

بررسی تاثیر نوع چرخ و وزن محور بر ترک خوردگی روسازی های آسفالتی به روش المان محدود

حسن طاهرخانی^{۱*}، مسعود جلالی جیرندهی^۲

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۲- کارشناس ارشد عمران گرایش راه و ترابری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

*taherkhani.hasan@znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۳/۱۵]

تاریخ دریافت: [۹۴/۰۹/۱۵]

چکیده - ترک های بالا به پایین از مهمترین خرابی های روسازی های آسفالتی محسوب می شوند که سبب کاهش قابل ملاحظه کیفیت روسازی ها خواهند شد. برهم کنش بین چرخ و روسازی نقشی تعیین کننده در پیدایش این نوع از خرابی ها ایفا می کند. در این مقاله سعی شده تا با تحلیل ویسکوالاستیک و به روش المان محدود تاثیر تغییرات وزن محور و همچنین تغییرات نوع چرخ بر ترک های بالا به پایین و پایین به بالا بررسی شود. برای این منظور تاثیر سه وزن محور ۵، ۸/۲ و ۱۵ تن و دو ترکیب چرخ مختلف (چرخ های زوج و عریض) بر ترک های بالا به پایین و پایین به بالا در روسازی مسلح شده با ژئوگرید و غیرمسلح مقایسه شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که در وزن محور ۵ و ۸/۲ تن ترک های بالا به پایین ابتدا در لبه های داخلی مسیر حرکت چرخ ظاهر می شوند در حالی که، در وزن محور ۱۵ تن این ترک ها در فضای بین دو چرخ زودتر از سایر نواحی ایجاد خواهند شد. همچنین مشخص شد که استفاده از چرخ عریض به جای چرخ های زوج بر ترک های پایین به بالا بیش از ترک های بالا به پایین تاثیرگذار خواهد بود. براساس نتایج به دست آمده می توان گفت، استفاده از ژئوگرید در زیر لایه آسفالتی بیشتر در کاهش ترک های پایین به بالا موثر خواهد بود و تاثیر چندانی در کاهش ترک های بالا به پایین نخواهد داشت. علاوه بر این، مقایسه نسبت خرابی به دست آمده نشان می دهد که هم در روسازی مسلح و هم در روسازی غیرمسلح خسارت ترک های بالا به پایین ناشی از چرخ عریض بیش از چرخ های زوج خواهد بود.

واژگان کلیدی: روسازی آسفالتی، ترک بالا به پایین، وزن محور، نوع چرخ، ژئوگرید.

۱- مقدمه

سمت پایین لایه آسفالتی گسترش می یابد. این ترک ها بیشتر به صورت طولی بوده و در مسیر حرکت چرخ پدید می آیند [1, 2, 3, 4, 5]. بسیاری از پژوهشگران علت به وجود آمدن TDC را به بار وارد شده به روسازی نسبت می دهند زیرا، این ترک ها بیشتر در زیر یا در نزدیکی مسیر حرکت چرخ ظاهر می شوند [6].

ترک بالا به پایین^۱ (TDC) به عنوان یکی از مخرب ترین انواع ترک ها، سبب کاهش قابل ملاحظه کیفیت و عمر روسازی های آسفالتی خواهد شد [1]. TDC، برخلاف ترک های پایین به بالا^۲ (BUC)، از سطح روسازی شروع شده و به

1 Top-Down Cracking
2 Bottom-Up Cracking

محور و نوع چرخ) و همچنین تاثیر استفاده از ژئوگرید بر این کرنش (کرنش کششی قائم سطح لایه آسفالتی) به عنوان پاسخ بحرانی TDC مورد مطالعه قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش، تاثیر سه وزن محور ۵، ۸/۲ و ۱۵ تن و دو ترکیب چرخ مختلف (چرخ‌های زوج و عریض) بر TDC و BUC در روسازی‌های مسلح و غیرمسلح مقایسه شده است. به این منظور، با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS مدلی سه بعدی از روسازی‌های آسفالتی رایج در ایران ساخته شد و در آن، رفتار لایه آسفالتی به صورت ویسکوالاستیک و سایر لایه‌های روسازی (اساس، زیراساس و بستر) به صورت الاستیک خطی در نظر گرفته شد. همچنین، برای تقویت روسازی از یک ژئوگرید از جنس الیاف شیشه (گلاس‌گرید^۶) در زیر لایه آسفالتی استفاده شد. ژئوگرید استفاده شده، به صورت پوسته‌ای مسطح، تغییرشکل پذیر و با فرض رفتار الاستیک خطی در نظر گرفته شده است.

