

Research Paper

Study of Some Growth Indicators of *Quercus infectoria* on the Side of Forest Roads (Case Study: Shoy Forest in Baneh City)

Bayan Ahmadi¹ and Farhad Ghasemi Aghbash² 

1- M.Sc. Student of Forestry, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

2- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran, (Corresponding author: ghasemifarhad@yahoo.com)

Received: 15 March, 2024

Accepted: 5 June, 2024

Extended Abstract

Background: Road construction in the forest causes changes in the microclimatic and biological conditions of the roadsides, which lead to positive and negative consequences. Forest fragmentation leads to the creation of smaller habitats and changes in the ecological reactions of the forest, which are different at the distance from the road. These types of changes are called marginal effects. Marginal effects on tree growth indices are different and have been reported from positive to negative in many studies. A review of research records indicates that a few Iranian studies have investigated the marginal effects of forest roads on chlorophyll and carotenoid contents in leaves. Therefore, the current research intends to determine the consequences of forest roads in a part of Zagros forests by examining the marginal effects of forest roads. The contents of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, and the specific leaf area index (LAI), as well as the relative humidity of leaves and pollution caused by traffic and the amount of chlorophyll lost in leaves, were evaluated in this research.

Methods: To evaluate the positive and negative consequences of road construction, specific LAI, leaf relative humidity, chlorophylls a, b, and carotenoids in leaves, and the amount of leaf pollution caused by dust were studied in the Shoy Forest of Baneh City, Kordestan province. The climate of the region is semi-humid based on the Dumarten climate factor. To carry out this research, a forest road with heavy traffic passing through these forests was selected and three transects were made at a distance of 100 m perpendicular to the road on both sides. At different distances from the road (0, 50, and 100 m), samples of oak (*Quercus infectoria* Olive.) leaves were collected along the transects. In each transect, the first sample plot of 10 × 10 m was adjacent to the road, and the second and third sample plots were located at distances of 30 and 50 m from the road, respectively. In each plot, leaf samples were collected from all parts of the crown, including infected, damaged, and healthy leaves. The contents of chlorophyll a and b and carotenoids were measured by the Avon method. Oak leaves were taken to the laboratory immediately after collection and their fresh weight was calculated using a digital scale (accuracy of 0.001 g). The surface of the leaves was measured by a leaf surface meter, and the humidity of the leaves was calculated through the weight relationships of the dry and wet weight of the leaves. The total means were compared with the one-way analysis of variance (ANOVA), and the group means were compared using Duncan's test. All statistical tests were performed using SPSS software Ver. 22, and graphs were drawn with Excel software.

Results: The marginal effects of road construction on the specific LAI showed that the value of this index decreased with increasing distance from the road, and the highest value was observed at distances of 0 and 50 m from the road. The highest leaf relative humidity was measured at a distance of 50 m from the road, and there was no significant difference at the edge and at a distance of 100 m from the road. No consistent trend was observed in the relative humidity changes, but this variable noticeably decreased on the roadside, which seemed probable. The results of the effect of road construction on the leaf chlorophyll a and b contents showed a decrease in this variable with increasing the distance from the road, and the maximum chlorophyll content was obtained at zero distance from the road. Moreover, the highest leaf carotenoids were recorded at

distances of 0 and 50 m from the road, and the lowest amount was observed at a distance of 100 m. According to these results, the forest road construction has reduced the light competition between the trees, and those near the road contain more chlorophyll, which can lead to an increase in leaf photosynthesis. The highest contents of chlorophylls a and b were obtained at zero distance (2.01 and 0.97 mg/g of fresh weight, respectively), and carotenoids (0.15 mg/g fresh weight) were maximal at a distance of 50 m from the road, which was not significantly different from carotenoids in the zero distance (0.14 mg/g fresh weight). The results of dust volume caused by the traffic of vehicles showed more pollution of leaves (0.845 g) on the roadside while a leaf contamination level of 0.13 g was recorded at a distance of 100 m from the road. The present findings on the effects of road construction on the amount of chlorophyll lost in leaves showed a significant difference in this variable only at a distance of 0 m from the road, but these differences were not significant at distances of 50 and 100 m from the road.

Conclusion: Overall, the marginal effects of forest roads in the investigated area were positive regarding the contents of chlorophylls a and b and carotenoids, as well as the specific LAI, while these effects were negative in terms of pollution. The lost amount of chlorophyll in leaves and the leaf relative humidity index demonstrate the negative consequences of road construction.

Keywords: Chlorophyll, Forest Road, Specific Leaf Area Index, Zagros Forests

How to Cite This Article: Ahmadi, B., & Ghasemi Aghbash, F. (2024). Study of Some Growth Indicators of *Quercus infectoria* on the Side of Forest Roads (Case study: Shoy Forest in Baneh City). *Ecol Iran For*, 12(2), 160-169. DOI: [10.61186/ifej.12.2.160](https://doi.org/10.61186/ifej.12.2.160)



مقاله پژوهشی

مطالعه برخی از شاخص‌های رشد درختان دارمازو در حاشیه جاده‌های جنگلی
(مطالعه موردی: جنگل شوی شهرستان بانه)بیان احمدی^۱ و فرهاد قاسمی آقباش^۲ ^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
^۲ - استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران، (نویسنده مسؤول: ghasemifarahad@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

