

Research Paper

Evaluation of Edge Effects and Recreation on Plant Composition and Species Richness and Diversity (Case Study: the Noor Forest Park- Mazandaran Province)

Rohollah Rostami¹, Javad Eshaghi Rad², Karen Harper³, Alireza Naghinejad⁴ and Yahya Kooch⁵

1- Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Professor in Forest Ecology and Biodiversity, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, (Corresponding author: javad.eshaghi@yahoo.com)

3- Adjunct Professor, School for Environmental Studies, Saint Mary's University, Halifax, Canada

4- Professor, Plant Ecology, Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

5- Associate Professor in Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 19 November, 2023

Accepted: 1 February, 2024

Extended Abstract

Background: It is essential to investigate the depth, strength, and main mechanisms of edge effects and recreational activities to preserve species diversity in forest ecosystems. This study aimed to evaluate edge effects and recreation on woody and herb species composition, richness, and diversity in Hyrcanian broad-leaved forests.

Methods: Two treatments (control and recreational regions) were determined in the Noor forest park, Mazandaran Province, to achieve research objectives. Five transects from the edge to the forest interior were established in each region. Measurements of herb and tree layers were collected at -5 (out of the forest stand), 0 (forest edge), 25, 50, 100, 150, 200, and 300 m along each transect. In total, 45 sample points were assigned to each treatment. To collect data on tree and shrub canopy cover, two rectangular sample plots of 200 m² (20 × 10 m) were laid out perpendicular to the transect on the left and right sides at each point. The count, diameter at breast height (> 5 cm), height, and canopy cover percentage were the variables measured in the identified tree and shrub species. For sampling herbaceous species, 10 one-m² (1×1 m) subplots, with five subplots on each of the right and left sides spaced one m apart, were determined at each sampling point. The type and abundance of herbaceous species were recorded. Using a light sensor device (model Lycor 250), the amount of light entering the forest floor at a height of > 1 m above the ground surface was recorded at each sampling point. The species richness and diversity of tree and herbaceous strata in the sample plots were evaluated using the total number of species present in each sample plot, the rarefaction method, Shannon-Wiener species evenness, and species diversity indices. The SHE method was used to determine the contribution of species richness and evenness to the measurement of species diversity. After calculating species diversity indices, GLM analysis and the Tukey test were used to compare means between treatments. The magnitude of edge influence (MEI) and DEI for all were calculated for species diversity indices and environmental variables. DEI for each variable was calculated using the randomization test of edge influence (RTEI). Data were analyzed with R software version 4.3.1.

Results: The light near the edge was more than the interior in the study areas, and the edge positively affected the amount of light. Based on the results of the Rarefaction method and overlap of confidence intervals of the curves related to the study areas, no species richness differentiation was observed between the control and recreational areas. However, the non-overlap of the tree diagrams reveals the highest and the lowest tree species richness in the recreational and control areas, respectively. DEI values of light were -5, 0, 10, and 50 m in the control forest and -5 and 0 in the recreational area. The number of trees per hectare in distances from 10 to 150 m and the volume and basal area per hectare at a distance of 10 m were higher in the control area than in the recreational area. In general, a positive effect of the edge was observed on the species diversity indices of herb and tree layers. The results for the comparison of species diversity indices between the control and recreational areas showed that species richness and diversity of the herb layer were higher in the distances of 10-300 m of recreational

areas than in the control area. In the tree layer, higher species richness was recorded in edges of 10-200 m of the control area than in the recreational area. For the evenness index, DEI values were 10 and 0 m in recreational and control areas, respectively. Moreover, DEI values of herb species richness and diversity were 0 and -5 m in control forests.

Conclusion: Based on the results, the forest edge is considered an essential part of the forest landscape structure that significantly affects the structure, functions, and species diversity. Regarding the tourism and recreation industry as one of the largest industries in the world and its increasing importance, it is necessary to understand and improve the knowledge about its effects and the severity of its impact (due to the construction of roads) on different variables for better management and biodiversity conservation.

Keywords: Control forest, Edge effect, Fragmentation, Plant Species

How to Cite This Article: Rostami, R., Eshaghi Rad, J., Harper, K., Naghinejad, A., & Kooch, Y. (2024). Evaluation of Edge Effects and Recreation on Plant Composition, Species Richness, and Diversity (Case Study: the Noor Forest Park, Mazandaran Province). *Ecol Iran For*, 12(2), 26-40. DOI: [10.61186/ifej.12.2.26](https://doi.org/10.61186/ifej.12.2.26)



مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر حاشیه و تفرج بر ترکیب، غنا و تنوع گونه‌ای گیاهی مطالعه موردی: پارک جنگلی نور- مازندران

روح‌الله رستمی^۱، جواد اسحاقی راد^۲ , کارن هارپر^۳، علیرضا نقی‌نژاد^۴ و یحیی کوچ^۵

- ۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
- ۲- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، (نویسنده مسؤل: javad.eshaghi@yahoo.com)
- ۳- استاد، دانشکده مطالعات محیطی، دانشگاه Mary's Saint، هالیفاکس، کانادا
- ۴- استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
- ۵- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۸

صفحه: ۲۶ تا ۴۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: برای حفظ تنوع گونه‌ای، بررسی عمق، شدت و مکانیسم‌های اساسی اثرات حاشیه جنگل و اقدامات تفرجی بر بوم سازگان‌های جنگلی ضروری است. لذا این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر تفرج و فاصله از حاشیه توده‌های جنگلی بر ترکیب، غنا و تنوع گونه‌ای گیاهان چوبی و علفی در توده‌های پهن‌برگ جلگه‌ای جنگل‌های هیرکانی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور دستیابی به اهداف تعیین شده، دو تیمار شامل ناحیه ذخیره‌گاهی محصور شده (منطقه شاهد) و منطقه تفرجی، در پارک جنگلی نور استان مازندران مشخص شد. در هر تیمار پنج ترانسکت با فاصله‌ی ۴۰۰ متر از هم و از حاشیه جنگل به عمق جنگل پیاده شد. در هر ترانسکت در فواصل ۵- متر (بیرون توده جنگلی)، صفر متر (حاشیه جنگل)، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متر، نمونه‌برداری از اشکوب‌های علفی و درختی انجام شد. در مجموع در هر تیمار ۴۵ نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. برای برداشت داده‌های پوشش درختی و درختچه‌ای، در هر نقطه دو قطعه نمونه مستطیلی شکل (۲۰۰ مترمربعی (۱۰×۲۰ متر) عمود بر ترانسکت در سمت چپ و راست پیاده و نوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای شناسایی و متغیرهای تعداد، قطر برابر سینه (بیش از ۵ سانتی‌متر) و ارتفاع و درصد تاج پوشش اندازه‌گیری شد. برای آماربرداری گونه‌های علفی ۱۰ قطعه نمونه یک مترمربعی (۱×۱ متر) به‌صورت پنج ریز قطعه‌نمونه در سمت راست و پنج ریز قطعه‌نمونه نیز در سمت چپ با فاصله یک متر از هم در هر نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد و نوع و فراوانی گونه‌های علفی ثبت شد. با استفاده از دستگاه نورسنج (مدل لیکور ۲۵۰) میزان نور وارده به کف جنگل در ارتفاع ۱ متری بالاتر از سطح زمین هر نقطه نمونه‌برداری ثبت شد. برای ارزیابی غنا و تنوع گونه‌ای اشکوب درختی و علفی در قطعات نمونه از شاخص‌های غنای گونه‌ای (تعداد کل گونه‌های موجود در هر قطعه نمونه)، روش ریرفکشن، شاخص‌های یکنواختی گونه‌ای و تنوع گونه‌ای شانون وینر استفاده شد. همچنین از روش SHE برای تعیین سهم غنا و یکنواختی گونه‌ای در اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای استفاده شد. پس از محاسبه شاخص‌های تنوع گونه‌ای، از آنالیز GLM و آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها بین تیمارها استفاده شد. شاخص‌های MEI (Magnitude Of Edge Influence) اندازه‌ی یک متغیر را در حاشیه و داخل جنگل نشان می‌دهد و شاخص DEI (Distance Of Edge Influence) معادل فاصله‌هایی است که در آن فواصل مقدار یک متغیر تفاوت معنی‌داری را با فواصل دیگر دارد، که برای هر یک از متغیرهای وابسته محاسبه شد. همچنین برای محاسبه‌ی DEI، آزمون تصادفی (Randomization Test Of Edge Influence) RTEI مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور انجام کلیه محاسبات و مقایسه‌های آماری، نرم‌افزار R نسخه ۴.۳.۱ مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان نور در فواصل نزدیک به حاشیه در مناطق مورد مطالعه بیشتر از داخل و عمق جنگل است و حاشیه تأثیر مثبتی بر میزان نور داشته است. با توجه به نتایج روش ریرفکشن و همپوشانی فواصل اطمینان منحنی‌های مربوط به مناطق مورد مطالعه، از لحاظ غنای گونه‌ای بین مناطق شاهد و تفرجی تمایزی مشاهده نشد، ولی به‌علت عدم همپوشانی نمودارهای اشکوب درختی، منطقه تفرجی دارای بیشترین غنای گونه‌ای و منطقه شاهد دارای کمترین غنای گونه‌ای درختی است. مقدار شاخص DEI برای نور در منطقه تفرجی برابر با ۵-، ۱۰۰- و ۵۰- و در منطقه شاهد برابر با ۵- و ۱۰- است. تعداد در هکتار در فواصل ۱۰ تا ۱۵۰ متر و حجم و سطح مقطع در هکتار در فاصله ۱۰ متر از حاشیه در منطقه شاهد بیشتر از منطقه تفرجی است. به‌طور کلی حاشیه تأثیر مثبتی بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای علفی و درختی داشته است. نتایج مقایسه منطقه شاهد و منطقه تفرجی از لحاظ شاخص‌های تنوع گونه‌ای نشان داد که میانگین غنا و تنوع گونه‌ای اشکوب علفی در فواصل ۱۰ تا ۳۰۰ متر در منطقه تفرجی بیشتر از شاهد است. در اشکوب درختی، فواصل ۱۰ تا ۲۰۰ متر منطقه شاهد دارای غنای گونه‌ای بیشتری در مقایسه با منطقه تفرجی است. در منطقه تفرجی مقدار DEI برای شاخص یکنواختی گونه‌ای علفی برابر با ۱۰ متر است و در منطقه شاهد مقدار شاخص DEI برای غنای گونه‌ای علفی ۵- متر، برای یکنواختی گونه‌ای برابر با ۰ و برای تنوع گونه‌ای اشکوب علفی ۵- و ۰ است.

