

Research Paper

Diversity, composition and occurrence probability of tree-related microhabitats in the decay developmental stage of Hyrcanian intact beech forests (Sika and Shafarood regions)**Raziye Rafieijahed^{*1}, Khosro Sagheb-Talebi², Baba Khanjani-Shiraz³, Jamshid Eslamdoust⁴**

1,*- (Corresponding author) Postdoctoral Researcher, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Tehran, I. R. Iran. (rafiei-jahed@rifr-ac.ir)

2- Professor, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (saghebtalebi@rifr-ac.ir)

3- Research Expert, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Rasht, I. R. Iran. (babasarak1964@gmail.com)

4- Postdoctoral researcher, Forest Research Institute, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Québec, Canada. (jamshid.eslamdoust@uqat.ca)

Received: 17 October 2024

Accepted: 31 December 2024

Extended Abstract

Background and Objective: In recent years, tree-related microhabitats have received increasing attention as a key component in the conservation of forest biodiversity. These microhabitats, which develop as morphological features on living trees or standing deadwood, play an essential role in providing habitat for a wide range of organisms and in maintaining forest ecological functions. Their formation is primarily driven by natural processes such as fungal activity, woodpecker excavation, and physical damage, and by increasing structural complexity they enhance overall forest habitat suitability. Consequently, the conservation of habitat trees is a fundamental element of sustainable forest management. The aim of this study was to investigate the diversity, composition, and occurrence probability of tree-related microhabitats at the degradation developmental stage of beech forests in northern Iran.

Material and Methods: This study was conducted in two one-hectare plots representing the degradation developmental stage in beech forests of the Shafaroud area in Gilan Province and the Sika area in eastern Mazandaran Province. Both plots are under the supervision of the Research Institute of Forests and Rangelands of Iran and are located within unmanaged, unharvested stands (control plots). In each plot, topographic variables including slope and aspect were measured using a clinometer and compass, and all trees were inventoried by species and diameter at breast height (DBH). Tree-related microhabitats were identified and recorded using a standardized microhabitat typology comprising seven main forms, 15 groups, and 47 microhabitat types. All living trees and standing dead trees were systematically surveyed, from the root collar to the crown, first with the naked eye and subsequently—particularly for elevated and sun-exposed parts—using binoculars. All observed microhabitats were recorded for each tree using unique codes. Logistic regression was applied to analyze the occurrence probability of different microhabitat types, while microhabitat diversity was compared using Hill numbers and rarefaction–extrapolation curves after standardization for sample size.

Results: The results indicated that Oriental beech was the dominant species in both study areas, accounting for 86.5% of the trees in Sika and 88.8% in Shafaroud. The mean DBH of beech trees differed significantly between the two sites; however, no significant difference was observed in the number of microhabitats per beech tree. A total of 455 tree-related microhabitats were recorded on beech trees in Sika and 442 in Shafaroud, corresponding to an average of 2.4 and 2.1 microhabitats per beech tree, respectively. In both areas, basal cavities represented the most frequent microhabitat form. Regarding microhabitat types, mosses, trunk rot cavities, and basal cavities were the most abundant, with 174, 146, and 118 records, respectively. The probability of occurrence of mosses was significantly higher in Shafaroud than in Sika, whereas no significant difference was found between the two areas for trunk rot cavities. For trees with a DBH of less than 50 cm, the probability of basal cavity occurrence was higher in Shafaroud, while no significant differences were detected at larger diameter classes. Comparison of overall microhabitat diversity revealed no significant difference between the two sites; however, diversity indices indicated that the diversity of common microhabitats ($q = 1$) in Sika was approximately twice, and the diversity of dominant microhabitats ($q = 2$) nearly three times, that of Shafaroud. These findings underscore the importance of considering microhabitat structure in the management and conservation of beech forests in northern Iran.

Conclusion: This study highlights the critical role of tree-related microhabitats in sustaining biodiversity in Hyrcanian forests. By improving our understanding of the relationships between forest structure and tree-related microhabitats, more effective conservation and management strategies can be developed. Based on the results, the Sika site shows considerable potential as a model area for biodiversity conservation. Finally, long-term investigations of tree-related microhabitats are recommended to achieve a comprehensive understanding of ecological processes and their impacts on biodiversity. Further research is also needed to examine the relationships between environmental conditions, forest structure, and tree-related microhabitats in order to provide a more robust scientific basis for conservation planning.

Keywords: Biodiversity, Structural feature, Deadwood, Control forest, Conservation strategy, Guilan, Mazandaran.

How to Cite This Article: Rafiei Jahed, R., Sagheb-Talebi, Kh., Khanjani-Shiraz, B., and Eslamdoust, J. (2025). Diversity, composition and occurrence probability of tree-related microhabitats in the decay developmental stage of Hyrcanian intact beech forests (Sika and Shafaroud regions). Forest Research and Development, 11(3), 295-316. DOI: [10.30466/jfrd.2024.55642.1741](https://doi.org/10.30466/jfrd.2024.55642.1741)



Copyright © 2024 Rafiei Jahed et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

تنوع، ترکیب و احتمال وقوع خردزیستگاه‌های درختی در مرحله تحولی تخریب راشستان‌های دست‌نخورده هیرکانی (مناطق سیکا و سفارود)

راضیه رفیعی جاهد^{۱*}، خسرو ثاقب طالبی^۲، بابا خانجانی شیراز^۳ و جمشید اسلام‌دوست^۴

۱- مروج-پژوهشگر پسادکتر، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (rafiei-jahed@rifr-ac.ir)

۲- استاد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (saghebalebi@rifr-ac.ir)

۳- کارشناس، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. (babasarak1964@gmail.com)

۴- پژوهشگر پسادکتری، مؤسسه تحقیقات جنگل، دانشگاه کبک (UQAT)، کبک، کانادا. (jamshid.eslamdoust@ontario.ca)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۶

چکیده

مقدمه و هدف: در سال‌های اخیر، خردزیستگاه‌های درختی به‌عنوان مؤلفه‌ای کلیدی در حفظ تنوع‌زیستی جنگل‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. این خردزیستگاه‌ها که به‌صورت ویژگی‌های ریخت‌شناسی در درختان زنده یا خشک‌دارهای سرپا شکل می‌گیرند، نقش مهمی در تأمین زیستگاه گونه‌های مختلف و حفظ کارکردهای بوم‌شناختی جنگل دارند. شکل‌گیری آن‌ها عمدتاً حاصل فرآیندهای طبیعی مانند فعالیت قارچ‌ها، دارکوب‌ها و خسارات فیزیکی است و با افزایش پیچیدگی ساختاری، زیست‌پذیری جنگل را تقویت می‌کند. از این‌رو، حفاظت از درختان زیستگاهی در مدیریت پایدار جنگل اهمیت دارد. هدف این پژوهش بررسی تنوع، ترکیب و احتمال وقوع خردزیستگاه‌های درختی در مرحله تحولی تخریب راشستان‌های شمال کشور است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در دو قطعه یک‌هکتاری از مرحله تحولی تخریب در جنگل‌های راش مناطق سفارود در استان گیلان و سیکا در شرق مازندران انجام شد. این قطعات تحت نظارت مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور قرار داشته و در توده‌های دست‌نخورده و بدون بهره‌برداری (پارسل‌های شاهد) واقع بودند. در هر قطعه، ویژگی‌های توپوگرافی شامل شیب و جهت با استفاده از شیب‌سنج و قطب‌نما اندازه‌گیری شد و تمامی درختان از نظر گونه و قطر برابرسینه مورد ثبت قرار گرفتند. برای شناسایی و ثبت خردزیستگاه‌های درختی، از راهنمای استاندارد خردزیستگاه‌ها استفاده شد که شامل هفت فرم اصلی، ۱۵ گروه و ۴۷ نوع خردزیستگاه است. تمامی درختان زنده و خشک‌دارهای سرپا به‌صورت دقیق و سیستماتیک بررسی شدند، به‌طوری‌که از قسمت گورچه تا تاج درخت، ابتدا با چشم غیرمسلح و سپس برای بخش‌های

مرتفع و در معرض نور با استفاده از دوربین دوچشمی پایش انجام شد. تمامی خردزیستگاه‌های مشاهده شده برای هر درخت با کد اختصاصی ثبت شدند. برای تحلیل احتمال وقوع انواع خردزیستگاه‌ها از رگرسیون لجستیک استفاده شد و مقایسه تنوع خردزیستگاه‌ها با بهره‌گیری از اعداد هیل و منحنی‌های قیاس آماری پس از استانداردسازی بر اساس اندازه نمونه انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که گونه راش شرقی گونه غالب در هر دو منطقه بوده و به ترتیب ۸۶/۵ درصد از درختان در منطقه سیکا و ۸۸/۸ درصد در منطقه شفارود را شامل می‌شود. میانگین قطر برابر سینه درختان راش بین دو منطقه تفاوت معنی‌دار داشت، اما از نظر تعداد خردزیستگاه‌ها در هر پایه درخت راش، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مجموع خردزیستگاه‌های ثبت شده برای درختان راش در منطقه سیکا ۴۵۵ و در منطقه شفارود ۴۴۲ مورد بود که به ترتیب معادل ۲/۴ و ۲/۱ خردزیستگاه به ازای هر درخت راش است. در هر دو منطقه، بیشترین سهم از نظر فرم خردزیستگاه‌ها مربوط به حفره‌های گورچه‌ای بود. از نظر نوع خردزیستگاه، سه نوع خزّه‌ها، حفره پوشیدگی تنه و حفره‌های گورچه‌ای بیشترین فراوانی را داشتند و در مجموع به ترتیب ۱۷۴، ۱۴۶ و ۱۱۸ مورد ثبت شدند. احتمال وقوع خزّه‌ها در منطقه شفارود به طور معنی‌داری بیشتر از منطقه سیکا بود، در حالی که احتمال وقوع حفره‌های پوشیدگی تنه بین دو منطقه تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین برای درختان با قطر برابر سینه کمتر از ۵۰ سانتی‌متر، احتمال وقوع حفره‌های گورچه‌ای در شفارود بیشتر بود، اما در قطرهای بالاتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه تنوع خردزیستگاه‌ها نشان داد که از نظر کلی تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه وجود ندارد، با این حال شاخص‌های تنوع نشان دادند که تنوع خردزیستگاه‌های متداول ($q=1$) در منطقه سیکا حدود دو برابر و تنوع خردزیستگاه‌های غالب ($q=2$) تقریباً سه برابر منطقه شفارود است. این نتایج بیانگر اهمیت توجه به ساختار خردزیستگاهی در مدیریت و حفاظت جنگل‌های راش شمال کشور است.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نقش حیاتی خردزیستگاه‌های درختی در حفظ تنوع زیستی در جنگل‌های هیرکانی را برجسته می‌کند. با درک رابطه بین ساختار جنگل و خردزیستگاه‌های درختی، راهبردهای حفاظت و مدیریتی مؤثرتری را می‌توان توسعه داد. براساس یافته‌های این پژوهش، پتانسیل سیکا به عنوان یک مدل برای حفاظت از تنوع زیستی می‌تواند مورد توجه بیشتر قرار گیرد. در نهایت پیشنهاد می‌شود تا بررسی‌های بلندمدت در ارتباط با خردزیستگاه‌های درختی برای درک کامل فرآیندهای بوم‌شناسی و تأثیرات آن‌ها بر تنوع زیستی مدنظر قرار گیرد. همچنین لازم است روابط بین شرایط محیطی و ساختار جنگل با خردزیستگاه‌های درختی مورد بررسی قرار گیرد تا درک مؤثرتری را فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: تنوع زیستی، ویژگی ساختاری، خشکدار، راهبرد حفاظت، جنگل شاهد، گیلان، مازندران.

