University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Studying the effect of light intensity and litter characteristics on the vegetation cover and biodiversity of the forest floor after logging

Ali Babaei Ahmadabad[1] | Meghdad Jourgholami[2*] | Vahid Etemad[3] | Mohammadreza Bihamta[4]

1. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: ali.babaei.ahmad@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mjgholami@ut.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: vetemad@ut.ac.ir
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mrghanad@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 21 July 2025
Revised: 03 September 2025
Accepted: 20 September 2025
Published online: 20 November 2026

Keywords:
Beech,
Canopy cover,
Light intensity,
Litter,
Time since harvest,
Traffic intensity.

ABSTRACT

Introduction: Maintaining forest floor vegetation, its richness, diversity and uniformity, and preventing the replacement of native species by invasive species are among the key goals of forest management after natural and anthropogenic disturbances. Logging operations and the traffic intensity of harvesting machinery, especially on skid trails, strongly affect the number and composition of forest floor plants. This study aimed to evaluate the effects of environmental factors, light intensity (LUX), photosynthetically active radiation (PAR), litter depth, and litter carbon (C), nitrogen (N), and C/N ratio on vegetation cover and biodiversity indices in beech stands under different traffic intensities and times since logging.

Method: The study was conducted in the Kheyrud Educational and Research Forest, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Mazandaran Province, near Nowshahr. Parcels 220 and 221 in the Namkhaneh district and parcels 316 and 317 in the Gorazbon district were selected. Time since harvesting included 7, 10, 15, and 20 years, and traffic intensity included depot, high, medium, and low levels. Sampling was performed using a randomized-systematic design with 1×1 m quadrats along skid trails and in control plots. In each trail, sample plots were established at specified intervals, and control plots were located at a distance from the trail edge. Plants within the quadrats were identified and counted. Litter depth was measured, and litter samples were collected to determine C, N, and C/N. Light intensity and radiation were measured using a lux meter and a sun-scan device. Biodiversity indices including Shannon, Simpson, Dominance, Margalef, and Equitability were calculated. Data were analyzed using SPSS, independent t-tests, principal component analysis (PCA), and evaluation of the main and interactive effects of time since harvesting and traffic intensity.

Results: A total of 144 sample plots were surveyed, and 47 plant species were identified, including 6 tree species and 41 herbaceous species. A total of 9,204 plants were counted, comprising 1,217 tree individuals/seedlings and 7,987 herbaceous individuals. The dominant tree species included hornbeam, *Acer velutinum*, *Acer cappadocicum*, *Ulmus glabra*, and *Tilia* sp. The results showed that time since harvesting, traffic intensity, and their interaction significantly affected plant abundance and diversity. On skid trails, beech seedlings decreased, while light-demanding species such as *Acer velutinum* increased. Environmental factors significantly affected biodiversity indices, and skid-trail disturbance caused significant changes in Shannon, Simpson, Dominance, Margalef, and Equitability indices. Litter depth and C/N ratio were among the influential factors; reduced litter depth and altered C/N ratio were associated with lower substrate quality and greater dominance of resistant species. With decreasing traffic intensity and increasing time since harvesting, relative improvement in vegetation recovery was observed; however, after 20 years, significant differences from control areas still remained.

Conclusion: Logging operations affect forest floor vegetation and biodiversity by altering light conditions, litter depth, and litter chemical properties. Reduced traffic intensity and longer time since harvesting improve natural recovery, but full return to control conditions is slow. Therefore, reducing machine traffic, preserving litter, and long-term monitoring of skid trails are recommended for sustainable forest management.

Cite this article: Babaei Ahmadabad, A., Jourgholami, M., Etemad, V., Bihamta, M.R. (2026). Studying the effect of light intensity and litter characteristics on the vegetation cover and biodiversity of the forest floor after logging. *Journal of Forest and Wood Products*, 79 (3), 349-360. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.401348.1368

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.401348.1368

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب
سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir
شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰
دانشگاه تهران

تأثیر شدت نور و مشخصه‌های لاشبرگ بر پوشش و تنوع زیستی گیاهی کف جنگل بعد از عملیات چوبکشی

علی بابایی احمدآباد[۱] | مقداد جورغلامی[۲*] | وحید اعتماد[۳] | محمدرضا بی‌همتا[۴]

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ali.babaei.ahmad@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mjgholami@ut.ac.ir
۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: vetemad@ut.ac.ir
۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mrghanad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۲۹

کلیدواژه:
تاج‌پوشش،
راش،
سن بهره‌برداری،
شانون،
شدت تردد،
مارگالف.

چکیده

مقدمه: حفظ پوشش گیاهی کف جنگل، غنا و تنوع آن و جلوگیری از جایگزینی گونه‌های بومی با گونه‌های مهاجم از اهداف مهم مدیریت جنگل پس از اختلالات طبیعی و غیرطبیعی است. عملیات چوبکشی و شدت تردد ماشین‌های بهره‌برداری، به‌ویژه در مسیرهای چوبکشی، بر تعداد و ترکیب گیاهان کف جنگل اثر می‌گذارد. این پژوهش با هدف بررسی اثر عوامل محیطی شامل شدت نور (LUX)، شدت تشعشع (PAR)، عمق لاشبرگ و عناصر کربن، نیتروژن و نسبت C/N بر پوشش گیاهی و شاخص‌های تنوع زیستی کف جنگل در شدت‌های مختلف تردد و سنین مختلف پس از بهره‌برداری در تودهٔ راش انجام شد.

روش پژوهش: مطالعه در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، در استان مازندران و نزدیک نوشهر انجام شد. پارسل‌های ۲۲۰ و ۲۲۱ در بخش نمخانه و پارسل‌های ۳۱۶ و ۳۱۷ در بخش گرازبن انتخاب شدند. سن بهره‌برداری شامل ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال و شدت تردد شامل دپو، زیاد، متوسط و کم بود. نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی–سیستماتیک با کادرهای ۱×۱ متر در مسیرهای چوبکشی و قطعات شاهد انجام شد. در هر مسیر، قطعات نمونه در فواصل مشخص و قطعات شاهد در فاصله‌ای از لبهٔ مسیر برداشت شدند. گیاهان داخل کادرها شناسایی و شمارش شدند. عمق لاشبرگ اندازه‌گیری و نمونه‌های لاشبرگ برای تعیین کربن، نیتروژن و C/N برداشت شد. شدت نور و تشعشع نیز با لوکس‌متر و دستگاه سان‌اسکن اندازه‌گیری شد. شاخص‌های تنوع زیستی شانون، سیمپسون، دومیننس، مارگالف و اکوتیابلیتی محاسبه شد. تحلیل داده‌ها با SPSS، آزمون t مستقل، تحلیل چندمتغیره PCA و بررسی اثرات اصلی و متقابل سن بهره‌برداری و شدت تردد انجام شد.

