

رابطه شاخص سطح برگ و فاصله از جاده جنگلی در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی

آزاده دلجوئی^{۱*}

a.deljooei@ut.ac.ir

سید محمد معین صادقی^۲

احسان عبدی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

چکیده

زمینه و هدف: در اکولوژی جنگل از شاخص سطح برگ (LAI) به عنوان پارامتر بیان‌کننده واکنش تاج‌پوشش درختان نسبت به تغییرات محیط، استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی مقدار LAI در حاشیه جاده‌های درجه ۳ جنگلی و مقایسه آن با مقدار LAI در درون جنگل به تفکیک دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی در تیپ ممیز-راش در جنگل خیرود بود.

روش بررسی: ۱۶ خط‌نمونه به طول ۱۰۰ متر (هشت خط‌نمونه در هر دامنه) از حاشیه جاده تا درون جنگل تصادفی انتخاب و در طول هر خط‌نمونه، ۹ نقطه با فواصل مختلف از حاشیه جاده (صفر، پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۰۰ متری) انتخاب و در این فواصل، عکس‌برداری از تاج‌پوشش با روش عکس‌برداری نیم‌کروی انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس آزمون t-جفتی، میانگین مقدار LAI به‌دست آمده در دامنه خاکریزی (۳/۲۹) به طور معنی‌داری بیشتر از دامنه خاکبرداری (۳/۱۵) به‌دست آمد ($p=0/026$). بر اساس آزمون توکی، مقدار LAI در هر دو دامنه خاکبرداری و خاکریزی در فواصل صفر و پنج متری، به طور معنی‌داری کمتر از فواصل ۱۵ متری و بیشتر از ۱۵ متر به‌دست‌آمد ($p < 0/05$). براساس پارامترهای ضریب تبیین، ضریب کارایی Nash و Sutcliffe's، خطای اریبی میانگین و درصد خطای میانگین نرمال‌شده، بهترین رابطه‌ی برازش داده شده بین LAI و فاصله از جاده در هر دو دامنه به صورت لگاریتمی دوطرفه حاصل شد.

بحث و نتیجه‌گیری: گذشت ۲۶ سال از ساخت جاده، عرض بستر کم، تردد کم و هماهنگ بودن ساخت جاده‌های خیرود با طبیعت و توپوگرافی سبب شده است که اثر منفی جاده بر LAI تا حداکثر ۱۰ متری از عمق جنگل مشاهده شود.

واژه‌های کلیدی: اکولوژی جاده، عکس‌برداری نیم‌کروی، جنگل خیرود، خط‌نمونه، فاصله موثر جاده.

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران * (مسئول مکاتبات)

^۲ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

Relation between Leaf Area Index and Distance from Forest Road in Cut and Fill Slopes

Azade Deljouei^{1*}

a.deljooei@ut.ac.ir

Seyed Mohammad Moein Sadeghi²

Ehsan Abdi³

Accepted Date: May 2, 2025

Date Received: February 3, 2025

Abstract

Background and Objective: In forest ecology, Leaf Area Index (LAI) was used as a parameter of vegetation canopy response to environmental change. The aim was to compare the value of leaf area index (LAI) in the edges of secondary forest roads with LAI value in the forest interior on both cut and fill slopes in hornbeam-beech stands located in Kheyroud forest.

Method: Sixteen transects with the length of 100 meters (eight transects in fill slopes and eight transects in cut slopes) extending from the road edges into the forest were selected randomly in and along each transect, the canopy were hemispherically photographed in 9 points with different distances from the roadside (0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, and 100 meters).

Findings: Average values of LAI in fill slopes (3.29) was obtained significantly greater than that of cut slopes (3.15) ($p = 0.026$). LAI values at the zero and five meters into the forest were significantly lower than 15 meter both in cut and fill slopes ($p < 0.05$). Reciprocal logarithmic was found as the best relation between LAI and distance from road edges in both slopes based on the parameters of determination coefficient, Nash and Sutcliffe's efficiency coefficient, mean bias error, and normalized mean percentage error.

Discussion and Conclusion: Over the past 26 years of road constructing, low road width, low-traffic have been according based on nature and topography of Kheyroud as a natural forest which was resulted in mitigating the negative effects of forest roads on LAI up to maximum 10 meters into the forest interior.

Keywords: Effective distance, Hemispherical photography, Kheyroud forest, Road ecology, Transect

¹ PhD Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
* (Corresponding Author)

² PhD Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

³ Associate Professor, Forestry and Forest Economic Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

مقدمه

طرح‌های جنگلداری به منظور استفاده از تولیدات جنگل، تضمین پایداری و تولید مستمر جنگل تهیه می‌شوند. برای حفاظت جنگل و رسیدن به توسعه پایدار، برنامه‌ریزی و اجرای دقیق طرح‌های جنگلداری ضرورت دارد. 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، فراهم آوردن امکان حمل‌ونقل چوب به صورت تجاری، ایجاد امکانات تردد جنگل‌نشینان و گردشگران، حمایت و حفاظت از جنگل در مقابل آتش‌سوزی، شیوع آفات و بیماری‌ها، از جمله فواید شبکه جاده‌های جنگلی است. از سوی دیگر، جاده‌سازی 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 نگردد، تأثیرات منفی آن شدت بیشتری می‌یابد (۱). در واقع 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). با احداث جاده، تاج‌پوشش جنگل در عرض حریم جاده نسبت به شرایط طبیعی (داخل توده) تغییر می‌کند (۳) و درصد تاج‌پوشش و به تبع آن مقدار شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI) تغییر می‌کند، هرچند تاکنون دامنه‌ی تغییرات مقدار LAI و نیز فاصله اثرگذار جاده بر این شاخص، مورد توجه پژوهش‌گران و مدیران جنگل قرار نگرفته است.

LAI یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی شناخته می‌شود که عبارت است از نسبت سطح برگ‌ها به سطح زمینی که برگ‌ها بر روی آن سایه‌اندازی نموده‌اند (۴). مرور منابع، دامنه‌ی مقادیر گزارش شده LAI را در درختان مختلف، پر نوسان نشان می‌دهد (۵) به طوری که مقدار آن از ۰/۴ در گونه‌ی *Quercus petrea* تا ۱۴/۰ برای گونه‌ی *Pseudotsuga menziessi* گزارش شده است (۶). نقش و اهمیت LAI در ارتباط و وابستگی آن با بسیاری از فرآیندهای اکولوژیک و فیزیولوژیک پوشش گیاهی مانند مقدار فتوسنتز، تبخیر-تعرق، تولید خالص اولیه و ضریب تبادل انرژی بین پوشش گیاهی و اتمسفر آشکار می‌شود (۶) و امروزه در بسیاری از مدل‌های اکوهیدرولوژیک (۷)، بوم‌شناسی (۸) و اقلیمی (۴)، به عنوان اصلی‌ترین شاخص پوشش گیاهی استفاده می‌شود. بنابراین آگاهی از مقدار LAI و تغییرات آن در بسیاری از مطالعات علوم جنگل ضروری به نظر می‌رسد و می‌توان از LAI

به عنوان پارامتر بیان‌کننده واکنش تاج‌پوشش درختان نسبت به تغییرات محیط، بهره جست. از آنجا که ساخت جاده باعث تغییراتی در تاج‌پوشش می‌شود، در نتیجه مقدار LAI نیز تغییر می‌کند، ولی اینکه حداکثر تأثیر جاده بر تاج‌پوشش تا چند متری داخل جنگل است، نیاز به بررسی دارد.

