مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره سه، خرداد ماه ۱۴۰۲(۷۴-۶۳)

تاثیر جاده‌های جنگلی درجه دو بر شاخص سطح برگ و تاج‌پوشش در جنگل بهره‌برداری شده راش-ممرز (پژوهش موردی: بخش یک طرح جنگلداری لنگا، کلاردشت)

افشین ارجمند [۱]

هادی کیادلیری [*۲]

h-kiadaliri@srbiau.ac.ir

فرید کاظم نژاد [۳]

مجید اسحق نیموری [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۷**

چکیده

زمینه و هدف: برای کمّی سازی واکنش تاج‌پو شش درختان ن سبت به تغییرات محیط، از م شخ صه‌های شاخص سطح برگ (LAI) و تاج‌پوشش استفاده می‌شود که به عنوان مشخصه‌های نورسنجی تاج‌پوشش شناخته می‌شوند. با دخالت جاده‌سازی در جنگل، مشخصه‌های نورسنجی تاج‌پوشش تغییر می‌کند. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی مقادیر LAI و تاج‌پوشش در حاشیه جاده‌های درجه دو جنگلی و مقایسه آن با مقدار مشخصه‌های یاد شده در تیپ راش-ممرز است.

روش بررسی: این مطالعه در بخش یک طرح جنگلداری لنگا در شهرستان کلاردشت انجام گرفت. در پارسل بهره‌برداری شده، به‌صورت تصادفی ۱۰ خط‌نمونه به صورت عمود بر جاده در دامنه خاکریزی این جاده که در سال ۱۳۶۳ احداث شده است، پیاده شد و در تیرماه ۱۳۹۸، در فواصل صفر (حاشیه جاده)، ۱۵، ۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ متری اقدام به عکس‌برداری از تاج‌پوشش (در سه تکرار با مجموع ۳۰ عکس در هر فاصله از جاده)، با روش عکس‌برداری نیم‌کروی انجام شد. سپس مقادیر مشخصه‌های یاد شده در نرم‌افزار GLA با توجه به حلقه شماره چهار این نرم‌افزار، مورد پردازش قرار گرفت.

۱- دانشجوی دکتری علوم محیط زیست، گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، ایران.

یافته‌ها: براساس آزمون ANOVA، مقادیر تاج‌پوشش و LAI در بین فواصل مختلف از جاده‌های جنگلی متفاوت است و براساس آزمون توکی، مقدار مشخصه‌های یاد شده در فاصله صفر متر از جاده (حاشیه جاده) به‌طور معنی‌داری کمتر از دیگر فواصل است ($p<۰/۰۰۱$).
بحث و نتیجه‌گیری: به دلیل این که این جاده جز جاده‌های درجه دو در جنگل به شمار می‌آید و تردد در آن به ندرت انجام می‌گیرد و از سوی دیگر بهره‌برداری به صورت تک‌گزینی درختی (با شدت دخالت کم) در این جنگل انجام شده، بنابراین جنگل در این منطقه با مرور زمان توانسته است اثرات منفی جاده‌سازی را تعدیل نماید و تنها در حاشیه جاده تاثیر معنی‌داری بر مقادیر مشخصه‌های یاد شده مشاهده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بوم‌شناسی جاده، عکس‌برداری نیم‌کروی، طرح جنگلداری لنگا، نورسنجی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 3, July, 2023

The effect of secondary forest roads on leaf area index and canopy cover in a logged beech-hornbeam forest
(Case study: district 1 of Langa forestry project, Kelardasht)

Afshin Arjmand [1]
Hadi Kiadaliri [2*]
h-kiadaliri@srbiau.ac.ir
Farid Kazemnezhad [3]
Majid Eshagh Nimvari [3]

Admission Date:February 26, 2022 Date Received: August 26, 2021

Abstract

Background & Objective: In order to quantify the response of canopy to environmental changes, leaf area index (LAI) and canopy cover characteristics are used, which are known as canopy photometric characteristics. Road construction in the forest, will change the photometry characteristics of the canopy. Therefore, this study aimed to investigate the LAI values and canopy cover along the secondary forest roads and compare with the value of mentioned characteristics in the Beech-Hornbeam forest type.

Material and Methodology: This study was conducted in district 1 of Langa Forestry Project in Kelardasht. In the logged parcel, 10 transects were established randomly and perpendicular to the road at fillslope was constructed on 1984. On July 2019, the canopy was photographed by hemispherical photography at distances of zero (road edge), 15, 45, 75 and 105 meters. Then, the values of the mentioned characteristics were processed in GLA software based on the fourth ring of this software.

Findings: According to the ANOVA test, the values of canopy cover and LAI are different between different distances of forest roads and according to the Tukey test, the values of the mentioned characteristics at the distance of zero meters from the road (road edge) is significantly lower than other distances ($p < 0.001$).

Discussion and conclusion: Due to the fact, this road is one of the secondary forest roads, so traffic is rare on this road, and on the other hand, a single selection cutting method (with low interference intensity) was used in this forest. Therefore, the forest in this area over time has been able to mitigate the negative effects of road construction and only at the road edge has a significant effect on the values of these characteristics.

Keywords: Road Ecology, Hemispherical photography, Langa forestry project, Photometry.

1- Ph.D. Student of Environmental Sciences, Department of Environment and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Environment and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran *(*Corresponding Author*)
3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.