به جای استفاده از مدل‌های رشد ترک از دو کرنش کششی، یکی در زیر لایه آسفالتی در راستای افقی (ϵ_{th}) و دیگری در سطح روسازی در راستای قائم (ϵ_{IV})، به ترتیب به عنوان پاسخ‌های بحرانی BUC و TDC استفاده شد و مقدار آنها تحت متغیر وزن محور و نوع چرخ در حالت مسلح و غیرمسلح مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفت. برای تشریح ویژگی‌های ویسکوالاستیک مصالح آسفالتی در نرم‌افزار ABAQUS از سری پرونی^۷ استفاده شده است. برای این منظور لازم است تا ثابت‌های پرونی، مدول الاستیسیته لحظه‌ای^۸ و نسبت پواسون مخلوط آسفالتی مشخص شود. در جدول (۱) مشخصات لایه‌های مختلف روسازی (لایه آسفالتی، اساس، زیراساس و بستر) و ژئوگرید استفاده شده در این پژوهش ارائه شده است.

مطالعه‌ای به وسیله‌ی ژائو و همکارانش^۱ انجام شده است که نشان می‌دهد، در بین خرابی‌های روسازی (شپارش‌دگی، BUC و TDC) ترک‌های بالا به پایین بیشترین حساسیت را به تغییرات ضریب توزیع بار^۲ (LDF) در کامیون‌ها نشان می‌دهند [7]. همچنین، با توجه به بار کامیون‌ها، محل ایجاد ترک‌های بالا به پایین نیز ممکن است تغییر یابد [8]. علاوه بر این، پژوهش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری‌های حقیقی نشان دهنده آن است که چرخ‌های کامیون یکی از علل اصلی به وجود آمدن TDC در روسازی‌های آسفالتی محسوب می‌شوند [9]. مطالعاتی به وسیله‌ی وانگ^۳ و روکی^۴ در زمینه تاثیر نوع چرخ بر پاسخ‌های سطحی روسازی انجام شد که نشان می‌دهد که نسل اول چرخ‌های عریض نسبت به سایر چرخ‌ها، خرابی TDC شدیدتری در روسازی ایجاد می‌کند [10].

تاکنون بررسی‌های متعددی درباره تعیین پاسخ‌های بحرانی مربوط به TDC صورت گرفته است. برخی از آنها، تنش‌های (یا کرنش‌های) برشی زیر چرخ را به عنوان معیار کلیدی برای سنجش TDC معرفی کرده‌اند [11,13,12]. از سوی دیگر، مطالعاتی نیز انجام شده است که در آنها تنش‌های (یا کرنش‌های) کششی افقی سطح لایه آسفالتی به عنوان پارامتر اصلی در بررسی TDC پیشنهاد شده است [14]. در بعضی از پژوهش‌ها نیز ترکیبی از تنش‌های کششی افقی و برشی سطح لایه آسفالتی به عنوان عوامل بالقوه ایجاد TDC در نظر گرفته شده‌اند [15]. علاوه بر این، در برخی از منابع از کرنش کششی قائم سطح لایه آسفالتی به عنوان پاسخ بحرانی TDC استفاده شده است. علت ایجاد این کرنش‌ها آن است که تنش‌های فشاری سطح روسازی در راستای افقی نسبت به راستای قائم، بیشتر خواهد بود. کیم^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان دادند که کرنش کششی قائم سطح لایه آسفالتی یکی از فاکتورهای اصلی و موثر بر TDC محسوب می‌شود [16]. پس، در این پژوهش تلاش شده است تا تاثیر متغیرهای گوناگون (وزن

- 1 Zhao et al.
- 2 Load Distribution Factor
- 3 Guangming Wang
- 4 Reynaldo Roque
- 5 Jaeseung Kim

6 Glass Grid
7 Prony Series
8 Instantaneous Modulus

۳- مدلسازی در نرم افزار

در این پژوهش از یک مدل سه بعدی چهار لایه‌ای استفاده شده است. ضخامت لایه‌ها و ابعاد مدل ساخته شده در شکل (۱) قابل مشاهده است. در این مطالعه تاثیر نصف یک محور منفرد با وزن‌های مختلف و همچنین تاثیر چرخ‌های زوج و عریض بر کرنش‌های بحرانی روسازی مسلح و غیرمسلح مورد تحلیل قرار گرفت. برای انجام تحلیل‌ها، از روش بارگذاری دوره‌ای^۱ استفاده شد به شکلی که، هر سیکل بارگذاری ۰/۱ ثانیه بارگذاری و ۰/۹ ثانیه استراحت را شامل می‌شد. این نوع بارگذاری متناظر با عبور یک کامیون با سرعت ۶۴ کیلومتر بر ساعت است [17]. مدل ساخته شده تحت ۲۵ سیکل بارگذاری قرار گرفت و در هر سیکل بارگذاری، تحلیل‌ها در ۲۰ گام زمانی انجام شد (به ازای هر ۰/۰۵ ثانیه). شکل (۲) روند بارگذاری در این پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل (۱) مدل المان محدود ساخته شده (ابعاد به سانتی‌متر است)