مقدمه

جنگل‌های هیرکانی با داشتن مجموع ۲۵۰ گونه گیاهی بومی و نیمه‌بومی (Ghorbanalizadeh and Akhane, 2022) به‌عنوان یکی از معدود بازمانده‌های جنگل‌های طبیعی جهان (Saeedi et al., 2021)، از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین بوم‌سازگان‌های طبیعی کشور است (Rafieijahed et al., 2024). این جنگل‌ها زیستگاه تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی و جانوری بومی هستند (Sefidi and Copenheaver, 2020). متأسفانه روند تخریب در این جنگل‌ها تحت تاثیر مشکلات اجرایی، نبود برنامه‌ریزی بلندمدت، آلاینده‌ها و همچنین قاچاق چوب بسیار تشدید شده است (Goushehgir et al., 2022; Eslamdoust et al., 2023). بر همین اساس سازمان‌های تحقیقاتی و دانشگاه‌ها همواره در تلاش بوده‌اند تا با الگوبرداری از روابط درون بوم‌سازگان جنگل، روش‌ها و راهبردهای مناسب را برای مدیریت نزدیک به طبیعت جنگل‌های شمال ایران معرفی کنند. با این حال ایجاد راهبردهای مدیریت همگام با طبیعت جنگل (Messier et al., 2015; Puettmann et al., 2015) نیازمند استفاده از شاخص‌های قابل اعتماد و در عین حال قابل اجرا است.

خشک‌دار (Deadwood) یکی از مشخصه‌های ساختاری مهم جنگل‌های طبیعی است که در جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت اهمیت دارد (Rafieijahed et al., 2024). خشک‌دارها (سریا و افتاده) نقش مهمی در حفظ تنوع‌زیستی دارند به‌طوری‌که از حجم خشک‌دار، به‌عنوان شاخصی مهم برای تنوع‌زیستی استفاده می‌شود (Sagheb Talebi, 2017). علاوه بر خشک‌دار، ساختارها و ترکیبات جنگلی متنوع دیگری نیز در طول زمان ایجاد می‌شوند (Michel and Winter 2009) که بر تنوع‌زیستی و ترکیب جنگل موثر

هستند و رابطه پیچیده‌ای با ناهمگونی ساختاری جنگل دارند (Asbeck et al., 2021a). در همین راستا، در سال‌های اخیر مشخصه‌های ساختاری دیگری با نام خردزیستگاه‌های درختی برای تنوع‌زیستی جنگل‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بوم‌سازگان جنگل مانند یک موزاییک بزرگ از مجموعه توده‌های مختلف درختان است که یک زیستگاه وسیع را ایجاد می‌کند. با این حال، هر درخت نیز می‌تواند ساختارها و زیستگاه‌های منحصر به فردی به نام خردزیستگاه‌های درختی را ایجاد کند. خردزیستگاه‌های درختی یک ویژگی ریخت‌شناسی موجود در درختان زنده و یا خشک‌دارهای سریا است که احتمال حضور آنها در هر درخت یکسان نیست و همچنین توسط گونه‌ها یا گروهی از گونه‌ها (حداقل بخشی از چرخه زندگی خود) استفاده می‌شود. خردزیستگاه‌ها از طریق فرایندهای طبیعی مانند تهاجم قارچ‌ها، فعالیت دارکوب‌ها، خسارات طوفان و دیگر آسیب‌های فیزیکی شکل می‌گیرند و پیچیدگی ساختاری مورد نیاز حیات وحش را ایجاد می‌کنند. ایجاد خردزیستگاه‌های درختی می‌تواند بین چند ثانیه (مانند شکاف ناشی از اصابت رعد و برق) تا چند دهه (مانند شکل‌گیری حفره پوسیدگی تنه) طول بکشد. درختانی که این ویژگی‌های خاص را دارند درختان زیستگاهی نامیده می‌شوند. این ویژگی‌ها ممکن است پناهگاه‌ها، مکان‌های کلون‌سازی، تولیدمثل یا مکان‌های حیاتی برای خواب زمستانی یا تغذیه هزاران گونه ایجاد کنند (Larrieu et al., 2018). بنابراین خردزیستگاه‌های درختی می‌توانند نقش شاخص‌های تنوع‌زیستی و بکر بودن را ایفا کنند که همواره بخش اعظم تنوع‌زیستی جنگل‌ها برای بقا، شدیداً وابسته به چنین عناصری است (Martin et al., 2022). از این‌رو، نگهداری درختان زیستگاهی موجود و درختان آینده مسئله مهمی است که در مدیریت

جنگل باید در نظر گرفته شود. افزایش توجه به چنین درختانی می‌تواند اهمیت بسزایی در حفاظت و بالا بردن ارزش زیستگاهی برای حفظ تنوع‌زیستی در جنگل‌های مدیریت شده باشد (Kraus and Krumm, 2013).

هر نوع برنامه‌ریزی برای ایجاد راهبردهای مدیریت همگام با طبیعت جنگل در گام نخست نیازمند داده‌های کمی از وضعیت خردزیستگاه‌ها و نیز اثرات هر یک از مشخصه‌های ساختاری بر شکل‌گیری انواع مختلف خردزیستگاه‌ها است (Bütler et al., 2013). به‌طور معمول فراوانی و تنوع خردزیستگاه‌های درختی با قطر درخت و ضخامت پوست و همچنین با افزایش سن به شدت افزایش می‌یابد (Larrieu and Cabanettes, 2012). با این وجود، مدیریت جنگل تأثیر مهمی بر فراوانی و وجود خردزیستگاه‌ها دارد، به‌طوری‌که مطابق بررسی‌های انجام‌شده، عموماً با افزایش شدت مدیریت جنگل، فراوانی و تنوع خردزیستگاه‌ها کاهش پیدا می‌کند (Larrieu et al., 2012, Dieler et al., 2017, Mamadashvili et al., 2023). در همین ارتباط پژوهش‌هایی در داخل کشور با هدف بررسی و مقایسه ویژگی‌های ساختاری جنگل‌های کهن‌رست (Kakavand et al., 2020; Sefidi et al., 2011, 2013; Sagheb-Talebi et al., 2020) و همچنین خردزیستگاه‌های درختی (Javanmiri Pour and Etemad, 2024; Haghighat Doust and Waez-Mousavi, 2021; Khanalizadeh et al., 2020; Sefidi and Copenheaver, 2020; Rafieijahed et al., 2020; Sefidi and Sadeghi, 2020; Eshaghi Rad and Khanalizadeh, 2014) انجام شده است. با وجود تمام این بررسی‌ها، هنوز اطلاعات کاملی از خردزیستگاه‌های درختی که بتواند به‌عنوان الگویی برای اجرای راهبردهای مدیریت نزدیک به طبیعت عمل کند وجود ندارد. بنابراین شناخت کامل و ارزیابی دقیق این ویژگی‌های ساختاری و کمی کردن این ساختارها مهم-

ترین اقدام، برای استفاده در جنگل‌های تحت‌مدیریت است. در سال‌های اخیر به‌دلیل مدیریت ناپایدار جنگل، قاچاق غیرقانونی چوب و شدت دخالت انسان در توده‌های پایین‌بند، پژوهشگران را ناگزیر به پژوهش در جنگل‌های بکر (دست‌نخورده یا مدیریت‌نشده) که به‌طور عمده در رانشستان‌های بالادست و کمتر قابل دسترس یا در مناطق شاهد و حفاظت‌شده سوق داده است (Sagheb-Talebi et al., 2020). بنابراین پژوهش حاضر برای اولین بار به بررسی تنوع، ترکیب و احتمال وقوع خردزیستگاه‌های درختی در مرحله تحولی تخریب از مراحل تحولی رانشستان‌های شمال کشور می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

این پژوهش، در قطعات بررسی دائمی (با مساحت یک هکتار) تحت نظارت موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور از سال ۱۳۸۷، در توده‌های دست‌نخورده و بدون بهره‌برداری راش (پارسل‌های شاهد) انجام شد. قطعات مورد بررسی برای پایش جنگل‌های هیرکانی شمال کشور و براساس طبقه‌بندی کورپل (Korpel, 1995) و شاخص‌های مراحل تحولی (Sagheb-Talebi, 2008)، در سال ۱۳۸۷ انتخاب شدند. بررسی‌های قبلی، مناسب بودن قطعات با مساحت یک هکتار (۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر) را برای پژوهش‌های ساختار و دینامیک توده‌های جنگلی تأیید کرده‌اند (Falah, 2000; Sagheb-Talebi and Schütz, 2000). قطعات مذکور در سراسر رانشستان‌های هیرکانی و در مراحل تحولی اولیه (جوان)، بلوغ (اوج) و تخریب (پوسیدگی) به‌عنوان قطعات بررسی دائمی انتخاب شده بودند. بررسی حاضر در قطعه مرحله تحولی تخریب از منطقه شفارود (گیلان) و قطعه مرحله تحولی تخریب از منطقه

تنوع، ترکیب و احتمال وقوع خردزیستگاه‌های درختی در مرحله تحولی تخریب رانشستان‌های دست‌نخورده هیرکانی ...