صفحه: ۱۶۰ تا ۱۶۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: جاده‌سازی در جنگل تغییراتی را در شرایط میکروکلیمایی و بیولوژیکی حاشیه جاده‌ها به وجود می‌آورد که این تغییرات منجر به پیامدهای مثبت و منفی می‌شود. تکه‌تکه شدن جنگل منجر به ایجاد زیستگاه‌های کوچکتر و تغییراتی در عکس‌العمل‌های بوم‌شناختی جنگل می‌شود که این تغییرات در اثر فاصله از جاده متفاوت است و آن‌ها را اثرهای حاشیه‌ای می‌نامند. اثرهای حاشیه‌ای بر شاخص‌های رشد درختان متفاوت است و در بسیاری از تحقیقات از مثبت تا منفی گزارش شده است. مرور سوابق تحقیق نشان داد که در کشور مطالعات اندکی در مورد اثرهای حاشیه‌ای جاده‌های جنگلی بر مقادیر کلروفیل و کاروتنوئید برگ‌ها انجام شده است. بنابراین تحقیق حاضر در نظر دارد تا با بررسی اثرهای حاشیه‌ای جاده‌های جنگلی پیامدهای ناشی از آن را در بخشی از جنگل‌های زاگرس مشخص نماید. در این تحقیق مقادیر کلروفیل‌های a و b، کاروتنوئیدها و شاخص سطح ویژه برگ‌ها و همچنین مقادیر رطوبت نسبی برگ‌ها و آلودگی‌های ناشی از ترافیک و مقدار کلروفیل از دست رفته برگ‌ها بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق برای ارزیابی پیامدهای مثبت و منفی جاده‌سازی شاخص‌های سطح ویژه برگ، رطوبت نسبی برگ‌ها، مقادیر کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدهای برگ‌ها، مقادیر کلروفیل از دست رفته و آلودگی ناشی از گرد و غبار در سطح برگ‌ها در جنگل شوی شهرستان بانه در استان کردستان بررسی شد. اقلیم منطقه بر اساس ضریب اقلیمی دومارتن نیمه مرطوب است. به منظور انجام این تحقیق یک جاده خاکی پر ترافیک انتخاب و سه ترانسکت به فاصله ۱۰۰ متری عمود بر جاده در دو طرف آن پیاده شد. در طول ترانسکت‌ها، در فواصل مختلف از جاده (۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر) برگ‌های دارمازو (*Quercus infectoria Oliv.*) جمع‌آوری شدند. در هر ترانسکت، اولین قطعه نمونه ۱۰×۱۰ متری چسبیده به جاده بوده و دومین و سومین قطعه نمونه به ترتیب در فواصل ۳۰ و ۵۰ متری جاده قرار داشتند. در هر قطعه نمونه نمونه برگ‌ها از تمامی قسمت‌های تاج شامل برگ‌های آلوده، آسیب دیده و سالم بود جمع‌آوری شدند. برآورد محتوی کلروفیل و کاروتنوئید برگ‌ها از طریق روش آوون انجام شد. برگ‌های دارمازو بلافاصله پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از ترازوی رقیمی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) وزن تر آنها محاسبه شد. اندازه‌گیری سطح برگ‌ها به وسیله دستگاه سطح برگ‌سنج و رطوبت برگ‌ها نیز از طریق روابط وزنی وزن خشک و تر برگ‌ها محاسبه شد. مقایسه کلی میانگین‌ها از طریق تجزیه واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین گروه‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج اثرهای حاشیه‌ای جاده‌سازی بر شاخص سطح ویژه برگ‌ها نشان داد که با افزایش فاصله از جاده، مقدار شاخص سطح ویژه برگ‌ها کاهش می‌یابد. به‌طوری که بیشترین مقدار شاخص در فواصل ۰ و ۵۰ متری جاده مشاهده شد. نتایج حاصل از تأثیر جاده‌سازی بر مقدار رطوبت نسبی برگ‌ها نشان داد که در فاصله پنجاه متری از جاده بیشترین مقدار رطوبت نسبی مشاهده شده و در حاشیه و فاصله صد متری جاده هیچگونه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در مورد تغییرات رطوبت نسبی برگ‌ها روند ثابتی مشاهده نشد ولی آنچه که قابل توجه بود کاهش این متغیر در حاشیه جاده بود که این امر محتمل به‌نظر می‌رسید. نتایج حاصل از تأثیر جاده‌سازی بر مقادیر کلروفیل a و b برگ‌ها نشان داد که با افزایش فاصله از جاده، مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد، به‌طوری که حداکثر مقدار کلروفیل در فاصله صفر از جاده مشاهده می‌شود. نتایج مربوط به کاروتنوئید برگ‌ها نیز نشان داد که بیشترین مقدار در فواصل صفر و ۵۰ متری از جاده و کمترین مقدار در فاصله ۱۰۰ متری مشاهده شد. در واقع نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با احداث جاده جنگلی رقابت نوری بین درختان کاهش یافته و درختان نزدیک جاده دارای کلروفیل بیشتری هستند که این مسئله می‌تواند منجر به افزایش فتوسنتز برگ‌ها شود. نتایج نشان داد که مقادیر کلروفیل a و b در فاصله صفر (به ترتیب ۲/۰۱ و ۰/۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کاروتنوئیدها در فاصله ۵۰ متری جاده بیشترین مقدار را داشت (۰/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) که البته با مقدار کاروتنوئیدها در فاصله صفر (۰/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج بررسی مقدار گرد و غبار ناشی از تردد وسایل نقلیه نشان دهنده بیشتر بودن آلودگی برگ‌ها در حاشیه جاده بود (۰/۸۴۵ گرم). در حالی که مقدار آلودگی برگ‌ها در فاصله ۱۰۰ متری جاده ۰/۱۳ گرم ثبت شد. یافته‌های تحقیق در مورد اثرهای جاده‌سازی بر مقدار کلروفیل از دست رفته برگ‌ها نشان داد که تنها در فاصله صفر متری از جاده تفاوت معنی‌داری در مقدار کلروفیل از دست رفته برگ‌ها مشاهده می‌شود اما در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ متری از جاده، این تفاوت‌ها معنی‌دار نیستند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که اثرهای حاشیه‌ای جاده‌های جنگلی در منطقه مورد بررسی در مورد مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها و همچنین شاخص سطح ویژه برگ‌ها مثبت بود در حالی که این اثرات از نظر آلودگی برگ‌ها، مقدار کلروفیل از دست رفته و همچنین شاخص رطوبت نسبی برگ‌ها پیامدهای منفی جاده‌سازی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: جاده جنگلی، جنگل‌های زاگرس، شاخص سطح ویژه برگ، کلروفیل

مقدمه

جنگل به‌عنوان یک مجموعه حیاتی آثار و فواید فراوانی را به‌همراه دارد و هرگونه دخالت شدید در آن می‌تواند تعادل این بوم‌سازگان‌ها را به‌خطر بیناندازد. جاده‌سازی جنگل از جمله فعالیت‌هایی است که نه‌تنها خود سبب تغییر و دگرگونی فراوانی در بوم‌سازگان جنگلی می‌شود (Naghdhi et al., 2022) بلکه به‌دلیل قرار گرفتن در خدمت توسعه بخش‌های مختلف

جنگلداری، از مهم‌ترین پروژه‌هایی است که باید پیامدهای آن مورد ارزیابی قرار بگیرد. ارائه کارکردهای اجتماعی، اقتصادی و کنترل آتش‌سوزی در جنگل از مهم‌ترین خدمات جاده‌های جنگلی به‌شمار می‌آید (Dursun et al., 2022; Harrison et al., 2002). احداث جاده که تحت شعاع مسایل گوناگون قرار دارد نیز به‌عنوان یک دخالت شدید محسوب می‌شود که منجر به تکه‌تکه شدن جنگل و در نتیجه از بین رفتن زیستگاه‌ها

