Journal of Watershed Management Research, Vol. 14, No.28, Winter 2023 p: 68-77

"Research Paper"

Determination of the most Important Factors of Pavement Demolition of Forest Roads in Azar Roud Watershed

Sadrollah Safaee[1], Hassan Akbari[2], Majid Lotfaiyan[3] and Aidin Parsakho[4]

1- Ph.D. Student, Natural Resources Faculty, Sari Agriculture and Natural resources University
2- Associate Professor, Natural Resources Faculty, Sari Agriculture and Natural resources University, (hassan_akbarivas@yahoo.com)
3- Professor, Natural Resources Faculty, Sari Agriculture and Natural resources University
4- Assistant Professor, Natural Resources Faculty, Gorgan Agriculture and Natural resources University
Received: 26 November, 2019 Accepted: 22 July, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Road construction operation in the forest is one of the most important cost factors in the field of forest management. The most important part of the construction of a road is its pavement, and the highest cost in the section of road completion and restoration is related to the cost of pavement. Therefore, the focus of management studies and planning is more in this sector. The aim of this study is identified of the effective factors in the destruction of forest road pavement in order to reduce the costs of forest road repair and maintenance in Azarrood sub-basin located in Savadkoh city in Mazandaran province.

Material and Methods: For this purpose, 139 samples (with dimensions of 10.5 * 5.5 meters) were selected from the first-class forest roads in the series, then the physiographic variables of the area, the geometric shape of the forest roads and the grading of pavement materials were measured in each sample. In order to measure the pavement deterioration, the parameters of the volume of potholes, the volume of longitudinal grooves, the amount of stone protrusion surface and the volume of transverse grooves or shutters were measured. The relative importance of each of the pavement failure parameters was determined based on the process of hierarchical analysis and using experts' opinions. To model and determine the effect of each of the independent variables, two methods of multiple linear regression and random forest model were used.

Results: The modeling results showed that the random forest method with an explanation factor of 89% compared to the linear regression method with an explanation factor of 28.4% had better results in modeling and analyzing the effects of variables on forest road pavement damage. Also, the results showed that in both modeling methods, the longitudinal slope of the road and the percentage of clay and granularity of road pavement materials are the most important factors in the damage of the entire road pavement.

Conclusion: In general, the results showed that the damage of the whole road was directly related to the increase in the size of the aggregates and the increase in the length of the tangent. Therefore, it is suggested to select the type of materials more carefully during the road construction operation and consider them in the road design.

Keywords: Aggregate aggregation, Damage to pavement, Geometrical properties, Physiographic factors

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

OPEN ACCESS

"مقاله پژوهشی"

واکاوی مهم‌ترین عوامل تخریب روسازی جاده‌های جنگلی در حوزه آذر رود استان مازندران

صدراله صفایی[۱]، حسن اکبری[۲]، مجید لطفعلیان[۳] و آیدین پارساخو[۴]

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: hassan_akbarivas@yahoo.com)
۳- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۴- استادیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۳۱
صفحه ۶۸ تا ۷۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: عملیات جاده‌سازی در جنگل یکی از مهم‌ترین فاکتورهای هزینه در زمینه مدیریت جنگل می‌باشد. مهم‌ترین بخش از ساختمان یک جاده را نیز روسازی آن تشکیل می‌دهد که بیش‌ترین هزینه در بخش تکمیل و مرمت جاده‌ها مربوط به هزینه روسازی است. لذا تمرکز مطالعات و برنامه‌ریزی‌های مدیریت در این بخش بیش‌تر می‌باشد هدف از اجرای این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر در تخریب روسازی جاده جنگلی به‌منظور کاهش هزینه‌های مرمت و نگهداری جاده جنگلی در زیر حوزه آذررود واقع در شهرستان سوادکوه در استان مازندران می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور تعداد ۱۳۹ نمونه (با ابعاد ۵/۵ × ۱۰متر) از جاده جنگلی درجه یک موجود در سری انتخاب گردید سپس متغیرهای فیزیوگرافی منطقه، شکل هندسی جاده‌های جنگلی و دانه‌بندی مصالح روسازی در هر نمونه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری خرابی روسازی پارامترهای حجم چاله‌ها، حجم شیارهای طولی، میزان سطح برون‌زدگی سنگی و حجم شیارهای عرضی یا کرکره‌ای اندازه‌گیری شد. اهمیت نسبی هرکدام از پارامترهای خرابی کل روسازی بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از نظر متخصصین تعیین شد. برای مدل‌سازی و مشخص نمودن تأثیر هرکدام از متغیرهای مستقل از دو روش رگرسیون خطی چندگانه و مدل جنگل تصادفی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج مدل‌سازی نشان داد که روش جنگل تصادفی با ضریب تبیین ۸۹ درصد نسبت به روش رگرسیونی خطی با ضریب تبیین ۲۸/۴ درصد دارای نتایج بهتری در مدل‌سازی و تحلیل اثرات متغیرها بر خرابی روسازی جاده جنگلی بود. هم‌چنین نتایج نشان داد در هر دو روش مدل‌سازی، شیب طولی جاده و درصد رس و دانه‌بندی مصالح روسازی جاده به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورها در خرابی کل روسازی جاده می‌باشد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد خرابی کل جاده با افزایش اندازه دانه‌بندی مصالح و افزایش طول تانژانت نسبت مستقیم داشت. لذا پیشنهاد می‌شود در موقع عملیات جاده‌سازی نوع مصالح با دقت بیش‌تری انتخاب شود و در طراحی جاده لحاظ گردد.

واژه‌های کلیدی: خرابی روسازی، دانه‌بندی مصالح، رگرسیون و مشخصات هندسی، عوامل فیزیوگرافی

مقدمه

شبکه جاده‌های جنگلی یک طرح لازم و ضروری برای انجام کلیه عملیات و اقدامات مدیریتی جنگل مانند حمل‌ونقل فرآورده‌های جنگلی، امور خدماتی، نگهداری، دسترسی به جنگل و ارتباط روستاهای جنگلی می‌باشد (Jamshidy et al., 2009; Rafatnia, 1988). درعین‌حال، جاده‌های جنگلی به‌علت بالا بودن هزینه‌های احداث و نگهداری و نیز اثرات منفی بر طبیعت و حیات‌وحش، دارای حساسیت زیادی می‌باشند. عملیات جاده‌سازی در جنگل با اختصاص حجم بالایی از سرمایه به خود یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هزینه در مدیریت جنگل می‌باشد (Majnonian et al., 2000).

