

Research Article

The limited long-term impact of secondary forest roads on tree regeneration and stand composition

Babak Masoompour Amirabadi ¹, Kambiz Taheri Abkenar ² and Ismael Ghajar ^{3*}

1- M.Sc. Graduated in Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

2- Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

3- Corresponding author, Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

Email: i.ghajar@guilan.ac.ir

Received: 24.11.2025

Revised: 14.12.2025

Accepted: 01.02.2026

Abstract

Background and Objectives: Habitat edges, particularly forest road corridors, function as focal points for ecological dynamics. These linear disturbances alter microclimatic conditions through increased solar radiation, elevated temperatures, and enhanced wind exposure, thereby creating environmental filters that fundamentally reshape vegetation structure and community composition. This transformation manifests as the gradual replacement of shade-tolerant forest species with light-demanding herbaceous and pioneer species in proximity to edges. However, roads serve as the fundamental infrastructure for forest management, making their presence in forested landscapes an essential and unavoidable component of modern land use. This study aimed to investigate the effects of secondary forest roads on tree regeneration, species composition, stem density (stems/ha), and stand volume (m³/ha) in three parcels of Series 7 within Watershed 25 of the Shenroud district, Guilan Province, two decades after road construction.

Methodology: For this research, a forest road constructed in 2005 in three compartments of Series 7 in the Shenroud watershed was selected: compartment 754 (northern aspect), compartment 726 (southern aspect), and compartment 755 (western aspect). A transect sampling method was employed. Transects were established along three geographical aspects (north, south, and west), with three replicates per aspect, resulting in a total of 72 transects. Each transect measured 100 × 5 m and was positioned on both cut and fill slopes, across the three geographical aspects, and at four distances from the road (30, 60, 90, and 120 m). Within each transect, tree species and diameter at breast height (DBH) of all trees were recorded. To assess regeneration, ten systematic 2 × 1 m square microplots were sampled per transect, and regeneration frequency by species was documented. The Kolmogorov–Smirnov test was used to verify the normality of quantitative data. A two-way analysis of variance (ANOVA) was applied to compare regeneration frequency under the influence of geographical aspect and distance from the road, and Duncan's multiple range test was used for mean comparisons.

Results: The results indicated that tree species composition on both sides of the road did not significantly change with distance from 30 to 120 m from the road. Although mean stem density and volume per hectare decreased with increasing distance from the road, no statistically significant differences were observed across slopes, geographical aspects, or distances from the road. Regeneration analysis revealed that three tree species regenerated in the study area, all of



which were present across the three geographical aspects. The highest regeneration frequency on both cut and fill slopes was observed for beech (*Fagus orientalis* Lipsky). In the upstream area of the road, alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) regeneration frequency was higher than that of hornbeam (*Carpinus betulus* L.), whereas in the downstream area, alder frequency was lower than that of hornbeam. Comparison of regeneration variables showed that regeneration abundance increased with increasing distance from the road on both the cut and fill slopes, reaching a maximum at 90 m, but decreased at a distance of 120 m, and a statistically significant difference in regeneration frequency was observed between cut and fill slopes.

Conclusion: The findings of this study demonstrate that secondary forest roads in the study area have not exerted a significant large-scale impact on adjacent ecosystems in terms of species composition and regeneration rates after two decades, except for regeneration rates between cut and fill slopes, where significant differences were observed. From a forest management point of view, the obtained results, which indicate limited negative effects of such roads, make it possible to allocate financial resources to more critical areas and provide a good example for forest road design and construction with minimal ecological disturbance in the future. As a result, rather than undertaking comprehensive and expensive road-management activities in similar situations, continued and targeted monitoring should be emphasized to support adaptive and compatible management in Hyrcanian forests.

Keywords: Forest composition, forest roads, Hyrcanian Forests, measurement.

تأثیر محدود بلندمدت جاده‌های جنگلی درجه دو بر زادآوری و ترکیب گونه‌های درختی

بابک معصوم‌پور امیرآبادی^۱، کامبیز طاهری آبکنار^۲ و اسماعیل قجر^{۳*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۲- دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۳- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. پست الکترونیک: i.ghajar@guilan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲

چکیده

سابقه و هدف: لبه‌های رویشگاهی، به‌ویژه حاشیه جاده‌های جنگلی، به‌عنوان کانون تغییرات بوم‌شناختی عمل می‌کنند. این عوارض با دگرگونی شرایط خرداقليمی از جمله تشدید تابش نور خورشید، افزایش دما و وزش باد، شرایطی را ایجاد می‌کنند که ساختار و ترکیب جوامع گیاهی را به‌طور بنیادین متحول می‌کنند. این دگرگونی به‌شکل جایگزینی تدریجی گونه‌های سایه‌پسند جنگلی با گونه‌های علفی و نورپسند در نزدیکی لبه‌ها آشکار می‌شود. با این حال، جاده‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پیش‌نیازهای مدیریت جنگل، عملکردی ویژه دارند و وجود آن‌ها در محیط‌های جنگلی، ضروری و گریزناپذیر است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر جاده‌های جنگلی درجه دو بر زادآوری و ترکیب گونه‌های درختی، تعداد در هکتار و حجم در هکتار در سه پارسل از سری ۷ حوضه آبخیز ۲۵ شن‌رود از توابع استان گیلان پس از بیست سال از ساخت جاده بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور انجام این پژوهش، جاده جنگلی سه پارسل ۷۵۴ با جهت شمالی، ۷۲۶ با جهت جنوبی و ۷۵۵ با جهت غربی احداث‌شده در سال ۱۳۸۴ در سری ۷ شن‌رود واقع در حوضه آبخیز ۲۵ شن‌رود انتخاب و از روش نمونه‌برداری ترانسکت نواری استفاده شد. نوارها در سه جهت شمالی، جنوبی و غربی مستقر شدند. این نوارها در هریک از جهت‌های جغرافیایی سه‌گانه با سه تکرار برداشت شدند. در مجموع، ۷۲ نوار به طول ۱۰۰ و عرض پنج متر در دو دامنه (خاک‌برداری و خاک‌ریزی)، سه جهت جغرافیایی (جنوب، شمال و غرب) و چهار فاصله به موازات جاده (۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ متر) برداشت شد. در داخل هر نوار، نوع گونه و قطر برابر سینه همه درختان اندازه‌گیری شد. در داخل هر نوار، ۱۰ قطعه نمونه ۱×۲ متر مربعی به‌صورت منظم برداشت و فراوانی زادآوری به‌تفکیک گونه ثبت شد. از آزمون کولموگروف-سمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. به‌منظور مقایسه فراوانی زادآوری تحت تأثیر جهت‌های جغرافیایی و فاصله از جاده از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه و برای مقایسه میانگین فراوانی زادآوری از آزمون مقایسه میانگین دانکن استفاده شد.

نتایج: براساس یافته‌های به‌دست‌آمده، ترکیب گونه‌ای درختی طرفین جاده از فاصله ۳۰ متر تا ۱۲۰ متر تغییر معنی‌داری نکرده است. با افزایش فاصله از جاده، میانگین تعداد و حجم در هکتار کاهش یافت، اما مقایسه این متغیرها میان دامنه‌ها، جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده، اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. بررسی وضعیت زادآوری گونه‌های درختی نشان داد که زادآوری راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، مرز (*Carpinus betulus* L.) و توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.) استقرار داشتند. به‌طوری‌که زادآوری این گونه‌ها در هر سه جهت بررسی‌شده (شمال، جنوب و غرب) نیز مشاهده شدند. بیشترین فراوانی گونه درختی در هر دو دامنه به راش تعلق داشت. در منطقه بالادست جاده، فراوانی توسکا از مرز بیشتر بود، درحالی‌که در منطقه پایین‌دست، فراوانی توسکا، کمتر از مرز به‌دست آمد. نتیجه مقایسه متغیرهای زادآوری نشان داد که فراوانی زادآوری در هر دو دامنه خاک‌برداری و خاک‌ریزی با افزایش فاصله از جاده تا فاصله ۹۰ متر افزایش یافت، اما در فاصله ۱۲۰ متری روند کاهشی نشان داد. همچنین، اختلاف معنی‌داری بین فراوانی زادآوری در دامنه خاک‌برداری با دامنه خاک‌ریزی به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: یافته‌های پژوهش پیش‌رو نشان داد که جاده‌های درجه دو جنگلی از نظر ترکیب و میزان زادآوری پس از دو دهه، اثر

