

## تأثیر عامل بار محور هم‌ارز بر زوال روسازی جاده‌های جنگلی

محمدجواد حیدری<sup>۱</sup>، اکبر نجفی<sup>۲\*</sup> و سیدجلیل علوی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی‌ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۳</sup> استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۹)

### چکیده

با وجود هزینه‌های زیاد ساخت و نگهداری، جاده‌های جنگلی همچنان ابزاری ضروری برای دسترسی و مدیریت منابع جنگلی هستند. کیفیت این جاده‌ها تا حدود زیادی به طراحی روسازی آنها بستگی دارد. روسازی لایه‌های مختلفی از مصالح ساختمانی است که بار فشار ناشی از ماشین‌آلات به‌طور مستقیم بر آن وارد می‌شود. از این‌رو بررسی تأثیر میزان بار وارد شده در زوال روسازی دارای اهمیت است. در این پژوهش برای بررسی زوال روسازی، از تأثیر بار محور هم‌ارز استفاده شده است که نسبت خرابی ایجاد شده توسط محور مورد نظر به خرابی ایجاد شده توسط محور استاندارد (۸/۱۶ تنی) است. به‌منظور بررسی تأثیر عامل بار محور هم‌ارز بر زوال روسازی جاده‌های جنگلی، ابتدا ۵۰ کیلومتر از جاده‌های جنگلی تحت مدیریت شرکت چوب و کاغذ مازندران در آمل آماربرداری شد و سپس با توجه به نوع ماشین‌آلات حمل‌ونقل چوب و ماشین‌های سواری بررسی شد؛ در پایان با استفاده از تغییرات لگاریتم نسبت خرابی به بار محور هم‌ارز، مقادیر بحرانی و نرخ رشد خرابی‌های روسازی شناسایی شد. نتایج نشان دادند که به‌ترتیب بیشترین نسبت خرابی مربوط به کامیون سه محور ۱۴ تنی (نرخ رشد ۱۰/۶)، کامیون نه تنی، نیسان و سواری با مقادیر ۵/۹۲، ۲/۲، ۰/۶۴ و ۰/۴۵ بود. هرچند بیشترین خرابی مربوط به کامیون ۱۴ تنی است، تغییرات لگاریتم نسبت خرابی آن در مقایسه با بارهای مساوی در کامیون نه تنی کمتر است که این نتایج بر به‌کارگیری کامیون‌هایی با بار محور هم‌ارز کمتر، حجم چوب‌آلات کمتر و با فاصله زمانی مناسب خروج چوب از جنگل تأکید می‌کند. همچنین از آنجا که خصوصیات ترافیکی عاملی مهم در طراحی روسازی به‌شمار می‌رود، یافته‌های این پژوهش مهندسان جنگل را در طراحی مناسب روسازی کمک می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** حمل‌ونقل چوب، خرابی جاده، مدیریت جنگل، وزن بار.

### مقدمه

خدمت‌دهی آنها دارد (Visser et al., 2009). وظیفه اصلی روسازی، کاهش تنش ناشی از وزن خودروها، عوامل اقلیمی و توپوگرافی است (Adlinge & Gupta, 2013). در بسیاری از موارد ناآگاهی از وضعیت روسازی و عوامل مؤثر بر زوال روسازی، موجب بروز خرابی در روسازی می‌شود و در نهایت زوال روسازی را تشدید می‌کند (Alzubaidi & Magnusson, 2011). زوال روسازی

جاده‌های جنگلی ضروری‌ترین زیرساخت به‌منظور مدیریت جنگل هستند (Tunay, 2006) که دسترسی به محصولات چوبی جنگل، مدیریت، جلوگیری از آتش‌سوزی و استفاده از محصولات غیرچوبی جنگل و غیره را امکان‌پذیر می‌کنند (Efta & Chung, 2014). یکی از مهم‌ترین بخش‌های جاده‌های جنگلی، روسازی است که تأثیر زیادی در کیفیت و

ویژگی‌های بار مربوط به ترافیک برای روسازی جاده جنگلی با دیگر جاده‌ها متفاوت است و به‌طور کلی جاده‌های جنگلی دارای بار بزرگ‌تر با تعداد کمتر نسبت به بزرگراه‌ها هستند (Cambi et al., 2015). در طراحی روسازی به‌طور معمول بار وارد به ترافیک جاده جنگلی (تعداد محورها + تعداد چرخ ماشین‌آلات + وزن محور) در نظر گرفته می‌شود. وسایل نقلیه مختلف، تنش‌های متفاوتی بر روسازی ایجاد می‌کنند که البته این خرابی‌ها بسته به تعداد محورهای بارگذاری، وزن محورها و ترافیک واردشده به شبکه جاده متفاوت‌اند (Wang & Al-Qadi, 2009). نسبت خرابی ایجادشده توسط محور مورد نظر به خرابی ایجادشده توسط محور استاندارد، توسط بار هم‌ارز<sup>۱</sup> قابل بیان است (Martin, 2015). در میان روش‌های متعددی که طی این سال‌ها برای محاسبه بار هم‌ارز استفاده شده، روش آیین‌نامه‌اش تو و دستورالعمل (AASHTO, 1986) NCHRP T208-96 از متداول‌ترین روش‌هاست و نشانه خدمت‌دهی روسازی است که در این حالت در محاسبه ضریب بار محور هم‌ارز از اثرهای سرعت عبوری بر ضریب بار هم‌ارز صرف‌نظر می‌شود. همچنین، ضریب بار هم‌ارز برای محورهای با چرخ تک، برابر با ضریب بار هم‌ارز حاصل از عبور محورهای با چرخ زوج در نظر گرفته می‌شود (Wang, 2011).