نتیجه‌گیری: در نهایت با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، حاشیه و تفرج دو عامل تأثیرگذار بر مشخصه‌های ساختاری (تعداد در هکتار، سطح مقطع و حجم در هکتار) و تنوع گونه‌ای در مناطق مورد مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین حاشیه جنگل بخش مهمی از ساختار چشم‌انداز جنگلی محسوب می‌شود و می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر ساختار، کارکرد و تنوع گونه‌ای بوم‌سازگان‌های جنگلی داشته باشد. با در نظر گرفتن صنعت گردشگری و تفرج به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین صنایع در جهان و با توجه به اهمیت روزافزون آن، درک و گسترش دانش و آگاهی در زمینه چگونگی و شدت تأثیر فعالیت‌های تفرجی و حاشیه ایجاد شده (ناشی از احداث جاده‌های دسترسی) بر متغیرهای مختلف و تعیین فاصله موثر از حاشیه به‌منظور مدیریت بهتر، پایش اثرات و حفظ تنوع زیستی پوشش گیاهی مناطق مجاور ضروری است.

واژه‌های کلیدی: جنگل شاهد، فاصله از حاشیه، قطعه قطعه شدن، گونه‌های گیاهی

مقدمه

ارزیابی مدیریت پایدار بوم سازگان‌های جنگلی در نظر گرفته می‌شود (Nourmohammadi and Esmailzadeh, 2018). بوم‌سازگان‌های جنگلی در حفظ و پایداری چرخه‌های حیاتی

بررسی تنوع زیستی از موضوعات برجسته مطالعه زیست‌بوم‌ها محسوب شده و یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای

نظرپور فرد و همکاران (Nazarpour Fard et al., 2016) ثابت کردند تفرج منجر به کاهش رشد درختان می‌شود به‌طوری‌که در منطقه شاهد میانگین قطر درختان بیشتر از مناطق تفرج گسترده و تفرج متمرکز است.

از طرف دیگر، ساخت جاده‌های دسترسی مناطق تفرجی و از دست رفتن بخشی از جنگل و کاهش سطح رویشگاه موجب افزایش حاشیه جنگل و تغییرات در گرادیان حاشیه به‌سمت داخل جنگل نیز می‌شود (Fernando et al., 2017). اثر حاشیه‌ای به‌عنوان تغییرات زیستی و غیر زیستی در مرز رویشگاه نسبت به داخل جنگل است (Cadenasso et al., 2003) که تأثیر مستقیمی بر روی تنوع گونه‌ای دارند (Aragón et al., 2015). به‌عبارت دیگر تغییرات عوامل غیرزنده مانند نور، دمای هوا، رطوبت و مواد مغذی خاک و همچنین عوامل زیستی که باعث پراکندگی بذرها می‌شوند، ممکن است منجر به تغییرات ترکیب گونه‌ای در حاشیه‌های جنگل نسبت به داخل جنگل شود. معمولاً مناطق حاشیه گرم‌تر و خشک‌تر و شدت نور و سرعت باد بیشتر از داخل جنگل است که مجموع این عوامل موجب تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی می‌شود (Gehlhausen et al., 2000). کنش و واکنش‌های بین گونه‌ای در حاشیه جنگل ممکن است منجر به غالب شدن یک یا چند گونه گیاهی شود (Krishnadas, 2018) علاوه بر این، ساختار و ترکیب توده‌های حاشیه جنگل ارتباط تنگاتنگی با وضعیت تنوع زیستی دارد چرا که حاشیه بر نوع و پراکنش گونه‌ها و جوامع گیاهی تأثیرگذار است (Chabrerrie et al., 2013; Pellissier et al., 2013). همچنین حاشیه جنگل نقش اکولوژیکی مهمی برای تنوع زیستی و ویژگی‌های اکولوژیکی گونه‌ها دارد و می‌تواند منجر به آمیختگی متفاوت گونه‌های مناطق داخلی و حاشیه جنگل شود (Duelli et al., 2002). به‌طور کلی برخی پژوهش‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار حاشیه جنگل بر تنوع گونه‌ای، تنوع ساختاری و دسترسی منابع مغذی در بوم‌سازگان‌های جنگلی است که نوع و شدت این تأثیر به شرایط اکولوژیک توده‌های مورد بررسی وابسته است (Wassie et al., 2010; Harper and Macdonald, 2011; Viña and Estévez-Varón, 2019; Deziderio et al., 2021). در این میان تعدادی از پژوهش‌ها تأثیر منفی حاشیه جنگل (Mendes et al., 2016; Wekesa et al., 2019) و برخی دیگر تأثیر مثبت حاشیه را بر تنوع گونه‌ای گیاهی و تنوع ساختاری (Hill and Curran, 2003; Pöpperl and Seidl, 2021) گزارش کردند. همچنین تأثیر قابل‌توجه حاشیه بر غنا و تنوع گونه‌ای گیاهی علفی در جنگل‌های تنک بلوط ایران نیز گزارش شده است (Valadi et al., 2021). غالباً اثر حاشیه منجر به کاهش حضور گیاهان سایه‌پسند در نزدیک حاشیه جنگل می‌شود (Dovčiak and Brown, 2014) چرا که در حاشیه‌ی ایجاد شده، انتقال نور و دما بیشتر شده و رطوبت کاهش می‌یابد (Ries et al., 2004).

با وجود پژوهش‌های متعددی که در زمینه تأثیر تفرج بر غنا و تنوع گونه‌ای گیاهی در پارک‌های جنگلی ایران انجام شده است (Eshaghi et al., 2011; Bakhshi et al., 2018).

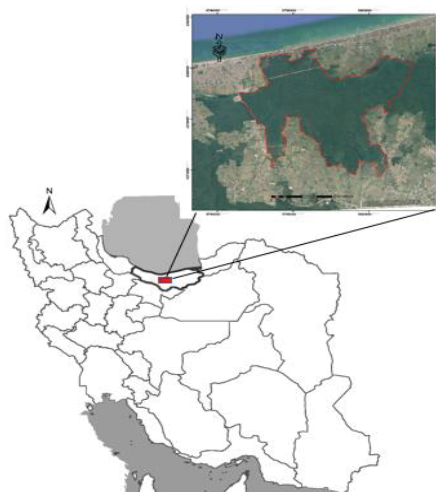
مانند کربن، آب و عناصر غذایی نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (Vahedi, 2017). این بوم‌سازگان‌ها با تعدیل هوا و فراهم کردن بستر زندگی، دارای جایگاه ویژه‌ای برای موجودات زنده هستند، از همین رو احیاء، استمرار تولید و حفظ تنوع زیستی و توجه به ارزش افزوده بوم‌سازگان‌های جنگلی یکی از اهداف اصلی علوم جنگل است (Haghighat Doust and Waez-Mousavi, 2021; Shirzadi Laskookalayeh et al., 2021). امروزه کاهش پوشش جنگلی و تخریب جنگل از طریق جنگل‌زدایی می‌تواند سبب تغییرات ناگهانی و غیرقابل برگشتی مانند انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری و تغییرات آب‌وهوایی شود (Tadesse et al., 2019). سطوح بسیار زیادی از عرصه‌های جنگلی تحت تأثیر دخالت‌های انسان تخریب شده‌اند، که بر اساس گزارش‌های فائو در دهه اخیر سالانه حدود ۱۳ میلیون هکتار از جنگل‌های جهان از بین رفته و یا به دیگر کاربری‌ها تبدیل شده است (FAO, 2020). با افزایش روزافزون جمعیت دنیا و پیشرفت علم و توسعه فناوری، فشار تخریب انسان بر روی طبیعت بیشتر شده و تخریب پوشش گیاهی به‌ویژه در جنگل‌های معتدله با نرخ هشداردهنده‌ای رو به افزایش است (Tegene et al., 2018; Kooch et al., 2020) و سطوح زیادی از عرصه‌های جنگلی با اهدافی همچون ایجاد اراضی کشاورزی و مناطق تفرجی از بین رفته است (Jouquet et al., 2008). تفرج و گردشگری حتی در مناطق حفاظت‌شده جنگلی نیز درحال افزایش است (Worboys et al., 2005) و به‌عنوان یک جنبه کلیدی در پروژه‌های توسعه‌ای و حفاظتی در کشورهای در حال توسعه در کنار حفاظت از تنوع زیستی درنظر گرفته می‌شود (Naidoo and Adamowicz, 2005; Narain and Orfei, 2012). با این حال تعداد بازدیدکنندگان از جنگل می‌تواند منجر به تعارضات بین تفرج و حفاظت از طبیعت شود. از مهم‌ترین آثار بوم‌شناختی تفرج می‌توان به فشردگی خاک و فرسایش، لگدکوب کردن پوشش گیاهی و آسیب به درختان سرپا اشاره نمود و علاوه بر این فعالیت‌های تفرجی در جنگل ممکن است موجب آسیب‌دیدگی نهال‌ها و زادآوری، کاهش تنوع گونه‌ای و تغییر ترکیب گونه‌ای شود (Hegetschweiler et al., 2009). در این زمینه براساس مطالعه‌ای که در پارک ملی تندروه خراسان رضوی انجام شد، شاخص‌های تنوع گونه‌ای گیاهی در مناطق با فشار کمتر گردشگر بیشتر از زون‌های با فشار زیاد بود (Zarghy and Hossein, 2014). همچنین پژوهش‌ها در پارک جنگلی نور نشان داد که تفرج تأثیر منفی بر تنوع گونه‌ای گیاهی و ویژگی‌های خاک داشت (Bakhshi et al., 2012; Mohammadi Fard et al., 2020). در پژوهشی دیگر پیکرینگ و هیل (Pickering and Hill, 2021) نشان دادند که حضور گردشگر در جنگل‌های خزان‌کننده و آمیخته حفاظت‌شده استرالیا به‌وسیله لگدکوب کردن، گسترش علف هرز و آفات باعث کاهش تنوع زیستی شد. نتایج پژوهشی با هدف بررسی تأثیر توسعه کشاورزی و گردشگری بر جوامع گیاهان طبیعی در پارک جنگلی ملی تایلند نشان داد که شاخص غنای گونه‌ای گیاهی در مناطق گردشگری و کشاورزی نسبت به جنگل‌های طبیعی به‌طور معنی‌داری کمتر است (Pongpattananurak, 2018).