مقدمه

جاده‌های جنگلی نقش اساسی در دسترسی به زیست‌بوم‌های طبیعی را به منظور مطالعه، تفرج، مدیریت، حفاظت، احیا و دیگر اهداف دارند. از آنجایی که جاده‌های جنگلی با ایجاد یک دالان در سطح رویشگاه (به دلیل برداشت درختان)، سبب ایجاد تغییرات گسترده از نظر نور دریافتی، رطوبت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک جنگل می‌شوند، بنابراین نگرانی عمومی در مورد تاثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت جاده بر روی محیط اطرافش وجود دارد (۱). باید توجه داشت که تحقق اهداف مدیریتی و بهره‌برداری اصولی از جنگل مستلزم ایجاد امکانات و زیرساخت‌های زیادی است که مهم‌ترین آن‌ها، شبکه جاده‌های جنگلی با تراکم کافی است که هماهنگ با طرح‌ها و برنامه‌ریزی‌ها باشد. ایجاد امکانات در جهت اعمال فنون و تیمارهای جنگل‌شناسی، ایجاد امکانات تردد جنگل‌نشینان و گردشگران، حمایت و حفاظت از جنگل در مقابل آتش‌سوزی، شیوع آفات و بیماری‌ها، از جمله مزایای ایجاد و نگهداری شبکه جاده‌های جنگلی است. از سوی دیگر، جاده سازی در جنگل به عنوان یکی از عوامل دخالت در عرصه‌های منابع طبیعی به شمار می‌آید و زمانی که طراحی و احداث آن به صورت علمی و اصولی انجام نگیرد، تاثیرات منفی آن شدت بیشتری می‌یابد (۲). بنابراین با توجه به ویژگی‌های مختلف جاده‌های جنگلی (سن، عرض بستر، میزان تردد و غیره) و همچنین خصوصیات جنگل (مانند اقلیم، تیپ‌بندی، سن توده و غیره)، فاصله اثرگذار جاده‌های جنگلی متغیر است.

ساخت جاده موجب تغییر یافتن ریزاقلیم، رژیم نوری، وزن مخصوص ظاهری، رطوبت خاک، مواد آلی خاک و آغاز فرآیند توالی در نوارها و دیواره‌های خاکی حاشیه جاده‌های حمل‌ونقل می‌شود (۲، ۴). با احداث جاده، تاج‌پوشش جنگل در عرض حریم جاده نسبت به شرایط طبیعی (داخل توده) تغییر می‌کند و تاج‌پوشش و به تبع آن مقدار شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI) تغییر می‌کند، هرچند اطلاعات اندکی در زمینه تاثیر جاده بر شاخص‌های نورسنجی مانند LAI و تاج‌پوشش در تیپ‌های مختلف درختی در جنگل‌های معتدله، مانند جنگل‌های شمال کشور، وجود دارد (۱، ۴). برای نمونه، دلجویی و همکاران (۱) به بررسی شاخص سطح برگ و تاج‌پوشش در حاشیه جاده و فواصل مختلف درون جنگل (تا عمق ۱۰۰ متر) در تیپ خالص راش دست‌نخورده (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل خیرود نوشهر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حداکثر عمق اثرگذار جاده بر شاخص سطح برگ ۲۰ متر و بر تاج‌پوشش ۳۰ متر است. دلجویی و همکاران (۵) به مقایسه مقدار شاخص سطح برگ در فواصل مختلف حاشیه جاده‌های احداث شده در جنگل دست‌نخورده ممرز-راش جنگل خیرود پرداختند و فاصله اثرگذار جاده را ۱۵ متر بیان کردند. دلگادو و همکاران (۶) با بررسی مقدار تاج‌پوشش در جنگل‌های مدیترانه‌ای اسپانیا به این نتیجه رسیدند که در کنار جاده کمترین مقدار تاج‌پوشش و در عمق جنگل، مقدار آن افزایش می‌یابد.

روش‌های اندازه‌گیری تاج‌پوشش و LAI، به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند، که به دلیل طولانی بودن زمان اندازه‌گیری، هزینه‌های زیاد و نیز نمونه‌برداری‌های تخریبی که در روش‌های مستقیم اندازه‌گیری دیده می شوند، امروزه روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم کاربرد وسیع یافته‌اند (۱۰-۷). مرور منابع نشان می‌دهد که پرکاربردترین روش اندازه‌گیری غیرمستقیم مقدار تاج‌پوشش و LAI، روش عکس برداری نیم کروی (Hemispherical photography) با استفاده از عدسی چشم ماهی است که در سالیان اخیر در بسیاری از پژوهش‌ها به دلایل سهولت در اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل و نیز دقت و صحت بالا، از این روش‌ها استفاده می شود (۱۱-۹). روش عکس‌برداری نیم‌کروی بر مبنای میزان نور عبور کرده از میان تاج‌پوشش درختان و توده است. در این روش، استفاده از لنز چشم ماهی در روش عکس‌برداری نیم‌کروی به کاربر اجازه می‌دهد که کسر شکاف در همه جهات ارزیابی شود، که این باعث افزایش دقت در برآورد LAI می‌شود. زیرا عدسی چشم ماهی یک تصویر دایره‌ای را با زاویه دید ۱۸۰ درجه تولید می‌کند (۱۱، ۱۲).