مطابق با مطالعات انجام‌شده توسط مشاورین بانک جهانی، در حوزه بالادست سد البرز، بیش‌ترین هزینه در بخش تکمیل و مرمت جاده‌ها مربوط به هزینه روسازی را دارد (حدود ۵۰ درصد مجموع هزینه‌ها). از طرفی مهم‌ترین بخش از ساختمان یک جاده را نیز روسازی آن تشکیل می‌دهد. لذا تمرکز مطالعات و برنامه‌ریزی‌های مدیریت در این بخش بیش‌تر می‌باشد (Ameri and Eftekharzadeh, 1999). امروزه سیستم مدیریت روسازی مجموعه کاملی از ابزارها و روش‌هایی است که به سازمان‌دهی کیفیت روسازی و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک مؤثر و اقتصادی برای حفظ و نگهداری روسازی در سطح قابل‌قبول کمک می‌کند (Alavi et al., 2016). یکی از اهداف اصلی مدیریت روسازی پیش‌بینی و توسعه مدل مدیریت تعمیر و نگهداری و یا شاخص اولویت نگهداری[1] می‌باشد. این شاخص برای اولویت‌بندی برنامه‌های تعمیر و نگهداری روسازی بر اساس شدت تنش و شرایط آن است (Gotosa et al., 2015). در کشور ما هرساله اعتبارات فراوانی صرف تکمیل و مرمت جاده‌ها می‌گردد که بیش‌تر مسائل زیربنایی مانند مقاومت خاک بستر، ترافیک عبوری و دیگر ملزومات اجرایی در نظر گرفته می‌شود ولی به مسائل شکل هندسی جاده کم‌تر توجه می‌شود درصورتی‌که بیش‌تر خرابی جاده‌ها به‌علت عدم توجه به شکل هندسی جاده‌ها می‌باشد (Gupta et al., 2011).

عملیات نگهداری جاده چنانچه در موعد لازم و با انتخاب گزینه مناسب صورت گیرد علاوه بر اینکه تخریب جاده را به تأخیر می‌اندازد، به‌دلیل افزایش کیفیت جاده موجب کاهش هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیه و باز بودن مداوم جاده‌ها می‌شود (Parsakhoo & Hosseini, 2009). بی‌توجهی به استانداردهای ساخت راه‌های جنگلی نتیجه‌ای جز ساختمان ناپایدار، بدون کیفیت و با هزینه‌های بالا ندارد. چنانچه مجموعه دستورالعمل‌ها و فناوری ساخت‌وساز جاده‌های جنگلی در کشور با استانداردهای جهانی قیاس شود مشاهده خواهد شد که این استاندارد در نوشته‌ها به هم نزدیک هستند ولی در اجرا و کنترل بسیار باهم فاصله‌دارند. به همین خاطر برخی از جاده‌های جنگلی ناپایدار بوده و درنهایت به‌واسطه لغزش و رانش، فرسایش، رسوب‌گذاری و آسیب به توده‌های اطراف منجر به تخریب محیط‌زیست جنگل می‌شوند. ژیائو و همکاران (۲۰۱۸)

1- Management Pavement Index (MPI)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

مطالعه‌ای را به‌منظور تشخیص جاده بر روی تصاویر با استفاده از روش جنگل تصادفی ساختاری انجام داد. نتایج ایشان نشان داد روش جنگل تصادفی[1] ساختاری دارای نتایج بهتر نسبت به روش پیکسل پایه بود (Xiao et al., 2016).

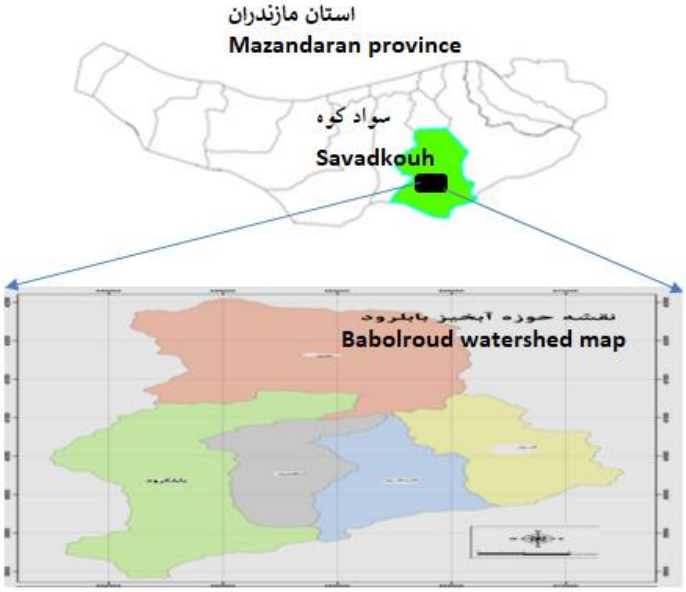
نصیری و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه‌ای را به‌منظور بررسی اثر عملیات خروج چوب‌آلات در بروز شیارشدگی در روسازی شبکه جاده جنگلی انجام داد و تأثیر معنادار عملیات چوبکشی بر شیارشدگی جاده جنگلی را نشان داد (Nasiri & Hodjati, 2012). حیدری (۲۰۱۵) روند زوال روسازی جاده‌های جنگلی با استفاده از تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک مدلسازی نمودند و دریافتند هر دو مدل دارای کارایی مناسبی می‌باشند (Heydari, 2015). در بسیاری از موارد عدم اطلاع از وضعیت روسازی و شناخت عوامل مؤثر بر زوال روسازی موجب بروز خرابی در روسازی می‌گردد و نهایتاً زوال روسازی را تشدید می‌کند. شناخت دقیق عملکرد روسازی یکی از اساسی‌ترین نیازهای سامانه‌های مدیریت روسازی است که مقادیر قابل‌توجهی از هزینه‌های برنامه‌ریزی، تعمیر و نگهداری روسازی را کاهش می‌دهد. هدف از این مطالعه اطلاع از وضعیت روسازی جاده‌های جنگلی در حوضه آبخیز آزررود به‌منظور شناسایی عوامل مهم در خرابی روسازی جاده‌ها انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در حوضه آبخیز بابلرود، زیر حوضه آذررود، ۲۵ کیلومتری جنوب شهر شیرگاه در منطقه لفور واقع شده است. طول جاده تقریباً ۷ کیلومتر می‌باشد و ارتفاع از سطح دریا جاده مورد مطالعه از ۳۵۰ تا ۵۴۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این جاده دارای دامنه شیب صفر تا ۱۴ درصد بوده و به‌طور میانگین شیب این جاده حدود ۶ درصد می‌باشد. جنگل‌ها در این منطقه به‌صورت آمیخته ناهمسال می‌باشند که به شیوه تک‌گزینی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. اجرای طرح در این جنگل‌ها توسط شرکت تعاونی آذررود صورت می‌گیرد.

شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد. خاک تشکیل‌شده بر روی دامنه‌های پرشیب بالادست دارای بافت سبک تا متوسط می‌باشد. در مقابل خاک اراضی میانی حوضه و پایین دست آن‌که بر روی شیب‌های ملایم‌تر، نیمه عمیق تا عمیق بوده و بافت آن نیز متوسط تا سنگین است (D.F.S., 2007). مقدار بارندگی متوسط سالانه حوضه ۷۷۶ میلی‌متر می‌باشد. داده‌های دمای به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های کسیلیان و اوریملک برای یک دوره ۲۵ ساله نشان می‌دهند که سردترین ماه دی و بهمن و گرم‌ترین آن تیر و مرداد است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در استان مازندران
Figure 1. The study area Location

مشخصات جاده موردمطالعه

جاده مورد مطالعه تا قبل از سال ۱۳۹۰ به‌عنوان جاده جنگلی درجه ۲ مورد استفاده قرار می‌گرفت، ولی با احداث سد البرز علاوه بر هدف دسترسی به جنگل به‌عنوان جاده ارتباطی به حوضه بالادست سد البرز مورداستفاده شرکت‌های کارسنگ‌رود و آذررود برای مجموعه عملیات مدیریتی و حفاظتی از جنگل و هم‌چنین کلیه ساکنین روستاها و دامداران حوضه بالادست و هم چنین توریست‌ها و زائرین امامزاده و آبشار گزو بوده است. بدین‌منظور در سال ۱۳۹۲ این جاده مورد تعریض و روسازی دوباره در دولایه درشت‌دانه در بخش زیرین (به ضخامت ۴۰ سانتی‌متر) و ریزدانه در رویه (به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر) با کوبیدگی ۹۵ درصد قرارگرفته است. لایه زیرین روسازی بعد از الک کردن مصالح رودخانه‌ای استفاده شده و لایه رویه آن از معدن قرضه‌کوهی زرده لفور تهیه شده است (Gupta et al., 2011). در حال حاضر این جاده از نوع درجه

1- Random Forest

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

یک جنگلی بوده و نگهداری و مرمت آن بر عهده شرکت تعاونی جنگلداری آذررود (مجری طرح جنگلداری آذررود) می‌باشد.

روش اجرای پژوهش

برای انجام مطالعه حاضر با استفاده از روش تصادفی سیستماتیک، مراکز تعداد ۱۳۹ نمونه در روی خط وسط جاده با فواصل ۵۰ متر مشخص گردید. سپس نمونه‌های مستطیلی شکل به عرض جاده و به طول ۱۰ متر پیاده گردید. در مرحله بعد کلیه متغیرهای مستقل (شکل هندسی، فیزیوگرافی زمین و دانه‌بندی مصالح روسازی) و متغیر وابسته (پارامترهای خرابی روسازی) در هرکدام از نمونه‌ها برداشت گردید. پس از انجام آنالیز برهم خطی، مدل‌سازی خرابی با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی چندگانه و جنگل تصادفی انجام شد و میزان تأثیر هر یک از متغیرها در خرابی روسازی جاده تعیین شد. جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری ماشین با قابلیت استفاده آسان است که اغلب اوقات نتایج بسیار خوبی را حتی بدون تنظیم فرا پارامترهای آن، فراهم می‌کند. این الگوریتم به دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای طبقه‌بندی و هم رگرسیون یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین محسوب می‌شود. این الگوریتم جنگلی را به‌طور تصادفی می‌سازد. «جنگل» ساخته‌شده، درواقع گروهی از درختان تصمیم[1] است. کار ساخت جنگل با استفاده از درخت‌ها اغلب اوقات به روش کیسه‌گذاری انجام می‌شود. ایده اصلی روش کیسه‌گذاری آن است که ترکیبی از مدل‌های یادگیری، نتایج کلی مدل را افزایش می‌دهد. به بیان ساده، جنگل تصادفی چندین درخت تصمیم ساخته و آن‌ها را با یکدیگر ادغام می‌کند تا پیش‌بینی‌های صحیح‌تر و پایدارتری حاصل شوند (Zhu et al., 2018).

همان‌طور که اشاره شد عوامل مختلفی در خرابی روسازی جاده تأثیر دارند در این مطالعه سعی شد متغیرهایی موردبررسی قرار گیرد که در فعالیت‌های تکمیل و مرمت جاده‌ها قابل‌تغییر و اصلاح باشند لذا بدین‌منظور متغیرهای فیزیوگرافی زمین، شکل هندسی جاده و دانه‌بندی مصالح به‌منظور بررسی خرابی کل روسازی جاده به‌کار گرفته شدند. در این مطالعه به‌منظور نمونه‌برداری از مصالح روسازی برای دانه‌بندی از نمونه‌سنج سندباتل استفاده شد. بدین‌منظور مطابق با دستورالعمل‌های نمونه‌برداری از مصالح روسازی برای برداشت نمونه‌ها، مکان نمونه‌ها در یک پلات در مرکز و در پلات بعدی در طرف راست و در پلات دیگر در طرف چپ انتخاب گردید و نمونه‌ها برداشت گردید و دانه‌بندی آن در آزمایشگاه مشخص گردید.

برای تعیین نیم‌رخ عرضی جاده پارامترهای حریم جاده، عرض عملیات خاکی، عرض بستر، عرض عبور، شانه راه که به‌وسیله متر نواری در وسط نمونه موردراندازه‌گیری قرار گرفت و برای در نظر گرفتن شکل تیپیک از کانال کناری سطح مقطع کانال کناری در نظر گرفته شد. از مشخصات پروفیل طولی که در این مطالعه موردراندازه‌گیری قرارگرفته است شیب طولی مسیر جاده میباشد که با استفاده از شیب‌سنج سونتو در مرکز پلات اندازه‌گیری و با پروفیل طولی ترسیم شده مورد مقایسه قرار گرفت. برای مشخصات پلان، متغیرهای شعاع، زاویه و طول کمان قوس و تانژانت یا خطوط مستقیم با استفاده از دوربین نیوو و رسم آن در نرم‌افزار اتوکد انجام شد.