روش‌های اندازه‌گیری LAI، به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند، که به دلیل طولانی‌بودن زمان اندازه‌گیری، هزینه‌های زیاد و نیز نمونه‌برداری‌های تخریبی که در روش‌های مستقیم اندازه‌گیری LAI دیده می‌شوند، امروزه روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم کاربرد وسیع یافته‌اند (۵ و ۹). مرور منابع نشان می‌دهد که پرکاربردترین روش اندازه‌گیری غیرمستقیم مقدار LAI، روش عکس‌برداری نیم‌کروی (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 می‌شود (۱۰).

در شمال کشور، مطالعات زیادی در رابطه با تعیین دامنه‌ی اثرگذاری جاده‌های جنگلی بر تنوع پوشش علفی و زادآوری داخل جنگل (۲، ۳، ۱۱ و ۱۲) و خصوصیات خاک جنگل (۳ و ۱۱) انجام گرفته است، اما تاکنون دامنه‌ی تأثیرگذاری جاده‌های جنگلی بر مقدار LAI مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی مقدار LAI در حاشیه جاده‌های درجه ۳ (فرعی) جنگلی و مقایسه آن با فواصل مختلف در درون جنگل در بخش نم‌خانه جنگل خیرود نوشهر است. از آنجایی که در زمان ساخت جاده، عرض عملیات ساختمانی و پاکتراشی در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی متفاوت است (با فرض ثابت بودن شیب عرضی دامنه)، اختلاف در مقدار LAI در دو دامنه‌ی خاکبرداری و خاکریزی نیز در این پژوهش مورد آزمون قرار گرفت.

روش کار

- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بخش نم‌خانه، جنگل خیرود (جنگل آموزشی پژوهشی دانشگاه تهران) واقع در هفت کیلومتری شرق شهرستان نوشهر و در حوزه اداره کل منابع طبیعی نوشهر صورت گرفت (عرض جغرافیایی شمالی ۳۶° ۳۴' تا ۳۶° ۳۷' و طول جغرافیایی شرقی ۵۱° ۳۲' تا ۵۱° ۳۵'). در بخش نم‌خانه، کمینه‌ی ارتفاع از سطح دریا ۳۵۰ متر و بیشینه‌ی ارتفاع از سطح دریا ۱۲۹۰ متر می‌باشد. طول جاده‌های احداث شده در این بخش، ۱۵/۶ کیلومتر می‌باشد که در سال ۱۳۶۸ خورشیدی احداث شده‌اند. عرض متوسط سواره‌رو در این بخش

۳/۵ متر و عرض متوسط بستر جاده ۵/۵ متر است.

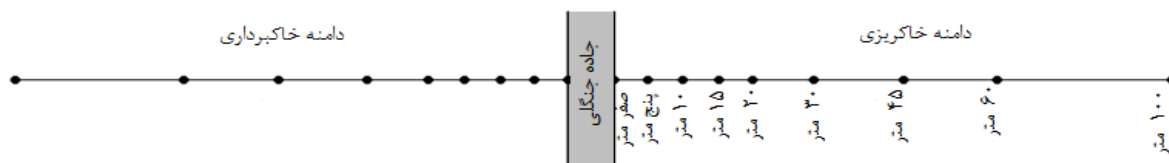
- روش پژوهش

پس از تهیه نقشه تیپ بخش نم‌خانه و بررسی جاده‌های درجه سه جنگلی، بافری ۱۰۰ متری در اطراف این جاده‌ها ایجاد شد تا اثر متقابل جاده‌ها بر هم حذف شود. ۱۶ خط‌نمونه به طول ۱۰۰ متر (هشت خط‌نمونه در دامنه خاکریزی و هشت خط‌نمونه در دامنه خاکبرداری) از حاشیه جاده تا درون جنگل انتخاب شدند. در انتخاب خط‌نمونه‌ها سعی بر آن شد که شرایط محیطی (شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا) و قطر متوسط گونه‌های اطراف هر جفت خط‌نمونه، مشابه باشد. به‌علاوه، در صورتی که خط‌نمونه با روشنه‌های مصنوعی (مانند لکه بهره‌برداری) و طبیعی (مانند درختان بادافتاده) تداخل داشت، خط‌نمونه حذف و به نقطه بعدی منتقل می‌شد. برای این پژوهش ۴۳ خط نمونه که دارای این شرایط بودند مورد بررسی قرار گرفتند و ۲۷ مورد آنها به دلیل نداشتن شرایط یاد شده، مورد بررسی قرار نگرفتند. هم‌چنین حداقل فاصله‌ی افقی خط‌نمونه‌ها از هم ۵۰ متر در نظر گرفته شد. این خط‌نمونه‌ها به‌صورت عمود بر محور وسط جاده قرار داشتند. مطابق با شکل ۱، در طول هر خط‌نمونه، ۹ نقطه با فواصل مختلف از حاشیه جاده، شامل صفر متری (حاشیه جاده)، پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۰۰ متری در دامنه‌های خاکریزی و خاکبرداری انتخاب شدند (۱۳) و در این فواصل، عکس‌برداری از تاج‌پوشش با گرفتن چهار عکس در هر نقطه انجام شد. کلیه‌ی عکس‌برداری‌ها در زمان بدون تابش مستقیم در آسمان (قبل از غروب آفتاب که خوشید در آسمان نبوده و هوا هنوز روشن است یا در روزهای ابری که روشنایی در حالت طبیعی باشد) انجام گرفت (۱۴). لازم به ذکر است که تیپ جنگل در کلیه‌ی خط‌نمونه‌ها، ممرز-راش بود و نقاط عکس‌برداری شده در دامنه‌ی ارتفاع از سطح دریا ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ متر قرار داشتند. برای عکس‌برداری از دوربین عکاسی 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. 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. 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 (۱۴) و مقدار LAI بر اساس حلقه شماره چهار در این نرم‌افزار محاسبه شد (۱۵) و از میانگین چهار عکس، مقدار LAI در هر نقطه محاسبه شد.

