

مقایسه مقدار شاخص سطح برگ در فواصل مختلف حاشیه جاده‌های احداث شده در جنگل‌های هیرکانی (بررسی موردی: تیپ ممرز - راش جنگل خیرود، مازندران)

آزاده دلجوئی^{1*}، سید محمد معین صادقی² و احسان عبدی³

- 1- دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- 2- دانشجوی دکتری جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- 3- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: 95/05/27

تاریخ دریافت: 95/01/20

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی مقدار LAI در حاشیه جاده‌های اصلی جنگلی و مقایسه آن با فواصل مختلف در تیپ ممرز - راش است. منطقه مورد بررسی بخش نم‌خانه جنگل خیرود انتخاب شد و مقدار LAI در 16 خط‌نمونه به طول 100 متر از حاشیه دو طرف جاده تا درون جنگل (در هر خط‌نمونه 9 نقطه در فواصل صفر (حاشیه جاده)، پنج، 10، 15، 20، 30، 45، 60 و 100 متری)، با روش عکس‌برداری نیم‌کروی مورد عکس‌برداری قرار گرفتند. نتایج تحلیل واریانس نشان داد تأثیر فاصله از جاده بر مقدار LAI معنی‌دار است ($P < 0/001$). بر اساس نتایج آزمون توکی، مقدار LAI در فاصله 100 متری به‌طور معنی‌داری بیشتر از فواصل صفر، پنج، 10 و 15 متری از جاده‌های جنگلی است ($P < 0/05$). بهترین رابطه برآزش بین مقدار LAI و فاصله از جاده بر اساس مقادیر R^2_{adj} (0/60) و درصد RMSE (9/13)، تابع توانی مثبت به‌دست آمد. نتایج نشان داد که جاده‌های اصلی جنگلی تا فاصله 15 متری، بر مقدار LAI تأثیر گذاشته‌اند؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که ترافیک و عرض بستر کم و پیروی از اصول همگام با طبیعت در ساخت جاده‌های خیرود، سبب شده است که مقدار تنش وارده به بوم‌سازگان کاهش یافته و تعادل بوم‌شناختی کمتر دست‌خوش تغییر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حاشیه جاده، خط‌نمونه، شاخص سطح برگ، عکس‌برداری نیم‌کروی.

(Johnson *et al.*, 2003). جاده‌ها زیرساخت‌هایی هستند که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر بوم‌سازگان حاشیه خود تأثیر می‌گذارند (Avon *et al.*, 2010). این امر سبب شده که نگرانی‌ها در رابطه با اثرهای بوم-شناختی جاده‌ها بر روی بوم‌سازگان‌ها افزایش یابد. اکولوژی جاده از زمینه‌های نوظهور علوم مرتبط با حمل‌ونقل و اکولوژی است و امروزه در فرآیند طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی، بحث‌های بوم‌شناختی جاده نیز در کنار عوامل فنی، اقتصادی و اجتماعی مورد توجه قرار می‌گیرد. یکی از شدیدترین تغییرات مرتبط با ساخت جاده در بوم‌سازگان جنگل، تغییر در مقدار نور ورودی در اثر تغییر سطح تاج‌پوشش است (Naghdi *et al.*, 2014) که سبب تغییر در مقدار LAI نیز می‌شود. هرچند که تاکنون، تغییرات مقدار LAI در حاشیه جاده و در فواصل مختلف به سمت درون جنگل بعد از ساخت جاده، مورد آزمون قرار نگرفته است. در پژوهش‌های مختلف، اندازه اثرگذاری جاده بر روی پوشش علفی (Karamirad, 2013)، زادآوری (Deljouei *et al.*, 2014; Berenji Tehrani *et al.*, 2015)، خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک (Salimi *et al.*, 2016)، رویش درختان (Fahrig and Rytwinski, 2009) و جمعیت انواع جانوران (Rytwinski, 2009) مورد بررسی قرار گرفته است، ولی در ارتباط با تأثیری که احداث جاده می‌تواند بر مقدار LAI بگذارد، تاکنون پژوهشی انجام نگرفته است. لازم به ذکر است از مطالعاتی که در داخل کشور اقدام به تعیین مقدار LAI در بوم‌سازگان‌های جنگلی کرده‌اند می‌توان به پژوهش‌های (Babaei Kafaki, Adl, 2007) و همکاران (2009)، و همکاران (2009)، Vahedi و همکاران (2009)، Khademi و همکاران (2011)، Sagheb-Talebi و همکاران (2012)، Rouhi Moghaddam (2015) و Sadeghi و همکاران (2016) اشاره کرد.

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین بوم‌سازگان‌های طبیعی شناخته می‌شوند که ارائه‌دهنده خدمات زیادی مانند تولید اکسیژن مورد نیاز موجودات زنده، تعدیل و تنظیم دمای هوای کره زمین، تغذیه سفره آب‌های زیرزمینی، حفاظت خاک و جلوگیری از فرسایش آن، جذب گازهای آلاینده محیط‌زیست، پناهگاه حیات وحش، تولیدات چوب، محصولات فرعی جنگلی و گیاهان دارویی هستند. لازمه مدیریت این بوم‌سازگان، آگاهی از جنبه‌های مختلف آن است. یکی از ابعاد ناشناخته در جنگل‌های کشور، اطلاع داشتن از مقادیر شاخص سطح برگ (LAI) در قسمت‌های مختلف این بوم‌سازگان است. LAI دارای تعاریف متعددی است که برای درختان پهن‌برگ، به صورت سطح کل یک‌طرف از تمامی برگ‌های درختان (مترمربع) در واحد سطح زمین (مترمربع) و برای درختان سوزنی‌برگ نیمی از سطح تمامی سوزن‌ها (مترمربع) در واحد سطح زمین (مترمربع) تعریف می‌شود (Jonckheere *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2015).