هرچند در بخش جاده‌های جنگلی نیز روسازی مهم‌ترین بخش ساختمان جاده است و مدیران جنگل سالانه هزینه‌های زیادی را صرف نگهداری و مرمت آن می‌کنند و بررسی نقش بار محور هم‌ارز موضوعی ضروری است، تاکنون پژوهشی در این خصوص در ایران گزارش نشده است و تنها تأثیر ترافیک در تولید رسوب بررسی شده است (Abdi et al., 2013; Hosseini et al., 2012; Moghadami et al., 2013; Rahbari Sisakht et al., 2014).

فرایندی است که طی آن لایه‌های مختلف مصالح ساختمانی (روسازی) تحت تأثیر تنش‌های ناشی از بارهای واردشده (وسایل نقلیه)، شرایط جوی و خصوصیات توپوگرافی منطقه، از فرم استاندارد خود خارج می‌شود و نیاز به عملیات تعمیر و نگهداری پیدا می‌کند (Alzubaidi & Magnusson, 2011). شناخت دقیق عملکرد روسازی یکی از اساسی‌ترین نیازهای سیستم مدیریت روسازی است که تا حد زیادی هزینه‌های برنامه‌ریزی، تعمیر و نگهداری روسازی‌ها را کاهش می‌دهد (Chen et al., 2015).

پروژه‌های بازسازی روسازی جاده، به‌ویژه در مناطقی که عبور و مرور ماشین‌آلات جنگلی به‌طور روزمره صورت می‌پذیرد، اغلب سبب ایجاد هزینه و مشکلات و دسترسی محدود برای کاربران جاده می‌شود. چالش اصلی، یافتن راه‌های شناخت زوال روسازی جاده است؛ از این رو داشتن برنامه‌ای با توجه به شرایط موجود ضروری است (McGarragh & Hudson, 2013).

عواملی همچون خصوصیات ترافیک عبوری (نوع، میزان و بار وسایل نقلیه)، مقاومت خاک بستر راه، نوع مصالح به‌کاررفته در روسازی و شرایط جوی در طراحی روسازی مؤثرند، اما در این میان خصوصیات ترافیک عبوری از سطح جاده از پیچیده‌ترین متغیرهایی است که در طراحی روسازی مطرح می‌شود. این موضوع سبب شده است که ضخامت مورد نیاز روسازی در شرایط واقعی با ضخامت طراحی متفاوت باشد (McManus, 2013). در این راستا شناخت هرچه بیشتر خصوصیات ترافیک عبوری می‌تواند در بهینه‌کردن طرح روسازی کمک کند. از خصوصیات مهم ترافیک عبوری می‌توان به وزن کل وسیله نقلیه، توزیع بار در چرخ‌ها، هندسه چرخ‌ها، توزیع بار، مدت زمان بار و تکرار بار اشاره کرد (Wang & Al-Qadi, 2009). باید توجه داشت که این ویژگی‌ها کلی است و برای روسازی جاده‌های شهری-روستایی و بزرگراه‌ها نیز کاربرد دارد.

<sup>1</sup> Equivalent Axle Load

بیرون‌زدگی<sup>۱</sup> با رسیدن به یک همبستگی میان عامل بار محور هم‌ارز است. بنابراین این شاخص در درجه اول، در تفسیر تعمیر و نگهداری بسیار حائز اهمیت است و در نهایت می‌توان از آن به‌عنوان ورودی طراحی روستازی و تعمیر و نگهداری در سیستم‌های مدیریت تعمیر و نگهداری جاده‌های جامع‌تر استفاده کرد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه تحقیق

پژوهش حاضر در جنگل‌های تحت مدیریت شرکت چوب و کاغذ مارندران، حوزه غرب هراز، آمل انجام گرفت. منطقه تحقیق بین طول‌های جغرافیایی "۳۶°۳۹'۲۲" و "۳۶°۴۱'۸۵" شمالی و عرض‌های جغرافیایی "۵۲°۳۰'۵۸" و "۵۲°۲۲'۹۱" شرقی واقع شده است. شبکه جاده‌های جنگلی با طول بالغ بر ۱۲۰ کیلومتر جاده‌های درجه یک، دو و سه؛ شامل پنج سری آلشروود، زنگال‌دره، انگتارود، سنگ‌درکا و همسوا با سابقه مدیریت ۴۰ ساله، دامنه ارتفاعی ۸۰۰-۱۰۰ متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه منطقه معادل ۸۶۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه به روش دومارتن مرطوب و با ضریب خشکی ۲۶ و با ضریب رطوبتی ۸۱/۴ است. ترافیک متوسط ماهانه ۷۶۷ و نوع ماشین‌آلات عبوری اغلب سواری، نیسان، کامیون ۹ تن و ۱۴ تن است.

#### جمع‌آوری داده‌ها

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، ابتدا حدود ۵۰ کیلومتر جاده درجه دو از بین جاده‌های موجود در منطقه تحقیق که نماینده‌ای از کل جاده‌ها و جنگل بود انتخاب شد. سپس با توجه به توپوگرافی، پیچ، محل دیو، تقاطع، وجود زهکش (عرضی و طولی)، تغییر ناگهانی جهت و شیب، وجود معدن و دیگر عوامل، قطعه‌بندی و استخراج اطلاعات انجام گرفت.