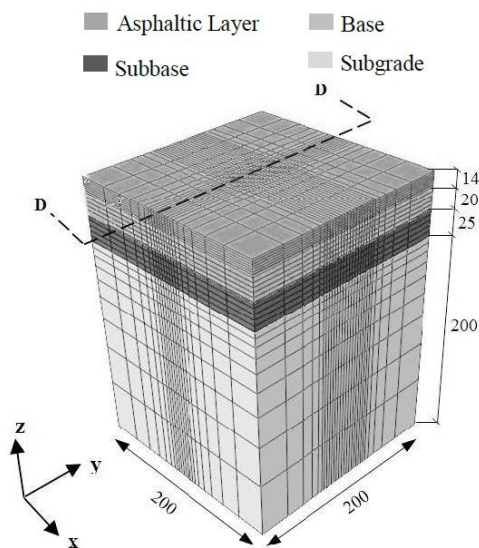


Fig. 1. Finite element model geometry (unit: cm)

شکل (۲) روند بارگذاری مورد استفاده در تحلیل‌ها

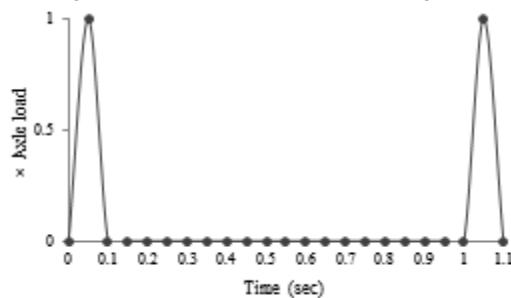


Fig 2. Schematic representation of loading pattern

به منظور افزایش کارایی مدل و کاهش زمان تحلیل، سطح تماس بین چرخ معمولی (مورد استفاده در ترکیب چرخ‌های زوج) و روسازی به صورت مستطیلی معادل و سطح تماس بین چرخ عریض و روسازی براساس رابطه ارائه شده برای چرخ 425/65R22.5، به صورت مستطیلی و با نسبت ابعاد ۰/۸۵:۱ در نظر گرفته شد [18]. همچنین، ابعاد سطح تماس بین چرخ و روسازی در فشار باد ۶۰۰ کیلوپاسکال محاسبه شد.

حرکت لایه‌های روسازی به‌گونه‌ای محدود شده است که لایه‌های روسازی نتوانند در راستای افقی حرکتی داشته باشند. همچنین، فرض می‌شود که در زیر مدل ساخته شده، هیچ حرکت افقی یا قائم وجود ندارد. از این رو، شرایط مرزی زیر بستر به صورت گیردار در نظر گرفته شده است. برهم‌کنش بین لایه‌ها به‌گونه‌ای تعریف شد که تحت بارگذاری و باربرداری، هیچ‌گونه جداشدگی در راستای قائم بین لایه‌های روسازی

جدول (۱) مشخصات مصالح لایه‌های روسازی و ژئوگرید [۱۷]

Layer	Elastic Properties		Viscoelastic Properties	
	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Prony Constants	
			τ_i	g_i
Asphalt	10693*	0.35	0.000606	0.449043
			0.001514	0.244553
			0.076795	0.123922
			1.334061	0.095569
			36.37552	0.045907
			98.04792	0.006257
Base	276	0.35	-	-
Sub-Base	104	0.35	-	-
Sub-Grade	34.5	0.45	-	-
Geogrid	76000	0.22	-	-

*Instantaneous Modulus

Table 1. Properties of the pavement layers and geogrid [17]