سیکا (شرق مازندران) انجام شد. جدول ۱ مشخصات مناطق مورد پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات مناطق مورد پژوهش

Table 1. Characteristics of the study areas

مشخصه	شفارود	سیکا
Characteristic	Shafarood	Sika
شماره پارسل	34	36
Compartment number		
شماره سری	9	4
District number		
مساحت پارسل (هکتار)	35	94
Compartment area (ha)		
طول جغرافیایی (شرقی)	48° 49'	53° 30'
Longitude (East)		
عرض جغرافیایی (شمالی)	38° 28'	36° 20'
Latitude (North)		
ارتفاع از سطح دریا (متر)	1200	1500
Elevation above sea level (m)		
جهت جغرافیایی	شمال	شمال شرق
Geographical direction	North	Northeast
شیب متوسط (درصد)	50	30
Average slope (%)		
سنگ مادری	آذرین دگرگونی	سنگ آهک دولومیتی
Bedrock	Igneous-metamorphic	Dolomitic limestone
تیپ خاک	قهوه‌ای شسته شده	قهوه‌ای شسته شده
Soil type	Washed brown	Washed brown
بارندگی متوسط سالیانه (میلی‌متر)	1400	1000
Mean annual precipitation (mm)		
درجه حرارت متوسط سالیانه (درجه سانتی‌گراد)	8	10
Mean annual temperature (°C)		

روش پژوهش

در هر یک از قطعات انتخابی، اطلاعات مربوط به شیب و جهت با استفاده از شیب‌سنج سونتو و قطب‌نما ثبت شد. برای بررسی وضعیت تراکم درختان زیستگاهی، ابتدا و پس از تعیین یک نقطه مبدا در هر قطعه با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، فاصله و آزمون همه درختان در سطح قطعه یک هکتاری با استفاده از دستگاه VERTEX III و قطب‌نمای سونتو نسبت به نقطه مبدا

و سپس مختصات و فاصله درختان بعدی نسبت به درخت قبلی برداشت و ثبت شد. تمام درختان موجود در هر قطعه مورد آماربرداری از نظر گونه‌های درختی و قطر برابر سینه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (Sagheb-Talebi, 2008).

برای نمونه‌برداری از خردزیستگاه‌های درختی، از راهنمای خردزیستگاه‌های درختی Larrieu et al. (2018) استفاده شد. راهنمای مورد استفاده،

خردزیستگاه‌ها را به هفت فرم اصلی، ۱۵ گروه و ۴۷ نوع با ساختاری سلسله مراتبی تقسیم‌بندی کرده است و به پژوهشگر اجازه می‌دهد تا براساس ویژگی‌های مورفولوژیک و ارتباط تنوع‌زیستی برای اهداف مختلف تحقیقاتی خود مورد استفاده قرار گیرد. این تیپولوژی یک ابزار مرجع بی‌نظیر است که به‌عنوان راهنمای استاندارد شده برای ایجاد داده‌های خردزیستگاهی با هدف ثبت و مقایسه در نواحی مختلف، انواع جنگل و نوع گونه‌درختی معرفی شده است و باعث بهبود بسیار مناسب پایش اطمینان بخش خردزیستگاه‌های درختی می‌شود (Larrieu et al., 2018). بدین‌منظور هر یک از درختان زنده و یا خشک‌دارهای سرپا به‌طور دقیق مورد بررسی و بازدید (در همه جهات درخت و از پایین تنه (گورچه) به سمت تاج) قرار گرفتند. بدین ترتیب که بررسی‌ها در کل درختان و دور تا دور تنه از قسمت پایین تنه تا قسمت‌های میانی تنه با چشم غیر مسلح انجام شد و سپس باقی قسمت‌های تنه تا تاج پوشش و انشعاب شاخه‌های فرعی از تنه اصلی که دسترسی به آن مشکل بود و در تماس با نور خورشید قرار داشتند با دوربین دو چشمی بررسی شدند. در نهایت تمامی خردزیستگاه‌های مشاهده شده روی هر گونه درختی با کد مخصوص در فرم قطعه‌نمونه مربوطه ثبت شدند.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای مقایسه قطر درختان و مجموع خردزیستگاه‌های ثبت‌شده روی هر درخت بین دو منطقه موردپژوهش از آزمون t غیرجفتی استفاده شد. برای بررسی و مقایسه احتمال وقوع خردزیستگاه‌های با بیشترین فراوانی از رگسیون لجستیک استفاده شد که متغیر وابسته شامل وجود یا عدم وجود هر نوع خردزیستگاه بود و متغیر مستقل قطر برابرسینه درختان بود. برای مقایسه تنوع خردزیستگاه‌های درختی در دو منطقه شفارود و سیکا،

ابتدا استانداردسازی براساس اندازه نمونه (تعداد خردزیستگاه‌های ثبت‌شده) با استفاده از منحنی‌های قیاس آماری (Rarefaction-extrapolation) انجام شد (Chao et al., 2014). منحنی‌های قیاس آماری نرخ افزایش غنای گونه‌ای با افزایش تعداد افراد نمونه‌برداری شده را براساس اعداد هیل یا Hill numbers (Hill, 1973)، برآورد می‌کنند. در این پژوهش، عدد هیل صفر ($q=0$) غنای گونه‌ای را بررسی می‌کند و به افراد گونه‌های نادر حساس است، عدد هیل یک ($q=1$) نمایی از شاخص تنوع شانون است که به همه افراد اهمیت برابر می‌دهد و بنابراین به گونه‌های معمولی و متداول حساس است و همچنین عدد هیل دو ($q=2$) که با معکوس شاخص سیمپسون کاهش می‌یابد و به گونه‌های غالب حساس است (جدول ۲) (Hsieh et al., 2016). بنابراین با استفاده از اعداد هیل، نقش گونه‌های نادر، متداول و غالب برای هر معیار تنوع براساس چارچوب iNEXT ارزیابی شد (Chao et al., 2014). تجزیه و تحلیل‌ها در نرم افزار R و با بسته‌های نرم‌افزاری iNEXT، ggplot2 و tidyverse انجام شد.

نتایج

گونه راش شرقی در توده‌های تحولی تخریب در مناطق سیکا و شفارود به‌ترتیب ۸۶/۵ و ۸۸/۸ درصد از کل درختان را به خود اختصاص داد (جدول ۳). میانگین قطر برابرسینه درختان راش بین دو منطقه به‌طور معنی‌داری متفاوت بود (شکل ۱آ). از نظر مجموع خردزیستگاه‌ها در هکتار، تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه مشاهده نشد (شکل ۱ب). ارتباط بین قطر برابرسینه و مجموع خردزیستگاه‌ها در هر پایه درخت راش در شکل ۲ نشان داده شده است. بر همین اساس، در هر دو منطقه سیکا و شفارود مجموع خردزیستگاه‌ها

در هر پایه درخت راش با افزایش قطر برابرسینه افزایش یافت (شکل ۲).

جدول ۲- روابط مورد استفاده برای هر یک از اعداد هیل (Chao et al., 2014)

Table 2. Relationships used for each of the Hill numbers

توضیحات Explanations	روابط ریاضی Mathematical relationships	q
غناي گونه‌ای (گونه‌های نادر) که با گونه‌ها به‌طور مساوی رفتار می‌کند و بنابراین نسبت به افراد گونه‌های کمیاب حساس است. Species richness (including rare species) that treats all species equally and is thus sensitive to the presence of individuals from rare species.	$qD = \left(\sum_{i=1}^s p_i^q \right)^{1/(1-q)}$	0
تابع نمایی از شاخص شانون (گونه‌های متداول) به گونه‌های عمومی حساس است. The Shannon index (common species) is sensitive to the abundance of common species.	$1D = \lim_{q \rightarrow 1} qD$ $= \exp \left(- \sum_{i=1}^s p_i \log p_i \right)$	1
معکوس شاخص سمپسون (گونه‌های غالب) که به گونه‌های غالب حساس است. The inverse of the Simpson index (dominant species), which is sensitive to dominant species.	$2D = 1 / \sum_{i=1}^s p_i^2$	2

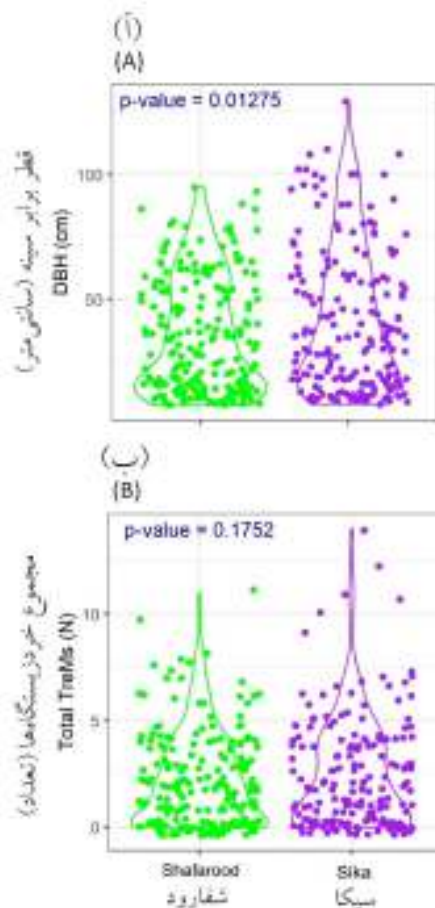
s تعداد گونه‌های موجود در اجتماع یا جامعه، گونه نام دارای فراوانی نسبی p_i و q حساسیت اندازه‌گیری را به وفورهای نسبی تعیین می‌کند. s represents the total number of species in the community, while species i has a relative abundance of p_i . The parameter q indicates the measurement's sensitivity to these relative abundances.

جدول ۳- فراوانی گونه‌های درختی مختلف راشستان‌های سیکا و شفارود در مرحله تحولی تخریب از مراحل تحولی

Table 3. Abundance of different tree species in the beech forests of Sika and Shafarood during the decay stage of the developmental stages

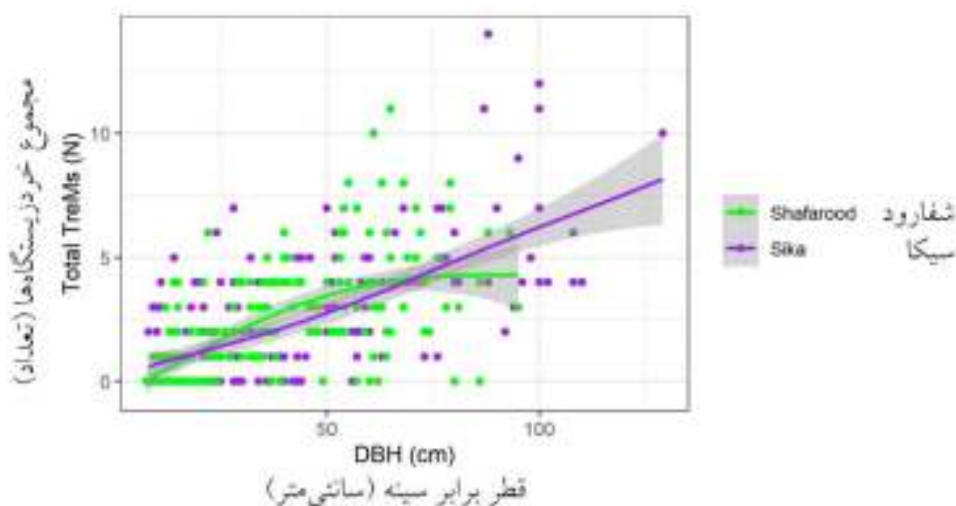
گونه Species	سیکا Sika	شفارود Shafarood	گونه Species	سیکا Sika	شفارود Shafarood
راش <i>Fagus orientalis</i> Lipsky	186 (86.5%)	206 (88.8%)	ممرز <i>Carpinus betulus</i> L.	13 (6.1%)	2 (0.9%)
توسکا ییلاقی <i>Alnus subcordata</i> C.A.Mey	16 (7.4%)	12 (5.2%)	پلت <i>Acer velutinum</i> Boiss.	-	12 (5.2%)