خاک‌برداری و خاک‌ریزی ممکن است سبب کاهش مقدار رویش، کاهش تعداد بذور درختان در بانک بذر خاک و در نهایت کاهش مقدار تولید درختان حاشیه جاده‌های جنگلی شود (Nielsen *et al.*, 2007). آوون و همکاران (Avon *et al.*, 2010) در پژوهشی که در مورد اثرات حاشیه‌ای جاده بر ترکیب پوشش گیاهی جنگل‌های بلوط فرانسه انجام دادند گزارش دادند که اثرات معنی‌داری در تغییرات ترکیب پوشش گیاهی جنگل به‌وجود آمده که این تغییرات در ارتباط با سن توده‌های مورد بررسی متفاوت است. ری اتا و همکاران (Riutta *et al.*, 2014) در ارتباط با اثرات حاشیه‌ای جاده‌های جنگلی در کشور انگلیس گزارش دادند که بالغ بر ۷۰ درصد زیستگاه‌های جنگلی در ۱۰۰ متری جاده حضور دارند. در مورد اثرات حاشیه‌ای جاده‌های جنگلی بر محتوای کلروفیل برگ‌ها و همچنین شاخص‌های رشد مطالعات اندکی صورت گرفته است. در معدود مطالعات انجام شده زی اونگ - ون (Xiong - Wen, 2001) به بررسی اثرات گرد و غبار ناشی از جاده‌های جنگلی بر واکنش‌های کوتاه‌مدت اکوفیزیولوژیکی برگ‌های درختان حاشیه جاده پرداخته است. نتایج بررسی ایشان نشان داد که برگ‌های درختان حاشیه جاده در اثر گرد و غبار آسیب دیده و غلظت آلودگی ناشی از آن زیاد است. در تحقیقی دیگر لاسکا (Laska, 2013) به بررسی مقدار فتوسنتز در اراضی جنگلی حاشیه جاده و دورتر از آن پرداخت. ایشان ساختار عمودی و ترکیب گونه‌ای حاشیه جاده را در تغییرات غلظت کلروفیل برگ‌ها مهم قلمداد کرده و به‌مقدار زیاد آن در حاشیه جاده اشاره کرده‌اند.

این تحقیق با هدف بررسی اثرهای حاشیه‌ای جاده‌سازی در فواصل مختلف از جاده بر مقدار کلروفیل و سطح ویژه برگ‌ها که شاخصی مهم در فرایند فتوسنتز است انجام می‌شود. در کنار شاخص‌های مورد اشاره مقادیر رطوبت نسبی برگ‌ها و آلودگی ناشی از ترافیک و همچنین مقدار کلروفیل از دست رفته که منتج از گرد و غبار تولیدی وسایط نقلیه است نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق فرض شد که مقدار کلروفیل برگ‌ها و همچنین شاخص سطح ویژه برگ‌ها در حاشیه جاده نسبت به قسمت‌های داخلی توده بیشتر است ولی اثرات حاشیه‌ای جاده در مورد مقادیر آلودگی برگ‌ها و رطوبت نسبی برگ‌ها منفی است. در هر حال یافته‌های این تحقیق می‌تواند نقش جنبه‌های بوم‌شناختی را در برنامه‌ریزی‌های مربوط به احداث جاده‌های جنگلی پر رنگ‌تر نماید.

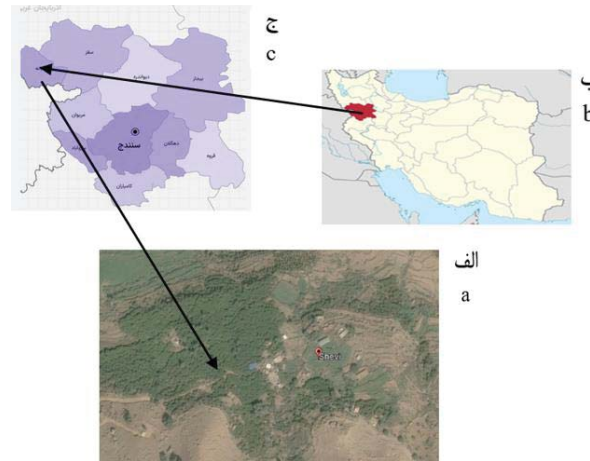
مواد و روش‌ها

این تحقیق در جنگل‌های شوی در هفت کیلومتری شمال غرب شهرستان بانه در استان کردستان با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 02' 19.93''$ عرض شمالی و $45^{\circ} 43' 43.32''$ طول شرقی انجام شد. در این جنگل‌ها دارمازو (*Quercus infectoria* Oliv.) بیشترین تراکم مربوط به گونه‌های بلوط غرب را به‌خود اختصاص داده است (Ahmadi and Ghasemi Aghbash, 2015). با توجه به داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بانه، متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه $657/59$ میلی‌متر، حداکثر توزیع بارندگی در این منطقه $297/06$ میلی‌متر در زمستان و حداقل آن $5/72$ میلی‌متر در