فواصل مختلف از حاشیه جنگل در منطقه تفرجی انجام شود و با مقایسه این متغیرها در جنگل شاهد تأثیر انسانی در قالب تفرج مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد تا مدیریت دقیق چنین توده‌های ارزشمندی در بستر نتایج بررسی اکولوژیک، انجام شود. بنابراین پژوهش پیش رو با هدف مقایسه تنوع و ترکیب گونه‌ای در فواصل مختلف از حاشیه جنگل در تیمارهای مناطق شاهد و تفرجی در پارک جنگلی نور مازندران انجام شد.

2012; Zarghy and Hossein, 2014; Nazarpour fard *et al.*, 2016; Mendes and Prevedello, 2020)، اما در این پژوهش‌ها به عامل مهم اثر حاشیه‌ای توجه نشده است. همچنین با توجه به اهمیت پارک جنگلی نور مازندران به عنوان یکی از آخرین لکه‌های باقیمانده جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته جلگه‌ای شمال کشور و دارابودن ذخیره‌گاه گونه ارزشمند سفید پلت به عنوان یکی از بزرگ‌ترین پارک‌های جنگلی خاورمیانه (Vahedi, 2017)، ضروری است بررسی جامعی از تنوع و غنای گونه‌های علفی و درختی در

پارک جنگلی نور

Noor forest park



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه، استان مازندران
Figure 1. Study Area, Mazandaran Province

فعالیت‌های انسانی، دو تیمار ناحیه تفرجی ۴۰۰ هکتاری (منطقه حضور گردشگران) و ناحیه ذخیره‌گاهی گونه سفید پلت ۲۷۰ هکتاری محصور شده (منطقه شاهد) مشخص شدند. مناطق تفرج گسترده و شاهد (ذخیره‌گاه) در کنار جاده آسفالت اصلی این پارک برای این مطالعه انتخاب شدند. در ادامه برای تلخیص واژگان، به جای عبارت منطقه تفرجی گسترده از عبارت منطقه تفرجی استفاده خواهد شد.

روش پژوهش

در هر تیمار پنج ترانسکت با فاصله ۴۰۰ متر از هم و از حاشیه جنگل به عمق جنگل پیاده شدند (اولین ترانسکت به صورت تصادفی تعیین شد). در هر ترانسکت در فواصل ۵- متر (بیرون توده جنگلی بر اساس فاصله از حضور آخرین درخت در حاشیه توده جنگلی به سمت جاده)، صفر متر (حاشیه جنگل مطابق با حضور آخرین درخت در ورودی توده جنگلی)، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متر برداشت داده‌ها و نمونه‌برداری انجام شد (Mendes *et al.*, 2016) (شکل ۲). در مجموع در هر تیمار ۴۵ نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. برای برداشت داده‌های پوشش درختی و درختچه‌ای، در هر نقطه دو قطعه نمونه مستطیلی شکل ۲۰۰ مترمربعی (۱۰×۲۰ متر) عمود بر ترانسکت در سمت چپ و راست پیاده

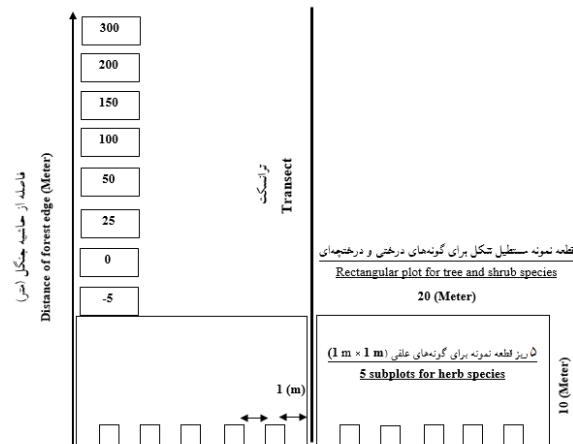
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پارک جنگلی نور مازندران انجام شد (شکل ۱). ده سال پس از ملی شدن جنگل‌های ایران، پارک جنگلی زنده‌یاد مهندس سعیدی آشتیانی نور در سال ۱۳۵۱ در مساحتی حدود چهار هزار هکتار از اراضی جنگلی جلگه‌ای شمال واقع در منطقه رستم‌رود طراحی و احداث شد (Bakhshi *et al.*, 2012). پارک جنگلی نور در حوزه آبخیز شماره ۴۹ و بین طول‌های جغرافیایی ۵۰° تا ۵۱° و عرض‌های جغرافیایی ۳۴° تا ۳۶° قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریای آزاد از ۲۰- تا ۴۳ متر متغیر است و حد شمالی آن با جاده آسفالت خط کناره و اراضی شالیزاری و حدود غرب آن با جاده نور- چمستان، جنوب آن با اراضی شالیزاری و روستاهای مجاور پارک و از شرق با رودخانه هاشم‌رود و جنگل‌های ایزدشهر هم‌مرز است. سطح پارک حدود ۳۶۳۶ هکتار و شرایط اقلیمی منطقه دارای آب و هوای معتدله خزری یا اقیانوسی است (Djamali *et al.*, 2011; Mohammadi Fard *et al.*, 2020). برای رسیدن به اهداف تعیین شده پژوهش، در ابتدا با یک بازدید میدانی از منطقه مورد نظر (پارک جنگلی نور) و در نظر گرفتن اثرات

قطعه‌نمونه در سمت راست و پنج ریز قطعه‌نمونه نیز در سمت چپ با فاصله یک متر از هم در هر نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته و نوع گونه‌های علفی تعیین و تعداد (فراوانی) آنها با شمارش ثبت شد (شکل ۲).

(Deziderio *et al.*, 2021) و نوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای شناسایی و متغیرهای تعداد، قطر برابر سینه (بیش از ۵ سانتی‌متر) و ارتفاع و درصد تاج پوشش اندازه‌گیری شد (Tegene *et al.*, 2018). برای آماربرداری گونه‌های علفی ۱۰ قطعه نمونه یک مترمربعی (۱×۱ متر) به‌صورت پنج ریز



شکل ۲- موقعیت ترانسکت و قطعات نمونه برداشت‌شده در جنگل‌های مورد مطالعه
Figure 2. Location of a transect and measured plots in study forests

است که در آن فواصل مقدار یک متغیر تفاوت معنی‌داری را با فواصل دیگر دارد، که برای هریک از متغیرهای وابسته محاسبه شد. همچنین برای محاسبه‌ی DEI، آزمون تصادفی RTEI (Randomization Test Of Edge Influence) مورد استفاده قرار گرفت. RTEI معنی‌داری MEI را در فواصل مختلف از حاشیه مشخص می‌کند و DEI به‌عنوان فاصله‌ای که در آن فاصله، MEI معنی‌دار است تعریف می‌شود. اگر MEI در هیچ فاصله‌ای معنی‌دار نباشد، DEI به‌صورت Ns (Not Significant) گزارش می‌شود (Harper *et al.*, 2005; Dodonov *et al.*, 2013). شاخص‌های تنوع گونه‌ای و انجام رسته‌بندی و تمام محاسبات آماری از نرم‌افزار R نسخه ۴.۳.۱ استفاده شد (R core team, 2013).

نتایج و بحث

در جدول ۱، میانگین مشخصات کمی درختان و میزان نور رسیده به کف جنگل و همچنین نتایج مقایسه کمی متغیرها در فواصل مختلف از حاشیه جنگل در مناطق مورد مطالعه ارائه شده است. میزان نور رسیده به کف جنگل در فاصله ۵- متر از حاشیه در مناطق شاهد و تفرجی با سایر فواصل اختلاف معنی‌داری دارد. در منطقه تفرجی و در فواصل ۰، ۱۰ و ۵۰ متر، میزان نور بیشتری ثبت شده است. فاصله صفر در منطقه شاهد دارای میانگین میزان نور بیشتری نسبت به فواصل ۱۰ و ۳۰۰ متر است (جدول ۱). همچنین میزان نور در فواصل ۵- و ۱۰ متر منطقه تفرجی در مقایسه با فواصل مذکور در منطقه شاهد بیشتر است. مطابق با جدول ۱، فاصله ۱۵۰ متر با فواصل صفر و ۳۰۰ متر از لحاظ تعداد در هکتار در منطقه تفرجی اختلاف معنی‌داری دارد، به‌طوری‌که میانگین