1 Cyclic Loading

شکل (۳) توزیع کرنش کششی سطحی لایه آسفالتی در مقطع D-D تحت

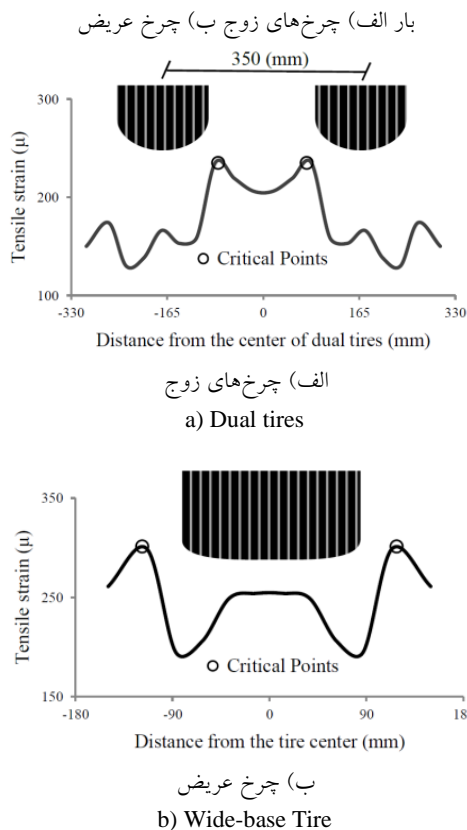
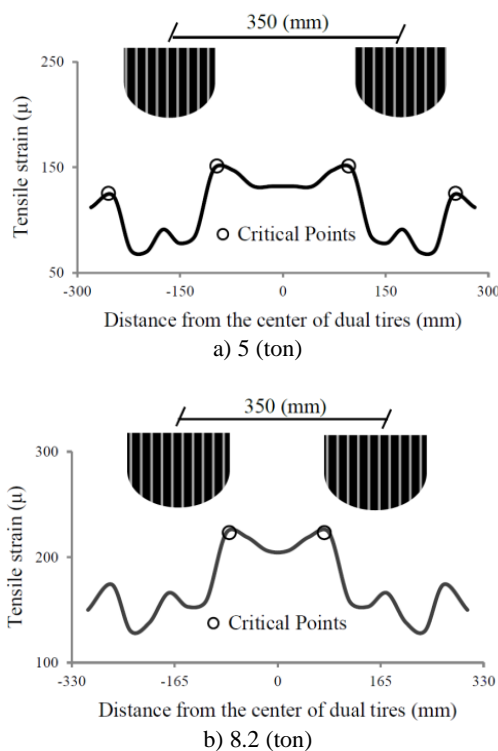


Fig. 3. Distribution of tensile strain at top of asphalt layer for D-D section due to a) Dual tires; and b) Wide-base tire

شکل (۴) توزیع کرنش کششی سطحی لایه آسفالتی در مقطع D-D تحت

وزن محور الف) ۵ ب) ۸/۲ پ) ۱۵ تن



ایجاد نشود. علاوه بر این، از لغزش بین ژئوستتیک و لایه‌های روسازی چشم‌پوشی شده و ژئوستتیک‌ها به صورت مدفون در این لایه‌ها مدل شدند.

به منظور اعتبارسنجی از آزمایش انجام شده در دانشگاه پارما استفاده شد. در این آزمایش، یک نمونه روسازی آسفالتی سه لایه‌ای شامل لایه‌های رویه، بیندر و اساس ساخته شد و روی یک لایه از جنس نئوپرن (که رفتار لایه زیراساس را شبیه‌سازی می‌کند) قرار گرفت. همچنین، از یک لایه ژئوستتیک در زیر لایه بیندر، برای تقویت روسازی استفاده شد. نمونه مورد آزمایش تحت یک بار دایره‌ای به شعاع ۵ سانتی‌متر و به بزرگی ۵/۵ کیلو نیوتون قرار گرفت. بار وارد شده به صورت تجمعی و به مدت ۲۰۰۰ ثانیه (شامل ۱۰۰۰ ثانیه بارگذاری و ۱۰۰۰ ثانیه استراحت) به نمونه اعمال شد. پس از ساخت مدل و تحلیل آن، پاسخ‌های مورد نظر، با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که اختلاف کرنش کششی سطحی آسفالت حاصل از آزمایش و مدل‌سازی در حالت مسلح و غیرمسلح به ترتیب برابر با ۸ و ۱۷ درصد است که مقادیری قابل قبول محسوب می‌شوند.

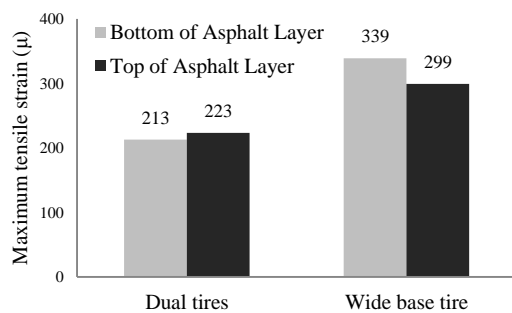
۵- تحلیل نتایج و تفسیر آن‌ها

براساس پاسخ‌های پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل المان محدود، نمودارهای توزیع کرنش‌های بحرانی ترسیم شد که در شکل (۳) ارائه شده‌اند. مشاهده می‌شود که در چرخ‌های زوج دو ناحیه بحرانی در لبه‌های داخلی هر چرخ وجود دارد که بیشینه کرنش کششی سطحی در این نواحی رخ می‌دهد (شکل ۳.الف).