علاوه‌بر آن، به‌منظور اندازه‌گیری مشخصات فیزیوگرافیک، متغیرهایی مانند جهت دامنه، شیب دامنه، ارتفاع از سطح دریا و زمین‌شناسی منطقه، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای پارامترهای خرابی روسازی، پارامترهای حجم شیار طولی و عرضی، سطح برون‌زدگی سنگی و حجم چاله‌های روسازی جاده موردمطالعه در هر نمونه برداشت گردید که برای اندازه‌گیری حجم چاله به‌صورت حجم نیمکره بیضوی، برای حجم شیار طولی و عرضی به‌صورت یک نیم استوانه بیضوی و برای میزان سطح برون‌زدگی سنگی از مساحت دایره استفاده شد. بعد از اندازه‌گیری پارامترهای خرابی روسازی در قطعات نمونه و تعیین حداقل و حداکثر مقدار آن‌ها، هرکدام از فاکتورها به پنج کلاسه خرابی از بدون خرابی (کد ۰)، خرابی کم (کد ۱)، خرابی متوسط (کد ۲)، خرابی زیاد (کد ۳)، خرابی خیلی زیاد (کد ۴) تقسیم‌بندی شد و کد خرابی هر نمونه بر اساس آن مشخص گردید و در نهایت با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و گرفتن پاسخ پرسش‌نامه‌هایی را که نسبت اهمیت پارامترهای خرابی توسط هشت گروه فکری شامل اساتید، دانشجویان تحصیلات تکمیلی، کارشناس‌های راهداری، کارشناس‌های مکانیک خاک، ناظران بخش راه‌سازی، مجریان بخش راه‌سازی، قرقبان‌ها و نویسندگان این پژوهش بود که هر کدام متشکل از حداقل ۳ نفر بودند. در این بین ۲۰ فرم که به شکل استاندارد و منطقی تکمیل شده بود جهت آنالیز استفاده گردید. فنی و با تجربه امتیازدهی شده (به‌روش طیف لیکرت به فاکتور با کلاسه خرابی خیلی زیاد امتیاز ۴ و بدون خرابی امتیاز ۰)، درصد تأثیر هرکدام از پارامترها بر روی خرابی کل با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice مشخص شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

قبل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و مربع همبستگی اسپیرمن در بسته Hmisc در نرم‌افزار آماری R (Alavi et al., 2016) بر هم‌خطی بین متغیرهای پیش‌گو (مستقل) بررسی شد. سپس بعضی از متغیرهای مستقل که دارای بر هم خطی بود حذف شد. در مرحله بعد تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام شد. در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل متغیرهای مستقل و مشخص نمودن تأثیر هرکدام از متغیرهای مستقل بر روی تغییرات متغیر وابسته یا پاسخ از دو روش رگرسیون خطی چندگانه و مدل جنگل تصادفی استفاده شد. پس از تشخیص مدل و برآورد پارامترها، مناسب بودن مدل با استفاده از تجزیه تحلیل باقیمانده‌های مدل برازش یافته، بررسی گردید. در این مطالعه برای ارزیابی نتایج عملکرد مدل‌های طراحی شده از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تعدیل یافته (R^2adj)، جذر میانگین مربعات خطا[2] در نرم‌افزار R استفاده شد (Fakora, 2014).

نتایج و بحث

در جدول ۱ آماره‌های حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار برای متغیر پاسخ (خرابی کل روسازی و حجم چاله، حجم

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

شیارهای طولی، سطح برون‌زدگی سنگی و حجم شیارهای عرضی (کرکره‌ای) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصه‌های توصیفی برای متغیرهای پاسخ در هر نمونه

Table 1. Descriptive characteristics for response variables in each sample

متغیرهای پاسخ Response variables	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Error
خرابی کل Total failure	0	2.28	0.4105	0.347
حجم چاله‌ها (لیتر) Volume of pits (liters)	0	60	2.5	6.8
حجم شیارهای طولی (لیتر) Volume of longitudinal grooves (liters)	0	20	11.8	26.5
سطح برون‌زدگی سنگی (مترمربع) Stone outcrop surface (square meter)	0	3.20	0.467	0.592
حجم شیارهای عرضی(لیتر) Volume of transverse grooves (liters)	0	5	40	0.84

همچنین جدول ۲ درصد ارزش نسبی هرکدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده برای خرابی کل روسازی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد حجم چاله‌ها و سطح برون‌زدگی سنگی به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر روی خرابی کل روسازی جاده دارد.

جدول ۲- ارزش نسبی پارامترهای خرابی روسازی جاده بر اساس نظر کارشناسان مبتنی بر روش AHP

Table 2. Relative Value of Road Pavement Damage Parameters Based on Experts Based on AHP Method

پارامترهای خرابی روسازی جاده Road pavement failure parameters	حجم چاله The volume of the hole	حجم شیار عرضی یا کرکره‌ای The volume of transverse groove or shutter	حجم شیار طولی Longitudinal groove volume	سطح برون‌زدگی سنگی Stone outcrop surface
درصد تأثیر پارامترهای خرابی روسازی Percentage influence of pavement failure parameters	57%	22%	14%	7%

نتایج مدل رگرسیون خطی چندگانه

در جدول ۳ میزان اهمیت متغیرهای مؤثر بر خرابی کل روسازی را با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه در نرم‌افزار R آورده شده است. نتایج مدل رگرسیون خطی چندگانه در جدول فوق نشان می‌دهد بعضی از متغیرها مانند شیب طولی، درصد رس و دانه‌بندی مصالح روسازی نسبت به سایر متغیرها و اثرات متقابل بین آن‌ها دارای تأثیر بیش‌تری می‌باشند. درصد خرابی کل روسازی جاده موردمطالعه با حضور متغیرهای مختلف به‌صورت جداگانه، به دلیل وجود اثرات متقابل بین متغیرهای متفاوت می‌باشد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که اثرات متقابل بین عرض بستر و شیب طولی، درصد مصالح با دانه‌بندی ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر و شیب طولی بر خرابی روسازی معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۳- اهمیت نسبی متغیرهای پیشگو مهم در مدل رگرسیونی خطی چندگانه

Table 3. Relative importance of important predictor variables in multiple linear regression model

متغیرهای پیشگو Predictor variables	شیب طولی Longitudinal slope	دانه‌بندی مصالح Granulation of materials	عرض بستر Bed width	دانه‌بندی ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی متر Granulation 4.75 to 9.5 mm	اثر متقابل بین عرض بستر و شیب طولی Interaction between bed width and longitudinal slope	اثر متقابل بین شیب طولی و دانه‌بندی ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی متر Interaction between longitudinal slope and grain size 4.75 to 9.5 mm	جمع کل Total
اهمیت نسبی (درصد) relative importance (percentage)	41	19	18	3	7	12	100