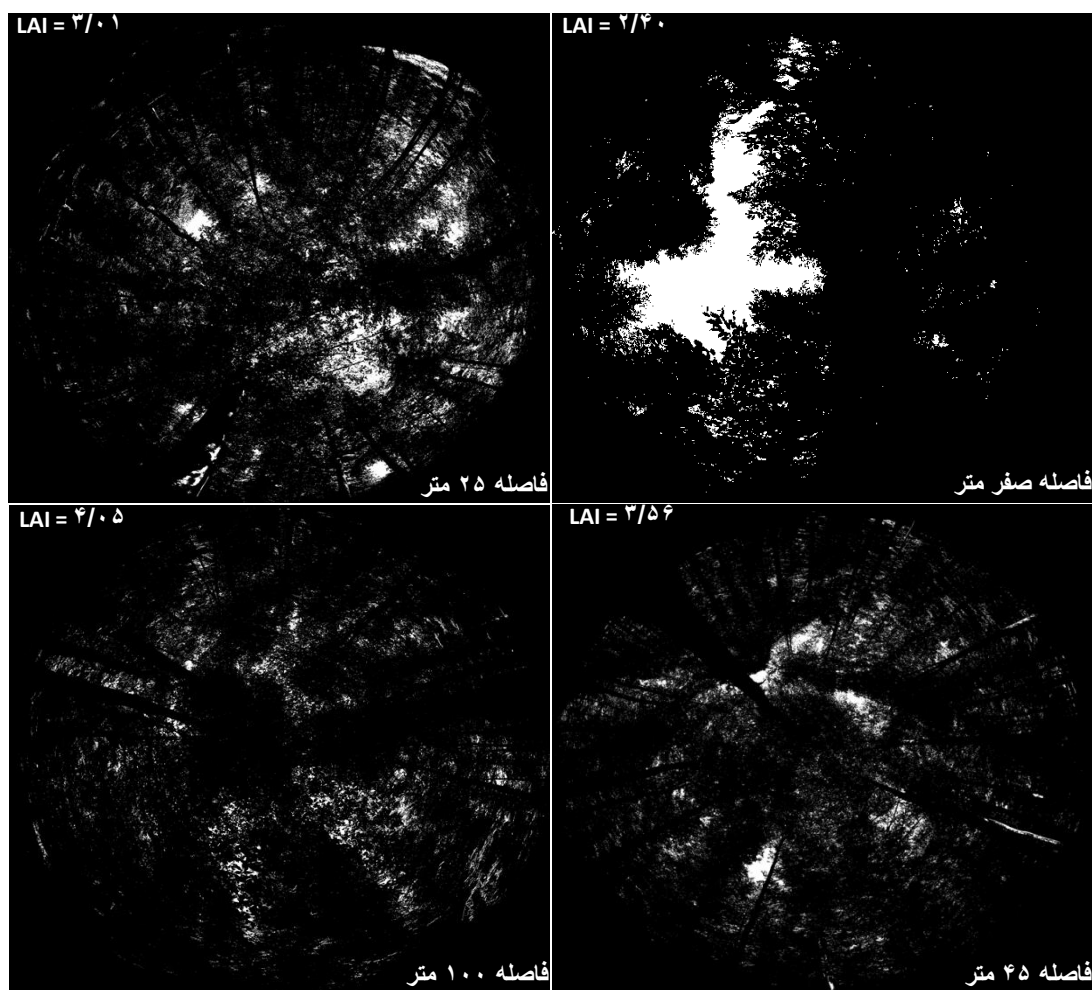
- محاسبات آماری

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی داده‌ها توسط آزمون لون بررسی شد. برای بررسی تفاوت معنی‌دار بین مقدار LAI در فواصل مختلف جاده در هر دامنه از آنالیز واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. هم‌چنین برای مقایسه میانگین مقدار LAI در بین دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی از آزمون t جفتی بهره گرفته شد. لازم به ذکر است که کلیه آنالیزها در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد صورت گرفت. برای برآزش منحنی بین فاصله جاده و مقدار LAI در هر دامنه، از ۱۳ مدل رگرسیونی متداول -شامل مدل‌های خطی، نمایی، نمایی اصلاح شده، سیگموئیدی MMF، سیگموئیدی لجستیک، توانی، توانی اصلاح شده، هندسی، لگاریتمی، لگاریتمی دوطرفه، چندجمله‌ای، درجه دوم و سینوسی) در محیط نرم‌افزار Curve Expert (نسخه ۱/۴) استفاده شد و در نهایت از معیارهای



شکل ۱- موقعیت نقاط عکس‌برداری شده در فواصل مختلف از جاده به داخل جنگل در یک خط نمونه ۱۰۰ متری در دامنه‌های خاکریزی و خاکبرداری

Figure 1- The position of photographed points in different distances from the roadside into forest interior, through a 100 m transect in the cut and fill slopes



شکل ۲- نمونه‌ای از چهار تصویر گرفته شده توسط دوربین دارای عدسی چشم‌ماهی در دامنه خاکریزی در فواصل مختلف از جاده
Figure 1- Sample of four photos were taken by using camera with fisheye lens in fill slope through different distance from road

در روابط بالا، N تعداد داده‌ی مشاهده شده، P_i مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل (مقدار برآورد شده)، O_i مقدار مشاهده شده (مقدار اندازه‌گیری شده) و $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده است. مقدار ضریب R^2 بین صفر تا یک است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، برازش مدل بهتر است. بازه‌ی ضریب E بین منفی بی‌نهایت تا یک است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، مدل دارای کارایی بهتری می‌باشد و مقادیر کمتر از صفر، نشان از ناکارآمدی مدل دارد. بازه‌ی MBE مثبت تا منفی بی‌نهایت بوده و اعداد مثبت بیان‌گر بیش‌برآوردی و اعداد منفی نشان‌گر کم‌برآوردی مدل هستند و هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، اریب بودن مدل کمتر است. $NMPE$ نیز بازه‌ی صفر تا مثبت بی‌نهایت درصد دارد و هر چه کمتر باشد، خطای برآوردی مدل کمتر خواهد بود (۷).