یافته‌ها: در مجموع ۱۴۴ قطعه‌نمونه برداشت شد و ۴۷ گونهٔ گیاهی شامل ۶ گونهٔ درختی و ۴۱ گونهٔ علفی شناسایی شد. تعداد ۹۲۰۴ گیاه شمارش شد که شامل ۱۲۱۷ فرد درختی/نهال و ۷۹۸۷ فرد علفی بود. گونه‌های درختی غالب شامل ممرز، افرا پلت، افرا شیردار، ملج و نمدار بودند. نتایج نشان داد سن بهره‌برداری، شدت تردد و برهم‌کنش آنها بر تعداد و تنوع گیاهان اثر معنی‌دار داشت. در مسیرهای چوبکشی، نهال راش کاهش و گونه‌های نورپسند مانند افرا پلت افزایش یافت. عوامل محیطی بر شاخص‌های تنوع زیستی اثر معنی‌دار داشتند و اختلال مسیرهای چوبکشی موجب تغییر معنی‌دار شاخص‌های شانون، سیمپسون، دومیننس، مارگالف و اکوتیابلیتی شد. عمق لاشبرگ و نسبت C/N از عوامل مؤثر بر تنوع گیاهی بودند؛ کاهش عمق لاشبرگ و تغییر نسبت C/N با کاهش کیفیت بستر رشد و افزایش گونه‌های مقاوم همراه بود. با کاهش شدت تردد و افزایش سن بهره‌برداری، بهبود نسبی در احیای پوشش گیاهی مشاهده شد، اما پس از ۲۰ سال نیز تفاوت معنی‌داری با مناطق شاهد وجود داشت.

نتیجه‌گیری: عملیات چوبکشی از طریق تغییر نور، عمق لاشبرگ و ویژگی‌های شیمیایی لاشبرگ، پوشش گیاهی و تنوع زیستی کف جنگل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش شدت تردد و گذشت زمان، روند احیای طبیعی را بهبود می‌بخشد، ولی بازگشت کامل به وضعیت شاهد کند است. بنابراین، کاهش تردد ماشین‌ها، حفظ لاشبرگ و پایش بلندمدت مسیرهای چوبکشی برای مدیریت پایدار جنگل پیشنهاد می‌شود.

استناد: بابایی احمدآباد؛ علی، جورغلامی؛ مقداد، اعتماد؛ وحید، بی‌همتا؛ محمدرضا (۱۴۰۵). تأثیر شدت نور و مشخصه‌های لاشبرگ بر پوشش و تنوع زیستی گیاهی کف جنگل بعد از عملیات چوبکشی. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۹ (۳)، ۳۶۰-۳۴۹. DOI: https://10.22059/jfwp.2026.401348.1368

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2026.401348.1368

۱. مقدمه

جنگل‌ها از اجزای حیاتی بوم‌سازگان‌های خشکی زمین به‌شمار می‌روند و نقش عمده‌ای در چرخهٔ انرژی، مواد و تبادلات بین زمین و اتمسفر ایفا می‌کنند [۱]. مطالعه و شناخت شرایط رویشگاه و پوشش گیاهی در بوم‌سازگان‌های طبیعی، از اهداف اصلی مدیریت پایدار جنگل است [۲]. جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، از آخرین بازمانده‌های جنگل‌های معتدل جهان بوده و با برخورداری از تنوع اقلیمی بالا، یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های ژنتیکی جهان محسوب می‌شوند [۳].

گونه‌های درختی مختلف با داشتن اجزایی مانند برگ، چوب و ریشه با ترکیبات شیمیایی متفاوت، پس از تجزیه، بر ویژگی‌های شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارند [۴]. لاشبرگ گیاهی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک جنگل، منشأ بسیاری از تحولات بیوشیمیایی و زیستی است. مقدار عناصر و ترکیبات شیمیایی موجود در لاشبرگ و هوموس و تأثیر بر خاک جنگل با توجه به اقلیم و تیپ درختی تشکیل‌دهندهٔ تودهٔ جنگلی می‌تواند متفاوت باشد [۲، ۵]. علاوه بر نقش شیمیایی و زیستی، اثرات مکانیکی لاشبرگ نیز حائز اهمیت است. این لایه با کاهش ضربهٔ قطرات باران [۶]، کیفیت و نوع خاک، چرخهٔ عناصر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کیفیت لاشبرگ، (که خود وابسته به نوع درختان است)، موضوع مطالعات گسترده‌ای بوده است [۱، ۲، ۷ ، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. ویژگی‌های شیمیایی کف جنگل، از نخستین نشانه‌های تأثیر تیپ درختی و لاشبرگ آن است [۴]. درختان مختلف با لاشبرگ ویژهٔ خود، باعث ایجاد تفاوت در مواد غذایی زیر تاج‌پوشش می‌شوند و اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های خاک بر جای می‌گذارند؛ چراکه فعالیت‌های آنزیمی به‌شدت به نوع درختان و ترکیبات شیمیایی برگ‌هایشان وابسته است [۱۳].

عملیات چوبکشی معمولاً باعث کاهش ذخایر کربن خاک می‌شود [۱۴] و علاوه بر ایجاد اختلال و آشفتگی در خاک جنگل، کاهش بهره‌وری [۱۵] و ممانعت از احیای طبیعی و زادآوری جنگل را در پی دارد [۱۶، ۱۷، ۱۸]. افزایش قدرت و وزن ماشین‌های بهره‌برداری (مانند اسکیدرها) در سال‌های اخیر، باعث تشدید آشفتگی خاک‌های جنگلی و کندی فرآیند احیای طبیعی پس از بهره‌برداری شده است [۱۹، ۲۰، ۲۱]. مسیرهای چوبکشی علاوه بر تخریب ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، عمق لاشبرگ، زادآوری درختی و رویش گیاهان علفی را نیز تحت تأثیر منفی قرار می‌دهند [۲۲، ۲۳].

لاشبرگ در واقع لایهٔ سطحی کف جنگل است که در مرحلهٔ پیشرفتهٔ تجزیه قرار ندارد و معمولاً از انواع برگ و سرشاخه‌ها و پوست درختان تشکیل شده است و به آن پوشش مرده هم می‌گویند [۲۴]. تفاوت لاشبرگ با هوموس در این است که لاشبرگ درمراحل اولیهٔ تجزیه قرار دارد، ولی هوموس مادهٔ آلی تیره‌رنگی است که فرآیند تجزیهٔ آن به پایان رسیده است [۲۵]. در عملیات بهره‌برداری، حفظ مقدار و عمق لاشبرگ در مسیرهای چوبکشی می‌تواند به‌عنوان یک لایهٔ محافظ (مالچ) عمل کند و از آسیب به خاک و زادآوری جلوگیری نماید. استفاده از لاشبرگ باقیمانده، می‌تواند به‌عنوان راه‌حلی بوم‌شناختی برای کاهش آسیب‌های چوبکشی و کمک به احیای خصوصیات خاک، مورد بهره‌برداری قرار گیرد [۲۶]. لاشبرگ گیاهان پس از ریزش، فرآیند تجزیه را آغاز می‌کند که این فرآیند مستلزم شرایط محیطی مناسب است [۲۷، ۲۸].