در مقابل به دلیل اهمیت موضوع، تأثیر بار محور هم‌ارز در پژوهش‌های خارج از کشور در نظر گرفته شده است. بررسی عوامل مؤثر بر زوال روستازی راه‌های روستایی در پروژه‌های بانک جهانی در کشورهای در حال توسعه در حال انجام است (Bloser et al., 2012). درخصوص بررسی محور بار هم‌ارز در جاده‌های جنگلی می‌توان به تحقیق Martin et al. (1999) اشاره داشت که از آزمایش اشو برای محاسبه ضریب محور بار هم‌ارز با توجه به محور کامیون‌ها و حجم چوب‌آلات پرداختند و نتایج آنها نشان داد، ضریب برآوردشده با همبستگی ۹۹ درصد، برای جاده‌های مواصلاقی و فرعی جنگل کاربرد دارد. زوال روستازی در این جاده‌ها عبارت است از زوال تدریجی سطح رویه و زیرساخت تحت شرایط ظرفیت سیستم‌های زهکشی، ترافیک و عوامل طبیعی. در این پروژه‌ها عوامل وابسته به ترافیک شامل حجم ترافیک، ترکیب ترافیک و سرعت وسیله نقلیه و هزینه‌های نگهداری، عوامل افزایش‌دهنده زوال روستازی شناخته شدند. نتایج مطالعات یادشده نشان می‌دهد که اگر حجم ترافیک زیاد باشد، شاخص زوال می‌تواند فقط در طی چند هفته از ۵ متر در کیلومتر در جاده شنی تازه‌درجه‌بندی‌شده به حدود ۲۰ متر در کیلومتر برسد (McManus, 2013; Smith, 1993; Kumar et al., 2013; McGarragh & Hudson, 2013). از این رو کسب آگاهی در خصوص رفتار روستازی جاده‌های جنگلی با توجه به عامل بار محور هم‌ارز و ترافیک در ورودی مدل‌های تعمیر و نگهداری جاده، ضروری است و هدف پژوهش حاضر را در بر می‌گیرد. در این پژوهش، بررسی عامل بار محور هم‌ارز، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در زوال روستازی جاده‌های جنگلی و ارائه مدل مناسب در نظر گرفته شده است. مراحل پژوهش در این تحقیق شامل ارزیابی ناهمواری‌های موجود در جاده با توجه به چاله، شیار و

<sup>1</sup> Rut, Pothole and Protrusion

ماه بعد در قطعات ثبت‌شده تکرار شده و اطلاعات خرابی‌ها برداشت و مقایسه شد. چاله، شیار و بیرون‌زدگی‌های سنگی موجود در هر قطعه با استفاده از خط‌کش و شاخص یک متری در اول دوره برداشت شدند و سپس برای بررسی تأثیر عامل بار محور هم‌ارز در طی یک ماه میزان و نوع ترافیک و همچنین اطلاعات خرابی‌های موجود در هر قطعه یادداشت شد. عوامل وابسته به بارش در طول یک ماه (زهکش‌های عرضی و طولی) نیز کنترل شد و وسایل نقلیه در طول یک ماه اجازه تردد داشتند.

اندازه‌گیری متغیرها طی دوره یک‌ماهه در یک گروه ۵۰ قطعه‌ای همگن انجام گرفت و مساحت هر قطعه ۳۰۰ متر مربع بود (جدول ۱). در این گروه (۵۰ قطعه‌ای) دیگر عوامل مؤثر مانند شیب طولی، وضعیت زهکشی، تاریخ آخرین عملیات نگهداری، ارتفاع از سطح دریا، تعداد پیچ، عرض شانه و سواره‌رو، بارش ماهیانه، ضخامت روسازی، سن روسازی و نوع مصالح تقریباً یکسان بودند. تنها مشخصه متغیر، عامل بار محور هم‌ارز (متغیر پیشگو) و خرابی‌های سطح جاده شامل چاله بیرون‌زدگی و شیار (متغیر پاسخ) بود. همچنین به دلیل کنترل زمان ترافیک، آماربرداری یک

جدول ۱- مشخصات ۵۰ قطعه همگن به منظور ارزیابی تأثیر عامل بار محور هم‌ارز بر روسازی جاده‌های جنگلی

قطعه	شیب (درصد)	ارتفاع از سطح دریا	تعداد پیچ	عرض شانه (m)	عرض سواره رو (m)	بارش ماهیانه (mm)	تاج پوشش (درصد)	ضخامت روسازی (cm)	سن روسازی (سال)	نوع مصالح
گروه	۳-۸	۳۰۰-۵۰۰	۲	۰/۵	۵/۵	۱۸	۲۵-۵۰	۸۰-۱۰۰	۳۵	مخلوط (رودخانه‌ای و کوهی)

خرابی‌ها متناسب است (Salama et al., 2006). بار تک‌محور هم‌ارز (ESAL<sup>۱</sup>): صدمه به‌ازای هر نوبت عبور بار محوری از روی روسازی نسبت به صدمه به‌ازای هر بار عبور بار محوری استاندارد است (Hajek, 1995). طراحی بر مبنای شمار کل عبور بار محوری استاندارد در دوره طرح است که بار تک محور هم‌ارز نامیده می‌شود و فرمول آن به صورت رابطه ۱ و ۲ است (در طراحی روسازی راه محور استاندارد یا محور مبنای طرح، یک محور منفرد به وزن ۸/۱۶ تنی است):

رابطه ۱

$$ESAL \text{ محور عقب} = \left( \frac{\text{وزن روی محور}}{8.16 \text{ تن}} \right)^4$$

۹

$$ESAL \text{ محور جلو} = \left( \frac{\text{وزن روی محور}}{8.16 \text{ تن}} \right)^4$$