ضریب تبیین (R^2) و ضریب Nash و Sutcliffe's برای بررسی کارایی مدل (E ، رابطه ۱)، از خطای اریبی میانگین (MBE ، رابطه ۲) برای بررسی اریب بودن مدل و از پارامتر درصد خطای میانگین نرمال شده ($NMPE$ ، رابطه ۳) برای انتخاب بهترین مدل رگرسیونی تک متغیره استفاده شد. مرور منابع نشان می‌دهد که لازم است از این معیارها در ارزیابی مدل‌ها اکولوژیک، استفاده شوند (۷).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{O} - O_i)^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$MBE = N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$NMPE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N O_i} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

یافته‌ها

در جدول ۱، آماره‌های کمی مقادیر LAI، در جاده‌های جنگلی مورد مطالعه به تفکیک دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی ذکر شده است. میانگین مقدار LAI به‌دست آمده در دامنه خاکریزی (۳/۲۹) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دامنه خاکبرداری (۳/۱۵) است ($t = 2/765$; $p = 0/026$). کمترین و بیشترین مقدار LAI به ترتیب ۱/۶۹ (فاصله صفر متر در دامنه خاکبرداری) و ۴/۴۴ (فاصله ۱۰۰ متر در دامنه خاکریزی) بدست آمدند.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین فاصله از جاده با مقدار LAI در دامنه‌های خاکبرداری ($F = 12/157$; $p < 0/001$) و خاکریزی ($F = 18/456$; $p < 0/001$) است. بر اساس شکل ۳ و نتایج آزمون توکی، مقدار LAI در دامنه خاکبرداری در فواصل صفر و پنج متری، به‌طور معنی‌داری کمتر از فواصل ۱۵ متری و بیشتر از آن است ($p < 0/05$). در دامنه خاکریزی نیز در فواصل صفر و پنج متری، مقدار LAI به‌طور معنی‌داری کمتر از فاصله ۱۵ متری و فواصل بیشتر از آن است ($p < 0/05$; شکل ۳).

جدول ۲ روابط مختلف رگرسیونی بین مقدار LAI و فاصله از جاده درجه ۳ را به تفکیک دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی نشان می‌دهد. در دامنه خاکبرداری بهترین رابطه برآزش داده شده بر اساس مقادیر ضریب تبیین (R^2), روابط سیگموییدی

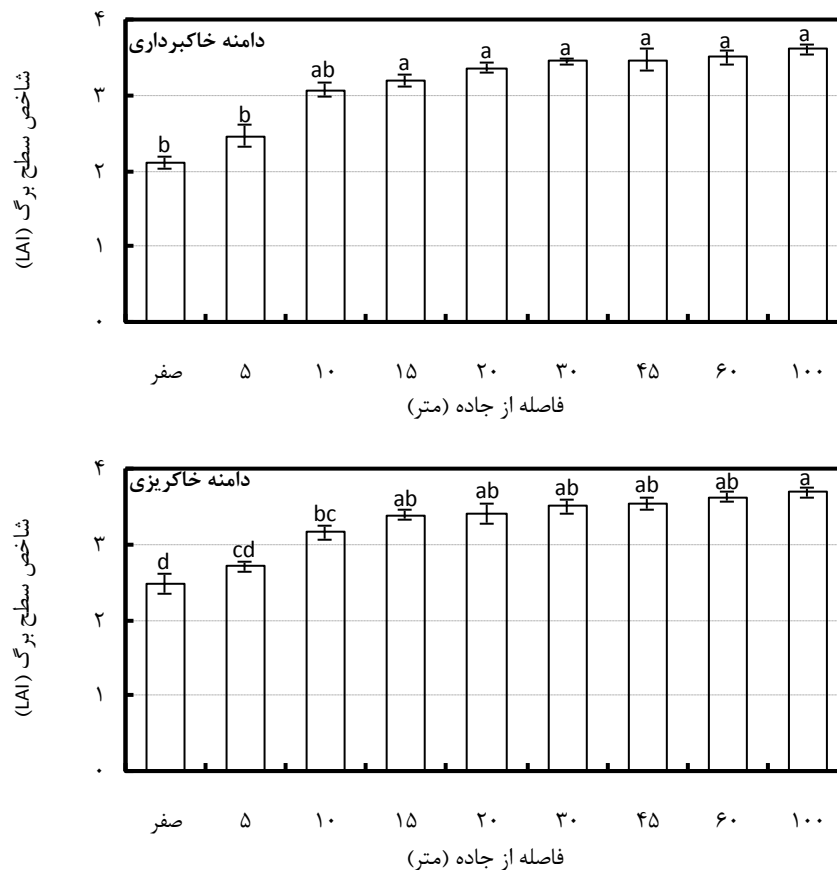
MMF ($R^2 = 0/59$) و سیگموییدی لجستیک ($R^2 = 0/57$)، بر اساس ضریب کارایی Nash و Sutcliffe's (E), روابط لگاریتمی دوطرفه ($E = 0/51$), توانی ($E = 0/46$) و درجه دوم ($E = 0/46$), بر اساس خطای اریبی میانگین (MBE), روابط لگاریتمی دوطرفه ($MBE = 0/01$), لگاریتمی ($MBE = 0/02$) و توانی اصلاح شده ($MBE = -0/02$), بر اساس درصد خطای میانگین نرمال شده ($NMPE$), روابط لگاریتمی دوطرفه ($NMPE = 10/9$) و توانی ($NMPE = 10/9$) بدست آمدند و به صورت کلی، بهترین رابطه‌ی برآزش داده شده در این دامنه به صورت لگاریتمی مثبت دوطرفه محاسبه شد. در دامنه خاکریزی، مناسب‌ترین رابطه‌ی برآزش داده شده بر اساس مقدار R^2 , مانند دامنه‌ی خاکبرداری روابط سیگموییدی MMF ($R^2 = 0/65$) و سیگموییدی لجستیک ($R^2 = 0/64$), بر اساس مقدار E , روابط لگاریتمی دوطرفه ($E = 0/54$) و درجه دوم ($E = 0/53$), بر اساس مقدار MBE , روابط لگاریتمی دوطرفه ($MBE = -0/01$) و توانی ($MBE = -0/01$), بر اساس مقدار $NMPE$, روابط لگاریتمی دو طرفه ($NMPE = 7/9$) و درجه دوم ($NMPE = 8/2$) بدست آمدند و به صورت کلی و مشابه با دامنه خاکبرداری، بهترین رابطه‌ی برآزش داده بین فاصله جاده و مقدار LAI در دامنه خاکریزی به صورت لگاریتمی مثبت دوطرفه بدست آمد.

جدول ۱- آمار توصیفی مقادیر شاخص سطح برگ (LAI) در حاشیه جاده درجه ۳ جنگلی (صفر متر) و فواصل مختلف از جاده در تیپ ممرز-راش جنگل خیرود. علامت ستاره (*) اشاره به معنی‌دار بودن اختلاف میانگین مقادیر در فواصل یکسان در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی دارد ($p < 0/05$). اعداد داخل پرانتز اشاره به خطای معیار (SE) میانگین دارند.