برای بررسی میزان نور وارده به کف جنگل در هر نقطه نمونه‌برداری، دستگاه نورسنج مدل لیکور ۲۵۰ ساخت کشور امریکا مورد استفاده قرار گرفت. به‌طوری‌که در مرکز هر ریز قطعه‌نمونه در ارتفاع ۱ متری بالاتر از سطح زمین و در شرایط آسمان کاملاً ابری میزان نور در اواسط روز اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها بر حسب لوکس برای هر نقطه نمونه‌برداری ثبت شد (Chen *et al.*, 2019; Gendron *et al.*, 1998).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای ارزیابی غنا و تنوع گونه‌ای اشکوب درختی و علفی در قطعات نمونه از شاخص‌های غنای گونه‌ای (تعداد کل گونه‌های موجود در هر قطعه‌نمونه)، روش ریرفکشن، شاخص‌های یکنواختی گونه‌ای و تنوع گونه‌ای شانون وینر استفاده شد. همچنین از روش SHE به‌منظور تعیین سهم هریک از مؤلفه‌های غنا و یکنواختی گونه‌ای در اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای استفاده شد (Wilson *et al.*, 2008). برای بررسی تأثیر فعالیت انسانی و فاصله از حاشیه بر متغیرهای محیطی و متغیرهای کمی پوشش درختی و همچنین شاخص‌های تنوع گونه‌ای از روش مدل خطی تعمیم‌یافته (General Linear Model) GLM استفاده شد. در این آنالیز، هریک از متغیرهای کمی به‌عنوان متغیر وابسته و فاصله از حاشیه و تیمار به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد (Reinmann and Hutrya, 2016) و سپس برای متغیرهای معنی‌دار، برای مقایسه‌ی متغیرها در بین تیمارها و فواصل مختلف از آزمون توکی استفاده شد. شاخص‌های MEI (Magnitude Of Edge Influence) اندازه‌ی یک متغیر را در حاشیه و داخل جنگل نشان می‌دهد و شاخص DEI (Distance Of Edge Influence) معادل فاصله‌هایی

نقش دارد و در بسیاری از پژوهش‌ها به رابطه منفی و معنی‌دار بین دو متغیر مذکور اشاره شده است (Schelker *et al.*, 2013; Tiina Tonteri *et al.*, 2016; Matsuo *et al.*, 2021). علاوه بر این، اقدامات و فعالیت‌های تفرجی ممکن است منجر به کاهش تاج پوشش و از بین رفتن پایه‌های زادآوری و آسیب به زیر اشکوب شود که در نهایت افزایش میزان نور در دسترس در کف جنگل در منطقه تفرجی را به‌دنبال دارد.

نمودارهای شاخص غنای گونه‌ای ریرفکشن مربوط به اشکوب‌های علفی و درختی در شکل ۳ ارائه شده است. منحنی‌های ریرفکشن ارتباط بین غنای گونه‌ای و تعداد افراد نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل و همپوشانی فواصل اطمینان منحنی‌های مربوط به مناطق مورد مطالعه، بین مناطق شاهد و تفرجی از لحاظ غنای گونه‌ای ریرفکشن اشکوب علفی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۳). همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد به‌علت عدم همپوشانی نمودارهای ریرفکشن اشکوب درختی در مناطق مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری از لحاظ غنای گونه‌ای ریرفکشن بین تیمارها وجود دارد. به‌طوری‌که منطقه تفرجی دارای بیشترین غنای گونه‌ای و منطقه شاهد دارای کمترین غنای گونه‌ای ریرفکشن در اشکوب درختی است (شکل ۳).

متغیر مذکور در فاصله ۱۵۰ متر کمتر است (0.68 ± 0.40) در مقابل 2.38 ± 0.12 و 2.56 ± 0.13 . فواصل مختلف در منطقه شاهد از لحاظ تعداد در هکتار اختلاف معنی‌داری ندارند. در فواصل ۱۰، ۲۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر از حاشیه جنگل، منطقه شاهد دارای میانگین تعداد در هکتار بیشتری نسبت به منطقه تفرجی است (جدول ۱). همچنین اختلاف معنی‌داری از لحاظ سطح مقطع و حجم در هکتار بین فواصل مختلف در مناطق مورد مطالعه مشاهده نشد. میانگین سطح مقطع و حجم در هکتار در فاصله ۱۰ متر در منطقه شاهد بیشتر از منطقه تفرجی است (سطح مقطع در هکتار: 0.17 ± 0.76 در مقابل 0.24 ± 0.87 و حجم در هکتار: 2.60 ± 0.40 در مقابل 2.38 ± 0.12). علاوه بر نقش اکولوژیکی مهمی که حاشیه جنگل ایفا می‌کند، به طور کلی از نظر ساختاری نیز با مناطق داخلی متفاوت است، که منجر به اثرات معنی‌دار بر روی اقلیم، کارکرد و تنوع زیستی در بوم سازگان‌های جنگلی می‌شود (Colley *et al.*, 2000; Meeussen *et al.*, 2020; Franklin *et al.*, 2021; Amoli Kondari *et al.*, 2022). بیشتر بودن میزان نور رسیده به کف جنگل در منطقه تفرجی را می‌توان به کمتر بودن تعداد در هکتار درختان در مقایسه با منطقه شاهد نسبت داد چراکه تعداد در هکتار درختان به‌عنوان یک متغیر مهم و تأثیرگذار در میزان نور رسیده به کف جنگل

جدول ۱- مشخصه‌های کمی، محیطی و مقایسه آماری در منطقه تفرجی و شاهد در فواصل مختلف از حاشیه جنگل (حروف انگلیسی کوچک بیانگر اختلاف معنی‌دار بین فواصل در یک منطقه و نماد * بیانگر اختلاف معنی‌دار بین فاصله‌های متناظر در دو منطقه مورد مطالعه است).

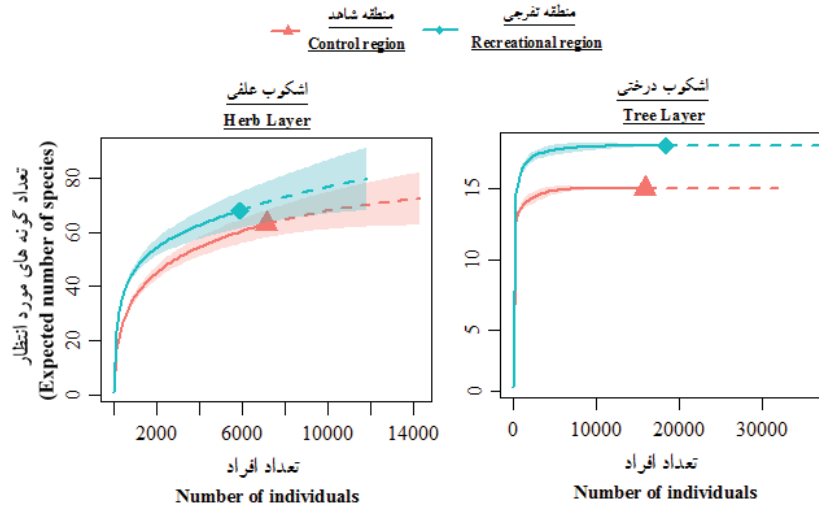
Table 1. Quantitative, environmental characteristics and statistical comparison in recreational region and control region (Lowercase letters show significant difference between distances in single region and * was used for a significant difference between two regions in specific distance)

فاصله از حاشیه (متر) Distance from edge (m)	تفرجی Frequency	مناطق شاهد Control region	مناطق تفرجی Recreational region	سطح مقطع (متر مربع) Basal area (m ²)	مناطق شاهد Control region
-5					
0	12.60 ± 2.38^{ac}	18.60 ± 2.87^a	0.97 ± 0.18^a	1.43 ± 0.22^a	
10	$9.40 \pm 3.19^{ab*}$	21.60 ± 2.14^a	$0.87 \pm 0.24^{a*}$	1.76 ± 0.17^a	
25	$9.40 \pm 1.60^{ab*}$	15.80 ± 1.46^a	1.32 ± 0.20^a	1.25 ± 0.21^a	
50	10.20 ± 1.98^{ab}	15.40 ± 2.64^a	1.10 ± 0.20^a	1.35 ± 0.29^a	
100	$7.00 \pm 10.60^{bc*}$	17.40 ± 2.27^a	1.06 ± 0.27^a	1.66 ± 0.26^a	
150	$6.40 \pm 0.68^{b*}$	15.40 ± 2.60^a	0.68 ± 0.27^a	1.38 ± 0.40^a	
200	10.60 ± 1.91^{ab}	19.00 ± 2.02^a	1.06 ± 0.31^a	1.30 ± 0.22^a	
300	13.40 ± 2.56^a	17.40 ± 1.12^a	1.13 ± 0.24^a	1.65 ± 0.26^a	

ادامه جدول ۱ - مشخصه‌های کمی، محیطی و مقایسه آماری در منطقه تفرجی و شاهد در فواصل مختلف از حاشیه جنگل (حروف انگلیسی کوچک بیانگر اختلاف معنی‌دار بین فواصل در یک منطقه و نماد * بیانگر اختلاف معنی‌دار بین فاصله‌های متناظر در دو منطقه مورد مطالعه است).

Continued Table 1. Quantitative, environmental characteristics and statistical comparison in recreational region and control region (Lowercase letters show significant difference between distances in single region and * was used for a significant difference between two regions in specific distance)

حجم (متر مکعب) Volume (m ³)	مناطق تفرجی Recreational region	مناطق شاهد Control region	مناطق تفرجی Recreational region	نور (لوکس) Light (Lux)	مناطق شاهد Control region
-5					
0	9.95 ± 2.38^a	15.85 ± 3.32^a	$6491.60 \pm 860.20^{a*}$	3860.00 ± 41.57^a	
10	$10.54 \pm 2.82^{a*}$	20.04 ± 2.60^a	3146.80 ± 275.60^b	2559.40 ± 197.62^{ac}	
25	17.66 ± 3.09^a	14.76 ± 3.17^a	$2209.00 \pm 273.72^{bc*}$	1252.80 ± 173.65^b	
50	14.01 ± 3.34^a	16.51 ± 4.76^a	1633.00 ± 176.89^{cd}	1741.60 ± 230.57^{bc}	
100	14.49 ± 3.80^a	19.88 ± 4.40^a	1944.00 ± 278.86^{bc}	1740.80 ± 156.57^{bc}	
150	9.16 ± 4.78^a	17.06 ± 5.98^a	1523.20 ± 127.74^{cd}	1683.00 ± 196.56^{bc}	
200	12.93 ± 5.52^a	15.20 ± 3.17^a	1431.60 ± 199.44^{cd}	1486.40 ± 147.28^{bc}	
300	12.60 ± 3.12^a	21.58 ± 3.67^a	1499.60 ± 153.084^{cd}	1548.00 ± 248.71^{bc}	
			1053.80 ± 185.43^d	1406.20 ± 123.53^b	