### تعداد محور


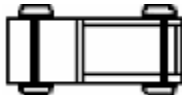

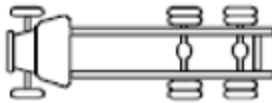
طبقه بندی وسایل نقلیه و مشخصات محور و وزن آنها بر اساس آیین‌نامه طرح روسازی راه‌ها در ایران و همچنین وسایل نقلیه مشاهده شده در جاده‌های جنگلی مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. به منظور تعیین سهم هر کدام از وسایل نقلیه، ۲۰ قطعه در قسمت کامیون‌رو (دو محور سنگین و سبک)، ۲۰ قطعه در قسمت سواری‌رو (سواری و نیسان) و ۱۰ قطعه برای محور استاندارد ۸/۱۶ تنی (کامیون تک‌محور) در نظر گرفته شد.

### بار وارد شده از ماشین

زمانی که خودرو بر سطحی ناهموار حرکت می‌کند، بیشترین فشار، ناشی از تغییر شتاب عمودی است که این امر با عنوان لرزش شناخته می‌شود. نرخ افزایش آن به طور مستقیم با بار (وزن چوب‌آلات + وزن ماشین)، سن رویه راه، عدد سازه‌ای و شدت

رابطه ۲ در رابطه بالا عدد ۸/۱۶ تن مربوط به بار محور هم‌ارز در آیین‌نامه اشتو است.  $ESAL_{\text{محور جلو}} + ESAL_{\text{محور عقب}} = ESAL_{\text{کل}}$

جدول ۲- طبقه‌بندی وسایل نقلیه و مشخصات محور و وزن آنها (AASHTO, 1986)

وزن کل (تن)	محور عقب		محور جلو		آرایش چرخ‌ها	تعداد محور	نوع وسیله نقلیه
	وزن (تن)	نوع	وزن (تن)	نوع			
۲	۱	ساده	۱	ساده		۲	سواری
۳	۲	ساده	۱	ساده		۲	وانت
۹	۳	ساده	۶	ساده		۲	کامیون دومحور سنگین
۱۴	۸	مرکب	۶	ساده		۳	کامیون سه‌محور

سطح جاده که در قطعه قرار می‌گیرند، ابتدا خط‌کش یا شاخص یک تا یک‌ونیم متری روی چاله و شیار قرار داده شد و سپس به وسیله متر نواری فاصله شاخص تا کف چاله و شیار (عمیق‌ترین قسمت) اندازه‌گیری شد (شکل ۱). اندازه‌گیری بیرون‌زدگی‌ها با توجه به فاصله شاخص تا سطح روسازی و دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۱). همچنین مساحت چاله، شیار و بیرون‌زدگی یادداشت شده و در انتهای دوره یک‌ماهه نیز با توجه به قطعات ثبت‌شده، خرابی‌های موجود در سطح جاده کنترل شد و اطلاعات مربوط به تغییرات هر یک از خرابی‌های ایجادشده ناشی از عامل محور بار هم‌ارز برداشت شد (Heidari et al., 2017).

ترافیک وسایل نقلیه در روز، متوسط ترافیک ماهانه، بیشینه ترافیک وارده در شبکه مورد بررسی به منظور بررسی ترافیک وارد به جاده‌های مورد بررسی، اطلاعات توسط دو اکیپ در نهبانی آلتروود و همسوا (با توجه به ورود و خروج ماشین‌آلات و نوع وسیله نقلیه) طی یک دوره یک‌ماهه برداشت شد، پس از آن ترافیک متوسط روزانه برای سری آلتروود و همسوا و با توجه به نوع وسایل نقلیه در فرم مورد نظر مشخص شد. با استفاده از اطلاعات کامیون‌های مربوط به حمل‌ونقل چوب‌آلات و معادن در سری‌های انگتارود، زنگال‌دره و سنگ‌درکا، ترافیک این سری‌ها نیز مشخص شد.

بررسی خرابی‌های موجود در سطح جاده به منظور بررسی چاله‌ها و شیارهای موجود در



شکل ۱- نحوه اندازه‌گیری خرابی‌های جاده‌های جنگلی

هم‌ارز محاسبه شده که در جدول ۳ ارائه شده است. شکل‌های ۲ تا ۵، تغییرات لگاریتم نسبت خرابی را در برابر وزن محورها در وسایل نقلیه عبوری از جاده‌های جنگلی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود، تغییرات لگاریتم نسبت خرابی برای بار محور هم‌ارز سواری و نیسان منفی است. بررسی تأثیر وزن محورهای بارگذاری بر روی روسازی به هر یک از وزن محورهای کامیون دو محور (۹ و ۱۴ تنی) به ترتیب اضافه یک تن بررسی شده است. وزن محور هم‌ارز ماشین‌آلات سنگین بیشترین تأثیر روی روسازی را نشان دادند (شکل‌های ۴ و ۵). همچنین نتایج نشان داد که استفاده از کامیون سه‌محور برای بار محور هم‌ارز ۱۴ تا ۱۹ تن به دلیل پخش شدن وزن روی محورها برای استفاده در جاده‌های جنگلی مناسب‌تر است (شکل ۶). از این رو استفاده از کامیون‌های سه‌محور برای حمل چوب‌آلاتی تا وزن ۱۹ تن توصیه می‌شود.