Table 1- Descriptive statistics of Leaf Area Index (LAI) at the edge of the third grade of forest roads (0 m) and different distances from road at beech-hornbeam type of Kheyroud forest. (*) shows the significant difference between average values at the same intervals of cut and fill slopes ($p < 0.05$). Numbers in the parentheses shows the standard error (SE) of mean values

دامنه‌ی جنگل	آمار توصیفی	فاصله از جاده (متر)							
		صفر	پنج	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰	۴۵	۱۰۰
خاکبرداری	میانگین	۲/۱۲ ($\pm 0/13$)	۲/۴۷ ($\pm 0/28$)	۳/۰۸ ($\pm 0/19$)	۳/۲۱ ($\pm 0/12$)	۳/۳۷ ($\pm 0/14$)	۳/۴۶ ($\pm 0/10$)	۳/۴۸ ($\pm 0/18$)	۳/۶۲ ($\pm 0/19$)
	بیشینه	۲/۶۵	۳/۳۷	۳/۶۳	۳/۶۶	۴/۰۴	۴/۱۴	۴/۱۵	۴/۴۸
	کمینه	۱/۶۹	۱/۷۳	۲/۵۴	۲/۶۹	۲/۴۸	۲/۷۷	۲/۳۰	۳/۲۰
	درصد ضریب تغییرات	۱۲/۱	۱۷/۶	۱۲/۳	۱۰/۱	۱۴/۲	۱۳/۵	۱۷/۲	۶/۷
خاکریزی	میانگین	۲/۴۸ ($\pm 0/18$)	۲/۷۲ ($\pm 0/13$)	۳/۱۷ ($\pm 0/27$)	۳/۴۰ ($\pm 0/21$)	۳/۴۲ ($\pm 0/11$)	۳/۵۲ ($\pm 0/18$)	۳/۵۵ ($\pm 0/22$)	۳/۷۰ ($\pm 0/25$)
	بیشینه	۳/۰۷	۳/۲۱	۳/۶۹	۳/۸۴	۴/۰۰	۴/۱۲	۴/۱۲	۴/۴۴
	کمینه	۲/۰۰	۲/۵۴	۲/۶۳	۲/۷۹	۲/۶۵	۳/۰۴	۳/۱۹	۳/۴۲
	درصد ضریب تغییرات	۱۵/۱	۷/۲	۹/۰	۹/۵	۱۳/۳	۱۲/۷	۸/۴	۸/۵

منظور میانگین مقادیر LAI در داخل جنگل است (مقادیر LAI در حاشیه جاده-فاصله صفر متر- لحاظ نشده است).



شکل ۳- میانگین مقادیر LAI (بدون واحد) در جاده مورد مطالعه جنگلی در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی. حروف a, b, c و d و نیز بارها به ترتیب اشاره به معنی‌دار بودن اختلاف میانگین بر اساس آزمون توکی (سطح اطمینان ۹۵ درصد) و خطای معیار میانگین دارند.

Figure 3- The mean value of LAI (unitless) at the roads of site study in cut and fill slopes. Letters of a,b,c,d and the bars shows significant differences based on Tukey test (confidence level of 95%) and mean standard error.

جدول ۲- رابطه‌ی رگرسیونی بین مقدار LAI (بدون واحد، y) و فاصله از جاده درجه ۳ جنگلی (متر، x) در دو دامنه خاکبرداری و

خاکریزی، جنگل خیرود

Table 2- Regression relation between LAI values (unit less, y) and distance from third grade of forest roads (m, x) in both cut and fill slopes, Kheyroud forest

پارامترهای ارزیابی مدل				رابطه‌ی رگرسیونی		دامنه‌ی جنگل
NMPE	MBE	E	R ²			
۱۴/۹	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۳۰	$y = 2.796 + 0.013x$	خطی	خاکبرداری
۲۶۳۶	۸۱/۶	-۳۲۱۰۳	۰/۳۰	$y = 2.839e^{0.002x}$	نمایی	
۱۵/۸	۰/۱۴	-۰/۲۶	۰/۳۲	$y = 3.292e^{\left(\frac{0.0001}{x}\right)}$	نمایی اصلاح شده	
۱۴۱۶۳۷	۳۹۸۷	-۲۲۴۶۱۰۱۷۶	۰/۵۹	$y = \frac{156.796 + 3.148x^{2.016}}{71.154 + x^{2.016}}$	سیگموئیدی MMF	
۶۹۴	۲۱/۶	-۲۵۴۶	۰/۵۷	$y = \frac{3.522}{1 + 0.660e^{0.110x}}$	سیگموئیدی لجستیک	
۱۰/۹	۰/۰۳	۰/۴۶	۰/۴۸	$y = 2.837x^{0.044}$	توانی	
۱۲/۶	-۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۳۲	$y = 2.837(1.011)^x$	توانی اصلاح شده	
۶۱/۱	-۱/۹۸	-۱۴/۷	۰/۲۸	$y = 2.908x^{0.002x}$	هندسی	
۱۱/۶	۰/۰۲	۰/۴۰	۰/۴۴	$y = 2.973 + 0.101\ln(x)$	لگاریتمی	
۱۰/۲	۰/۰۱	۰/۵۱	۰/۴۸	$y = \frac{1}{0.358 - 0.017\ln(x)}$	لگاریتمی دوطرفه	

پارامترهای ارزیابی مدل				رابطه‌ی رگرسیونی		دامنه‌ی جنگل
NMPE	MBE	E	R ²			
۴۳/۴	-۱/۵	-۱۶/۲	۰/۴۹	$y = -0.001x^2 + 0.038x + 2.481$	چندجمله‌ای	۶۰ تا ۶۵
۱۱/۲	-۰/۰۶	۰/۴۶	۰/۴۸	$y = 2.476 + 0.039x - 0.004x^2$	درجه دوم	
۲۵/۶	-۰/۱۹	-۳/۶	۰/۴۷	$y = -16.965 + 20.966 \cos(0.004x - 0.362)$	سینوسی	
۸/۵	-۰/۰۲	۰/۳۹	۰/۴۱	$y = 2.936 + 0.012x$	خطی	
۳۱۲۵	۸۶/۴	-۶۷۷۶۵	۰/۳۴	$y = 2.992e^{0.006x}$	نمایی	
۳۱/۱	۰/۷۷	-۱۸/۶	۰/۳۷	$y = 3.386e^{\left(\frac{0.0014}{x}\right)}$	نمایی اصلاح شده	
۱۷۶۵۱	۵۵۴	-۴۰۵۵۶۷۳	۰/۶۵	$y = \frac{96.129 + 3.676x^{1.703}}{39.621 + x^{1.703}}$	سیگموئیدی MMF	
۳۹۷	۱۲/۹	-۱۵۱۰	۰/۶۴	$y = \frac{3.630}{1 + 0.502e^{-0.110x}}$	سیگموئیدی لجستیک	
۸/۴	-۰/۰۱	۰/۵۱	۰/۵۳	$y = 3.150x^{0.029}$	توانی	
۹/۲	۰/۰۲	۰/۴۰	۰/۴۰	$y = 2.992(1.015)^x$	توانی اصلاح شده	
۹/۷	۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۳۲	$y = 3.047x^{0.001x}$	هندسی	
۸/۶	-۰/۰۲	۰/۵۰	۰/۵۱	$y = 3.116 + 0.085 \ln(x)$	لگاریتمی	
۷/۹	-۰/۰۱	۰/۵۴	۰/۵۴	$y = \frac{1}{0.323 - 0.013 \ln(x)}$	لگاریتمی دوطرفه	
۴۴/۵	-۱/۳	-۲۸/۷	۰/۵۶	$y = -0.001x^2 + 0.033x + 2.653$	چندجمله‌ای	
۸/۲	۰/۰۴	۰/۵۳	۰/۵۶	$y = 2.705 + 0.033x - 0.001x^2$	درجه دوم	
۱۹/۹	-۰/۱۶	-۳/۴	۰/۵۳	$y = -13.154 + 18.205 \cos(0.004x - 0.341)$	سینوسی	