می‌شود این مسئله به‌عنوان اصلی‌ترین تهدید تنوع زیستی و خدمات بوم‌سازهای جنگلی به‌شمار می‌آید (Riutta *et al.*, 2014). تکه‌تکه شدن جنگل منجر به ایجاد زیستگاه‌های کوچک‌تر و تغییراتی در عکس‌العمل‌های بوم‌شناختی جنگل می‌شود که این تغییرات در اثر فاصله از جاده متفاوت است این نوع تغییرات را اثرهای حاشیه‌ای می‌نامند (Fletcher *et al.*, 2007). اثرهای حاشیه‌ای متفاوت بوده و در تحقیقات متعددی از مثبت تا منفی گزارش شده است (Ahmadi and Ghasemi Aghbash, 2015; Parsakhoo *et al.*, 2022; Pazhouhan *et al.*, 2020). فورمن و همکاران (Forman *et al.*, 2000) گزارش دادند که جاده‌سازی در مقیاس کوچک تا متوسط با برداشت درختان جنگلی سبب ایجاد دالانی در سطح رویشگاه می‌شود که به‌موجب آن تغییراتی وسیع از نظر نور دریافتی، رطوبت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در طولانی‌مدت به‌وجود می‌آید. پژوهش ارجمند و همکاران (Arjmand *et al.*, 2022) نشان داد که در جاده‌های جنگلی درجه دو جنگل‌های کلاردشت مقادیر تاج پوشش و شاخص سطح برگ درختان فقط در حاشیه جاده تأثیرپذیر بوده و چون در این جاده‌ها تردد کمتر انجام می‌گیرد بنابراین در جنگل مورد بررسی به‌مرور زمان اثرهای منفی جاده‌سازی تعدیل شده است. کیوان بهجو و همکاران (Keivan Behjou *et al.*, 2020) با بررسی اثرهای جاده‌سازی بر تعداد زادآوری درختان حاشیه جاده در جنگل‌های گیلان گزارش دادند که میانگین تعداد زادآوری در فواصل ۵ و ۱۰ متری حاشیه جاده بیشتر از فواصل ۱، ۲۰ و ۵۰ متری حاشیه جاده است. طبق نظر باکلی و همکاران (Buckley *et al.*, 2003) بسته به شدت و مقدار اثرها، تراکم و تنوع جوامع گیاهی دستخوش تغییرات می‌شوند. شاه‌نظری (Shahnazari, 2006) معتقد است که با ساخت جاده جنگلی نور بیشتری وارد جنگل شده و تغییراتی در فعالیت بوم‌سازهای پایدار جنگلی به‌وجود می‌آید به‌طوری‌که از توان تولیدی بالفعل و بالقوه رویشگاه کاسته می‌شود اما افزایش رویش درختان حاشیه جاده می‌تواند درصدی از کاهش حجمی درختان قطع شده در مسیر را جبران نماید. دلگادو و همکاران (Delgado *et al.*, 2007) در بررسی که در مورد اثرهای حاشیه‌ای جاده بر برخی مشخصه‌های رویشگاهی و رویشی درختان کاج و برگ بو انجام دادند گزارش دادند که هردوی جاده جنگلی آسفالته و خاکی بر مشخصه‌های رطوبت خاک، نور، تاج پوشش و ارتفاع تاج در فاصله ده متری جاده اثر معنی‌داری دارند و مقدار این اثرها در جنگل برگ بو بیشتر از جنگل کاج است. جاده‌های جنگلی بر مقدار موجودی توده‌های حاشیه جاده تأثیر مثبت می‌گذارند. تغییر یافتن میکروکلیم، افزایش عمق و حاصل‌خیزی خاک، فراوانی نیتروژن (به‌دلیل زیر و رو شدن خاک طی عملیات جاده‌سازی) و کاهش رقابت نوری در اطراف جاده جنگلی ممکن است دلیل اصلی افزایش موجوی توده‌های حاشیه نسبت به توده‌های مجاور باشد (Karim and Malik, 2008; Venkatram *et al.*, 2008). تجدید حیات جنگل به‌دلایلی مانند باز شدن تاج پوشش درختی و تغییر در رژیم نوری در اثر ساخت جاده و جابه‌جایی و به‌هم‌خوردگی خاک در شیروانی‌های آن سبب تغییر در ترکیب و تنوع گونه‌ای می‌شود (Bowering *et al.*, 2006). کاهش درختان در حریم جاده و دامنه‌های

ماه‌های فروردین، اردیبهشت، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند جزو ماه‌های مرطوب و بقیه ماه‌ها جزء ماه‌های خشک هستند (Ahmadi and Ghasemi Aghbash, 2015). موقعیت منطقه مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

تابستان است. میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه به ترتیب $۱/۳$ و $۲۷/۷$ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای منطقه $۱۳/۸$ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه براساس ضریب اقلیمی دومارتن نیمه‌مرطوب است. براساس منحنی آمبروترمیک

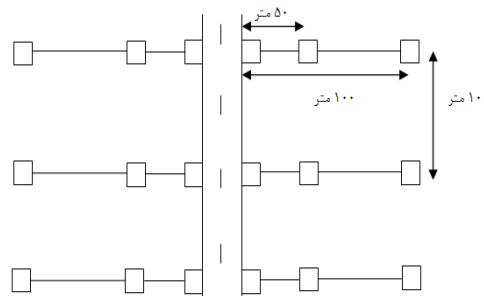


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی (الف) در کشور (ب) و استان کردستان (ج)
Figure 1. Geographical location of the studied area (a) in the country (b) and province of Kurdistan (c)

ترافیک عبوری از این جنگل‌ها انتخاب و سه ترانسکت به فاصله ۱۰۰ متری هم عمود بر جاده در دو طرف آن پیاده شدند. در هر ترانسکت، اولین قطعه نمونه ۱۰×۱۰ متری چسبیده به جاده بوده و دومین و سومین قطعه نمونه به ترتیب در فواصل ۳۰ و ۵۰ متری جاده قرار داشتند (شکل ۲). در هر قطعه نمونه نمونه برگ‌ها از تمامی قسمت‌های تاج شامل برگ‌های آلوده، آسیب‌دیده و سالم بود جمع‌آوری شدند (Harrison et al., 2002).

روش پژوهش

طبق اطلاعات موجود، زمان ظهور برگ و گل‌دهی گونه دارمازو در منطقه مورد بررسی از هفته چهارم فروردین ماه تا پایان اردیبهشت بوده و موسم ریزش برگ‌ها نیز از هفته چهارم آبان ماه شروع شده و تا هفته اول و دوم آذر ماه خاتمه می‌یابد. بنابراین به منظور انجام این تحقیق در اواخر مهر ماه تا هفته اول آبان که اندام‌های مختلف پایه‌های بلوط (برگ و میوه) دوره رویشی خود را کامل کرده و ابعاد نهایی خود را به دست آورده‌اند به منطقه مورد مطالعه مراجعه شد. ابتدا یک جاده خاکی پر



شکل ۲- نحوه استقرار ترانسکت‌ها در منطقه مورد مطالعه
Figure 2. The distribution of transects in the study area

۲- ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به نمونه‌ها اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن‌های شیشه‌ای منتقل شد.
۳- مقداری از نمونه داخل بالن را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کارتونوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب قرائت شد.

محاسبه مقدار کلروفیل و کارتونوئید برگ‌ها

اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتونوئیدها به روش آوون (Avon et al., 2010) طبق مراحل زیر انجام شد:

۱- مقدار نیم گرم از ماده تر گیاهی را در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد و له شد.