LAI از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری بوم-سازگان‌های جنگلی شناخته می‌شود که به مدیران و پژوهش‌گران منابع طبیعی، اطلاعات زیادی در ارتباط با مقادیر فتوسنتز (Pekin and Macfarlane, 2009)، رویش (Breda, 2003)، تبخیر و تعرق (Yan *et al.*, 2012)، باران ربایی (Sadeghi *et al.*, 2014, 2015)، نور ربایی (Poblete-Echeverria *et al.*, 2015)، حاصلخیزی رویشگاه (Wang, 2006; Arias, 2007)، تولید خالص اولیه (Asner *et al.*, 2003) و ضریب تبادل انرژی و کربن بین پوشش گیاهی و هوا سپهر (Pekin and Macfarlane, 2009) ارائه می‌دهد؛ بنابراین حفظ این مشخصه در حد مطلوب به کارایی بهتر و تولید بیشتر بوم‌سازگان‌های جنگلی کمک می‌کند

روش‌های اندازه‌گیری LAI، به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم (شامل روش‌های برآوردی زمینی و سنجش‌ازدور) تقسیم‌بندی می‌شود. روش اندازه‌گیری مستقیم مقدار LAI، روشی قدیمی است که در آن با برداشت برگ‌های درختان، سطح برگ به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم، مقدار LAI توسط دستگاه‌های پیشرفته و نرم‌افزار، تصاویر ماهواره‌ای و یا از طریق شاخص‌های درخت (مثل سن درخت و قطر درخت) به‌دست می‌آید و امروزه کاربرد وسیعی در مطالعات جنگل پیدا کرده است (*Vyas et al.*, 2010). در حال حاضر پرکاربردترین روش اندازه‌گیری غیرمستقیم مقدار LAI، روش عکس‌برداری نیم‌کروی (Hemispherical Photography) با عدسی چشم ماهی (Fisheye lens) است که امروزه در بسیاری از پژوهش‌ها از آن استفاده می‌شود (*Moeser et al.*, 2014؛ *Basuki*, 2015؛ *Chianucci et al.*, 2015؛ *Öztürk and Bolat*, 2016؛ *Heiskanen et al.*, 2015).

مواد و روش‌ها

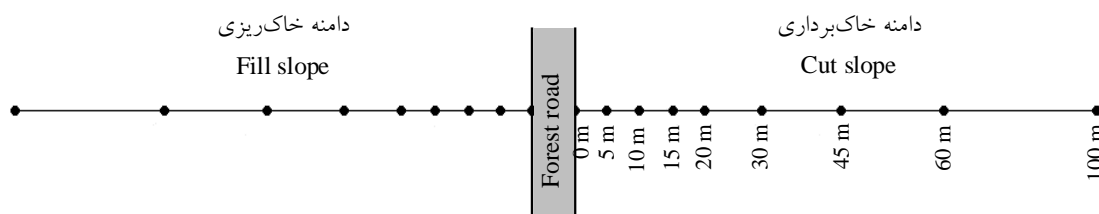
منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در بخش نم‌خانه، جنگل آموزشی پژوهشی دانشگاه تهران (جنگل خیرود) واقع در هفت کیلومتری شرق شهرستان نوشهر و در حوضه اداره کل منابع طبیعی نوشهر است که در عرض جغرافیایی شمالی $36^{\circ} 34'$ تا $36^{\circ} 37'$ و طول جغرافیایی شرقی $51^{\circ} 32'$ تا $51^{\circ} 35'$ واقع شده است. این بخش با دارا بودن مساحت 778 هکتاری، دارای کمینه ارتفاع از سطح دریا 350 متر و بیشینه ارتفاع از سطح دریا 1290 متر است. از نظر فیزیوگرافی، بخش نم‌خانه جز تپ مرتفع کوهستانی است که در اثر فعالیت‌های کوه‌زایی به وجود آمده است. این بخش از سه واحد سنگ‌شناسی پوشیده شده است که واحد غالب آن از آهک و آهک دولومیتی تشکیل شده است و تشکیلات زمین‌شناختی آن مربوط به دوران ژوراسیک علیاست. رژیم حرارتی خاک این منطقه مزیک تعیین شده است. تپ ممرز-

روش‌های اندازه‌گیری LAI، به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم (شامل روش‌های برآوردی زمینی و سنجش‌ازدور) تقسیم‌بندی می‌شود. روش اندازه‌گیری مستقیم مقدار LAI، روشی قدیمی است که در آن با برداشت برگ‌های درختان، سطح برگ به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم، مقدار LAI توسط دستگاه‌های پیشرفته و نرم‌افزار، تصاویر ماهواره‌ای و یا از طریق شاخص‌های درخت (مثل سن درخت و قطر درخت) به‌دست می‌آید و امروزه کاربرد وسیعی در مطالعات جنگل پیدا کرده است (*Vyas et al.*, 2010). در حال حاضر پرکاربردترین روش اندازه‌گیری غیرمستقیم مقدار LAI، روش عکس‌برداری نیم‌کروی (Hemispherical Photography) با عدسی چشم ماهی (Fisheye lens) است که امروزه در بسیاری از پژوهش‌ها از آن استفاده می‌شود (*Moeser et al.*, 2014؛ *Basuki*, 2015؛ *Chianucci et al.*, 2015؛ *Öztürk and Bolat*, 2016؛ *Heiskanen et al.*, 2015).

