

ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و مقایسه با ضرایب پیشنهادی در آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران

منصور فخری (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

مریم دولتی زاده، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

علیرضا غنی زاده، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران.

E-mail: fakhri@kntu.ac.ir

پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۰

دریافت: ۹۲/۰۷/۱۳

چکیده:

ضریب بار هم ارز، یکی از ضرایب مهم در طراحی روسازی است که تأثیر بار ترافیکی موجود در راه‌ها را بر روی خرابی روسازی نشان می‌دهد. این ضریب در آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴) به صورت تجربی قابل تعیین است و در انتخاب این ضریب، صرفاً به نوع محور (ساده، دو گانه و سه گانه) توجه شده است و به تک و یا زوج بودن چرخ‌ها در محور، اهمیت داده نشده است. در این مطالعه، ضرایب بار هم ارز برای بارهای محوری سنگین ذکر شده در آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، از دو رویکرد کرنش و انرژی تلف شده و بر اساس معیار خستگی تعیین شد و با ضرایب بار هم ارز آیین نامه آشتو و انستیتو آسفالت مقایسه شد. نرم افزار-3D Move جهت تحلیل مقاطع روسازی (نازک، متوسط و ضخیم) و در سه سرعت عبوری ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در پایین لایه آسفالتی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضرایب بار هم ارز برای محورهای منفرد با چرخ زوج، مستقل از عدد ضخامت روسازی، سرعت وسیله نقلیه و روش بکار رفته در محاسبه این ضریب است. همچنین مشاهده شد که ضرایب بار هم ارز محورهای منفرد در روش خرابی حداکثر برای دو روش کرنش و انرژی تلف شده مقادیر تقریباً یکسانی را دارد. در این تحقیق نتیجه به دست آمد که ضریب بار هم ارز محور منفرد با چرخ زوج، کمتر از ضریب بار هم ارز محور منفرد با چرخ تک با وزن مشابه است که این مستلزم توجه بیشتر به این موضوع در آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران است. همچنین ضرایب بار هم ارز آشتو و انستیتو آسفالت در مورد محورهای منفرد با چرخ تک، کمتر از مقادیر تعیین شده در این مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: ضریب بار هم ارز، تحلیل ویسکوالاستیک، عمر خستگی، کرنش حداکثر، انرژی تلف شده.

۱. مقدمه

است، به دلیل گستردگی این آزمایش و محدودیت‌های موجود، چندین نقص در ضرایب بار هم ارز این آیین‌نامه مشاهده می‌شود که مطالعاتی در طی این سال‌ها جهت بررسی این نقصانها و رفع آنها انجام گرفته است. [Abdel-Motaleb, 2007, Chatti et al., 2000, 2004, 2009, Behzadi, 2004, Khaki and Sarkar, 2007]

در این مطالعه، سه مقطع روسازی (نازک، متوسط و ضخیم) در سه سرعت با استفاده از نرم‌افزار دینامیکی 3D-Move تحلیل شدند. ضرایب بار هم ارز با توجه به بارهای محوری وسایل نقلیه سنگین موجود در آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران بر اساس معیار خستگی تعیین شدند. این ضرایب با ضرایب بار هم ارز موجود در آیین‌نامه اشتو و انستیتو آسفالت مقایسه شدند.

۲. تاریخچه مطالعه

در محاسبه خرابی خستگی روسازی معمولاً دو روش کرنش و انرژی تلف‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های کرنش، از کرنش‌های افقی در تار پایین لایه آسفالتی جهت محاسبه عمر خستگی روسازی استفاده می‌کنند. در این مطالعه از دو رویکرد کرنش حداکثر و بینابینی استفاده شده است. در رویکرد کرنش حداکثر در پالس‌های کرنش عرضی و طولی برای محورهای منفرد، کرنش حداکثر کششی در معادلات خستگی وارد می‌شود (مقدار ϵ_{m1} در شکل‌های ۱-الف و ۲-الف). برای پالس‌های طولی و هم عرضی حاصل از محورهای چندگانه، خرابی خستگی از مجموع خرابی حاصل از کرنش‌های حداکثر کششی محاسبه می‌شود (مقادیر ϵ_{m1} و ϵ_{m2} در شکل‌های ۱-ب و ۲-ب).

در رویکرد کرنش بینابینی در پالس‌های کرنش حاصل از عبور محور منفرد، کرنش حداکثر کششی، در معادلات خستگی وارد می‌شود (مقدار ϵ_{m1} در شکل‌های ۱-الف و ۲-الف) و در مورد پالس‌های حاصل از عبور محورهای چندگانه اثر تقابلی محورها

وسایل نقلیه مختلف، سطوح خرابی متفاوتی را روی روسازی ایجاد می‌کنند که البته این خرابی‌ها بسته به تعداد و شکل محورهای بارگذاری، نوع سیستم تعلیق، نوع لاستیک و میزان فشار باد داخل لاستیک‌ها متفاوت اند. خرابی ایجاد شده توسط محورهای بارگذاری بر حسب ضریب خرابی ایجاد شده، توسط محور بارگذاری استاندارد ۸/۲ تنی منفرد با چرخ زوج توصیف می‌شود. نسبت خرابی ایجاد شده توسط محور مورد نظر به خرابی ایجاد شده توسط محور استاندارد، توسط ضریب بار هم ارز قابل بیان است. این ضریب مطابق آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴) به صورت تجربی و با توجه به پارامترهای عدد ضخامت، نوع محور (منفرد، دوگانه^۲ و سه‌گانه^۳) و نشانه خدمت دهی روسازی محاسبه می‌شود که در این حالت در محاسبه ضریب بار هم ارز از اثرات سرعت عبوری بر روی ضریب بار هم ارز صرفه نظر می‌گردد. همچنین، ضریب بار هم ارز برای محورهای با چرخ تک، برابر با ضریب بار هم ارز حاصل از عبور محورهای با چرخ زوج در نظر گرفته شده است [Asphalt pavement regulation of Iran roads, 2011]. لازم به ذکر است که ضریب بار هم ارز در آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، بر اساس سرویس‌دهی کلی روسازی بیان می‌گردد و بنابراین، این ضریب ممکن است نتواند برای خرابی خاصی مانند خرابی خستگی^۴ و یا شیار شدگی بکار رود. چرا که مطالعات نشان داده است در بعضی موارد، ضریب بار هم ارز حاصل از خرابی خستگی، بیشتر از ضریب بار هم ارز با توجه به معیار سرویس‌دهی کلی راه است [Khaki and Sarkar, 2007].

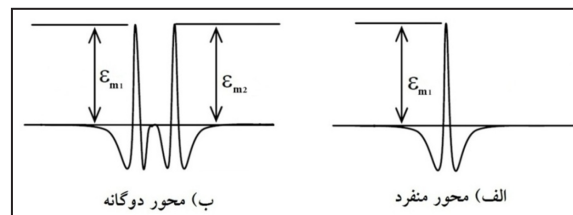
در میان روشهای متعددی که طی این سال‌ها جهت محاسبه ضریب بار هم ارز استفاده شده است، روش آیین‌نامه اشتو^۵، از متداول‌ترین این روش‌هاست که البته با توجه به اینکه ضریب بار هم ارز در این روش از آزمایش بزرگ اشتو به دست آمده

ارز، روش آیین‌نامه اشوتو است. ضرایب اشوتو بر اساس داده‌های تجربی حاصل از آزمایش راه اشوتو به دست آمده‌اند. روابط تجربی بر اساس شاخص ناهمواری روسازی^۱، عملکرد روسازی و تعداد تکرار بار، گسترش یافته‌اند. به دلیل آنکه مقادیر ضرایب اشوتو، تجربی هستند، این روش چندین نقص دارد. برای مثال این روش تنها شامل محورهای منفرد و دوگانه با چرخ زوج است که بار روی این محورها به ترتیب به ۱۳۳ و ۲۱۴ کیلو نیوتن محدود می‌شود. در حالی که امروزه شکل محورها شامل محورهای منفرد، دوگانه، سه‌گانه و چهارگانه می‌شود و محورها با چرخ تک و چرخ زوج وجود دارند [Zhang, et. al].

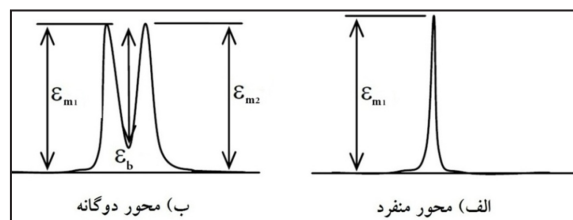
یکی دیگر از روش‌های محاسبه ضریب بار هم ارز، روش انستیتو آسفالت است. این روش بر مبنای نتایج آزمایش راه اشوتو استوار است که در آن اثر نشانه خدمت دهی نهایی روسازی و عدد ضخامت در تعیین ضریب بار هم ارز نادیده گرفته شده است. در طی این سال‌ها، تحقیقات زیادی در جهت بهبود ضرایب بار هم ارز آیین‌نامه اشوتو انجام شده است که در ادامه به دسته‌ای از این مطالعات اشاره شده است.