معنی‌داری در فاصله‌های مورد اندازه‌گیری و جهت‌های جغرافیایی مختلف روی بوم‌سازگان‌های مجاور خود در منطقه مورد مطالعه نداشته‌اند و فقط فراوانی زادآوری بین دامنه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی، تفاوت معنی‌داری نشان داد. از نظر مدیریت جنگل، این نتایج از یک سو با کاهش نگرانی‌ها در مورد اثرات مخرب گسترده و پایدار چنین جاده‌هایی، امکان تخصیص بهینه منابع حفاظتی و مالی به نقاط بحرانی‌تر را فراهم می‌کند. از سوی دیگر، الگویی برای طراحی و احداث جاده‌های آینده با کمینه آشفتگی بوم‌شناختی ارائه می‌دهد، بنابراین ضمن آنکه نتایج، ضرورت اقدامات پرهزینه و اصلاحی گسترده را در شرایط مشابه رد می‌کند، بر اهمیت پایش مستمر و هدفمند برای مدیریت سازگار جنگل‌های هیرکانی تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: ترکیب جنگل، جاده‌های جنگلی، جنگل‌های هیرکانی، اندازه‌گیری.

مقدمه

جنگل، یک بوم‌سازگان طبیعی و پویا است که همه اجزای آن از گیاهان تا لاش‌پرگ و از موجودات زنده بسیار ریز تا موجودات زنده بزرگ در تعامل با یکدیگر هستند تا جنگل به حالت اوج خود برسد (Odum, 1971). با این حال، این تعادل پویا می‌تواند توسط اختلالات انسان‌ساز که اغلب بسیار شدیدتر و متمایز از اختلالات طبیعی هستند، به هم بخورد و مسیر توالی بوم‌شناختی را به طور اساسی تغییر دهد (Walker & del Moral, 2003; Sefidi & Jahdi, 2023). احداث جاده در بوم‌سازگان جنگل سبب تغییر خرداقلیم، جرم مخصوص ظاهری، اسیدیته و مواد آلی خاک و آغاز فرایند توالی در لبه‌ها و دیواره‌های خاکی حاشیه مسیرهای حمل‌ونقل در جنگل می‌شود. این تغییرات در پارامترهای خاک می‌تواند به افت قابل توجه در تنوع و فراوانی جامعه بی مهرگان خاک‌زی، به عنوان بازیگران کلیدی چرخه مواد در حریم جاده منجر شود. کاهش تراکم تاج پوشش و رقابت نوری در جاده‌ها از عوامل تأثیرگذاری بر حیوانات، گیاهان و بوم‌سازگان‌ها و به عنوان یکی از اجزاء مهم چشم‌اندازها مطرح هستند. جاده‌های جنگلی از زیرساخت‌های مهم مدیریت واحدهای جنگلی هستند که در حمل‌ونقل چوب و سایر خدمات جنگل، مانند حفاظت و گردشگری، نقشی ویژه ایفا می‌کنند. جاده‌ها، اساسی‌ترین رکن برنامه‌ریزی و مدیریت در جنگل هستند و بزرگ‌ترین سرمایه‌گذاری در جنگل را به خود اختصاص می‌دهند (Bowering *et al.*, 2006). جاده‌های جنگلی با فراهم‌سازی امکان دسترسی، مجموعه‌ای از خدمات مدیریتی و حفاظتی را ممکن می‌کنند. این خدمات

شامل سازماندهی ناحیه‌بندی‌شده، بهره‌برداری و حمل‌ونقل بهینه محصولات جنگلی (Picchio *et al.*, 2011; Magagnotti *et al.*, 2012)، تسهیل عملیات جنگل‌شناسی (برش‌های پرورشی یا بهداشتی)، مدیریت پایدار جنگل و گردشگری (Demir *et al.*, 2007) و درنهایت، پشتیبانی از برنامه‌های مدیریتی، حفاظتی و احیایی با هدف کمینه‌سازی خسارات وارده به عرصه جنگلی هستند (Darvishsefat *et al.*, 2009).

نحوه مدیریت جاده‌های جنگلی و فعالیت‌های اطراف آن‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای در بوم‌سازگان جنگل دارد. به‌طوری‌که جاده‌سازی ممکن است در عمل باعث تشدید تأثیر منفی جاده بر جوامع گیاهی و کارکردهای حفاظتی جنگل شود (Avon *et al.*, 2013). ساخت جاده‌ها و مسیرهای چوب‌کشی، نوعی اختلال در عرصه‌های منابع طبیعی به وجود می‌آورد که سبب اثراتی بر زادآوری (Hansen & Clevenger, 2005)، خصوصیات خاک (Karim & Mallik, 2008; McCay *et al.*, 2013)، پوشش درختی، درختچه‌ای و علفی (Nilsson & Wardle, 2005)، نور، درجه حرارت و رطوبت (Haskell, 2000) در اطراف جاده‌های جنگلی می‌شود. اهمیت اثرات ناشی از جاده‌ها تاحدی است که شاخه جدیدی در علم بوم‌شناسی به نام بوم‌شناسی جاده ظهور کرده است. در این شاخه، مفهومی به نام محدوده اثر جاده تعریف می‌شود که عبارت است از ناحیه‌ای در اطراف جاده که آثار مهم بوم‌شناختی ناشی از آن محدوده، قابل‌ردگیری و شناسایی است (Forman *et al.*, 2002). براساس پژوهش‌های بوم‌سازگانی در ایران، تعیین

در جنگل‌های معتدل هیرکانی گزارش شد که جاده‌ها سبب تغییر در ترکیب و تنوع گیاهی، افزایش گونه‌های غیربومی و کاهش گونه‌های بومی در نزدیکی جاده‌ها می‌شوند (Keybondori *et al.*, 2023). همچنین، فاصله از جاده به‌طور معنی‌داری بر ساختار و تنوع گیاهی تأثیر می‌گذارد. Berenji Tehrani و همکاران (۲۰۱۵) و Deljouei و همکاران (۲۰۱۷a) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که نزدیکی به جاده درجه دو جنگلی سبب کاهش گونه‌های جنگلی بومی و افزایش گونه‌های مقاوم و علفی می‌شود. چنانچه این جاده‌ها بر موقعیت فرم‌های مختلف رویشی در فاصله‌های مختلف از جاده، پراکندگی جغرافیایی گونه‌ها و تغییرات محیطی (نور و رطوبت خاک) به نفع گونه‌های غیربومی مؤثر بودند. بررسی تأثیر مسیرهای چوب‌کشی بر تغییرات پهنای دایره‌های سالانه درختان راش (Fagus *orientalis* Lipsky) و توسکای بیلاقی (Alnus *subcordata* C.A.Mey. در جنگل‌های اسالم نشان داد که فعالیت‌های چوب‌کشی به کاهش رشد قطری درختان حاشیه مسیر منجر می‌شوند (Zaraei Gholbaghi *et al.*, 2016). همچنین، درختان راش نسبت به توسکای بیلاقی، حساسیت بیشتری به این اختلالات نشان دادند.

باتوجه به ارزشمندی و محدود بودن جنگل‌های ایران به‌خصوص جنگل‌های هیرکانی، بررسی اثرات بوم‌شناختی جاده‌های جنگلی و فهم عمق این تأثیرات به‌منظور کمینه‌سازی آن‌ها، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند (Naghdi *et al.*, 2014). تخمین میزان اثرات جاده جنگلی بر توده‌های کناری در مدیریت بوم‌سازگان‌های جنگلی ضروری است (Delgado *et al.*, 2007)، اما فاصله‌ای از جاده که تا آن، اثرات جاده بر جوامع گیاهی جنگل مشاهده می‌شود، همچنان به‌طور دقیق مشخص نیست (Avon *et al.*, 2013). ازاین‌رو، برآورد تأثیر جاده بر متغیرهای کمی توده مجاور، ابزار مفیدی برای ارزیابی میزان قلمرو تحت تأثیر جاده است. در این خصوص، پژوهش‌های اندکی در توده‌های جنگلی مرتفع انجام شده‌اند، بنابراین هدف پژوهش پیش‌رو، بررسی تأثیر نوع دامنه (خاک‌ریزی یا خاک‌برداری)، جهت‌های جغرافیایی

دقیق این حریم برای برنامه‌ریزی و مدیریت به مدل‌سازی کمی روابط نیاز دارد که پژوهشگرانی مانند Deljouei و همکاران (۲۰۱۷a) در جنگل‌های هیرکانی ایران به آن پرداخته‌اند.