از مزایای روش عکس‌برداری نیم‌کروی می‌توان به‌دقت و صحت بالای آنها اشاره کرد، به‌طوری‌که در بسیاری از پژوهش‌ها از داده‌های حاصل از این روش به‌عنوان داده‌واقعیت زمینی استفاده می‌شود (*Montero et al.*, 2008؛ *Bolibok*, 2010؛ *Yuan et al.*, 2015؛ *Heiskanen et al.*, 2015). امروزه مدیران و برنامه‌ریزان جنگل از شاخص‌های بوم‌شناختی برای شناخت، پایش و ارزیابی تغییرات بوم‌سازگان‌ها استفاده می‌کنند. این موضوع برای کشور ایران که از یک‌سو منابع طبیعی آن بر اثر عوامل مختلف دستخوش تخریب و ناپایداری و از سوی دیگر فقدان اطلاعات پایه، امکان برقراری سامانه پایش منابع را با مشکل جدی روبرو ساخته، از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجاکه LAI یک شاخص بوم‌شناختی محسوب می‌شود و به‌عنوان شاخص تنش در جنگل نیز استفاده می‌شود (*Zhang*

خطنمونه، مشابه باشد. کلیه خطنمونه‌ها در مناطقی با ارتفاع از سطح دریا 850 تا 950 متر، شیب 2 تا 15 درصد و جهت دامنه جنوبی، در تیپ ممرز-راش برداشت شدند. در صورتی که خطنمونه با روشن‌ها (طبیعی یا ایجادشده) تداخل داشت، خطنمونه حذف و به نقطه بعدی منتقل می‌شد. این خطنمونه‌ها به صورت عمود بر محور وسط جاده قرار داشتند. بر اساس شکل 1، در طول هر خطنمونه، 9 نقطه با فواصل مختلف از حاشیه جاده، شامل صفر متری (حاشیه جاده)، پنج، 10، 15، 20، 30، 45، 60 و 100 متری انتخاب شد (Avon *et al.*, 2010) و در این فواصل، عکس‌برداری از تاج-پوشش با گرفتن چهار عکس در هر نقطه انجام شد (Eckrich *et al.*, 2013). کلیه عکس‌برداری‌ها در زمان بدون تابش مستقیم در آسمان انجام گرفت (Kiasari *et al.*, 2010).



شکل 1- موقعیت نقاط عکس‌برداری شده در فواصل مختلف از جاده به داخل جنگل در یک خطنمونه 100 متری
Figure 1. The position of photographed points in different distances from the roadside into forest interior, through a 100 m transect

نرم‌افزار GLA نسخه 2/0، مورد پردازش قرار گرفته و مقدار LAI بر اساس حلقه شماره چهار در این نرم‌افزار محاسبه شد (Olivas *et al.*, 2013).

تحلیل‌های آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی داده‌ها توسط آزمون لون بررسی شد. سپس برای بررسی تفاوت معنی‌دار بین مقدار LAI در فواصل مختلف جاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. به منظور انتخاب بهترین مدل آماری برازش داده شده بین

راش به‌عنوان تیپ غالب بخش نم‌خانه از جنگل خیرود شناخته می‌شود و گونه‌های پلت و توسکا نیز در این بخش وجود دارند. طول جاده‌های احداث شده در این بخش، 15/6 کیلومتر است (Deljouei, 2013).

روش پژوهش

پس از تهیه نقشه تیپ بخش نم‌خانه و بررسی جاده‌های اصلی جنگلی، حریم 100 متری در اطراف این جاده‌ها ایجاد شد تا اطمینان حاصل شود اثر متقابل جاده‌ها وجود ندارد و تیپ جنگل در داخل حریم‌ها یکسان است. پس از اطمینان از حصول این شرایط، 16 خطنمونه به‌صورت تصادفی به طول 100 متر (فاصله هر خطنمونه از خطنمونه بعدی: حداقل 50 متر) از حاشیه جاده تا درون جنگل انتخاب شدند. در انتخاب خطنمونه‌ها سعی بر آن شد که شرایط محیطی (شیب و جهت) و قطر متوسط گونه‌های اطراف هر جفت

برای عکس‌برداری از دوربین عکاسی دیجیتال Canon مدل EOS 6D (ساخت ژاپن) استفاده شد که بر روی آن، عدسی چشم ماهی Canon مدل EF 8-15mm f/4L (ساخت ژاپن) بافاصله کانونی هشت میلی‌متر نصب شده بود. دوربین بر روی سه‌پایه که دارای تراز بود، مستقر شد و در هر عکس‌برداری، از افقی بودن محل استقرار دوربین اطمینان حاصل شد. عدسی چشم ماهی یک تصویر دایره‌ای را با زاویه‌ای 180 درجه تولید می‌کند که آسمان در مرکز و افق در حاشیه تصویر نشان داده می‌شود. در نهایت تصاویر گرفته‌شده توسط

در جدول 1، آماره‌های کمی مقادیر LAI، در جاده‌های جنگلی اصلی نشان داده شده است. بیشترین مقدار LAI به دست آمده 4/32 بود که در فاصله 100 متری از جاده مشاهده شد. هم‌چنین کمترین مقدار LAI برآورد شده 1/45، در حاشیه جاده به دست آمد. نتایج حاصل از تحلیل واریانس نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین فاصله از جاده با مقدار LAI است ($F = 26/541$ ؛ $P < 0/001$). بر اساس جدول 1 و نتایج آزمون توکی، مقدار LAI در فاصله 100 متری به طور معنی‌داری بیشتر از فواصل صفر، پنج، 10 و 15 متری از جاده‌های جنگلی است ($P < 0/05$). هم‌چنین مقدار LAI برآورد شده در فاصله 15 متری به طور معنی‌داری بیشتر از فواصل صفر و پنج متری است ($P < 0/05$). هم‌چنین مقدار LAI در فاصله پنج متری بیشتر از صفر متری محاسبه شد ($P < 0/05$).

