

Research Article

Analysis of species diversity and regeneration density in the canopy of old-growth trees in the Hyrcanian Forests of Iran (Case study: Baharbond district, Kheyroud Forest)

Zahra Veysi¹, Mohsen Javanmiri Pour^{2*}, Vahid Etemad³ and Mohsen Ghalandar⁴

1- M.Sc. Graduate, Forestry and Forest Economic Department, Natural Resource Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

2* - Corresponding author, Assistant Prof., Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. Email: m.javanmiri@ut.ac.ir

3- Associated Prof., Forestry and Forest Economic Department, Natural Resource Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

4- Assistant Prof., Department of Statistics and Mathematics, Gonbad-Kavoos University, Gonbad-Kavoos, Iran

Received: 16.11.2025

Revised: 01.02.2026

Accepted: 01.02.2026

Abstract

Background and Objectives: The Hyrcanian forests, as dynamic and highly diverse ecosystems, play a key role in maintaining ecological stability and conserving biodiversity. The sustainability of these forests critically depends on natural regeneration processes that determine species composition, age structure, and the forest's capacity for renewal. Although numerous studies have examined regeneration patterns in northern Iranian forests, the specific role of old-growth trees in shaping species diversity and regeneration density within their understory has remained largely unexplored. This study aimed to analyze species diversity and regeneration density under the canopy of old-growth trees across different forest types in the Baharbond district of the Kheyroud Forest, thereby clarifying the contribution of these legacy trees to natural regeneration dynamics.

Methodology: The study was conducted in the Baharbond district of the Kheyroud Educational and Research Forest within an elevation range of 1,000–2,200 m a.s.l. Sampling was conducted during the summer season. Old-growth trees were identified using species-specific minimum diameter at breast height (DBH) thresholds, forest-type maps, and a completely randomized sampling method. A total of 47 one-hectare plots comprising 188 micro-samples and 60 old-growth trees from five species, including *Acer velutinum* Boiss., *Fagus caspica* Denk & G.W. Grimm, *Alnus subcordata* C.A. Mey., *Carpinus betulus* L., and *Quercus castaneifolia* C.A. Mey., were studied. For each old-growth tree, four 6 × 6 m subplots were installed beneath the canopy to assess regeneration characteristics, including seedling density, species composition, health status, and height and diameter class distributions. In addition, herbaceous cover percentage and litter depth were measured. Species diversity was quantified using the Shannon–Wiener and Simpson indices, and differences in regeneration density among forest types were examined using independent t-tests. Data analyses were performed using Excel, SPSS, and PAST software packages.

Results: Findings indicated that in both the pure Caspian beech type and the other forest types, *Acer velutinum* dominated regeneration with a relative abundance exceeding 70%, whereas *Fagus caspica*, *Carpinus betulus*, and *Acer cappadocicum* Gled. contributed minimally. The highest regeneration density occurred within the smallest diameter class (<2.5 mm) and the lowest height class (<30 cm), reflecting the predominance of early-stage seedlings. Herbaceous cover was generally below 50%, and litter depth was greater in the pure Caspian beech type. Shannon (0.39)



and Simpson (0.08) diversity indices were lower in the pure Caspian beech type compared to other types (0.47 and 1.03, respectively), indicating the dominance of a few species and an uneven distribution of individuals. More than 90% of the seedlings were healthy, and no significant difference in regeneration density was observed between forest types ($P=0/854$, ns).

Conclusion: Overall, natural regeneration in the Baharbon region exhibits satisfactory density and seedling vitality; however, species diversity is low, and the regeneration layer is strongly dominated by *Acer velutinum*. If this pattern persists, it may lead to structural homogenization and reduced ecological resilience of the forest. Given the lack of significant differences in regeneration density among forest types, factors associated with microsite conditions, seed production, and interspecific competition appear to exert stronger influences than forest-type identity. Thus, although the regenerative potential of these forests is high, active management interventions aimed at enhancing species diversity within the regeneration layer are essential to ensure the long-term ecological sustainability of these valuable Hyrcanian forests.

Keywords: Biodiversity, Caspian beech, ecological stability, Hyrcanian forests, natural regeneration.

تحلیل تنوع گونه‌ای و تراکم زادآوری در زیر تاج پوشش درختان کهن سال در جنگل‌های هیرکانی ایران (مطالعه موردی: بخش بهاربن، جنگل خیرود)

زهرا ویسی^۱، محسن جوانمیری پور^{۲*}، وحید اعتماد^۳ و محسن قلندر^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم زیستی جنگل، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، کرمانشاه، ایران

پست الکترونیک: m.javanmiri@ut.ac.ir

۳- استادیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴- استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم فنی و مهندسی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۱۱/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: جنگل‌های هیرکانی به عنوان زیست‌بوم‌های پویا و متنوع، نقش کلیدی در پایداری بوم‌شناختی و حفظ تنوع زیستی دارند. پایداری این جنگل‌ها به فرایند زادآوری طبیعی وابسته است که ترکیب گونه‌ای، ساختار سنی و توان بازسازی جنگل را تعیین می‌کند. اگرچه پژوهش‌های متعددی در مورد زادآوری در جنگل‌های هیرکانی انجام شده‌اند، اما نقش درختان کهن سال در تنوع و تراکم زادآوری در زیر تاج پوشش آن‌ها بررسی نشده است. این پژوهش با هدف تحلیل تنوع گونه‌ای و تراکم زادآوری در زیر تاج پوشش درختان کهن سال در بخش بهاربن جنگل خیرود انجام شد تا نقش این پایه‌ها در پویایی زادآوری طبیعی روشن شود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در بخش بهاربن از جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود و در محدوده ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. بدین منظور، نمونه‌برداری در فصل تابستان انجام گرفت. معیار کهن‌سالی براساس کمینه قطر برابر سینه برای گونه‌ها تعیین شد. درختان کهن سال در هر تیپ جنگلی به روش کامل تصادفی و با استفاده از نقشه تیپ‌بندی بخش بهاربن و جنگل‌گردشی در عرصه شناسایی شدند. در مجموع، ۴۷ قطعه نمونه یک هکتاری شامل ۱۸۸ ریزقطعه نمونه و ۶۰ اصله درخت کهن سال از پنج گونه شامل پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، راش (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm)، توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.)، ممرز (*Carpinus betulus* L.) و بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) انتخاب شد. در زیر تاج پوشش هر پایه، چهار ریزقطعه نمونه ۶×۶ متر مربعی در چهار جهت جغرافیایی مستقر شد. سپس، ویژگی‌های زادآوری شامل تراکم، ترکیب گونه‌ای، وضعیت سلامت، توزیع ارتفاعی و قطری نهال‌ها در این زیرقطعه نمونه‌ها ثبت شدند. همچنین، درصد پوشش علفی و عمق لاش برگ نیز اندازه‌گیری شد. شاخص‌های تنوع شانون-وینر و سیمپسون برای تعیین تنوع گونه‌ای محاسبه شد. در نهایت، برای بررسی تفاوت تراکم زادآوری میان تیپ‌ها از آزمون t مستقل استفاده شد.

نتایج: براساس یافته‌های به دست آمده، در هر دو تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر، پلت با بیش از ۷۰ درصد سهم، غالب‌ترین گونه در زادآوری بود، درحالی‌که راش، ممرز و شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.)، سهم بسیار اندکی از زادآوری را به خود اختصاص دادند. بیشترین تراکم زادآوری در طبقه قطری کمتر از ۲/۵ میلی‌متر و طبقه ارتفاعی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر قرار داشت. پوشش علفی اغلب کمتر از ۵۰ درصد و عمق لاش برگ در تیپ راش بیشتر بود. شاخص‌های شانون-وینر و سیمپسون در تیپ راش خالص به ترتیب با ۰/۳۹ و ۰/۰۸، کمتر از مقادیر ثبت شده در تیپ‌های دیگر (۰/۴۷ و ۱/۰۳) به دست آمدند. این نتایج بیانگر غلبه چند گونه و پراکنش نامتوازن زادآوری است. بیش از ۹۰ درصد زادآوری سالم بود و تفاوت تراکم زادآوری بین تیپ‌ها معنی‌دار نبود ($P=0/854$).

نتیجه‌گیری کلی: براساس نتایج این پژوهش، زادآوری طبیعی در منطقه بهاربن از نظر تراکم و سلامت نهال‌ها، وضعیت مطلوبی دارد، اما تنوع گونه‌ای کم است و جامعه نهالی تحت غلبه پلت قرار دارد. این الگو در صورت تداوم می‌تواند به یکنواختی ساختاری و کاهش

تاب‌آوری بوم‌شناختی جنگل منجر شود. از آنجا که تفاوتی میان تراکم زادآوری تیپ‌ها مشاهده نشد، به‌نظر می‌رسد عوامل مرتبط با شرایط بستر، تولید بذر و رقابت بین‌گونه‌ای، نقش بیشتری در این زمینه دارند، بنابراین اگرچه پتانسیل باززایی جنگل قوی است، اما مدیریت فعال برای افزایش تنوع گونه‌ای در زادآوری برای تضمین پایداری بوم‌شناختی در این جنگل‌های بارز، ضروری به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: زادآوری طبیعی، پایداری بوم‌شناختی، تنوع زیستی، تیپ راش خالص، جنگل‌های هیرکانی.