تردد ماشین‌های چوبکشی باعث ایجاد آشفتگی عمده در جوامع میکروبی و کاهش عمق لاشبرگ می‌شود که به نوبهٔ خود منجر به تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شود [۳]. لایه‌های لاشبرگ (در حال تجزیه و تجدید) با توجه به ترکیبات برگ و نوع درختان، مواد معدنی و آلی خاک هر منطقه را متمایز کرده و به‌عنوان عایقی عمل می‌کنند که با کاهش تبخیر، ظرفیت نگهداری آب و رطوبت خاک را افزایش داده و در نهایت به بهبود بازیابی و زادآوری طبیعی جنگل کمک می‌نمایند [۲۲، ۲۳]. سرعت تجزیهٔ لاشبرگ به‌شدت تحت تأثیر اقلیم قرار دارد و اقلیم عامل تنظیم‌کنندهٔ قوی برای تجزیهٔ لاشبرگ قدیمی و تازه‌ریخته محسوب می‌شود [۳۰، ۳۱].

هدف این پژوهش، مطالعه اثرات چوبکشی زمینی بر پوشش گیاهی و تنوع زیستی در میان‌مدت (سنین مختلف بهره‌برداری ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال) تحت شدت‌های مختلف تردد (دپو، زیاد، متوسط و کم) و برهمکنش عامل سن بهره‌برداری و شدت تردد در جنگل راش[1]، با تمرکز بر عناصر نیتروژن (N) و کربن (C) موجود در لاشبرگ و نسبت نیتروژن بر کربن (C/N) است. در این پژوهش، روند بازیابی و مدت زمان لازم برای ترمیم پوشش گیاهی (خصوصاً گونه‌های درختی) و لاشبرگ در مسیرهای چوبکشی

[1] *Fagas orientalis*

در مقایسه با مناطق شاهد مشخص شد. همچنین تأثیر عمق و عناصر موجود در لاشبرگ بر شاخص‌های تنوع زیستی (شانون[۱]، سیمپسون[۲]، مارگالف[۳]، اکویتابلیتی[۴] و دومینس[۵]) بررسی شدند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقهٔ پژوهش

این پژوهش، در جنگل آموزشی پژوهشی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران (جنگل خیرود) در استان مازندران و در هفت کیلومتری شهرستان نوشهر انجام شد. این جنگل به هفت بخش تقسیم شده و مطالعهٔ حاضر در دو بخش نمخانه (پارسل‌های ۲۲۰ و ۲۲۱ با سن بهره‌برداری ۱۵ و ۲۰ سال) و گرازبن (پارسل‌های ۳۱۶ و ۳۱۷ با سن بهره‌برداری ۷ و ۱۰ سال) انجام شد. بخش نمخانه که دومین طرح مدیریتی این جنگل است، در محدودهٔ ارتفاعی ۳۵۰ تا ۱۲۹۰ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی ۱۰۸۱ میلی‌متر در سال و متوسط، حداکثر و حداقل دمای سالانه، ۱۳/۹ ، ۱۵ و ۶/۱- درجهٔ سانتی‌گراد است. بخش گرازبن نیز با ۱۰۰۱ هکتار و با ارتفاع ۱۱۷۰ تا ۱۲۲۰متر از سطح دریا، سومین بخش جنگل خیرود است [۳۱].

۲-۲. روش پژوهش

از مدت آخرین بهره‌برداری در پارسل ۲۲۱، ۲۰ سال، در پارسل ۲۲۰، ۱۵ سال، در پارسل ۳۱۷، ۱۰ سال و در پارسل۳۱۶، ۷ سال سپری شده است و بعد از آن؛ مسیرهای چوبکشی بدون هیچگونه تردد و بهره‌برداری رها شده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات پارسل‌ها و ماشین‌های استفاده شده در بخش‌های نمخانه و گرازبن

سری نمخانه و گرازبن								
ردیف	پارسل	جهت	متوسط ارتفاع از سطح دریا (متر)	وسعت (هکتار)	تیپ جنگل	نوع خاک	سن بهره‌برداری	ماشین‌های مورد استفاده	طول مسیر چوبکشی (متر)
۱	۳۱۶	جنوبی	۱۲۲۵	۲۱/۳۳	راش-ممرز	قهوه‌ای جنگلی	۷ سال	اسکیدر کابلی Timberjack 450c	۹۰۰
۲	۳۱۷	جنوبی-شمالی	۱۱۴۰	۳۵/۳۱	راش-ممرز	قهوه‌ای جنگلی	۱۰ سال	اسکیدر کابلی Timberjack 450c	۱۰۵۰
۳	۲۲۰	جنوب و جنوب غربی	۱۰۷۰	۲۷/۳	راش-ممرز	قهوه‌ای جنگلی	۱۵ سال	اسکیدر کابلی TAF E655	۹۷۵
۴	۲۲۱	شمال تا شمال غربی و جنوبی	۱۱۴۰	۳۶/۸	راش-ممرز	قهوه‌ای جنگلی	۲۰ سال	اسکیدر کابلی TAF E655	۱۰۰۰

تمام مسیرهای انتخاب شده در پارسل‌های مورد مطالعه از نظر جهت و شیب، تیپ خاک و متوسط ارتفاع، به‌صورت تقریباً مشابه انتخاب شدند. روش بهره‌برداری به‌صورت نشانه‌گذاری به شیوهٔ تک‌گزینی و گروه‌گزینی انجام شده است و چوبکشی به‌وسیلهٔ اسکیدر کابلی تاف[۶] TAF E۶۵۵ در پارسل‌های ۲۲۰ و ۲۲۱ و اسکیدر تیمبرجک[۷] C۴۵۰ در پارسل‌های ۳۱۶ و ۳۱۷ انجام شده است.

۲-۳. روش نمونه‌برداری

در بهار سال ۱۴۰۴ در پارسل‌های بخش نمخانه (۲۲۱ -۲۲۰) و گرازبن (۳۱۷- ۳۱۶)، چهار شدت تردد دپو، زیاد، متوسط و کم با سن بهره‌برداری ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۷ سال انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی سیستماتیک در هر مسیر چوبکشی نمونه‌برداری با استفاده از کوادرات ۱×۱ متر (یک متر مربع) انجام شد. هر کوادرات در دپو با فاصلهٔ یک متر عرضی و در مسیرهای چوبکشی بعد از ورود به مسیر و طی ۱۰ متر، با شروع از سمت راست، یک قطعه‌نمونه با آزیموت مشخص از یک درخت شاهد که علامت‌گذاری شده،

[1] Shannon
[2] Simpson
[3] Margalef
[4] Equitability
[5] Dominance
[6] TAF E655
[7] Timberjack 450C