اثرات حاشیه‌ای جاده جنگلی برخلاف تصور، گاهی می‌تواند در مقیاس‌های بزرگ رخ دهد. عمق این اثر در برخی پژوهش‌ها تا ۵۰ متر (Watkins *et al.*, 2003) و در برخی دیگر تا ۸۰ متر (Dillon, 1998) گزارش شده است. تأثیر بوم‌شناختی جاده‌ها شامل قطعه‌قطعه شدن زیستگاه در طول ساخت جاده، تغییر زیستگاه در رابطه با محیط و مرگ‌ومیر حیات وحش در اثر برخورد وسایل نقلیه به آن‌ها است (Benítez-López *et al.*, 2010). در این راستا، بررسی تأثیر جاده جنگلی بر تنوع گونه‌ای علفی و استقرار زادآوری درختی در جنگل خیرود نشان داد که فاصله از جاده به‌طور معنی‌داری بر ترکیب و تنوع گونه‌های علفی و زادآوری درختی تأثیر دارد (Karami-Rad *et al.*, 2016). ارزیابی زادآوری گونه‌های درختی در اطراف جاده نشان داد که ساخت‌وساز جاده در جنگل و افزایش میزان نور در کنار جاده‌ها سبب اثرگذاری بر فراوانی زادآوری گونه‌ها باتوجه به سایه‌پسند و یا نورپسند بودن آن‌ها می‌شوند (Najafi *et al.*, 2011). در بررسی تأثیر جاده‌های جنگلی بر جوامع درختی و ساختار توده در دو توده در ایتالیا و یک توده در ایران گزارش شد که در سه توده بررسی‌شده، ترکیب جنگل از حاشیه جاده جنگلی به سمت داخل جنگل مشابه بود، اما تفاوت‌های اصلی مربوط به مقادیر بیشتر در فراوانی گونه‌های مقاوم به سایه و شاخص‌های تنوع زیستی در طول جاده‌های جنگلی بود (Picchio *et al.*, 2018).

بررسی اثرات جاده‌های آسفالت به سلامت درختان مانند خشکیدگی، تراکم تاج پوشش، استرس آبی، قطر و ارتفاع و نیز ترکیب خاک مانند pH، مواد آلی و غلظت فلزات سنگین نشان داد که جاده آسفالت به توده جنگلی مجاور خود تأثیر دارد، اما این اثر باتوجه به میانگین رویش سالانه قطر برابر سینه و برگ‌ریزی درختانی که در فاصله‌های مختلف از جاده رشد می‌کنند، معنی‌دار نبود (Turski *et al.*, 2023). در ارزیابی تأثیر جاده‌های جنگلی بر ویژگی‌های پوشش گیاهی

سواره‌رو ۳/۵ متر (یک‌طرفه) هستند که در سال ۱۳۸۴ با استفاده از مصالح کوهی ساخته شدند. عمده گونه‌های درختی پارس‌ل‌های مورد مطالعه راش، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، توسکای بیلاقی و پلت (*Acer velutinum* Boiss.) بودند.

روش پژوهش

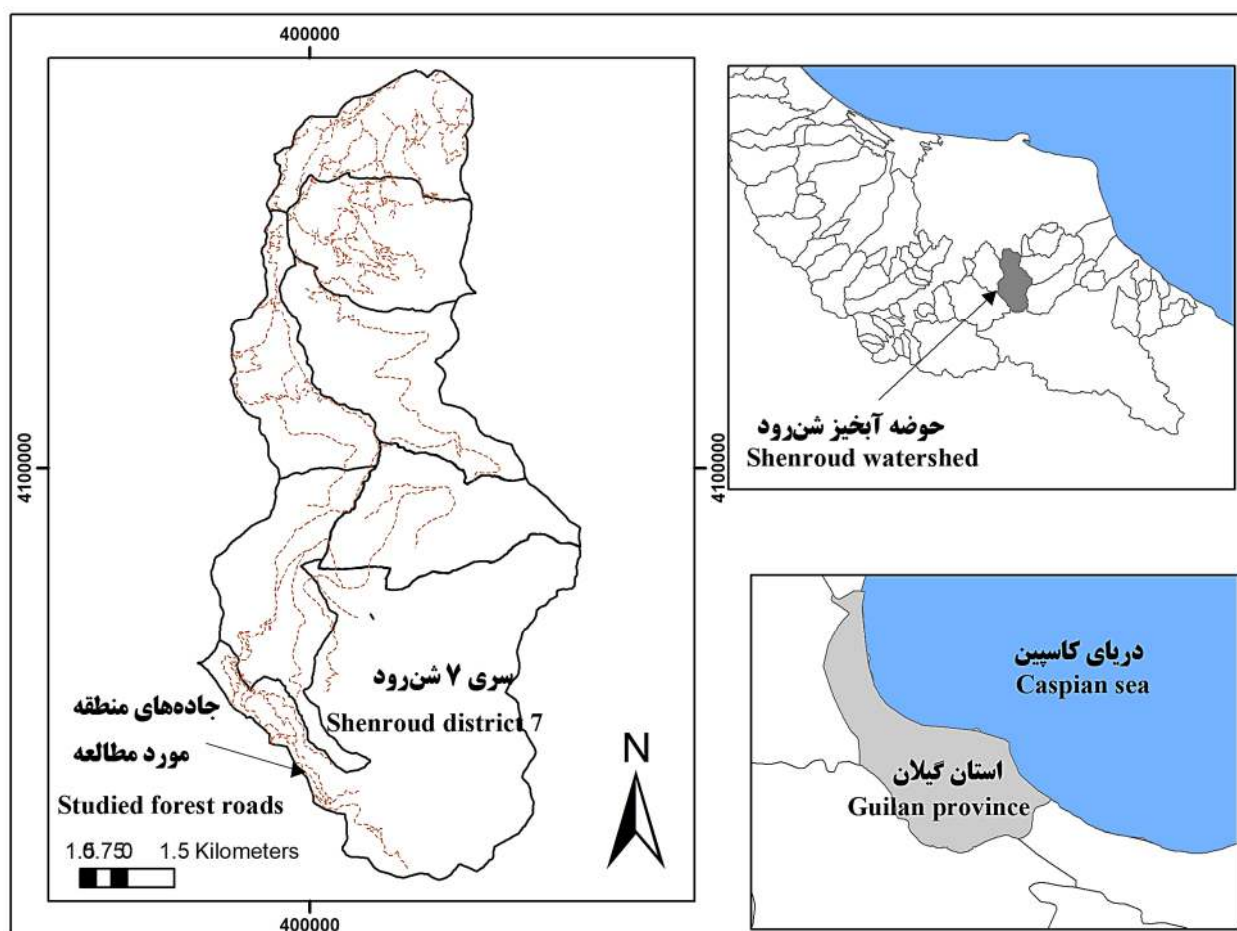
به‌منظور انجام این پژوهش، جاده‌های جنگلی در سه پارس‌ل شامل ۷۵۴ با جهت شمالی، ۷۲۶ با جهت جنوبی و ۷۵۵ با جهت غربی در سری ۷ شن‌رود انتخاب شدند. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نظر از روش نمونه‌برداری ترانسکت نواری استفاده شد. چهار نوار به طول ۱۰۰ و عرض پنج متر با فاصله ۳۰ متر از یکدیگر (فاصله‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ متر از لبه جاده) و در دو دامنه خاک‌برداری و خاک‌ریزی پیاده شد (Dillon, 1998) (شکل ۲). نوارها در سه جهت جغرافیایی شمالی، جنوبی و غربی و در هریک از جهت‌های جغرافیایی، با سه تکرار مستقر شدند. در مجموع، ۷۲ نوار برداشت شد. درون هر نوار، نوع گونه و قطر برابرسینه همه درختان دارای قطر برابرسینه بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در هر نوار (۱۰۰ متری)، ۱۰ قطعه‌نمونه ۱×۲ متر مربعی به فاصله ۱۰ متر از یکدیگر و به‌صورت منظم برداشت شد. درون هر قطعه‌نمونه، وفور گونه و فراوانی زادآوری به تفکیک گونه اندازه‌گیری شد (Dillon, 1998). در مجموع، ۷۲۰ قطعه‌نمونه زادآوری در ۷۲ نوار برداشت شد. حجم درختان با استفاده از جدول حجم یک عامله (تاریف) منطقه محاسبه شد.