مقدمه

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های کره‌زمین، نقشی بنیادین در پایداری محیط‌زیستی، تعادل اقلیمی و تداوم حیات موجودات زنده ایفا می‌کنند. این بوم‌سازگان‌های پیچیده و پویا، حاصل فرایندهای طولانی‌مدت بوم‌شناختی هستند که در آن‌ها، روابط بین‌گونه‌ای و برهم‌کنش‌های زیستی، پویایی ساختاری و کارکردی جنگل را شکل می‌دهد (Zolfaghari & Zamani, 2016). هر جنگل در مسیر تکامل طبیعی خود، مراحل مختلفی از تشکیل توده، بلوغ، کهن‌سالی، تخریب و درنهایت، زادآوری و احیای طبیعی را طی می‌کند که حاصل آن، شکل‌گیری جنگل‌های کهن‌سال با ساختارهای پیچیده و چندلایه است (Petrucelli et al., 2014). جنگل‌های کهن سال به‌دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی مانند تنوع سنی درختان، وجود درختان تنومند و خشک‌دار، بقایای چوبی در کف جنگل و تاج‌پوشش چندلایه، از مهم‌ترین و بارزترین رویشگاه‌ها برای حفظ تنوع زیستی به‌شمار می‌آیند (Ebrahimi et al., 2019; Javanmiri Pour & Etemad, 2024). پایداری و تداوم چنین بوم‌سازگان‌هایی به فرایند زادآوری طبیعی وابسته است. زیرا حفظ تعادل و پویایی در ساختار جنگل فقط از طریق زادآوری درختان میسر است (Javanmiri Pour et al., 2014). زادآوری در علوم جنگلداری به فرایند تجدیدنسل درختان از طریق بذر یا تکثیر جنسی گفته می‌شود که در آن پایه‌های جوان، جایگزین درختان کهن‌سال و از بین‌رفته می‌شوند (Jardim, 2015). این فرایند نه‌تنها ضامن تداوم توده‌های جنگلی است بلکه تعیین‌کننده‌ی ترکیب گونه‌ای، ساختار سنی و پایداری بوم‌شناختی جنگل نیز محسوب می‌شود (Faraji et al., 2023). موفقیت زادآوری تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل بوم‌شناختی

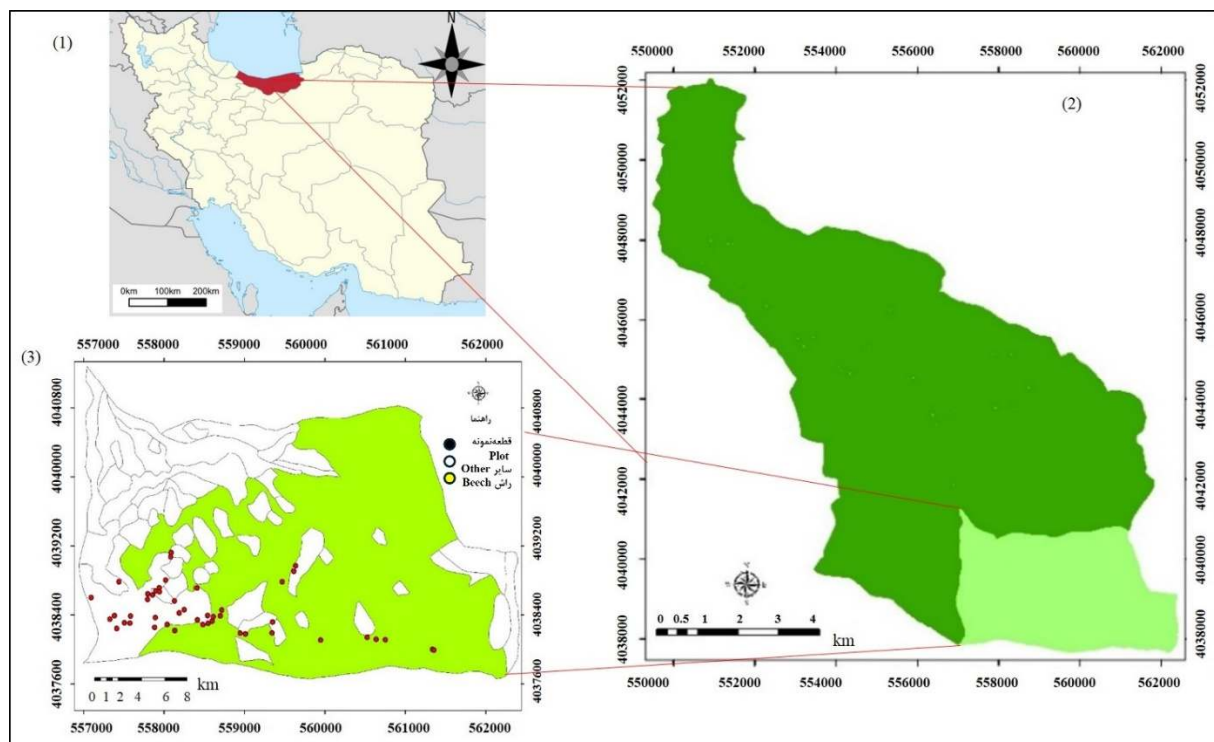
و انسانی ازجمله میزان بذردهی، شرایط آب و هوایی، رطوبت، نور و نیز تخریب ناشی از چرای دام یا بهره‌برداری بی‌رویه قرار دارد (Darabi & Gholami, 2016). وضعیت کنونی زادآوری در هر رویشگاه، بازتابی از سیمای جنگل آینده است که مطالعه و ارزیابی آن، نقش کلیدی در مدیریت پایداری جنگل دارد (Bayat et al., 2017). همچنین، تغییر در وضعیت زادآوری می‌تواند ترکیب و ساختار آینده‌ی جنگل را به‌طور اساسی دگرگون کند (Dey et al., 2019).

پژوهش‌های متعددی در مناطق مختلف جهان بر اهمیت زادآوری طبیعی در ثبات و تداوم بوم‌سازگان‌های جنگلی تأکید کرده‌اند. در جنگل‌های آمزون برزیل نشان داده شد که فرایندهای زادآوری و استقرار گونه‌های جدید، نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری جمعیت‌های گیاهی دارند (Jardim, 2015). در جنگل‌های معتدله ایالات متحده آمریکا نیز تغییر اقلیم و فشارهای انسانی به‌عنوان موانع اصلی احیای طبیعی معرفی شدند (Dey et al., 2019). به همین ترتیب، بررسی جنگل‌های کاستاریکا نشان داد که زادآوری طبیعی، مسیرهای متفاوتی در جنگل‌های جوان و کهن‌سال دارد (Chazdon et al., 2022). بازسازی طبیعی در مقایسه با بازسازی فعال، یعنی روش‌های مبتنی بر مداخله‌های مستقیم انسانی، کارآمدتر و اقتصادی‌تر هستند (Crouzeilles et al., 2017). در کامرون، شدت تخریب و شرایط نوری از عوامل کلیدی در موفقیت زادآوری طبیعی معرفی شدند (Zébaze et al., 2023). این یافته‌ها بر اهمیت شناخت الگوهای زادآوری طبیعی و عوامل مؤثر بر آن تأکید داشتند و ضرورت انجام پژوهش‌های مشابه در تیپ‌های مختلف جنگلی را توجیه می‌کنند.

پژوهش‌های داخلی نیز نشان می‌دهند که شرایط مدیریتی

درختان کهن سال تاکنون در پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی مورد توجه قرار نگرفته است. از این رو، پژوهش پیش‌رو با تمرکز بر این جنبه کمتر بررسی شده، نوآوری ویژه‌ای در تحلیل پویایی تجدید حیات جنگل‌های هیرکانی دارد. گفتنی است که تاکنون در توده‌های جنگلی بخش بهارین، شیوه خاصی از شیوه‌های جنگل‌شناسی اجرا نشده و برداشت چوب فقط توسط افراد محلی و بومی صورت گرفته است (Jashni *et al.*, 2012). با این حال، مسائل و مشکلاتی مانند تبدیل اراضی جنگلی و برداشت بی‌رویه چوب برای مصارف روستایی و عشایری و حضور دام در عرصه این جنگل‌ها با شدت و ضعف منطقه‌ای وجود دارد، بنابراین شناخت الگوهای زادآوری در زیر تاج پوشش درختان کهن سال در تیپ‌های مختلف جنگلی می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریتی فراهم کند.

و محیطی، تأثیر چشمگیری بر پویایی و تنوع گونه‌ای دارند. در جنگل‌های ارسباران گزارش شده است که مناطق حفاظت‌شده از تنوع و زادآوری به مراتب بیشتری نسبت به عرصه‌های غیرحفاظت‌شده برخوردار هستند (Alijanpour *et al.*, 2009). همچنین، در جنگل دارابکلای مازندران، بهره‌برداری انسانی سبب تغییرات معنی‌دار در ساختار جنگل و زادآوری درختان شد (Vousoghian & Shojaishami, 2017). در جنگل خیرود نیز چرای دام با کاهش تراکم، کیفیت و تنوع زادآوری درختی، اثر منفی معنی‌داری بر توده‌های جنگلی داشت (Javanmiri Pour *et al.*, 2012). به علاوه، شرایط توپوگرافی، نور و فصل رویش از عوامل کلیدی افزایش تراکم و موفقیت زادآوری طبیعی در توده‌های جنگلی معرفی شده‌اند (Kianmehr *et al.*, 2022b). با وجود اهمیت شناخت فرایند زادآوری طبیعی در مدیریت پایدار جنگل، بررسی زادآوری در زیر تاج پوشش



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: (۱) موقعیت استان مازندران در ایران، (۲) موقعیت بخش بهارین در جنگل خیرود و (۳) پراکنش مکانی قطعه‌نمونه‌ها در بخش بهارین

Figure 1. Geographical location of the study area: (1) location of Mazandaran Province in Iran, (2) location of the Baharbon district within the Kheyroud Forest, and (3) spatial distribution of sample plots in the Baharbon district

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بخش بهارین به عنوان بخش ششم از جنگل خیرود (جنگل آموزشی - پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران) در هفت کیلومتری شرق شهرستان نوشهر در استان مازندران واقع شده است. این جنگل کمتر دست‌خورده به مساحت ۱۵۵۰ هکتار در محدوده ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا گسترش یافته است (Jashni et al., 2012). مختصات جغرافیایی این جنگل ۱۲° ۳۳' ۵۱" تا ۵۱° ۳۹' ۵۶" طول شرقی و ۸° ۳۲' ۳۶" تا ۵° ۴۵' ۳۶" عرض شمالی است که از شمال به جنگل چلیبر، از شرق به حوضه ۴۶، از جنوب به یال هشتادتن و از غرب به رودخانه کلیک و بخش منیاسنگ منتهی می‌شود (شکل ۱).

این منطقه دارای بارندگی سالانه حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر و خاک‌های اغلب قهوه‌ای جنگلی است (Jashni et al., 2012). تیپ‌های جنگلی غالب این بخش شامل راش خالص (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm)، راش - ممرز (*F. caspica-Carpinus betulus* L.)، راش آمیخته (*C. betulus-F.*)، ممرز - راش (*caspica mixed stands*)، و نیز توسکا بیلاقی - افرا پلت (*Alnus caspica*) و توسکا بیلاقی - ممرز (*A. subcordata-C. betulus*) هستند (Etemad, 2002). براساس نقشه موجود، بیشترین مساحت این بخش به تیپ راش خالص اختصاص دارد. از این رو، مقایسه این تیپ با تیپ‌های دیگر در این پژوهش اغلب ناشی از غالبیت و گسترش وسیع آن در منطقه است. به علاوه، توجه به تیپ‌های دیگر جنگلی و بررسی تنوع آن‌ها در کنار تیپ راش خالص به ارتقای انسجام و جامعیت مطالعه کمک می‌کند. شایان ذکر است که تیپ‌بندی جنگل برپایه اصول علمی جنگل‌شناسی و با در نظرگیری معیارهای ترکیبی شامل سیمای ظاهری (سیمای ظاهری درختان و لایه‌بندی)، غلبه گونه‌های اصلی (مانند راش و ممرز از نظر حجم و فراوانی)، میزان آمیختگی و ترکیب گونه‌های درختی، تنوع گونه‌ای، شرایط فیزیوگرافی رویشگاه (ارتفاع، جهت و شیب) و مساحت

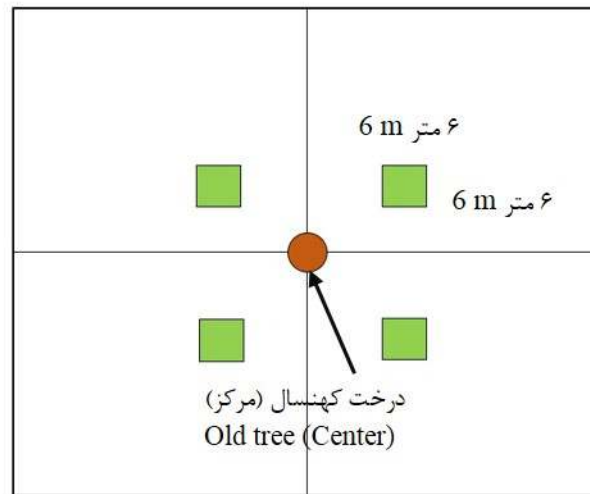
گسترش تیپ انجام شده است (Javanmiri Pour et al., 2022). وجود تیپ‌های جنگلی متنوع و وضعیت به نسبت دست‌نخورده این عرصه، آن را به محیطی ایده‌آل برای مطالعه فرایندهای طبیعی زادآوری تبدیل کرده است.