در شمال کشور، مطالعات زیادی در رابطه با تعیین دامنهٔ اثرگذاری جاده های جنگلی بر تنوع پوشش علفی و زادآوری

داخل جنگل (۱، ۳، ۱۳)، فلور و شکل زیستی پوشش گیاهی (۱، ۱۳)، خصوصیات خاک جنگل (۱، ۱۴)، LAI (۱، ۴) و تاج‌پوشش (۱) انجام گرفته است، اما تاثیرگذاری جاده‌های جنگلی درجه دو بر مقادیر تاج‌پوشش و LAI در تیپ‌های راش-ممرز به‌عنوان یکی از غالب‌ترین تیپ های جنگلی در مناطق معتدله ایران مورد بررسی قرار نگرفته است. این پژوهش به دنبال پاسخ به این سوال است که فاصله اثرگذار جاده‌های درجه دو جنگلی بر حاشیه خود با توجه به پارامترهای نورسنجی (تاج‌پوشش و LAI) چه مقدار است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی مقادیر تاج‌پوشش و LAI در حاشیه جاده‌های درجه دو جنگلی و مقایسه آن با فواصل مختلف در درون جنگل در طرح جنگلداری لنگا کلاردشت است، تا بتوان فاصله اثرگذار جاده‌های جنگلی را در جنگل‌های بهره‌برداری شده مورد بررسی قرار داد. فرض شده است که ساخت جاده‌های جنگلی درجه دو تاثیر معنی‌داری بر پارامترهای نورسنجی در فواصل مختلف داخل جنگل می‌گذارد.

روش کار

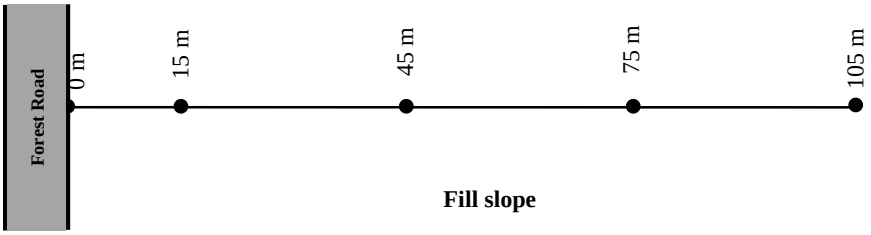
- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بخش یک طرح جنگلداری لنگا (در حوضه آبخیز شماره ۳۶) واقع در کلاردشت مازندران انجام گرفت. جنگل‌های این بخش بین عرض جغرافیایی ″۱۵ ′۳۲ °۳۶ تا ″۱۰ ′۳۵ °۳۶ و طول جغرافیایی ″۲۵ ′۰۲ °۵۱ تا ″۰۵ ′۰۵ °۵۱ شرقی قرار دارد. بخش یک طرح جنگلداری لنگا در جنوب شرقی حوضه ۳۶ کاظم رود (شیت مازوچال به شماره SW-۶۲۶۳-۳) درحوزه استحفاظی اداره کل منابع طبیعی استان مازندران-نوشهر، اداره منابع طبیعی بخش کلاردشت و منابع طبیعی رودبارک قرار دارد. این بخش از شمال به بخش سه لنگا، از جنوب به بخش دو لنگا، از شرق به جنگل‌های بخش یک کلاردشت و از غرب به جنگل‌های بخش دو لنگا محدود است. آب‌وهوا در این منطقه از نوع معتدل کوهستانی است. از نظر زمین شناسی، رسوب‌های این ناحیه مربوط به دوران دوم زمین شناسی و دوره ژوراسیک است که دارای سنگ مادری از نوع ماسه سنگ، سیلستون و آرژیلیت ذغالی است که در ایران به سازند شمشک معروف است. خاک منطقه از نوع قهوه‌ای جنگلی است (۱۵). متوسط بارش در منطقه مورد مطالعه ۹۰۷ میلی‌متر است و مقدار متوسط دمای هوا سالانه، ۹/۱ درجه سانتی‌گراد است. براساس نمودار آمبروترمیک، منطقه مورد پژوهش در ماه‌های تیر و مرداد دوره خشک را سپری می‌کند (۱۶). براساس جنگل‌گردشی، پیش مطالعه و برداشت‌های اولیه جهت جمع‌آوری اطلاعات پوشش گیاهی، پارسل ۱۰۲ (جنگل بهره‌برداری شده با مساحت ۶۹/۱ هکتار) از بخش یک طرح جنگلداری لنگا در کلاردشت، مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. تیپ پارسل ۱۰۲، راش-ممرز است (۱۶). از جمله گونه‌های درختی موجود در منطقه مورد مطالعه می‌توان به بلند مازو (*Quercus castaneifolia*)، توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata*)، شیردار (*Acer cappadocicum*)، پلت (*Acer velutinum*)، نمدار (*Tilia begonifolia*) و خرمندی (*Diospyrus lotus*) اشاره کرد و درختچه‌های این منطقه نیز گونه‌های ولیک (*Crataegus melanocarpa*) و خاس (*Ilex aquifolium*) هستند. عرض متوسط سواره‌رو در این بخش چهار متر و عرض متوسط بستر جاده ۵/۵ متر است و طول مسیر جاده در پارسل یاد شده، ۱۰۵۰ متر است. جاده‌های طرح جنگلداری لنگا، در سال ۱۳۶۳ خورشیدی احداث شده‌اند و آخرین بهره‌برداری در سال ۱۳۹۳ در این منطقه (شیوه تک‌گزینی درختی) انجام گرفت (۱۶).