در جدول 2، روابط مختلف مدل‌های رگرسیونی تک متغیره (مدل‌های نمایی، خطی، لگاریتمی، توانی و دوجمله‌ای) بین فاصله از جاده و مقدار LAI ارائه شده است. بهترین رابطه برازش داده شده بین مقدار LAI و فاصله از جاده بر اساس مقادیر R^2_{adj} (0/60) و درصد $RMSE$ (9/13)، تابع توانی مثبت به دست آمد (شکل 2).

جدول 1- آمار توصیفی مقادیر شاخص سطح برگ (LAI) در فواصل مختلف از جاده اصلی جنگلی، در تیپ ممرز-راش جنگل خیرود. حروف a, b, c, d اشاره به معنی‌دار بودن اختلاف مقادیر میانگین LAI در فواصل مختلف در سطح اطمینان 95 درصد دارند.

Table 1. Descriptive analysis leaf area index (LAI) amounts in different distances from the forest main road in hornbeam-beech forest type, Kheyroud forest. Values with different letters denote that there are significant differences between mean values of LAI in different distances at $p < 0.05$.

درصد ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	کمینه Min.	بیشینه Max.	میانگین (\pm خطای معیار) Mean (\pm Standard error)	فاصله از جاده Distance from road
11.12	1.45	2.62	2.01 ^d (± 0.13)	کنار جاده Roadside (zero)
14.94	2.09	3.95	2.66 ^c (± 0.07)	5
12.25	2.40	3.85	3.05 ^{bc} (± 0.10)	10
10.53	2.11	3.58	3.11 ^b (± 0.06)	15
8.12	2.83	3.77	3.26 ^{ab} (± 0.13)	20

فاصله جاده و مقدار LAI، از مدل‌های رگرسیونی تک متغیره (مدل‌های نمایی، خطی، لگاریتمی، توانی و دوجمله‌ای) در محیط نرم‌افزار Curve Expert (نسخه 1/4) استفاده شد و در نهایت از معیارهای ضریب تبیین تعدیل شده (R^2_{adj}) و درصد ریشه میانگین مربع خطا ($RMSE$)، برای دستیابی به بهترین مدل رگرسیونی تک متغیره استفاده شد (رابطه 1؛ Sadeghi, 2014).

$$RMSE = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، N تعداد داده مشاهده شده، P_i مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل (مقدار برآورد شده) و O_i مقدار مشاهده شده (مقدار اندازه‌گیری شده) را نشان می‌دهند. ضریب R^2_{adj} نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیر وابسته به وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود و مقدار آن بین صفر تا یک است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، برازش مدل بهتر خواهد بود. درصد $RMSE$ ، شاخصی بسیار پرکاربرد در برآورد خطای مدل است که مقدار آن صفر یا بزرگ‌تر از آن است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، خطای مدل کم‌تر است (Sadeghi et al., 2015).

نتایج

ادامه جدول 1.

Continued table 1.

درصد ضریب تغییرات	کمینه	بیشینه	میانگین (\pm خطای معیار)	فاصله از جاده (متر)
Coefficient of variation (%)	Min.	Max.	Mean (\pm Standard error)	Distance from road (m)
5.12	3.00	3.46	3.27 ^{ab} (± 0.09)	30
8.17	2.83	3.76	3.30 ^{ab} (± 0.07)	45
8.04	2.83	3.75	3.32 ^{ab} (± 0.06)	60
9.04	3.15	4.32	3.56 ^a (± 0.07)	100
9.70	1.45	4.32	3.06 (± 0.06)	میانگین* Average*

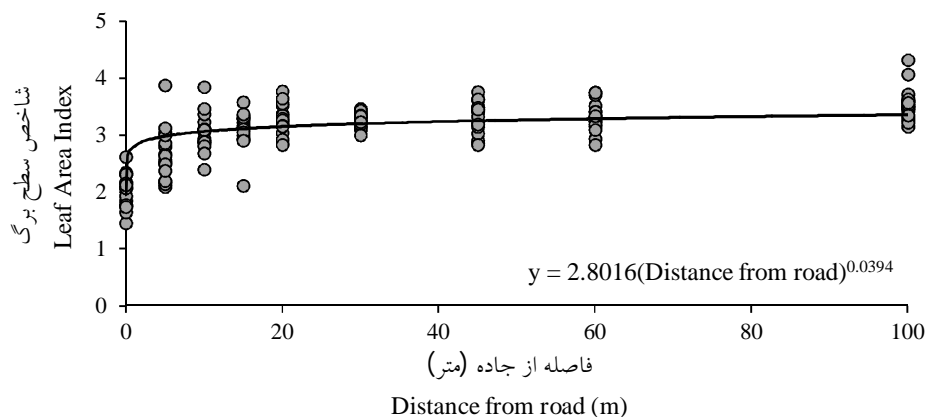
* منظور میانگین مقادیر LAI در داخل جنگل است.