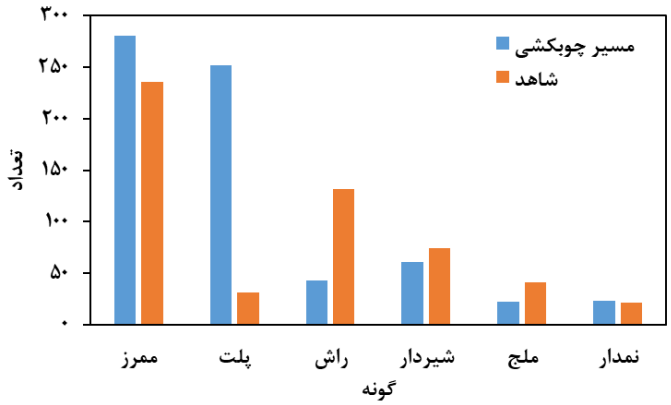
مشخص و پیکه‌کوبی شد و با هدف کاستن از اثرات تاج‌پوشش و تغییرات نور، به‌صورت مورب در عرض و طول با فاصلهٔ یک متر، سه قطعه‌نمونه برداشت شد. سپس سه قطعه‌نمونهٔ دیگر به‌همین صورت و در همان مسیر با شدت تردد مشخص، به فاصلهٔ ۲۰ متر طولی مشخص و برداشت شد (جمعاً ۶ کوادرات در هر شدت تردد و به موازات همین مسیرها، سه قطعه‌نمونه به‌عنوان شاهد از فاصلهٔ ۱۰ متری عرضی و ۱۰ متر طولی از هم از لبهٔ مسیر چوبکشی برداشت شد). سپس گیاهان داخل هر قطعه نمونه، با توجه به نوع و گونهٔ شناسایی و شمارش شدند. عمق لاشبرگ از وسط هر قطعه‌نمونه با خط‌کش مشخص شد و نمونه‌ای از لاشبرگ همان کوادرات برای بررسی عناصر شیمیایی و تعیین عناصر (N)، (C) و (C/N) برداشت و فاکتور نور هم با دو شاخص شدت نور[1] و شدت تشعشع[2] با دستگاه سان اسکن و لوکس متر اندازه‌گیری و مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین تأثیر این فاکتورها بر پنج سنجهٔ تنوع زیستی شانون، سیمپسون، مارگالف، اکویتابیلیتی و دومیننس بررسی شد.

۲-۴. روش تحلیل

برای آزمون اثر فاکتورهای مورد پژوهش شامل سن بهره‌برداری، شدت تردد، از مدل حداقل مربعات استاندارد استفاده شد. شناخت اثرات اصلی و متقابل با مقادیر *P*-value انجام شد. داده‌ها در اکسل مرتب و برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS،SPSS و روش آنالیز چند متغیره PCA و آزمون t مستقل استفاده شد.

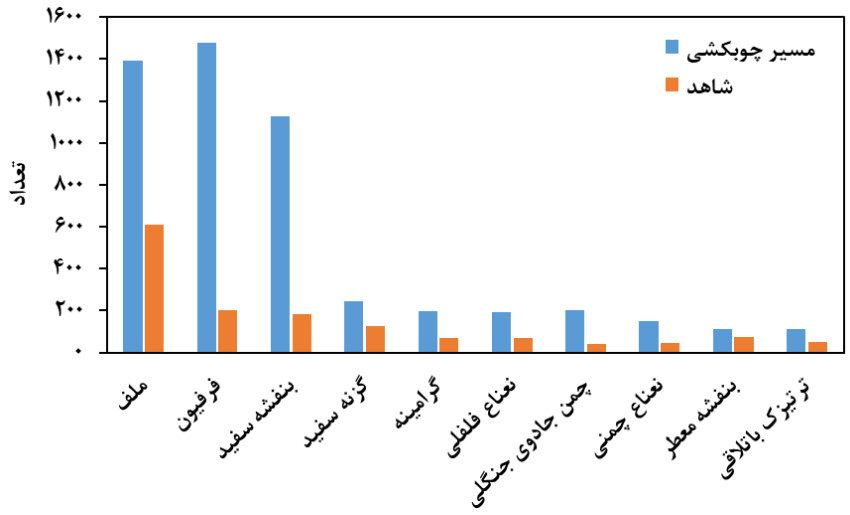
۳. یافته‌های پژوهش و بحث

در مجموع ۱۴۴ قطعه‌نمونه، تعداد ۴۷ گونهٔ گیاهی برداشت شد، که از این تعداد، ۶ گونهٔ درختی و ۴۱ گونهٔ علفی و تعداد گیاهان شمارش شده ۹۲۰۴ گیاه و مشتمل بر ۱۲۱۷ قطعه گیاه درختی و ۷۹۸۷ قطعه گیاه علفی بود. نمونه‌های برداشت شده در مسیرهای انتخابی به‌همراه قطعات شاهد آن بعد از شمارش شامل ۱۲۱۷ نهال بود که شامل ممرز[3](۵۱۷ نهال)، افرا پلت[4](۲۸۳ نهال)، راش (۱۷۵ نهال)، افرا شیردار[5] (۱۳۵ نهال)، ملچ[6](۶۳ نهال) و نمدار[7](۴۴ نهال) بودند (شکل ۱) و ده گونهٔ پر تعداد علفی نیز عبارت بودند از ملف[8](۲۰۰۱)، فرفیون[9](۱۶۸۶)، بنفشهٔ سفید[10] (۱۳۱۲)، گزنهٔ سفید[11] (۳۷۳)، گرامینه[12] (۲۶۹)، نعناع فلفلی[13] (۲۶۲)، چمن جاروی جنگلی[14] (۲۴۱)، نعناع چمنی[15] (۱۹۹)، ترتیزک باتلاقی پیازچه‌دار[16] (۱۶۰) و جگن جنگلی[17] (۱۵۴).



شکل ۱. مقایسه تعداد گونه‌های درختی در مسیرهای چوبکشی و شاهد

[1] Lux
[2] PAR= Photosynthetically Active Radiation
[3] *Canpinus betulus* L.
[4] *Acer velutinum* Boiss
[5] *Acer cappadocicum*
[6] *Ulmus glabra*
[7] *Tilia*
[8] *Oplismenus undilatitolia*
[9] *Euphorbia amygdaloides* L
[10] *Viola alba*
[11] *Lamium album*
[12] *Poa spp*
[13] *Mentha piperita*
[14] *Brachypodium sylvaticum*
[15] *Prunella vulgaris*
[16] *Cardamine bulbifera*
[17] *Carex pendula* L.



شکل ۲. مقایسه تعداد گونه‌های علفی در مسیرهای چوبکشی و شاهد

با توجه به تعداد زیاد گونه‌های علفی، ده گونه که بیشترین فراوانی را داشتند، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. در پلات‌های برداشت شده در مسیرهای چوبکشی نهال ممرز و افرا بیشترین تعداد فراوانی در بین گونه‌های درختی داشتند و در منطقهٔ شاهد نیز ممرز و راش دارای بیشترین تعداد نهال بودند. در گونه‌های علفی نیز ملف، فرفیون و بنفشه سفید دارای بیشترین فراوانی در مسیر چوبکشی و شاهد بودند. نتایج کلی به‌دست آمده نشان داد در سطوح مختلف تردد و سنین بهره‌برداری و برهمکنش این دو عامل بر روی یکدیگر بین مسیرهای چوبکشی و مناطق دست‌نخورده شاهد به‌صورت معنی‌داری اختلاف در پوشش گیاهی و فاکتورهای محیطی لاشبرگ و نور وجود دارد (جدول ۲).