بهترین مدل رگرسیونی خطی برای برآورد میزان خرابی کل روسازی در جاده موردمطالعه در رابطه ۱ آورده شده است.

$$Y=2.81+.585X_1+0.181X_2+.056X_3+.0268X_1^2 +.0233X_1X_2-0.009X_2X_3 \quad (۱)$$

که در آن، Y= مقدار خرابی کل روسازی جاده؛ X_1= عرض بستر به متر؛ X_2= شیب طولی به درصد؛ X_3= درصد مصالح با دانه‌بندی ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر است. مقدار p-value به‌دست‌آمده نشان داد متغیرهای تأثیرگذار بر روی خرابی کل روسازی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

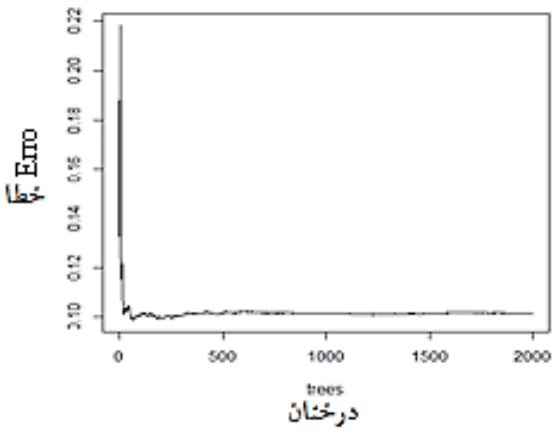
جدول ۴- برآورد اطمینان متغیرهای تأثیرگذار بر روی خرابی روسازی جاده با استفاده از روش رگرسیون خطی در نرم‌افزار R
Table 4. Estimation of Reliability of Variables Affecting Road Pavement Damage Using Linear Regression Method in R Software

متغیر Variable	مقدار برآورد Estimated amount	انحراف معیار Standard deviation	Pr>/t	سطح اطمینان Confidence level
عرض از مبدأ Width from the origin	2.8	3.472	0.00072	***
عرض بستر bed width	0.58	3.372	0.000984	***
شیب طولی longitudinal slope	0.18	2.232	0.027319	*
درصد دانه‌بندی ۹/۵-۴/۷۵ میلی متر Granulation percentage 4.75-9.5 mm	0.056	2.976	0.003487	**
۲ عرض بستر bed width	0.026	3.048	0.002791	**
دانه‌بندی مصالح روسازی Granulation of paving materials	0.029	3.288	0.0013	**
شیب طولی longitudinal slope	0.006	2.782	0.006215	**
عرض بستر×شیب طولی Bed width × Longitudinal slope	0.023	2.428	0.01655	*
شیب طولی× درصد دانه‌بندی ۹/۵-۴/۷۵ میلی‌متر Longitudinal slope × Granulation percentage 4.75-9.5 mm	0.0094	2.741	0.006981	**

سطح معنی‌داری ***۰/۰۰۱، **۰/۰۱، *۰/۰۵، *۰/۰۱
Significance ***0.001, **0.01, *0.05, *0.01

نتایج مدل جنگل تصادفی

ابتدا نمودار میزان خطا برحسب تعداد درخت ترسیم و در خصوص تعداد درخت بهینه تصمیم‌گیری شد. بر این اساس مدل نهایی جنگل تصادفی با تعداد ۲۰۰۰ درخت (شکل ۲) اجرا گردید.



شکل ۲- تعداد بهینه درخت در مدل جنگل تصادفی
Figure 2. Optimal number of trees in random forest model

به‌کارگیری فن جنگل تصادفی در بررسی اهمیت متغیرهای مختلف بر روی خرابی کل روسازی جاده موردمطالعه و هرکدام از پارامترهای سنجش خرابی نشان می‌دهد که بعضی از متغیرهای شیب طولی (درصد)، عرض بستر (متر)، عرض حریم (متر)، درصد رس مصالح روسازی جاده و طول تانژانت متغیرهای مهم و تأثیرگذارتر بر روی خرابی کل می‌باشند و بعضی دیگر متغیرها مانند زمین‌شناسی، شانه راه، ارتفاع از سطح دریا، درصد دانه‌بندی ۴/۷۵ تا ۲ میلی‌متر دارای تأثیرگذاری و اهمیت کم‌تری در خرابی روسازی می‌باشند. میزان اهمیت هرکدام از متغیرهای مستقل در فرایند خرابی کل روسازی جاده موردمطالعه با استفاده از مدل جنگل تصادفی در جدول ۵ نشان داده‌شده است.

1- Decision Trees
2-Root Mean Square Error (RMSE)

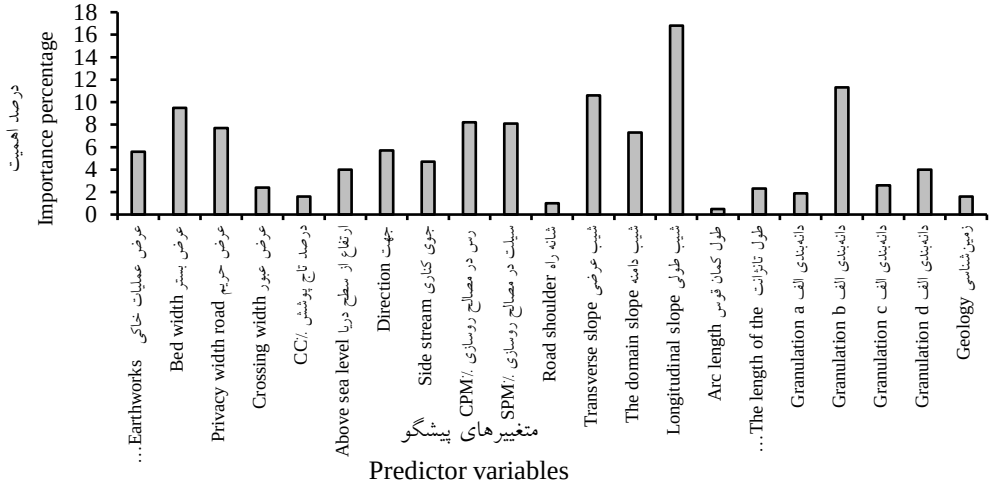
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

جدول ۵- درصد اهمیت متغیرهای مستقل بر روی هرکدام از پارامترهای خرابی و خرابی کل روسازی جاده با استفاده از مدل جنگل تصادفی
Table 5. Percentage of importance of independent variables on each of the parameters of total pavement breakdown and failure using random forest model