- روش پژوهش

در پارسل مورد بررسی، ۲۰ ترانسکت به با فاصله حداقل ۵۰ متر از یکدیگر انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی،۱۰ مورد از ترانسکت‌ها در سمت دامنه خاکریزی جاده، اقدام به نمونه‌برداری شد. براساس مطالعات پیشین، حداکثر فاصله اثرگذار جاده بر محیط اطرافش غالباً تا فاصله ۱۰۰ متر در عمق جنگل بررسی شده است (۱، ۳، ۴، ۵، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰) که در این پژوهش این فاصله تا عمق ۱۰۵ متر در عمق جنگل در نظر گرفته شد. در امتداد هر ترانسکت، در فواصل صفر (حاشیه جاده)، ۱۵، ۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ متری اقدام به عکس‌برداری از تاج‌پوشش با روش عکس‌برداری نیم‌کروی انجام شد. زمان

عکس‌برداری اواسط تیرماه سال ۱۳۹۸ خورشیدی بود. برای عکسبرداری از دوربین عکا سی دیجیتال Canon مدل EOS 6D (ساخت ژاپن، سال ۲۰۱۳ میلادی) استفاده شد که بر روی آن، عدسی چشم ماهی Canon مدل EF 8-15mm f/4L (ساخت ژاپن، سال ۲۰۱۱ میلادی) با حداقل فاصله کانونی هشت میلی‌متر نصب شده بود. دوربین بر روی سه پایه که دارای تراز بود، در ارتفاع ۱/۳۰ متری از سطح زمین مستقر شد و در هر عکسبرداری، از افقی بودن محل استقرار دوربین اطمینان حاصل شد (۲۰). برای این که دوربین از حالت افقی خارج نشود (تراز آن با سطح زمین حفظ شود) و هم‌چنین لرزش دست بر کیفیت عکس تاثیر منفی نگذارد، دوربین در حالت خودکار تنظیم و اقدام به عکسبرداری گردید. عکس‌برداری‌ها بلافاصله بعد از طلوع آفتاب یا قبل از غروب خورشید یا در هوای ابری (نبود خورشید در آسمان) انجام گرفت (۹، ۲۲). عدسی چشم ماهی یک تصویر دایره‌ای را با زاویه‌ای دید ۱۸۰ درجه تولید می‌کند که آسمان در مرکز و افق در حاشیه تصویر نشان داده می‌شود (شکل ۲). در نهایت تصاویر گرفته شده با استفاده از نرم‌افزار GLA نسخه ۲/۰، مورد پردازش قرار گرفت و مقادیر مشخصه‌های مورد بررسی بر اساس حلقهٔ شماره چهار در این نرم‌افزار محاسبه شد (۱۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴) و از میانگین سه عکس، مقادیر مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI در هر فاصله از جاده محاسبه شد. در مجموع در هر فاصله از جنگل، تعداد ۳۰ عدد عکس گرفته شد و ۱۵۰ عدد عکس در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت نقاط عکس‌برداری شده در فواصل مختلف از جادهٔ جنگلی در یک خط نمونه ۱۰۵ متری در دامنهٔ خاکریزی

Figure 1. The position of photographed points in different distances from the roadside into forest interior, through a 105 m transect in a fill slope side

شکل ۲- نمونه‌ای از تصویر گرفته شده توسط دوربین دارای عدسی چشم‌ماهی در دامنهٔ خاکریزی در فاصله ۱۵ متری از جاده

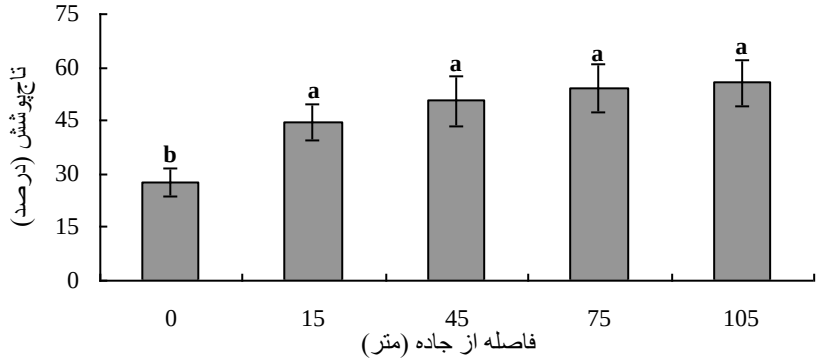
Figure 2. Sample of photo was taken by using camera with fisheye lens in fill slope through a 15 m distance from road

- تجزیه و تحلیل آماری

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی داده‌ها توسط آزمون لون بررسی شد. سپس، با توجه به نرمال و همگن بودن داده‌ها، از آزمون های پارامتریک برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. برای بررسی تفاوت معنی‌دار بین مقادیر تاج‌پوشش و LAI در فواصل مختلف جاده از تحلیل وار یانس و در صورت معنی‌دار بودن تحلیل وار یانس، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. برای برازش منحنی رابطه بین مقدار تاج‌پوشش و مقدار LAI در هر فاصله از جاده، از روش‌های مختلف رگرسیونی استفاده شد. برای بررسی همبستگی، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. کلیه تحلیل‌های آماری در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد در محیط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۴) صورت گرفت.