* Represent that the mean values of LAI from 5 m distance to 100 m.

جدول 2- روابط رگرسیونی تک متغیره بین مقدار شاخص سطح برگ و فاصله از جاده اصلی جنگلی (متر)

Table 2. Single variable regression relationships between LAI and distance from main forest road (m)

RMSE (%)	R ² _{adj}	معادله Equation	نوع تابع رگرسیونی Regression type
21.72	0.30	LAI = 0.009x + 2.783	Linear
15.61	0.42	LAI = -0.001x ² + 0.027x + 2.564	Binomial
9.13	0.60	LAI = 2.802x ^{0.039}	Power
24.36	0.28	LAI = 2.737e ^{0.003x}	Exponential
11.89	0.51	LAI = 0.092 Ln(x) + 2.916	Logarithmic



شکل 2- رابطه بین مقدار LAI (بدون واحد) و فاصله از جاده اصلی جنگلی (متر)، جنگل خیرود

Figure 2. The relationship between Leaf Area Index (LAI, unit less) and distance from main forest road (m), Kheyrud forest

بحث

خیرود و از سوی دیگر کم بودن ترافیک و عرض بستر در این جاده سبب کاهش به هم خوردن تعادل بوم-شناختی بومسازگان شده است. هماهنگ بودن جاده با طبیعت، به معنای حجم کمتر عملیات خاک برداری و خاک ریزی است که در تأیید بحث، اصول صحیح

نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه اثرگذاری جاده، بر مقدار LAI، تنها تا فاصله 15 متری از جاده، ملموس است. از یک سو، رعایت استانداردهای جاده سازی (مانند فاصله زهکش ها، شیب جاده، طراحی قوس ها و پیچ ها) در جاده مورد بررسی در بخش نم خانه جنگل

در زمینه نور ربایی، پژوهش‌های متعددی نشان داد که هر چه از جاده به سمت درون جنگل پیش برویم (تا فاصله‌ای مشخص و با فرض این‌که روشن‌انسان‌ساخت یا طبیعی در مسیر نباشد)، مقدار نور ربایی به دلیل افزایش درصد تاج‌پوشش و نیز مقدار LAI، افزایش می‌یابد (Delgado *et al.*, 2007) که با یافته‌های این پژوهش مشابه است.

نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین مقدار LAI در تپ ممرز-راش 3/06 است، ولی از آنجا که تاکنون پژوهشی در ارتباط با بررسی روند تغییرات مقادیر LAI با فاصله از جاده انجام نشده، به همین دلیل، نتایج این پژوهش قابل‌مقایسه با دیگر پژوهش‌ها نبود. هرچند پژوهش‌های مختلف، نشان می‌دهند که میانگین مقدار LAI در تپ‌های مختلف جنگلی، بسیار در نوسان است، به طوری که مقدار LAI می‌تواند بین 0/82 (توندر) تا 9/91 (جنگلکاری‌های مناطق گرمسیری) در نوسان باشد (Asner *et al.*, 2003). برای نمونه، Sagheb-Talebi و همکاران (2012) در دو توده ممرز-راش در خیرود، مقدار LAI را 1/4-1/7 به دست آوردند. از دلایل تفاوت مقادیر برآورد شده در پژوهش Sagheb-Talebi و همکاران (2012) با این پژوهش، نوع دوربین استفاده شده در تحقیق مذکور با این پژوهش است (Englund *et al.*, 2000)، زیرا در آن پژوهش، از دوربین آنالوگ استفاده شد، حال اینکه در این پژوهش از دوربین دیجیتال استفاده شد و در پژوهش‌های مقایسه‌ای، کارایی بهتر استفاده از دوربین‌های دیجیتال نسبت به دوربین‌های آنالوگ در عکس‌برداری نیم‌کروی به اثبات رسیده است (Englund *et al.*, 2000). هم‌چنین، پژوهش‌گران بر این عقیده‌اند که مقایسه مقدار LAI در پژوهش‌های مختلف، به دلیل اینکه روش‌ها و دستگاه‌های متفاوتی در پژوهش استفاده می‌شود و هم-

ساخت جاده‌های خیرود، برای نمونه، Deljouei (2013) با بررسی تأثیر جاده‌های اصلی و فرعی جنگلی بر تنوع گونه‌های علفی بخش نم‌خانه، به این نتیجه رسید که بیشترین تأثیر جاده‌های جنگلی بر پوشش گیاهی تا عمق 10 متری جنگل است. در پژوهشی دیگر، Karamirad (2013) به بررسی اثر فاصله از جاده جنگلی بر تنوع پوشش کف، تنوع گونه‌ای درختی و استقرار زادآوری در بخش‌های پاتم و نم‌خانه جنگل خیرود پرداخت و به این نتیجه رسید که تأثیر جاده‌های جنگلی بر پوشش گیاهی تا عمق پنج‌متری از لبه جاده است؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که ترافیک و عرض بستر کم و پیروی از اصول همگام با طبیعت در ساخت جاده‌های خیرود (Berenji Tehrani *et al.*, 2015)، سبب شده که مقدار تنش وارد شده به بوم‌سازگان (تنش حاصل از ساخت جاده) کاهش یابد.