درصد اهمیت Importance percentage					
خرابی کل Total failure	حجم شیارهای عرضی Volume of transverse grooves (liters)	سطح برون‌زدگی سنگی Stone outcrop surface	حجم شیار طولی Longitudinal groove volume	حجم چاله‌ها The volume of the hole	متغیرهای مستقل Independent variables
5.39	8.87	5.44	0.26	3.89	عرض عملیات خاکی Width of earthworks
9.28	2.25	2.73	5.52	3.27	عرض بستر Bed width
7.60	2.86	4.17	4.29	9.53	عرض حریم The width of the road
3.38	2.24	4.28	0.88	0.037	عرض عبور Crossing width
1.13	2.49	2.06	0.97	1.38	درصد تاج پوشش Percentage canopy cover
4.11	11.64	6.29	5.15	1.54	ارتفاع از سطح دریا Above sea level
5.66	14.34	9.32	1.22	3.35	جهت Direction
4.77	0.48	4.61	2.55	3.96	جوی کناری Side stream
8.37	10.29	15.19	1.47	5.6	درصد رس در مصالح روسازی Clay percentage in pavement materials
8.27	3.67	12.64	5	5.03	درصد سیلت در مصالح روسازی Silt percentage in pavement materials
0.96	4.4	3.5	4.094	2.23	شانه راه Road shoulder
10.45	16.3	2.4	3.77	6.76	شیب عرضی Transverse slope
7.32	10.63	10.11	7.84	7.44	شیب دامنه The domain slope
17.07	17.10	9.82	29.4	11.29	شیب طولی Longitudinal slope
0.12	2.81	1.63	1.165	2.38	طول کمان قوس Arc length
2.59	3.75	23.62	1.73	2.66	طول تانژانت The length of the tangent
2	3.26	18.77	0.196	1.89	دانه‌بندی ۲ تا ۴/۷۵ میلی متر Granulation from 2 to 4.75 mm
11.37	1.83	21.81	3.5	9.60	دانه‌بندی ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی متر Granulation 4.75 to 9.5 mm
3.03	2.17	17.37	5.36	1.054	دانه‌بندی ۹/۵ تا ۲۵ میلی متر Granulation 9.5 to 25 mm
4.02	2.081	13.27	0.570	2.28	دانه‌بندی ۲۵ تا ۳۷/۵ میلی متر Granulation 9.5 to 25 mm
1.57	1.63	8.79	2.30	2.052	زمین‌شناسی Geology

نتایج مدل جنگل تصادفی برای متغیر پاسخ خرابی کل روسازی جاده

شکل ۳ میزان اهمیت متغیرهای مستقل (پیشگو) را در به وجود آوردن خرابی کل روسازی جاده موردمطالعه بر اساس تجزیه و تحلیل مدل جنگل تصادفی نشان می‌دهد. متغیرهای دارای اهمیت در ایجاد خرابی کل فاکتورهای تأثیرگذار در هرکدام از پارامترهای خرابی روسازی متفاوت می‌باشند. در خرابی کل شیب طولی، شیب عرضی، درصد رس و سیلت و دانه‌بندی ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر مصالح روسازی و عرض بستر دارای بیش‌ترین اهمیت تأثیرگذاری در خرابی روسازی را دارند.



شکل ۳- درصد اهمیت متغیرهای پیشگو بر خرابی کل روسازی جاده بر اساس مدل جنگل تصادفی
Figure 3. Percentage of importance of predictor variables on total road pavement destruction based on random forest model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

ارزیابی مدل‌ها

نتایج به‌کارگیری معیارهای سنجش برای هریک از مدل‌ها در مرحله ارزیابی در جدول ۶ ارائه گردیده است. نتیجه معیارهای ارزیابی برای مدل جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد مدل جنگل تصادفی با ضریب تبیین ۰/۸۹ و ریشه میانگین مجذور خطای ۰/۱۵۱ نسبت به مدل رگرسیون خطی با ضریب تبیین ۰/۲۸ و ریشه میانگین مجذور خطای ۰/۲۹ دارای دقت بهتری بود. در روش رگرسیون خطی چندگانه اثرات متقابل بین متغیرها در نظر گرفته نمی‌شود ولی در مدل جنگل تصادفی با توجه به اثرات متقابل بین متغیرها میزان تأثیر آن‌ها بر روی خرابی روسازی جاده، نشان داده می‌شود. اگرچه هرکدام از این متغیرها به‌تنهایی بر روی خرابی روسازی جاده تأثیرگذار می‌باشند ولی با حضور متغیرهای دیگر میزان تأثیر هرکدام از این متغیرها متفاوت می‌باشد.

جدول ۶- معیارهای ارزیابی مدل رگرسیونی خطی چندگانه و جنگل تصادفی

Table 6. Evaluation Criteria for Multiple Linear Regression Model and Random Forest

معیارهای ارزیابی Evaluation criteria	مدل رگرسیون خطی چندگانه Multiple linear regression model	مدل جنگل تصادفی Random forest model
R2	0.284	0.898
RMSE	0.292	0.151

بر اساس داده‌های این تحقیق و نتایج به‌کارگیری این معیارها نشان می‌دهد که فن‌های ناپارامتری درخت تصمیم کارایی بهتری نسبت به مدل رگرسیون خطی چندگانه در مشخص نمودن اهمیت متغیرهای خرابی روسازی جاده موردمطالعه داشته است.

اگرچه مدل رگرسیون خطی چندگانه بر اساس معیارهای ارزیابی، در این مطالعه نتایج ضعیف‌تری را در تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد ولی نتایج به‌دست‌آمده از این روش در حالت کلی شبیه مدل جنگل تصادفی می‌باشد و هر دو روش شیب طولی جاده را به‌عنوان یک فاکتور اثرگذار بر روی خرابی روسازی جاده نشان داده‌اند و یا اثرات فیزیوگرافی جاده را نسبت به بعضی از متغیرهای هندسی دارای اهمیت کم‌تری نشان داده‌اند که این به‌دلیل وجود اثرات متقابل کم‌تر بین این متغیر و متغیرهای دیگر می‌باشد درحالی‌که وجود و یا عدم وجود متغیرهای دیگر درنتیجه تأثیر زیادی نداشته است و این نشان از این دارد که بعضی از متغیرهای مهم دارای اثرات متقابل کم‌تری می‌باشند. نتیجه این مطالعه با نتیجه پژوهش‌های مویسن و همکاران و آرتسن و همکاران و حیدری هم‌خوانی داشته است و به توانایی مدل‌های ناپارامتری ازجمله مدل جنگل تصادفی در پیش‌بینی متغیرهای پاسخ اشاره داشتند (Moisen et al., 2006؛ Aertsen et al., 2010؛ Heydari, 2015).