#### بررسی نحوه بارگذاری بار محور هم‌ارز و شدت خرابی جاده

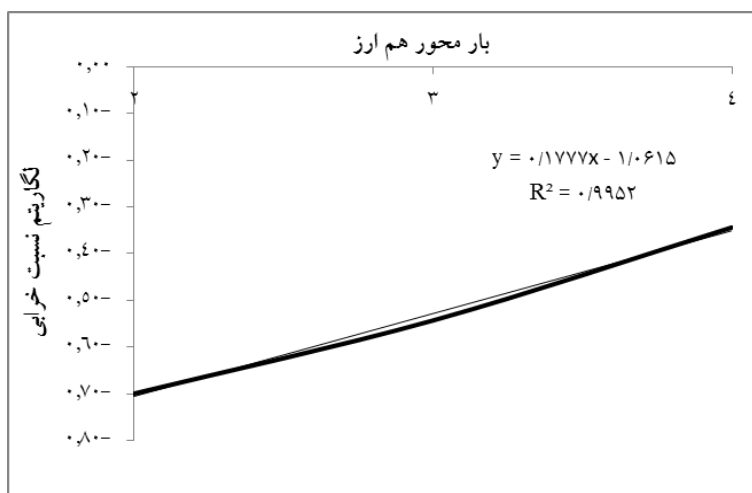
حجم چوب‌آلات در نظر گرفته شده به صورت افزایش ۱ تن به بار محور هم‌ارز و مدت بارگذاری طی دوره یک‌ماهه بوده است. همچنین در مورد وسایل نقلیه سواری، این اضافه بار با توجه به نوع وسایل نقلیه تا ۴ تن افزایش داشت. به منظور مقایسه خرابی‌های ایجاد شده با افزایش بار از نسبت خرابی‌ها استفاده شد که این عامل از تقسیم خرابی هر محور با بار مشخص به خرابی بار محور استاندارد به دست آمد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مدلسازی اختصاص صحیح بارگذاری و تطبیق آن با شرایط واقعی است. برای بررسی اضافه بار در انواع وسیله نقلیه از مدلسازی در نرم‌افزار آباکوس نسخه ۱۰/۲ بهره گرفته شد (Rodriguez, 2015).

#### نتایج

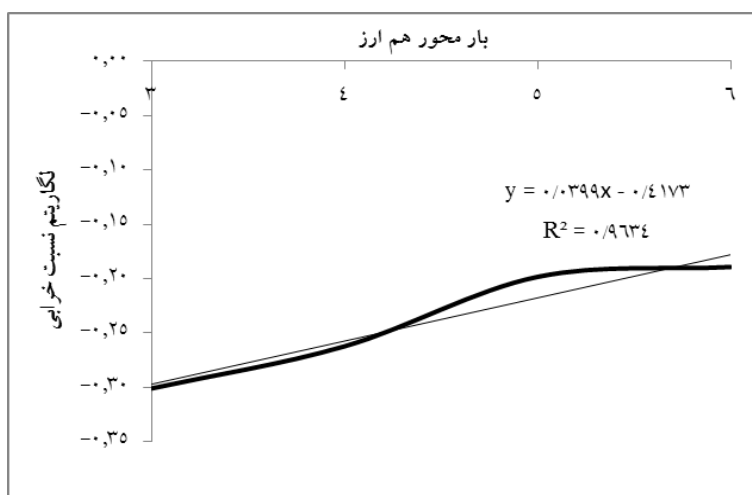
با توجه به بررسی‌های انجام گرفته براساس شرایط روسازی و مشخصات بارگذاری، بیشینه بار محور

جدول ۳- بار محور هم‌ارز و نسبت خرابی برای انواع محورهای مورد بررسی

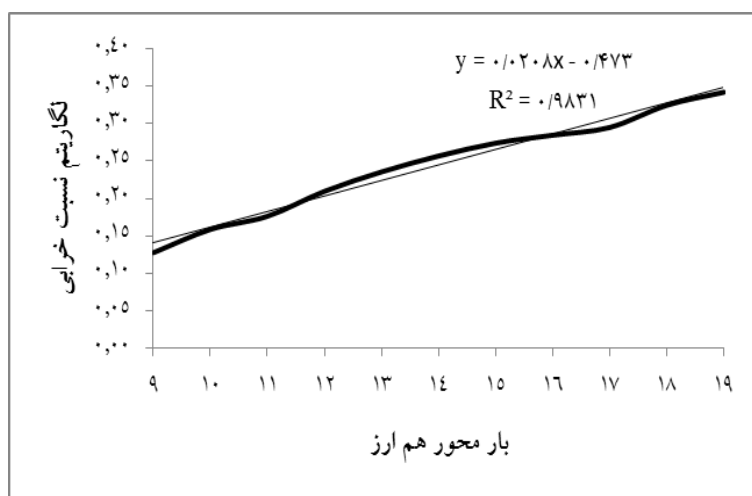
نرخ رشد	نسبت خرابی	مجموع خرابی‌ها ( $cm^2$ )	بار محور هم‌ارز (تن)	مشخصات محور
۹	۰/۲	۳	۲ (استاندارد)	سواری (۲ تن)
	۰/۲۸	۴۳	۳	
	۰/۴۵	۶۱۸	۴	
۵/۸	۰/۵	۷/۵	۳ (استاندارد)	نیسان (۳ تن)
	۰/۵۴	۸/۲	۴	
	۰/۶۳	۹/۵	۵	
	۰/۶۴	۹/۷	۶	
۸/۴	۱/۳۴	۲۰/۱	۹ (استاندارد)	کامیون دو‌محور (۹ تن)
	۱/۴۴	۲۱/۶	۱۰	
	۱/۵	۲۲/۵	۱۱	
	۱/۶۲	۲۴/۳	۱۲	
	۱/۷۲	۲۵/۸	۱۳	
	۱/۸	۲۷/۱	۱۴	
	۱/۸۸	۲۸/۲	۱۵	
	۱/۹۲	۲۸/۹	۱۶	
	۱/۹۷	۲۹/۶	۱۷	
	۲/۱۱	۳۱/۷	۱۸	
۲/۲	۳۳	۱۹		
۱۰/۶	۱/۷۶	۲۶/۵	۱۴ (استاندارد)	کامیون سه‌محور (۱۴ تن)
	...	...	...	
	۲/۳۴	۳۵/۲	۲۰	
	۲/۷۶	۴۱/۴	۲۱	
	۴/۶۶	۷۰	۲۲	
	۵/۵۷	۸۳/۶	۲۳	
	۵/۶۹	۸۵/۴	۲۴	
	۵/۸۰	۸۷/۱	۲۵	
۵/۹۲	۸۸/۹	۲۶		
-	۱	۱۵	۸/۱۶	محور استاندارد