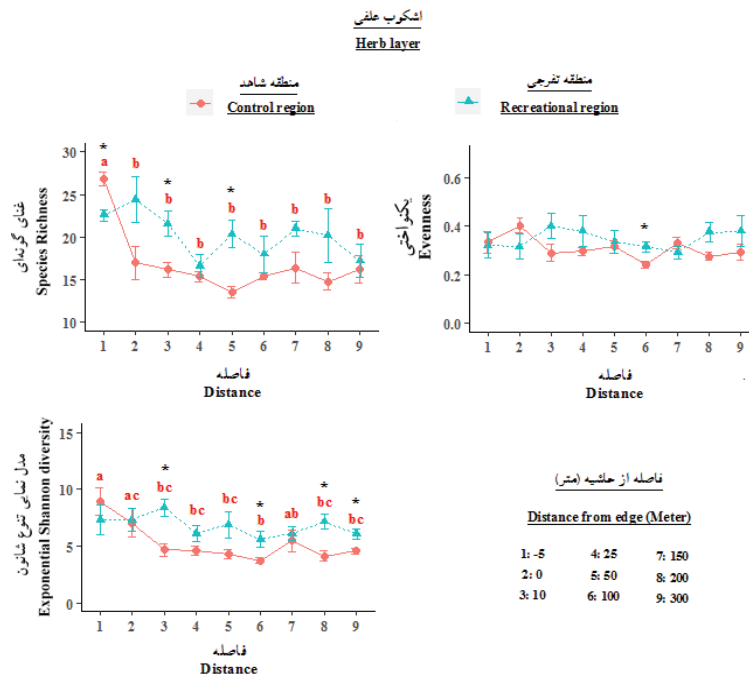
شکل ۳- منحنی‌های ریرفکشن مربوط به اشکوب‌های علفی و درختی
Figure 3. Rarefaction curves relating to herb and tree layers

است (Willmer *et al.*, 2022). نورمن و همکاران (Normann *et al.*, 2016) نشان دادند که با افزایش فاصله از حاشیه غنای گونه‌ای اشکوب علفی در توده‌های آمیخته راش تغییر معنی‌داری نداشته است در حالی که در توده‌های خالص راش غنای گونه‌ای در مناطق داخلی جنگل نسبت به فواصل نزدیک به حاشیه به‌شدت کاهش پیدا کرد. یافته‌های مطالعه نورمن و همکاران (Normann *et al.*, 2016) مبین بیشتر بودن فراوانی گونه‌های عمومی در حاشیه جنگل و فراوان‌تر بودن گونه‌های اختصاصی در مناطق داخلی توده‌های راش بود. همچنین ویلمر و همکاران (Willmer *et al.*, 2022) اذعان داشتند که در جنگل‌های معتدله، حاشیه جنگل و در جنگل‌های تروپیکال مناطق داخلی جنگل دارای تنوع گونه‌ای بیشتری است. بررسی‌های انجام شده مبین این موضوع است که نتایج متفاوت و گاهی متناقض در رابطه با تأثیر حاشیه جنگل بر تنوع گونه‌ای ممکن است ناشی از تفاوت در نوع جنگل، ارتفاع از سطح دریا، شرایط اکولوژیک حاکم بر توده‌های مورد بررسی، فاصله‌های تعیین شده، سابقه بهره‌برداری و تخریب، مقیاس مطالعه (محلی یا جهانی) و منشأ ایجاد حاشیه (طبیعی یا غیرطبیعی و انسانی) باشد (Harper *et al.*, 2005; Meeussen *et al.*, 2020; Mendes and Prevedello, 2020). علی‌رغم این ناهمگنی‌ها در نتایج و تفسیرها، اثرات حاشیه یکی از محرک‌های اصلی تأثیر پدیده قطعه قطعه شدن زیستگاه‌ها بر تنوع زیستی در بوم‌سازگان‌های طبیعی تلقی می‌شود (Pfeifer *et al.*, 2017; Püttker *et al.*, 2020). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غنای گونه‌ای علفی فاصله ۰ شاهد بیشتر از تفرجی و غنای گونه‌ای فواصل ۱۰ و ۵۰ متر تفرجی بیشتر از شاهد است. منطقه تفرجی در فاصله ۱۰۰ متر از حاشیه جنگل، میانگین یکنواختی گونه‌ای بیشتری در اشکوب علفی در مقایسه با منطقه شاهد دارد (شکل ۳). تنوع گونه‌ای علفی در فواصل ۱۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متر منطقه تفرجی بیشتر از شاهد است. کاهش غنای گونه‌ای گیاهی با افزایش

با توجه به شکل ۴، فواصل مختلف از حاشیه در منطقه تفرجی اختلاف معنی‌داری از لحاظ شاخص‌های تنوع گونه‌ای اشکوب علفی ندارند. در حالی که در منطقه شاهد فاصله ۵- بیشترین غنای گونه‌ای علفی را نسبت به سایر فواصل در این منطقه نشان داده است. از لحاظ شاخص تنوع گونه‌ای اشکوب علفی در منطقه شاهد، فاصله ۵- دارای میانگین بیشتری در مقایسه با فواصل ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ است (شکل ۳). همچنین میانگین شاخص تنوع گونه‌ای شانون وینر در فاصله ۰ منطقه شاهد بیشتر از فاصله ۱۰۰ متر از حاشیه است (شکل ۳). به‌طور کلی حاشیه تأثیر مثبتی بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای علفی و درختی داشته است (جدول ۲). عمدتاً حاشیه جنگل باعث حفظ تنوع زیستی مناطق داخلی جنگل از شرایط نامساعد می‌شود و شرایط زیستگاهی مناسبی را برای گونه‌های مختلف (اختصاصی و عمومی) ایجاد می‌کند (Melin *et al.*, 2018; Govaert *et al.*, 2019). در مقایسه با فضای داخلی جنگل، حاشیه‌ها با تعدیل ریزاقليم، فرآیندهای اکولوژیک و چرخه‌های عناصر غذایی منجر به افزایش تنوع گونه‌ای و تنوع ساختاری می‌شود، به‌عنوان مثال می‌توان به افزایش میزان نور، رسوب بیشتر نیتروژن اتمسفری و تعدیل رطوبت، دما و سرعت باد اشاره نمود (Lindenmayer *et al.*, 2000; Wermelinger *et al.*, 2007; Meeussen *et al.*, 2020). به‌عبارت دیگر حاشیه‌ها می‌توانند زیستگاهی برای انواع گونه‌های گیاهی عمومی و نورپسند باشند (Normann *et al.*, 2016). مطالعه‌ای در جنگل‌های آمیخته معتدله در اروپای غربی نشان داده که حاشیه تأثیر مثبتی بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای گیاهی داشته است و بیان نمودند که تنوع زیستی نسبت به شاخص‌های تنوع ساختاری توده‌های جنگلی از حاشیه ایجاد شده بیشتر تأثیر می‌پذیرد (Pöpperl and Seidl, 2021). پژوهش مروری ثابت کرده است که در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا، حاشیه جنگل دارای تنوع گونه‌ای بیشتری نسبت به مناطق داخلی می‌باشد در حالی که در ارتفاعات پایین‌تر تنوع گونه‌ای در مناطق داخلی بیشتر

گونه‌ای اشکوب علفی خواهد شد. در این راستا برخی از پژوهش‌های گذشته ارتباط مثبت و معنی‌دار بین متغیرهای نور در دسترس، غنا و تنوع گونه‌ای علفی را در جنگل‌های معتدله ثابت کرده است (Márialigeti *et al.*, 2016; Dormann *et al.*, 2020).

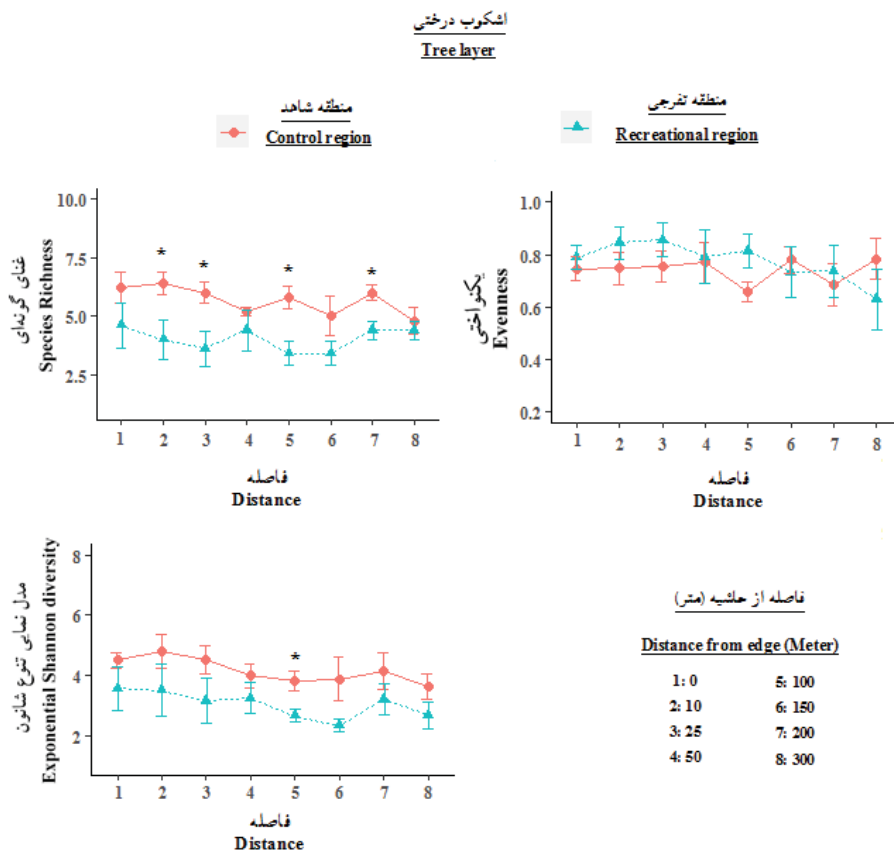
فاصله از حاشیه جنگل در مطالعات پیشین گزارش شده است (Stowe *et al.*, 2003; Alignier and Deconchat, 2013; Erdős *et al.*, 2013). با توجه به بیشتر بودن میزان نور در دسترس در کف جنگل در منطقه تفرجی، شرایط برای استقرار و رشد گونه‌های نورپسند مربوط به مراحل اولیه توالی و مهاجم، بیشتر فراهم می‌شود که منجر به افزایش غنا و تنوع