جهت دامنه مانند سایر متغیرهای فیزیوگرافیک مورد مطالعه تأثیر قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر متغیرها بر خرابی روسازی جاده نداشته است و با نتایج مطالعات پارساخو همسو نمی‌باشد چرا که اثر متغیرهای دیگر بر روی خرابی روسازی چشم‌گیرتر و قابل ملاحظه‌تر می‌باشد (Parsakho, 2001). این به‌دلیل وجود اثرات متقابل بین متغیرها می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داده است که شیب طولی جاده دارای بیش‌ترین تأثیر را بر روی خرابی کل روسازی بوده است و عمدتاً با خروج از دامنه بهینه (مثبت و منفی) مقدار خرابی کل روسازی خصوصاً از لحاظ پارامترهای حجم شیارهای طولی و عرضی و حجم چاله‌ها نیز افزایش می‌یابد. مقدار خرابی کل روسازی جاده با افزایش شیب طولی سیر صعودی داشته است چرا که با اصطکاک بالای ترمز کامیون‌های حمل بار سنگین و افزایش پتانسیل و به‌نوعی افزایش شدت فرسایش سطحی و هم‌چنین در مورد حرکت رو به بالا هم با صرف نیروی بیش‌تر و به‌تبع آن فشار بیش‌تر به سطح جاده، باعث بیش‌تر شدن خرابی روسازی جاده می‌شود.

نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده مشابه هم‌خوانی داشته است (Parsakho, 2001; Kun, 2009; Nasiri & Hodjati, 2012; Elhadidi et al., 2014). در جاده‌های با شیب نزدیک به صفر تا ۳ درصد نیز درصد خرابی روسازی افزایش یافته است که بیش‌تر مربوط به چاله بوده است و علت آن جمع‌شدگی آب روی سطح روسازی و خارج شدن تاج راه از شکل اصلی بوده است که با مطالعات انجام شده توسط حیدری و حسنی و عباسی هم‌خوانی داشته است (Hassani & Abasi, 2012؛ Heydari, 2015).

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد متغیر درصد رس و دانه‌بندی مصالح روسازی جاده مورد مطالعه به‌عنوان یکی از متغیرهای مؤثر و بااهمیت در خرابی روسازی شناسایی شده است به‌صورتی که دارای یک دامنه حداقل از میزان خرابی کل روسازی با مقدار رس تقریباً ۱/۵ تا ۳ درصد بوده است که با افزایش یا کاهش مقدار آن از این دامنه، مقدار خرابی روسازی نیز افزایش می‌یابد نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات انجام‌شده توسط پارساخو و حسینی و سنتارک و اوزتورک هم‌خوانی داشته است (Parsakhoo & Hosseini, 2009؛ Ozturk & Senturk, 2013).

نتایج مطالعه انجام شده نشان می‌دهد درصد دانه‌بندی مصالح روسازی با اندازه ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم اثرگذار بر خرابی کل روسازی جاده می‌باشد و با افزایش درصد دانه‌بندی مصالح روسازی با اندازه ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر، خرابی کل روسازی نیز افزایش می‌یابد که نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات انجام شده توسط حسمدی و کاماروزمان و سنتورک و اوزتورک هم‌خوانی داشته است (Hasmadi & Kamaruzaman, 2008؛ Ozturk & Senturk, 2013). بررسی نمودارهای دانه‌بندی مصالح جاده مورد مطالعه و مقایسه آن با استاندارد دانه‌بندی مصالح روسازی نشان می‌دهد که این دامنه دانه‌بندی در روسازی جاده موردمطالعه رعایت نشده و همواره دانه‌بندی در آن بزرگ‌تر از حد استاندارد بوده است. این عمل باعث عدم دانه‌بندی مناسب و وجود ذرات با دانه‌بندی بزرگ و خارج از استاندارد و به دنبال آن عدم تراکم کافی لایه روسازی شده و خرابی آن را به همراه دارد.

هرچند مطالعات انجام‌شده از سوی حسنی و عباسی و پارساخو و حسینی و حیدری متغیرهایی مانند طرح هندسی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

قوس افقی و درصد تاج درختان حاشیه جاده و دیگر مشخصات هندسی جاده را به‌عنوان متغیرهای مهم اثرگذار در خرابی روسازی جاده معرفی کردند، ولی نتیجه مطالعه حاضر با آن‌ها هم‌خوانی نداشته است و متغیرهایی مانند مشخصات قوس افقی و درصد تاج درختان را به‌عنوان متغیر مهم اثرگذار نسبت به متغیرهای دیگر شناسایی نموده است (Hassani and Abasi, 2012؛ Parsakhoo ang Hosseini, 2009؛ Heydari, 2015).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، متغیر دیگری که تأثیر بیش‌تر بر روی خرابی روسازی دارد عرض بستر می‌باشد به‌صورتی که در دامنه عرض بستر ۷/۵ تا ۹/۵ متر کم‌ترین خرابی روسازی در جاده مورد مطالعه وجود دارد. نتیجه به‌دست آمده از این مطالعه با نتایج ارائه‌شده در پژوهش‌های حسنی و عباسی و پارساخو و حسینی و نصیری و حجتی هم‌خوانی دارد به‌صورتی که عرض بستر جاده وقتی‌که بیش‌تر از ۹/۵ متر و یا کم‌تر از ۷/۵ متر می‌شود میزان خرابی کل روسازی جاده مورد مطالعه بیش‌تر می‌شود این به‌دلیل آن است که در عرض بستر کم، میزان ترافیک عبوری بر روی جاده زیاد می‌شود و به‌تبع آن با پایین بودن مقاومت بستر روسازی خرابی روسازی نیز افزایش می‌یابد و زمانی‌که عرض بستر از ۹/۵ بیش‌تر می‌شود در هنگام غلتک زدن قسمت‌هایی از جاده خصوصاً کناره‌های جاده تراکم کافی را به‌دست نمی‌آورد و در نتیجه خرابی روسازی در آن بیش‌تر می‌شود (Hassani & Nasiri Abasi, 2012؛ Parsakhoo & Hosseini, 2009؛ Hodjati, 2012). رس عامل اتصال ذرات درشت مصالح روسازی بوده و به حفظ یکپارچگی مواد متشکله لایه رویه کمک می‌نماید. لذا درصد ناچیزی (کمتر از ۵ درصد) در مصالح قابل قبول است. انحلال و حذف رس می‌تواند سبب انفصال ذرات درشت لایه رویه شده که در نتیجه آن این ذرات با برخورد با تایر خودروها به اطراف پرتاب شده و چاله‌ها و شیارها روی جاده بروز می‌کند (Gotosa et al., 2011).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد علاوه بر متغیرهای ذکرشده، طول تانژانت نیز جزو متغیرهایی می‌باشد که در ایجاد خرابی به‌خصوص چاله‌ها دارای تأثیر زیادی می‌باشد؛ به‌صورتی که با افزایش طول تانژانت میزان خرابی کل جاده به‌خصوص حجم چاله نیز افزایش می‌یابد. طی بررسی میدانی و کنترل کامیون‌های حمل بار در مسیرهای با طول تانژانت بزرگ‌تر مشاهده گردید که در اثر افزایش سرعت این خودروها و انجام ترمز ناگهانی برای کنترل آن، فشار زیادی به روسازی جاده واردشده و باعث تخریب آن می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد توجه به پارامترهای فوق در هنگام روسازی می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از تخریب روسازی داشته باشد. همچنین در نظر گرفتن عوامل فوق می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های روسازی داشته باشد.