چتی و همکاران، با استفاده از نرم‌افزار SAPSI-M تعدادی مقطع روسازی نازک، متوسط و ضخیم را برای سه نوع محور منفرد، دوگانه و سه‌گانه مورد تحلیل قرار دادند. سپس با استفاده از فرمول تجربی ارائه شده در مطالعه SHRP^۸ عمر خستگی را محاسبه کردند و ضریب بار هم ارز را از روش‌های کرنش و انرژی تلف شده به دست آوردند و با مقادیر حاصل از روش اشوتو مقایسه کردند. آنها در مطالعاتشان، چرخهای با پهنای زیاد را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که برای محور منفرد با چرخ زوج، کرنش حداکثر در جهت طولی بیشتر از جهت عرضی است. درحالی که در مورد محورهای دوگانه و سه‌گانه با چرخ تک، کرنش حداکثر عرضی بیشتر از جهت طولی است. همچنین نتیجه گرفتند که با استفاده از روش انرژی تلف شده، ضریب بار هم ارز

بر روی پاسخ روسازی در نظر گرفته می‌شود (مقدار ϵ_b در شکل ۲-ب). برای مثال برای یک محور دوگانه در جهت عرضی، ابتدا خرابی حاصل از مقدار حداکثر کرنش کششی حاصل از عبور محور اول (مقدار ϵ_{m1} در شکل ۲-ب) و سپس خرابی حاصل از اختلاف حداکثر کرنش کششی عبور محور دوم و مقدار کرنش میانی (مقدار $\epsilon_b - \epsilon_{m2}$ در شکل ۲-ب) محاسبه شده و سپس با یکدیگر جمع بسته می‌شوند. برای پالس جهت طولی نیز اگر چنین رویکردی مدنظر قرار گیرد، عموماً ناحیه کرنش کششی میانی حذف می‌شود و در فشار قرار می‌گیرد، بنابراین خرابی، مجموع مقادیر کرنش‌های حداکثر کششی (مقادیر ϵ_{m1} و ϵ_{m2} در شکل ۱-ب) در نظر گرفته می‌شود. در رویکرد انرژی تلف شده، سطح زیر منحنی تنش - کرنش به عنوان انرژی تلف شده، محاسبه می‌شود و این مقدار جهت محاسبه خرابی خستگی در معادلات خستگی بر مبنای روش انرژی تلف شده می‌شود. [Huang, 2004, Jordhal and Rauhut, 1983, Chatti et al., 2009]



شکل ۱. پالس کرنش در جهت طولی [Chatti et al., 2009]



شکل ۲. پالس کرنش در جهت عرضی [Chatti et al., 2009]

در محاسبه ضرایب بار هم ارز چندین روش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که یکی از مهم‌ترین روش‌های محاسبه ضریب بار هم

خاکی و سرکار، بخشی از راه مورد مطالعه در آزمایش راه اش تو را مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از نرم افزار-KENLAY ER، پاسخ های بحرانی را بر اساس دو نوع تحلیل الاستیک و ویسکو الاستیک محاسبه و ضرایب بار هم ارز را در سرعتهای ۲۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت تعیین کردند. آنها پاسخ های بحرانی را با توجه به خرابی خستگی و شیار شدگی و همچنین با توجه به نشانه خدمت دهی روسازی برابر ۲، ۲/۵ و ۳ تعیین کردند. محاسبات آنها نشان داد که ضرایب بار هم ارز محور ساده با چرخ زوج بر اساس معیار کرنش کششی زیر لایه آسفالتی به مقدار قابل توجهی بیش از سایر معیارها است. همچنین نتایج نشان داد که در محاسبه ضریب بار هم ارز محور ساده، تحلیل ویسکو الاستیک لایه آسفالت ضرایب بار هم ارز بزرگ تری را نسبت به تحلیل الاستیک نشان می دهد، در حالی که ضرایب بار هم ارز محور منفرد با چرخ زوج بر مبنای معیارهای مختلف و بر اساس تحلیل الاستیک و ویسکو الاستیک هیچ تفاوتی را نشان نمی دهند. همچنین آنها نتیجه گرفتند که اثر مدت زمان بارگذاری بر ضرایب بار هم ارز محور ساده دو چرخ محسوس تر است. به طوری که با افزایش سرعت، مقادیر ضریب بار هم ارز کاهش می یابد [Khaki and Sarkar, 2007].

جودیکی، ضرایب بار هم ارز محوری برای روسازی انعطاف پذیر و نیمه را بر اساس معیار خستگی تعیین کرد. در این مطالعه به دست آمد که ضرایب بار هم ارز بر اساس معیار خستگی برای روسازی های انعطاف پذیر مطابقت خوبی با معادله توان چهارم دارد. در حالی که در روسازی نیمه صلب، مقادیر فرمول نمایی استفاده شده در تعیین ضرایب مقادیر متفاوتی از ۴ تا ۲۰ را در بر می گیرد و فرمول ها پیچیدگی بیشتری دارند [Judycki, 2011]. تغییرات فصلی به همراه محورهای بارگذاری سنگین، به عنوان یک عامل مهم در راه های پاکستان محسوب می شود. بر این اساس چاودری و ممن، ضرایب کامیون طرح و واقعی را با

محور دوگانه در حدود ۲۰ درصد و برای محور سه گانه حدود ۳۰ درصد مقادیر بیشتری را برای روسازی نازک تا متوسط نشان داد. این روند یک افزایش ۱۵ درصدی در ارتباط با روش کرنش نشان داد و برای روسازی ضخیم تفاوت میان روش انرژی و روش کرنش قابل صرف نظر کردن بود [Chatti .et al., 2000]. عبدل مطلب، ضرایب بار هم ارز را با توجه به خرابی خستگی و شیار شدگی در روسازی آسفالتی و با توجه به فشارهای بار متفاوت برای بارهای محوری منفرد و دوگانه با وزن های مختلف مورد ارزیابی قرار داد. وی نتیجه گرفت در بارهای محوری منفرد برای بار محوری تا ۸/۲ تن و در بارهای محوری دوگانه تا ۱۷/۳۱ تن مقادیر ضرایب بار هم ارز بر اساس خرابی خستگی بیشتر از ضرایب بار هم ارز بر اساس خرابی شیار شدگی است. از طرفی ضرایب بار هم ارز خستگی به مقدار فشار بار حساس هستند در حالی که ضرایب بار هم ارز با توجه به معیار، شیار شدگی نسبت به فشار بار نسبتاً غیر حساس است. او نتیجه گرفت که مقادیر ضرایب بار هم ارز به دست آمده با توجه به معیار شیار شدگی به ضرایب بار هم ارز آیین نامه اش تو نزدیک است [Abdel- Motaleb, 2007].

بهزادی، ضریب بار هم ارز و عوامل تأثیرگذار بر آن را در روسازی انعطاف پذیر، تحت اثر بار و محورهای مختلف با استفاده از آنالیز الاستوپلاستیک تعیین کرد. در مطالعه انجام شده توسط وی، تغییر شکل دائمی و شیار شدگی چندین مقطع روسازی در آزمایش صحرایی ALF^9 ، توسط نرم افزارهای Mechano-Lattice (روش الاستوپلاستیک)، VESYS (روش ویسکو الاستیک) و CIRCLY (روش الاستیک) محاسبه شد و با رفتار روسازی حاصل از آزمایش ALF مقایسه شد و سپس ضریب بار هم ارز برای حالت های مختلف به دست آمد. وی نتیجه گرفت که مقادیر ضریب بار هم ارز حاصل از روش الاستوپلاستیک، در درجات مختلف خرابی و مقاطع متفاوت متغیر است [Behzadi, 2004].

ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...

$$u = u(x-V) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M u_m(z) e^{i\lambda_n(x-V)} e^{i\mu_m y} \quad (1)$$

که در این رابطه:

$$u_m(z) = \text{تغییرات } u \text{ نسبت به } z \text{ ناشی از هارمونیک‌های } n$$

ام و m ام

$$\lambda_n \text{ و } \mu_m = \text{تعداد موج‌ها}$$

x = محور طولی که در جهت حرکت ترافیک قرار دارد

y = محور عرضی

z = محور قائم

بنابراین در صورتی که بتوان عکس‌العمل حاصل از یک بار سطحی هارمونیک منفرد را به دست آورد، می‌توان با استفاده از اصل برهم‌گذاری آثار قوا، عکس‌العمل روسازی تحت اثر چندین بار سطحی هارمونیک را به دست آورد. سیدهارتان و همکارانش اعتبار این روش را با استفاده از عکس‌العمل‌های حاصل از برنامه ELSYM5 و عکس‌العمل‌های اندازه‌گیری شده در دو مدل با مقیاس آزمایشگاهی بررسی و مورد تأیید قرار دادند [Siddharthan et al., 2000]. به علاوه به منظور اعتبارسنجی نتایج این برنامه با استفاده از داده‌های میدانی از داده‌های میدانی حاصل از دو آزمایش تمام مقیاس دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا و آزمایش‌های راه ایالت مینه‌سوتا استفاده شد که نشان دهنده توانایی این روش در تحلیل دینامیکی روسازی است [Siddharthan et al., 2002]. در این تحقیق، نقطه پاسخ روسازی جهت بررسی خرابی خستگی، تار پایین لایه آسفالتی در نظر گرفته شد. [SHRP, 2004 and Huang, 2004, NCHRP, 1994], و تحلیلها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در سه سرعت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت انجام شد. نمودار مقادیر مدول دینامیکی در دماها و فرکانس‌های مختلف بارگذاری که به نرم‌افزار وارد شد، در شکل (۱) نشان داده شده است. مشخصات مقاطع روسازی آسفالتی نیز در جدول (۱) آورده شده است.

هم مقایسه کردند. که در محاسبه ضریب کامیون از معادله توان چهارم استفاده شده بود. آنها نتیجه گرفتند که کامیون سه محور با محورهای منفرد (۲۹/۵ تن) و چه با محورهای دوتایی (۲۷/۵ تن)، مخرب‌ترین نوع کامیون است و ضریب کامیون واقعی، ۶/۴ برابر بیشتر از ضریب کامیون طرح است [Chaudry and Memon., 2013].

۳. روش مطالعه

۳-۱ مقاطع روسازی و شکل محورهای استفاده شده

در این مطالعه، سه نوع روسازی نازک، متوسط و ضخیم با عدد ضخامت روسازی، به ترتیب برابر با ۱۰۹۶۵، ۳۲۹۰ و ۶۵۸۰ و با نشانه خدمت نهایی روسازی برابر با ۲/۵ در نظر گرفته شدند. لایه آسفالتی با توجه به داده‌های آزمایش مدول دینامیکی مربوط به مخلوط آسفالتی با قیری با درجه عملکردی ۲۲-۶۴ به صورت ویسکوالاستیک، در نظر گرفته شد. سایر لایه‌ها به صورت الاستیک خطی در نظر گرفته شدند.