شکل ۴- شاخص‌های تنوع گونه‌ای اشکوب علفی و مقایسه آماری در فواصل مختلف از حاشیه (حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های فواصل مختلف در یک منطقه و علامت ستاره مبین اختلاف معنی‌دار بین منطقه تفرجی و منطقه شاهد در یک فاصله است). Figure 4. Species diversity indices of herb layer and statistical comparison in different distances of edge (Lowercase letters show significant difference between distances in single region and * was used for a significant difference between two regions in specific distance)

گونه‌ای درختی در فاصله ۱۰۰ متر در منطقه شاهد بیشتر از منطقه تفرجی است (شکل ۵). همچنین تنوع گونه‌ای درختی در فاصله ۱۰۰ متر در منطقه شاهد بیشتر از منطقه تفرجی است (شکل ۵).

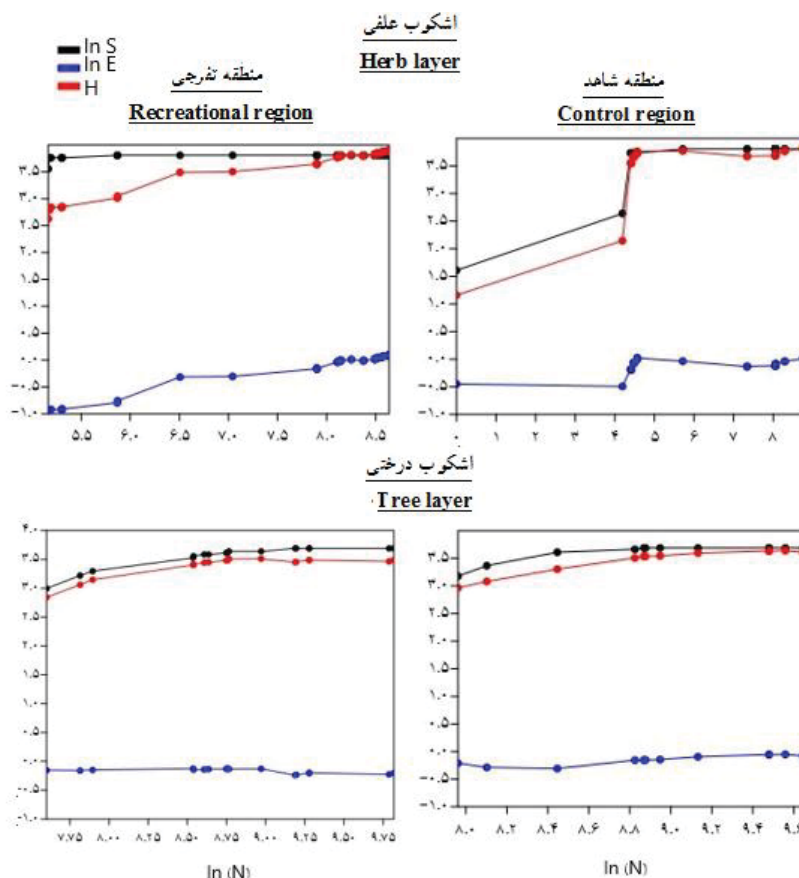
فواصل مختلف از حاشیه جنگل در مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از لحاظ شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختی ندارند (شکل ۵). با این حال، فواصل ۱۰، ۲۵، ۱۰۰ و ۲۰۰ متر در منطقه شاهد میانگین غنای گونه‌ای درختی بیشتری نسبت به فواصل مذکور در منطقه تفرجی دارند. همچنین تنوع



شکل ۵- شاخص‌های تنوع گونه‌ای اشکوب درختی و مقایسه آماری در فواصل مختلف از حاشیه (حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های فواصل مختلف در یک منطقه و علامت ستاره مبین اختلاف معنی‌دار بین منطقه تفرجی و منطقه شاهد در یک فاصله است).
Figure 5. Species diversity indices of tree layer and statistical comparison in different distances of edge (Lowercase letters show significant difference between distances in single region and * was used for a significant difference between two regions in specific distance)

تنوع گونه‌ای است. اما در منطقه شاهد روند تغییرات منحنی‌های غنا و گونه‌ای و یکنواختی تقریباً مشابه است. در رابطه با اشکوب درختی در هر دو منطقه مورد مطالعه منحنی‌های غنا و یکنواختی دارای روند تغییرات ثابت و مشابهی می‌باشد. اگر منحنی‌های غنا و یکنواختی مشابه یکدیگر تغییر کنند نشان دهنده سهم یکسان آنها در تنوع گونه‌ای است (Asghari et al., 2022).

نتایج آنالیز SHE در شکل ۶ نمایش داده شده است. منحنی غنا مربوط به اشکوب علفی در منطقه تفرجی نسبت به منطقه شاهد دارای روند ثابت و با نوسان کمتری است در حالیکه در منطقه شاهد دارای روند افزایشی است. علاوه بر این منحنی‌های مربوط به یکنواختی گونه‌ای در هر دو منطقه دارای نوسانات و تغییرات بیشتری می‌باشند و روند افزایشی را نشان می‌دهند. در نتیجه در منطقه تفرجی با توجه به اینکه تغییرات منحنی یکنواختی در اشکوب علفی بیشتر از منحنی غنا است، این امر بیانگر سهم بیشتر یکنواختی گونه‌ای در



شکل ۶- تجزیه تنوع گونه‌ای به مولفه‌های غنا و یکنواختی گونه‌ای در مقیاس لگاریتم طبیعی در اشکوب‌های علفی و درختی مناطق مورد مطالعه (ln S: لگاریتم طبیعی غنای گونه‌ای، ln E: لگاریتم طبیعی یکنواختی گونه‌ای، H: شاخص تنوع گونه‌ای شانون وینر، ln N: لگاریتم طبیعی فراوانی)

Figure 6. The division of species diversity into components of species richness and evenness on the natural logarithmic scale in the herbaceous and tree layers of the study areas. (ln S: natural logarithm of Species richness, E – natural logarithm of Evenness, H - Shannon -Weiner diversity index, ln N: natural logarithm of frequency)

فعالیت‌های تفرجی و از بین رفتن پایه‌ها درختی و زادآوری برخی از گونه‌ها باشد. در حالی که مطالعه‌ای در پارک جنگلی نور نشان داده است تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختی و درختچه‌ای در زون‌های مختلف تفرجی شامل زون با فشار متوسط، زون با فشار زیاد تفرج و زون بدون تفرج (منطقه شاهد) وجود ندارد (Mohammadi Fard *et al.*, 2020). به‌طور کلی اثر حاشیه با توجه به سن و ساختار توده و اثرات متقابل این دو متغیر و شیوه مدیریت جنگل می‌تواند متفاوت باشد (Li *et al.*, 2018) و فاصله از حاشیه یکی از مهمترین متغیرها در تعیین بزرگی، مثبت و یا منفی بودن اثر حاشیه بر سایر متغیرها معرفی شده است (Willmer *et al.*, 2022). یافته‌های دهه‌های گذشته نشان‌دهنده تأثیر حاشیه تا فاصله تقریبی ۵۰ متر بوده، اما در مطالعات اخیر این فاصله مؤثر تا چند صد متر هم ثبت شده است که مبین اهمیت در نظر گرفتن مقیاس فاصله گسترده‌تر در بررسی‌های اثرات حاشیه جنگل بر متغیرهای مختلف است (Vockenhuber *et al.*, 2011; Bergès *et al.*, 2013; Hofmeister *et al.*, 2013; Pellissier *et al.*, 2013).

نتایج حاصل از آنالیز RTEI میزان نور و شاخص‌های تنوع گونه‌ای در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، تأثیر حاشیه بر میزان نور رسیده به کف جنگل در مناطق مورد مطالعه مثبت است. بنابراین حاشیه تأثیر مثبتی بر متغیر مذکور دارد که مبین بیشتر بودن میزان نور در حاشیه جنگل نسبت به مناطق داخلی جنگل است. مقدار شاخص DEI برای نور در منطقه تفرجی برابر با ۵-، ۰ و ۱۰ و در منطقه شاهد برابر با ۵- و ۰ است (جدول ۲). حاشیه جنگل تأثیر مثبتی بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای در منطقه تفرجی دارد و مقدار DEI برای شاخص یکنواختی گونه‌ای علفی برابر با ۱۰ متر است (جدول ۲). در منطقه شاهد تأثیر حاشیه بر کلیه شاخص‌های تنوع گونه‌ای در اشکوب‌های علفی و درختی مثبت است و مقدار شاخص DEI برای غنای گونه‌ای علفی ۵- متر، برای یکنواختی گونه‌ای برابر با ۰ و برای تنوع گونه‌ای اشکوب علفی ۵- و ۰ است (جدول ۲). به‌طور کلی حاشیه تأثیر مثبتی بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای داشته است. کاهش غنای گونه‌ای درختی در منطقه تفرجی می‌تواند ناشی از برداشت و بهره‌برداری‌های صورت گرفته به‌منظور

جدول ۲- نتایج آنالیز RTEI شاخص‌های تنوع گونه‌ای و نور در مناطق مورد مطالعه

Table 2. RTEI analysis results of species diversity indices and light in study regions

منطقه شاهد Control region		منطقه تفرجی Recreational region		نور Light	
DEI (m)	MEI	DEI (m)	MEI		
0, -5	0.432	-5, 0, 10, 50	0.650		
-5	0.261	ns	0.122	غناي گونه‌اي Species richness	اشکوب علفی Herb layer
0	0.170	ns	0.083	یکنواختي گونه‌اي Species evenness	
0, -5	0.333	10	0.147	تنوع گونه‌اي شانون وینر Shannon diversity	
ns	0.085	ns	0.082	غناي گونه‌اي Species richness	اشکوب درختی Tree layer
ns	0.028	ns	0.080	یکنواختي گونه‌اي Species evenness	
ns	0.135	ns	0.107	تنوع گونه‌اي شانون وینر Shannon diversity	

گرفتن صنعت گردشگری و تفرج به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین صنعت‌ها در جهان و با توجه به اهمیت روز افزون آن، درک و گسترش دانش و آگاهی در زمینه چگونگی و شدت تأثیر فعالیت‌های تفرجی و حاشیه ایجاد شده (ناشی از احداث جاده‌های دسترسی) بر متغیرهای مختلف و تعیین فاصله مؤثر از حاشیه به‌منظور مدیریت بهتر، کنترل اثرات و حفظ تنوع زیستی پوشش گیاهی مناطق مجاور ضروری است.