یافته‌ها

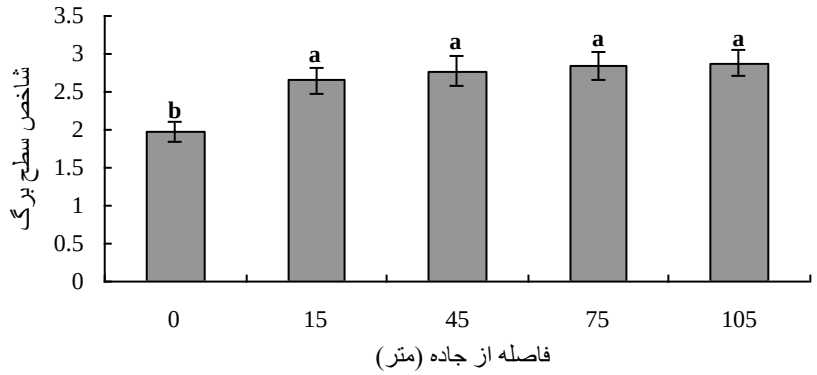
براساس آزمون ANOVA، مقادیر تاج‌پوشش در بین فواصل مختلف از جاده های جنگلی متفاوت است ($F = ۳۵/۹۶۴$؛ $p < ۰/۰۰۱$) و براساس آزمون توکی، مقدار مشخصه تاج‌پوشش در فاصله صفر متر از لبهٔ جاده (منظور حاشیه جاده) به‌طور معنی‌داری کمتر از دیگر فواصل است (شکل ۳).



شکل ۳- میانگین مقادیر تاج‌پوشش در جاده مورد مطالعه جنگلی در فواصل مختلف. حروف متفاوت انگلیسی و بارها به ترتیب اشاره به معنی‌دار بودن اختلاف میانگین بر اساس آزمون توکی (سطح اطمینان ۹۵ درصد) و انحراف معیار میانگین دارند.

Figure 3. The mean value of canopy cover at the different distance from the road of site study. Different letters and the bars shows significant differences based on Tukey test (confidence level of 95%) and mean standard deviation.

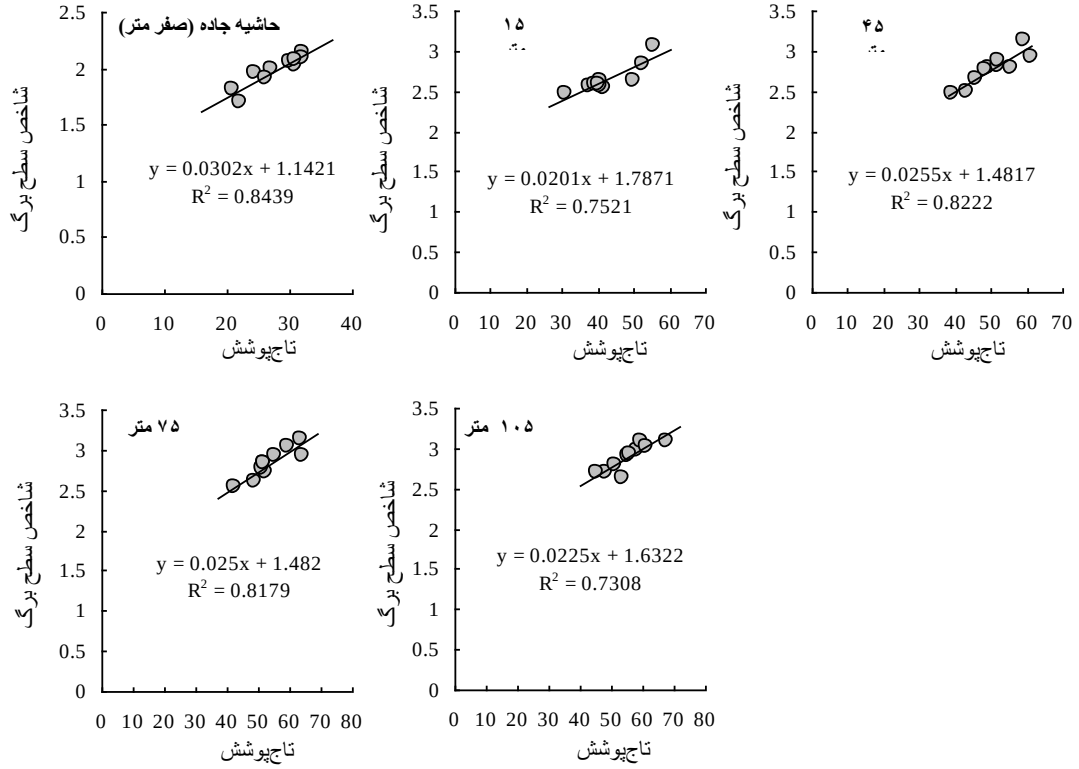
یافته های این پژوهش نشان می‌دهد که براساس آزمون ANOVA، مقادیر LAI در بین فواصل مختلف از جاده‌های جنگلی متفاوت است ($F = ۴۵/۳۴۷$؛ $p < ۰/۰۰۱$) و براساس آزمون توکی، مقدار مشخصه LAI در فاصله صفر متر از لبه جاده (حاشیهٔ جاده) به‌طور معنی‌داری کمتر از دیگر فواصل است (شکل ۴).