شکل ۲- تغییرات لگاریتم نسبت خرابی در برابر بار محور هم‌ارز سواری

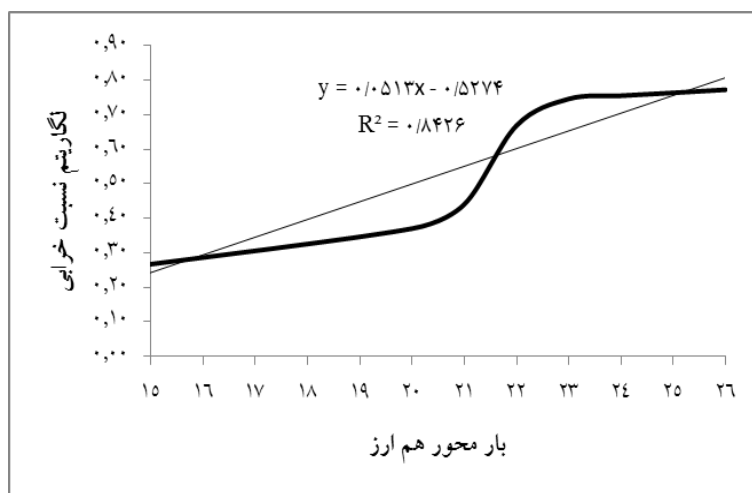


شکل ۳- تغییرات لگاریتم نسبت خرابی در برابر بار محور هم‌ارز نپسان

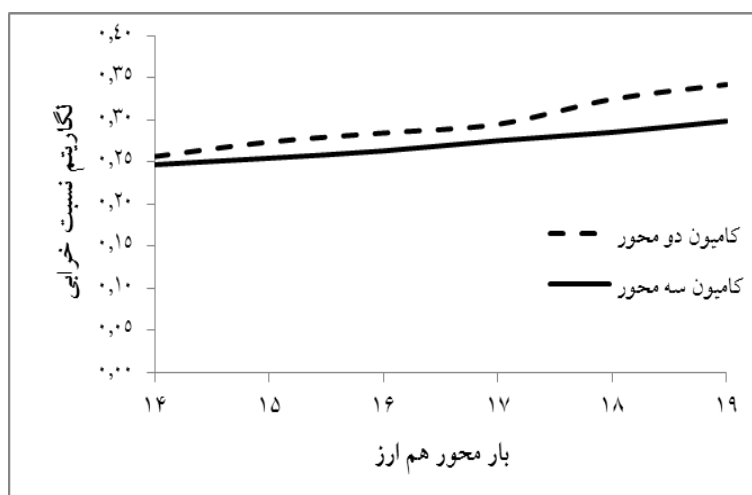


شکل ۴- تغییرات لگاریتم نسبت خرابی در برابر بار محور هم‌ارز کامیون دومحور (۹ تن)





شکل ۵- تغییرات لگاریتم نسبت خرابی در برابر بار محور هم‌ارز کامیون سه‌محور (۱۴ تن)



شکل ۶- تغییرات لگاریتم نسبت خرابی در برابر بار محور هم‌ارز کامیون‌های دو و سه‌محور

منفی است. ضرایب منفی در واقع بیانگر این حقیقت است که خرابی‌های روسازی تحت این بار محور هم‌ارز تأثیر کمتری می‌پذیرند و در واقع این بار محور هم‌ارز نمی‌تواند یک نقطه بحرانی در زوال روسازی جاده‌های جنگلی تلقی شود. همچنین مقادیر نرخ رشد زیاد سواری به دلیل وجود روستای سنگ‌درکا و همچنین نزدیکی جاده جنگلی به پارک جنگلی هلومسر، جاده چمستان و جاده آمل است که از جاده جنگلی به‌عنوان یک راه مواصلاتی استفاده می‌کنند.