محاسبه مقدار غبار برگ‌ها

برای اندازه‌گیری مقدار غبار روی برگ‌ها پس از توزین برگ‌ها با استفاده از ترازوی رقومی، با آب مقطر شستشو و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه داخل آون خشک شدند و سپس وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری شد (Ardakani *et al.*, 2007).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Smirnov - Kolmogorov تایید شد. نتایج آزمون Leven نیز حاکی از همگن بودن داده‌ها بود. برای مقایسه کلی میانگین‌ها از تجزیه واریانس یک‌طرفه و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین گروه‌ها استفاده شد. کلیه آزمون‌های آماری با استفاده از SPSS 22 و ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثرهای حاشیه‌ای جاده‌سازی بر شاخص سطح ویژه برگ‌ها نشان داد که با افزایش فاصله از جاده مقدار شاخص سطح ویژه برگ‌ها کاهش یافته بود. به طوری که در فواصل صفر و پنجاه متری از جاده بیشترین مقدار شاخص مشاهده شد (جدول ۱). برخلاف نتایج پناهی و همکاران (Panahi *et al.*, 2013) که مقدار شاخص سطح ویژه برگ دارمازو را در برگ‌های سایه‌ای بیشتر از نوری به دست آورده بودند، در تحقیق حاضر این شاخص در برگ‌های حاشیه جاده (در معرض نور آفتاب) بیشتر از قسمت‌های داخلی توده به دست آمد و اثر مثبت حاشیه‌ای جاده در مورد این شاخص اثبات شد. در پژوهش حاضر به دلیل اینکه جمع‌آوری برگ‌ها از تمامی جهت‌های تاج‌پوشش بوده و هیچ‌گونه تفکیکی در مورد برگ‌های سایه‌ای و نوری انجام نشده بود نتایج متفاوتی با گزارش مورد اشاره به دست آمد. اما آنچه که باید مورد توجه قرار بگیرد این است که شرایط محیطی و عملکرد درونی متفاوت هر گیاه می‌تواند در تعیین این شاخص مؤثر باشد.

۴- در نهایت با استفاده از روابط زیر مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه‌ها از طریق روابط زیر به دست آمد.

رابطه (۱)

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W$$

رابطه (۲)

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V/100W$$

رابطه (۳)

$$\text{Carotenoides} = 100(A_{470} - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$$

=V حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر، W= وزن تر نمونه بر حسب گرم (Nielsen *et al.*, 2007).

مقدار کلروفیل از دست رفته نیز از طریق رابطه ۴ محاسبه شد:

رابطه (۴)

مقدار کلروفیل برگ‌های آلوده شده - مقدار کلروفیل برگ‌های غیرآلوده درصد رنگدانه از دست رفته نیز از طریق رابطه ۵ به دست آمد:

رابطه (۵)

$$\times 100 \text{ (کلروفیل برگ‌های غیرآلوده/ کلروفیل از دست رفته)}$$

محاسبه سطح ویژه برگ‌ها و رطوبت برگ‌ها

برگ‌های دارمازو بلافاصله پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از ترازوی رقومی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) وزن تر آن‌ها محاسبه شد. پس از اندازه‌گیری سطح آنها به وسیله دستگاه سطح برگ‌سنج، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار داده شدند (Poorter and De Jong, 1999). سپس برگ‌ها خارج شده و به مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه در دسیکاتور قرار داده شدند و دوباره وزن خشک آنها محاسبه شد. از طریق روابط وزنی مقدار رطوبت برگ‌ها محاسبه شد.

جدول ۱- شاخص سطح ویژه برگ‌ها در فواصل مختلف از جاده (سانتی‌متر مربع/گرم)

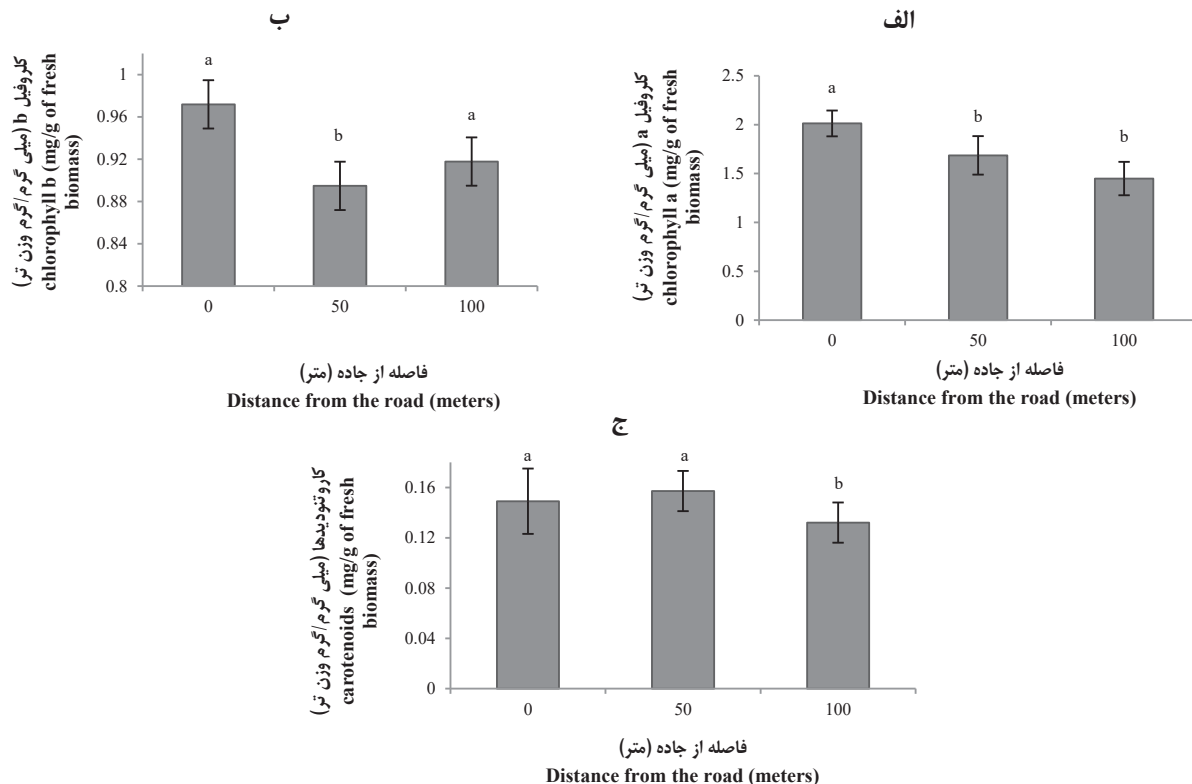
Distance from the road (meters)			فاصله از جاده (متر)
Mean $\pm$ standard error	Mean $\pm$ standard error	Mean $\pm$ standard error	
71.85 $\pm$ 2.77 ^b	85.27 $\pm$ 1.36 ^a	83.25 $\pm$ 1.6 ^a	شاخص سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع/گرم) Specific leaf surface index (cm ² /g)

Different letters indicate the significance of the mean values in each row.

حروف غیرمشابه معنی‌دار بودن مقادیر میانگین را در هر ردیف نشان می‌دهد.