شکل ۴- میانگین مقادیر شاخص سطح برگ در جاده مورد مطالعه جنگلی در فواصل مختلف. حروف متفاوت انگلیسی و بارها به ترتیب اشاره به معنی‌دار بودن اختلاف میانگین بر اساس آزمون توکی (سطح اطمینان ۹۵ درصد) و انحراف معیار میانگین دارند.

Figure 4. The mean value of Leaf Area Index at the different distance from the road of site study. Different letters and the bars shows significant differences based on Tukey test (confidence level of 95%) and mean standard deviation.

براساس شکل ۵، بهترین رابطهٔ رگرسیونی برازش داده شده بین مقادیر LAI و تاج‌پوشش، به صورت رگرسیون خطی صعودی حاصل شد. هم‌چنین نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین مقادیر LAI و تاج‌پوشش در تمامی فاصله‌های مورد بررسی وجود دارد (p <۰/۰۱).



شکل ۵- رابطهٔ بین مقدار LAI (بدون واحد، محور *y*) و تاج‌پوشش (درصد، محور *x*) در جاده مورد مطالعه جنگلی در فواصل مختلف.

Figure 5. Regression relation between Leaf Area Index (uintless, *y*-axis) and canopy cover (%, *x*-axis) at the different distance from the road of site study.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش (شکل ۱)، میانگین مقدار مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI در حاشیهٔ جاده‌های جنگلی به‌طور معنی‌داری کمتر از دیگر فواصل حاصل شد که نشان می‌دهد فاصله اثرگذار جاده‌های جنگلی بر جنگل‌های بهره‌برداری شده راش-ممرز تنها در حاشیه آن‌ها اثر گذاشته است. در تایید یافته‌های این پژوهش، دلجویی و همکاران (۱) بیان داشت که کمترین مقدار مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI در جنگل راش خالص دست‌نخورده (بهره‌برداری نشده)، در فاصله صفر متر از جاده (حاشیه جاده) است و چنین یافته‌ای در جنگل دست‌نخورده ممرز-راش درباره مشخصه LAI نیز گزارش شده است (۵).

فاصله تاثیرگذار اندک بدست آمده از این پژوهش (تنها در حاشیهٔ جاده)، می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد، از جمله این که جاده‌های طرح جنگلداری لنگا، در سال ۱۳۶۳ خورشیدی احداث شده‌اند و بوم سازگان توانسته است با گذشت زمان، به تدریج خود را با این دخالت انسانی، سازگار کند و بنابراین با گذشت ۳۵ سال از ساخت جاده، تنها در حاشیه جاده (فاصله صفر متر)، مقادیر مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI به طور معنی‌داری کمتر از دیگر فواصل است. دلیل این امر می‌تواند قابلیت خودتنظیمی بوم‌سازگان و نیز سازگار شدن با آشفتگی‌ها باشد که با گذشت ۳۵ سال از ساخت جاده، تنها در حاشیه جاده تاثیر منفی جاده‌سازی بر مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI مشخص است. در این راستا باید یادآور شد که بوم‌سازگان جنگل‌های هیرکانی، به دلیل شرایط اقلیمی و ادافیکی مناسب، توانایی بالایی در ترمیم خود دارند (۲۵). از سوی دیگر به دلیل طرح تنفس جنگل‌ها در پنج سال اخیر، تردد ماشین‌آلات سنگین بهره‌برداری در این جاده کمتر انجام می‌شود زیرا که هر چه جاده‌های جنگلی دارای ترافیک بیشتری باشند، اثرات منفی بوم‌شناختی آن‌ها بیشتر پدیدار می‌گردد (۲۶). در همین راستا، پژوهشگران به این نتیجه دست یافتند که در نقاطی که آلودگی هوا بیشتر است (مانند حاشیه جاده)، سطح برگ‌ها کوچک‌تر (۲۷) و در نتیجه مقادیر مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI کاهش می‌یابد. عرض بستر کم جادهٔ مورد پژوهش (۵/۵ متر) سبب شده است که اثرات منفی این جاده بر مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI کاهش یابد. مرور منابع نشان می‌دهد که عرض بستر کم، فاکتور مهمی در کاهش اثرات منفی جاده‌های جنگلی بر محیط اطرافش است (۲۸، ۲۹). برای نمونه، هوانگ و همکاران (۲۹) با مقایسه اثرات بوم‌شناسی جاده‌های جنگلی با عرض‌های دو و چهار متر به این نتیجه رسیدند که با افزایش عرض بستر جاده، تاثیرات منفی بر پوشش گیاهی اطراف افزایش می‌یابد. هم‌چنین، ساخت این جاده مطابق با استانداردهای جاده‌های جنگلی است و در طراحی این جاده نیز مساله هماهنگ بودن با طبیعت و توپوگرافی منطقه (یعنی تطابق مسیر جاده با شکل زمین) از طرف طراحان و سازندگان این جاده به‌خوبی در نظر گرفته شده است. برآیند این عوامل سبب شده است که بعد از حدود ۴۰ سال از ساخت این جاده، حداکثر تاثیر جاده بر روی مقادیر مشخصه‌های تاج‌پوشش و LAI، تنها در حاشیه جاده مشاهده شود (شکل‌های ۳ و ۴).