تحلیل مقاطع روسازی با استفاده از برنامه 3D-Move انجام شد. برنامه 3D-Move از روش لایه‌ی محدود به منظور تحلیل دینامیکی روسازی تحت اثر بار متحرک استفاده می‌کند. در این برنامه، سازه روسازی می‌تواند متشکل از چندین لایه با رفتار ویسکوالاستیک و یا الاستیک خطی باشد. لایه‌های الاستیک خطی با استفاده از مدول برجهندگی، ضریب پواسون، وزن مخصوص و ضریب میرایی داخلی قابل تعریف اند و لایه‌های ویسکوالاستیک با استفاده از وزن مخصوص، ضریب پواسون و همچنین مدول دینامیک و زاویه فاز در دامنه وسیعی از دما و فرکانس قابل تعریف اند. در مدل 3D-Move فرض می‌شود که بار وارد بر سطح با سرعت ثابت V حرکت می‌کند و لایه‌ها در جهت افقی همگن هستند. بنابراین عکس‌العمل‌های روسازی (برای مثال تغییر شکل افقی u)، می‌تواند به صورت یک سری فوریه به شکل زیر

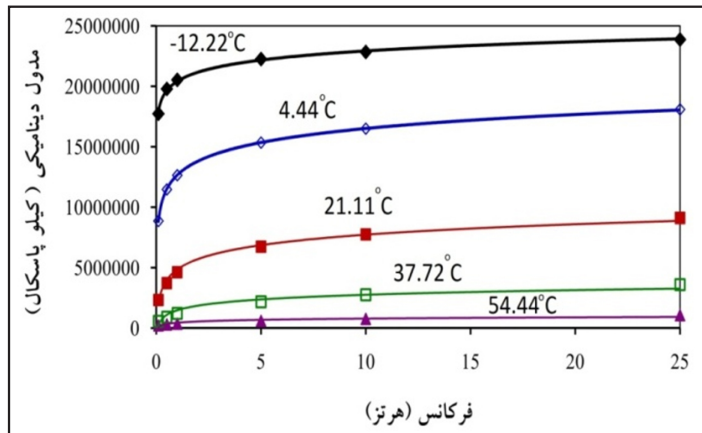
نوشته شود [Siddharthan et al., 2005]:

جدول ۱. مشخصات مقاطع روسازی

| وزن واحد | ضریب پوآسون | مدول ارتجاعی (kPa) | ضخامت (cm) | | | لایه روسازی |
|----------|-------------|--------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | | | روسازی ضخیم | روسازی متوسط | روسازی نازک | |
| ۲۳۲۵ | - | - | ۲۰ | ۱۰ | ۵ | رویه آسفالتی |
| ۲۱۵۹ | ۰/۳۵ | ۲۰۷۰۰۰ | ۳۰ | ۱۵ | ۱۰ | اساس |
| ۲۰۷۶ | ۰/۴۰ | ۱۰۳۴۲۲ | ۴۰ | ۲۰ | ۱۵ | زیر اساس |
| ۱۹۹۳ | ۰/۴۵ | ۵۱۷۱۱ | - | - | - | بستر |

جدول ۲. مشخصات بارهای محوری وسایل نقلیه

| شماره محور | شکل محور | وزن (تن) |
|------------|-------------------|----------|
| ۱ | منفرد با چرخ زوج | ۸/۲ |
| ۲ | منفرد با چرخ زوج | ۶ |
| ۳ | منفرد با چرخ زوج | ۱۰ |
| ۴ | منفرد با چرخ زوج | ۱۳ |
| ۵ | منفرد با چرخ تک | ۳ |
| ۶ | منفرد با چرخ تک | ۶ |
| ۷ | دوگانه با چرخ زوج | ۲۰ |
| ۸ | سه گانه با چرخ تک | ۲۴ |

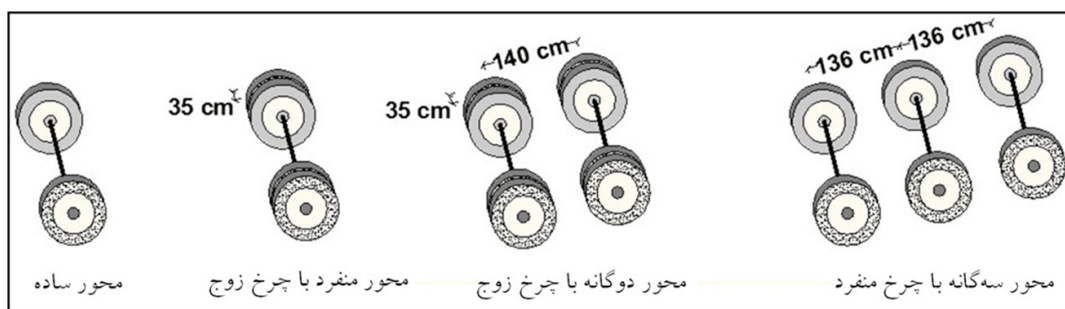


شکل ۳. مدول دینامیکی مخلوط آسفالتی در نظر گرفته شده در این تحقیق

جدول ۳. طبقه بندی وسایل نقلیه و مشخصات محور و وزن آنها [Asphalt pavement regulation of Iran roads, 2011]

| وزن کل | محور عقب | | محور وسط | | محور جلو | | آرایش چرخها | تعداد محور | نوع وسیله نقلیه |
|--------|----------|------|----------|------|----------|------|-------------|------------|----------------------|
| | وزن (تن) | نوع | وزن (تن) | نوع | وزن (تن) | نوع | | | |
| ۲ | ۱ | ساده | | | ۱ | ساده | | ۲ | سواری |
| ۳ | ۲ | ساده | | | ۱ | ساده | | ۲ | وانت |
| ۶ | ۳ | ساده | | | ۳ | ساده | | ۲ | مینی بوس |
| ۹ | ۶ | ساده | | | ۳ | ساده | | ۲ | اتوبوس |
| ۱۵ | ۹ | ساده | | | ۶ | ساده | | ۲ | کامیون دو محور سبک |
| ۱۹ | ۱۳ | ساده | | | ۶ | ساده | | ۲ | کامیون دو محور سنگین |
| ۲۶ | ۲۰ | مرکب | | | ۶ | ساده | | ۳ | کامیون سه محور |
| ۲۶ | ۱۰+۱۰ | ساده | ۱۰ | ساده | ۶ | ساده | | ۴ | تریلی ۴ محور |
| ۳۲ | ۱۶ | مرکب | ۱۰ | ساده | | | | | |
| ۴۰ | ۱۸ | مرکب | ۱۶ | مرکب | ۶ | ساده | | ۵ | تریلی پنج محور |
| ۴۰ | ۲۴ | مرکب | ۱۰ | مرکب | ۶ | ساده | | ۵ | تریلی پنج محور |

ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...



شکل ۴. فواصل محورهای بارگذاری در نظر گرفته شده

خستگی است.

پس از تعیین تعداد عبور مجاز، خرابی خستگی و ضریب بار هم ارز به ترتیب با استفاده از روابط (۴) و (۵) تعیین می‌شوند.

$$\text{Damage} = 1/N_f \quad (4)$$

$$\text{LEF}_{\text{axle}} = \frac{\text{Damage}_{\text{axle}}}{\text{Damage}_{\text{standard}}} \quad (5)$$

در این روابط Damage خرابی روسازی، N_f عمر خستگی، LEF_{axle} ضریب بار هم ارز محور مورد نظر، $\text{Damage}_{\text{axle}}$ خرابی محور مورد نظر، $\text{Damage}_{\text{standard}}$ خرابی محور استاندارد هستند.

۳-۳ روش تحلیل

عمر خستگی مقاطع مختلف روسازی از سه روش کرنش حداکثر، کرنش بینابینی و انرژی تلف شده و با توجه به معادلات شماره (۲) و (۳) تعیین شد. سپس ضرایب بار هم ارز بر اساس خرابی حداکثر، خرابی عرضی و خرابی طولی به دست آمدند. ضرایب بار هم ارز با توجه به آیین‌نامه اشتو و انستیتو آسفالت تعیین شد و با ضرایب بار هم ارز به دست آمده در این مطالعه مقایسه شد. لازم به ذکر است که با توجه به آنکه مقادیر ضریب بار هم ارز آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه های ایران به ضرایب بار هم ارز آیین‌نامه اشتو نزدیک است، بنابراین در این مطالعه ضرایب بار هم ارز آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه های ایران برابر ضرایب بار هم

فاصله مراکز چرخ‌های محور دوگانه برابر ۱۴۰ سانتی‌متر و برای محورهای سه‌گانه برابر با ۱۳۶ سانتی‌متر و فاصله مراکز چرخ‌های زوج از یکدیگر برابر با ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که این فواصل به صورت شماتیک در شکل (۴) نشان داده شده است. شعاع سطح تماس برای محور سه‌گانه ۲۴ تنی برابر با ۱۴ سانتی‌متر و برای سایر محورها برابر با ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

۲-۳ مدل خستگی استفاده شده در مطالعه

در این پژوهش از معادلات ارایه شده توسط چتی و همکاران، جهت تعیین عمر خستگی مقاطع آسفالتی استفاده شد. این معادلات با استفاده از آزمایش خستگی کشش مستقیم در دانشگاه ایالت میشیگان توسعه داده شده‌اند. این آزمایش‌ها بر اساس پالس‌های بارگذاری عرضی محورهای مختلف گسترش یافتند و محورهای چندگانه را نیز پوشش می‌دهند. معادلات ارایه شده بر حسب انرژی تلف شده اولیه و بر اساس کرنش عرضی پالس منفرد به ترتیب به شکل معادلات (۲) و (۳) است. این معادلات، هم در خصوص پالس کرنش طولی و هم کرنش عرضی، قابل استفاده اند [Chatti et al., 2009].

$$N_f = 10.29 \times w_0^{-0.998} \quad (2)$$

$$N_f = 1.647 \times 10^6 \times \epsilon_0^{-2.237} \quad (3)$$

به طوری که در روابط فوق w_0 انرژی تلف‌شده اولیه بر حسب KPa ، ϵ_0 کرنش اولیه بر حسب میکرو کرنش و N_f عمر

با نتایج مطالعه صورت گرفته توسط چتی و همکارانش مطابقت دارد [Chatti et al., 2000]. رابطه میان کرنش طولی و کرنش عرضی برای محورهای منفرد برای کلیه حالت‌ها (در سه سرعت و در سه ضخامت) در شکل (۵) آمده است.