و فاصله از جاده‌های جنگلی درجه دو بر زادآوری و ترکیب گونه‌های درختی (وفور گونه، تعداد در هکتار و حجم در هکتار) در جنگل‌های سری ۷ حوضه ۲۵ شن‌رود در استان گیلان بود. همچنین، این پژوهش به دنبال پاسخ به این پرسش است که آیا پس از دو دهه از ساخت جاده‌های جنگلی، اثرات منفی و معنی‌داری بر متغیرهای ذکرشده مشاهده می‌شود یا خیر، بنابراین این پژوهش به‌عنوان یک واکاوی موردی بلندمدت می‌تواند اطلاعات بومی ارزشمندی برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی جاده‌سازی یا سایر پروژه‌های توسعه در جنگل‌ها فراهم کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سری ۷ از حوضه آبخیز ۲۵ شن‌رود در ۱۵ کیلومتری جنوب شهرستان سیاهکل و در شرق استان گیلان انجام گرفت (شکل ۱). این سری در محدوده بین ۴۵° ۴۹' تا ۴۹° ۵۹' طول جغرافیایی شرقی و ۳۶° ۵۵' تا ۳۷° ۱۱' عرض شمالی قرار دارد. سری ۷ از شمال به سری ۶ شن‌رود، از جنوب به حوضه ۲۶ کوره‌رود، از غرب به حوضه ۲۴ ملک‌رود و از شرق به حوضه ۲۷ شلمان محدود می‌شود. براساس آمار ایستگاه اقلیم‌شناسی لاهیجان، میانگین بارندگی و دمای سالانه به ترتیب برابر ۱۲۶۴/۵ میلی‌متر و ۱۶ درجه سانتی‌گراد هستند. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب و معتدل، ارتفاع حدود ۱۵۵۰ متر از سطح دریاهای آزاد و شیب عمومی ۳۰ تا ۵۰ درصد است. جاده‌های این سری جزو جاده‌های جنگلی کم‌ترافیک و استاندارد درجه دو با عرض



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Location of study area

جغرافیایی و در دو دامنه بررسی شده مشاهده شدند. بیشترین فراوانی گونه درختی در هر دو دامنه به راش تعلق داشت. در دامنه خاک‌برداری، فراوانی توسکا از ممرز بیشتر بود، درحالی‌که در دامنه خاک‌ریزی، فراوانی توسکا، کمتر از ممرز به‌دست آمد (شکل ۳). بررسی تغییرات تعداد پایه‌های درختی در نوارها و در فاصله‌های مختلف نسبت به جاده نشان داد که تعداد توسکا در هکتار از فاصله‌های نزدیک به جاده به عمق جنگل کاهش یافته، اما راش افزایش یافته بود (شکل ۴). همچنین، در دامنه خاک‌برداری با افزایش فاصله از جاده، تعداد گونه‌های درختی در همه جهت‌های جغرافیایی کاهش یافت، اما این کمیت در دامنه خاک‌ریزی افزایشی بود (جدول ۱). نتایج آزمون تجزیه واریانس فراوانی گونه‌های درختی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین فراوانی گونه‌های درختی

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-سمیرنوف استفاده شد. برای مقایسه کلی میان طبقه‌های تیمارها شامل دامنه‌ها، جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه و به‌منظور مقایسه میانگین بین گروهی از آزمون مقایسه میانگین دانکن (Duncan) استفاده شد. همه تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری IBM SPSS var. 22 و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2013 ترسیم شد.

نتایج

بررسی ترکیب گونه‌های درختی نشان داد که سه گونه درختی شامل راش، توسکا و ممرز در منطقه مورد مطالعه حضور داشتند. به‌طوری‌که هر سه گونه مذکور در سه جهت

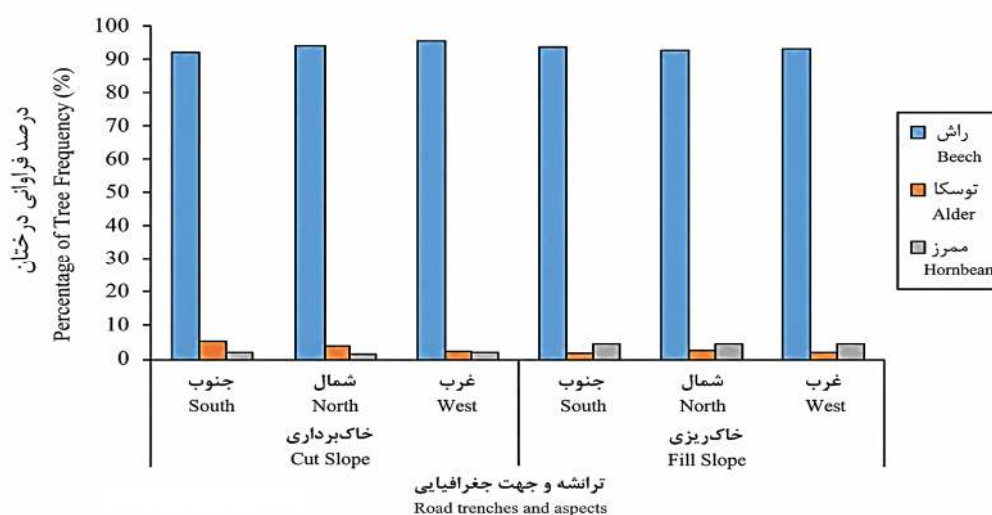
دامنه - جهت - فاصله بر فراوانی گونه‌های درختی معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۲).

در دامنه‌ها، جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده وجود ندارد، درحالی‌که تأثیر توأم دامنه - فاصله و



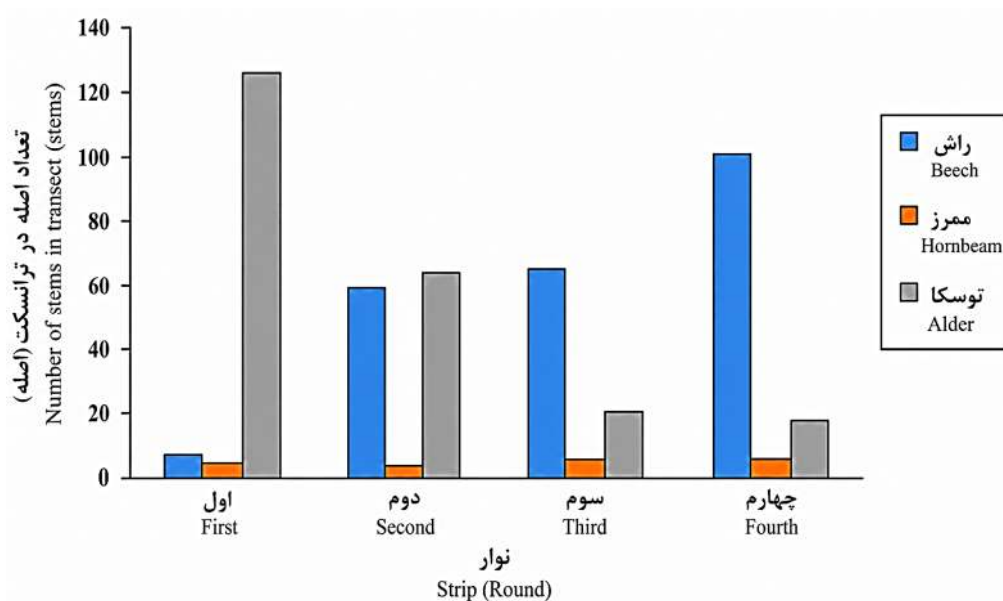
شکل ۲- موقعیت ترانسکت‌های نواری به موازات جاده و در عمق جنگل