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش از نقشه توپوگرافی و نقشه تیپ‌بندی بخش بهارین با مقیاس ۱:۳۰۰۰۰ استفاده شد. از طریق جنگل‌گردشی و پیمایش عرصه، درختان کهن‌سال در هریک از تیپ‌های جنگلی راش خالص و تیپ‌های دیگر شناسایی شدند. باتوجه به شرایط جنگل و نیز استناد به پژوهش‌های پیشین برای هر گونه درختی، یک قطر خاص به عنوان معیاری برای کهن‌سال بودن درخت در نظر گرفته شد (Azaryan et al., 2015). به عنوان نمونه، کمینه قطر برابر سینه برای راش، ممرز، توسکای بیلاقی و پلت ۱/۵ متر و برای بلندمازو، دو متر در نظر گرفته شد (Azaryan et al., 2015; Hosseini et al., 2020). جنگل‌گردشی در فصل تابستان در نوارهایی به عرض ۱۰۰ متر در تیپ‌های مورد مطالعه (تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر) صورت گرفت. در هر تیپ، ۳۰ اصله درخت کهن‌سال و در مجموع، ۶۰ درخت کهن‌سال از پنج گونه شامل پلت، راش، توسکای بیلاقی، ممرز و بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) به صورت کامل تصادفی شناسایی شد. سپس، ۴۷ قطعه نمونه یک هکتاری شامل ۱۸۸ ریزقطعه نمونه با ابعاد ۶×۶ متر مربع در زیر تاج پوشش آن‌ها نمونه برداری شدند.

به منظور بررسی وضعیت زادآوری، چهار ریزقطعه نمونه در زیر تاج پوشش هر درخت کهن‌سال استقرار یافت. به طوری که مرکز هر قطعه نمونه در محدوده عمودی تصویر تاج قرار داشته باشد. برای این کار، سطح قطعه نمونه واقع در زیر تاج پوشش درخت کهن‌سال به چهار قسمت تقسیم شد. در هریک از جهت‌های جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق و غرب) یک ریزقطعه نمونه به ابعاد ۶×۶ متر مربع برداشت شد (Faraji et al., 2023). انتخاب این ابعاد برای قطعه نمونه‌ها ضمن ایجاد تعادل میان دقت و قابلیت تکرار، امکان ثبت ناهمگنی‌های

مکانی در مقیاس خرد در زیر تاج درختان کهن سال را فراهم می‌کند (شکل ۲).



شکل ۲- طرح شماتیک استقرار زیرقطعه‌نمونه‌ها برای بررسی زادآوری در زیر تاج پوشش درختان کهن سال در بخش بهاربن جنگل خیرود

Figure 2. Schematic layout of the subplots used to assess natural regeneration in the understory of old-growth trees in the Baharbon district of the Kheyroud Forest

در بخش دیگری از جمع‌آوری داده‌ها، درصد پوشش علفی در چهار کلاسه (کمتر از ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد و بیشتر از ۷۵ درصد) در هر قطعه‌نمونه ثبت شد. به منظور برآورد درصد پوشش علفی، هر قطعه‌نمونه به صورت میدانی ارزیابی شد. در این روش، سطح زمین هر قطعه‌نمونه به دقت بررسی شد تا میزان پوشش گیاهان علفی سنجیده شود. سپس نسبت سطح تحت پوشش گیاهان علفی به کل سطح قطعه‌نمونه محاسبه و به صورت درصد بیان شد (Ko *et al.*, 2017). همچنین، ضخامت لاش‌برگ با استفاده از خط‌کش در پنج کلاسه (کمتر از دو، دو تا چهار، چهار تا شش، شش تا هشت و بیشتر از هشت سانتی‌متر) تا دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد. لایه لاش‌برگ، بالاترین و سطحی‌ترین لایه از خاک جنگل است که از بقایای گیاهی تجزیه‌نشده یا نیمه‌تجزیه‌شده تشکیل شده است. این لایه، پوشش آلی است که کف جنگل را می‌پوشاند و ارتباط حیاتی بین خاک معدنی و پوشش زنده جنگل برقرار می‌کند (Kianmehr *et al.*, 2022a). برای انجام این مطالعه از

گفتنی است در مواردی که بیشتر از یک درخت کهن سال در نزدیکی همدیگر قرار داشتند، نقطه‌ای در میان آن‌ها انتخاب شد. به طوری که هریک از درختان کهن سال، فاصله‌ای مساوی با دو یا چند درخت دیگر داشته باشد. این نقطه به عنوان مرکز قطعه‌نمونه با مساحت یک هکتار در نظر گرفته شد. سپس، وضعیت زادآوری در قطعه‌نمونه بررسی شد. در این قطعه‌نمونه‌ها، قطر یقه (کمتر از ۲/۵، ۲/۵ تا ۷/۵ و ۷/۵ تا ۱۲/۵ میلی‌متر)، ارتفاع نهال (کمتر از ۳۰، ۳۰ تا ۱۳۰ و بیشتر از ۱۳۰ سانتی‌متر با شرط قطر یقه کمتر از ۱۲/۵ میلی‌متر) و وضعیت سلامت و شادابی (چنگالی یا سالم) به تفکیک بررسی شد (Javanmiri Pour *et al.*, 2012). نهال چنگالی (Forked Sapling) به درخت جوانی گفته می‌شود که تنه اصلی آن در ارتفاعی پایین (اغلب نزدیک به یقه) به دو یا چند جست تقسیم شده باشد. این جست‌ها، رقابت شدیدی با یکدیگر برای نور و منابع دارند و هیچ‌یک بر دیگری برتری ندارد تا نقش تک ساقه اصلی (Leader) را به عهده بگیرد (Manner & Lundström, 2024).

(n_i) به کل فراوانی جامعه (N) است. مقدار عددی این شاخص از صفر شروع می‌شود و تا حدود پنج یا شش می‌رسد. هر چه مقدار آن بیشتر باشد، نشان‌دهنده تنوع زیاد آن بوم‌سازگان است (Alijanpour et al., 2009).

۲- شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون

این شاخص به دلیل اینکه حساسیت بیشتری به پوشش گونه‌های عمومی در قطعه نمونه یا جامعه دارد، اغلب به عنوان شاخص چیرگی استفاده می‌شود. شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون ($1-D$) از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Alijanpour et al., 2009).

$$1-D = 1 - \sum_{i=1}^S (p_i)^2 = 1 - \sum_{i=1}^S \left[\frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \right]$$

(*Prunus spinosa* Spp.)، توسکای بیلاقی (*Alnus*)، راش، زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.)، سیب وحشی (*Malus orientalis* Uglitzk.)، شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.)، ممرز و ملج (*Ulmus glabra* Huds.) تشکیل شده بود. همچنین، در تیپ‌های دیگر جنگلی، میانگین تعداد پایه‌ها در هکتار ۱/۴۱ اصله به دست آمد و شامل نه گونه ازگیل، افراپلت، شیردار، آلوچه، بلوط بلندمازو، راش، ممرز، زالزالک (*Crataegus* L.) و ملج بود.

باتوجه به شکل ۳، پلت در تیپ راش خالص با بیشتر از ۷۵ درصد، بیشترین فراوانی زادآوری را به خود اختصاص داد. پس از آن، راش با بیشتر از ۱۷ درصد، فراوانی بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر داشت. در مقابل، در تیپ‌های دیگر نیز پلت با بیشتر از ۷۰ درصد و راش و ممرز هرکدام با بیشتر از ۱۰ درصد به ترتیب دارای بیشترین میزان زادآوری در زیرتاج پوشش درختان کهن سال بودند.

شاخص‌های تنوع گونه‌ای به شرح زیر استفاده شد.

۱- شاخص تنوع گونه‌ای شانون-وینر

این شاخص، هم تعداد گونه‌ها و هم پراکنش افراد در میان گونه‌ها را مدنظر قرار می‌دهد و حساسیت بیشتری به فراوانی گونه‌های نادر در نمونه یا جامعه دارد. شاخص تنوع گونه‌ای شانون-وینر (H') از طریق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این فرمول، p_i نشان‌دهنده نسبت افراد یک گونه

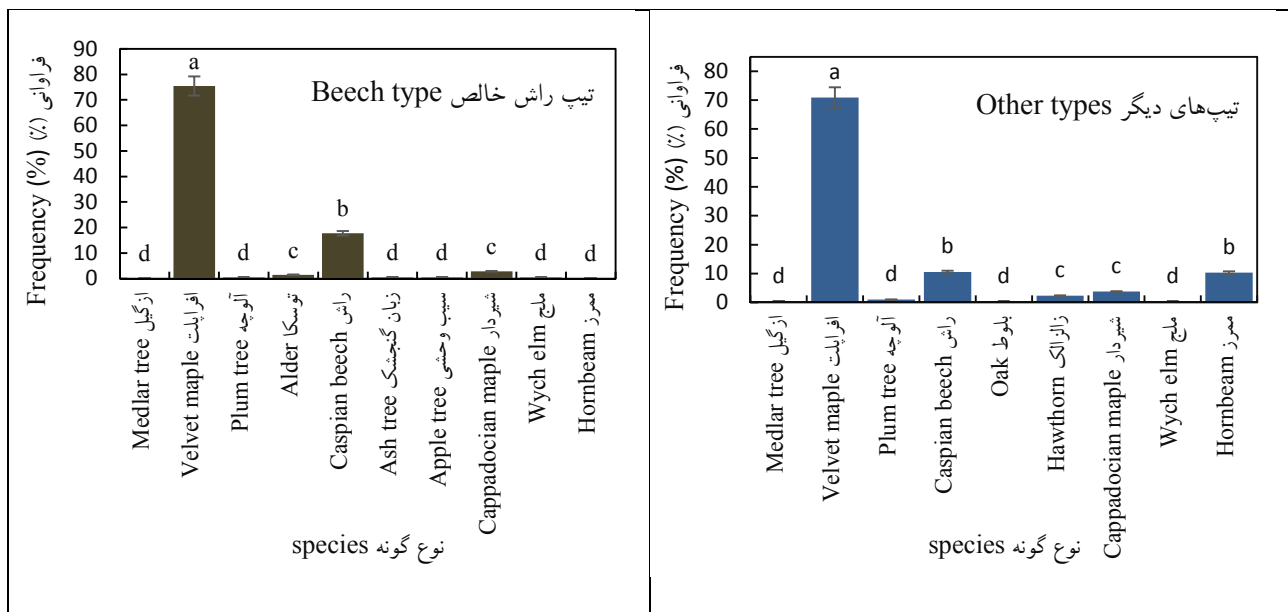
رابطه (۲)

در این فرمول، S : تعداد کل گونه‌ها، n_i : تعداد افراد گونه i ام، N : تعداد کل افراد و p_i نسبت افراد گونه i ام در جامعه است.