## بحث

از آنجا که در جاده‌های جنگلی عمده تردد ماشین‌آلات مربوط به کامیون‌های حمل‌ونقل چوب یا ماشین‌آلات تعمیر، ترمیم و نگهداری جاده (کامیون‌های باری) است، رکن اصلی محاسبات برای ماشین‌آلات سنگین و برمی‌نای محور استاندارد ۸/۱۶ تنی است (Martin et al. 1999). همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شد، تغییرات لگاریتم نسبت خرابی برای بار محور هم‌ارز سواری و نیسان

کامیون‌هایی که محور بیشتری دارند؛ چراکه این کامیون‌ها هم خرابی روسازی را کاهش می‌دهند و هم در صورت استفاده از اضافه‌بار آسیب کمتری به روسازی وارد می‌کنند. همچنین باید سعی شود حجم چوب‌آلات کمتر در هر نوبت کامیون و با فاصله زمانی مناسب از جنگل خارج شود. در این زمینه باید مصالحه‌ای بین افزایش هزینه به‌ازای هر متر مکعب چوب و کاهش هزینه تعمیرات جاده صورت پذیرد و مجریان به‌ازای محدودیت در حمل بیشینه بار در هر نوبت، تخفیف‌هایی در قیمت فروش اعمال کنند. همچنین یافته‌های پژوهش، به مهندسان جنگل در طراحی روسازی مناسب کمک می‌کنند؛ به‌طوری که آنان می‌توانند با توجه به خصوصیات ترافیکی، حجم برداشت و دیگر اطلاعات موجود به طراحی روسازی مناسب بپردازند. دستاورد نهایی این پژوهش مشخص شدن تأثیر بسزای عامل بار محور هم‌ارز بر روسازی جاده‌های جنگلی، استفاده از یافته‌ها در طراحی مناسب روسازی و تخصیص مناسب ماشین‌آلات حمل و نقل با ترافیک مناسب است که البته این موضوع باید در شرایط جاده‌های جنگلی مختلف نیز بررسی شود.

### سپاسگزاری

از مدیریت شرکت چوب و کاغذ مازندران به‌خصوص مدیریت حوزه غرب هراز (آمل) و همچنین سرکار خانم مهندس وطنی که انجام این پژوهش بدون همکاری آنها میسر نبود، سپاسگزاریم.

توجه به مسئله بار محور هم‌ارز عامل مهمی در مناطق جنگلی محسوب می‌شود، زیرا زوال روسازی در این مناطق عمده‌ترین مشکل است و هزینه‌های بسیار گزافی از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی دارد و زوال روسازی جاده‌های کامیون‌های حمل‌گرفته‌بینه، خرابی شدیدتری دارد (Cambri et al., 2015). بسیاری از صدمات وارد به جاده‌ها را می‌توان با کنترل تردد ماشین‌آلات در مواقع حساس کاهش داد.

مدل‌های به‌کاررفته برای تحلیل پاسخ روسازی‌ها در برابر بار محور هم‌ارز از مدل‌های ساده تجربی تا مدل‌های پیچیده تغییر می‌کنند که به‌طور واقع‌بینانه زوال روسازی را توصیف می‌کنند. در این پژوهش از تغییرات لگاریتمی نسبت خرابی به بار محور هم‌ارز با توجه به ماشین‌آلات مورد استفاده برای حمل و نقل چوب‌آلات و ماشین سواری گردشگران (روستاییان) استفاده شد. با توجه به نتایج نرخ رشد نسبت خرابی برای افزایش بار در انواع محورها می‌توان نتیجه گرفت که محور بار هم‌ارز کامیون ۱۴ تنی بیشترین رشد نسبت خرابی را با افزایش بار داشته است که این مقدار در حدود ۱۰/۲ درصد است. با توجه به نتایج نرخ رشد نسبت خرابی می‌توان نتیجه گرفت که هرچند محور بار هم‌ارز ۱۴ تن نسبت به دیگر بار محوره‌های هم‌ارز مورد بررسی بحرانی‌تر بوده است، این کامیون‌ها برای حمل چوب‌آلات تا وزن ۱۹ تن عملکرد بهتری را نسبت به کامیون‌های دومحور نشان می‌دهند؛ بنابراین در انتها استفاده از کامیون‌هایی با بار محور هم‌ارز کمتر در حمل بار توصیه می‌شود.

### References

- American Association of State Highway and Transportation officials. (1986). *Guide for Design of Pavement Structures*, American Association of State Highway and Transportation officials.
- Abdi, E., Moghadamirad, M., Rahbari Sisakht, S., Majnounian, B., & Mousavi, F. (2013). Optimizing Forest Road Cross Drainage Using CULSED. *Journal of Forest and Wood Product*, 66(2): 147-154.