اگرچه تفاوت معنی‌داری از نظر مجموع خردزیستگاه‌های درختی بین دو منطقه مشاهده نشد با این حال روند تغییرات در منطقه شفارود با شیب بیشتری افزایش یافت و سپس برای درختان با قطر بیشتر از ۷۰ سانتی‌متر روند ثابتی را نشان داد. در منطقه سیکا روند افزایشی تقریباً ثابت در مجموع خردزیستگاه‌ها با افزایش قطر برابرسینه مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۱- مقایسه قطر (آ) و مجموع خردزیستگاه (ب) درختان راش در راشستان‌های سیکا و شفارود در مرحله تحولی تخریب

Figure 1. DBH (A) and total TreMs (B) comparison of beech trees in the Sika and Shafarood forests at the decay stage of the developmental stages

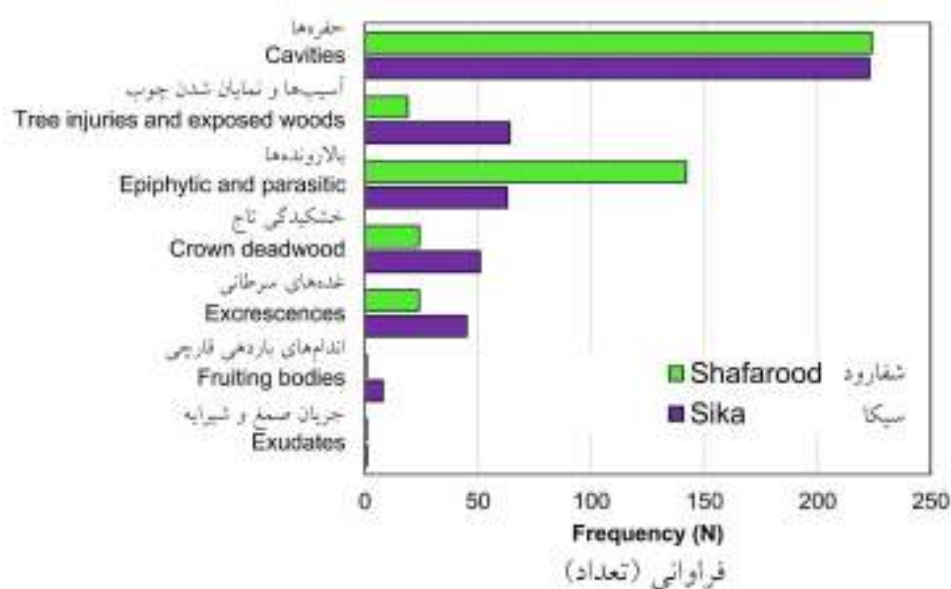


شکل ۲- ارتباط بین قطر برابر سینه و مجموع خردزیستگاه‌ها در هر پایه درخت راش در راشستان‌های سیکا و شفارود در مرحله تحولی تخریب

Figure 2. Relationship between DBH and TreMs on each individual beech tree in the Sika and Shafarood beech forests at the decay stage of the developmental stages

و ۸ عدد مشاهده شد اما از نظر فرم خردزیستگاهی بالارونده‌ها، منطقه شفارود بیشترین فراوانی را با ۱۴۲ عدد نسبت به منطقه سیکا نشان داد (شکل ۳). در همین زمینه روند تغییرات فراوانی خردزیستگاه‌ها با افزایش قطر برابر سینه درختان راش به تفکیک فرم‌های هفت-گانه خردزیستگاهی در راشستان‌های سیکا و شفارود در مرحله تحولی تخریب در شکل ۴ نشان داده شده است. حفره‌های گورچه‌ای در هر دو منطقه روند افزایشی مشابهی را با افزایش قطر برابر سینه درختان راش نشان می‌دهند (شکل ۴).

مجموع کل خردزیستگاه‌های درختان راش در مناطق سیکا و شفارود به ترتیب ۴۵۵ و ۴۴۲ عدد بود، بنابراین نرخ خردزیستگاهی برای منطقه سیکا ۲/۴ خردزیستگاه و برای منطقه شفارود ۲/۱ خردزیستگاه در هر پایه درخت راش بود. نتایج نشان داد که بیشترین فرم خردزیستگاه در هر دو منطقه مربوط به حفره‌های گورچه‌ای است (شکل ۳). همچنین از نظر فرم‌های خردزیستگاهی آسیب‌ها و نمایان شدن چوب، خشکیدگی تاج، غده‌های سرطانی و اندام‌های باردهی، بیشترین فراوانی در منطقه سیکا به ترتیب با ۶۴، ۵۱، ۴۵

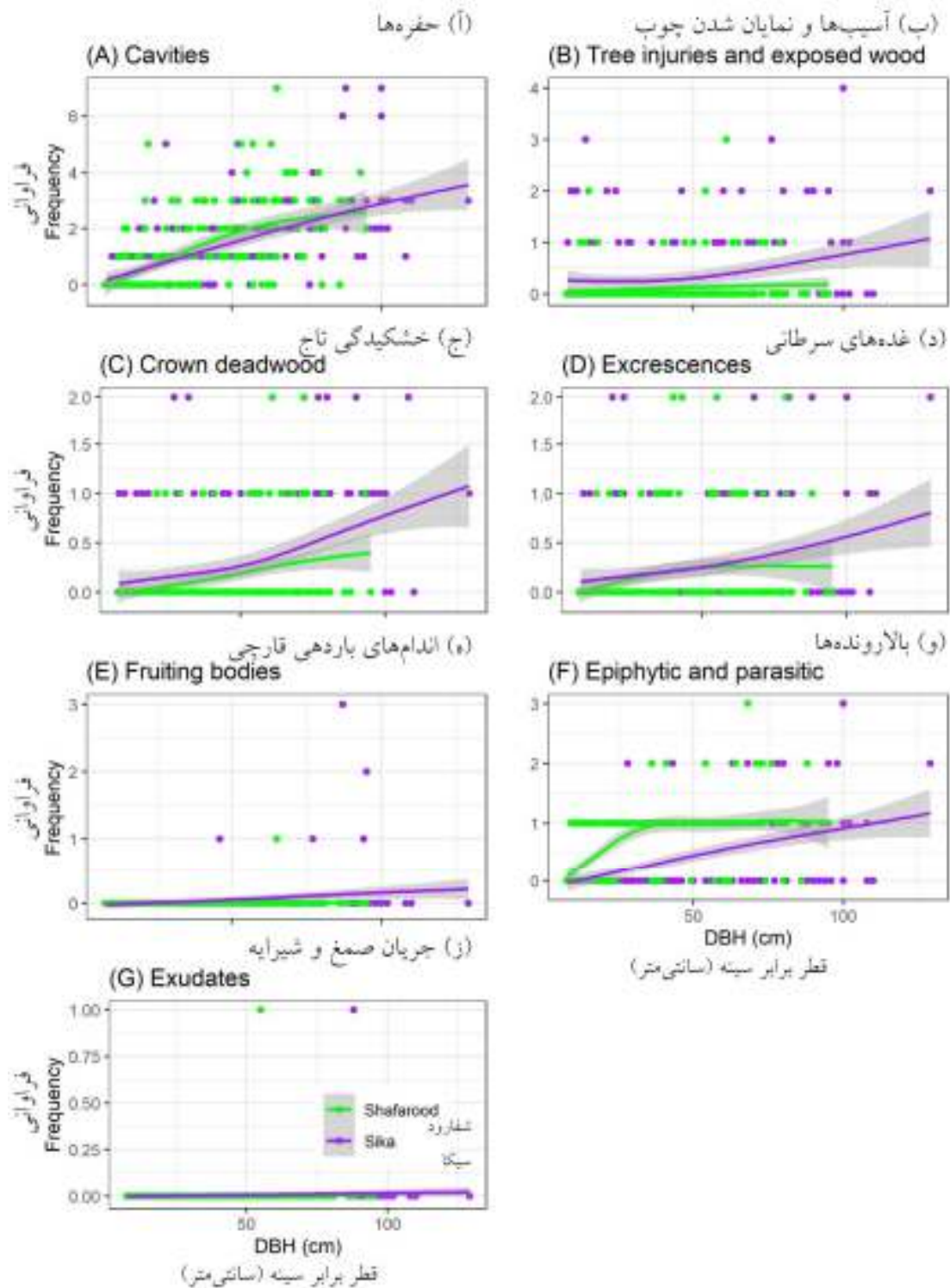


شکل ۳- فراوانی خردزیستگاه‌ها به تفکیک فرم‌های هفت‌گانه خردزیستگاهی در راشستان‌های سیکا و شفارود در مرحله تحولی تخریب

Figure 3. Abundance of TreMs separated by the seven microhabitat forms in the Sika and Shafarood beech forests at the decay stage of the developmental stages

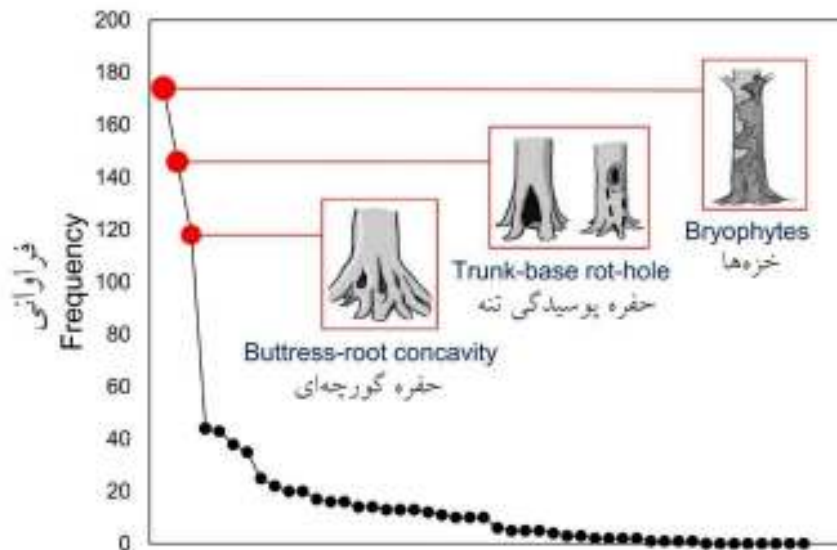
پوسیدگی تنه و حفره‌های گورچه‌ای به ترتیب با مجموع ۱۷۴، ۱۴۶ و ۱۱۸ عدد بود (شکل ۵).