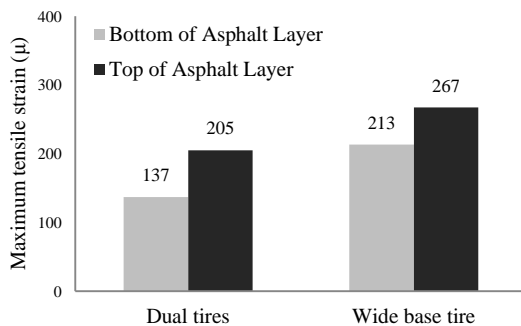
در چرخ عریض هم دو ناحیه بحرانی در لبه‌های چرخ مشاهده می‌شود شکل (۳.ب). بنابراین، می‌توان گفت در چرخ‌های زوج TDC در لبه‌های داخلی مسیر حرکت چرخ و در چرخ‌های عریض TDC در کناره‌های سطح تماس چرخ و روسازی ایجاد خواهد شد. علاوه بر این، با مقایسه نمودارهای (شکل ۳.الف) و (شکل ۳.ب) مشخص می‌شود که کرنش‌های بحرانی ناشی از چرخ عریض بزرگتر از چرخ‌های زوج است.

در مطالعات پیشین نیز دیده شده است [19]. مشاهده می‌شود که در چرخ‌های زوج مقدار بیشینه کرنش کششی سطحی بیشتر از کرنش کششی زیر لایه آسفالتی خواهد بود در حالی که، در چرخ عریض این طور نیست (شکل ۵.الف). این پدیده نشان دهنده این واقعیت است که تاثیر نوع چرخ بر تغییرات BUC بیش از TDC خواهد بود. همان گونه که انتظار می‌رود، مقدار کرنش‌ها در روسازی مسلح شده کمتر از روسازی غیرمسلح است. البته، واضح است که تاثیر ژئوگرید در کاهش کرنش‌های کششی زیر لایه آسفالتی بیش از کرنش‌های سطحی است. نتایج همچنین نشان می‌دهند که تاثیر ژئوگرید در کاهش کرنش‌های ناشی از چرخ عریض کمی بیشتر از چرخ‌های زوج است. همچنین، برخلاف روسازی غیرمسلح، در روسازی مسلح، در هر دو نوع چرخ بررسی شده، کرنش کششی سطحی بیش از کرنش کششی زیر لایه آسفالتی به دست آمده است.

شکل (۵) تاثیر نوع چرخ بر حداکثر کرنش کششی لایه آسفالتی در حالت (الف) غیرمسلح و (ب) مسلح به ژئوگرید



الف) روسازی غیرمسلح
a) Un-reinforced pavement



ب) روسازی مسلح به ژئوگرید
b) Reinforced Pavement

Fig. 5. The effect of tire type on the maximum tensile strains at the top and bottom of the asphalt layer for a) Un-reinforced pavement; and b) Reinforced pavement

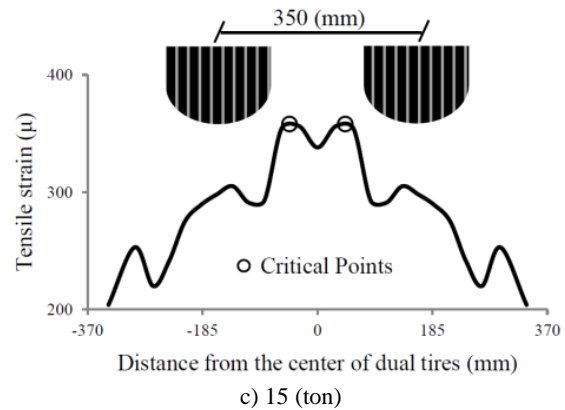


Fig. 4. Distribution of tensile strain at top of asphalt layer for D-D section under a) 5; b) 8.2; and c) 15 ton

در نمودارهای شکل (۴) تاثیر تغییرات وزن محور بر توزیع کرنش کششی سطح لایه آسفالتی در مقطع D-D نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات وزن محور بر توزیع کرنش‌ها و تعداد نواحی بحرانی تاثیرگذار خواهد بود. در وزن محور ۵ تن دو ناحیه بحرانی در لبه‌های داخلی سطح تماس چرخ و روسازی و دو ناحیه دیگر در لبه‌های بیرونی مسیر حرکت چرخ مشاهده می‌شود که البته، بزرگی کرنش‌ها در لبه‌های داخلی بیشتر است. در وزن محورهای ۸/۲ و ۱۵ تن تنها دو ناحیه بحرانی دیده می‌شود به شکلی که در وزن محور ۸/۲ تن نقاط بحرانی در لبه‌های داخلی سطح تماس چرخ و روسازی و در وزن محور ۱۵ تن، نواحی بحرانی در فضای بین دو چرخ ایجاد می‌شوند.

به طور کلی، روند تغییر موقعیت مکانی نقاط بحرانی به گونه‌ای است که با افزایش وزن محور، این نقاط به بخش‌های مرکزی بین دو چرخ انتقال می‌یابند. بنابراین، می‌توان گفت در وزن محور ۵ و ۸/۲ تن TDC در لبه‌های داخلی مسیر حرکت چرخ و در وزن محور ۱۵ تن TDC در فضای بین دو چرخ زودتر از سایر نواحی ایجاد می‌شود.