هم‌چنین ثابت شده است که در جنگل‌های طبیعی، با افزایش سن جاده، تأثیرهای منفی جاده بر روی بوم‌سازگان حاشیه خود کاهش می‌یابد (Flory and Clay, 2006) که دلیل آن می‌تواند قابلیت خودتنظیمی بوم‌سازگان و نیز سازگار شدن با آشفستگی‌ها باشد. از آنجایی که جاده‌های بخش نم‌خانه، در سال 1368 خورشیدی احداث شده‌اند، بنابراین انتظار می‌رفت که فاصله اثرگذاری جاده بر روی مقادیر LAI نیز تا فواصل ابتدایی باشد، هرچند در این زمینه نیاز به تحقیقات بیشتری وجود دارد. علاوه بر آن، توانایی بالای بوم-سازگان جنگل‌های هیرکانی در ترمیم خود را نیز نباید نادیده گرفت که سبب شده تأثیرهای ساخت و نگهداری جاده بعد از 26 سال از ساخت آن بر روی مقدار LAI، تنها در فواصل ابتدایی (تا 15 متر) مشاهده شود و به‌مرور زمان، بوم‌سازگان توانسته است خود را ترمیم نماید.

روندی افزایشی با شیب شدید داشته و سپس شیب روند افزایشی، بسیار کم می‌شود. از آنجایی اطلاعات در زمینه مقدار LAI در داخل کشور کم است، بنابراین می‌توان استفاده از این مدل را در دیگر بوم‌سازگان جنگل‌های هیرکانی توصیه کرد، هرچند قبل از استفاده، واسنجی این مدل‌ها در هر منطقه لازم و ضروری است (Sadeghi, 2014).

نتایج این پژوهش نشان داد که جاده‌های اصلی جنگلی تا فاصله 15 متری، بر مقدار LAI تأثیر گذاشته‌اند، به طوری که مقدار LAI تا عمق 15 متری، به طور معنی‌داری کمتر از فاصله 100 متری بود. از آنجایی که شروع پژوهش‌های اکولوژی جاده در داخل کشور در مقایسه با خارج، با یک وقفه 20 ساله آغاز شده است و پژوهشی در ارتباط با دامنه اثرگذاری جاده‌های جنگلی بر مقدار LAI انجام نشده است، نیاز است در مطالعات آتی، به بررسی فاصله تأثیرگذار جاده‌های با عرض‌های مختلف و همچنین سن متفاوت ساخت، بر روی مقادیر LAI پرداخت. همچنین لازم است در بخش‌های مختلف جاده‌ها (مانند قوس‌ها و پیچ‌ها) به بررسی مقدار اثرگذاری جاده‌سازی بر روی مقادیر LAI پرداخته شود.

References

- Adl, H.R., 2007. Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4): 417-426. (In Persian)
- Arias, D., 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica, *Forest Ecology and Management*, 247(1): 185-193.
- Asner, G.P., J.M.O. Scurlock & J.A. Hicke, 2003. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies, *Global Ecology and Biogeography*, 12(3): 191-205.

چنین زمان نمونه‌برداری‌ها متفاوت است (منظور زمان‌های مختلف در دوره برگ‌دار)، به سبختی ممکن است (Scurlock et al., 2001). در همین راستا، (Wilson and Baldocchi 2000) عنوان نمودند که روند تغییرات مقدار LAI در جنگل‌های خزان‌کننده پهن‌برگ، وابستگی بسیار زیادی به روز اندازه‌گیری دارد، به طوری که مقدار LAI می‌تواند در جنگل‌های خزان‌کننده پهن‌برگ بین 0/9 (در اوایل اسفند) تا 5/8 (ماه‌های فصل تابستان) در نوسان باشد. از سوی دیگر، پژوهش Sagheb-Talebi و همکاران (2012) اشاره نشده است که در چه فاصله‌ای از جاده، عکس‌برداری‌ها انجام شده است که برآیند این عوامل می‌تواند سبب تفاوت بین مقادیر اشاره‌شده در این دو پژوهش باشد. استفاده از عدسی چشم ماهی و روش عکس‌برداری نیم کروی، به کاربر اجازه می‌دهد که کسر شکاف نور در همه جهت‌ها ارزیابی شود که این امر سبب افزایش دقت در برآورد مقدار LAI می‌شود؛ زیرا عدسی چشم ماهی یک تصویر دایره‌ای را با زاویه دید 180 درجه تولید می‌کند (Englund et al., 2000)؛ بنابراین در پژوهش‌های آتی در کشور استفاده از دوربین‌های دیجیتال و این فن، توصیه می‌شود. همچنین درصد ضریب تغییرات در این پژوهش، در فواصل مختلف، کمتر از 15 درصد است که نشان می‌دهد تعداد 16 ترانسکت، برای نمونه‌برداری، قابل قبول است، زیرا که حدود قابل قبول برای نمونه‌برداری در علوم جنگل، درصد ضریب تغییرات کمتر از 30 درصد است (Hoshmand, 2006).