Figure 2. Location of strip transects parallel to the road and within the forest interior



شکل ۳- درصد فراوانی گونه‌های درختی در دامنه و جهت‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

Figure 3. Tree species frequency percentage in the study area



شکل ۴- فراوانی پایه‌های درختی به تفکیک گونه در ترانسکت‌های نواری در فاصله‌های مختلف نسبت به جاده

Figure 4. Frequency of tree stems by species in strip transects at different distances from the road

جدول ۱- میانگین $\pm$ انحراف معیار فراوانی گونه درختی در منطقه مورد مطالعه

Table 1. Mean $\pm$ standard deviation of tree species frequency in the study area

Position	Aspect	Distance from road (m)			
		30	60	90	120
Cut slope	South	2.33 $\pm$ 0.57	2 $\pm$ 1	1.66 $\pm$ 0.57	1.66 $\pm$ 0.57
	North	2.33 $\pm$ 0.15	2.33 $\pm$ 0.57	1.66 $\pm$ 0.57	2.33 $\pm$ 0.57
	West	2.33 $\pm$ 0.57	2.33 $\pm$ 0.57	1.66 $\pm$ 0.57	1.0 $\pm$ 0
Fill slope	South	1.0 $\pm$ 0	1.66 $\pm$ 0.57	1.66 $\pm$ 0.57	2.33 $\pm$ 0.15
	North	2.33 $\pm$ 0.57	2.33 $\pm$ 0.57	2.66 $\pm$ 0.57	2.66 $\pm$ 0.57
	West	1 $\pm$ 0	1 $\pm$ 0	2.66 $\pm$ 0.57	2.66 $\pm$ 0.57

جدول ۲- نتایج آزمون تجزیه واریانس فراوانی گونه‌های درختی تحت تأثیر دامنه، جهت و فاصله از جاده

Table 2. Results of the analysis of variance (ANOVA) for tree species frequency as influenced by slope, aspect, and distance from the road

Source	Sum of square	df	Mean square	F	Sig.
Position	0.22	1	0.22	0.43	0.514 ^{ns}
Aspect	2.52	2	1.26	2.45	0.096 ^{ns}
Distance	1.44	3	0.48	0.93	0.43 ^{ns}
Aspect $\times$ Position	2.19	2	1.09	2.13	0.129 ^{ns}
Distance $\times$ Position	6.55	3	2.18	4.25	0.01 ^{**}
Distance $\times$ Aspect	2.47	6	0.41	0.82	0.573 ^{ns}
Distance $\times$ Position $\times$ Aspect	7.69	6	1.28	2.49	0.035 [*]
error	24.66	48	0.51		
Total	320	72			

*: Significant at $p < 0.05$; ns: non-significant

در دامنه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی، تعداد در هکتار درختان در همه جهت‌های جغرافیایی بررسی شده از فاصله ۳۰ متری تا فاصله ۹۰ متری از جاده کاهش یافت و سپس، روند افزایشی نشان داد. همچنین، بیشترین تراکم درختان (تعداد در هکتار) در هر دو دامنه جاده به جهت جغرافیایی شمال تعلق داشت (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین $\pm$ انحراف معیار تعداد در هکتار درختان در منطقه مورد مطالعهTable 3. Mean $\pm$ standard deviation of tree density (stem per hectare) in the study area

Position	Aspect	Distance from road (m)			
		30	60	90	120
Cut slope	South	633.3 $\pm$ 113.7	121.6 $\pm$ 620	238.6 $\pm$ 506.6	285.8 $\pm$ 586.6
	North	80.8 $\pm$ 746.6	231.8 $\pm$ 686.6	102.6 $\pm$ 633.3	160.4 $\pm$ 653.3
	West	160.4 $\pm$ 733.3	80.8 $\pm$ 613.3	0.4 $\pm$ 440	102.6 $\pm$ 706.6
Fill slope	South	254.8 $\pm$ 766.6	46.1 $\pm$ 733.3	70.8 $\pm$ 540	131.1 $\pm$ 560
	North	194.2 $\pm$ 873.3	100.6 $\pm$ 833.3	260 $\pm$ 640	330.4 $\pm$ 820
	West	183.3 $\pm$ 760	499.7 $\pm$ 546.6	147.4 $\pm$ 493.3	633.3 $\pm$ 170

نتایج آزمون تجزیه واریانس تعداد در هکتار درختان تحت تأثیر دامنه، جهت و فاصله از جاده نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تعداد در هکتار درختان در دامنه‌ها، جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده وجود ندارد. همچنین، تأثیر توأم دامنه- فاصله، دامنه- جهت و جهت- فاصله بر متغیر تراکم معنی‌دار نبود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج آزمون تجزیه واریانس تعداد در هکتار درختان تحت تأثیر دامنه، جهت و فاصله از جاده

Table 4. Results of the analysis of variance (ANOVA) for tree density (per hectare) as influenced by slope, aspect, and distance from the road.

Source	Sum of square	df	Mean square	F	Sig.
Position	51200	1	51200	1.22	0.275 ^{ns}
Aspect	225700	2	112850	2.68	0.078 ^{ns}
Distance	249333.3	3	83111.1	1.98	0.13 ^{ns}
Aspect $\times$ Position	49033.3	2	24516.6	0.58	0.562 ^{ns}
Distance $\times$ Position	81422.2	3	27140.7	0.64	0.589 ^{ns}
Distance $\times$ Aspect	122433.3	6	20405.5	0.48	0.815 ^{ns}
Distance $\times$ Position $\times$ Aspect	97144.4	6	16190.7	0.38	0.885 ^{ns}
error	2014933.3	48	41977.7		
Total	33938400	72			

ns: non-significant

جدول ۵- میانگین $\pm$ انحراف معیار حجم درختان (متر مکعب در هکتار) در منطقه مورد مطالعهTable 5. Mean $\pm$ standard deviation of tree volume ($m^3 ha^{-1}$) in the study area

Position	Aspect	Distance from road (m)			
		30	60	90	120
Cut slope	South	727 $\pm$ 132.5	139.6 $\pm$ 711.7	273.9 $\pm$ 581.6	328.1 $\pm$ 673.4
	North	246.8 $\pm$ 731.1	86 $\pm$ 795	109.2 $\pm$ 674.3	170.8 $\pm$ 695.6
	West	184.8 $\pm$ 845	93.1 $\pm$ 706.7	207.8 $\pm$ 814.3	100.4 $\pm$ 507
Fill slope	South	252.2 $\pm$ 758.9	45.7 $\pm$ 725.9	169.1 $\pm$ 534.5	129.8 $\pm$ 554.3
	North	178.9 $\pm$ 767.8	92.7 $\pm$ 804.9	239.5 $\pm$ 589.7	304.4 $\pm$ 755.5
	West	327.5 $\pm$ 943.5	120.4 $\pm$ 678.6	183 $\pm$ 612.4	211.1 $\pm$ 786.2

بررسی حجم توده‌های جنگلی در منطقه مورد مطالعه به تفکیک دامنه، جهت جغرافیایی و فاصله از جاده نشان داد که با افزایش فاصله از جاده جنگلی، حجم توده‌های جنگلی هم در دامنه خاک‌برداری و هم در دامنه خاک‌ریزی کاهش یافته است. به‌طوری‌که بیشترین مقدار حجم در فاصله‌های ۳۰ و ۶۰ متری از جاده مشاهده شد (جدول ۵).