در مورد تغییرات رطوبت نسبی برگ‌ها روند ثابتی مشاهده نشد ولی آنچه که قابل توجه بود کاهش این متغیر در حاشیه جاده بود که این امر محتمل به نظر می‌رسید.

نتایج حاصل از تأثیر جاده‌سازی بر مقدار رطوبت نسبی برگ‌ها نشان داد که در فاصله پنجاه متری از جاده بیشترین مقدار رطوبت نسبی مشاهده شده و در حاشیه و فاصله صد متری جاده هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۲).



شکل ۳- مقادیر کلروفیل‌های a (الف)، b (ب) و کاروتنوئیدها (ج) در فواصل مختلف از جاده (میلی گرم / گرم وزن تر نمونه)
Figure 3. The amounts of chlorophyll a, b and carotenoids at different distances from the road (mg/g of fresh biomass)

جدول ۲- رطوبت نسبی برگ‌ها در فواصل مختلف از جاده (درصد)
Table 2. The relative humidity of leaves at different distances from the road (%)

Distance from the road (meters)	Mean ± standard error	Mean ± standard error	Mean ± standard error	رطوبت نسبی برگ‌ها (درصد)
100	54.78 ± 5.12 ^b	54.14 ± 3.14 ^a	51.34 ± 4.99 ^b	The relative humidity of leaves (%)

Different letters indicate the significance of the mean values in each row.

حروف غیرمشابه معنی‌دار بودن مقادیر میانگین را در هر ردیف نشان می‌دهد.

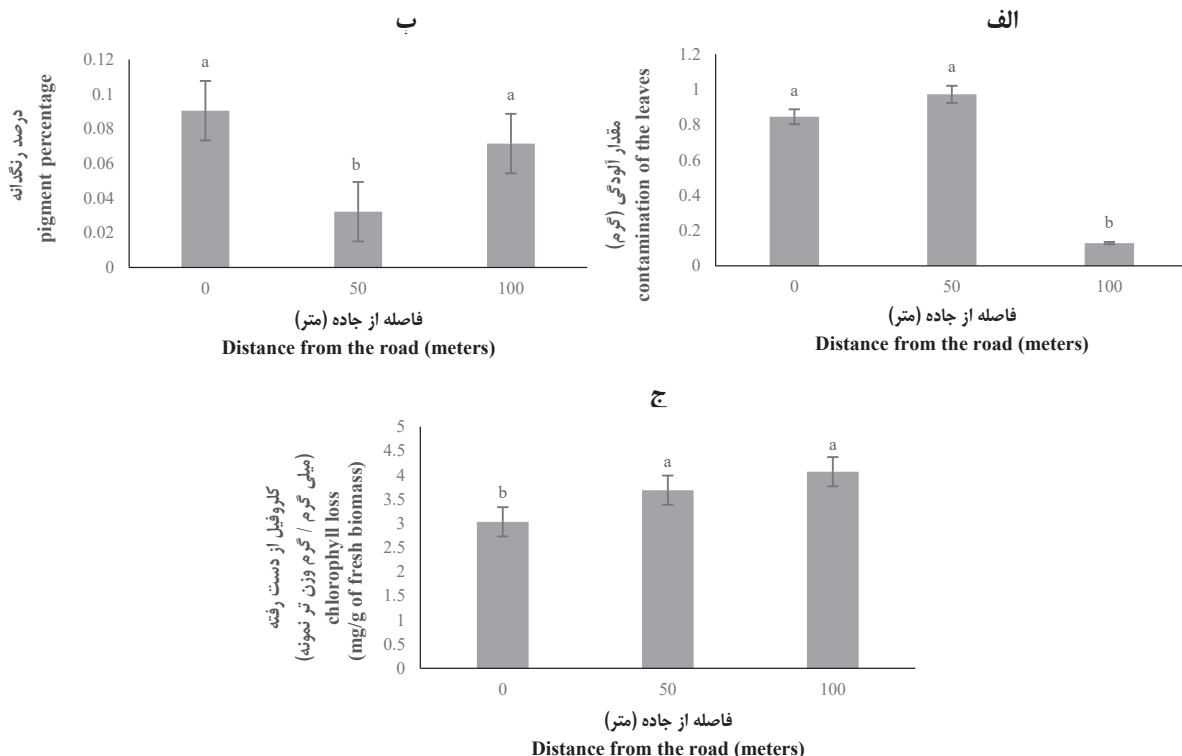
درختان کلروفیل بیشتری داشته‌اند که این مسئله می‌تواند افزایش فتوسنتز برگ‌ها را به دنبال داشته باشد. این نتایج کاملاً با یافته‌های لاسکا (Laska, 2013) مطابقت داشت. بر اساس نتایج ایشان مقدار کلروفیل کل درختان با شدت ترافیک و فاصله از جاده ارتباط دارد. ترافیک موجب افزایش درجه حرارت، رطوبت و گازهای متصاعد شده از آگزوز ماشین‌آلات می‌شود (Daas *et al.*, 2008). بنابراین این تغییرات اثر خود را در افزایش غلظت CO_2 و فرآیند فتوسنتز نشان خواهد داد. در بوم‌سازهای جنگلی کاهش مقدار نور در فواصل دور از جاده‌های جنگلی با کاهش فرایند فتوسنتز ارتباط مستقیمی دارد (Gratani *et al.*, 2006). طی پژوهش فیزیکی و کانهام (Finzi and Canham, 2000) مشخص شد که قطع درختان در اثر عملیات جاده‌سازی موجب افزایش نور قابل دسترس درختان شده و سبب افزایش رطوبت و دما در کف جنگل و افزایش سرعت معدنی شدن نیتروژن و افزایش رشد نهال‌های

نتایج حاصل از تأثیر جاده‌سازی بر مقادیر کلروفیل a و b برگ‌ها نشان داد که با افزایش فاصله از جاده مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش یافته بود به طوری که در فواصل صفر از جاده بیشترین مقدار کلروفیل مشاهده شد (شکل‌های ۳ الف و ۳ ب). همچنین نتایج مربوط به کاروتنوئید برگ‌ها نشان داد که در فواصل صفر و پنجاه متری از جاده بیشترین مقدار و در فاصله صد متری کمترین مقدار آن مشاهده شد (شکل ۳ ج) کلروفیل‌های a و b به همراه کاروتنوئیدها نقش مهمی در جذب فوتون‌های نوری داشته و از جمله عوامل درونی تأثیرگذار در فرآیند فتوسنتز محسوب می‌شوند (Xiong – Wen, 2001). یافته‌های تحقیق در مورد اثرهای حاشیه‌ای جاده‌سازی بر مقادیر کلروفیل‌های a و b برگ‌ها نشان داد که با افزایش فاصله از جاده مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش یافته بود. در واقع نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با ساخت جاده جنگلی رقابت نوری بین درختان کمتر شده و در فواصل نزدیک به جاده