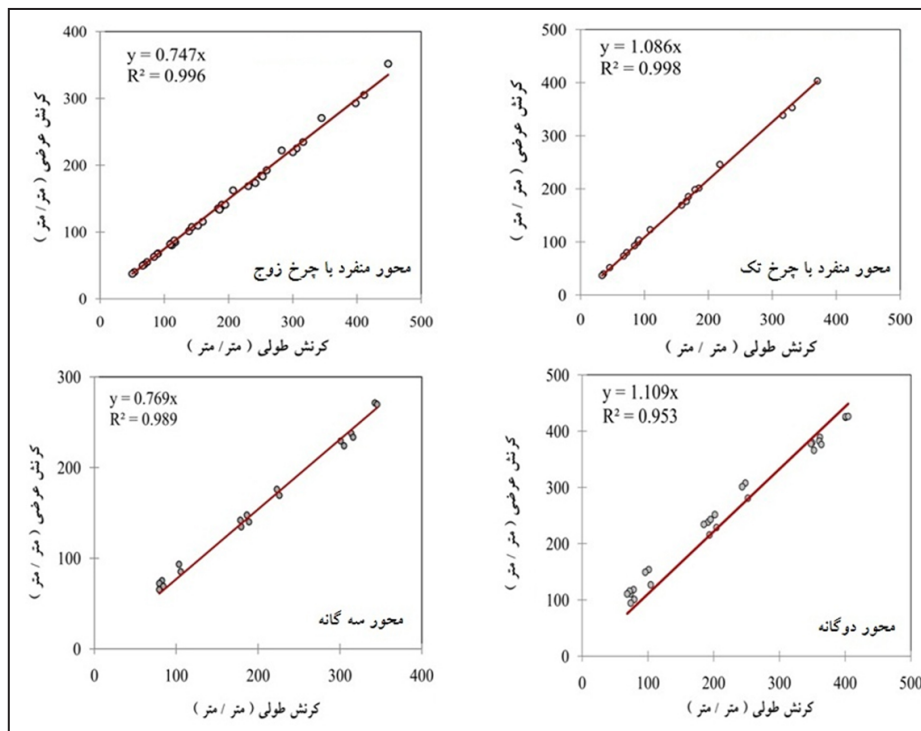
روابط میان سرعت و کرنش برای روسازی متوسط در محورهای منفرد با چرخ تک و زوج به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت، کرنش حداکثر کششی به صورت رابطه‌ی توانی کاهش می‌یابد.

ارزاشته در نظر گرفته شد.

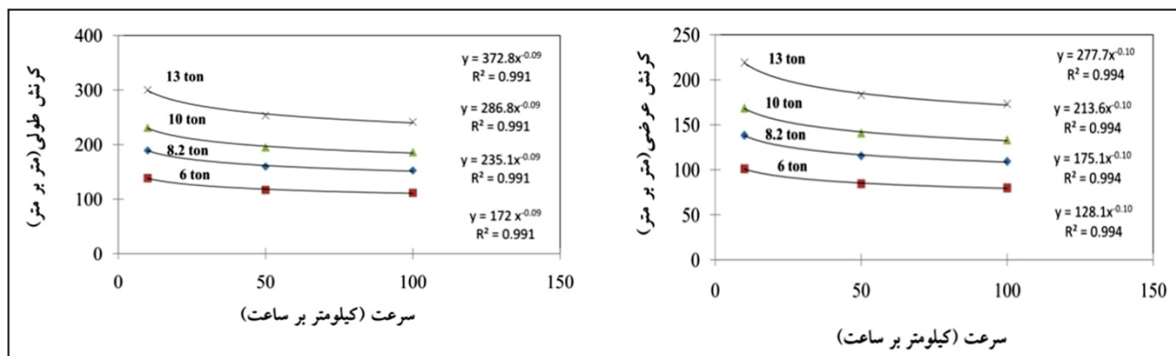
۴. تاریخچه زمانی پاسخ‌ها توسط نرم‌افزار 3D-Move

۴-۱ کرنش کششی حداکثر

نتایج نشان داد که در محورها با چرخ زوج، کرنش حداکثر کششی طولی بیشتر از کرنش حداکثر کششی جهت عرضی است، در حالی که برای محورهای تک چرخ کرنش حداکثر کششی عرضی بیشتر از کرنش حداکثر کششی طولی است. که این نتیجه

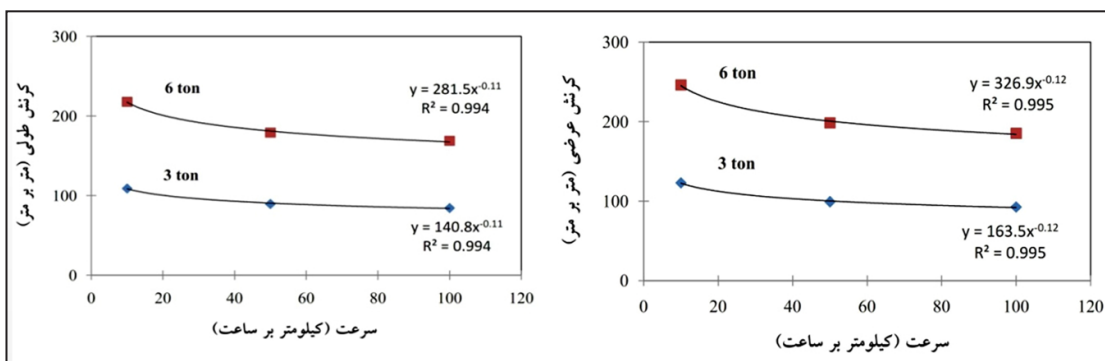


شکل ۵. رابطه میان کرنش طولی و کرنش عرضی

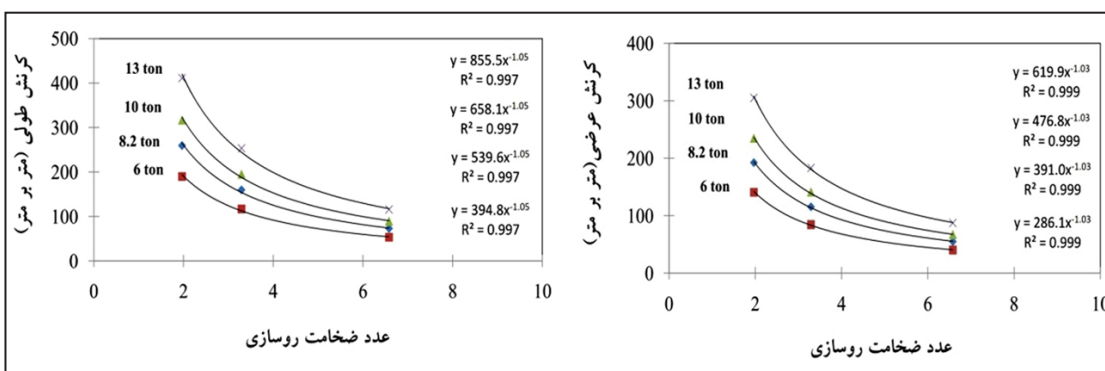


شکل ۶. رابطه میان سرعت و کرنش برای محورهای منفرد با چرخ زوج

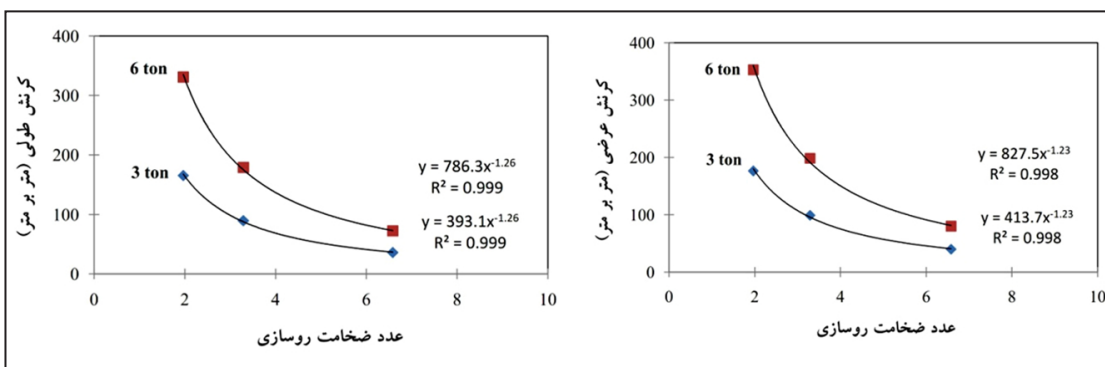
ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...



شکل ۷. رابطه میان سرعت و کرنش برای محورهای ساده



شکل ۸. رابطه میان عدد ضخامت روسازی و کرنش برای محورهای منفرد با چرخ زوج



شکل ۹. رابطه میان عدد ضخامت روسازی و کرنش برای محورهای ساده

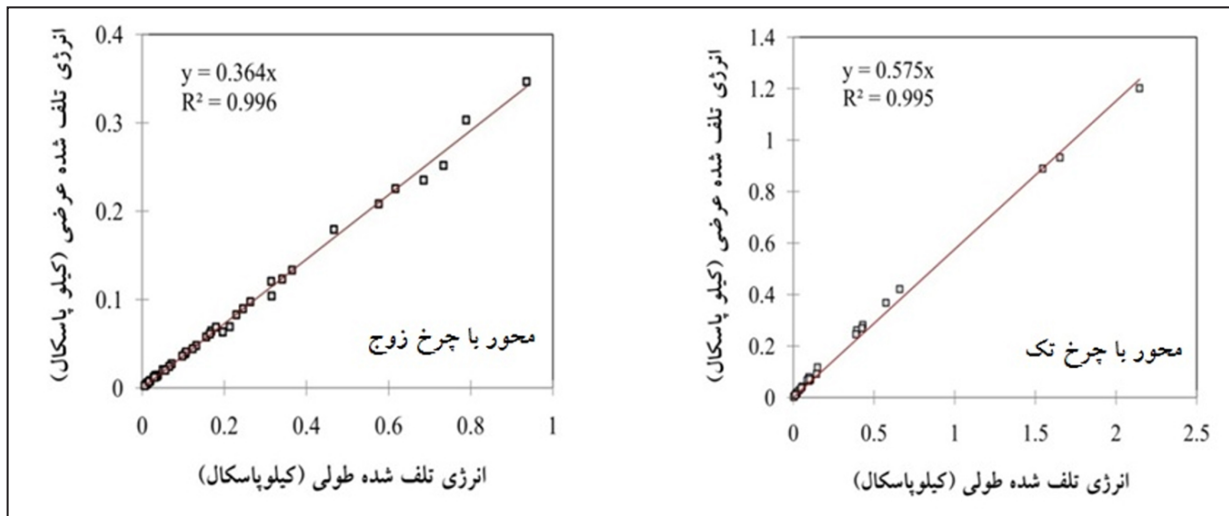
انرژی تلف شده در جهت طولی بیشتر از جهت عرضی است. شکل (۱۰) روابط میان انرژی تلف شده در جهت عرضی و طولی را نشان می‌دهد.