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش (جدول ۱)، میانگین مقدار LAI به‌دست آمده در دامنه خاکریزی (۳/۲۹) به طور معنی‌داری بیشتر از دامنه خاکبرداری (۳/۱۵) است. تاکنون پژوهشی در ارتباط با مقایسه‌ی مقادیر LAI در بین دو دامنه‌ی خاکبرداری و خاکریزی انجام نگرفته است، هرچند که نتایج دیگر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تنوع‌زیستی پوشش گیاهی، ترکیب پوشش گیاهی، درصد پوشش گیاهی، ماده آلی و میزان کربن آلی در دامنه‌های خاکریزی و خاکبرداری از نظر آماری متفاوت است (۲، ۱۱، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹). برای نمونه، نیکوی و روشن‌ضمیر (۱۸) با مقایسه پوشش گیاهی در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی در جنگل‌های شفارود گیلان به این نتیجه رسیدند که میزان درصد پوشش گیاهی در دامنه‌های خاکریزی نسبت به دامنه‌های خاکبرداری بیشتر است. بازیاری و همکاران (۲) به بررسی تنوع‌زیستی و ترکیب گونه‌های گیاهی در دامنه‌های خاکریزی و خاکبرداری در حاشیه جاده و فاصله ۱۰۰ متری در داخل جنگل در طرح‌های جنگلداری لیره‌سر، گلندرد و مکارود در مازندران پرداختند و ابراز داشتند که با افزایش فاصله از جاده، تنوع‌زیستی کاهش می‌یابد. برنجی‌تهرانی و همکاران (۱۱) با بررسی تنوع گونه‌های گیاهی، ماده آلی و میزان کربن آلی در فواصل مختلف از جاده‌های اصلی

(فواصل صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰

متر) در جنگل خیرود نوشهر در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی به این نتیجه رسیدند که توزیع گونه‌های گیاهی، ماده آلی و میزان کربن آلی در برخی فواصل در دامنه‌های خاکبرداری و خاکریزی با هم متفاوت است. انجام عملیات خاکبرداری و خاکریزی در هنگام ساخت جاده منجر به غنی‌تر شدن شرایط خاک در دامنه خاکریزی شده و در نتیجه استقرار گونه‌ها در این دامنه با سرعت بیشتری انجام می‌شود (۱۷) و بنابراین می‌توان انتظار داشت که شرایط اکولوژیک در این دامنه‌ها مساعدتر از دامنه‌ی خاکبرداری باشد. از سوی دیگر به دلیل بیشتر بودن سطح خاک لخت در دامنه خاکبرداری و نیز اینکه در دامنه خاکبرداری، خاک سطحی حاصلخیز برداشت شده و خاک معدنی متراکم و سنگ باقی می‌ماند، بنابراین بذرها بر سطحی قرار دارند که هیچ عاملی، از آنها در برابر فرسایش و خطر آبهویی محافظت نمی‌کند و در نتیجه در حاشیه جاده، وضعیت پوشش گیاهی در دامنه خاکریزی به مراتب می‌تواند بهتر از دامنه خاکبرداری باشد (۱۷ و ۲۰). ذکر این نکته ضروری است که در بیشتر موارد، ذخیره آب حاصل از رواناب‌ها در دامنه خاکریزی بیشتر از دامنه خاکبرداری است و این امر سبب می‌شود که شرایط محیطی برای رشد پوشش گیاهی در این دامنه‌ها مساعدتر باشد. همچنین جابه‌جایی خاک و در

نتیجه بهم‌خوردگی خاک در دامنه خاکریزی هنگام ساخت جاده‌های جنگلی زیاد است و بنابراین مقدار اکسیژن در دسترس پوشش گیاهی در این دامنه بیشتر خواهد بود (۱۶)، در حالی که در دامنه خاکبرداری، خاک حالت طبیعی خود را بیشتر حفظ می‌کند. به علاوه افزایش بهم‌خوردگی خاک در دامنه خاکریزی، سبب افزایش استقرار زادآوری به دلیل شکستن دوره خواب بذور جنگلی از طریق خراش سطحی بذرها (۲۱) و مهیا شدن شرایط برای بذرها موجود در بانک بذر خاک می‌شود. هم‌چنین میزان نور دریافتی در دامنه خاکریزی بیشتر از دامنه خاکبرداری است (۲۲). کلیه عوامل یاد شده در ترکیب با هم سبب می‌شوند که شرایط رویشگاهی در دامنه خاکریزی مساعدتر از دامنه خاکبرداری در حاشیه جاده‌های جنگلی بوده و در نتیجه مقدار LAI در دامنه خاکریزی به طور معنی‌داری بیشتر از دامنه خاکبرداری باشد. از آنجایی که مقدار LAI در دامنه خاکریزی به طور معنی‌داری بیشتر از دامنه خاکبرداری است و هم‌چنین بین مقدار LAI و درصد باران‌ریایی رابطه‌ی مستقیم وجود دارد (۷)، بنابراین در مناطقی که LAI بیشتر است، درصد باران‌ریایی بیشتر بوده و در نتیجه احتمال فرسایش پاشمانی حاصل از قطرات باران در دامنه‌های خاکریزی کمتر از دامنه خاکبرداری است. به‌علاوه در مناطقی که LAI بیشتر است، انرژی جنبشی ذرات باران در هنگام برخورد با تاج و نیز پوشش کف جنگل کاهش خواهد یافت.