داده‌های اندازه‌گیری شده پس از نرمال‌سازی با استفاده از آزمون کولموگروف-سمیرنوف در نرم‌افزارهای Excel و SPSS تجزیه و تحلیل قرار شدند. به منظور بررسی تنوع گونه‌ای و محاسبه شاخص‌ها از نرم‌افزار Past استفاده شد. همچنین، بررسی تراکم زادآوری با استفاده از آزمون t مستقل صورت گرفت. برای مقایسه فراوانی بین حالت‌های مختلف، از آزمون کای دو (Chi-square) استفاده شد.

نتایج

نتایج بررسی وضعیت فراوانی زادآوری نشان داد که در تیپ راش خالص، میانگین تعداد پایه‌ها به ازای هر هکتار برابر با ۵/۵۳ اصله بود. زادآوری در این تیپ از ده گونه مختلف شامل ازگیل (*Mespilus germanica*)، افراپلت، آلوچه

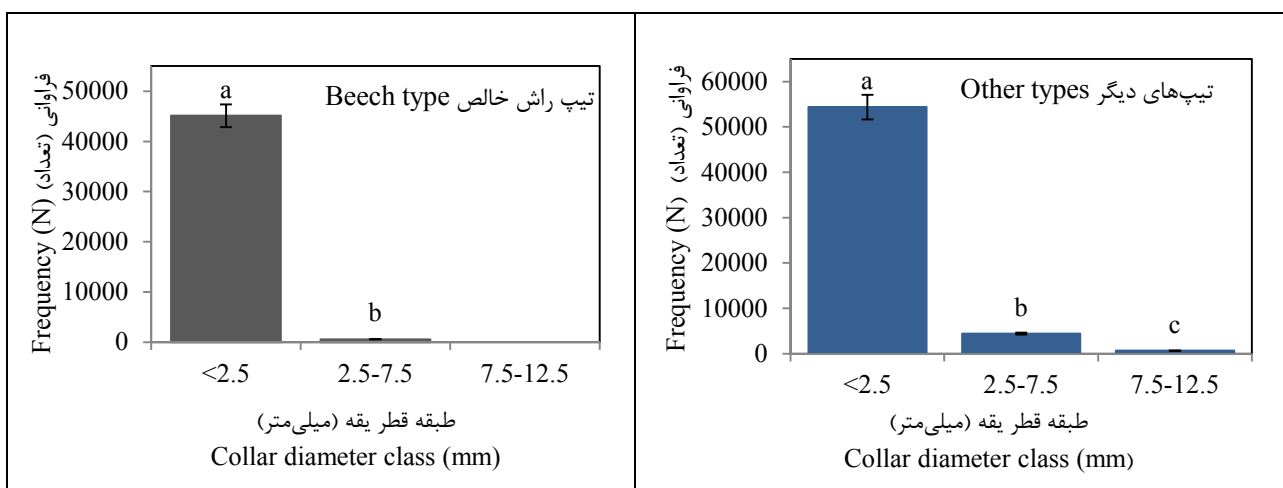


شکل ۳- نمودار درصد فراوانی زادآوری گونه‌های مختلف در زیر تاج پوشش درختان کهن سال در تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر. حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 3. Diagram of the percentage frequency of natural regeneration of different species in the canopy of old-growth trees in the pure Caspian beech type and other forest types
Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

۹۰ درصد زادآوری را شامل می‌شد. همچنین، در تیپ‌های دیگر، طبقه قطری یقه کمتر از ۲/۵ میلی‌متری با ۵۴۳۶۲ اصله، بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داد (شکل ۴).

بررسی زادآوری در زیر تاج پوشش درختان کهن سال براساس طبقه‌های قطری یقه نشان داد که بیشترین حضور زادآوری در تیپ راش خالص مربوط به طبقه قطری یقه کمتر از ۲/۵ میلی‌متری با فراوانی ۴۵۱۰۸ اصله است که بیشتر از

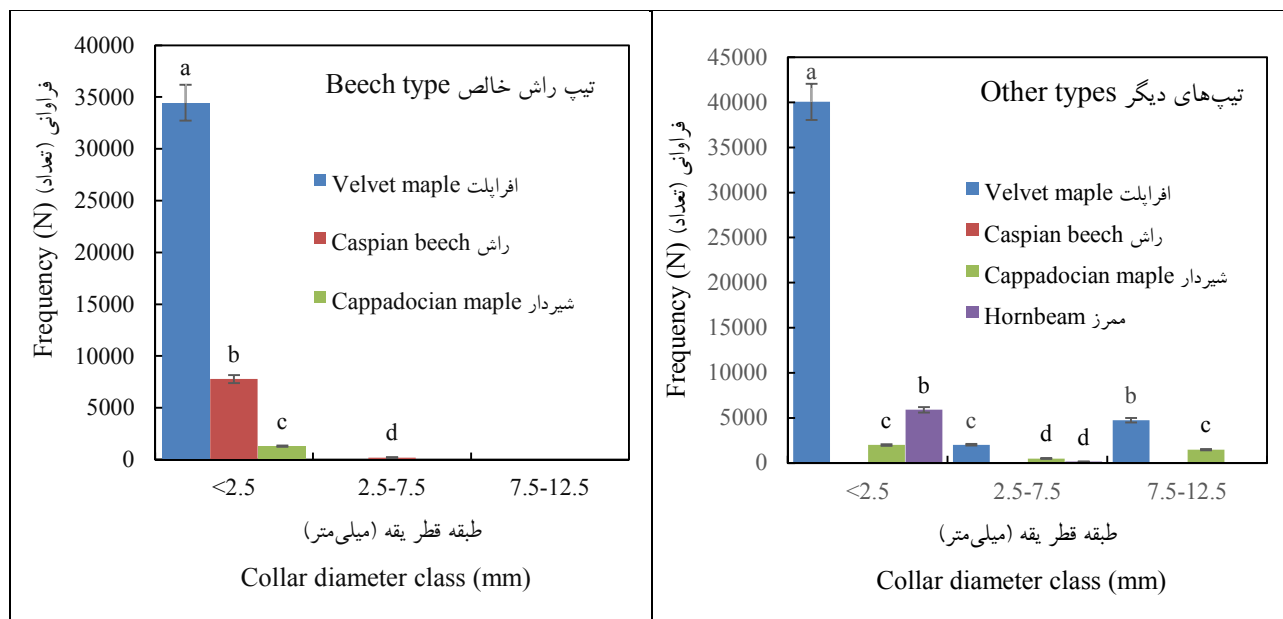


شکل ۴- فراوانی زادآوری در طبقه‌های قطری یقه در زیر تاج پوشش درختان کهن سال تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر. حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 4. Frequency of natural regeneration across collar diameter classes in the understory of old-growth trees in the pure Caspian beech type and other forest types
Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

میلی‌متر برابر با ۴۰۰۶۴ اصله به‌دست آمد. گونه‌های شیردار، راش و ممرز نسبت به پلت، فراوانی قابل‌توجهی نداشتند (شکل ۵).

عمده زادآوری در زیر تاج‌پوشش درختان کهن‌سال در تیپ راش خالص مربوط به پلت با ۳۴۴۵۲ اصله در طبقه قطری کمتر از ۲/۵ میلی‌متر بود. در تیپ‌های دیگر نیز بیشترین فراوانی مربوط به پلت در طبقه قطری کمتر از ۲/۵



شکل ۵- فراوانی زادآوری در طبقه‌های قطری یقه به تفکیک گونه در تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

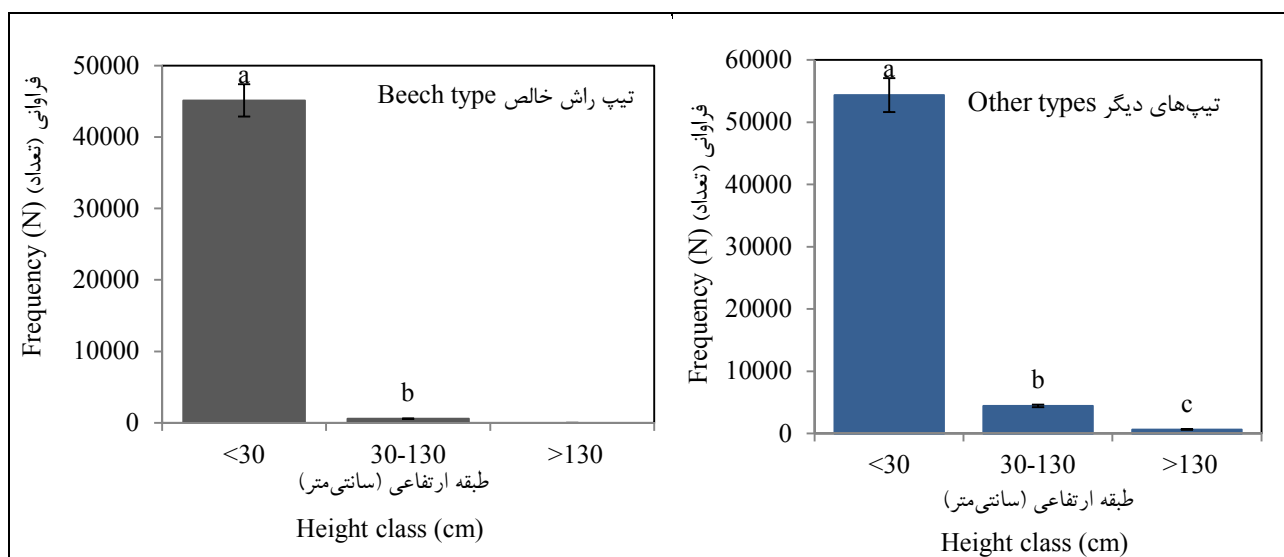
Figure 5. Species-specific frequency of natural regeneration across collar diameter classes in the pure Caspian beech type and other forest types
Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

تاج‌پوشش درختان کهن‌سال در تیپ راش خالص مربوط به پلت برابر با ۳۴۴۵۲ اصله در طبقه ارتفاعی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر است. در تیپ‌های دیگر نیز بیشترین فراوانی مربوط به پلت در طبقه ارتفاعی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر برابر با ۴۰۰۶۴ اصله است. گونه‌های شیردار، راش و ممرز نسبت به پلت، فراوانی قابل‌توجهی ندارند (شکل ۷).