رابطه میان سرعت و انرژی تلف شده در شکل (۱۱) برای روسازی با ضخامت متوسط نشان داد که با افزایش سرعت، میزان انرژی تلف شده به صورت تابع توانی از سرعت کاهش می‌یابد.

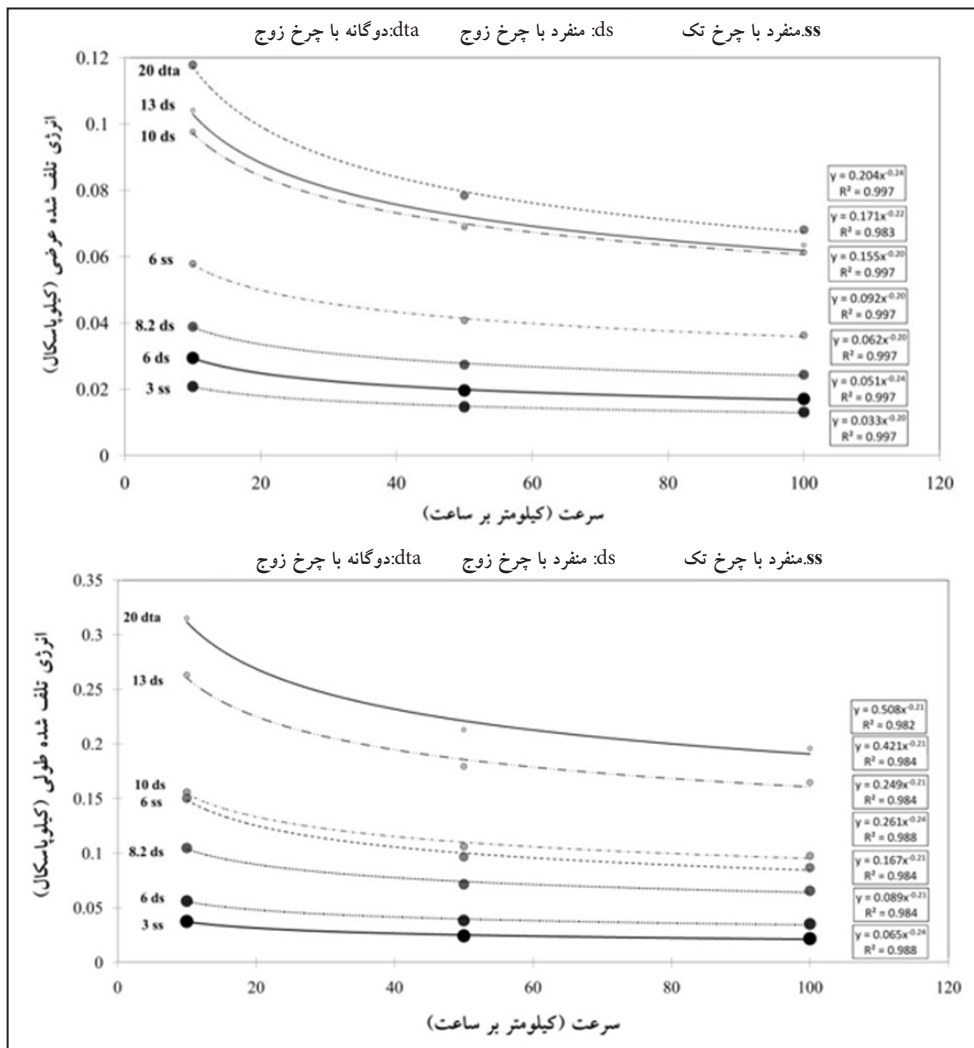
رابطه میان عدد ضخامت روسازی و کرنش طولی و عرضی در شکل‌های (۸) و (۹) نشان می‌دهد که با افزایش عدد ضخامت روسازی، میزان کرنش کششی حداکثر به صورت تابعی توانی کاهش می‌یابد.

۴-۲ انرژی تلف شده

بررسی مقادیر انرژی تلف شده نشان داد که در تمامی موارد،



شکل ۱۰. رابطه میان انرژی تلف شده در جهت طولی و عرضی

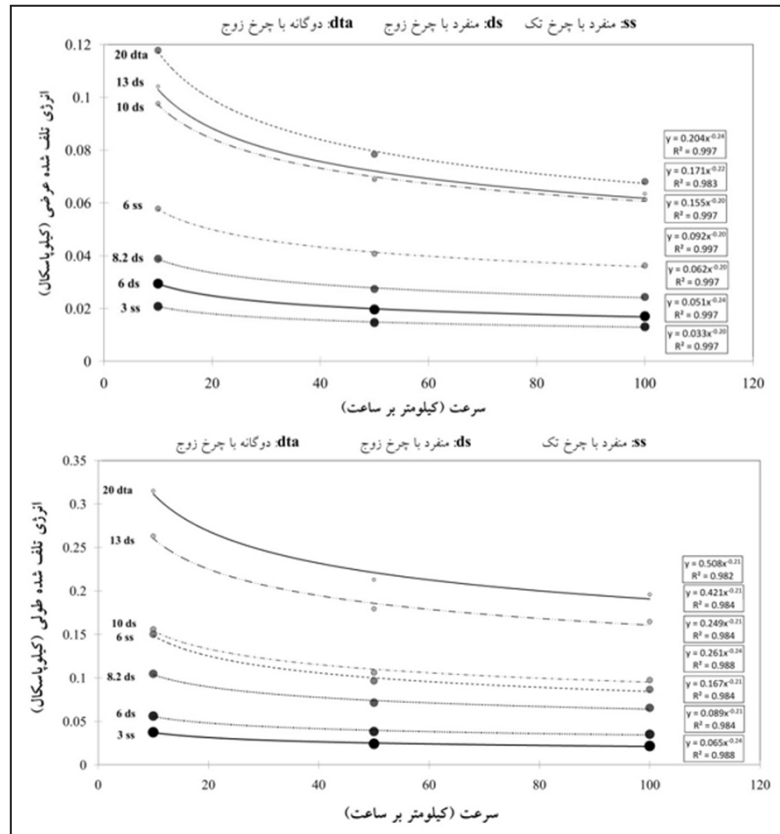


شکل ۱۱. رابطه میان انرژی تلف شده و سرعت

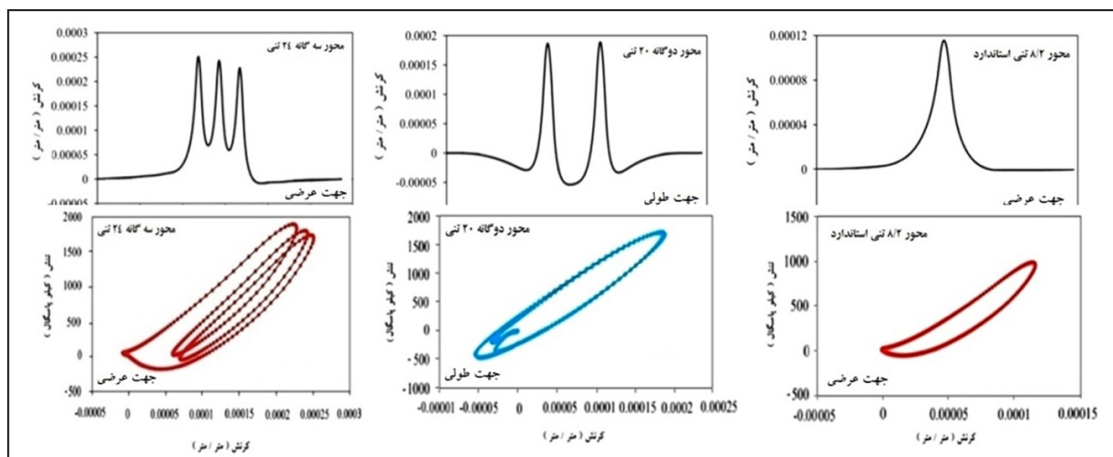
ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...

تأثیر بیشتری بر روی مقادیر انرژی تلف شده دارد. در شکل (۱۳)، تاریخچه زمانی کرنش‌ها و حلقه‌های انرژی تلف شده معادل آنها، برای سه محور مختلف (استاندارد ۸/۲ تنی، دوگانه ۲۰ تنی و سه‌گانه ۲۴ تنی) در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت و برای روسازی با ضخامت متوسط نشان داده شده است.

نمودار مقادیر انرژی تلف شده در برابر عدد ضخامت روسازی در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت رابطه‌ای توانی را میان انرژی تلف شده و عدد ضخامت روسازی نشان می‌دهد که با افزایش عدد ضخامت، انرژی تلف شده کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که تغییر ساختار روسازی نسبت به تغییر سرعت،



شکل ۱۲. رابطه میان انرژی تلف شده و عدد ضخامت روسازی



شکل ۱۳. تاریخچه زمانی کرنش‌ها و حلقه انرژی تلف شده معادل آنها

۵. ضرایب بار هم ارز

۱-۵ خرابی حداکثر

در این حالت، مقدار بیشترین خرابی میان خرابی‌های حاصل در جهت طولی و عرضی به عنوان مبنای کار در نظر گرفته شد.

$$LEF_{\max} = \frac{\max(L \text{ Damage}_{\text{axle}}, T \text{ Damage}_{\text{axle}})}{\max(L \text{ Damage}_{\text{standard}}, T \text{ Damage}_{\text{standard}})} \quad (۶)$$