نتیجه‌گیری کلی

در نهایت با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، حاشیه و تفرج دو عامل تأثیرگذار بر مشخصه‌های ساختاری (تعداد در هکتار، سطح مقطع و حجم در هکتار) و تنوع گونه‌ای در مناطق مورد مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین حاشیه جنگل بخش مهمی از ساختار چشم‌انداز جنگلی محسوب می‌شود و می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر ساختار، کارکرد و تنوع گونه‌ای بوم سازگان‌های جنگلی داشته باشد. با در نظر

References

- Alignier, A., & Deconchat, M. (2013). Patterns of forest vegetation responses to edge effect as revealed by a continuous approach. *Annals of Forest Science*, 70, 601-609. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0301-0>
- Amolikondori, A., Abrari Vajari, K., Feizian, M., & Diiorio, A. (2021). Interactions between structural properties beech tree and soil biology with competition index in canopy gaps in Beech stand. *Ecology of Iranian Forest*, 9(18), 74-80 (In Persian). <https://doi.org/10.52547/ifej.9.18.74>
- Aragón, G., Abuja, L., Belinchón, R., & Martínez, I. (2015). Edge type determines the intensity of forest edge effect on epiphytic communities. *European Journal of Forest Research*, 134, 443-451. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0863-5>
- Asghari Aghozgoleh, K. h., Jalilvand, H., & Asadi, H. (2022). Determining the contribution of the diversity of understory plant species in broadleaf and coniferous trees reforestation (case study: Colet Forest of Mazandaran). *Environmental Sciences*, 20(1), 129-150 (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.17351324.1401.20.1.8.7>
- Bakhshi, H., Namiranian, M., Makhdoom, M. & Zahedi Amiri, Gh. (2012). The impact of recreation on regeneration, herbaceous cover and soil quality (A case study: Nour forest park). *Forest and Wood Products*, 65(3), 271- 283 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JFWP.2012.30079>
- Bergès, L., Pellissier, V., Avon, C., Verheyen, K., & Dupouey, J. L. (2013). Unexpected long-range edge-to-forest interior environmental gradients. *Landscape Ecology*, 28, 439-453. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9841-1>
- Cadenasso, M. L., Pickett, S. T., Weathers, K. C., & Jones, C. G. (2003). A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience*, 53(8), 750-758. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0750:AFFATO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0750:AFFATO]2.0.CO;2)
- Chabrierie, O., Jamoneau, A., Gallet-Moron, E., & Decocq, G. (2013). Maturation of forest edges is constrained by neighbouring agricultural land management. *Journal of Vegetation Science*, 24(1), 58-69. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01449.x>
- Chen, L., Han, W., Liu, D., & Liu, G. (2019). How forest gaps shaped plant diversity along an elevational gradient in Wolong National Nature Reserve?. *Journal of Geographical Sciences*, 29, 1081-1097. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1646-6>
- Davies-Colley, R. J., Payne, G. W., & Van Elswijk, M. (2000). Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology*, 111-121.
- Djamali, M., Akhane, H., Khoshroavesh, R., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., & Brewer, S. (2011). Application of the global bioclimatic classification to Iran: implications for understanding the modern vegetation and biogeography. *Ecologia mediterranea*, 37(1), 91-114. <https://doi.org/10.3406/ecmed.2011.1350>
- Dormann, C. F., Bagnara, M., Boch, S., Hinderling, J., Janeiro-Otero, A., Schäfer, D., ... & Hartig, F. (2020). Plant species richness increases with light availability, but not variability, in temperate forests understorey. *BMC ecology*, 20, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s12898-020-00311-9>

- Dovčiak, M., & Brown, J. (2014). Secondary edge effects in regenerating forest landscapes: vegetation and microclimate patterns and their implications for management and conservation. *New forests*, 45, 733-744. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9419-7>
- Duelli, P., Obrist, M. K., & Fluckiger, P. F. (2002). Forest edges are biodiversity hotspots—also for Neuroptera. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 48(Suppl 2), 75-87.
- Erdős, L., Gallé, R., Körmöczy, L., & Bátori, Z. (2013). Species composition and diversity of natural forest edges: edge responses and local edge species. *Community Ecology*, 14, 48-58. <https://doi.org/10.1556/ComEc.14.2013.1.6>
- FAO, (2020). The State of the World's Forests. (2020). <https://doi.org/10.4060/ca8642en>.
- Magnago, L. F. S., Magrach, A., Barlow, J., Schaefer, C. E. G. R., Laurance, W. F., Martins, S. V., & Edwards, D. P. (2017). Do fragment size and edge effects predict carbon stocks in trees and lianas in tropical forests?. *Functional ecology*, 31(2), 542-552. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12752>
- Franklin, C. M., Harper, K. A., & Clarke, M. J. (2021). Trends in studies of edge influence on vegetation at human-created and natural forest edges across time and space. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(2), 274-282. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0308>
- Gehlhausen, S. M., Schwartz, M. W., & Augspurger, C. K. (2000). Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. *Plant Ecology*, 147, 21-35. <https://doi.org/10.1023/A:1009846507652>
- Gendron, F., Messier, C., & Comeau, P. G. (1998). Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92(1), 55-70. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(98\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(98)00082-3)
- Govaert, S., Meeussen, C., Vanneste, T., Bollmann, K., Brunet, J., Cousins, S. A., ... & De Frenne, P. (2020). Edge influence on understorey plant communities depends on forest management. *Journal of Vegetation Science*, 31(2), 281-292. <https://doi.org/10.1111/jvs.12844>
- Haghighatdoust, A., & Waez-Mousavi, S. M. (2021). Frequency of tree micro-habitats in Persian ironwood-hornbeam forest at Bahramnia forestry plan (Gorgan). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 27(4), 113-129 (In Persian). <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x>
- Harper, K. A., & Macdonald, S. E. (2011). Quantifying distance of edge influence: a comparison of methods and a new randomization method. *Ecosphere*, 2(8), 1-17. <https://doi.org/10.1890/ES11-00146.1>
- Harper, K. A., Drapeau, P., Lesieur, D., & Bergeron, Y. (2016). Negligible structural development and edge influence on the understorey at 16–17-yr-old clear-cut edges in black spruce forest. *Applied vegetation science*, 19(3), 462-473. <https://doi.org/10.1111/avsc.12226>
- Harper, K. A., Macdonald, S. E., Burton, P. J., Chen, J., Brososke, K. D., Saunders, S. C., ... & Esseen, P. A. (2005). Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation biology*, 19(3), 768-782. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x>
- Hegetschweiler, K. T., van Loon, N., Ryser, A., Rusterholz, H. P., & Baur, B. (2009). Effects of fireplace use on forest vegetation and amount of woody debris in suburban forests in northwestern Switzerland. *Environmental management*, 43, 299-310. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9194-3>
- Hill, J. L., & Curran, P. J. (2003). Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation. *Journal of biogeography*, 30(9), 1391-1403. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00930.x>
- Hofmeister, J., Hošek, J., Brabec, M., et al. (2013). Strong influence of longdistance edge effect on herb-layer vegetation in forest fragments in an agricultural landscape. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15(6), 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2013.08.004>
- Jouquet, P., Bottinelli, N., Podwojewski, P., Hallaire, V., & Duc, T. T. (2008). Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma*, 146(1-2), 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.05.030>
- Kooch, Y., Ehsani, S., & Akbarinia, M. (2020). Stratification of soil organic matter and biota dynamics in natural and anthropogenic ecosystems. *Soil and Tillage research*, 200, 104621. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104621>
- Krishnadas, M. (2018). Ecological mechanisms of biodiversity loss in fragmented, human-modified forests (Doctoral dissertation, Yale University).
- Li, J., Zhao, C., Peng, Y., Hu, Y., & Yuan, X. (2018). Edge effects on tree growth and species diversity in forests of different types and ages. *Polish Journal of Ecology*, 66(3), 239-249. <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2018.66.3.004>
- Lindenmayer, D. B., Margules, C. R., & Botkin, D. B. (2000). Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation biology*, 14(4), 941-950. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98533.x>
- Magnago, L. F. S., Magrach, A., Barlow, J., Schaefer, C. E. G. R., Laurance, W. F., Martins, S. V., & Edwards, D. P. (2017). Do fragment size and edge effects predict carbon stocks in trees and lianas in tropical forests?. *Functional ecology*, 31(2), 542-552. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12752>
- Majnoonyan, H. (2000). National parks and protected area (Values and functions). Department of Environment, Tehran.