نتایج بررسی وضعیت سلامت زادآوری نشان داد که زادآوری سالم در تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر به‌ترتیب با ۴۵۱۰۸ و ۵۴۴۰۰ اصله، بیشتر از ۹۰ درصد فراوانی را به‌خود اختصاص داد (شکل ۸).

بررسی فراوانی زادآوری در طبقه‌های ارتفاعی نشان داد که بیشترین حضور زادآوری در زیرتاج‌پوشش درختان کهن‌سال در تیپ راش خالص مربوط به طبقه ارتفاعی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر با فراوانی ۴۵۱۰۸ اصله است که بیشتر از ۹۰ درصد زادآوری را به‌خود اختصاص داد. نتیجه مشابهی برای تیپ‌های دیگر به‌دست آمد. چنانچه، طبقه ارتفاعی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر با ۵۴۳۶۲ اصله دارای بیشترین فراوانی در تیپ‌های دیگر بود (شکل ۶).

بررسی نتایج مربوط به فراوانی زادآوری در طبقه‌های ارتفاعی به تفکیک گونه نشان داد که عمده زادآوری در زیر

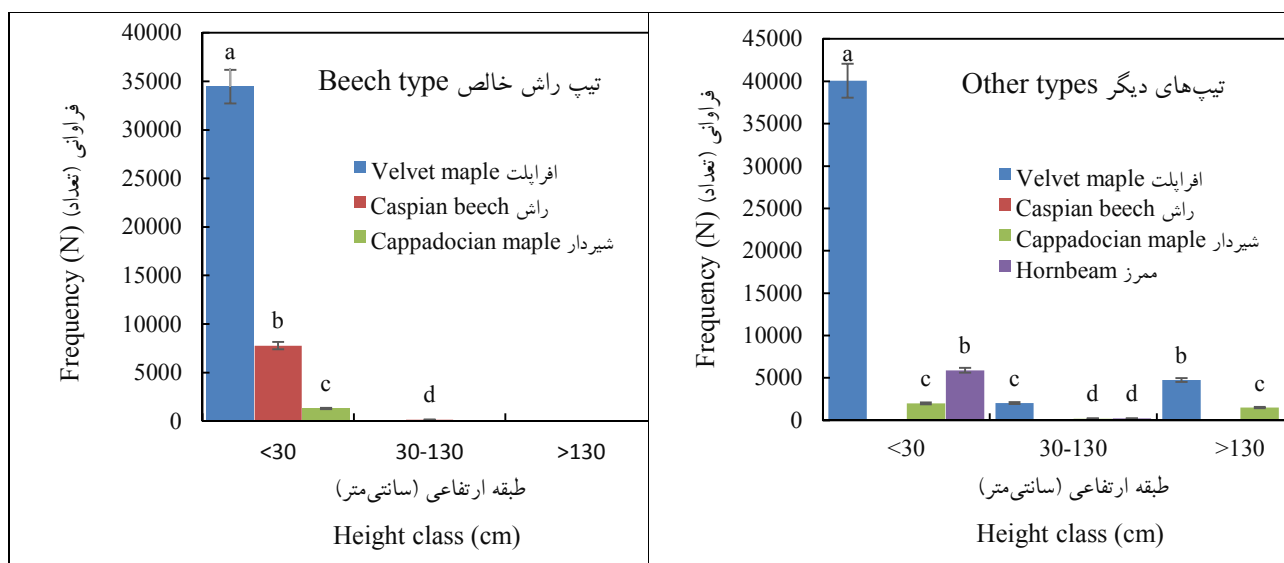


شکل ۶- فراوانی زادآوری در طبقه‌های ارتفاعی در زیر تاج پوشش درختان کهن سال در تپه راش خالص و تپه‌های دیگر

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 6. Frequency of natural regeneration across collar height classes in the understory of old-growth trees in the pure Caspian beech type and other forest types

Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

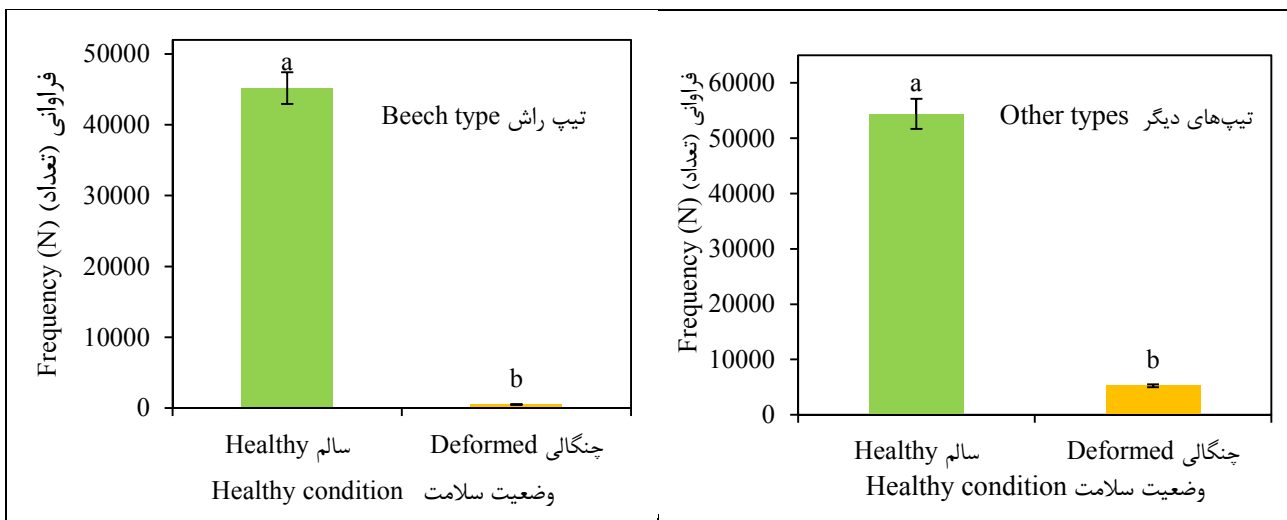


شکل ۷- فراوانی زادآوری در طبقه‌های ارتفاعی به تفکیک گونه در تپه راش خالص و تپه‌های دیگر

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 7. Species-specific frequency of natural regeneration across collar height classes in the pure Caspian beech type and other forest types

Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

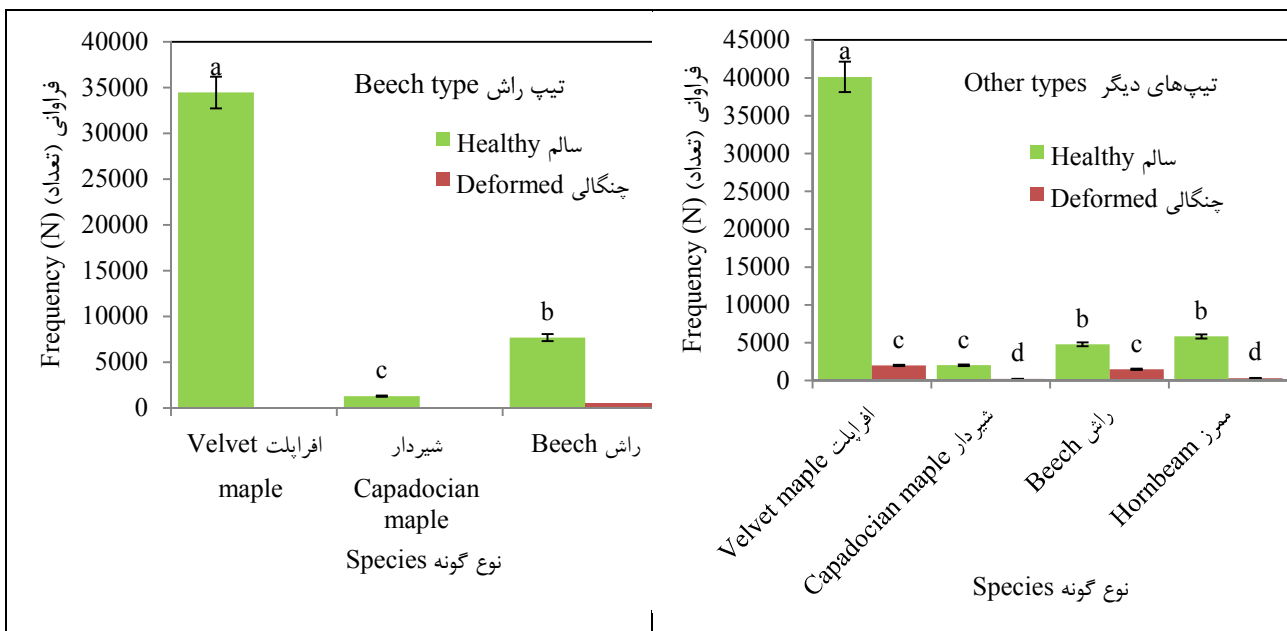


شکل ۸- وضعیت سلامت زادآوری در زیر تاج‌پوشش درختان کهن‌سال در تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر
حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 8. Health status of natural regeneration in the understory of old-growth trees in the pure Caspian beech type and other forest types
Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

پلت و حضور در دسته سالم بود (شکل ۹).

باتوجه به شکل ۹، بیشترین فراوانی در تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر به ترتیب ۳۴۴۵۲ و ۴۰۱۲۶ اصله مربوط به



شکل ۹- وضعیت سلامت زادآوری در زیر تاج‌پوشش درختان کهن‌سال به تفکیک گونه در تیپ راش خالص و تیپ‌های دیگر
حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 9. Species-specific health status of natural regeneration in the understory of old-growth trees in the pure Caspian beech type and other forest types
Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

نتایج مقایسه گروه‌های مورد بررسی (تیپ راش و تیپ‌های دیگر) با استفاده از آزمون t مستقل نشان داد که تفاوت تراکم زادآوری در زیر تاج پوشش درختان کهن سال

بین تیپ راش و تیپ‌های دیگر، معنی‌دار نیست ($P=0/854$)؛ جدول (۱).