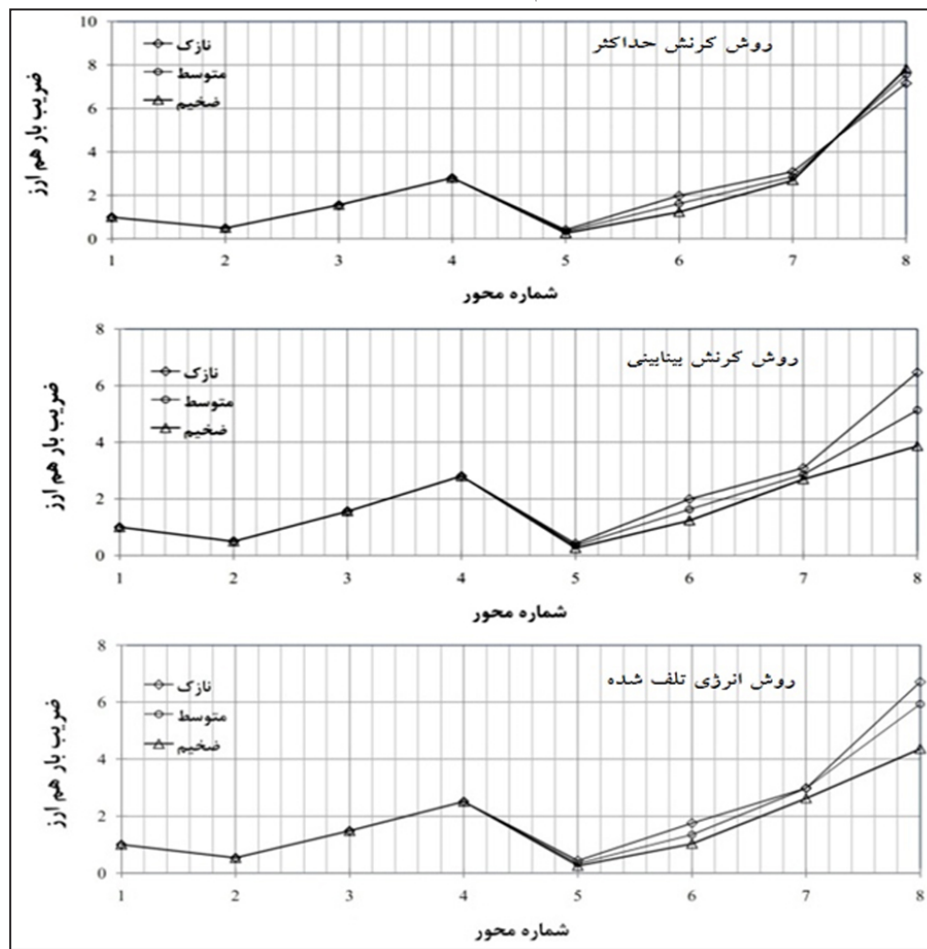
LEF_{axle} ضریب بار هم ارز، $L \text{ Damage}_{\text{axle}}$ خرابی طولی محور مورد نظر، $T \text{ Damage}_{\text{axle}}$ خرابی عرضی محور مورد نظر، $L \text{ Damage}_{\text{standard}}$ خرابی طولی محور استاندارد و $T \text{ Damage}_{\text{standard}}$ خرابی عرضی محور استاندارد است.

نتایج نشان داد که تأثیر سرعت بر روی ضرایب بار هم ارز، کمتر از تأثیر ساختار روسازی است. همچنین مقایسه ضرایب بار هم

ارز نشان می‌دهد که برای محورهای منفرد با چرخ زوج، ضرایب بار هم ارز در سرعت‌ها و ساختارهای متفاوت تقریباً یکسان هستند. لازم به ذکر است که در مورد محورهای منفرد تک چرخ، محور دوگانه با چرخ زوج و محور سه‌گانه با چرخ تک، تفاوت میان ضرایب بار هم ارز برای سرعت‌ها و ساختارهای مختلف روسازی مشهودتر است. همچنین این تفاوت در ساختارهای متفاوت نسبت به سرعت‌های مختلف بیشتر است.

در شکل (۱۴)، ضرایب بار هم ارز در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت و برای سه ساختار روسازی در هر دو روش کرنش و انرژی تلف شده نشان داده شده است.

ضرایب بار هم ارز حاصل از دو روش کرنش و انرژی تلف شده برای محورهای منفرد، تقریباً یکسان هستند. لازم به ذکر



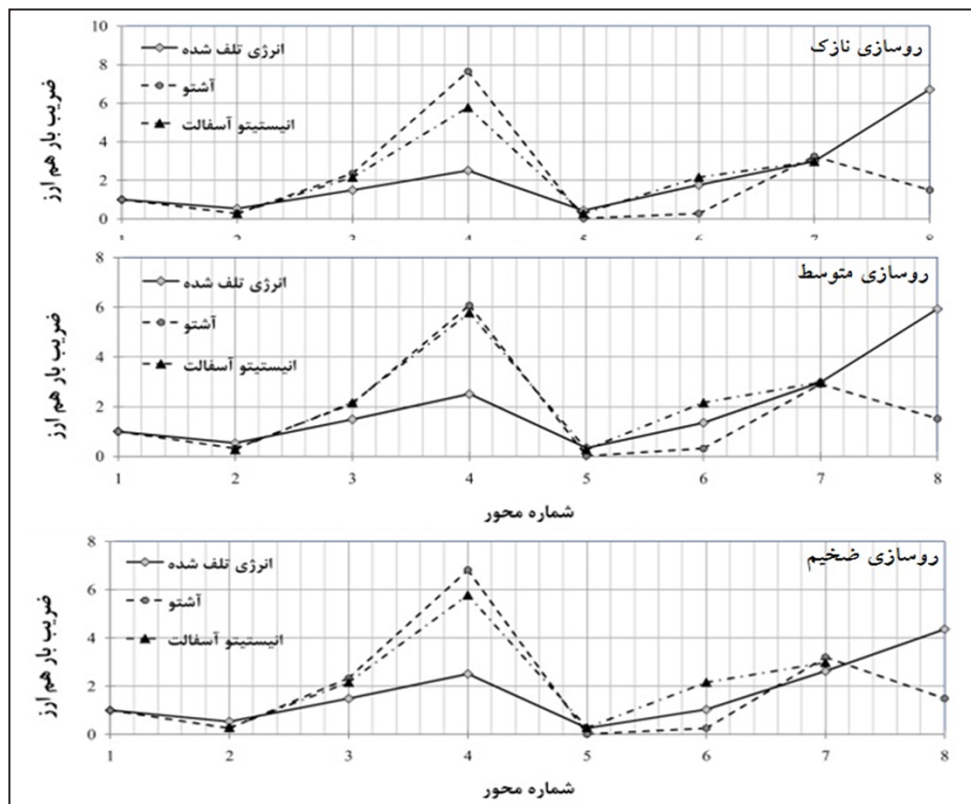
شکل ۱۴. ضریب بار هم ارز به روش‌های مختلف در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت

ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...

روش انرژی تلف شده به مقادیر حاصل از روش کرنش بینابینی نزدیکتر است.

ضرایب بار هم ارز در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت برای سه روش انرژی تلف شده (در حالت خرابی حداکثر) و ضرایب آیین نامه اشته و انستیتو آسفالت، در شکل (۱۵) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، برای محورهای با چرخ تک، مقادیر محاسبه شده در این مطالعه، اختلاف زیادی با مقادیر حاصل از آیین نامه اشته و انستیتو آسفالت دارد. لازم به ذکر است در صورتی که تمامی شرایط تحلیل یکسان باشد، محور با چرخ تک نسبت به محور با چرخ زوج با همان میزان وزن، خرابی بیشتری ایجاد می کند. حال آنکه در تعیین ضرایب بار هم ارز در آیین نامه اشته و انستیتو آسفالت و همچنین در آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، تفاوتی میان ضرایب بار هم ارز حاصل از عبور چرخ های تک و چرخ های زوج در نظر گرفته نشده است.

است که در محورهای منفرد اثر تقابلی در پاسخ روسازی وجود ندارد و بنابراین مقادیر ضریب بار هم ارز در دو روش کرنش حداکثر و بینابینی با یکدیگر برابرند. در حالی که در محورهای دوگانه و سه گانه که اثر تقابلی در پالس کرنش عرضی مشاهده می شود، بنابراین مقادیر ضریب بار هم ارز در جهت عرضی در دو روش کرنش حداکثر و بینابینی متفاوت از یکدیگر خواهد بود. اما با توجه به اینکه در روش خرابی حداکثر، برای محورهای استاندارد و دوگانه در جهت طولی، مقادیر حداکثر است، بنابراین در این روش مقادیر ضریب بار هم ارز محور دوگانه در هر دو روش کرنش حداکثر و بینابینی برابر یکدیگرند. اما در مورد محور سه گانه، خرابی در جهت عرضی بیشتر از خرابی در جهت طولی است و در این صورت، اثر تقابلی وارد محاسبات می شود و میان دو روش کرنش حداکثر و کرنش بینابینی اختلاف دیده می شود. در این مورد نتایج نشان داد که مقدار ضریب بار هم ارز حاصل از



شکل ۱۵. ضریب بار هم ارز در روسازی های مختلف در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت

۲-۵ خرابی جهت طولی و عرضی

محور مورد نظر، $T Damage_{axle}$ خرابی عرضی محور مورد نظر، $L Damage_{standard}$ خرابی طولی محور استاندارد و $T Damage_{standard}$ خرابی عرضی محور استاندارد است. نتایج نشان داد که اثر ساختار روسازی بر روی ضریب بار هم ارز نسبت به اثر سرعت بیشتر است. این موضوع برای ضرایب بار هم ارز در جهت طولی و عرضی مشاهده می‌شود.

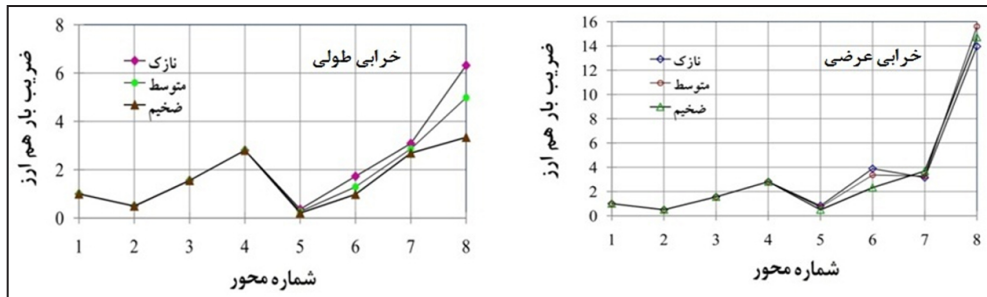
بررسی روش‌های کرنش و انرژی تلف شده به کار برده شده نشان داد که در جهت عرضی میان دو روش کرنش بینابینی و روش کرنش حداکثر در محورهای ۷ و ۸ (محور دوگانه با چرخ زوج و محور سه‌گانه با چرخ منفرد) اختلاف دیده می‌شود که این اختلاف ناشی از در نظر گرفتن اثر تقابلی میان حداکثرهای کرنش کششی است که این اختلاف به دلیل افزایش اثر تقابلی با افزایش ضخامت لایه آسفالت افزایش می‌یابد.