مؤید این مسئله است. مقدار زیاد کاروتنوئیدها در کلروپلاست‌ها می‌تواند با پراکنده ساختن پرتوهای شدید غشای سلولی را محافظت نمایند (Uddling *et al.*, 2007). ری اتا و همکاران (Riutta *et al.*, 2014) گزارش دادند که در حاشیه جاده‌های جنگلی با توجه به تکه‌تکه شدن رویشگاه اثرات اقلیمی به‌شدت متغیر می‌شوند به‌طوری‌که می‌توانند تغییراتی را در فرایندهای بوم‌سازهای جنگلی از جمله فتوسنتز و تجزیه لاشریزه‌ها به‌دنبال داشته باشند. بنابراین این عامل می‌تواند موجب حساسیت زیاد رویشگاه در برابر آشفته‌گی‌های طبیعی و انسانی شود.

نتایج حاصل از اثرهای جاده‌سازی روی مقدار آلودگی برگ‌ها نیز نشان داد که با افزایش فاصله از جاده مقدار آلودگی برگ‌ها کاهش یافته بود (شکل ۴ الف). نتایج اثرهای جاده‌سازی روی درصد رنگدانه برگ‌ها نشان داد که فقط در فاصله ۵۰ متری از جاده اختلاف معنی‌داری در درصد رنگدانه برگ‌ها مشاهده می‌شود ولی در فواصل صفر و ۱۰۰ متری از جاده این اختلاف‌ها معنی‌دار نیستند (شکل ۴ ب). یافته‌های تحقیق در مورد اثرهای جاده‌سازی روی کلروفیل از دست رفته برگ‌ها نشان داد که فقط در فاصله صفر متری از جاده اختلاف معنی‌داری در مقدار کلروفیل از دست رفته برگ‌ها مشاهده می‌شود ولی در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ متری از جاده این اختلاف‌ها معنی‌دار نیستند (شکل ۴ ج).

درختان شده است. همچنین یافته‌های این تحقیق با نتایج تحقیق شاه‌نظری (Shahnazari, 2006) مطابقت داشت. طبق گزارش ایشان در اثر افزایش کلروفیل و تسریع فرآیند فتوسنتز، رویش درختان افزایش و هرساله حدود ۳/۱۵۱ مترمکعب به موجودی حجمی توده‌های حاشیه جاده افزوده می‌شود. دلگادو و همکاران (Delgado *et al.*, 2007) نیز به اثرهای حاشیه‌ای مثبت جاده‌های جنگلی در مورد افزایش رویش ناشی از فرآیند فتوسنتز اشاره کرده بودند. براساس مطالعات کریم و مالیک (Karim and Malik, 2008) و ونکاترام و همکاران (Venkatram *et al.*, 2007) مشخص شد که تغییر میکروکلیم و کاهش رقابت نوری در اطراف جاده‌های جنگلی ممکن است دلیل اصلی افزایش رویش توده‌های حاشیه نسبت به فواصل دورتر از جاده باشد. تحقیقات کافی و دامغانی (Kafi and Damghani, 2000) نشان داد که جاده سبب کاهش رقابت نوری می‌شود و این امر در جنگل‌های متراکم شمال کشور مشهود است. در فاصله نزدیک جاده رقابت کاهش یافته و فتوسنتز بیشتر می‌شود. البته این مقدار نور تا حدی که نیاز نوری را تأمین کند مناسب است و هنگامی که درخت به اشباع نوری برسد این مقدار فتوسنتز کاهش می‌یابد. همانند کلروفیل‌های a و b مقادیر کاروتنوئید برگ‌ها نیز در فواصل صفر و ۵۰ متری از جاده بیشترین مقدار و در فاصله ۱۰۰ متری مقدار آن کاهش یافته بود. نتایج لاسکا (Laska, 2013) نیز



شکل ۴- مقادیر آلودگی برگ‌ها (الف)، درصد رنگدانه (ب) و مقدار کلروفیل از دست رفته (ج) در فواصل مختلف از جاده (میلی گرم / گرم وزن تر نمونه)

Figure 4. The amounts of contamination of the leaves, pigment percentage and the amount of chlorophyll loss at different distances from the road (mg/g of fresh biomass)

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که اثرهای حاشیه‌ای جاده‌های جنگلی در منطقه مورد بررسی در مورد متغیرهای رنگدانه‌ها (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها) و شاخص سطح ویژه برگ‌ها مثبت اما در مورد مقادیر آلودگی برگ‌ها، مقدار کلروفیل از دست رفته و همچنین شاخص رطوبت نسبی برگ‌ها منفی بود. با توجه به تغییر شاخص سطح ویژه برگ‌ها در زمان‌های مختلف فصل رویش و همچنین تغییر غلظت و ترکیب رنگدانه‌های مختلف پیشنهاد می‌شود که منحنی انعکاس طیفی گونه‌ها تهیه و در ماه‌های مختلف با هم مقایسه شوند. همچنین برای اینکه در روند تغییرات متغیرهای مورد بررسی از جاده بی‌نظمی‌هایی مشاهده نشود پیشنهاد می‌شود که فواصل نمونه‌برداری از جاده کمتر در نظر گرفته شوند.

تردد وسایط نقلیه در جاده‌های جنگلی موجب ایجاد گرد و غبار شده و در نتیجه مقادیر آلودگی برگ‌های حاشیه جاده افزایش می‌یابد این امر موجب افزایش مقدار کلروفیل از دست رفته برگ‌ها می‌شود. این مسئله در تحقیق ژئی اونگ – ون (Xiong – Wen, 2001) نیز مورد تایید قرار گرفته است. به‌طوری‌که در این حالت درختان رفتارهای اکوفیزیولوژیکی متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. ترافیک نه‌تنها موجب ایجاد تغییراتی در محتوای کلروفیل برگ‌ها و در نتیجه فرایند فتوسنتز می‌شود بلکه در فقدان برگ‌ها و از بین رفتن آنها تأثیر به‌سزایی دارد با این وضعیت گونه بلوط جزء درختانی است که در برابر آلودگی ناشی از ترافیک مقاومت بسیار زیادی را از خود نشان داده و برخلاف گونه‌های حساس می‌تواند در حاشیه جاده‌های جنگلی مستقر شود (Laska, 2013).