جدول۲. آنالیز واریانس اثرات شدت تردد و سن بهره‌برداری×اثر متقابل شدت تردد و سن بهره‌برداری

مشخصه	ارزش لگاریتمی	مجموع مربعات	سطح معنی‌داری
شدت تردد	۷/۶۵۰	۳۸۵۷۴/۱۶۷	۰/۰۰ **
سن بهره‌برداری	۷/۱۹۱	۲۷۴۶۳/۸۸۹	۰/۰۰ **
برهمکنش تردد و سن بهره‌برداری	۵/۵۱۹	۵۰۳۶۶/۹۴۴	۰/۰۰ **

گیاهان برداشت شده به تفکیک، گونه‌های درختی و علفی نیز تحت دو عامل شدت تردد و سن بهره‌برداری از یک‌سو و برهمکنش این دو عامل بر یکدیگر بررسی شدند و نتایج به‌دست آمده نشان داد، در بازیابی پوشش درختی عامل تردد و برهمکنش تردد و سن بهره‌برداری در سطح آماری (α=۰/۰۰) معنی‌دار می‌باشد، ولی در گونه‌های درختی، عامل سن در نتایج معنی‌دار نبود (α=۰/۶۹). در مورد پوشش علفی نیز نتایج به‌دست آمده نشان داد که هر سه عامل تردد، سن بهره‌برداری و بر همکنش سن بهره‌برداری و تردد در مقایسه با مناطق شاهد در سطح معنی‌داری (α=۰/۰۰) معنی‌دار بودند و تفاوت‌های زیادی بین مسیرهای چوبکشی و مناطق دست‌نخورده وجود دارد. برای بررسی شاخص‌های تنوع زیستی، از پنج سنجهٔ شانون، سیمپسون، مارگالف، اکویتابلیتی و دومینس استفاده شد. ابتدا شاخص‌های تنوع زیستی با توجه به داده‌های شدت تردد مورد بررسی قرار گرفت (جدول۳).

نتایج به‌دست آمده نشان داد که شدت تشعشع تحت تأثیر شدت تردد قرار داشت ولی سن بهره‌برداری و برهمکنش شدت تردد بر سن بهره‌برداری بر شدت تشعشع تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد نداشته است (جدول ۴). در خصوص شدت نور هم نتایج به‌دست آمده نشان دادند که از سه عامل بررسی شده، فقط شدت تردد بر میزان نور مسیر چوبکشی در مقایسه با شاهد مؤثر بوده است (α= ۰/۰۴)، ولی با این‌حال، در سن بهره‌برداری ۱۰ سال (α= ۰/۸۳۱) و ۲۰ سال (α= ۰/۱۸۱) نتایج معنی‌دار نبودند (جدول ۴).

جدول ۳. آنالیز واریانس تاثیر شدت تردد بر شاخص‌های تنوع زیستی

شاخص‌های تنوع زیستی	دپو	شدت تردد زیاد	شدت تردد متوسط	شدت تردد کم
چیرگی (Dominance)	۰/۸۲۸	۰/۰۶۱	۰/۰۹۸	۰/۱۲۷
سیمپسون (Simpson)	۰/۸۲۷	۰/۰۶۱	۰/۰۹۸	۰/۱۲۷
شانون–وینر (Shannon)	۰/۹۳۲	۰/۳۹۸	۰/۴۳۶	۰/۶۸۷
غنا (Margalef)	۰/۷۰۳	۰/۵۲۸	۰/۳۸۶	/۰۸۰
یکنواختی (Equitability)	۰/۸۹۶	*۰/۰۱۸	**۰/۰۰۷	**۰/۰۰۴

جدول ٤. آنالیز واریانس تأثیر شدت تردد و سن بهره‌برداری و اثر متقابل شدت تردد×سن بهره‌برداری در شدت تشعشع (PAR)

عامل	مجموع مربعات		ارزش لگاریتمی		معنی داری	
	PAR	LUX	PAR	LUX	PAR	LUX
شدت تردد	۵۷۶۱/۲۹۷	۲۴۵۳۶۷۷۰	۱/۳۰۸	۱/۳۰۸	۰/۰۴	۰/۰۴
سن بهره‌برداری	۲۳۵۴/۶۹۴	۱۰۰۲۸۳۶۹	۱/۱۸۵	۱/۱۵۸	۰/۰۶	۰/۰۶
برهمکنش شدت تردد و سن بهره‌برداری	۱۳۰۵۰/۳۳۵	۵۵۵۷۹۴۶۵	۰/۹۲۹	۰/۹۲۹	۰/۱۱	۰/۱۱

عمق لاشبرگ و عناصر C، N و نسبت C/N لاشبرگ نیز اندازه‌گیری و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد، عمق لاشبرگ مسیرهای چوبکشی به‌شدت تحت تأثیر سن بهره‌برداری و شدت تردد (α= ۰/۰۰) قرار داشت، ولی بر همکنش این دو عامل تأثیری در عمق لاشبرگ نداشتند (α= ۰/۲۰) (جدول ۵). نتایج به‌دست آمده نشان داد، کربن و نیتروژن موجود در لاشبرگ و نسبت کربن و نیتروژن به‌شدت تحت تأثیر عملیات چوبکشی قرار داشتند (α= ۰/۰۰) و عناصر C، N و C/N لاشبرگ موجود در مسیرهای چوکشی در مقایسه با لاشبرگ مناطق دستخورده در سطح معنی‌داری (α= ۰/۰۱) متفاوت بود.

جدول ۵. آنالیز واریانس تأثیر شدت تردد و سن بهره‌برداری و بر همکنش سن بهره‌برداری×شدت تردد بر عناصر موجود در لاشبرگ (عمق لاشبرگ،C، N، C/N)

عامل	مجموع مربعات				ارزش لگاریتمی				معنی داری			
	عمق لاشبرگ	کربن	نیتروژن	کربن/ نیتروژن	عمق لاشبرگ	کربن	نیتروژن	کربن/انی تروژن	عمق لاشبرگ	کربن	نیتروژن	کربن/ نیتروژن
شدت تردد	۶۵۵/۷۲۱	۱۵۰۵/۹۵۷	۸/۸۳۹	۴۲/۶۰۶	۵۶/۹۷۷	۶۸/۷۷۰	۳۹/۱۵۳	۲۰/۶۶۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
سن بهره‌برداری	۸/۳۳۳	۹۳/۳۲۸	۱/۳۲۸	۱۲/۹۹۸	۲/۷۲۶	۱۷/۹۷۹	۱۲/۴۹۹	۹/۴۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
برهمکنش شدت تردد و سن بهره‌برداری	۱۴/۰۳۳	۷۳/۸۷۳	۱/۳۲۴	۲۴/۳۸۴	۰/۶۸۲	۷/۹۱۳	۵/۷۷۶	۸/۳۸۰	۰/۲۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

تحلیل جامع روابط بین عوامل محیطی (شدت نور، شدت تشعشع، نیتروژن، کربن، نسبت C/N و عمق لاشبرگ) بر شاخص‌های تنوع زیستی در سنین مختلف بهره‌برداری و سطوح مختلف شدت تردد با استفاده از آنالیز چند متغیره (PCA) انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد این عوامل در سن بهره‌برداری و شدت تردد به‌صورت معنی‌داری (α=۰/۰۰) مؤثر بوده ولی در تیمار برهمکنش سن و شدت تردد، نتایج از نظر آماری معنی‌دار نبودند (جدول‌های ۶ و ۷). فاکتورهای محیطی در هر شاخص تنوع زیستی نیز بررسی شد که نتایج به‌دست آمده نشان داد شدت نور، شدت تشعشع، عمق لاشبرگ و درصد کربن و نیتروژن و نسبت C/N به‌شدت بر شاخص‌های تنوع زیستی مؤثر بودند (جدول ۷) (داده‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵).