جدول ۱- مقایسه گروه‌های مورد بررسی براساس زادآوری با استفاده از آزمون t مستقل

Table 1. Analysis of natural regeneration parameters among the examined groups using the independent t-test

Independent Samples Test											
Levene's Test for Equality of Variances				t-Test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig (2-tailed)	Mean difference	Std. error difference	95% Confidence interval for the difference		
										Lower	Upper
Assumption	Variances assumed	0.165	0.689 ^{ns}	-0.18	46	0.854	-1074.7	5779.7	-13003.5	10854.1	
	Variances not assumed			-0.18	46	0.854	-1074.7	5779.7	-13046.6	10897.1	

ns: non-significant

نتایج گروه‌های مورد بررسی (تیپ راش و تیپ‌های دیگر) نشان داد که شاخص تنوع شانون- وینر در تیپ راش و تیپ‌های دیگر به ترتیب برابر با ۰/۳۹ و ۰/۴۷ است.

همچنین، شاخص تنوع سیمپسون در تیپ راش ۰/۰۸ و در تیپ‌های دیگر ۱/۰۳ به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج آنالیز شاخص‌های تنوع برای زادآوری در زیر تاج پوشش درختان کهن سال

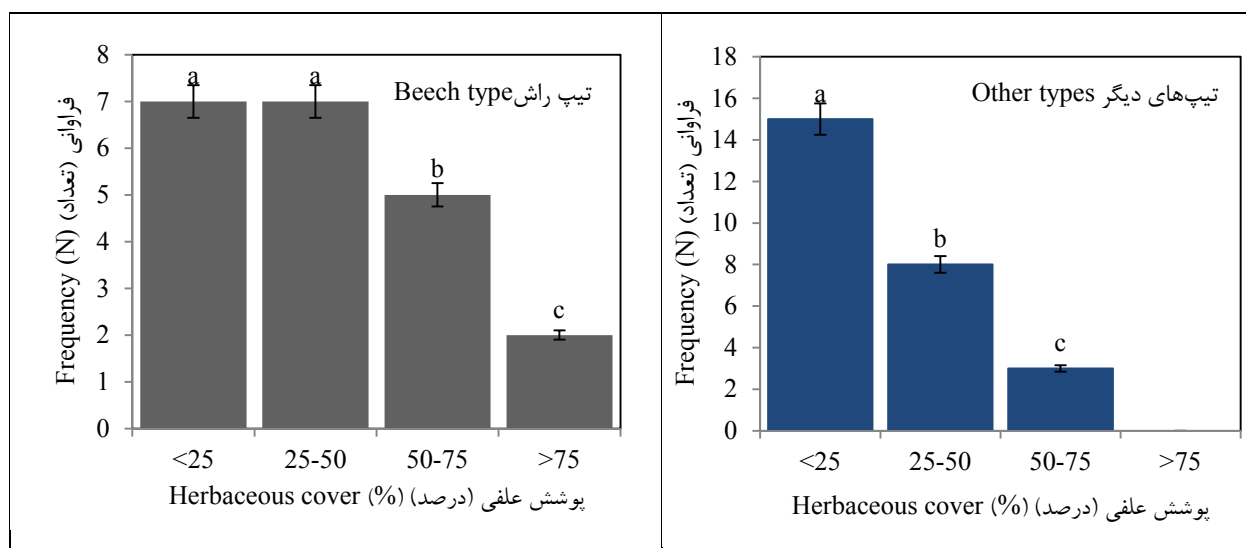
Table 2. Analysis of diversity index related to natural regeneration under the canopy of old-growth trees

Type	diversity index	
	Shannon	Simpson
Beech	0.39	0.08
Other	0.47	1.03

بررسی درصد فراوانی پوشش علفی قطعه نمونه‌ها براساس طبقه‌های مختلف نشان داد که بیشترین فراوانی در تیپ راش خالص مربوط به طبقه‌های پوشش علفی کمتر از ۲۵ درصد و ۲۵ تا ۵۰ درصد هرکدام با هفت مورد است. کمترین فراوانی در پوشش علفی بیشتر از ۷۵ درصد با دو مورد مشاهده شد. در مقابل در تیپ‌های دیگر، پوشش علفی کمتر از ۲۵ درصد در مقابل در تیپ‌های دیگر، پوشش علفی بیشتر از ۷۵ درصد، فاقد فراوانی در

در قطعه نمونه‌های تیپ راش خالص، عمق چهار تا شش سانتی‌متری لاش‌برگ با هشت مورد، بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داد. کمترین مقدار عمق لاش‌برگ نیز در طبقه کمتر از دو سانتی‌متری مشاهده شد. در مقابل، در تیپ‌های دیگر در طبقه دو تا چهار سانتی‌متری، بیشترین فراوانی با ۱۵ مورد مشاهده شد. همانند تیپ راش خالص، در تیپ‌های دیگر نیز طبقه کمتر از دو سانتی‌متر با فقط یک مورد، کمترین فراوانی را به خود اختصاص داد (شکل ۱۱).

همچنین، پوشش علفی بیشتر از ۷۵ درصد، فاقد فراوانی در تیپ‌های دیگر بود (شکل ۱۰).

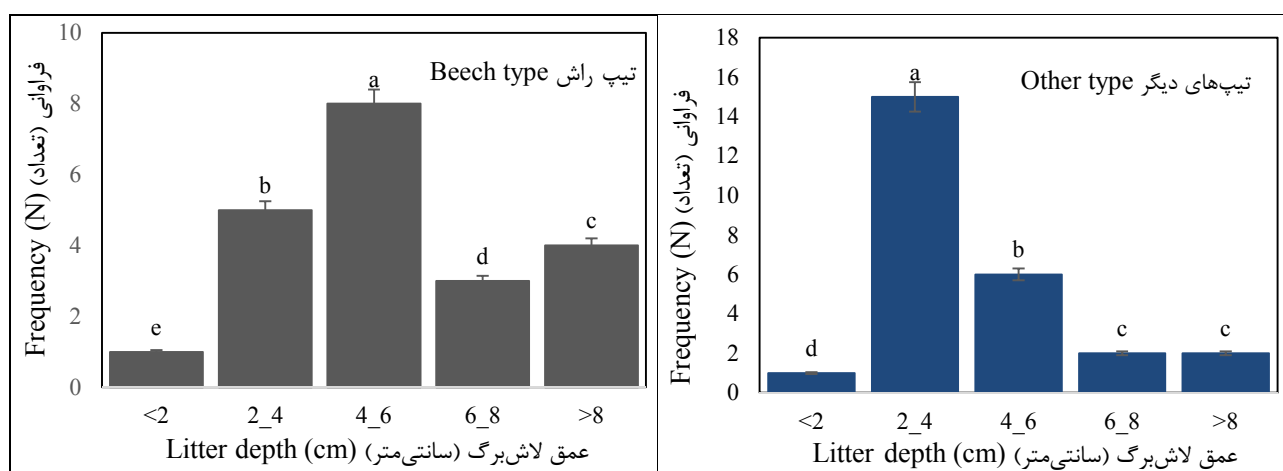


شکل ۱۰- درصد پوشش علفی قطعه نمونه‌های درختان کهن سال در تپه راش خالص و تپه‌های دیگر

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 10. Percentage of herbaceous cover in sample plots of old-growth trees in pure Caspian beech types and other forest types

Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.



شکل ۱۱- وضعیت عمق لاش برگ در قطعه نمونه‌ها درختان کهن سال تپه راش خالص و تپه‌های دیگر

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 11. Litter depth in sample plots of old-growth trees in pure Caspian beech types and other forest types

Different lowercase letters in each graph indicate significant differences at the 95% confidence level.

بحث

روشنه در کف جنگل، بستر مناسبی برای استقرار نهال‌ها هستند. درختان کهن سال به واسطه ایجاد تنوع ساختاری، نقش کلیدی در زادآوری طبیعی جنگل و پایداری تنوع زیستی دارند (Bauhus *et al.*, 2009; Larrieu *et al.*, 2021). نتایج این پژوهش نشان داد که در زیر تاج پوشش درختان کهن سال، پلت در هر دو تپه راش خالص و تپه‌های دیگر،

ویژگی‌های ساختاری درختان کهن سال همچون قطر و ارتفاع زیاد و تاج گسترده نشان‌دهنده آن است که درختان کهن سال، علاوه بر ایفای نقش به عنوان درختان مادری، شرایط مناسبی برای زادآوری طبیعی گونه‌های همراه فراهم می‌کنند (Chazdon *et al.*, 2022). تاج‌های بزرگ با ایجاد لکه‌های

دیگر، باید توجه داشت که نوسان‌های سالانه در تولید و کیفیت بذر می‌تواند بر تراکم زادآوری تأثیرگذار باشد. در راش، سال‌های بذرآور و غیربذرآور به صورت متناوب رخ می‌دهند و این تغییرات می‌توانند سبب تفاوت در تراکم نهال‌ها در دوره‌های مختلف نمونه‌برداری شوند (Etemad, 2002). با این حال، غلبه نهال‌های بسیار جوان در ترکیب زادآوری ممکن است نشان‌دهنده عدم موفقیت در استقرار نهال‌ها در مراحل بعدی باشد. این پدیده اغلب به دلیل محدودیت‌هایی مانند رقابت شدید با گونه‌های مسن‌تر، تغییرات در ویژگی‌های خاک، فشارهای محیط‌زیستی یا کمبود منابع آب و نور رخ می‌دهد. Dey و همکاران (۲۰۱۹) پدیده مذکور را به عنوان یکی از موانع احیای طبیعی در جنگل‌های معتدله گزارش کردند. همچنین، کاهش تراکم زادآوری در طبقه‌های قطری و حجمی بیشتر نشان می‌دهد که فشارهای محیطی یا انسانی، مانع رسیدن بسیاری از پایه‌ها به سن بیشتر شده است. این موضوع می‌تواند پیامدهایی برای زادآوری در بلندمدت داشته باشد. زیرا با کاهش تعداد درختان مادری، توان جنگل برای بازتولید طبیعی در معرض خطر قرار می‌گیرد (Nagel & Cerioni, 2023). از این رو، مدیریت حفاظتی ویژه برای پایه‌های قطور و کهن‌سال ضروری است تا روند زادآوری طبیعی حفظ شود.

در بررسی وضعیت سلامت زادآوری مشخص شد که بیشتر از ۹۰ درصد از زادآوری در هر دو تیپ دارای وضعیت سالم هستند و سهم نهال‌های چنگالی بسیار اندک است. این موضوع نشان می‌دهد که شرایط فیزیکی و بوم‌شناختی کف جنگل از جمله رطوبت خاک، ضخامت لاش‌برگ و میزان نور برای رشد اولیه نهال‌ها به نسبت مساعد است. همچنین، این نتایج نشان‌دهنده سلامت جنگل، پتانسیل زیاد زادآوری طبیعی و نسبت کم تنش یا آشفستگی است. مشابه این نتیجه در پژوهش Alijanpour و همکاران (۲۰۰۹) نیز مشاهده شد که گزارش کردند در مناطق حفاظت‌شده ارسباران، شرایط محیطی مناسب سبب افزایش درصد نهال‌های سالم در مقایسه با عرصه‌های تخریب‌شده می‌شود.