نتایج نشان داد که از نظر نوع خردزیستگاه، بیشترین فراوانی خردزیستگاه در هر دو منطقه سیکا و شفارود مربوط به سه نوع خردزیستگاه خزه‌ها، حفره



شکل ۴- ارتباط فراوانی خردزیستگاه‌ها با قطر برابر سینه درختان راش به تفکیک فرم‌های هفت‌گانه خردزیستگاهی در راشستان‌های سیکا و شفارود در مرحله تحولی تخریب

Figure 4. Relationship between DBH and TreM abundance beech trees separated by the seven microhabitat forms in the Sika and Shafarood beech forests at the decay stage of the developmental stages

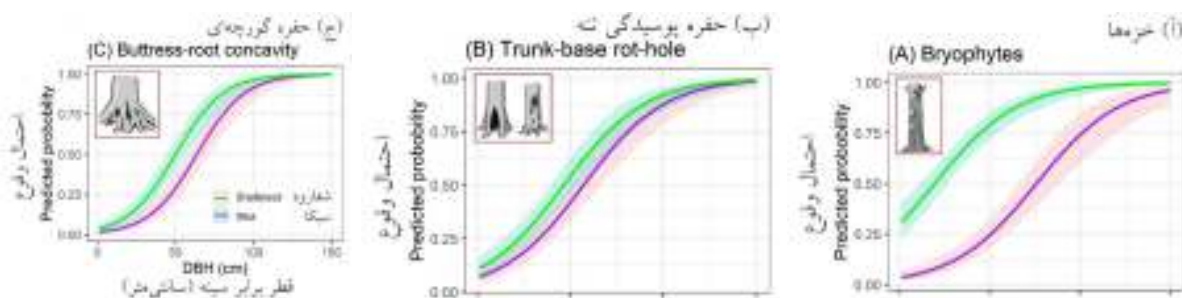


شکل ۵- فراوانی مجموع انواع ۴۷ گانه خردزیستگاه‌های مناطق سیکا و شفارود در مرحله تحولی تخریب

Figure 5. Total abundance of 47 TreM types in the Sika and Shafarood beech forests at the decay stage of the developmental stages

و وقوع حفره پوسیدگی تنه بین دو منطقه تفاوت معنی-داری را نشان نداد ($t > 0.05$). همچنین احتمال وقوع حفره‌های گورچه‌ای برای درختان تا قطر برابر سینه ۵۰ سانتی‌متر در منطقه شفارود بیشتر بود اما در درختان با قطر برابر سینه بالاتر تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه مشاهده نشد (شکل ۶).

همچنین براساس خردزیستگاه‌های با بیشترین فراوانی، احتمال وقوع خردزیستگاه‌ها با افزایش قطر برابر سینه درختان به تفکیک مناطق سیکا و شفارود در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که احتمال وقوع خرزه‌ها در منطقه شفارود به‌طور معنی‌داری ($t < 0.05$) بیشتر از منطقه سیکا است. با این حال احتمال



شکل ۶- احتمال وقوع خردزیستگاه‌های با بیشترین فراوانی به تفکیک مناطق سیکا و شفارود

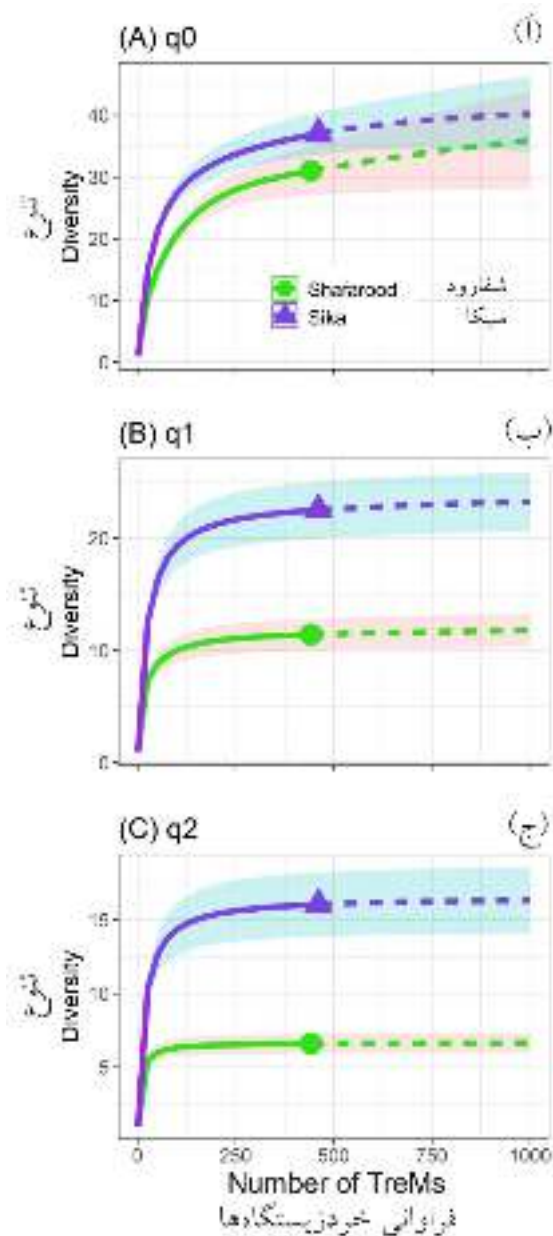
Figure 6. Occurrence probability of the most abundant TreMs in the Sika and Shafarood beech forests.

شانون ($q=1$)، معکوس شاخص سیمپسون ($q=2$) نسبت به منطقه شفارود دارد (شکل ۷) اما تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه‌ی مشاهده نشد. همچنین شاخص $q=1$ که نمایی از شاخص آنتروپی شانون است،

نتایج حاصل از مقایسه تنوع خردزیستگاه‌های درختی در دو منطقه با استفاده از اعداد Hill (number) نشان داد که منطقه سیکا همواره غنای بالاتری از نظر اعداد Hill، غنا ($q=0$)، نمایی از شاخص آنتروپی

نشان داد که تنوع خردزیستگاه‌های معمولی و متداول در منطقه سیکا حدود دو برابر بیشتر از منطقه‌ی شفارود بود (شکل ۷). همچنین بر اساس شاخص $q=2$ (معکوس شاخص سیمپسون) که بیانگر تنوع

خردزیستگاه‌های غالب هستند، فراوانی خردزیستگاه‌ها در منطقه‌ی سیکا نسبت به منطقه‌ی شفارود تقریباً سه برابر بیشتر بود (شکل ۷).



شکل ۷- منحنی تنوع خردزیستگاه‌های درختی راش به تفکیک مناطق سیکا و شفارود

Figure 7. Diversity curve of the most abundant TreMs in the Sika and Shafarood beech forests.

شدید ناشی از مدیریت ناپایدار و قاچاق چوب غیرقانونی مواجه هستند. این پژوهش به بررسی تنوع و فراوانی خردزیستگاه‌های درختی در دو منطقه سیکا و

جنگل‌های هیرکانی، که به دلیل تنوع‌زیستی غنی و ارزش بوم‌شناختی قابل توجه خود شناخته شده‌اند، با تهدیدات

نشان می‌دهد که درختان بزرگ‌تر و بالغ‌تر خردزیستگاه‌های بیشتر و متنوعی را ایجاد می‌کنند که با نتایج Haghighatdoust and Waez-Mousavi (2021) در این راستا همخوانی دارد. همچنین، نتایج پژوهش حاضر با نتایج (Larrieu et al., 2018) و Paillet et al. (2017) همخوانی دارد که نشان دادند درختان بزرگ‌تر قابلیت داشتن خردزیستگاه‌های درختی بیشتری دارند و در نتیجه تنوع‌زیستی را افزایش می‌دهند. در بررسی‌های Kozák et al. (2023) افزایش کلی غنای خردزیستگاه در درختان کهنسال و بزرگ در راشستان آمیخته گزارش شده است. این موضوع اهمیت حفظ درختان بزرگ را برای حفظ پیچیدگی بوم‌شناسی و دسترسی به زیستگاه‌ها نشان می‌دهد. در همین زمینه Martin et al. (2022) در یک پژوهش مروری از بررسی‌های مربوط به خردزیستگاه‌ها بیان کردند که در مقیاس توده، غنا و تنوع خردزیستگاه‌ها، در جنگل‌های کهن‌رست (یا مدیریت‌شده قبلی که دهه‌ها دست‌نخورده باقی مانده‌اند) از جنگل‌های جوان و مدیریت‌شده بیشتر است. با این حال، فراوانی خردزیستگاه‌های درختی در درختان قطور نیز یک حد بهینه زیستگاهی دارد که بسته به نوع گونه و شرایط محیطی متفاوت است (Winter and Möller, 2008). به عبارتی روند افزایش فراوانی خردزیستگاه‌های درختی در درختان قطور کاهش می‌یابد. به‌طورکلی، فراوان‌ترین فرم‌های خردزیستگاهی در هر دو منطقه مربوط به فرم اپیفیت‌ها، فرم حفره‌ها و به‌طور مشخص حفره پوسیدگی تنه و حفره‌های گورچه‌ای بودند که با نتایج پژوهش Haghighatdoust and Waez-Mousavi (2021) که بیشترین نوع خردزیستگاه موجود در درختان را فرم اپیفیت‌ها و حفره‌های گورچه‌ای و حفره پوسیدگی تنه گزارش کردند، همخوانی دارد و اهمیت حضور این خرد-

شفارود از راشستان‌های دست‌نخورده هیرکانی پرداخته است. جنگل‌های هیرکانی به‌دلیل ساختار طبیعی و پیچیده خود، دارای تنوع‌زیستی بالایی هستند. این تنوع‌زیستی به واسطه وجود درختان قطور و کهنسال و همچنین تنوع خردزیستگاه‌های درختی مختلف میسر شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که خردزیستگاه‌های درختی می‌توانند به‌عنوان یک شاخص برای تنوع‌زیستی جنگل‌ها و سلامت بوم‌سازگان‌ها مورد استفاده قرار گیرند (Michel and Winter, 2009; Larrieu et al., 2018; Rafiei Jahed et al., 2024).