در شکل (۵) تاثیر چرخ‌های زوج و عریض بر بیشینه کرنش کششی زیر و سطح لایه آسفالتی در روسازی‌های مسلح و غیرمسلح مورد مقایسه قرار گرفته است. همان طور که انتظار می‌رود، مقدار کرنش‌های ناشی از چرخ عریض بیش از چرخ‌های زوج است. بنابراین می‌توان گفت TDC و BUC در مسیر حرکت چرخ عریض سریع‌تر ایجاد خواهند شد. این موضوع

با مقایسه نتایج حاصل از نمودارهای شکل (۶) و براساس فرضیه در نظر گرفته شده می‌توان گفت، به طور کلی استفاده از ژئوگرید در زیر لایه آسفالتی بیشتر در کاهش BUC موثر خواهد بود و تاثیر چندانی در کاهش TDC نخواهد داشت. در این مقاله برای محاسبه نسبت خرابی TDC از قانون توانی با مرتبه ۴ مطابق با رابطه ۱ استفاده شد که در زیر آورده شده است.

$$DR = \left(\frac{\epsilon_w}{\epsilon_d} \right)^4 \quad (1)$$

در رابطه ۱، DR نسبت خرابی TDC بین چرخ عریض و چرخ‌های زوج است. ϵ_w بیشینه کرنش کششی سطحی ناشی از چرخ عریض و ϵ_d حداکثر کرنش کششی سطحی ناشی از چرخ‌های زوج است.

نتایج حاصل از محاسبه نسبت خرابی TDC بین چرخ‌های زوج و عریض در روسازی‌های مسلح و غیرمسلح در جدول (۲) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که به طور کلی خسارت ناشی از چرخ عریض بیشتر از چرخ‌های زوج است. این موضوع با نتایج حاصل از مطالعات پیشین نیز هماهنگی دارد [۶]. البته، مقایسه نسبت خرابی در روسازی‌های مسلح و غیرمسلح نشان می‌دهد که خرابی ناشی از چرخ عریض در روسازی مسلح کمتر از حالت غیرمسلح خواهد بود.

جدول (۲) مقایسه نسبت خرابی ترک‌های بالا به پایین ناشی از چرخ‌های زوج و عریض در روسازی‌های مسلح و غیرمسلح

Tire Type	Damage Ratio (DR)	
	Reinforced Pavement	Un-Reinforced Pavement
Dual Tires	1.00	1.00
Wide Base Tire	2.88	3.23

Table 2. Top-Down Cracking damage ratio due to different tire types at reinforced and un-reinforced pavements

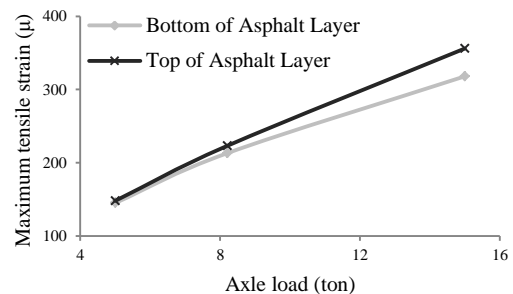
۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

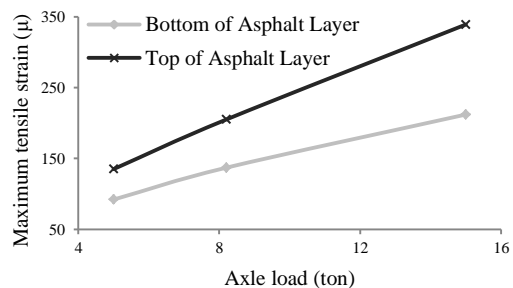
- براساس نتایج حاصل، روند تغییر موقعیت نقاط بحرانی به

در (شکل ۶) تاثیر تغییرات وزن محور بر بیشینه کرنش کششی زیر و سطح لایه آسفالتی در روسازی‌های مسلح و غیرمسلح نشان داده شده است. طبق انتظار، در هر دو روسازی مسلح و غیرمسلح، افزایش وزن محور سبب افزایش مقدار کرنش‌ها می‌شود. همچنین، ملاحظه می‌شود که نرخ رشد کرنش سطحی آسفالت بیش از کرنش زیر لایه آسفالتی است. در روسازی غیرمسلح (شکل ۶الف) مشاهده می‌شود که در وزن محور ۵ تن مقدار کرنش‌های زیر و سطح لایه آسفالتی با هم برابر است. اما با افزایش وزن، اختلاف بین کرنش‌ها افزایش می‌یابد. برخلاف روسازی غیرمسلح، در روسازی مسلح شده در هر سه وزن محور بررسی شده، مقدار کرنش سطحی بیش از کرنش زیر آسفالت است. علت آن است که استفاده از ژئوگرید در زیر لایه آسفالتی بیشتر بر کرنش‌های این ناحیه تاثیر خواهد گذاشت و در نتیجه، مقدار کرنش‌های زیر آسفالت بیش از کرنش‌های سطحی کاهش می‌یابد.