جدول ٦. نتایج تحلیل PCA برای سنین مختلف بهره‌برداری (به درصد)

مؤلفه	۷ سال	۱۰ سال	۱۵ سال	۲۰ سال
PC1	۴۸/۷***	۵۲/۳***	۴۹/۱***	۴۸/۸***
PC2	۲۸/۴*	۲۶/۱*	۲۷/۹*	۲۹/۳*
PC3	۱۲/۹	۱۱/۵	۱۳/۲	۱۴/۱

*** معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۷. نتایج آنالیز چند متغیره PCA تاثیر فاکتورهای محیطی لاشبرگ و نور بر شاخص‌های تنوع زیستی

فاکتورهای محیطی	شاخص تنوع زیستی						
	شاخص شانون	شاخص سیمپسون	شاخص مارگالف	اکویتابیلیتی	دومیننس	همبستگی PC1	سطح معنی‌داری
شدت نور (LUX)	۰/۴۲*	-۰/۳۸*	۰/۳۵*	۰/۴۱*	-۰/۴۵**	۰/۶۸**	۰/۰۵
شدت تشعشع	۰/۳۹*	-۰/۳۸*	۰/۳۳*	۰/۳۸*	-۰/۴۳**	۰/۶۵**	۰/۰۵
درصد نیتروژنلاشبرگ	-۰/۲۷	۰/۲۵	-۰/۲۲	-۰/۲۶	۰/۳۱*	-۰/۴۲*	۰/۰۵
درصد کربن لاشبرگ	۰/۳۱*	-۰/۲۹*	۰/۲۶	۰/۳۰*	-۰/۳۴*	۰/۵۳*	۰/۰۱
نسبتکربن به نیتروژن	۰/۴۵ **	-۰/۴۲ **	۰/۳۹*	۰/۴۴**	-۰/۴۸***	۰/۷۲***	۰/۰۰۱
عمق لاشبرگ	-۰/۵۲ ***	۰/۴۹***	-۰/۴۵**	۰/۵۱***	۰/۵۵***	۰/۷۸***	۰/۰۰۱

*معنی‌دار در سطح پنج درصد، **معنی‌دار در سطح یک درصد، *** معنی‌دار در سطح یک دهم درصد

در این مطالعه، دو مؤلفهٔ اساسی یعنی مدت زمان سپری شدن از سن بهره‌برداری و شدت تردد مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده نشان داد که هر دو عامل مذکور و برهمکنش عامل تردد و سن بهره‌برداری تأثیر معنی‌داری بر بازیابی طبیعی مسیرهای چوبکشی و گیاهان کف جنگل دارد ولی بعد از حدود ۲۰ سال، این صدمات در حال کم رنگ شدن بوده و احیای پوشش گیاهی در این مسیرها در حال بهبود می باشند. در این مطالعه، شدت‌های مختلف تردد در مسیرهای چوبکشی (دپو، زیاد، متوسط و کم) و همچنین ۴ سن بهره‌برداری (۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال) در تودهٔ راش، بر پوشش گیاهی و تنوع زیستی موثر بوده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده و تحلیل‌های آماری صورت گرفته، مشخص شد سن بهره‌برداری و شدت تردد و برهمکنش این دو عامل بر یکدیگر، در روند بازیابی پوشش گیاهی کف جنگل مؤثر بوده‌اند که این امر با تحقیقات Makineci و همکاران (۲۰۰۸) و Cambi و همکاران (۲۰۱۵)، Naghdi و همکاران (۲۰۲۴) و Sayad و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی داشت [۲۲، ۳۲، ۳۳، ۳۴]، ولی با نتایج Lotfalian و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی نداشت [۳۵]. در این تحقیق عوامل محیطی شدت نور، شدت تشعشع، عمق لاشبرگ، درصد کربن و نیتروژن و نسبت C/N لاشبرگ مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به باز شدن تاج‌پوشش مسیرهای چوبکشی در زمان بهره‌برداری از جنگل، تمام سنجه‌های تنوع زیستی و فلور گیاهی درون مسیرهای چوبکشی تحت تأثیر قرار داده است، به‌صورتی‌که در گونه‌های چوبی حضور ۲۵۲ نونهال (۸۹ درصد) افرا پلت که یک گونهٔ نورپسند است در مسیر چوبکشی در مقابل ۳۱ نونهال (۱۱ درصد) افرای موجود در قطعات شاهد و همچنین وجود گونه‌های پر تعداد علفی مانند ملف (۱۳۹۱– ۶۹/۵ درصد)، فرفیون (۱۴۸۰– ۸۷/۹ درصد) و بنفشهٔ سفید (۱۱۲۹– ۸۶درصد) در مسیر چوبکشی نشان‌دهندهٔ تأثیر مقدار نور وارده نسبت به مناطق شاهد بود و در بحث تنوع زیستی نیز تمام سنجه‌های اندازه‌گیری شده متأثر از فاکتور محیطی نور بوده‌اند. گونه‌هایی مانند راش (۲۴ درصد) و ملچ (۳۴/۹ درصد) گونه‌های درختی هستند که جوانه‌زنی آنها با توجه به تغییرات نور در مسیرهای چوبکشی نسبت به مناطق شاهد دارای اختلاف معنی‌داری است ولی هیچ یک از ۱۰ گونهٔ علفی پر تعداد، تحت تأثیر منفی عملیات چوبکشی قرار نداشتند (شکل ۲). این نتایج با تحقیقات Demir و همکاران (۲۰۰۷)، Babaei Ahmadabad و همکاران (۲۰۲۳)، Lotfalian و همکاران (۲۰۱۸) و Wei و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت [۳۱، ۳۵، ۳۶، ۳۷].

شاخص‌های تنوع زیستی به‌شدت تحت تأثیر عمق لاشبرگ بودند و کاهش عمق لاشبرگ بین مناطق شاهد و بهره‌برداری‌شده

در پوشش گیاهی و فلور گیاهان در سطح معنی‌داری یک درصد مؤثر بود، به‌طوری که باعث کاهش تنوع گیاهی شد. این یافته‌ها با نتایج به‌دست آمده در تحقیقات Akbari و همکاران (۲۰۲۵)، Naghdi و همکاران (۲۰۱۴) و Hosseini و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد [۳، ۲۲، ۲۳]. نتایج اثر کربن لاشبرگ نیز بر تنوع زیستی نشان داد که میزان کربن بر شاخص‌های شانون، سیمپسون، دومیننس و اکویتابیلیتی در سطح معنی‌داری پنج درصد مؤثر بود، در حالی‌که در سنجهٔ مارگالف مؤثر نبوده است. این عنصر موجود در لاشبرگ تحت تأثیر سن و شدت تردد و برهمکنش این دو عامل قرار دارد (در سطح معنی‌داری یک درصد) و با افزایش سن بهره‌برداری و شدت تردد، کربن لاشبرگ کاهش یافته است. این نتایج با یافته‌های Mayer و همکاران (۲۰۲۰) و Horn و همکاران (۲۰۰۴) و Haghverdi و و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشت [۱۴، ۱۵].