در این مطالعه، خرابی جهت طولی حاصل از محور مورد نظر بر خرابی طولی حاصل از محور استاندارد به عنوان ضریب بار هم ارز جهت طولی در نظر گرفته شد. همچنین ضریب بار هم ارز جهت عرضی از نسبت خرابی محور مورد نظر در جهت عرضی بر خرابی عرضی محور استاندارد به دست آمد.

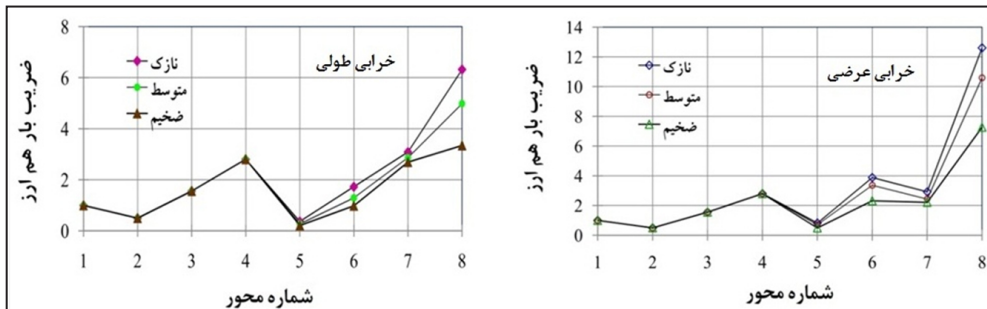
$$LEF_L = \frac{L Damage_{axle}}{L Damage_{standard}} \quad (7)$$

$$LEF_T = \frac{T Damage_{axle}}{T Damage_{standard}} \quad (8)$$

LEF_L ضریب بار هم ارز در جهت طولی، LEF_T ضریب بار هم ارز در جهت عرضی، $L Damage_{axle}$ خرابی طولی

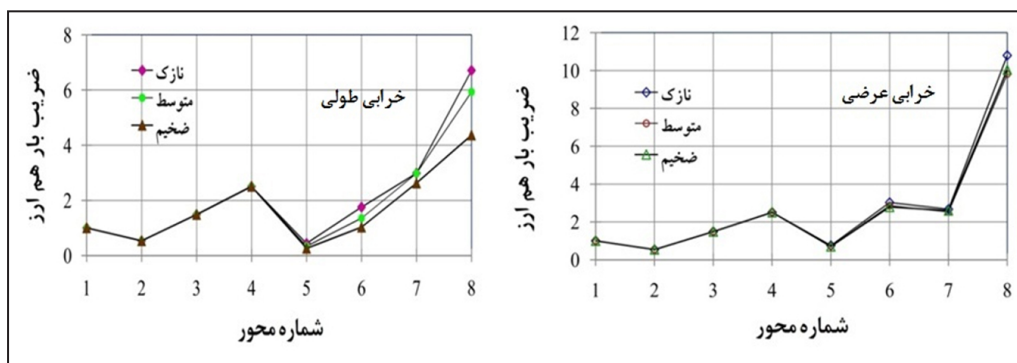


شکل ۱۶. ضرایب بار هم ارز به روش کرنش حداکثر در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت

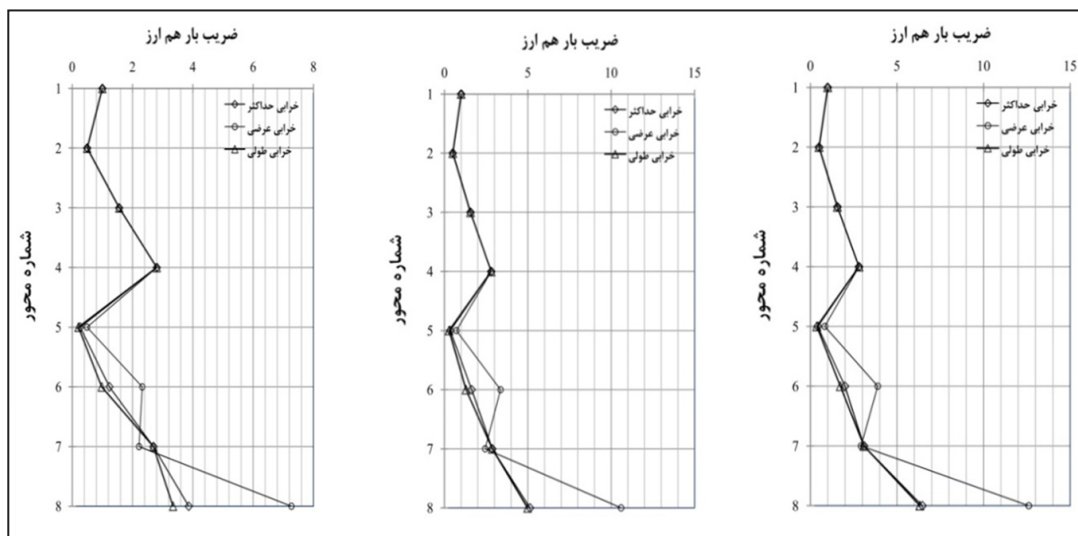


شکل ۱۷. ضرایب بار هم ارز به روش کرنش بینابینی در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت

ارزیابی ضرایب بار هم محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...



شکل ۱۸. ضرایب بار هم ارز به روش انرژی تلف شده در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۱۹. ضرایب بار هم ارز: (الف) روسازی نازک، (ب) روسازی متوسط، (ج) روسازی ضخیم

محورها با چرخ زوج، قابل صرف نظر کردن است. در حالی که برای محورها با چرخ تک اختلاف بیشتری دیده می شود و در این محورها همچنین مشاهده می شود که روش حداکثر خرابی اختلاف کمتری با روش خرابی طولی دارد. می توان بیان کرد که مقادیر حاصل از روش خرابی حداکثر به مقادیر حاصل از روش خرابی طولی نزدیک تر است.

۶. مقایسه ضرایب بار هم ارز به دست آمده در این مطالعه با ضرایب پیشنهادی در آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران

نتایج بررسی بر روی پارامتر سرعت عبوری نشان داد که این

ضرایب بار هم ارز حاصل از سه روش با استفاده از روش کرنش بینابینی در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت برای هر سه ساختار روسازی در شکل (۱۹) آورده شده است.

مقایسه میان ضرایب جهت طولی و عرضی نشان داد که مقادیر این ضرایب برای محورهای منفرد با چرخ زوج در جهت طولی و عرضی تقریباً با هم برابر هستند. برای محور دوگانه با چرخ زوج نیز مقادیر در جهت طولی و عرضی نزدیک به یکدیگر هستند. در حالی که در محورهای با چرخ تک، ضرایب بار هم ارز عرضی بیشتر از مقادیر در جهت طولی هستند.

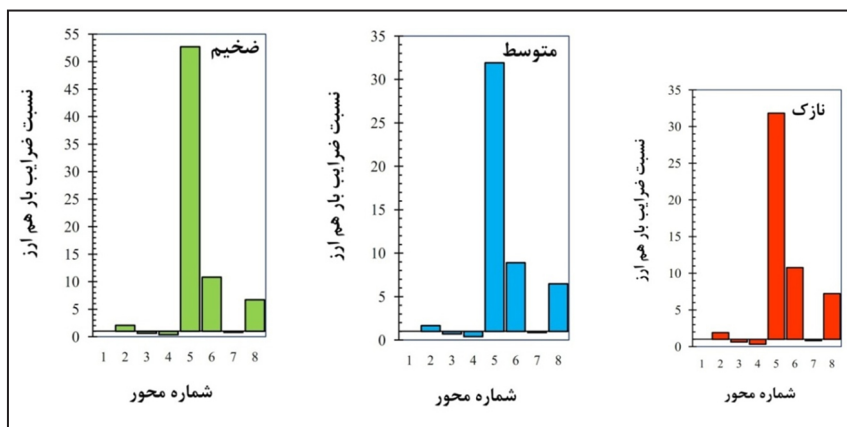
مقایسه میان ضرایب حاصل از خرابی حداکثر، عرضی و طولی نشان داد که اختلاف مقادیر حاصل از این سه روش برای

موضوع در تمامی روش‌های، سرعت‌ها و ضخامت‌ها مشاهده شد.

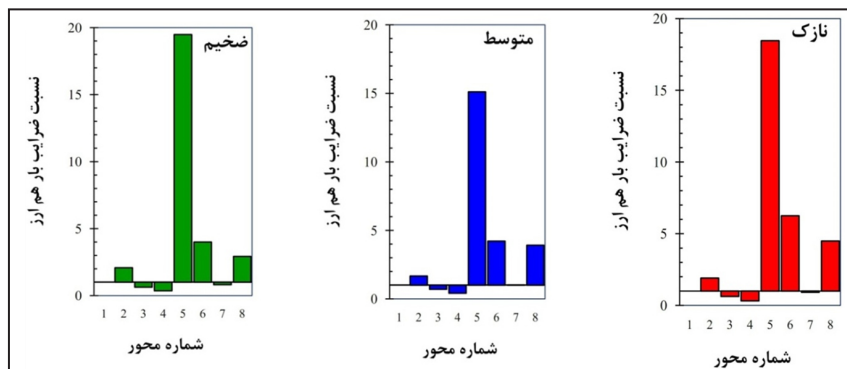
در مورد این محورها، نسبت ضریب بار هم ارز محاسبه شده در این مطالعه به ضریب بار هم ارز آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران در شکل‌های (۲۰) تا (۲۲) در روش انرژی تلف شده و در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت و در هر سه روش خرابی حداکثر، خرابی طولی و عرضی نشان داده شده است. این نسبت در روش کرنش عرضی برای محور ۳ تنی ساده (محور جلو در مینی بوس و اتوبوس) در روسازی ضخیم، متوسط و نازک به ترتیب به ۵۳، ۳۲ و ۳۲ برابر رسیده است. که این موضوع نشان می‌دهد که در مورد محورهای با چرخ تک باید بازیابی اساسی در تعیین ضرایب در آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران صورت پذیرد.