نتایج آزمون تجزیه واریانس حجم در هکتار درختان تحت تأثیر دامنه، جهت و فاصله از جاده نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین حجم در هکتار درختان در دامنه‌ها، جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده وجود ندارد. همچنین، تأثیر توأم دامنه-فاصله، دامنه-جهت و جهت-فاصله بر متغیر حجم در هکتار معنی‌دار نبود (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج آزمون تجزیه واریانس حجم در هکتار درختان تحت تأثیر دامنه، جهت و فاصله از جاده

Table 6. Results of the analysis of variance (ANOVA) for tree volume per hectare as influenced by slope, aspect, and distance from the road

Source	Sum of square	df	Mean square	F	Sig.
Position	304.6	1	304.6	0.006	0.939 ^{ns}
Aspect	87151.4	2	43575.7	0.842	0.437 ^{ns}
Distance	288576.6	3	96192.2	1.85	0.149 ^{ns}
Aspect×Position	13460	2	6730	0.13	0.878 ^{ns}
Distance×Position	93511.4	3	31170.4	0.603	0.617 ^{ns}
Distance×Aspect	150067.3	6	25011.2	0.483	0.817 ^{ns}
Distance×Position×Aspect	131264.4	6	21877.4	0.423	0.86 ^{ns}
error	2483216.5	48	51733.6		
Total	39270624.5	72			

ns: non-significant

بررسی زادآوری گونه‌های درختی نشان داد که راش، ممرز و توسکا در منطقه مورد مطالعه زادآوری داشتند. به‌طوری‌که در سه جهت بررسی‌شده، زادآوری هر سه گونه مذکور مشاهده شد. نتایج بررسی فراوانی زادآوری در دامنه‌ها، جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده

نشان داد که با افزایش فاصله از جاده، ابتدا میانگین فراوانی زادآوری افزایش داشت. سپس، زادآوری به سمت داخل توده جنگلی، روند کاهشی نشان داد. بیشترین فراوانی زادآوری در دامنه خاک‌برداری در جهت جنوب و در دامنه خاک‌ریزی در جهت شمال مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۷- میانگین $\pm$ انحراف معیار فراوانی زادآوری (اصلی) در منطقه مورد مطالعه

Table 7. Mean $\pm$ standard deviation of regeneration (seedling) frequency in the study area

Position	Aspect	Distance from road (m)			
		30	30	30	120
Cut slope	South	8.3 $\pm$ 7.9	7.4 $\pm$ 8.8	10.4 $\pm$ 10.7	7 $\pm$ 8.7
	North	4.9 $\pm$ 4.1	5.7 $\pm$ 6.7	5.2 $\pm$ 6.8	6.5 $\pm$ 6.2
	West	5.2 $\pm$ 7	6.8 $\pm$ 7.5	8.8 $\pm$ 11.2	7.2 $\pm$ 7.6
Fill slope	South	8.1 $\pm$ 5.2	6.7 $\pm$ 8.7	5.2 $\pm$ 9.8	6.5 $\pm$ 7.9
	North	7.5 $\pm$ 9	9.1 $\pm$ 11.8	11.6 $\pm$ 12.3	12.2 $\pm$ 15.2
	West	6.9 $\pm$ 7.1	7 $\pm$ 9.1	12.1 $\pm$ 10	10.9 $\pm$ 6.5

نتایج آزمون تجزیه واریانس فراوانی زادآوری تحت تأثیر دامنه، جهت و فاصله از جاده نشان داد که اختلاف معنی‌داری

بین فراوانی زادآوری در دو دامنه خاک‌برداری و خاک‌ریزی وجود دارد، درحالی‌که اختلاف معنی‌داری بین فراوانی

زادآوری در جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده مشاهده نشد. همچنین، تأثیر توأم دامنه - جهت و جهت - فاصله بر فراوانی زادآوری معنی‌دار به دست آمد، درحالی‌که تأثیر توأم دامنه - فاصله و دامنه - جهت - فاصله از جاده بر فراوانی زادآوری معنی‌دار نبود (جدول ۸).

جدول ۸- نتایج آزمون تجزیه واریانس فراوانی زادآوری تحت تأثیر دامنه، جهت و فاصله از جاده

Table 8. Results of the analysis of variance (ANOVA) for regeneration frequency as influenced by slope, aspect, and distance from the road

Source	Sum of square	df	Mean square	F	Sig.
Position	451.3	1	451.3	6.8	0.009*
Aspect	49.2	2	24.6	0.37	0.688 ^{ns}
Distance	191.6	3	63.8	0.97	0.406 ^{ns}
Aspect×Position	1851.7	2	925.8	14.07	0.000*
Distance×Position	253.7	3	84.5	1.2	0.278 ^{ns}
Distance×Aspect	843	6	140.5	2.1	0.047*
Distance×Position×Aspect	494.4	6	82.4	1.2	0.277 ^{ns}
error	45781.8	696	65.7		
Total	104460	720			

*: Significant at $p < 0.05$; ns: non-significant

بحث

ترکیب گونه‌های درختی نشان داد که در هر دو دامنه خاک‌برداری و خاک‌ریزی، فراوانی درختان راش بیشتر از دو گونه ممرز و توسکا است (شکل ۳). این نتایج مورد انتظار بود. زیرا این پژوهش در توده‌های راشستان انجام گرفته بود. مطابق انتظار، درختان توسکا در دامنه خاک‌برداری، فراوانی بیشتری از درختان ممرز داشتند. زیرا توسکا از گونه‌های پیشگام است. هرگاه در خاک به هم‌خوردگی ایجاد شود (به‌خصوص حاشیه جاده‌های جنگلی)، توسکا از اولین گونه‌هایی است که مستقر می‌شود. این گونه به دلیل داشتن بذره‌ای ریز در مناطق ریزشی و جاهایی که خاک دچار به هم‌خوردگی شده است و نور بیشتری دریافت می‌کند، بهتر می‌تواند مستقر شوند.

در مراحل اولیه ساخت جاده‌های جنگلی، درصد تاج‌پوشش کاهش می‌یابد. افزایش یا کاهش پوشش گیاهی در داخل جنگل به دلیل عبور نور از تاج‌پوشش درختان، مستقر شدن گونه‌های نورپسند و افزایش تنوع در داخل جنگل است (Odum, 1971). با توجه به شرایط زنده و غیرزنده می‌توان حاشیه جاده‌ها را زیستگاهی با توالی اولیه

در نظر گرفت که گونه‌های تندرشد با نیاز نوری زیاد و نیاز غذایی کم در آن مستقر می‌شوند، درحالی‌که در مناطق دور از لبه جاده‌های جنگلی و در عمق جنگل، شرایط محیطی به‌طور معمول برای گونه‌های سایه‌پسند با نیاز غذایی زیاد و حساس به آشفته‌گی، مناسب‌تر است (Deljouei *et al.*, 2017b). گونه‌های پیشگام و نورپسند در حاشیه جاده‌ها برای دسترسی به نور و عوامل محیطی مساعد با گونه‌های دیگر رقابت می‌کنند و فراوانی بیشتری دارند (Zielińska *et al.*, 2016). هم‌راستا با نتایج پژوهش پیش‌رو، بررسی پوشش گیاهی در حاشیه جاده‌های جنگلی در شفارود از توابع استان گیلان نشان داد که فراوانی توسکای بیلاقی در حاشیه جاده به‌طور معنی‌داری بیشتر از داخل جنگل است (Pourbabaei *et al.*, 2016). ارزیابی تأثیر جاده‌های جنگلی بر جوامع درختی و ساختار توده در جنگل‌های ایتالیا و ایران نشان داد که در توده‌های بررسی‌شده، از حاشیه جاده جنگلی به سمت داخل جنگل، ترکیب جنگل مشابه بود، اما فراوانی گونه‌های مقاوم در برابر سایه در طول جاده جنگلی تفاوت داشت (Picchio *et al.*, 2018). چنانچه جدول ۲ نیز نشان می‌دهد، اثرات فاصله از جاده و جهت جغرافیایی بر ترکیب جنگل معنی‌دار

نبود.

براساس نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو، اختلاف معنی‌داری بین تعداد در هکتار و حجم در هکتار درختان در دامنه‌ها، جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده وجود ندارد. عوامل مختلفی می‌تواند در افزایش مجدد تراکم درختان در فاصله ۱۲۰ متری از جاده (داخل جنگل) نقش داشته باشند. ازجمله آن‌ها می‌توان به شرایط خاکی و به هم خوردن ساختار جنگل در مناطق حاشیه جاده اشاره کرد. از طرف دیگر، افزایش تراکم درختان در فاصله ۱۲۰ متری از جاده، افزایش عملکرد، کاهش آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و نیز ارتقای حاصلخیزی و حفاظت خاک را به دنبال دارد. بررسی تأثیر جاده‌ها بر متغیرهای کمی توده‌های جنگلی در جنگل‌های نکا ظالم‌رود نشان داد که به دلیل باز شدن تاج‌پوشش و استقرار گونه‌های نورپسند، مشخصه‌های تعداد در هکتار و حجم در هکتار درختان در حاشیه جاده جنگلی، بیشتر از داخل جنگل است (Yousefi Babadi *et al.*, 2015). در پژوهش پیش‌رو، کاهش تعداد در هکتار از جاده به عمق جنگل تا فاصله ۹۰ متری مشاهده شد (جدول ۳). الگوی مشابهی برای حجم در هکتار تکرار شده است، اما این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۵).