این پژوهش بر غالبیت راش شرقی (*F. orientalis*) در هر دو منطقه سیکا و شفارود تأکید دارد که به‌ترتیب ۸۶/۵ درصد و ۸۸/۸ درصد از فراوانی توده‌های مورد بررسی را تشکیل می‌دهد. این نتایج با بررسی‌های مرتبط با مرحله تحولی تخریب راشستان‌های آمیخته همخوانی دارد و اهمیت بوم‌شناسی درختان راش در جنگل‌های هیرکانی را نشان می‌دهد (Sagheb-Talebi, 2008). همچنین توسکاییلاقی، ممرز و پلت (به‌جز در سیکا) فراوان‌ترین گونه‌های همراه راش بودند. فراوانی بالای درختان راش نشان می‌دهد که راهبردهای حفاظتی باید این گونه را برای حفظ سلامت جنگل و تنوع‌زیستی در اولویت قرار دهند (Falah, 2000). قطر برابرینه بیشتر با درختان قدیمی‌تر و بالغ‌تر مرتبط است که برای ایجاد یا تشکیل خردزیستگاه‌های متنوع بسیار حیاتی هستند (Larrieu et al., 2018). تفاوت قطر برابرینه همچنین نشان‌دهنده تفاوت‌هایی در حاصلخیزی خاک، دسترسی به رطوبت و شرایط میکرواقليمی بین دو منطقه است. قطر برابرینه بیشتر در سیکا نشان‌دهنده وجود ویژگی‌های ساختاری مرتبط با خردزیستگاه‌های بیشتر در این منطقه است. رابطه مثبت بین قطر برابرینه و تعداد خردزیستگاه‌های درختی

زیستگاه‌ها را در جنگل‌های دست‌نخورده هیرکانی نشان می‌دهد. گونه‌های اپی‌فیتیک (خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها) به‌صورت فردی و مستقل فتوسنتز انجام می‌دهند و از درخت به‌عنوان تکیه‌گاه فیزیکی استفاده می‌کنند. آنها انگلی یا مضر نیستند و از چوب به‌عنوان منبع انرژی استفاده نمی‌کند. خزه‌ای که بر روی یک درخت گسترش پیدا می‌کند زیستگاه گونه‌های دیگری است. به‌عنوان مثال گونه‌ای از گل‌سنگ به نام *Peltigera collina* تنها بر روی درختان پوشیده از خزه رشد میکند. گروه گونه‌های مرتبط با این خردزیستگاه شامل راسته بالپولکی‌ها، شکم‌پایان (*Gastropoda*)، گل‌سنگ‌ها، قاب‌بالان (*Byrrhidae*)، چرخ‌دهانیان (*Rotifers*)، خرس‌های آبی میکروسکوپی یا خوکچه خزه‌ای (*Tardigrada*) و نماتدها است (Bütler et al., 2024). گیاهان بالارونده و داردوست نیز که جزء فرم خردزیستگاهی اپی‌فیت‌ها قرار دارند از نظر فنولوژی در پاییز گل می‌دهند و در اواخر زمستان زمانی که گیاهان غذای کمی را فراهم می‌کنند به بار می‌نشینند و منابع تغذیه‌ای جانداران را فراهم می‌آورند. قاب‌بالان، پرندگان (سار معمولی (*Sturnus vulgaris*)، توکای سیاه (*Turdus merula*)، سهره طلایی (*Carduelis carduelis*)، چرخ‌ریسک دم‌دراز (*Aegithalos caudatus*)، پستانداران (سمور) و خفاش‌ها (*Barbastella barbastellus*) گروه گونه‌های مرتبط با خردزیستگاه بالارونده هستند (Bütler et al., 2024).

حفره پوسیدگی تنه و گورچه‌ای در درختان از ویژگی‌های اساسی توده‌های طبیعی هستند (Michel and Winter, 2009) که میزبان تعداد زیادی از گونه‌های جانوری هستند (Stokland et al. 2012, Larrieu et al., 2014). بیش از ۲۵ درصد از تنوع طبقه‌بندی در بوم‌سازگان‌های جنگلی از گونه‌های خشک‌داری

تشکیل شده است که متکی به خشک‌دار و خردزیستگاه‌های درختی هستند (Stokland et al., 2012). حفره پوسیدگی تنه، قسمتی از تنه درخت با چوب سست تجزیه‌شده توسط قارچ پوسیدگی چوب و همین‌طور مواد آلی تجزیه‌شده از لایه‌های هوموس خاک است. این حفره‌ها لانه بعضی از پرندگان مانند جغد و همچنین پستاندارانی مانند خفاش را نیز تشکیل می‌دهند (Basile et al., 2020). قسمت‌های خالی حفره پناهگاه تعدادی از گونه‌های مختلف مانند جوندگان و دوزیستان است اما خود چوب پوسیده، مکان مناسبی را برای گونه‌های تخصصی حشرات زیادی همانند قاب بالانی مانند سوسک گوشه‌نشین یا سوسک چرمی روسی (*Osmoderma eremita*) از خانواده Scarabaeidae و سوسک تق‌زنک یا کلیکی بنفش (*Gambrinus violaceus*) از خانواده Elateridae است (Ranius, 2000; Gouix et al., 2012) همچنین دو گونه از قاب‌بالان شاخک‌بلند *Parandra capsica* و *Paraclytus raddei* که بومی راشستان‌های کهن‌رست هیرکانی به‌شمار می‌روند نیز به خردزیستگاه حفره پوسیدگی تنه وابسته هستند (Rafiei Jahed et al., 2021). با افزایش سن درخت، اندازه این خردزیستگاه همیشه در حال تغییر است و همچنان که حفره بزرگتر می‌شود، مقدار مواد پوسیده در انتهای حفره افزایش می‌یابد. در این زمینه می‌توان به پژوهش Khanalizade et al. (2020) اشاره کرد که افزایش احتمال وقوع خردزیستگاه حفره پوسیدگی تنه در درختان بلوط و ممرز را بررسی و نشان دادند که با افزایش قطر درختان، احتمال وقوع افزایش می‌یابد که با نتایج حاضر همخوانی دارد. سرعت تکامل حفره‌های تنه به نوع گونه درختی وابسته است توسعه آنها همیشه به کندی انجام می‌شود و ممکن است بیش از ۱۰۰ تا ۲۰۰ سال برای

دادن برای رسیدن به سنین بالاتر با ایجاد ذخایر حفاظتی، موجب تداوم منابع خردزیستگاهی و تنوع‌زیستی مرتبط می‌شود. وقوع گروه‌های خاص خردزیستگاه به‌طور متغیر با سن و قطر درخت مرتبط است اما برخی از گروه‌های خردزیستگاه (به‌عنوان مثال اپیفیت‌ها) رابطه مثبت قوی‌تری با گونه‌های درختی و ارتفاع از سطح دریا دارند (Kozák et al., 2023). همچنین رابطه بین نوع و تعداد خردزیستگاه‌های درختی در ارتباط با ویژگی‌های ریخت‌شناسی و ذاتی گونه درختی مثل دیرزیستی گونه، نوع و ضخامت پوست درخت (Sefidi and Sadeghi, 2020) و همین‌طور مجموعه وسیعی از حشرات و قارچ‌های خشک‌داری که مسئول پوسیدگی درونی درختان بسیار قطور هستند (Rafiei Jahed et al., 2024). به‌طور کلی، وجود اشکال متنوع خردزیستگاه‌های درختی نشان‌دهنده یک بوم‌سازگان جنگلی سالم با زیستگاه‌های متنوع است که از گونه‌های مختلف حمایت می‌کند (Michel and Winter, 2009).

در این پژوهش فراوانی و نرخ درختان خردزیستگاهی در منطقه سیکا بیشتر بود. در همین زمینه Bütler et al. (2013) نشان داد جنگل‌هایی با شدت مدیریت پایین‌تر، تنوع خردزیستگاه‌های درختی بیشتری داشته و از تنوع‌زیستی بالاتری حمایت می‌کنند. تنوع زیستگاهی بیشتر از طیف وسیع‌تری از گونه‌ها حمایت می‌کند و تنوع‌زیستی کلی جنگل و مقاومت بوم‌سازگان را افزایش می‌دهد (Martin et al., 2022). به‌طور کلی، تفاوت در کیفیت زیستگاه بین مناطق مختلف، نیاز به شیوه‌های مدیریت اختصاصی را که شرایط محلی را در نظر می‌گیرد، برجسته می‌کند تا بهینه‌سازی حفاظت از تنوع‌زیستی انجام شود. براساس نتایج، فراوانی گیاهان بالارونده در منطقه شفاورد بیشتر بود که این موضوع

شکل‌گیری یک حفره تا مرحله نهایی آن برسد (Bütler et al., 2021). از این نظر فراوانی این خردزیستگاه در هر دو منطقه از نتایج این پژوهش، کیفیت بالای توده‌های جنگلی مورد بررسی را از نظر تنوع‌زیستی و سلامت جنگل نشان می‌دهد.

خردزیستگاه حفره‌های گورچه‌ای، به‌عنوان زیستگاه شمار فراوانی از گونه‌های جانوری مانند پرندگانمانند الیکایی (*Troglodytes troglodytes*)، سینه‌سرخ (*Erithacus rubecula*)، توکای سیاه (*Turdus merula*)، چرخ‌ریسک پس‌سرسفید (*Periparus ater*)، چرخ‌ریسک مردابی (*Poecile palustris*)، زیرآبروک (*Cinclus cinclus*)، دوزیستانی مثل (سمندرک لطیف (*Lissotriton vulgaris*))، وزغ (*Bufo bufo*)، جوندگانی مانند ول (*Myodes glareolus*)، پستانداران درشت‌جثه مانند سمور، روباه، گورکن و خرس سیاه را نشان می‌دهد که هر کدام آنها در چرخه حیاتی جنگل سهمیم هستند (Bütler et al., 2024). این نوع خردزیستگاه با هدف استقامت بیشتر درخت در مناطق شیب‌دار، بستر صخره‌ای یا رشد نهال بر روی کنده یا خشک‌دارها ایجاد می‌شود. گونه‌های خشک‌داری که در حفره‌های تنه در حال تجزیه و در تماس با زمین زندگی می‌کنند (Trunk-base rot hole) در این نوع خردزیستگاه مشاهده نمی‌شوند. حفره‌های گورچه‌ای به‌عنوان پناهگاهی در برابر باران برای پستانداران کوچک و بزرگ، پرندگانی مانند سینه‌سرخ که گاهی در این خردزیستگاه لانه می‌سازد و دوزیستانی مانند وزغ معمولی و سمندر خالدار برای جلوگیری از دست دادن رطوبت در دوره‌های خشک سال استفاده می‌شوند.

در مجموع سن و قطر درخت تأثیر مثبتی بر توسعه خردزیستگاه دارد و لزوم حفظ درختان بزرگ و اجازه

2008). وجود مستمر حفره‌های تنه و اندام میوه قارچی در درختان بزرگ‌تر در هر دو منطقه نیز نشان می‌دهد که برخی از خردزیستگاه‌های درختی کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی منطقه‌ای قرار دارند و بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های ذاتی درختان هستند. در همین راستا Heilmann-Clausen and Christensen (2003) نشان دادند که توسعه برخی خردزیستگاه‌های درختی، مانند قارچ‌های پوسیده‌کننده چوب، عمدتاً توسط سن و مرحله پوسیدگی درخت میزبان هدایت می‌شود و کمتر تحت تأثیر موقعیت مکانی است. بنابراین، شیوه‌های مدیریت جنگل باید بر حفظ درختان مسن‌تر تمرکز کنند تا دسترسی به این خردزیستگاه‌های حیاتی را تضمین کنند.