- Adlinge, S., & Gupta, A. (2013). Pavement Deterioration and its Causes. *International Journal of Innovative Research and Development*, 2(4): 9–15.
- Alzubaidi, H., & Magnusson, R. (2011). Road Materials and Pavement Design Deterioration and Rating of Gravel Roads Deterioration and Rating of Gravel Roads: State of the Art. *Road Materials and Pavement Design*, 3(3): 235-260.
- Asadollahi, Z., Niazi, A., Yosefi, S., Asadollahi, Z., & Mohammady, M. (2013). Determination of roads quota in watershed sediment yield using SEDMODEL and GIS. *Journal of Environmental Erosion Research*, 3 (2): 13-26.
- Bloser, S., Creamer, D., Napper, C., Scheetz, B., & Ziegler, T. (2012). Environmentally Sensitive Road Maintenance Practices for Dirt and Gravel Roads, U.S. Department of Agriculture San Dimas Technology and Development Center, Pennsylvania.
- Cambi, M., Certini, G., Neri, F., & Marchi, E. (2015). The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management*, 338: 124–138.
- Chen, F., Zhu, H., Yu, B., & Wang, H. (2015). Environmental burdens of regular and long-term pavement designs: a life cycle view. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(4): 300-313.
- Efta, J. A., & Chung, W. (2014). Planning Best Management Practices to Reduce Sediment Delivery from Forest Roads Using WEPP: Road Erosion Modeling and Simulated Annealing Optimization. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 35(2): 167–178.
- Forsyth, A. R., Bubb, K. A., & Cox, M. E. (2006). Runoff, sediment loss and water quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain *Pinus* plantation. *Forest Ecology and Management*, 221(1-3): 194–206.
- Grace III, J. M., & Clinton, B. D. (2007). Protecting Soil and Water in Forest Road Management, USDA Forest Service / UNL Faculty Publications. *Transactions of the ASABE*. 50(5), 1579-1584.
- Hajek, J. J. (1995). *General Axle Load Equivalency Factors*, Transportation Research Record.
- Heidari, M.J., Najafi, A., & Alavi, S. (2017). Detecting the warning level of forest roads pavement using the genetic algorithm. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(4): 577-587.
- Hosseini, S.A., Omidvar, E., Naghavi, H., & Parsakhoo, A. (2012). Estimation of Sediment Yield from Forest Roads Using SEDMODL. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(1): 23-42.
- Kumar, K., Parida, M., & Katiyar, V. K. (2013). Short Term Traffic Flow Prediction for a Non Urban Highway Using Artificial Neural Network. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104: 755–764.
- Martin, T.C. (2015). New deterioration models for sealed granular pavements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 162(4): 215-226.
- Martin, A.M., Owende, P.M.O., O'Mahony, M.J. & Ward, S.M. (1999). Estimation of the serviceability of forest access roads. *Journal of Forest Engineering*, 10(2), 55-61.
- McGarragh, T.G., & Hudson, W.R. (2013). *A Pavement Design and Management System for Forest Service Road: A Conceptual Study*, Council for Advanced Transportation Studies.
- McManus, K.J. (2013). Modelling deterioration and maintenance of Australian low volume traffic roads. *Civil and Structural Engineering Computational Methods*, 10: 185-204.
- Melton, J.D., & Grace, J.M. (2008). Evaluation of Slope Effects on Soil Erosion of Off-Orad Vehicle trails using WEPP, Auburn University, 125pp.
- Moghadami, M., Abdi, E., Mohseni Saravi, M., Rouhani, H., & Majnounian, B. (2013). The effect of traffic on forest road surface erosion (Case study: Kohmian forest- Azadshahr). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(4): 634-644.

- Rahbari Sisakht. S., Abdi. E., MoghadamiRad, M., Majnounian. B., & Yousef Zadeh, H. (2014). Sensitivity analysis of CULSED model to provide strategies for forest roads sediment control. *Iranian Journal of Forest*, 5(3): 219-228.
- Rodriguez, C.M. (2015). Predicting Pavement Performance under Traffic Loading Using Genetic Algorithms and Artificial Neural Networks to Obtain Resilient Modulus Values (Doctoral dissertation, The Ohio State University), 175pp.
- Smith, D. M. (1993). Effects of Variable Tire Pressure on Road Surfacing. *Analysis of Test Results*, 98(2): 103–114.
- Tabatabaee, N., Ziyadi, M., & Shafahi, Y. (2013). Two-Stage Support Vector Classifier and Recurrent Neural Network Predictor for Pavement Performance Modeling. *Journal of Infrastructure Systems*, 19(3): 266–274.
- Tunay, M. (2006). The assessment of environmentally sensitive forest road construction in Calabrian pine forest areas of Turkey, *Terrain*, 34:1-50.
- Visser, R., McGregor, R., & Fairbrother, S. (2009). Forest Road Pavement Design in New Zealand, In: 32nd Annual Meeting of the Council on Forest Engineering (COFE 09), June, 12-13, USA: University of Canterbury. School of Forestry, 15-18.
- Wang, H. (2011). Analysis of tire-pavement interaction and pavement responses using a decoupled modeling approach. *Journal of Sound and Vibration*, 301(1-2): 18–27.
- Wang, H., & Al-Qadi, I. (2009). Combined Effect of Moving Wheel Loading and Three-Dimensional Contact Stresses on Perpetual Pavement Responses, Transportation Research Record. *Journal of the Transportation Research Board*, 2095: 53–61.



## The impact of equivalent axle load on pavement deterioration of forest roads

M.J. Heidari<sup>1</sup>, A. Najafi<sup>2\*</sup>, and S.J. Alavi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M. Sc. student, Natural Resources and Marine Science Faculty, University of Tarbiat Modares, Noor, I. R. Iran

<sup>2</sup>Associate Prof., Natural Resources and Marine Science Faculty, University of Tarbiat Modares, Noor, I. R. Iran

<sup>3</sup>Assistant Prof., Natural Resources and Marine Science Faculty, University of Tarbiat Modares, Noor, I. R. Iran

(Received: 9 April 2016; Accepted: 18 April 2017)

### Abstract

Despite the expense of construction and maintenance, forest roads are still essential to provide land accessibility and management. Quality of roads depends largely on the pavement conditions. The heavy machines directly induce stress on pavement as first layer of a road. The current study aims at investigating the equivalent axle load, the devastation wrought by the axis to the devastation wrought by the standard axis (8.16 tons), on pavement deterioration. To develop the equivalent axle load model, 50 km of forest roads, under management of Wood and Paper Company, was selected with respect to the trucks and cars and critical values and growth rates of pavement failures were identified using the log of changes failure to the equivalent axial load. The results showed that highest proportion of failure involves trucks 15 tons (growth rate 10.2), nine-ton trucks, Nissan truck and cars with the values of 5.77, 1.8, 0.64 and 0.45 respectively. According to the obtained results, less equivalent axle load vehicles with lower the volume of timber and wood out of the forest with enough time should be utilized.

**Keywords:** Forest management, Road failure, Weight of load, Wood transportation.