بررسی فراوانی زادآوری درختان نشان داد که با افزایش فاصله از جاده جنگلی، فراوانی زادآوری در هر دو دامنه خاکبرداری و خاک‌ریزی تا فواصل میانی افزایش یافت، اما در فاصله ۱۲۰ متری روند کاهشی نشان داد. اختلاف معنی‌داری بین فراوانی زادآوری در دو دامنه خاک‌برداری و خاک‌ریزی مشاهده شد، درحالی‌که این اختلاف بین جهت‌های جغرافیایی و فاصله‌های مختلف از جاده معنی‌دار نبود. در اثر احداث جاده‌های جنگلی، به هم خوردن ترکیب خاک جنگلی، باز شدن تاج‌پوشش و در پی آن تغییر ناگهانی در بوم‌سازگان جنگلی، گونه‌های توالی اولیه مانند توسکا و تمشک در لبه جاده‌های جنگلی مستقر می‌شوند. پوشش انبوه گونه‌های نورپسند رقابت‌کننده در کناره‌های جاده، دلیل مهم دیگر در کاهش تراکم زادآوری گونه‌های جنگلی در حاشیه هستند (Dickinson *et al.*, 2000). نتایج پژوهش‌های متعددی در

خصوص زادآوری توده‌های جنگلی نشان داده‌اند که خصوصیات تاج‌پوشش گونه‌های درختی و درختچه‌ای ممکن است بر جوامع زیراشکوب اثرگذار باشند (Bazyari *et al.*, 2014; Naghdi *et al.*, 2014). ازطرفی دیگر، گونه‌های درختی، زادآوری زیراشکوب را از طریق سایه‌اندازی بر علف‌ها، افزایش مواد غذایی افق فوقانی خاک (به‌وسیله لاش‌برگ) و تسهیل در نفوذ گونه‌های درختی در رویشگاه‌های حساس افزایش می‌دهند (Grubb *et al.*, 1996). هم‌راستا با نتایج پژوهش پیش‌رو، بررسی زادآوری در حاشیه جاده‌های جنگلی در جنگل‌های شفارود از توابع استان گیلان نشان داد که فراوانی زادآوری در حاشیه جنگل کمتر است (Pourbabaei *et al.*, 2016). یافته‌های پژوهش پیش‌رو مبنی بر عدم تأثیر معنی‌دار جاده‌سازی پس از دو دهه بر ترکیب جنگل با نتایج برخی پژوهش‌های دیگر در جنگل‌های معتدله همسو است. در جنگل‌های آلپ ایتالیا با قابلیت احیای زیاد، اثرات لبه‌ای جاده‌های با ترافیک کم بر جوامع درختی می‌تواند پس از ۲۰ تا ۳۰ سال به کمینه برسد یا محو شود (Zielińska *et al.*, 2016). این امر می‌تواند توجیهی برای مشابهت ترکیب گونه‌ای در فاصله‌های مختلف از جاده در پژوهش پیش‌رو باشد. یک تحلیل جهانی نشان داد که اگرچه جاده‌ها باعث افزایش گونه‌های علفی و نورپسند در حاشیه‌های خود می‌شوند، اما عمق نفوذ این اثر بر جوامع درختی جنگلی به‌شدت به نوع گونه‌های غالب، تاریخچه اختلال و مدیریت پس از احداث بستگی دارد. در جنگل‌های با گونه‌های سایه‌پسند و با توان رقابتی زیاد مانند راش، اثر لبه جاده ممکن است فقط در فاصله بسیار نزدیک به آن متمرکز بماند و نتواند ساختار کلی توده دورتر از ۳۰ متر را تغییر دهد.

با وجود یافته‌های ذکرشده، شواهدی نیز وجود دارد که احتیاط در تعمیم این نتایج را ضروری می‌کند. بررسی جاده‌های جنگلی مختلف با عمر مشابه در اروپای مرکزی نشان داد که تغییرات ایجادشده در خصوصیات خاک (مانند فشردگی و کاهش رطوبت) و خرداقلم در حاشیه جاده حتی پس از ۲۵ سال، اثر زیادی بر غنای گونه‌های علفی و

جنگلی و بهبود برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی در جنگل‌های هیرکانی مانند طرح تنفس فراهم کنند. این پژوهش موردی، الگویی به نسبت موفق از احداث جاده با کمینه آشفتگی ارائه داد که برخلاف تصور بسیاری از پژوهشگران، طراحی، مسیریابی و اجرای جاده‌های جنگلی در بوم‌سازگان‌های مشابه در جنگل‌های هیرکانی، پیامدهای منفی بر جوامع درختی ایجاد نکرده است. با توجه به تداوم تفاوت در زادآوری بین دامنه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی، انجام پژوهش‌های پایش بلندمدت بر بانک بذر خاک، جوامع گیاهی علفی و فرایندهای خاک‌زی پیشنهاد می‌شود تا پیامدهای بوم‌شناختی غیرمستقیم و نامحسوس جاده، حتی در نبود تغییر در جامعه درختی بالغ نیز ارزیابی شود. برای تعمیم‌پذیری نتایج، انجام پژوهش‌های مشابه در تیپ‌های جنگلی دیگر (مانند ممرزستان یا شمشادستان) و تحت شرایط توپوگرافی و مدیریتی متفاوت ضروری است تا آستانه مقاومت بوم‌سازگان‌های مختلف هیرکانی در برابر عملیات جاده‌سازی مشخص شود. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای علمی برای توسعه چارچوب‌های بوم‌محور در ارزیابی اثرات محیط‌زیستی مجموعه عملیات مهندسی در جنگل قرار گیرد و معیارهای کمی مانند عمق اثر ۳۰ متری را برای جاده‌های با مشخصات مشابه اصلاح یا تعدیل کند.

زادآوری درختی داشت (Zielińska *et al.*, 2016). براساس نتایج پژوهش مذکور، اگرچه درختان بزرگ ممکن است کمتر متأثر شوند، اما بانک بذر خاک و جوامع گیاهی زیراشکوب می‌توانند حافظه بلندمدتی از اختلال اولیه را نشان دهند. این یافته یادآوری می‌کند که عدم مشاهده اثر در مقیاس درختان بالغ همیشه به معنی بازگشت کامل بوم‌سازگان به حالت پیش از اختلال نیست و پایش مؤلفه‌هایی مانند زادآوری و خاک در پژوهش‌های بلندمدت، امری حیاتی است.