نتایج حاصل از جدول 2 و شکل 2 نشان می‌دهد که بهترین مدل رگرسیونی برازش داده شده بین فاصله از جاده با مقدار LAI، تابع توانی صعودی (مثبت) است، یعنی با افزایش فاصله از جاده، مقدار LAI در ابتدا

- Avon, C., L. Berge, Y. Dumas & J-L. Dupouey, 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*, 259(8): 1546-1555.
- Babaei Kafaki, S., A. Khademi & A. Mataji, 2009. Relationship between leaf area index and physiographical and edaphical condition in a *Quercus macranthera* stand (case study: Andebil's forest. Khalkhal), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(2): 280-289. (In Persian)
- Basuki, T.M., 2015. Leaf area index derived from hemispherical photograph and its correlation with above-ground forest biomass, *Indonesian Journal of Forestry Research*, 2(1): 31-41.
- Berenji Tehrani, F., B. Majnounian, E. Abdi & G. Zahedi Amiri, 2015. Impacts of forest road on plant species diversity in a Hyrcanian Forest, Iran, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(1): 63-71.
- Bolibok, L., 2010. The use of hemispherical photographs for canopy description and light condition modeling in tree stands, *Forest Research Paper*, 71(2): 175-188.
- Breda, J., 2003. Ground based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies, *Journal of Experimental Botany*, 54(392): 2403-2417.
- Chianucci, F., C. Macfarlane, J. Pisek, A. Cuttini & R. Casca, 2015. Estimation of foliage clumping from the LAI-2000 Plant Canopy Analyzer: effect of view caps, *Trees*, 29(2): 355-366.
- Delgado, J., D.N.L. Arroyo, J.R. Arevalo & J.M. Fernández-Placios, 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(4): 328-340.
- Deljouei, A., 2013. Effect of main and secondary forest roads on herbaceous diversity. M.Sc. thesis. University of Tehran. Tehran, Iran, 106 p (In Persian).
- Deljouei, A., E. Abdi & B. Majnounian, 2014. Changes of trees regeneration diversity in main and secondary roads of Hyrcanian forests, Iran, *Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, 19 (1-2): 30-35.
- Deljouei, A., E. Abdi & B. Majnounian, 2016. Effect of forest roads on variability of soil fertility parameters (case study: Kheyroud forest, Nowshahr), *Iranian Journal of Forest* (Accepted). (In Persian)
- Eckrich, C.A., E. Flaherty & M. Ben-David, 2013. Estimating leaf area index in Southeast Alaska: a comparison of two techniques, *PLOS One*, 8(11): 1-10.
- Englund, S.R., J.J. O'Brien & D.B. Clark, 2000. Evaluation of digital and film hemispherical photography for predicting understorey light in a Bornean tropical rain forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 97: 129-139.
- Fahrig, L. & T. Rytwinski, 2009. Effects on animal abundance: an empirical review and synthesis, *Ecology and Society*, 14(1):21.
- Flory, S.L. & K. Clay, 2006. Invasive shrub distribution varies with distance to roads and stand age in eastern deciduous forests in Indiana, USA, *Plant Ecology*, 184(1): 131-141.
- Heiskanen, J., L. Korhonen, J. Hietanen & P.K.E. Pellikka, 2015. Use of airborne LIDAR for estimating canopy gap fraction and leaf area index of tropical montane forests, *International Journal of Remote Sensing*, 36(10): 2569-2583.
- Hoshmand, R., 2006. Design of Experiments for Agriculture and the Natural Sciences, Second Edition, Chapman and Hall/CRC, 456p.
- Johnson, L.F., D.E. Roczen, S.K. Youkhana, R.R. Nemani & D.F. Bosch, 2003. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery, *Computers and Electronics in Agriculture*, 38(1): 33-44.
- Jonckheere, I., S. Fleck, K. Nackaerts, P. Coppin, B. Muys, M. Weiss & F. Baret, 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I, Theories, sensors and hemispherical photography, *Agricultural and Forest Meteorology*, 121(1-2): 19-35.
- Karamirad, S., 2013. Investigation of forest road effects on tree and regeneration diversity in road edge, M.Sc. Thesis. University of Tehran. Tehran, Iran, 116 p (In Persian).
- Khademi, A., B. Kord & S. Poor Abbasi, 2011. Estimation of Robinia LAI and its correlation with physiographical conditions and soil and growth characteristics (Case study: Bame Malayer plantation, Iran), *Journal of Science and Technologies of Natural Resources*, 6(1): 41-52.
- Kiasari, S.H.M., K. Sagheb-Talebi, R. Rahmani, E. Adeli & F. Najafi, 2010. Seasonal variation of relative light intensity