یکی از یافته‌های اساسی این پژوهش این است که با آخرین بهره‌برداری انجام شده در جنگل مورد مطالعه در سال ۱۳۹۳ خورشیدی (پنج سال قبل از انجام این پژوهش)، توده در فواصل مختلف از جاده به همگنی از نظر مشخصه‌های نورسنجی رسیده است، زیرا تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مشخصه‌های یاد شده در فواصل ۱۵، ۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ متری مشاهده نشد که نشان‌دهندهٔ قدرت بازیابی سریع درختان در منطقه یاد شده است. هم‌چنین با بهره‌برداری درختان، توده جوان شده و در نتیجه سبب همگنی تاج‌پوشش و LAI شده است.

هرچه از جاده به سمت درون جنگل پیش برویم (تا فاصله‌ای مشخص و با فرض این که روشنهٔ مصنوعی یا طبیعی در مسیر نباشد)، مقادیر تاج‌پوشش و LAI افزایش می‌یابد (۳) که همسو با یافته‌های این پژوهش است (شکل ۵). مرور منابع نشان می‌دهند که مقدار LAI با تاج‌پوشش دارای رابطهٔ مستقیم و در نهایت با حضور گونه‌های مهاجم دارای رابطه معکوس است. به دلیل آن که بین مقدار LAI و تاج‌پوشش همبستگی مثبت

معنی‌داری وجود دارد، بنابراین در مناطقی که مقدار شاخص به طور معنی‌داری کمتر از داخل جنگل اســـت، می‌توان انتظار هجوم گونه‌های گیاهی مهاجم را داشـــت، زیرا که عرصـــه‌های دارای تاج‌پوشـــش بازتر (حاشـــیه جاده)، در مقایســـه با فواصـــل داخل جنگل، بیشتر در معرض هجوم این گونه‌ها قرار دارند (۱، ۳۰).

امروزه با پیدایش علم بوم شناسی جاده، در نظر گرفتن مسائل بوم‌شـــناختی در کنار ملاحظات فنی جاده‌ســـازی (مانند فاصـــله زهکش‌ها، شـــیب جاده، طراحی قوس‌ها و پیچ‌ها)، ســـبب شـــده است که اثرات منفی محیط‌زیستی جاده‌ها کمتر از گذشته شود. تخریب و بهم‌خوردگی عوامل زیســـتی و غیرزیســـتی ناشـــی از ساخت جاده‌های جنگلی ممکن است تا فواصل دورتر از فضای باز حاصل از جاده گسترش یابد. در نتیجه یکی از شاخص‌های مهم به منظور درک بهتر از اثرات محیط‌زیســـتی جاده های جنگلی بر بوم‌سازگان حاشیه، بررسی مقادیر مشخصه‌های LAI و تاج‌پوشش از حاشیه جاده به سمت عمق جنگل است. به دلیل این که این جاده جز جاده‌های درجه دو در طرح جنگلداری لنگا به شمار می‌آید و تردد در آن به‌ندرت انجام می‌گیرد و از سوی دیگر بهره‌برداری به صورت تک‌گزینی درختی (با شدت دخالت کم) در این جنگل انجام شـــده اســـت، بنابراین با توجه به "مشخصه‌های نور سنجی"، جنگل در این منطقه با مرور زمان توانسته است اثرات منفی جاده سازی را تعدیل نماید. پیشنهاد می‌شـــود برای بیان دقیق‌تر اثرات جاده بر محیط اطراف، تاثیر جاده بر پوشش‌های درختی، علفی و زادآوری، قارچ‌ها و هم‌چنین گلســـنگ‌ها نیز مطالعه شـــوند. هم‌چنین پیشـــنهاد می‌شـــود مشخصه‌های قطر و طول تاج نیز در پژوهش‌های بعدی به‌عنوان تکمیل‌کننده اطلاعات این پژوهش بررسی شود.

References

1. Deljouei, A., Sadeghi, S. M.M., Abdi, E., Bernhardt-Römermann, M., Pascoe, E.L., & Marcantonio, M., 2018. The impact of road disturbance on vegetation and soil properties in a beech stand, Hyrcanian forest. European Journal of Forest Research, 137: 759-770.
2. Teixeira, F.Z., Rytwinski, T., & Fahrig, L., 2020. Inference in road ecology research: what we know versus what we think we know. Biology Letters, 16: 1-14.
3. Deljouei, A., Abdi, E., Marcantonio, M., Majnounian, B., Amici, V., & Sohrabi, H., 2017. The impact of forest roads on understory plant diversity in temperate hornbeam-beech forests of Northern Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 189: 1-15.
4. Deljouei, A., Sadeghi, S. M.M., & Abdi, A., 2016. Comparing leaf area index at different distances from constructed forest roads edge in Hyrcanian forest (Case study: a hornbeam-beech forest in Kheyrud, Mazandaran). Forest Research and Development, 2: 178-167. (In Persian)
5. Deljooei, A., Abdi, E., Hasanvand, M., Sadeghi, S.M.M., & Kaybondori, S., 2017b. Zone effect of secondary forest roads on flora, life forms, and chorology of plants. Journal of Forest Research and Development, 3: 77-89. (In Persian)
6. Delgado, J., Arroyo, D.L., Arevalo, J.R., & Fernández-Placios, J.M., 2007. Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary, and Islands). Landscape and Urban Planning, 81: 328-340.
7. Fang, H., Baret, F., Plummer, S., & Schaepman-Strub, G., 2019. An overview of global leaf area index (LAI): Methods, products, validation, and applications. Reviews of Geophysics, 57: 739-799.