میزان نیتروژن موجود در لاشبرگ نیز در تیمارهای سن و شدت تردد و در سطح معنی‌داری یک درصد مؤثر بود و با افزایش شدت تردد، نیتروژن نسبت به مناطق شاهد کاهش یافت ولی این عنصر فقط در شاخص تنوع زیستی دومیننس مؤثر بود. از آنجا که شاخص دومیننس (غلبه) میزان تسلط یک یا چند گونهٔ گیاهی خاص بر جامعهٔ گیاهی را نشان می‌دهد، بالا بودن عدد آن می‌تواند نشان‌دهندهٔ اختلال شدید باشد که در اینجا با توجه به معنی‌داری آن نشان‌دهندهٔ اختلال شدید، رقابت نابرابر گونه‌های موجود و یا اختلال ناشی از دخالت انسان (عملیات بهره‌برداری و چوبکشی) است. نتایج به‌دست آمده از نسبت کربن بر نیتروژن لاشبرگ نیز نشان داد، نسبت C/N موجود تحت تأثیر عملیات چوبکشی در دو تیمار سن و شدت تردد و همچنین برهمکنش این دو عامل قرار داشت (α=۰/۰۰) و تأثیر این نسبت نیز در تمام سنجه‌های تنوع زیستی در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، نشان‌دهندهٔ تغییر در تنوع و تعداد گیاهان در فلور مسیرهای چوبکشی در مقایسه با شاهد می‌باشد. نسبت کربن به نیتروژن یکی از معیارهای کلیدی سلامت بوم‌سازگان جنگل است و تأثیر مستقیم بر تنوع زیستی کف جنگل دارد. تفاوت این نسبت بین مسیر چوبکشی و مناطق دست‌نخورده نشان‌دهندهٔ اختلال بوم‌شناختی است و می‌تواند باعث کاهش معدنی‌سازی عنصر نیتروژن، تغییر در ترکیب گونه‌ها و افزایش گونه‌های سازگار با کمبود نیتروژن مانند سرخس‌ها (در تحقیق حاضر تعداد سرخس‌ها ۳۲ عدد (۶۹/۵ درصد) در مسیر چوبکشی در مقابل ۱۴ قطعه (۳۰/۵ درصد) در قطعات شاهد) کاهش تنوع گونه‌ای و کاهش یکنواختی شود. این امر نشان می‌دهد که نسبت C/N در لاشبرگ، یک تنظیم‌کنندهٔ کلیدی تنوع گیاهی است و کاهش C/N در مسیرهای چوبکشی مورد مطالعه موجب کاهش کیفیت بستر رشد و غلبهٔ گونه‌های مقاوم (مانند ملف، فرفیون، بنفشه سفید، سرخس و افرا) و کاهش معنی‌دار نهال راش در مسیرهای چوبکشی شده است. در پارسل ۳۱۶ این اختلاف بیشتر از سایر پارسل‌ها بوده و با افزایش سن بهره‌برداری این شاخص‌ها بهبود نسبی یافته‌اند. این نتایج با تحقیقات Persson و همکاران (۱۹۸۰)، Berg و همکاران (۱۹۹۷) و Samadzadeh و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی داشتند [۱۳، ۳۰، ۳۸].

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد تغییرات محیطی مانند شدت نور و شدت تشعشع که در اثر باز شدن روشنه‌های ناشی از عملیات بهره‌برداری و چوبکشی ایجاد می‌شوند و همچنین تغییر عمق لاشبرگ و عناصر موجود در لاشبرگ (C و N) و کاهش نسبت C/N، می‌تواند موجب تغییر در تعداد گیاهان و همچنین شاخص‌های تنوع زیستی (شانون، سیمپسون، اکویتابیلیتی، مارگالف، دومیننس) شده و همچنین باعث کاهش جوانه‌زنی نهال راش در تودهٔ راشستان با توجه به تغییرات محیطی شود. در این میان افزایش شدت تردد و کاهش سن بهره‌برداری این اختلال را بیشتر می‌کند. با کاهش تردد و تعداد عبور و همچنین افزایش زمان سپری شده از سن بهره‌برداری، این اختلالات بهبود می‌یابند و جنگل به‌سمت احیاء و بازیابی طبیعی خود حرکت می‌کند. با بررسی فاکتورهای محیطی نور و لاشبرگ بر شاخص‌های تنوع زیستی مسیرهای چوبکشی در مقایسه با مناطق شاهد و همچنین روند احیای پوشش گیاهی در سنین مختلف بهره‌برداری و سطوح مختلف تردد، مشخص شد که پوشش گیاهی کف جنگل در مناطق بهره‌برداری‌شده در حال بازیابی است، ولی با گذشت ۲۰ سال نتایج به‌دست آمده در این مناطق در مقایسه با مناطق شاهد، هنوز به‌صورت معنی‌داری متفاوت هستند. عمق لاشبرگ و عناصر موجود در آن و همچنین شدت نور و تشعشع نور در این مناطق هنوز با مناطق شاهد به حد تعادل نرسیده‌اند و گونه‌های نورپسند با توجه به باز شدن تاج‌پوشش و کاهش عمق لاشبرگ بیش از سایر

گونه‌ها مشاهده شده‌اند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده تأثیر شدت تردد و سن بهره‌برداری بر خاک مسیرهای چوبکشی (خصوصیات فیزیکی و شیمیایی) نیز مورد بررسی و آزمایش قرار گیرند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همهٔ آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه تهران، دانشکدهٔ منابع طبیعی در قالب پژوهانهٔ رسالهٔ دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانهٔ برای سایر نویسندگان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از رساله: نویسنده اول: دانشجو: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله؛ نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛ نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله و نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

References

[1] Kianmehr, A., Hojjati, M., & Mahmoudi, M. B. (2021). Study of quantitative and qualitative characteristics of trees and soil fertility in pure and mixed stands of beech and hornbeam. *Journal of Forest Research and Development*, 8(1), 81-95. [In Persian]

[2] Haghverdi, K., Samadzadeh, B., &Kooch, Y. (2020). The Effect of Different Forest Types on Litter Quality and Soil Enzyme Activity in the Vaz Forest of Noor-Mazandaran Province. *Ecology of Iranian Forests*, 8(15), 72-80. [In Persian]

[3] Akbari, H., Amiri Dadokolaie, M., Lotfalian, M., & Asadian, M. (2025). Assessment of the Recovery of Soil Physical Properties and Ground Vegetation Diversity in Abandoned Skid Trails (Case Study: Hezarjarib Forests-Neka Province). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31(4), 21-41. (In Persian)

[4] Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., & Nihlgård, B. (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195(3), 373-384. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.036

[5] Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., Van der Putten, W. H., & Wall, D. H. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304(6), 1629-1633. https://doi.org/10.1126/science.1094875

[6] Jourgholami, M., Fathi, K., & Labelle, E. R. (2020). Effects of litter and straw mulch amendments on compacted soil properties and Caucasian alder (*Alnus subcordata*) growth. *New Forest*, 51, 349-365. https://doi.org/10.1007/s11056-019-09738-5

[7] Weland, N. (2009). Diversity and trophic structure of the soil fauna and its influence on litter decomposition in deciduous forests with increasing tree species diversity [PhD thesis]. Gottingen University, 239.