بر اساس شکل ۳، مقدار LAI در دامنه خاکبرداری در فواصل صفر و پنج متری، به طور معنی‌داری کمتر از فواصل ۱۵ متری و بیشتر از آن است (فواصل ۲۰ الی ۱۰۰ متری) و بین فواصل صفر، پنج و ۱۰ متری، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در دامنه‌ی خاکریزی نیز در فواصل صفر و پنج متری، مقدار LAI به طور معنی‌داری کمتر از فاصله ۱۵ متری و فواصل بیشتر از آن است (مانند دامنه‌ی خاکبرداری؛ شکل ۳)، هرچند بین مقدار LAI در فاصله‌ی صفر متر و ۱۰ متر، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. یکی از دلایل تفاوت عمق اثرگذار بین دامنه‌های خاکریزی و خاکبرداری می‌تواند به تفاوت در شیب ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی و در نتیجه عرض ساختمانی متفاوت دو سمت مربوط باشد، زیرا که شیب ترانشه خاکبرداری بیشتر بوده و در نتیجه طول شیب (مسافت روی شیب) کمتر است و بنابراین اثر حاشیه‌ای در دامنه خاکریزی می‌تواند در عمق بیشتری از جنگل اثر بگذارد، بنابراین یافته‌ای این پژوهش که بین مقدار LAI در فاصله صفر متر و ۱۰ متر در دامنه‌ی خاکبرداری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ولی در دامنه‌ی خاکریزی اختلاف معنی‌داری در مقدار LAI در بین فواصل صفر و ۱۰ متری مشاهده می‌شود، قابل‌توجیه است.

فاصله تاثیرگذار اندک بدست آمده از این پژوهش (حداکثر ۱۰ متر)، می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد، از جمله این که جاده‌های بخش نم‌خانه، در سال ۱۳۶۸ خورشیدی احداث شده‌اند و بوم‌سازگان حاشیه توانسته است با گذشت زمان، به تدریج خود را با این دخالت انسانی، سازگار کند. یافته‌های پژوهش‌گران نشان می‌دهد که با افزایش سن جاده، تاثیرات منفی جاده بر روی بوم‌سازگان حاشیه خود کاهش می‌یابد (۲۳). دلیل این امر می‌تواند قابلیت خودتنظیمی بوم‌سازگان و نیز سازگار شدن با آشفتگی‌ها باشد. در این راستا باید یادآور شد که بوم‌سازگان جنگل‌های هیرکانی، به دلیل شرایط اقلیمی و اداکی مناسب، توانایی بالایی در ترمیم خود دارند و بنابراین از زمان احداث جاده (۱۳۶۸ خورشیدی)، با گذشت زمان توانسته است خود را با آشفتگی حاصل از ساخت جاده سازگار کند. از سوی دیگر به دلیل درجه ۳ این جاده، تردد ماشین‌آلات در آن کمتر انجام می‌شود زیرا که هر چه جاده‌های جنگلی دارای ترافیک بیشتری باشند، اثرات منفی بوم‌شناختی آن‌ها بیشتر پدیدار می‌گردد (۲۴). در همین راستا، پژوهش‌گران به این نتیجه دست یافتند که در نقاطی که آلودگی هوا بیشتر است، سطح برگ‌ها کوچک‌تر (۲۵) و در نتیجه در مناطق با ترافیک بیشتر، به دلیل آلودگی بیشتر هوا، مقدار LAI کاهش می‌یابد. عرض بستر کم جاده‌ی مورد پژوهش (۵/۵ متر) سبب شده است که اثرات منفی بوم‌شناختی آن کاهش یابد. مرور منابع نشان می‌دهد که عرض بستر کم، فاکتور مهمی در کاهش اثرات منفی جاده است (۲۶). 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 (۱۱). برآیند این عوامل سبب شده است که بعد از ۲۶ سال از ساخت این جاده، حداکثر تاثیر جاده بر روی مقدار LAI، تنها در فواصل ابتدایی (حداکثر تا ۱۰ متر) مشاهده شود.

هرچه از جاده به سمت درون جنگل پیش برویم (تا فاصله‌ای مشخص و با فرض این که روشنه‌ی مصنوعی یا طبیعی در مسیر نباشد)، درصد تاج‌پوشش افزایش می‌یابد (۲۷). مرور منابع نشان می‌دهند که مقدار LAI با درصد تاج‌پوشش دارای رابطه‌ی مستقیم و در نهایت با حضور گونه‌های مهاجم دارای رابطه معکوس است. به دلیل آن که بین مقدار LAI و درصد تاج‌پوشش همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد، بنابراین در مناطقی که مقدار شاخص به طور معنی‌داری کمتر از داخل جنگل است، می‌توان انتظار هجوم گونه‌های گیاهی مهاجم را داشت، زیرا که عرصه‌های دارای تاج‌پوشش بازتر (حاشیه جاده)،

منابع

- 1- Karim, M.N., and Mallik, U.A., 2008. Roadside revegetation by native plants I. Road side microhabitats, floristic zonation and species traits. *Ecology Engineering*, Vol. 32, pp. 222-237.
- 2- Baziari, M., Jalilvand, H., Kouch, Y. and Hosseini, S.A., 2014. Ecological effects of forest roads on biodiversity and plant species composition (case study: Lirehsar, Gelandroud and Makarod forestry projects). *Journal of Plant Research*, 27(1): 51-41.
- 3- Naqadi, R., Pourbabaei, H. Heidari, M. and Nouri, M., 2014. Study of the effects of forest roads on vegetation cover and some chemical and physical properties of soil (case study: Shafaroud forests, series 2), *Forest Ecology of Iran*, 2(3): 64-49.4.
- 4- Jin, M., and Zhang, D.L., 2002. Observed variations of leaf area index and its relationship with surface temperatures during warm seasons. *Meteorology and Atmosphere Physics*, Vol. 80, pp. 117-129.
- 5- Lucas, D.D.P., Heldwein, A.B., Hinnah, F.D., Maladaner, I.C., and Loose, L.H., 2015. Estimation of leaf area index in the sunflower as a function of thermal time. *Revista Ciência Agronômica*, Vol. 46, pp. 404-411.
- 6- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Coppin, P., Muys, B., Weiss, M., and Baret, F., 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I, Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 121, pp. 19-35.
- 7- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan II, J.T., Pypker, T.G., and Dunkerley, D., 2015. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 201, pp. 76-85.
- 8- Hanssen, K.H., and Solberg, S., 2007. Assessment of defoliation during a pine sawfly outbreak: Calibration of airborne laser scanning data with hemispherical photography. *Forest Ecology and Management*, Vol. 250, pp. 9-16.
- 9- Behera, S.K., Behera, M.A., and Tuli, R., 2015. An indirect method of estimating leaf area index in a tropical deciduous forest of India. *Ecological Indicators*, Vol. 58, pp. 356-364.
- 10- Yuan, T., Li, W., Sun, Y., and Xue, L., 2015. Study of subtropical forestry index retrieval using terrestrial laser scanning and hemispherical photography. *Mathematical Problems in Engineering*, DOI:10.1155/2015/206108.

در مقایسه با فواصل داخل جنگل، بیشتر در معرض هجوم این گونه‌ها قرار دارند (۲۸).