منابع

Aertsen, W., Kint, V., Van Orshoven, J., Ozkan, K., & Muys, B. (2010). Comparison and Ranking of Different Modelling Techniques for Prediction of Site Index in Mediterranean Mountain Forests, *Ecological Modelling*, 221(8), 1119-1130.

Alavi, S., Noori, Z., & Zahedamiri, Gh. (2016). Determination of the Most Effective Environmental Factors on Production Capacity of Eastern Beech Habitats Using Random Forest Technique in Kheyroud Noshahr Forest, *Iranian Forest Journal*, 8(32), 2-17 (In Persian).

Ameri, M., & Eftekharzadeh, S.M. (1999). Pavement Management for Roads, Airports and Parking, University of Science and Technology Publications. 500 pp (In Persian).

D.F.S. (2007). Master plan of Alborz dam Upper watershed, Mazandaran Jihad & Agriculture Organization, Annex3, 114 p.

Elhadidi, A.A., Elbeltaghi, E.E., & Ammer, M.A. (2014). Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms, *HBRC Journal*, 11(1), 107-113.

Fakora, A. (2014). Assessment of the Production Capacity of Oriental Beech Habitat Using Data Mining Technique, Decision Masters, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University. 155 PP.

Gotosa, J., Nyamadzawo, G., Mtetwa, T., Kanda, A., & Dudu, V.P. (2015). Comparative Road dust suppression capacity of molasses stillage and water on gravel road in Zimbabwe. *Advances in Research*, 3(2), 198-208.

Gupta, A., Kummer, P., & Rastogi, R. (2011). Pavement deteriorating and maintenance model for low volume roads, *International Journal of pavement research and Technology*, 4(4), 1-8.

Hassani, A., & Abasi, A. (2012). Investigating the Effect of Geometric Design on Damage to Flexible Pipes. *9th International Congress of Civil Engineering*, 1-9 pp (In Persian).

Heydari, M. (2015). Modeling of pavement deterioration of forest roads using artificial neural network and logistic regression. *MSc Degree in forestry, Marine Science and Natural Resources, Tarbiat Modares University*, 112 pp (In Persian).

Jamshidy, A., Majnounian, B., Zahedi Amiri, Gh., & Hoseini, S.A. (2009). Forest soil classification to reduce costs of mechanical capability study for roadway and transportation (Case study: Agh- Mashhad Forest). *Journal of the Iranian Natural Research*, 61(4), 877-888 (In Persian).

Kun, J. (2009). Influence of turning military vehicle induced rut formation, a Dissertation presented for the doctor of philosophy, the University of Tennessee, Knoxville, 157 pp.

Majnonian, B., Alizadeh, S.M., Darvishsafat, A.A., & Abdi, E. (2000). Evaluating of Estimation of Cut and Fill Operations Using GIS and Field Measurement (Case Study: Kheiroud Forest-Chelir District). *Watershed Management Research Journal* (Pajouhesh & Sazandegi), 87, 64-69 (In Persian).

Hasmadi, I., & Kamaruzaman, J. (2008). Forest Road assessment in Ulu Muda Forest reserve, Kedah, Malaysia, *Modern applied science*, 2(4), 100-108.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]

Moisen, G.G., Freeman, E.A., Blackard, J.A., Frescino, T.S., Zimmermann, N.E., & Edwards, T.C. (2006). Predicting tree species presence and basal area in utah: a comparison of stochastic gradient boosting, generalized additive models, and tree-based methods. *Ecological Modelling*, 199(2), 176-187.

Nasiri, M., & Hodjati, S.M. (2012). Designing geometric specifications of main access road and its effects on pavement rutting. *Annals of biological research*, 3(5), 2491-2499.

Ozturk, T., & Senturk, N. (2013). The importance of choosing the pavement materials on forest roads, International Caucasian forestry symposium.

Parsakho, A. (2001). Investigation of horizontal arch standards and their relationship with forest road damage. International *Road and Structure Monthly Magazine*, 94(1), 18-25 (In Persian).

Parsakhoo, A., & Hosseini, S.A. (2009). Factors affecting the wheel rutting on rural roads, *Journal of applied sciences*, 9(7), 1362-1367.

Rafatnia, N. (1988). Design and project of forest and mountain plans, Mazandaran University Press, Sari. 277 pp (In Persian).

Tyralis, H., Papacharalampous, G., & Langousis, A. (2019). A Brief Review of Random Forests for Water Scientists and Practitioners and Their Recent History in Water Resources. *Water*, 11(5), 910 pp.

Saadi, M., Oudin, L., & Pierre Ribstein, P. (2018). Random Forest Ability in Regionalizing Hourly Hydrological Model Parameters. *Water*, 11(8), 15-40 (In Persian).

Xiao, L., Dai, B., Liu, D., Zhao, D., & Wu, T. (2016). Monocular Road Detection Using Structured Random Forest. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 3(3), 1-13.

Zheng, T., Yan, Z., & Zhu, G. (2019). Stock selection with random forest: An exploitation of excess return in the Chinese stock market. *Heliyon*, 5(8), 1-10.

Zhu, M., Philpotts, D., & Stevenson, M.J. (2012). The benefits of tree-based models for stock selection. *Journal of Asset Management*,13(6), 437-448.

Zhu, M., Xia, J., Jin, X., Yan, M., Cai, G., Yan, J., & Ning, G. (2018). Class Weights Random Forest Algorithm for Processing Class Imbalanced Medical Data. *IEEE Access*, 6, 4641-4652.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.5.4]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.68]