8. Brown, L.A., Sutherland, D.H., & Dash, J., 2020. Low-cost unmanned aerial vehicle-based digital hemispherical photography for estimating leaf area index: a feasibility assessment. International Journal of Remote Sensing, 41: 9064-9074.
9. Zou, J., Hou, W., Chen, L., Wang, Q., Zhong, P., Zuo, Y., & Leng, P., 2020. Evaluating the impact of sampling schemes on leaf area index measurements from digital hemispherical photography in Larix principis-rupprechtii forest plots. Forest Ecosystems, 7: 1-18.
10. Wang, P., Tong, L., Zhou, X., Gang, X., Gao, B., Li, Y., & Sun, Y., 2021. Estimation of leaf area index based on hemispherical canopy photography. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, pp. 6704-6707.
11. Frazer, G.W., Canham, C.D., & Lertzman, K.P., 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, 36 p.
12. Gilardelli, C., Orlando, F., Movedi, E., & Confalonieri, R., 2018. Quantifying the accuracy of digital hemispherical photography for leaf area index estimates on broad-leaved tree species. Sensors, 18(4), 1028.
13. Deljouei, A., Sadeghi, S. M.M., Abdi, E., & Hasanvand, M., 2018. Impact of forest roads on flora, life forms, and chorology of plants in Hornbeam-beech Kheyrud forest. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 15: 115-130. (In Persian)
14. Deljouei, A., Abdi, E., & Majnounian, B., 2018. Effect of forest roads on variability of soil fertility parameters (case study: Kheyroud Forest, Nowshahr). Iranian Journal of Forest, 9: 445-456. (In Persian)
15. Delfan Abazari, B., Sagheb Talebi, K., & Namiranian, M., 2004. Investigation of evolutionary stages of natural settlements in the control plot of Kelardasht region (Langa). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 12: 307-325. (In Pesrian)
16. Anonmous., 2011. Forestry project of Langa: district 1. Forest, Rangland, and Watershed Organization of Iran, 118 p.
17. Rahbari Sisakht, S., Moayeri, M.H., Abdi, E., Rahmani, R., & Pahlavani, M.H., 2017. Road geometric design and its effect on some chemical and biochemical indicators of soil of adjacent forest stands. Iranian Journal of Forest Research, 9: 315-331. (In Pesrian)
18. Lotfalian, M., RiahiFar, N., Fallah, A., & Hodjati, S.M., 2012. Effects of roads on understory plant communities in a froadleaved forest in Hyrcanian zone. Journal of Forest Science, 58: 446-455.
19. Picchio, R., Tavankar, F., Venanzi, R., Lo Monaco, A., & 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: 57-70.
20. da Silva, B.G.D., Castello, A.C.D., Koch, I., & Silva, W.R., 2017. Pathways affect vegetation structure and composition in the Atlantic Forest

in southeastern Brazil. Acta Botanica Brasilica, 31: 108-119.

21. Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M., & Keleş, S., 2018. Artificial neural network models predicting the leaf area index: a case study in pure even-aged Crimean pine forests from Turkey. Forest Ecosystems, 5: 1-12.
22. Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., & Pypker, T.G., 2016. The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. Science of the Total Environment, 568: 845-855.
23. Sadeghi, S.M.M., Van Stan II, J.T., Pypker, T.G., & Friesen, J., 2017. Canopy hydrometeorological dynamics across a chronosequence of a globally invasive species, *Ailanthus altissima* (Mill., tree of heaven). Agricultural and Forest Meteorology, 240: 10-17.
24. Sadeghi, S.M.M., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., Tamjidi, J., Friesen, J., & Farahnaklangroudi, M., 2018. Importance of transitional leaf states in canopy rainfall partitioning dynamics. European Journal of Forest Research, 137: 121-130.
25. Sefidi, K., & Sadeghi, S.M.M., 2021. Anthropogenic disturbance impacts on spatial pattern of Caucasian oak (*Quercus macranthera*) stands in the Hatam Mashe Si forests, Arasbaran. Iranian Journal of Forest, 13: 155-168 (In Pesrian)
26. Van Der Ree, R., Jaeger, J.A.G., Van Der Grift, E., & Clevenger, A.P., 2011. Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. Ecology and Society, 16, pp. 48.
27. Kulshreshtha, K., Rai, A., Mohanty, C.S., Roy, R.K., & Sharma, S.C., 2009. Particulate pollution mitigating ability of some plant species. International Journal of Environmental Research, 3: 137-142.
28. Zhou, T., Luo, X., Hou, Y., Xiang, Y., & Peng, S., 2020. Quantifying the effects of road width on roadside vegetation and soil conditions in forests. Landscape Ecology, 35: 69-81.
29. Huang, X., Sheng, Z., Zhang, Y., Ding, J., & He, K., 2015. Impacts of trails on plants, soil and their interactions in the subalpine meadows of Mount Jade Dragon, Northwestern Yunnan of China. Grassland Sciences, 61: 204-216.
30. Parendes, L.A., & Jones, J.A., 2000. Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the H. J. Andrews Experimental Forest. Conservation Biology, 14: 64-75.