این پژوهش از اعداد هیل برای ارزیابی تنوع خردزیستگاه‌های درختی استفاده کرد. اگرچه غنا در دو منطقه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد اما تنوع در سیکا بیشتر از شفارود بود. تنوع بالاتر نشان‌دهنده انواع بیشتری از خردزیستگاه‌های درختی و به تبع آن، زیستگاه‌های متنوع‌تری برای بوم‌سازگان جنگلی است (Chao et al., 2014; Hsieh et al., 2016). مقادیر بالاتر در تمام اعداد هیل نشان می‌دهد که سیکا از طیف وسیع‌تری از گونه‌ها حمایت می‌کند. این پیچیدگی می‌تواند مقاومت جنگل در برابر اختلالات را افزایش دهد، زیرا مجموعه متنوعی از گونه‌ها و زیستگاه‌ها می‌تواند در برابر تغییرات محیطی مقاومت کنند. براساس نتایج جنگل‌های سیکا نه تنها غنی از انواع خردزیستگاه‌های درختی هستند بلکه دارای توزیع متعادلی ($q=1$) از خردزیستگاه‌های متداول نیز هستند. به‌همین ترتیب، تنوع سیمپسون بالاتر ($q=2$) نشان می‌دهد که سیکا از فراوانی بیشتری از خردزیستگاه‌های غالب حمایت می‌کند که برای دامنه وسیع‌تری از

نشان‌دهنده وجود شرایط میکرواقليمی بهتر برای این نوع خردزیستگاه است. تنوع خردزیستگاه‌های درختی نشان‌دهنده تنوع بوم‌ناسی زیستگاه‌های جنگل است که برای حفظ طیف وسیعی از گونه‌ها ضروری است.

تفاوت‌های زیادی در احتمال وقوع برخی از خردزیستگاه‌های درختی بین دو منطقه یافت شد، به‌ویژه برای خزه‌های اپیفیت که در شفارود برای درختانی با قطر برابر سینه کمتر از ۵۰ سانتی‌متر به‌طور قابل توجهی بیشتر بود. مطابق با بررسی‌های انجام‌شده در جنگل‌های معتدل اروپا حضور اپیفیت‌ها با افزایش ارتفاع از سطح دریا و افزایش بارش افزایش می‌یابد (Asbeck et al., 2019; Paillet et al., 2019). در این پژوهش، منطقه شفارود در مقایسه با سیکا از بارش بیشتری برخوردار است و فراوانی بالاتر گیاهان بالارونده در شفارود نشان می‌دهد که شرایط میکرواقليمی برای این خردزیستگاه مطلوب است (Asbeck et al., 2021b). همچنین تفاوت بین ترکیب گونه درختی در دو منطقه ناشی از تفاوت‌های احتمالی بین ویژگی‌های مختلف پوست مانند زبری و ظرفیت نگهداری آب، و خواص شیمیایی (Mitchell et al., 2021) ممکن است موجب حضور بیشتر اپیفیت‌ها در منطقه شفارود شده باشد که با بررسی Larrieu and Cabanettes (2012) همخوانی دارد. همچنین این نتایج با پژوهش Fritz et al. (2009) سازگار است که نشان داد جنگل‌های با سطح رطوبت بالاتر از رشد بیشتر خزه‌های اپیفیت حمایت می‌کنند. برای درختان با قطر برابر سینه بیشتر، احتمال وقوع دیگر خردزیستگاه‌های درختی مانند حفره‌های تنه و اندام‌های باردهی قارچ‌ها تفاوت معناداری بین مناطق نشان نداد، که نشان می‌دهد این ویژگی‌ها بیشتر به سن و اندازه درخت بستگی دارند تا نسبت به شرایط بین دو منطقه (Winter and Möller, 2019).

گونه‌های جنگل حیاتی هستند. این یافته مهم است؛ زیرا نشان می‌دهد که سیکا نه تنها دارای انواع متنوعی از خردزیستگاه‌ها است بلکه مقادیر کافی از انواع کلیدی زیستگاه‌ها را نیز حفظ می‌کند و از گونه‌های رایج، غالب و نادر حمایت می‌کند. تنوع بیشتر خردزیستگاه‌های درختی در سیکا با نتایج پژوهش Paillet et al. (2017) همخوانی دارد که گزارش دادند جنگل‌های مدیریت‌نشده یا کمتر مدیریت‌شده معمولاً ساختار متنوع‌تری دارند و در نتیجه تنوع‌زیستی بیشتری دارند. این موضوع نشان‌دهنده پتانسیل سیکا به عنوان یک مدل برای حفاظت از تنوع‌زیستی است به طوری که می‌تواند مزایای شیوه‌های مدیریت برگرفته‌شده از پویایی طبیعی جنگل را نشان دهد.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش نقش حیاتی خردزیستگاه‌های درختی در حفظ تنوع‌زیستی در جنگل‌های هیرکانی را برجسته می‌کند. با درک رابطه بین ساختار جنگل و دسترسی به خردزیستگاه‌ها، راهبردهای حفاظت و مدیریت مؤثرتری می‌توان توسعه داد. یافته‌ها بر نیاز به حفظ درختان قطور، تنظیم شیوه‌های مدیریت متناسب با شرایط محلی، و تمرکز بر افزایش تنوع خردزیستگاه‌ها تأکید می‌کنند تا از سلامت و مقاومت بلندمدت این بوم‌سازگان‌های ارزشمند اطمینان حاصل شود. با توجه به رابطه مثبت بین قطر برابرسینه و خردزیستگاه‌های درختی، راهبردهای مدیریت باید حفظ درختان قطور و بالغ را برای حفظ و افزایش تنوع‌زیستی در اولویت قرار دهند (Kraus and Krumm, 2013). درختان قطور به عنوان ساختارهای کلیدی جنگل عمل می‌کنند و از

طیف وسیعی از گونه‌ها از طریق خردزیستگاه‌های متنوع خود حمایت می‌کنند. بنابراین هر راهبردی که شرایط خردزیستگاه‌ها را در منطقه سیکا بهبود می‌بخشد می‌تواند پتانسیل تنوع‌زیستی آن را بیشتر کند (Puettmann et al., 2015). در نهایت حفاظت و توسعه خردزیستگاه‌های متنوع باید جزء کلیدی برنامه‌های مدیریت جنگل باشد که شامل حفظ خشک‌دارهای سرپا و افتاده با ابعاد مختلف است (Messier et al., 2015). چنین شیوه‌هایی می‌توانند تنوع زیستگاهی را افزایش دهند و از طیف وسیعی از گونه‌ها حمایت کنند. براساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود تا بررسی‌های بلندمدت برای درک کامل فرآیندهای بوم‌شناسی و تأثیرات آنها بر تنوع‌زیستی مدنظر قرار گیرد. همچنین لازم است تا روابط بین شرایط محیطی و ساختار جنگل با خردزیستگاه‌های درختی مورد پژوهش قرار گیرد تا راهبرد حفاظت و مدیریت مؤثرتری را فراهم آورد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس پژوهش‌هایی است که توسط بنیاد ملی علوم ایران (Iran National Science Foundation) تحت پروژه شماره ۴۰۱۵۵۳۶ تأمین مالی شده است. نویسندگان از همکاران بخش تحقیقات جنگل موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور که در اجرای این طرح یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌کنند. از جناب آقای کاظمی، قرقبان محترم منطقه سیکا (نکا)، که در مراحل مختلف نمونه‌برداری همراهی کردند، تشکر می‌شود.

References

Asbeck, T.; Grossmann, J.; Paillet, Y.; Winiger, N.; Bausch, J., The Use of Tree-Related Microhabitats as Forest Biodiversity

Indicators and to Guide Integrated Forest Management. *Current Forestry Reports* 2021a, 7:59–68.

Asbeck, T.; Kozak, D.; P. Spinu, A.; Mikolas, M.; Zemlerova, V.; Svoboda, M., Tree-

- Related Microhabitats Follow Similar Patterns but are More Diverse in Primary Compared to Managed Temperate Mountain Forests. *Ecosystems* **2021b** 25:712–726.
- Asbeck, T.; Pyttel, P. Frey, J.; Bauhus, J., Predicting abundance and diversity of tree-related microhabitats in Central European montane forests from common forest attributes. *Forest Ecology and Management* **2019**, 432(1):400-408.
- Basile, M.; Asbeck, T.; Jonker, M.; Knuff, A. K.; Bauhus, J.; Braunisch, V.; Mikusiński, G.; Storch, I., What do tree-related microhabitats tell us about the abundance of forest-dwelling bats, birds, and insects? *Journal of Environmental Management* **2020**, 264, 110401.
- Bütler, R., Lachat, T., Larrieu, L., Paillet, Y. Habitat trees: key elements for forest biodiversity, in: Kraus, D., Krumm, F. (Eds.), Integrative Approaches as an Opportunity for the Conservation of Forest Biodiversity. *European Forest Institute* **2013**, 284 p.
- Bütler, R.; Lachat, T.; Krumm, F.; Kraus, D.; Larrieu, L., Know, protect and promote habitat trees. Swiss Federal Institute WSL. *WSL Fact Sheet* **2021**, 64, 1-12.
- Bütler, R.; Larrieu, L.; Lunde, L. F.; Maxence, M.; Nordén, B.; Reiso, S.; Tremblay, J.A.; Wetherbee, R., Field guide to Northern Tree-related microhabitats. Descriptions and size limits for their inventory in boreal and hemiboreal forests of Europe and North America. Birmensdorf: *Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL* **2024**, 68 pp.
- Chao, A.; Gotelli, N. J.; Hsieh, T. C.; Sander, E. L.; Ma, K. H.; Colwell, R. K.; Ellison, A. M., Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs* **2014**, 84(1), 45-67.
- Dieler, J.; Uhl, E.; Biber, P.; Müller, J.; Rötzer, T.; Pretzsch, H., Effect of forest stand management on species composition, structural diversity, and productivity in the temperate zone of Europe. *European Journal of Forest Research* **2017**, 136, 739-766.
- Eshaghi Rad, J.; Khanalizadeh, A., Quantitative comparison of microhabitats in deciduous forests with different management histories (Case study: Golband forest- Noshahr). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 21(4), 594-605. (In Persian)
- Eslamdoust, J.; Hosseini, S. M.; Kardel, F., Evaluation of the stomatal characteristics of *Quercus castaneifolia* C.A.M. and *Carpinus betulus* L. under the dust pollution of Mazandaran cement factory. *Forest Research and Development* **2023**, 9(2), 161-173. (In Persian)
- Falah, A. (2000). Structure and dynamics of unmanaged beech forests in northern Iran. *Forest Research Papers* **2000**, 1(2), 33-42. (In Persian)
- Fritz, Ö.; Niklasson, M.; Churski, M., Tree age is a key factor for the conservation of epiphytic lichens and bryophytes in beech forests. *Applied Vegetation Science* **2009**, 12(1), 93-106.
- Ghorbanalizadeh, A.; Akhane, H., Plant diversity of Hyrcanian relict forests: An annotated checklist, chorology and threat categories of endemic and near endemic vascular plant species. *Plant Diversity* **2022**, 44(1), 39-69.
- Goux, N.; Mertlik, J.; Jarzabek-Müller, A.; Németh, T., Brustel, H., Known status of the endangered western Palearctic violet click beetle (*Limoniscus violaceus*)(Coleoptera). *Journal of Natural History* **2012**, 46(13-14), 769-802.
- Goushehghir, Z.; Fegghi, J.; Innes, J. L., Challenges Facing the Improvement of Forest Management in the Hyrcanian Forests of Iran. *Forests* **2022**, 13(12), 2180.
- Haghighatdoust, A.; Waez-Mousavi, S. M., Frequency of tree micro-habitats in Persian ironwood- hornbeam forest at Bahramnia forestry plan (Gorgan). *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2021**, 27(4), 113-129. (In Persian).
- Heilmann-Clausen, J.; Christensen, M., Fungal diversity on decaying beech logs - implications for sustainable forestry. *Biodiversity and Conservation* **2003**, 12(4), 953-973.
- Hill, M., Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* **1973**, 54, 427-432.
- Hsieh, T. C.; Ma, K.; Chao, A., iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in ecology and evolution* **2016**, 7(12), 1451-1456.
- Javanmiri Pour, M.; Etemad, V., Habitat trees in mixed stands and mid-altitude elevation in Hyrcanian forests (Case study: Kheyroud forest, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest*