[8] Ponge, J. F., Jabiol, B., & Gégout, J. C. (2011). Geology and climate conditions affect more humus forms than forest canopies at large scale in temperate forests. *Geoderma*, 162(1), 187-195. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.003

[9] Labaz, B., Galka, B., Bogacz, A., Waroszewski, J., & Kabala, C. (2014). Factors influencing humus forms and forest litter properties in the mid-mountains under temperate climate of southwestern Poland. *Geoderma*, 230(6), 265-273. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.021

[10] Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London. 576 pp.

[11] Singh, J. S. & Gupta, S. R. (1977). Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystem. *The Botanical Review,* 43, 449–528. https://doi.org/10.1007/BF02860844

[12] Swift, M., Heal, O.W. & Anderson, J.M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Blackwell, Oxford. 266 pp.

[13] Samadzadeh, B., Kooch, Y., & Hosseini, S. M. (2016). The effect of tree covers on topsoil biological indices in a plain forest ecosystem. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(5), 105-121. [In Persian]

[14] Mayer, M., Prescott, C. E., Abaker, W. E. A., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G. W. D., James, J., Jandl, R., Katzensteiner, K., Laclau, J.-P., Laganière, J., Nouvellon, Y., Paré, D., Stanturf, J. A., Vanguelova, E. I., & Vesterdal, L. (2020). Tamm review: Influence of forest management activities. *Forest Ecology and Management*, 466, 118127. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127

[15] Horn, R., Vossbrink, J., & Becker, S. (2004). Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 79, 207-219. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.07.009

[16] Labelle, E. R., Hansson, L., Högbom, L., Jourgholami, M., & Laschi, A. (2022). Strategies to mitigate the effects of soil physical disturbances caused by forest machinery: A comprehensive review. *Current Forestry Reports*, 8, 20-37. https://doi.org/10.1007/s40725-021-00155-6

[17] Nazari, M., Arthur, E., Lamandé, M., Bilyera, N., & Bickel, S. (2023). A meta-analysis of soil susceptibility to machinery-induced compaction in forest ecosystems across global climatic zones. *Current Forestry Reports*, 9, 370-381. https://doi.org/10.1007/s40725-023-00197-y

[18] Picchio, R., Jourgholami, M., & Zenner, E. K. (2021). Effects of forest harvesting on water and sediment yields: A review toward better mitigation and rehabilitation strategies. *Current Forestry Reports*, 7, 214-229. https://doi.org/10.1007/s40725-021-00146-7

[19] Grünberg, J., Ghaffariyan, M. R., Jourgholami, M., Labelle, E. R., Kaakkurivaara, N., Robert, R. C. G., & Kühmaier, M. (2023). Criteria for assessing the sustainability of logging operations-A systematic review. *Current Forestry Reports*, 9, 350-369. https://doi.org/10.1007/s40725-023-00198-x

[20] Kiumarsi, F., Jourgholami, M., Jafari, M., Lo Monaco, A., Venanzi, R., & Picchio, R. (2024). Restoring soil properties in the Hyrcanian forests from machine induced compaction: Reforestation of N_2-fixing black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). *Land Degradation & Development*, 35(6), 2084-2096. https://doi.org/10.1002/ldr.5045

[21] Picchio, R., Mederski, P. S., & Tavankar, F. (2020). How and how much, do harvesting activities affect forest soil, regeneration and stands? *Current Forestry Reports*, 6, 115-128. https://doi.org/10.1007/s40725-020-00113-8

[22] Naghdi, R., Pourbabaeei, H., Heydari, M., & Nori, M. M. (2014). The effects of forest road on vegetation and some physical and chemical properties of soil, Case study: Shafarood forests, District No. 2. *Ecology Iranian Forest*, 2(3), 49-64. [In Persian]

[23] Hosseini, S. A. O., Nasiri, M. & Akbarimehr, M. (2015). Skidders traffic assessment on forest soil properties. *International Journal of Civil Engineering*, 13, 372-377.[In Persian]

[24] Mossadegh, A. (1996). *Forestry*. Institute of Printing and Publishing, University of Tehran, 496 p.

[25] Salmon, S. (2018). Changes in humus forms, soil invertebrate communities and soil functioning with forest dynamics. *Applied Soil Ecology*, 123, 345-354. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.010

[26] Sohrabi, H. & Jourgholami, M. (2022). Humus deformation under the influence of different forest types and different years after logging operations. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 30(2), 135-147. [In Persian]

[27] Mehdifar, D., Karamian, R., Sagheb-Talebi, Kh. & Sepahvand, M. (2015). Effects of some physical and chemical soil properties on quantitative characteristics of *Quercus infectoria* Oliv. at Shine Forest of Lorestan Province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(2), 234-245. [In Persian]

[28] Hobbie, S. E., Schimel, J. P., Trumbore, S. E., & Randerson, J. R. (2000). Controls over carbon storage and turnover in high-latitude soils. *Global Change Biology*, 6, 196-210. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.06021.x

[29] Meentemeyer, V. (1978). Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*, 59, 465-472. https://doi.org/10.2307/1936576Digital Object Identifier

[30] Persson, T., Baath, E., Clarholm, M., Lundkvist, H., Soderstrom, B., & Sohlenius, B. (1980). Trophic structure, biomass dynamics and carbon metabolism of soil organisms in a scots pine forest. *Ecological Bulletins*, 32, 419-462.

[31] Babaei Ahmadabad, A., Jourgholami, M., Etemad, V., & Oveisi, M. (2023). Long-term assessment of vegetation restoration of logging routes after logging operations (case study: Kheyrud Forest). *Journal of Forest and Wood Products*, 76(2), 103-111. [In Persian]

[32] Makineci, E., Gungor, B., & Demir, M. (2008). Survived herbaceous plant species on compacted skid road in a fir (*Abies bormmulleriana* Mattf.) forest - A note. *Transportation Research*, 13, 187-192. https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.01.002

[33] 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. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022

[34] Sayad, E., Hosseini, S. M., Hosseini, V., & Salehe-Shooshtari, M. H. (2012). Soil macrofauna in relation to soil and leaf litter properties in tree plantations. *Journal of Forest Science*, 58(4), 170-180. https://doi.org/10.17221/58/2011-JFS

[35] Lotfalian, M., Zare, N., Fallah, A., Hojjati, A., & Imani, P. (2018). Environmental effects of wood extraction on composition and biodiversity regeneration (tree and herbaceous cover) (A case study: Gardeshy district of Choob and Kaghaz Mazandaran). *Natural Environment*, 71(1), 93-107. [In Persian]

[36] Demir, M., Makineci, E., & Yilmaz, E. (2007). Harvesting impact on herbaceous understory, forest floor and top soil properties on skid road in a beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand. *Journal of Environmental Biology*, 28(2), 427-432.

[37] Wei, L., Hulin, F., Chevalier, R., Archaux, F., & Gosselin, F. (2016). Is plant diversity on tractor trails more influenced by disturbance than by soil characteristics? *Forest Ecology and Management*, 379, 173-184. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.020

[38] Berg, B., McClaugherty, C., & Johansson, M.-B. (1997). Chemical changes in decomposing plant litter can be systemized with respect to the litter's initial chemical composition. Reports from the Departments of Forest Ecology and Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 74, 85 p.