شکل (۶) تاثیر تغییرات وزن محور بر حداکثر کرنش کششی لایه آسفالتی در حالت الف) غیرمسلح و ب) مسلح به ژئوگرید



الف) روسازی غیرمسلح
a) Un-reinforced Pavement



ب) روسازی مسلح به ژئوگرید
b) Reinforced pavement

Fig. 6. The effect of axle load on the maximum tensile strains at the top and bottom of the asphalt layer for a) Un-reinforced pavement; and b) Reinforced pavement

- [5] Uhlmeyer, J.S., Willoughby, K., Pierce, L.M. & Mahoney, J.P. 2000 Top-Down Cracking in Washington State Asphalt Concrete Wearing Courses, *Journal of the Transportation Research Board*, 1730, 110-116.
- [6] Wang, G. 2009 *Effects of Truck Tire Type and Tire-Pavement Interaction on Top-Down Cracking and Instability Rutting*. Ph.D. Thesis, University of Florida, USA.
- [7] Zhao, Y., Tan, Y. & Zhou, C. 2012 Determination of axle load spectra based on percentage of overloaded trucks for mechanistic empirical pavement design., *Road Materials and Pavement Design*, 13(4), 850-863.
- [8] Sun, L. & Duan, Y. 2013 Dynamic response of top-down cracked asphalt concrete pavement under a half-sinusoidal impact load., *Acta Mechanica*, 224 (8), 1865-1877.
- [9] Hu, X. & Walubita, L. F. 2009 Modelling Tensile Strain Response in Asphalt Pavements., *Road Materials and Pavement Design*, 10 (1), 125-154.
- [10] Wang, G. & Roque, R. 2011 Impact of Wide-Based Tires on the Near- Surface Pavement Stress States Based on Three Dimensional Tire Pavement Interaction Model., *Road Materials and Pavement Design*, 12 (3), 639-662.
- [11] Chunhua, H. 2009 Three Dimensional Finite Element Analysis of Top-Down Cracking for Asphalt Pavements., *Second International Conference on Transportation Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China*.
- [12] Yongjie, L., Shaopu, Y. & Jianxi, W. 2014 Research on pavement longitudinal crack propagation under non-uniform vehicle loading., *Engineering Failure Analysis*, 42, 22-31.
- [13] Al-Qadi, I. L. & Wang, H. 2009 Full-depth Pavement Responses under Various Tire Configurations: Accelerated Pavement Testing and Finite Element Modeling., *Association of Asphalt Paving Technologists*, 78, 721-760.
- [14] Zhao, Y., Zhou, C., Zeng, W. & Ni, Y. 2015 Accurate determination of near-surface responses of asphalt pavements., *Road Materials and Pavement Design*, 16 (1), 186-199.
- [15] Greene, J., Toros, U., Kim, S., Byron, T. & Choubane, B. 2010 Impact of Wide-Base Single Tires on Pavement Damage. *Journal of the Transportation Research Board*, 2155, 82-90.
- [16] Kim, J., Roque, R. & Byron, T. 2009 Viscoelastic Analysis of Flexible Pavements and Its Effects on Top-Down Cracking., *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21 (7), 324-332.
- [17] Taherkhani, H., Moradloo, A. J. & Jalali Jirandehi, M. 2015 Investigating the effects of type and position of geosynthetic on the responses of asphaltic pavements using viscoelastic analysis by finite elements method., *Proceedings of 10th International Conference on Civil Engineering, University of Tabriz, Iran (In Persian)*.
- [18] Kim, D. 2008 Super-single tire loadings and their impacts on pavement design., *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35 (2), 119-128.
- [19] Al-Qadi, I.L., Elseifi, M. & Yoo, P. J. 2004 *Pavement Damage Due to Different Tires and Vehicle Configuration*., Final Report Submitted to Michelin Americas Research and Development Corporation.

گونه‌ای است که با افزایش وزن محور، نقاط بحرانی به بخش‌های مرکزی بین دو چرخ انتقال می‌یابند. بر این اساس، در وزن محور ۵ و ۸/۲ تن، TDC در لبه‌های داخلی مسیر حرکت چرخ و در وزن محور ۱۵ تن، TDC در فضای بین دو چرخ زودتر از سایر نواحی ایجاد خواهد شد.