پارامتر در روش‌های مختلف، بر روی ضریب بار هم ارز حاصل از عبور محور منفرد با چرخ زوج، تأثیرگذار نیست، چرا که محور استاندارد نیز محور منفرد با چرخ زوج است و همچنین در تحلیل فوق، سرعت عبوری برای محور مورد نظر و محور استاندارد یکسان در نظر گرفته شده است و این موضوع با مطالعه انجام شده توسط خاکی و سرکار موافق است. در حالی که در مورد محورهای منفرد با چرخ تک و همچنین محور دوگانه و سه‌گانه، سرعت عبوری از عوامل مؤثر بر روی ضریب بار هم ارز است. در حالی که هم اکنون در آیین‌نامه ایران به سرعت عبوری در محاسبه ضریب بار هم ارز توجه نشده است.

نتایج نشان داد که ضرایب بار هم ارز برای محورهای با چرخ تک در آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، تفاوت بسیاری با ضرایب بار هم ارز محاسبه شده در این مطالعه دارند و این

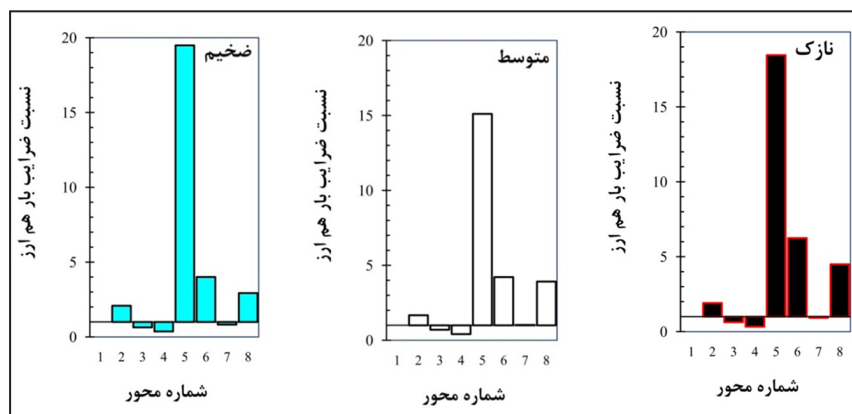


شکل ۲۰. نسبت ضرایب بار هم ارز عرضی از روش انرژی تلف شده به روش اشتو



شکل ۲۱. نسبت ضرایب بار هم ارز طولی از روش انرژی تلف شده به روش اشتو

ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...



شکل ۲۲. نسبت ضرایب بار هم ارز حداکثر از روش انرژی تلف شده به روش اش تو

محوری بر روی محورهای بارگذاری آیین نامه روسازی راه‌های ایران به روش‌های کرنش و انرژی تلف شده، نتایج زیر حاصل شد:

۱- در محورها با چرخ زوج، کرنش حداکثر کششی طولی بیشتر از کرنش حداکثر کششی جهت عرضی است.

۲- برای محورهای تک چرخ کرنش حداکثر کششی عرضی بیشتر از کرنش حداکثر کششی طولی است.

۳- انرژی تلف شده در جهت طولی بیشتر از جهت عرضی است.

۴- رابطه حداکثر کرنش کششی و همچنین انرژی تلف شده با سرعت به صورت یک رابطه توانی قابل تعریف است. به صورتی که با افزایش سرعت مقادیر حداکثر کرنش و انرژی تلف شده کاهش می‌یابد.

۵- رابطه حداکثر کرنش کششی و همچنین انرژی تلف شده با عدد ضخامت نیز به صورت یک رابطه توانی قابل تعریف است، به طوری که با افزایش عدد ضخامت مقادیر حداکثر کرنش و انرژی تلف شده کاهش می‌یابد.

۶- ضرایب بار هم ارز حاصل از روش‌های مختلف نشان داد که ضرایب بار هم ارز برای محورهای منفرد با چرخ زوج مستقل از سرعت وسیله نقلیه و عدد ضخامت و روش به کار برده شده در تعیین ضریب بار هم ارز است.

۷- بررسی نتایج محور ۶ تنی نشان داد که ضریب بار هم ارز

به عنوان مقایسه دیگری در این بخش، محور جلوی وسایل نقلیه شامل کامیون دو محور سبک و سنگین، کامیون سه محور، تریلی چهار و پنج محور که هم اکنون در آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران به صورت محور منفرد با چرخ زوج (۶ تنی) در نظر گرفته می‌شود، در حالی که در واقعیت این محور به صورت محور منفرد با چرخ تک است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج برای این محور نشان داد که ضریب بار هم ارز محور منفرد با چرخ زوج (۶ تنی) در روش خرابی حداکثر و خرابی طولی در روش‌های کرنش در سرعت‌های مختلف به طور متوسط از ۵۵ تا ۷۴ درصد و در روش انرژی تلف شده از ۴۹ تا ۷۰ درصد، کمتر از ضریب بار هم ارز در محور منفرد با چرخ تک است. همچنین نسبت‌های فوق در خرابی عرضی برای روش‌های کرنش به طور متوسط از ۷۹ تا ۸۷ درصد و در روش انرژی تلف شده از ۷۹ تا ۸۰ درصد است. بررسی این محور نیز نشان داد که در نظر گرفتن محور منفرد با چرخ تک و زوج تأثیر بسزایی در مقادیر ضریب بار هم ارز خواهد داشت.

۷. نتیجه‌گیری

از تحلیل و بررسی کرنش‌های کششی در تار پایین لایه آسفالتی سه نوع روسازی نازک، متوسط و ضخیم و در سه سرعت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت و همچنین ارزیابی ضریب بار هم ارز

- Chatti, K., Manik. A., Salama, Ch, El Mohtar, H. and Lee, H. (2009) "Effect of Michigan multi-axle trucks on pavement distress", Final report, Michigan Department of Transportation February

Chatti, K., Lee . H. and El Mohtar. H. (2004) "Fatigue life predictions for asphalt concrete subjected to multiple axle loadings", Proceedings 8th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions, Johannesburg, South Africa, March

- Chatti, K., Lee. D. and Kim, T. (2000) "Truck damage factors using dissipated energy versus peak strains", 6th international Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions.

- Chaudry, R. and Memon, A. B (2013) "Effects of variation in truck factor on pavement performance in Pakistan", Journal of Engineering and Technology, pp.19-30.

- Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures (2004) "Appendix II 1:Calibrationof Fatigue Cracking Models for Flexible Pavements"(NCHRP).

- Huang, Y. H. (2004) "Pavement analysis and design", Prentice Hall, New Jersey.

- Garber, N. J. and Hoel, L. A. (1988) "Traffic and highway engineering", West Publishing Company, St. Paul, Minnesota, 959 pages.

- Jordhal, P. R. and Rauhut, J. B. (1983) "Flexible pavement model VESYS IV-B", Report prepared for Federal Highway Administration under Contract DTFH61-C-00175.

محور منفرد با چرخ زوج در روش خرابی حداکثر و خرابی طولی در روش‌های کرنش در سرعت‌های مختلف به طور متوسط از ۵۵ تا ۷۴ درصد و در روش انرژی تلف شده از ۴۹ تا ۷۰ درصد، کمتر از ضریب بار هم ارز در محور منفرد با چرخ تک است.

نتایج نشان داد که نسبت‌های فوق در خرابی عرضی برای روش‌های کرنش به طور متوسط از ۷۹ تا ۸۷ درصد و در روش انرژی تلف شده از ۷۹ تا ۸۰ درصد است.

۸- نتایج نشان داد که ضرایب بار هم ارز در حالت خرابی حداکثر به ضرایب بار هم ارز در حالت خرابی طولی نزدیک‌تر است.

۹- نتایج نشان داد در مواردی که اثر تقابلی در پاسخ‌ها در نظر گرفته می‌شود، ضرایب بار هم ارز به روش انرژی تلف شده به روش کرنش بینابینی نزدیک‌تر است.

۱۰- نتایج نشان داد که نسبت ضرایب بار هم ارز به دست آمده در این مطالعه به ضرایب بار هم ارز آیین‌نامه اشتو در مورد محورهای منفرد و سه‌گانه با چرخ تک بیش‌ترین مقادیر را شامل می‌شوند.

۸. پی نوشت ها

1. LEF(Load Equivalency Factor)
2. Tandem Axle
3. Tridem Axle
4. Fatigue
5. AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)
6. Asphalt Institute
7. PSI (Present Serviceability Index)
8. SHRP(Strategic Highway Research Program)
9. ALF(Accelerated Load facility)

۹. مراجع

-Abdel-Motaleb,M. E. (2007) "Impact of high-pressure truck tires on pavement design in Egypt", Emirates Journal for Engineering Research, pp. 65-73.

ارزیابی ضرایب بار هم ارز محوری بر اساس معیار خستگی لایه آسفالتی با استفاده از روش انرژی تلف شده و...

رییس جمهوری.

- بهزادی، غلامعلی (۱۳۸۳) " تأثیر خواص پلاستیک لایه‌های روسازی راه در ضریب بار هم ارز"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۲۲-۲۴ اردیبهشت ماه ۱۳۸۳

- خاکی، علی منصور و سرکار، علیرضا " اثرات مدت زمان بارگذاری بر روی ضرایب بار هم ارز در روسازی‌های انعطاف‌پذیر"، نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، جلد ۱۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۶، ص. ۷۷-۸۵

- Judycki, J. (2011) "Determination of equivalent axle load factors on the basis of fatigue criteria for flexible and semi-rigid pavements", Journal of Road Materials and Pavement Design, pp.187-202.

- SHRP-A-404. (1994) "Fatigue response of asphalt-aggregate mixes", Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC.

- Siddharthan, R.V., Sebaaly, P. E., El-Desouky, M., Strand, T and Huft, D. (2005) "Heavy off-road vehicle tire-Pavement Interactions and Response," Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 131(3), pp. 239-247.

- Siddharthan, R.V., El-Mously, M., Krishnamenon, N. M. and Sebaaly, P.E. (2002) "Validation of a pavement response model using full-scale field tests", International Journal in Pavement Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 85-93.

- Siddharthan, R.V., Krishnamenon, N and Sebaaly, P. E (2000) "Pavement response evaluation using finite-layer approach", Transportation Research Record, No. 1709, TRB, pp. 43-49.

- Zhang, Z., Kawa, I. and Hudson, W. R. (2005) "Impact of changing traffic characteristics and environmental conditions on performance of pavements", Report No. FHWA/TX-05/0-1713-2, Center for Transportation Research of University of Texas at Austin.

- آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران - نشریه شماره ۲۳۴ (۱۳۹۰) تجدید نظر اول، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