طراحی دقیق و مناسب مسیرهای جاده جنگلی به منظور کمینه کردن خسارات وارده به پوشش گیاهی و خاک، نیازمند آگاهی از ویژگی‌های گیاهی و خاک منطقه تحت مدیریت است. نتایج این پژوهش نشان داد که فاصله از جاده جنگلی، تأثیر معنی‌داری بر ترکیب و فراوانی گونه‌های درختی ندارد. همچنین، سه گونه راش، ممرز و توسکا در همه فاصله‌ها و جهت‌های جغرافیایی بررسی شده، زادآوری داشتند. فقط اختلاف زادآوری بین دامنه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی معنی‌دار بود. نتیجه کلی حاکی از آن است که در پژوهش موردی پیش‌رو، جاده درجه دو جنگلی در سری ۷ شن‌رود پس از حدود بیست سال، تأثیر قابل توجهی بر ترکیب و میزان زادآوری درختی نداشته است. این یافته‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی برای ارزیابی پیامدهای بلندمدت جاده‌های

References

- Avon, C., Dumas, Y. and Bergès, L., 2013. Management practices increase the impact of roads on plant communities in forests. *Biological Conservation*, 159: 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.008>
- Bazyari, M., Jalilvand, H., Kooch, Y. and Hosseini, S.A., 2014. Ecological effects of forest roads on biodiversity and floristic composition (case study; Leeresar, Galanderood, Makarood). *Journal of Plant Research*, 27(1): 41-51 (In Persian with English summary).
- Benítez-López, A., Alkemade, R. and Verweij, P.A., 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 143(6): 1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.009>
- Berenji Tehrani, F., Majnounian, B., Abdi, E. and Zahedi Amiri, Gh., 2015. Impacts of forest road on plant species diversity in a Hyrcanian forest, Iran. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(1): 63-71.
- Bowering, M., Lemay, V. and Marshall, P., 2006. Effects of forest roads on the growth of adjacent lodgepole pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(4): 919-929. <https://doi.org/10.1139/x05-300>
- Darvishsefat, A.A., Ahmadi, A., Makhdoom, M.F. and Abolghasemi, S., 2009. Routing using GIS with consideration of environmental principles (Case study: Parchin Road). *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(1): 203-211 (In Persian with English summary).
- Delgado, J.D., Arroyo, N.L., Arévalo, J.R. and

- Fernández-Palacios, J.M., 2007. Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape and Urban Planning*, 81(4): 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.005>
- Deljouei, A., Abdi, E., Hasanvand, M., Sadeghi, S.M.M. and Kaybondori, S., 2017a. Zone effect of secondary forest roads on flora, life forms, and chorology of plants. *Journal of Forest Research and Development*, 3(1): 77-89 (In Persian with English summary).
 - Deljouei, A., Sadeghi, S.M.M., Abdi, E. and Hasanvand, M., 2017b. Impact of forest roads on flora, life forms, and chorology of plants in Hornbeam-beech Kheyroud forest. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 15(2): 115-130 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2018.115702>
 - Demir, M., Makineci, E. and Yilmaz, E., 2007. Investigation of timber harvesting impacts on herbaceous cover, forest floor and surface soil properties on skid road in an oak (*Quercus petrea* L.) stand. *Building and Environment*, 42(3): 1194-1199. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.11.008>
 - Dickinson, M.B., Whigham, D.F. and Hermann, S.M., 2000. Tree regeneration in felling and natural treefall disturbances in a semideciduous tropical forest in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 134(1-3): 137-151. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00252-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00252-2)
 - Dillon, G., 1998. Effects of road edges on vegetation structure and composition in Rocky Mountain conifer forests. M.A. thesis, Department of Geography and Recreation, University of Wyoming, Laramie, Wyoming, USA, 72p.
 - Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C.R., Heanue, K., Jones, A.J., Swanson, F.J., Turrentine, T. and Winter, T.C., 2002. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington, DC, 481p.
 - Grubb, P.J., Lee, W.G., Kollmann, J. and Wilson, J.B., 1996. Interaction of irradiance and soil nutrient supply on growth of seedlings of ten European tall-shrub species and *Fagus sylvatica*. *Journal of Ecology*, 84(6): 827-840. <https://doi.org/10.2307/2960555>
 - Hansen, M.J. and Clevenger, A.P., 2005. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. *Biological Conservation*, 125(2): 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.03.024>
 - Haskell, D.G., 2000. Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the southern Appalachian Mountains. *Conservation Biology*, 14(1): 57-63. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99232.x>
 - Karami-Rad, S., Abdi, E., Majnounian, B., Etemad, V. and Sohrabi, H., 2016. Effect of forest road on herbaceous diversity and tree regeneration. *Journal of Forest and Wood Products*, 69(1): 29-40 (In Persian with English summary).
 - Karim, M.N. and Mallik, A.U., 2008. Roadside revegetation by native plants: I. Roadside microhabitats, floristic zonation and species traits. *Ecological Engineering*, 32(3): 222-237. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.11.003>
 - Keybondori, S., Abdi, E., Deljouei, A., Lázaro-Lobo, A., Ervin, G.N., Shakeri, Z., Etemad, V. and Borz, S.A., 2023. Effect of forest roadside on vegetation characteristics in the Hyrcanian temperate forest. *European Journal of Forest Research*, 142(2): 455-473. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01535-2>
 - Magagnotti, N., Spinelli, R., Güldner, O. and Erler, J., 2012. Site impact after motor-manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. *Biosystems Engineering*, 113(2): 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.07.001>
 - McCay, S.T., Cardelús, C.L. and Neatrour, A.M., 2013. Rate of litter decay and litter macroinvertebrates in limed and unlimed forests of the Adirondack Mountains, USA. *Forest Ecology and Management*, 304: 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.010>
 - Naghdi, R., Pourbabaei, H., Heidari, M. and Noori, M., 2014. The effects of forest road on vegetation and some physical and chemical properties of soil, case study: Shafarood Forests, District No.2. *Iranian Forests Ecology*, 2(3): 49-64 (In Persian with English summary).
 - Najafi, A., Hosseini, S.M., Ezzati, S., Torabi, M.A. and Fakhari, M., 2011. Comparison of regeneration and biodiversity of trees on cut and fill edges of forest road (Case study: Chamestan and Lavige Forests, Noor). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 17(4): 139-152 (In Persian with English summary).
 - Nilsson, M.C. and Wardle, D.A., 2005. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: Evidence from the northern Swedish boreal forest. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(8): 421-428. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0421:UVAAFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0421:UVAAFE]2.0.CO;2)
 - Odum, E.P., 1971. *Fundamentals of Ecology*, Third Edition. W.B. Saunders, Philadelphia, 574p.
 - Picchio, R., Spina, R., Maesano, M., Carbone, F., Lo Monaco, A. and Marchi, E., 2011. Stumpage value in

- the short wood system for the conversion into high forest of a oak coppice. *Forestry Studies in China*, 13(4): 252-262. <https://doi.org/10.1007/s11632-013-0411-7>
- Picchio, R., Tavankar, F., Venanzi, R., Lo Monaco, A. and Nikooy, M., 2018. Study of forest road effect on tree community and stand structure in three Italian and Iranian temperate forests. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(1): 57-70.
 - Pourbabaei, H., Naghdi, R., Haidari, M. and Noori, M., 2016. Investigation on the regeneration and vegetation composition in the edge of forest roads. *Journal of Forest and Wood Products*, 69(1): 87-96 (In Persian with English summary).
 - Sefidi, K. and Jahdi, R., 2023. Impact of anthropogenic disturbance on the size diversity of trees in Arasbaran forests (Case study: Hatam-Meshasi Forest Reserve in Meshgin-Shahr County, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 31(3): 241-256. (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2023.362923.2110>
 - Turski, M., Beker, C. and Czerniak, A., 2023. The impact of road investments on the forest environment—case study: The impact of asphalt roads on the health condition and growth of trees. *Sustainability*, 15(2): 1307. <https://doi.org/10.3390/su15021307>
 - Walker, L.R. and del Moral, R., 2003. *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge University Press, Cambridge, 442p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511615078>
 - Watkins, R.Z., Chen, J., Pickens, J. and Brososke, K.D., 2003. Effects of forest roads on understory plants in a managed hardwood landscape. *Conservation Biology*, 17(2): 411-419. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01285.x>
 - Yousefi Babadi, T., Fallah, A., Lotfalian, M. and Afaridan, M., 2015. Effect of forest roads on quantitative characteristics of adjacent tree stands (Case study: Series 5, Section 2, Neka Forest-Zalem Rud). *Proceedings of the International Conference on Environmental Science Engineering and Technologies*. Tehran, 5-6 May 2015: 11p (In Persian).
 - Zaraei Gholbaghi, M., Nikooy, M., Turkman, J. and Karamian Omrani, L., 2016. Evaluation the skid trail effect on annual ring width fluctuations in Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and Alder (*Alnus subcordata* C. A. Mey.) trees (District Nav No. 1, Asalem forests, Guilan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(1): 1-8 (In Persian with English summary).
 - Zielińska, K.M., Kiedrzyński, M., Grzyl, A. and Rewicz, A., 2016. Forest roadsides harbour less competitive habitats for a relict mountain plant (*Pulsatilla vernalis*) in lowlands. *Scientific Reports*, 6: 31913. <https://doi.org/10.1038/srep31913>