- استفاده از چرخ عریض به جای چرخ‌های زوج سبب رشد کرنش‌های کششی سطح و زیر لایه آسفالتی می‌شود با این تفاوت که نرخ رشد کرنش زیر لایه آسفالتی بیش از کرنش سطحی خواهد بود.
- مقایسه نرخ رشد کرنش‌ها به ازای افزایش وزن محور نشان می‌دهد که نرخ رشد کرنش سطحی آسفالت بیش از کرنش زیر لایه آسفالتی است. این موضوع در روسازی‌های مسلح و غیرمسلح قابل مشاهده است.
- به طور کلی می‌توان گفت، استفاده از ژئوگرید در زیر لایه آسفالتی بیشتر در کاهش BUC موثر خواهد بود و تاثیر چندانی در کاهش TDC نخواهد داشت.
- مقایسه نسبت خرابی TDC نشان می‌دهد که در روسازی مسلح و غیرمسلح، خسارت ناشی از چرخ عریض بیش از چرخ‌های زوج است با این تفاوت که، در روسازی مسلح خرابی ناشی از چرخ عریض کاهش می‌یابد.

References

۶- مراجع

- [1] Miao, Y., He, T.G., Yang, Q. & Zheng, J.J., 2010. Multi-domain hybrid boundary node method for evaluating top-down crack in Asphalt pavements, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 34 (9), 755-760.
- [2] Zou, J., Roque, R., Chun, S. & Lopp, G., 2013. Long-term field evaluation and analysis of top-down cracking for Superpave projects, *Road Materials and Pavement Design*, 14 (4), 831-846.
- [3] Svasdisant, T., Schorsch, M., Baladi, G.Y. & Pinyosunon, S. 2002. Mechanistic Analysis of Top-Down Cracks in Asphalt Pavements, *Journal of the Transportation Research Board*, 1809, 126-136.
- [4] Dinégdae, Y.H., Onifade, I., Jelagin, D. & Birgisson, B. 2015 Mechanics-based top-down fatigue cracking initiation prediction framework for asphalt pavements, *Road Materials and Pavement Design*, DOI: 10.1080/14680629.2015.1055335, 1-21.

Investigating the Effects of Tire Type and Axle Load on Cracking of Asphaltic Pavements Using Finite Element Method

Hasan Taherkhani^{1*}, Masoud Jalali²

1- Assist. Prof., Civil Engineering Department, University of Zanjan

2- Graduate, Highway and Transportation Engineering, University of Zanjan

*taherkhani.hasan@znu.ac.ir

Abstract:

Cracking is one of the major modes of failure in asphaltic pavements. Structural cracks occur in two forms of top-down and bottom-up cracking. Bottom-up cracking occurs due to the fatigue of asphaltic materials under repetition of tensile strain at the bottom of asphaltic layer. Top-down cracking (TDC) is among the major forms of asphaltic pavement distresses that significantly affects the serviceability and development of structural failure. Interaction of tire and pavement plays a key role in the initiation of TDC. This study utilizes viscoelastic analysis -using finite element modeling- to evaluate the influence of axle loads and tire configuration on the top-down and bottom-up cracking (BUC) in typical unreinforced and reinforced asphaltic pavement structures. Reinforcing by glass-grid geogrid is selected for the reinforced structure. The highest vertical tensile strain at the surface and the highest horizontal tensile stress at the bottom of asphaltic layer are related to the TDC and BUC, respectively. Viscoelastic behavior is assumed for the asphaltic layer and linear elastic behavior is assumed for the base, sub-base and sub-grade. Prony series is used for characterizing the viscoelastic behavior of asphaltic layer. Using the tire pressure of 600kPa, effects of three axle load levels of 5, 8.2 and 15 ton and two tire configurations (conventional dual tire assembly and super single tire) on TDC and BUC have been investigated. Results show that the highest tensile strain at the surface occurs at the edge of super single tire and dual tires, with a higher values for the single tire. However, the location of the highest tensile strain shifts to the central region of dual tire with increasing axle load level. The results also show that under axle load of 5 and 8.2 ton, top-down cracking initially occurs at the inner edges of the tires, while under axle load of 15 ton its occurrence between the tires is more probable than in the other zones. For the pavement without reinforcement, the highest tensile strain at the surface is higher than that at the bottom under dual tires; however, under super single tire, the critical tensile strain at the surface is lower than that at the bottom of asphaltic layer. The results show that geogrid reinforcement is more effective in reducing the critical tensile strain at the bottom of asphaltic layer than that at the surface. This indicates that the reinforcement of pavement using geogrid at the bottom of asphalt layer is more effective on the bottom up cracking than on the top down cracking. In addition, geogrid reinforcement is more effective in reducing the critical strains under single tire than under dual tires. The rate of increase in the critical tensile strain at the surface with increasing axle load is more than that of the critical tensile strain at the bottom of asphaltic layer. Among bottom-up cracking (BUC) and TDC, BUC is more sensitive to the variations of tire type. By comparison, the super single tire created more TDC damage ratio than the dual tires assembly, in both reinforced and unreinforced pavements. However, the damage ratio due to the super single tire in unreinforced pavement is more than in reinforced pavement.

Keywords: Asphalt Pavement, Top-Down Cracking, Axle Weight, Tire Type, Geogrid.