مقایسه تراکم زادآوری بین تیپ راش خالص و تیپ‌های

بیشترین میزان زادآوری (۷۰ درصد از کل زادآوری) را به خود اختصاص داده است، درحالی‌که راش، ممرز و شیردار، سهم کمتری در زادآوری داشتند. این الگو نشان می‌دهد که شرایط محیطی موجود در زیر تاج درختان کهن‌سال به گونه‌ای است که استقرار و زادآوری گونه‌های بردبار به نور مانند پلت را تسهیل می‌کند. زیرا این گونه‌ها به دلیل نیاز کمتر به برخی عوامل محیطی محدودکننده، توان سازگاری بیشتری با این شرایط دارند، درحالی‌که گونه‌های بردبار به سایه مانند راش و ممرز در چنین شرایطی، فرصت کمتری برای رشد دارند. این الگو با ماهیت پیشاهنگی و توانایی استقرار پلت در شرایط سایه نسبی قابل توضیح است. ناهمگنی ساختاری تاج درختان کهن‌سال حتی در پوشش‌های متراکم، امکان نفوذ نور پراکنده و بهره‌گیری از شکاف‌های کوچک را برای استقرار نهال‌های جوان فراهم می‌کند. غلبه پلت در مراحل اولیه زادآوری که تحمل آن به سایه در این مرحله بیشتر است، در مقابل گونه‌های دیرزیست و بردبار به سایه مانند راش و ممرز که در مراحل ابتدایی به شرایط بستر محدودتری نیاز دارند، بیانگر پویایی طبیعی توالی و نقش تسهیل‌کننده گونه‌های پیشاهنگ در زیر تاج پوشش درختان کهن‌سال است. نتایج مشابهی نیز توسط Kianmehr و همکاران (۲۰۲۲a) گزارش شده است که بیان داشتند شدت نور و میزان تخریب در موفقیت زادآوری گونه‌ها، نقش کلیدی دارد. براساس نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو، در هر دو تیپ مورد بررسی، بیشترین تراکم زادآوری در طبقه‌های قطری و ارتفاعی کم (به ترتیب کمتر از ۲/۵ میلی‌متر و کمتر از ۳۰ سانتی‌متر) متمرکز است. این یافته بیانگر آن است که بخش عمده زادآوری در بخش بهارین در مراحل اولیه رشد قرار دارد. در واقع می‌توان گفت که نهال‌ها در مراحل اولیه زندگی به سایه نیاز دارند، اما با افزایش سن برای دریافت نور رقابت می‌کنند که این عامل سبب مرگ و میر نهال‌ها می‌شود. چنین الگویی در بسیاری از جنگل‌های طبیعی همچون جنگل‌های هیرکانی ایران و نیز جنگل‌های استوایی و مدیترانه‌ای گزارش شده است و می‌تواند بیانگر پویایی طبیعی جامعه گیاهی و آغاز فرایند جایگزینی نسل‌ها باشد (Jardim, 2015; Faraji et al., 2023). ازسوی

تاج‌پوشش در تیپ‌های دیگر، امکان حضور تعداد بیشتری از گونه‌ها را در زادآوری فراهم کرده بود، اما در این تیپ‌ها نیز پلت همچنان گونه غالب زادآوری باقی ماند. نتایج مشابهی توسط Petruccelli و همکاران (۲۰۱۴) و Crouzeilles و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش شده است. این پژوهشگران نشان دادند که در تاج‌پوشش مترکم، تنوع زادآوری کاهش می‌یابد و گونه‌های دارای توان رقابتی بیشتر (گونه‌های پیشاهنگ) می‌توانند بر لایه زادآوری غالب شوند.

نتایج به‌دست‌آمده از پوشش علفی نشان داد که در تیپ راش خالص، پوشش علفی در طبقه‌های کمتر از ۵۰ درصد غالب است. در تیپ‌های دیگر نیز این الگو تکرار شده بود. میزان کم پوشش علفی می‌تواند یکی از عوامل مثبت در استقرار نهال‌ها باشد. زیرا رقابت برای نور و مواد غذایی در سطح خاک کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج گزارش‌شده توسط Elliott و همکاران (۲۰۲۲) در جنگل‌های استوایی همسو است که بیان کردند کاهش تراکم گیاهان علفی می‌تواند به افزایش نرخ زادآوری درختان کمک کند. گفتنی است که باتوجه به انبوهی و دست‌خوردگی کمتر جنگل‌های بخش بهارین، سایه‌ی درختان و لایه‌های لاش‌برگ به‌طور معمول اجازه‌ی شکل‌گیری پوشش علفی خیلی مترکم را نمی‌دهد، بنابراین حضور برخی از قطعه‌نمونه‌های این بخش در طبقه‌های بیشتر از ۵۰ درصد و ۵۰ تا ۷۵ درصد می‌تواند نشانه‌ی آشفستگی یا تخریب باشد.

تفاوت در عمق لاش‌برگ بین تیپ‌ها نشان داد که در تیپ راش خالص، عمق لاش‌برگ در طبقه چهار تا شش سانتی‌متری، بیشترین فراوانی را داشت، درحالی‌که در تیپ‌های دیگر، عمق لاش‌برگ در طبقه دو تا چهار سانتی‌متری بیشینه بود. با وجود کهن‌سالی مشابه درختان در هر دو تیپ، این تفاوت به‌احتمال زیاد ناشی از عوامل محیطی مانند ریزش برگ، سرعت تجزیه و آشفستگی خاک است و می‌تواند با محدود کردن جوانه‌زنی بذر و تأخیر در استقرار نهال‌ها، یکی از دلایل کاهش نسبی تنوع گونه‌ای در زیر تاج‌پوشش درختان کهن‌سال راش باشد (Zébaze *et al.*, 2023). توزیع لاش‌برگ اغلب به شرایط بوم‌شناختی (ریزش،

دیگر نشان داد که تفاوت معنی‌داری میان دو تیپ وجود ندارد. این نتیجه حاکی از آن است که حضور درختان کهن‌سال به‌تنهایی عامل تعیین‌کننده تفاوت در تراکم زادآوری نیست، بلکه عوامل محیطی دیگر مانند پوشش علفی، عمق لاش‌برگ، نور در کف جنگل و شرایط خرداقلیم نیز نقش مهمی در این زمینه دارند (Darabi & Gholami, 2016; Vousoghian & Shojaishami, 2017). در واقع، هرچند درختان کهن‌سال با ایجاد شرایط نوری و ریزبوم‌زیستی (Microhabitat) ویژه می‌توانند بر زادآوری تأثیرگذار باشند، اما شدت این اثر در تیپ‌های مختلف به‌ویژه در توده‌های دارای ساختار تاج‌پوشش و تراکم مشابه، تفاوت چشمگیری ندارد، بنابراین بخشی از تغییرات مشاهده‌شده مبنی بر تراکم کم نهال‌ها افزون بر ویژگی‌های ساختاری یا نوع تیپ‌های جنگلی توده‌ها، ناشی از شرایط تولید بذر در سال نمونه‌برداری است و در سال‌های موسوم به سال بذرآور، مقدار و کیفیت بذرها به‌مراتب بیشتر از سال‌های عادی است.

نتایج مربوط به شاخص‌های تنوع گونه‌ای نیز نشان داد که شاخص شانون-وینر در تیپ راش خالص، کمتر از تیپ‌های دیگر است (به‌ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۴۷). همچنین، مقدار شاخص سیمپسون در تیپ راش خالص (۰/۰۸) کمتر از تیپ‌های دیگر (۱/۰۳) برآورد شد. مقادیر کم هر دو شاخص در هر دو تیپ بیانگر غلبه شدید چند گونه خاص به‌ویژه پلت و پراکنش بسیار نامتوازن نهال‌های راش، شیردار و ممرز در بخش بهارین است. در تیپ راش خالص، اگرچه تاج‌پوشش مترکم پایه‌های راش کهن‌سال به‌طور کلی نفوذ نور را کاهش می‌دهد، اما ناهمگنی ساختاری تاج و وجود روزنه‌های نوری کوچک، شرایطی از سایه همراه با نور پراکنده ایجاد می‌کند. این شرایط به‌طور خاص برای استقرار گسترده پلت که با وجود بردباری به نور، در مراحل اولیه زادآوری، تحمل نسبی به سایه دارد، مناسب است و غلبه عددی آن در زیر تاج را به‌همراه دارد (Chazdon *et al.*, 2022). در مقابل، گونه‌هایی مانند راش، ممرز و شیردار با وجود بردباری به سایه، در مرحله اولیه زادآوری به شرایط بستر و رقابتی خاص‌تری نیاز دارند. به همین دلیل، پراکنش محدودتری داشتند. بازتر بودن ترکیب

می‌تواند در بلندمدت به یکنواختی ساختار توده و کاهش تاب آوری آن در برابر تغییرات محیطی منجر شود. باتوجه به عدم تفاوت معنی‌دار در تراکم کل زادآوری میان تیپ‌های مختلف جنگلی می‌توان دریافت که شرایط زیر تاج‌پوشش درختان کهن‌سال به‌طور کلی برای استقرار نهال‌ها مساعد است. این نتیجه به‌احتمال زیاد ناشی از فراهم بودن کمینه منابع نور و رطوبت در همه تیپ‌ها برای جوانه‌زنی و رشد نهال‌ها است. با این حال، تفاوت‌های گونه‌ای در غلبه می‌تواند به علت عوامل دیگری مانند تولید بذرها، رقابت میان گونه‌ها، ویژگی‌های خاک و یا فشارهای محیط زیستی جزئی باشد. در نهایت، سلامت زیاد نهال‌ها (بیشتر از ۹۰ درصد) نشانه‌ای امیدوارکننده از پتانسیل قوی این جنگل‌ها برای باززایی و تداوم چرخه حیات است. با این حال، برای اطمینان از پایداری بوم‌شناختی بلندمدت و حفظ تنوع زیستی، مدیریت جنگل باید به سمت افزایش تنوع گونه‌ای در زادآوری و پایش مستمر تغییرات ساختاری این گروه‌ها هدایت شود. باید توجه داشت که با وجود اشاره به درختان کهن‌سال در پژوهش، طراحی این مطالعه به‌صورت هدفمند بر تیپ خالص راش به‌عنوان یک واحد بوم‌شناختی به‌نسبت باثبات و مرجع متمرکز بود و از مقایسه تفصیلی و مستقل میان تیپ‌های جنگلی مختلف پرهیز شده است. انجام چنین مقایسه‌ای، مستلزم طراحی نمونه‌برداری گسترده‌تر و چارچوب تحلیلی متفاوت است و می‌تواند در پژوهش‌های آینده به تبیین دقیق‌تر نقش زمینه بوم‌شناختی در الگوهای تنوع گونه‌ای و زادآوری در زیر تاج‌پوشش درختان کهن‌سال کمک کند.