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد که بهترین مدل رگرسیونی برازش داده شده بین فاصله از جاده با مقدار LAI در هر دو دامنه‌ی خاکبرداری و خاکریزی، لگاریتمی دوطرفه و صعودی است، یعنی با افزایش فاصله از جاده، مقدار LAI در ابتدا روندی افزایشی با شیب شدید داشته و سپس شیب روند افزایشی، کم می‌شود. امروزه استفاده از مدل‌های رگرسیونی در بسیاری از علوم جنگل کاربرد دارند و سبب شده است که هزینه، نیروی کار و زمان اندازه‌گیری‌ها کاهش یافته و همچنین سرعت کار افزایش یابد. در صورت اثبات عملکرد مناسب هر مدل (با توجه به پارامترهای کارایی مدل، اریب‌سنجی و خطاسنجی در مدل‌های تک متغیره؛ (۷))، می‌توان در برآورد مقادیر LAI در هر نقطه از جنگل (با عنایت به دامنه‌ی اطمینان آن مدل) از مناسب‌ترین مدل استفاده کرد. از آنجایی اطلاعات در زمینه‌ی مقدار LAI در داخل کشور کم است، بنابراین می‌توان استفاده از این مدل‌ها را در دیگر بوم‌سازگان جنگل‌های خزری توصیه کرد، هرچند قبل از استفاده، نیاز به واسنجی این مدل‌ها در هر منطقه لازم و ضروری است (۷).

در مرحله ساخت جاده یا در زمان استفاده از آن، آسیب‌های زیست‌محیطی آن بر جنگل نمایان می‌شوند. امروزه با پیدایش علم اکولوژی جاده، در نظر گرفتن مسائل بوم‌شناختی در کنار ملاحظات فنی جاده‌سازی (مانند فاصله زهکش‌ها، شیب جاده، طراحی قوس‌ها و پیچ‌ها)، سبب شده است که اثرات منفی زیست‌محیطی جاده‌ها کمتر از گذشته شود. تخریب و بهم‌خوردگی عوامل زیستی و غیرزیستی ناشی 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 اثرات زیست‌محیطی جاده‌های جنگلی بر بوم‌سازگان حاشیه، بررسی مقدار LAI از حاشیه جاده به عمق جنگل است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، جاده‌های درجه ۳ جنگلی در دامنه‌ی خاکبرداری حداکثر تا فاصله پنج متر و در دامنه‌ی خاکریزی حداکثر تا فاصله ۱۰ متر بر مقدار LAI تاثیر گذاشته‌اند. به دلیل این که این جاده جز جاده‌های درجه ۳ در جنگل خیرود به شمار می‌آید و تردد در آن به ندرت انجام می‌گیرد، بنابراین جنگل در این منطقه با مرور زمان توانسته است اثرات منفی جاده‌سازی در جنگل را تعدیل نماید. در نهایت می‌توان بیان کرد که با رعایت ملاحظات فنی و در نظر گرفتن مسائل بوم‌شناختی در هنگام ساخت، تعمیر و نگهداری جاده، می‌توان انتظار داشت که تا حد زیادی اثرات منفی جاده بر بوم‌سازگان حاشیه کاهش یابد.

- 11- Berenji Tehrani. F, Majnoonian. B, Abdi. A and Zahedi Amiri. Q. A, 2014. The effect of forest roads on plant species diversity, organic matter and organic carbon content (case study: Khairud Forest, Noshahr), *Journal of Sustainable Forest Development*, 1(1): 29-43.
- 12- Najafi, A., Torabi, M., Nowbakht, A.A., Moafi, M., Eslami, A., and Sotoudeh Foumani, B., 2012. Effect of forest roads on adjacent tree regeneration in a mountainous forest. *Annals of Biological Research*, Vol. 3, pp. 1700-1703.
- 13- Avon, C., Berge, L., Dumas, Y., and Dupouey, J-L., 2010. Does the effect of forest roads extend a few meters or more into the adjacent forest? A study on understory plant diversity in managed oak stands. *Forest Ecology and Management*, Vol. 259, pp. 1546-1555.
- 14- Glatthorn, J., and Beckschafer, P., 2014. Standardizing the protocol for hemispherical photographs: accuracy assessment of linearization algorithms. *Plos One*, DOI: 10.1371/journal.pone.011192.
- 15- Olivas, P.C., Oberbauer, S.F., Clark, D.B., Clark, D.A., Ryan, M.G., O'Brien, J.J. and Ordonez, H., 2013. Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area index across a tropical rain forest landscape. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 117, pp. 110-116.
- 16- Najafi. A, Hosseini. S.M, Ezzati. S, Torabivarki. M and Fakhari. M.A, 2010. Comparison of tree regeneration and biodiversity in the excavation trench and the backfilling of a forest road with increasing distance from it (Case study: Chamestan and Lavij forests, Noor), *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research*, 17(4): 139-152.
- 17- Hosseini, S.A., 2010. The effect of forest road clearing limit on regeneration composition. *Agriculture and Biology Journal of North America*, Vol. 1, pp. 487-490.
- 18- Roshanzamir. A. and Nikove. M., 2012. Comparison of vegetation cover of excavation and landfill slopes using AutoCAD software. Case study: Shafarud forest roads, Guilan province. *First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development*, 5 p.
- 19- Lotfalian, M., Riahifar, N., Fallah, A., and Hodjati, S.M., 2012. Effects of roads on understory plant communities in a broadleaved forest in Hyrcanian zone. *Journal of Forest Science*, Vol. 58, pp. 446-455.
- 20- Cerda, A., 2007. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. *Science of the Total Environment*, Vol. 378, pp. 151-155.
- 21- Clemens, J., Jones, P.G., and Gilbert, N.H., 1977. Effect of seed treatments on germination in acacia. *Australian Journal of Botany*, Vol. 25, pp. 269-274.
- 22- Olander, L.P., Scatena, F.N., and Silver, W.L., 1997. Impacts of disturbance initiated by road construction in a subtropical cloud forest in the liquidly experimental forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, Vol. 109, pp. 33-49.
- 23- Flory, S.L., and Clay, K., 2006. Invasive shrub distribution varies with distance to roads and stand age in eastern deciduous forests in Indiana, USA. *Plant Ecology*, Vol. 184, pp. 131-141.
- 24- Van Der Ree, R., Jaeger, J.A.G., Van Der Grift, E., and 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*, Vol. 16, pp. 48.
- 25- Kulshreshtha, K., Rai, A., Mohanty, C.S., Roy, R.K., and Sharma, S.C., 2009. Particulate pollution mitigating ability of some plant species. *International Journal of Environmental Research*, Vol. 3, pp. 137-142.
- 26- Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, A.P., Dale, V.H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C.R., Heanue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T., and Winter, T.C., 2003. *Road Ecology-Science and Solutions*, Island Press, Washington, D.C., USA, 504 pp.
- 27- Delgado, J., Arroyo, D. NL., Arevalo, J.R., and 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*, Vol. 81, pp. 328-340.
- 28- Parendes, L.A., and 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*, Vol. 14, pp. 64-75.