References

- Ahmadi, B., & Ghasemi Aghbash, F. (2015). Investigating the effects of forest roads on some growth characteristics and morphological traits of roadside trees in Shoi area of Bane city in Kurdistan province, M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran (In Persian).
- Ardakani, M., Rezvani, M., & Zafarian, F. (2007). Laboratory methods in plant ecology, Tehran University Press, 172 p (In Persian).
- Arjmand, A., Kiadaliri, H., Kazemnezhad, F., & Es-hagh Nimvari, M. (2022). 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). *Journal of Enviromental Science and Thechnology*, 63-74 (In Persian). DOI: 10.30495/jest.2022.62826.5480
- Avon, C., Berges, L., Dumas, Y., & Dupouey, J.L. (2010). Does the effect of forest roads extend a few meters or more into the adjacent forest? A study on understudy plant diversity in manage oak stand, *Forest Ecology and Management* 259, 8, 1546-1555.
- Bowering, M., LeMay, V., & Marshal, P. (2006). Effects of forest road on the growth of adjacent lodgepole pine tree. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 919-929.
- Buckley, D.S., Crow, T.R., Nauertz., E.A., & Schulz, K.E. (2003). Influences of skid trails and haul roads on under story plant richness and composition in managed forest lands capes in upper Michigan. USA. *Forest Ecology and Management*, 175, 509-520.
- Daas, C., Montpied, P., Hanchi, B., & Dreyer, E. (2008). Re- sponses of photosynthesis to high temperatures in oak saplings assessed by chlorophyll-a fluorescence: in- ter-specific diversity and temperature induced plasticity. *Annals of Forest Sciences*, 65, 305.
- Delgado, J. D., Arroyo, N. L., Arevalo, J. R., & Fernandez – Palacios, J. M. (2007). Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape and Urban Planning*, 81, 328–340.
- Dursun, S., Abdurrahim, A., & Abdullah Emin, A. (2022). Essential Issues Related to Construction Phases of Road Networks in Protected Areas: A Review. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 43(1), 219-237.
- Finzi, A.C., & Canham, C.D. (2000). Sapling growth in response to light and nitrogen availability in a southern New England Forest. *Forest Ecology and Management*, 131, 153-165.
- Fletcher, R.J., Leslie Ries, J.R., Battin, J., & Chalfoun, A.D. (2007). The role of habitat area and edge in fragmented landscapes: definitively distinct or inevitably intertwined? *Canadian Journal of Zoology*, 85(10), 1017-1030.
- Forman, R.T.T., Forman., D., Sperling, J.A., Bissonette, P., Clevenger, C.D., Cutshal, V.H., Dale, L., Fahrig, R., France, C.R., Goldman, K., Heanue, A.J., Jones, F.J., Swanson, T., & Winter, T.C. (2002). Road Ecology. Science and Solution, Island Press. Washington, U.S.A Press, 467p.
- Gratani, L., Covone, F., & Larcher, W. (2006). Leaf plasticity in response to light of three evergreen species of the Mediterranean maquis, *Trees*, 20, 549-558.
- Harrison, R. L., Barr, D. J and Dragoo, J. W. 2002. A comparison of population survey techniques for swift foxes (*Vulpes velox*) in New Mexico. *American Midland Naturalist*, 148, 320–337.
- Kafi, M., & Damghani, A. (2000). Mechanisms of resistance of plants to environmental stresses, Ferdowsi University of Mashhad Publications, 467 p (In Persian).
- Karim, M.N., & Malik, A.U. (2008). Roadside re vegetation by native plants. *Ecological Engineering*, 45, 425-430.
- Keivan Behjou, F., Hajipour, M., Naghdi, R., Sharari, M., & Pourgholi, Z. (2020). Study of forest development on regeneration (Case Study: Sistan forestry plan, Gilan Province Rudbar city). *Journal of Enviromental Science and Thechnology*, 22(92), 247-259 (In Persian).
- Kozłowska, M., & Politycka B. (2007). Fizjologia roślin, [Plants' physiology], PWRiL, Poznań.
- Laska, L. (2013). Changes in the photosynthetic apparatus of plants on chosen roads in Białystok. *Ecological Questions*, 18, 39-48.

- Naghdi, R., Pourbabaei, H., Heydari, M., Tavankar, F., Nouri, M., & Dey, D. C. (2022). Soil changes and plant's reaction to road construction in a temperate mixed forest. *Forestist*, 73(1). DOI: 10.5152/forestist.2022.22036.
- Nielsen, J.N., Severich, W., Fredericksen, T., & Nabe-Nielsen, L.I. (2007). Timber tree regeneration along abandoned logging road in a tropical Bolivian forest. *New Forests*, 34, 31-40.
- Parsakhoo, A., Rezaei motlagh, A., Matin Nia, B., & Gholami, Z. (2022). Effect of the road technical and drainage properties on roadside landslides in watershed 85 in Golestan province. *Ecology of Iranian Forest*, 10(19), 47-55 (In Persian). DOI:10.52547/ifej.10.19.47
- Panahi, P., Pourhashemi, M., & Hasaninejad, M. (2013). Comparison of Specific Leaf Area in Three Native Oaks of Zagros in National Botanical Garden of Iran. *Ecology of Iranian Forest*, 1(2), 12-26 (In Persian).
- Pazhouhan, I., Fathizadeh, O., Kamkar Rouhani, A., Vahidi, J., & Najafi, A. (2020). Time and Cost Simulation of Forest Roads Construction Using Monte Carlo analysis. *Ecology of Iranian Forest*, 8(15), 128-135 (In Persian). DOI:10.52547/ifej.8.15.128
- Poorter, H., & De Jong, R. (1999). A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist*, 143, 163-176.
- Riutta, T., Slade, M.E., Morecroft, M.D., Bebb, D.P., & Malhi, Y. (2014). Living on the edge: quantifying the structure of a fragmented forest landscape in England. *Landscape Ecology*, 25(6), 949-961.
- Shahnazari, H. (2006). Forest road marginal effect on tree growth compared to nearest stands. M.Sc. thesis. Faculty of Natural Resources, Sari, Mazandaran University, 50p. (In Persian).
- Turski, M., Beker, C., & Czerniak, A. (2023). The Impact of Road Investments on the Forest Environment—Case Study: The Impact of Asphalt Roads on the Health Condition and Growth of Trees. *Sustainability*, 15, 1307. DOI: 10.3390/su15021307.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., & Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research*, 91, 37-46.
- Venkatram, A., Isakov, V., Thoma, E., & Baldauf, R. (2007). Analysis of air quality data near roadways using a dispersion model. *Atmospheric Environment*, 41, 9481-9497.
- Xiong – Wen, C. (2001). Study of the short-time Eco-physiological Response of Plant Leaves to Dust, *Acta Botanica Sinica*, 43(10), 1058-1064.