ها، (۱۳۹۸)، "گزارش عملکرد سامانه‌های توزین حین حرکت"، اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده ای خراسان رضوی.

-موسسه قیر و آسفالت، پژوهشکده حمل و نقل، (۱۳۹۰)، "آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران"، نشریه ۲۳٤ ص.۱٦٥.

-D. Gedafa, M. Hossain, R. Miller, and T. Van, (2010), "Estimation of Remaining Service Life of Flexible Pavements from Surface Deflections", J. of Transp. Eng. 136 (4), pp. 342-352.

-Dawid Rys, Piotr Jaskula, (2018), "Effect of overloaded vehicles on whole life cycle cost of flexible pavements", Researchgate, Publication/326354946, pp. 7-8.

-Hao Wang, Jingnan Zhao, Zilong Wang, (2018), "Impact of Overweight Traffic on Pavement Life Using Weigh-In-Motion Data and Mechanistic-Empirical Pavement Analysis", 9th International Conference on Managing Pavement Assets (ICMPA9) in Alexandria, pp. 9-12.

-J. C. Pais, S. I. R. Amorim, and M. J. C. Minhoto, (2015), "Impact of Traffic Overload on Road Pavement Performance", , Ascelibrary.org by Univ. of Alabama at Birmingham, pp. 874-876.

-Jongga Jihanny, Bambang Sugeng Subagio and Eri Susanto Hariyadi, (2018), "The analysis of overloaded trucks in indonesia based on weigh in motion data (east of sumatera national road case study)", MATEC Web of Conferences 147, pp. 1-4.

-Krishna Nath Ojha, (2018), "Overloading and Pavement Service Life", J. of Transportation Technologies, 8, pp. 343-356.

-O.Olufemi Jacob, I. Callistus Chukwudi,

-Ying Chuen Chan, (2008), "Truck Overloading Study in Developing Countries and Strategies to Minimize its Impact", Master of Engineering, pp. 51-56.

-S. Kumar1, A. Arya, A. Gupta, (2020), "Methodology of Studying Impact of Vehicle Overloading on Pavement Surface and Design of Overall Thickness", International Research Journal of Engineering and Technology, 7(5), pp. 3666-3672.

Effect of Overloaded Vehicles on Flexible Pavements Service Life Using Weigh-In-Motion Data

Jalal Ayoubinejad, Assistant Prof., Dept. of Engineering, Payame Noor University, Iran.
Nasir Baradaran Rahmanian, Ph. D., Candidate, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Iran.
Armin Jarahi, Assistant Prof., Faculty. of Engineering, Khayyam University, Iran.

E-mail: j.ayoubinejad@pnu.ac.ir

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT
Overloaded vehicles damages roads and road structures such as bridges and destroys the country's high-cost road network, which is built at a high cost. Overloading more than the standard capacity of vehicles is one of the effective factors in damaging the roads. In general, the phenomenon of overloading of freight vehicles is common in developing countries where traffic control measures are poorly implemented. On the roads of the country, according to the studies, it is predicted that on average, at least "between" 5% to 10% of the trucks have overload conditions. This is one of the most important factors in reducing the service life of road pavement. In this paper, the results of data analysis collected from the weigh-in-motion system (WIM) and the effect of overloaded vehicle on flexible pavement are presented. By calculating the equivalent axial loads and damage factor (DF) to the road pavement, the remaining service life (RSL) of the pavement has been determined by considering Overloaded truck impact. The analysis showed that the damage factor obtained from WIM information is to the extent that it reduces the service life of the pavement.

Keywords: Overloaded Vehicles, Pavements Service Life, Weigh-In-Motion