- Márialigeti, S., Tinya, F., Bidló, A., & Ódor, P. (2016). Environmental drivers of the composition and diversity of the herb layer in mixed temperate forests in Hungary. *Plant Ecology*, 217, 549-563. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0599-4>
- Matsuo, T., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., van der Sande, M. T., & Poorter, L. (2021). Forest structure drives changes in light heterogeneity during tropical secondary forest succession. *Journal of Ecology*, 109(8), 2871-2884. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13680>
- Meeussen, C., Govaert, S., Vanneste, T., Calders, K., Bollmann, K., Brunet, J., ... & De Frenne, P. (2020). Structural variation of forest edges across Europe. *Forest Ecology and Management*, 462, 117929. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117929>
- Melin, M., Hinsley, S. A., Broughton, R. K., Bellamy, P., & Hill, R. A. (2018). Living on the edge: utilising lidar data to assess the importance of vegetation structure for avian diversity in fragmented woodlands and their edges. *Landscape Ecology*, 33, 895-910. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0639-7>
- Mendes, C. B., & Prevedello, J. A. (2020). Does habitat fragmentation affect landscape-level temperatures? A global analysis. *Landscape Ecology*, 35(8), 1743-1756. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01041-5>
- Mendes, P. G. A., Silva, M. A. M., Guerra, T. N. F., Lins-e-Silva, A. C. B., Cavalcanti, A. D. D. C., Sampaio, E. V. D. S. B., & Rodal, M. J. N. (2016). Dynamics and edge effect of an Atlantic forest fragment in Brazil. *Floresta e Ambiente*, 23, 340-349. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.064713>
- Mohamadi Fard, F., Mollashahi, M., & Ravanbakhsh, H. (2020). The impact of ecotourism on vegetation structure and plant diversity of Noor forest park, Iran. *Iranian Journal of Forest*, 11(4), 559-573 (In Persian).
- Naidoo, R., & Adamowicz, W. L. (2005). Biodiversity and nature-based tourism at forest reserves in Uganda. *Environment and Development Economics*, 10(2), 159-178. <https://doi.org/10.1017/S1355770X0400186X>
- Narain, U. & Orfei, A. (2012). Biodiversity, Nature Based Tourism, and Jobs. The World Bank Agriculture and Environmental Services Department, Washington, D.C. 27pp.
- Nazarpour Fard, K., Etemad, V., Makhdum, M., & Namiranian, M. (2016). Silvicultural characteristics of forest stands under Recreational land use (Case study: Boloran natural forest park, Kuhdasht County). *Forest and Wood Products*, 69(2), 287-297 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JFWP.2016.59044>
- Normann, C., Tschardt, T., & Scherber, C. (2016). How forest edge-center transitions in the herb layer interact with beech dominance versus tree diversity. *Journal of Plant Ecology*, 9(5), 498-507. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw004>
- Nourmohammadi, K., & Esmailzadeh, O. (2018). Changes of plant biodiversity indices in ecological species groups along an altitudinal gradient. *Journal of Applied Biology (Iran)*, 31(1), 303-321 (In Persian). <https://doi.org/10.22051/JAB.2017.4300>
- Pellissier, V., Bergès, L., Nedeltcheva, T., Schmitt, M. C., Avon, C., Cluzeau, C., & Dupouey, J. L. (2013). Understorey plant species show long-range spatial patterns in forest patches according to distance-to-edge. *Journal of Vegetation Science*, 24 (1), 9-24. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01435.x>
- Pfeifer, M., Lefebvre, V., Peres, C. A., Banks-Leite, C., Wearn, O. R., Marsh, C. J., ... & Ewers, R. M. (2017). Creation of forest edges has a global impact on forest vertebrates. *Nature*, 551(7679), 187-191. <https://doi.org/10.1038/nature24457>
- Pickering, C. M., & Hill, W. (2007). Impacts of recreation and tourism on plant biodiversity and vegetation in protected areas in Australia. *Journal of environmental management*, 85(4), 791-800. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.021>
- Pongpattananurak, N. (2018). Impacts from tourism development and agriculture on forest degradation in Thap Lan National Park and adjacent areas. *Agriculture and natural resources*, 52(3), 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.09.013>
- Pöppel, F., & Seidl, R. (2021). Effects of stand edges on the structure, functioning, and diversity of a temperate mountain forest landscape. *Ecosphere*, 12(8), e03692. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3692>
- Püttker, T., Crouzeilles, R., Almeida-Gomes, M., Schmoeller, M., Maurenza, D., Alves-Pinto, H., ... & Prevedello, J. A. (2020). Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. *Biological Conservation*, 241, 108368. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108368>
- Team, R. C. (2020). RA language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing.
- Rad, J. E., Heidari, M., Mahdavi, A., & Zeinivandzadeh, M. (2011). Impact of recreational activities on vegetation and soil in forest park (case study: Choghasabz Forest Park-Ilam). *Iranian journal of forest*, 3(1), 71-80 (In Persian).
- Reinmann, A. B., & Hutyra, L. R. (2017). Edge effects enhance carbon uptake and its vulnerability to climate change in temperate broadleaf forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(1), 107-112. <https://doi.org/10.1073/pnas.1612369114>

- ارزیابی اثر حاشیه و تفرج بر ترکیب، غنا و تنوع گونه‌ای گیاهی مطالعه موردی: پارک جنگلی نور- مازندران ۴۰
- Ries, L., Fletcher Jr, R. J., Battin, J., & Sisk, T. D. (2004). Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst*, 35, 491-522. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.35.112202.130148>
- Santana, L. D., Prado-Junior, J. A., Ribeiro, J. H. C., Ribeiro, M. A. S., Pereira, K. M. G., Antunes, K., ... & van den Berg, E. (2021). Edge effects in forest patches surrounded by native grassland are also dependent on patch size and shape. *Forest Ecology and Management*, 482, 118842. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118842>
- Schelker, J., Kuglerová, L., Eklöf, K., Bishop, K., & Laudon, H. (2013). Hydrological effects of clear-cutting in a boreal forest—Snowpack dynamics, snowmelt and streamflow responses. *Journal of Hydrology*, 484, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.015>
- Shirzadi Laskookalayeh, S., Amirnejad, H., & Hosseini, S. (2021). Investigating the economic and social consequences of the forest logging prohibition of eastern forests of Mazandaran Province. *Ecology of Iranian Forest*, 9(17), 219-227 (In Persian). <https://doi.org/10.52547/ifej.9.17.219>
- Stowe, C. J., Kissling, W. D., Ohlemüller, R., & Wilson, J. B. (2003). Are ecotone properties scale-dependent? A test from a Nothofagus treeline in southern New Zealand. *Community Ecology*, 4, 35-42. <https://doi.org/10.1556/comec.4.2003.1.4>
- Tadesse, E., Abdulkedir, A., Khamzina, A., Son, Y., & Noulékoun, F. (2019). Contrasting species diversity and values in home gardens and traditional parkland agroforestry systems in Ethiopian sub-humid lowlands. *Forests*, 10(3), 266. <https://doi.org/10.3390/f10030266>
- Tegene, A. S., Gamo, F. W., & Cheche, S. S. (2018). Woody vegetation composition, structure, and community types of Doshke forest in Chencha, Gamo Gofa zone, Ethiopia. *International Journal of Biodiversity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4614790>
- Tonteri, T., Salemaa, M., Rautio, P., Hallikainen, V., Korpela, L., & Merilä, P. (2016). Forest management regulates temporal change in the cover of boreal plant species. *Forest Ecology and Management*, 381, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.015>
- Vahedi, A. A. (2016). Potential weight of soil organic carbon pool in relation to variation of natural stands biodiversity in Noor Forest Park, Mazandaran province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(4), 600-588 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJFPR.2016.109432>
- Vahedi, A. A. (2017). Monitoring soil carbon pool in the Hyrcanian coastal plain forest of Iran: Artificial neural network application in comparison with developing traditional models. *Catena*, 152, 182-189. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.022>
- Valadi, G., Eshaghi Rad, J., Khodakarami, Y., Nemati Peykani, M., & Harper, K. A. (2022). Edge influence on herbaceous plant species, diversity and soil properties in sparse oak forest fragments in Iran. *Journal of Plant Ecology*, 15(2), 413-424. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtab090>
- Viña, A., & Estévez-Varón, J. V. (2019). Effects of fragmentation on tree species diversity in a lowland tropical forest area of the Andean foothills of Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 23(2), 109-132. <https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.2.5>
- Vockenhuber, E. A., Scherber, C., Langenbruch, C., Meißner, M., Seidel, D., & Tschamtkke, T. (2011). Tree diversity and environmental context predict herb species richness and cover in Germany's largest connected deciduous forest. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 13(2), 111-119.
- Wassie, A., Sterck, F. J., & Bongers, F. (2010). Species and structural diversity of church forests in a fragmented Ethiopian Highland landscape. *Journal of Vegetation Science*, 21(5), 938-948. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01202.x>
- Wekesa, C., Kirui, B. K., Maranga, E. K., & Muturi, G. M. (2019). Variations in forest structure, tree species diversity and above-ground biomass in edges to interior cores of fragmented forest patches of Taita Hills, Kenya. *Forest ecology and management*, 440, 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.011>
- Wermelinger, B., Flückiger, P. F., Obrist, M. K., & Duelli, P. (2007). Horizontal and vertical distribution of saproxylic beetles (Col., Buprestidae, Cerambycidae, Scolytinae) across sections of forest edges. *Journal of Applied Entomology*, 131(2), 104-114. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01128.x>
- Willmer, J.N.G., Püttker, T. & Prevedello, J. (2022). Global impacts of edge effects on species richness. *Biological Conservation*, 272, 109654. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109654>
- Wilson, B., Miller, K., Thomas, A.L., Cooke, N., & Ramsingh, R. (2008). Foraminifera in the mangal at the Caroni swamp, Trinidad: diversity, population structure and relation to sea level. *Journal of Foraminiferal Research*, 38(2), 127-136. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.38.2.127>
- Worboys, G., DeLacy, T., & Lockwood, M. (2005). Principles and Practice Protected Area Management, Cambridge University Press.
- Zarghi, A., & Hosseini, S. M. (2014). Effect of ecotourism on plant biodiversity in Chelmir zone of Tandoureh national park, Khorasan Razavi Province, Iran. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 15(2) (In Persian). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d150215>