- and *Poplar Research* **2024**, 32(1), 29-45. (In Persian).
- Kakavand, M.; Etemad, V.; Sagheb- Talebi, K.; Marvie Mohadjer, M.; Ammer, C., Development stages dynamics of the Hyrcanian reserve stands, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, 28(3), 231-243. (In Persian).
- Khanalizadeh, A.; Rad, J.E.; Amiri, G.Z. et al. Assessing selected microhabitat types on living trees in Oriental beech (*Fagus orientalis* L.) dominated forests in Iran. *Annals of Forest Science* **2020**, 77, 91 (1-13).
- Korpel', Š., Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1995, 310p (In German).
- Kozák, D.; Svitok, M.; Zemlerová, V.; Mikoláš, M.; Lachat, T.; Larrieu, L.; Paillet Y.; Buechling, A.; Bače, R.; Keeton, W.S.; Vítková L.; Begovič, K.; Čada, V.; Dušátko, M.; Ferenčík, M.; Frankovič, M.; Gloor, R.; Hofmeister, J.; Janda, P.; Kameniar, O.; Kníř, T.; Majdanová, L.; Mejstřík, M.; Pavlin, J.; Ralhan, D.; Rodrigo, R.; Roibu, C.C.; Synek, M.; Vostarek, O.; Svoboda, M., Importance of conserving large and old trees to continuity of tree-related microhabitats. *Conservation Biology* **2023**, 37(3), e14066.
- Kraus D.; Krumm, F., Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity. European Forest Institute **2013**, Germany; 284 p.
- Larrieu, L.; Cabanettes, A., Species, live status, and diameter are important tree features for diversity and abundance of tree microhabitats in subnatural montane beech–fir forests. *Canadian Journal of Forest Research* **2012**, 42(8), 1433–1445.
- Larrieu, L.; Cabanettes, A.; Brin, A.; Bouget, C.; Deconchat, M., Tree microhabitats at the stand scale in montane beech–fir forests: practical information for taxa conservation in forestry. *European Journal of Forest Research* **2014**, 133(2): 355-367.
- Larrieu, L.; Cabanettes, A.; Delarue, A., Impact of silviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in montane beech–fir forests of the Pyrenees. *European Journal of Forest Research* **2012**, 131(3), 773-786.
- Larrieu, L.; Paillet, Y.; Winter, S., Bütler, R., Kraus, D., Krumm, F., Lachat, T., Michel, A. K., Regnery, B., and Vandekerckhove, K.; Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators* **2018**, 84(1): 194–207.
- Mamadashvili, G.; Brin, A.; Bässler, C.; Chumak, V.; Chumak, M.; Deidus, V.; Drösslerf, L.; Embergerg, C.; Georgievh, K.; Ghrejjani, T.; Hlebj, R.; Rafiei-Jahed, R.; Kalashian, M.; Kambarov, I.; Karagyan, G.; Kevlishvili, J.; Khutsishvili, Z.; Kraus, D.; Lachat, T.; Lettenmaier, L.; Mazmanyman, M.; Mitesser, O.; Petrov, P.; Roth, N.; Tabunidze, L.; Larrieu, L.; Müller J., Drivers of tree-related microhabitat profiles in European and Oriental beech forests. *Biological Conservation* **2023**, 285, 110245.
- Martin, M.; Paillet, Y.; Larrieu, L.; Kern, C. C.; Raymond, P.; Drapeau, P.; Fenton, N. J.; Tree-related microhabitats are promising yet underused tools for biodiversity and nature conservation: a systematic review for international perspectives. *Frontiers in Forests and Global Change* **2022**, 5, 818474.
- Messier, C.; Puettmann, K.; Chazdon, R.; Andersson, K. P.; Angers, V. A.; Brotons, L.; Filotas, E.; Tittler, R.; Parrott, L.; Levin, S.A., From management to stewardship: viewing forests as complex adaptive systems in an uncertain world. *Conservation Letters* **2015**, 8, 368–377.
- Michel, A. K.; Winter, S.; Tree microhabitat structures as indicators of biodiversity in Douglas-fir forests of different stand ages and management histories in the Pacific Northwest, USA. *Forest Ecology and Management* **2009**, 257(6), 1453-1464.
- Mitchell, R. J.; Hewison, R. L.; Beaton, J.; Douglass, J. R., Identifying substitute host tree species for epiphytes: The relative importance of tree size and species, bark and site characteristics. *Applied Vegetation Science* **2021**, 24(2): e12569.
- Paillet Y.; Archaux, F.; Boulanger, V.; Debaive, N.; Gilg, O.; Gosselin, F.; Guilbert, E.; Snags and large trees drive higher microhabitat densities in strict forest reserves. *Forest Ecology and Management* **2017**, 389:176–186.
- Paillet, Y.; Debaive, N.; Archaux, F.; Cateau, E.; Gilg, O.; Guilbert, E., Nothing else matters? Tree diameter and living status have more effects than biogeoclimatic context on microhabitat number and occurrence: An

- analysis in French forest reserves. *PLoS One* **2019**, 14(5), e0216500.
- Puettmann, K. J.; Wilson, S. M.; Baker, S. C.; Donoso, P. J.; Drössler, L.; Amente, G.; Bauhus, J., Silvicultural alternatives to conventional even-aged forest management-what limits global adoption? *Forest Ecosystems* **2015**, 2, 1-16.
- Rafiejahed R.; Kavousi, M.R.; Farashiani, M.E.; Sagheb-Talebi K.; Babanezhad, M.; Courbaud, B.; Wirtz, R.; Müller, J.; Larrieu, L.; A Comparison of the Formation Rates and Composition of Tree-Related Microhabitats in Beech-Dominated Primeval Carpathian and Hyrcanian Forests. *Forests* **2020**, 11, 2, 144.
- Rafiejahed, R., Kavousi, M. R.; Farashiani, M. E.; Sagheb-Talebi, K.; Müller, J.; Babanezhad, M., A comparison of the efficiency of sampling methods beetles (Insecta: Coleoptera) Shast-kalateh beech forest, Golestan Province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* **2021**, 19(1), 94-109. (In Persian).
- Rafiejahed, R.; Sagheb-Talebi, K.; Farashiani, M.; Eslamdoust, J., The importance of deadwood for Saproxylic organisms and the necessity of using a Persian word instead of an English word. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2024**, 32(2), 191-201. (In Persian).
- Ranius, T.; Jansson, N., The influence of forest regrowth, original canopy cover and tree size on saproxylic beetles associated with old oaks. *Biological Conservation* **2000**, 95(1), 85-94.
- Saeedi, Z.; Azadfar, D.; Sagheb Talebi, K.; Tohidfar, M., Study of the ecological characteristics of *Fagus orientalis* Lipsky in four different sites of Hyrcanina forests. *Forest Research and Development* **2021**, 7(1), 1-13. (In Persian)
- Sagheb Talebi, K., Close to nature silviculture; Views and goals. *Iran Nature* **2017**, 2(1), 9-6. doi: 10.22092/irn.2017.109531
- Sagheb-Talebi, Kh., Appropriate characteristics of beech stands for application of Close to Nature Silviculture (selection system). Annual report of National Project, No. 04-09-09-87033. *Research Institute of Forests and Rangelands* **2008**, 121p. (In Persian).
- Sagheb-Talebi, Kh.; Parhizkar, P.; Hassani, M.; Amanzadeh, B.; Hemmati, A.; Khanjani-Shiraz, B.; Amini, M.; Mohammadnejad Kiasari, S.; Mirkazemi, S. Z.; Karimidoost, A.; Sayadi Marzdashti, A., Preliminary results of survey on stand structure in permanent research plots of Hyrcanian intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, 28(2), 163-179. (In Persian)
- Sagheb-Talebi, Kh.; Schütz, J.P., The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry* **2000**, 75(4): 465-472.
- Sefidi, K., Mohadjer, M.R.M.; Mosandl, R.; Copenheaver, C.A., Coarse and fine woody debris in mature Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests of northern Iran. *Natural Areas Journal* **2013**, 33(3), 248-255.
- Sefidi, K.; Copenheaver, C. A., Tree-related microhabitats: a comparison of managed and unmanaged oriental beech-dominated forests in northern Iran. *Forest Science* **2020**, 66(6), 747-753.
- Sefidi, K.; Marvie-Mohadjer, M. R.; Mosandl, R.; Copenheaver, C. A., Canopy Gaps and Regeneration in Old-Growth Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Stands, Northern Iran. *Forest Ecology and Management* **2011**, 262, 2, 1094-1099.
- Sefidi, K.; Sadeghi, S., The diversity of microhabitats and the ecological value of habitat trees in oriental beech stands. *Iranian Journal of Forest* **2020**, 12(2), 147-160. (In Persian)
- Stokland, J. N.; Siitonen, J.; and Jonsson, B. G.; Biodiversity in Dead Wood. Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York, US, **2012**; p 521.
- Winter, S.; Möller, G., Microhabitat structures in the beech forest: their role for forest biodiversity. *Forest Ecology and Management* **2008**, 255(7), 2085-2093.