تجزیه و آشفتنگی) وابسته است. عمق متوسط (دو تا شش سانتی‌متر) رایج‌ترین حالت است. زیرا حاصل تعادل بین تولید لاش‌برگ و تجزیه و پراکنش آن است. عمق خیلی زیاد یا خیلی کم به شرایط خاصی همچون میزان باد، چرای دام و رفت‌وآمد مربوط می‌شود (Javanmiri Pour *et al.*, 2012). در مجموع، یافته‌های این پژوهش تأکید می‌کنند که هرچند حضور درختان کهن‌سال، نقش مؤثری در فراهم‌سازی شرایط پناهگاهی و بذریابی دارد، اما عوامل خرداقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی بستر، مانند نور، رطوبت، لاش‌برگ و پوشش علفی، تعیین‌کننده‌تر از نوع تیپ جنگلی هستند. از سوی دیگر، مشاهده سهم زیاد پلت در زادآوری نشان می‌دهد که این گونه دارای توان رقابتی قابل‌توجه و سازگاری زیاد با شرایط زیرتاجی است و می‌تواند سهم بیشتری از ترکیب گونه‌ای جنگل را در آینده به‌خود اختصاص دهد. در صورت عدم مدیریت، این روند می‌تواند به کاهش سهم گونه‌های دیرزیست و بردبار به سایه مانند راش بینجامد که پیامدهای بلندمدتی بر پویایی و ساختار جنگل خواهد داشت. براساس یافته‌های پژوهش پیش‌رو می‌توان نتیجه گرفت که زادآوری طبیعی در جنگل‌های منطقه بهاربن در خیرود از وضعیت مطلوبی برخوردار است. غالب بودن شدید پلت در میان نهال‌ها و تمرکز تراکم در طبقه‌های قطری و ارتفاعی کم، نشان‌دهنده توانایی زیاد این گونه برای احیا و تداوم نسل در زیر تاج‌پوشش درختان کهن‌سال است. با این حال، مقادیر کم شاخص‌های تنوع شانون-وینر و سیمپسون (به‌ویژه در تیپ راش خالص) حاکی از آن است که اگرچه زادآوری، تراکم کافی دارد، اما تنوع گونه‌ای آن کم است و جامعه نهالی تحت غلبه تعداد محدودی گونه (اغلب پلت) قرار دارد. این موضوع

References

- Alijanpour, A., Eshaghi Rad, J. and Banj Shafiei, A., 2009. Investigation and comparison of two protected and non-protected forest stands regeneration diversity in Arasbaran. *Iranian Journal of Forest*, 1(3): 209-217 (In Persian with English summary).

- Azaryan, M., Marvie Mohadjer, M.R., Etemaad, V., Shirvany, A. and Sadeghi, S.M.M., 2015. Morphological characteristics of old trees in Hyrcanian forest (Case study: Pattom and Namkhaneh districts, Kheyroud). *Journal of Forest and Wood Products*, 68(1): 47-59 (In Persian with English summary).
- Bausch, J., Puettmann, K. and Messier, C., 2009.

- Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management*, 258(4): 525-537. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.053>
- Bayat, M., Namiratiyan, M. and Pourshakouri Allahdeh, F., 2017. Presentation of ingrowth models and determination of biotic and abiotic factors affecting regeneration in the Hyrcanian forests. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 24(2): 1-16 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.11364.1598>
 - Chazdon, R.L., Norden, N., Colwell, R.K. and Chao, A., 2022. Monitoring recovery of tree diversity during tropical forest restoration: Lessons from long-term trajectories of natural regeneration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1867): 20210069. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0069>
 - Crouzeilles, R., Ferreira, M.S., Chazdon, R.L., Lindenmayer, D.B., Sansevero, J.B.B., Monteiro, L., Iribarrem, A., Latawiec, A.E. and Strassburg, B.B.N., 2017. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, 3(11): e1701345. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701345>
 - Darabi, H. and Gholami, Sh., 2016. Spatial variability of regeneration and tree species diversity in Zagros forests, case study: Gahvare forests, Kermanshah. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5(18): 45-59 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.18869/acadpub.ijae.5.18.45>
 - Dey, D.C., Knapp, B.O., Battaglia, M.A., Deal, R.L., Hart, J.L., O'Hara, K.L., Schweitzer, C.J. and Schuler, T.M., 2019. Barriers to natural regeneration in temperate forests across the USA. *New Forests*, 50(1): 11-40. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-09694-6>
 - Ebrahimi, S.S., Pourbabaei, H. and Pourtahmasi, K., 2019. Comparison of natural regeneration and radial growth variations of trees in the harvested and unharvested beech stands, case study: Asalem forest. *Iranian Journal of Forest*, 11(2): 221-238 (In Persian with English summary).
 - Elliott, S., Tucker, N.I.J., Shannon, D.P. and Tiansawat, P., 2022. The framework species method: Harnessing natural regeneration to restore tropical forest ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1867): 20210073. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0073>
 - Etemad, V., 2002. Quantitative and qualitative evaluation of beech (*Fagus orientalis*) seeds in the forests of Mazandaran Province. Ph.D. dissertation, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, 260p (In Persian).
 - Faraji, B., Javanmiri Pour, M. and Etemad, V., 2023. The oriental beech (*Fagus orientalis* L) seed production and regeneration in northern forests of Iran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 36(3): 232-244 (In Persian with English summary).
 - Hosseini, A., Jafari, M. and Asgari, S., 2020. Investigation and recognition of ecological characteristics of sites of Persian oak and pistachio old trees in forests of Ilam province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 26(4): 113-128 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22069/jwfst.2020.16746.1814>
 - Jardim, F.C.S., 2015. Natural regeneration in tropical forests. *Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 58(1): 105-113. <https://doi.org/10.4322/rca.1676>
 - Jashni, J., Marvi Mohadjer, M., Zahedi Amiri, Gh., Etemad, V. and Hamzehee, B., 2012. Plant associations in Baharbon district of Kheyroud Forest and its relationship to land forms. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3): 402-419 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107447>
 - Javanmiri Pour, M. and Etemad, V., 2024. Habitat trees within mixed and mid-altitude stands in Hyrcanian forests (A case study: Kheyroud Forest in Nowshahr County, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 32(1), 29-45. <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2023.363743.2122>
 - Javanmiri Pour, M., Etemad, V. and Soofi Mariv, H., 2022. Some structural features of riparian forests in Hyrcanian forests (A case study: Palang-Darreh forest, Savadkoh). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(1): 47-67 (In Persian with English summary).
 - Javanmiri Pour, M., Marvie Mohadjer, M.R., Etemad, V. and Zobeiri, M., 2012. Effects of grazing on natural regeneration of tree and herb species of Kheyroud forest in northern Iran. *Journal of Forestry Research*, 23(2): 299-304. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0256-2>
 - Javanmiri Pour, M., Marvi Mohadjer, M., Etemad, V. and Zobeiri, M., 2014. The effects of grazing on change and diversity of natural regeneration (A case study: Patom district, Kheyroud Forest). *Journal of Forest and Wood Products*, 66(4): 401-426 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22059/jfwp.2014.36657>
 - Kianmehr, A., Hojjati, S.M., Kooch, Y. and Ghasemi Aghbash, F., 2022a. Investigation of litter nutrient dynamics in pure and mixed stands of beech and hornbeam (Darabkola of Mazandaran). *Iranian Journal of Forest*, 14(1): 89-103 (In Persian with English summary).

- summary).
<https://doi.org/10.22034/ijf.2022.303371.1804>
- Kianmehr, A., Hojjati, S.M., Pormajidian, M.R., Jalilvand, H. and Bahrami, V., 2022b. Comparison of herbaceous cover and regeneration diversity in pure beech, pure hornbeam, and mixed beech-hornbeam stands (Case study; Darabkola educational-research Forest, Mazandaran). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29(1): 123-140 (In Persian with English summary).
<https://doi.org/10.22069/jwfst.2022.19773.1964>
 - Ko, D.W., Kim, D., Narantsetseg, A. and Kang, S., 2017. Comparison of field- and satellite-based vegetation cover estimation methods. *Journal of Ecology and Environment*, 41: 5.
<https://doi.org/10.1186/s41610-016-0022-z>
 - Larrieu, L., Cabanettes, A., Courbaud, B., Goulard, M., Heintz, W., Kozák, D., Kraus, D., Lachat, T., Ladet, S., Müller, J., Paillet, Y., Schuck, A., Stillhard, J. and Svoboda, M., 2021. Co-occurrence patterns of tree-related microhabitats: A method to simplify routine monitoring. *Ecological Indicators*, 127: 107757.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107757>
 - Manner, J. and Lundström, H., 2024. The effect of forked trees on harvester time consumption in a *Pinus contorta* final-felling stand. *Silva Fennica*, 58(4): 24039. <https://doi.org/10.14214/sf.24039>
 - Nagel, T., & Cerioni, M. (2023) Structure and dynamics of old-growth *Pinus nigra* stands in southest Europe. *European Journal of forest research*. 142: 523-545
<https://doi.org/10.1007/s10342-023-01540-5>
 - Petrucci, C.A., Sakulich, J., Harley, G.L. and Grissino-Mayer, H.D., 2014. Structure and dynamics of an old-growth pine-oak community in the southern Appalachian Mountains, Georgia, U.S.A. *Southeastern Geographer*, 54(2): 161-182.
<https://doi.org/10.1353/sgo.2014.0010>
 - Vousoghian, A. and Shojaihashi, A., 2017. Investigation of structure and regeneration forest trees in logged and non-logged (case of study: Darabkola Forest of Sari). *Natural Ecosystems of Iran*, 7(4): 69-81 (In Persian with English summary).
 - Zébazé, D., Gorel, A., Gillet, J.F., Houngbégnon, F., Barbier, N., Ligot, G., Lhoest, S., Kamdem, G., Libalah, M., Droissart, V., Sonké, B. and Doucet, J.L., 2023. Natural regeneration in tropical forests along a disturbance gradient in South-East Cameroon. *Forest Ecology and Management*, 547: 121402.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121402>
 - Zolfaghari, R. and Zamani, S.M., 2016. Relation between natural regeneration of forest trees and shrubs species and environmental factors in protected area of western Dena (Posht Karez). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(2): 297-309 (In Persian with English summary).
<https://doi.org/10.22092/ijfpr.2016.106992>