- at natural and planted forests (case study: Darabkola, Mazandaran, Iran), *Journal of Forest and Wood Products*, 63(1): 63-76.
- Liu, Z., J.M. Chen, G. Jin & Y. Qi, 2015. Estimating seasonal variations of leaf area index using litterfall collection and optical methods in four mixed evergreen-deciduous forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 209: 36-48.
 - Moeser, D., J. Roubinek, P. Schleppe, F. Morsdorf & T. Jonas, 2014. Canopy closure, LAI and radiation transfer from airborne LiDAR synthetic images, *Agricultural and Forest Meteorology*, 197: 158-168.
 - Montero, M.J., G. Moreno & M. Bertomeu, 2008. Light distribution in scattered-trees open woodlands in Western Spain, *Agroforestry Systems*, 73(3): 233-244.
 - Naghdi, R., H. Pourbabaei, M. Heidari & M. Nouri, 2014. The effects of forest road on vegetation and some physical and chemical properties of soil, case study: Shafarood Forests, district No.2, *Iranian Forests Ecology*, 2(3): 49-64.
 - Olivas, P.C., S.F. Oberbauer, D.B. Clark, D.A. Clark, M.G. Ryan, J.J. O'Brien & H. Ordóñez, 2013. Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area index across a tropical rain forest landscape, *Agricultural and Forest Meteorology*, 117: 110-116.
 - Öztürk, M. & I. Bolat, 2016. Pre- and Post-Windstorm leaf area index of *Carpinus betulus* trees in an urban forest patch, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(2): 513-523.
 - Pekin, B. & C. Macfarlane, 2009. Measurement of crown cover and leaf area index using digital cover photography and its application to remote sensing, *Remote Sensing*, 1(4): 1298-1320.
 - Poblete-Echeverria, C., S. Fuentes, S. Ortega-Farias, J. Gonzalez-Talice & J.A. Yuri, 2015. Digital cover photography for estimating leaf area index (LAI) in Apple trees using variable light extinction coefficient, *Sensors*, 15(2): 2860-2872.
 - Rouhi Moghaddam, E., 2015. Investigation of the relationship between LAI and soil carbon sequestration in pure and mixed planted stands of Oak (Case Study: the lowland forests of Chamestan), *Natural Ecosystems of Iran*, 5(4): 11-22.
 - Sadeghi, S.M.M., 2014. Evaluation of the sparse Gash Model's estimates of rainfall interception loss in *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* plantations located in a semiarid climate zone. M.Sc. Thesis. University of Tehran. Tehran, Iran, 123 p (In Persian).
 - Sadeghi, S.M.M., P. Attarod, T.G. Pypker & D. Dunkerley, 2014. Is canopy interception increased in semiarid tree plantations? Evidence from a field investigation in Tehran, Iran, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(6): 792-806.
 - Sadeghi, S.M.M., P. Attarod, J.T. Van Stan, T.G. Pypker & D. Dunkerley, 2015. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 76-85.
 - Sadeghi, S.M.M., P. Attarod, J.T. Van Stan & T.G. Pypker, 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.
 - Sagheb-Talebi, K., J. Jashni, S. Mohammadnejad Kiasari, H. Mohammadi Nasrabadi & M. Paydar, 2012. Light regime in natural and planted stands of the Caspian Forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1): 165-181. (In Persian)
 - Salimi, M., S.A. Hosseini, H. Jalilvand & M. Hojati, 2011. The effects of forest road type and soil chemical properties on *Alnus subcordata* growth (Case Study: Darabkola - Mazandaran), *Research Journal of Forest Science and Technology*, 1(3): 45-52.
 - Scurlock, J.M.O., G.P. Asner & S.T. Gower, 2001. Global leaf area index data from field measurements, 1932-2000: Data set. Available from: <http://www.daac.ornl.gov>. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, USA.
 - Vahedi, A.A., A. Mataji & G. Nori Shirazi, 2009. Investigation of the effects of relative light intensity on some quantitative characteristics of hornbeam seedlings (case study: Khanikan district, Nowshahr). In: Third National Conference of Forest, Tehran, Iran, 12 pp.
 - Vyas, D., N. Mehta, J. Dinakaran & N.S.R. Krishnaya, 2010. Allometric equations for estimating leaf area index (LAI) of two important tropical species (*Tectonia grandis*

- and *Dendrocalamus strictus*), *Journal of Forestry Research*, 21(2): 197-200.
- Wang, C., 2006. Biomass allometric equation for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests, *Forest Ecology and Management*, 222(1): 9-16.
 - Wilson, K.B. & D.D. Baldocchi, 2000. Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaved temperate deciduous forest in North America, *Agricultural and Forest Meteorology*, 100(1): 1-18.
 - Yan, H., S.Q. Wang, D. Billisbach, W. Oechel, J.H. Zahng, T. Meyers, T.A. Martin, R. Matamala, D. Baldocchi, G. Bohrer, D. Dragoni & R. Scott, 2012. Global estimation of evapotranspiration using a leaf area index-based surface energy and water balance model, *Remote Sensing of Environment*, 124: 581-595.
 - Yuan, T., W. Li, Y. Sun & L. Xue, 2015. Study of subtropical forestry index retrieval using terrestrial laser scanning and hemispherical photography, *Mathematical Problems in Engineering*, DOI:10.1155/2015/206108.
 - Zhang, G. & L.M. Moskal, 2009. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: Theories, methods and sensors, *Sensors*, 9(4): 2719-2745.

Comparing leaf area index at different distances from constructed forest roads edge in Hyrcanian forest (Case study: a hornbeam-beech forest in Kheyroud, Mazandaran)

A. Deljouei^{*1}, S.M.M. Sadeghi² and E. Abdi³

1- Ph.D. candidate of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

2- Ph.D. candidate of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

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

Received: 08.04.2015

Accepted: 17.08.2016

Abstract

The aim of this study was to investigate LAI in the main forest roads edge and comparing it at different distances in hornbeam-beech type. Study site was chosen in Namkhane district of Kheyroud Forest, in addition, LAI values were estimated along with 16 transects having 100 meters length from the both edges of roadside into the forest (at each transect 9 points at the distances of zero (roadside), 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, and 100 meters from the main road) by using hemispherical photography method. The results of ANOVA analysis showed the effect of distance from road were significant on LAI value ($P < 0.001$). Based on Tukey's test, the LAI value at 100 meter was significantly greater than 15, 10, 5 and zero intervals of forest roads ($P < 0.05$). The best correlation between LAI and distances from roads based on values of R^2 adj (0.60), and RMSE percentage (9.13) was positive power. Results showed that main forest roads up to 15 meters had an effect on LAI. Therefore, the less traffic and narrow roadbed and constructing the standard forest roads with respect to principle of close-to-nature in Kheyroud caused stress reduction on forest ecosystems. In general, when all ecological issues are considered while forest roads construction, roads will have little influence on forest ecological balance.

Keywords: Hemispherical photography, Leaf Area Index, Road edge, Transect.

* Corresponding author:

Email: a.deljouei@ut.ac.ir