University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Seed traits of old Hyrcanian beech, velvet maple, and Caucasian alder trees in old-growth Hyrcanian forests

Mojtaba Azaryan[1] | Hamed Aghajani[2]✉ | Vahid Etemad[3] | Anoushirvan Shirvany[4] | Seyed Mohammad Moein Sadeghi[5,6]

1. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: azaryan.mo@fa.lu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Forest Sciences and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: h.aghajani@sanru.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: vetemad@ut.ac.ir
4. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: shirvany@ut.ac.ir
5. College of Forestry, Agriculture, and Natural Resources, University of Arkansas at Monticello, Monticello, Arkansas, USA. E-mail: sadeghis@uamont.edu
6. University of Arkansas Division of Agriculture, Arkansas Forest Resources Center, University of Arkansas System, Monticello, Arkansas, USA. E-mail: sadeghis@uada.edu

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 17 March 2026

Received in revised form 9 June 2026

Accepted 10 July 2026

Keywords:

Diameter at breast height,

Seed,

Forest regeneration,

Old trees,

Seed germination,

Thousand-seed weight.

ABSTRACT

Old trees play an important role in maintaining genetic resources, ecosystem stability, and the continuity of natural regeneration in the Hyrcanian forests. However, limited information is available on the seed quality of these trees and how it differs from that of mature non-old trees. This study aimed to investigate and compare selected quantitative and qualitative seed traits, including seed moisture content, thousand-seed weight, seed diameter, and germination capacity, between old and control trees of three species: Hyrcanian beech (*Fagus caspica* Denk & G.W. Grimm), velvet maple (*Acer velutinum* Boiss.), and Caucasian alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey) in the Namkhane District of the Kheyrud Forest. For each species, five old trees with a minimum DBH of 1.5 m were identified, and the nearest healthy mature trees of the same species with DBH of 50–70 cm were selected as controls. The results showed that seed moisture content did not differ significantly between old and control trees in any of the three species. Thousand-seed weight and seed diameter were significantly lower in old Hyrcanian beech and velvet maple trees than in their respective controls, whereas no significant differences were observed for these traits in Caucasian alder. In contrast, seed germination percentage was lower in old Caucasian alder trees than in control trees, while no significant differences were found in Hyrcanian beech or velvet maple. These findings indicate that the effects of tree aging on seed traits are species-specific and depend on the particular trait considered. Therefore, evaluating the regeneration potential of mother trees and their suitability as seed sources should simultaneously account for interspecific differences and multiple quantitative and physiological seed traits.

Cite this article: Azaryan, M., Aghajani, H., Etemad, V., Shirvany, A., & Sadeghi, S.M.M. (2026). Seed traits of old Hyrcanian beech, velvet maple, and Caucasian alder trees in old-growth Hyrcanian forests. *Journal of Natural Environment*, *79* (3), 495-509. DOI: http//doi.org/ 10.22059/jne.2026.412285.2902

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Seeds are among the most important factors influencing natural regeneration and successful seedling establishment in forest ecosystems. Seed traits such as moisture content, germination capacity, thousand-seed weight, and seed diameter can provide useful information about seed quality and the reproductive potential of mother trees. Although old trees play an important role in conserving genetic resources and maintaining the stability of Hyrcanian forests, limited information is available on the quality of seeds produced by these trees and how they differ from those produced by mature non-old trees. Therefore, evaluating the quantitative and qualitative characteristics of seeds from old trees can improve our understanding of their contribution to natural regeneration and help identify suitable mother trees for seed collection. Accordingly, this study aimed to evaluate seed moisture content, germination capacity, thousand-seed weight, and seed diameter in old trees of Hyrcanian beech (*Fagus caspica*), velvet maple (*Acer velutinum* Boiss.), and Caucasian alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) in comparison with mature non-old trees of the same species growing near each sampled old tree.

Material and Methods

The study was conducted in the Namkhane District of the Kheyrud Educational and Research Forest, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. In this research, old trees of Hyrcanian beech, velvet maple, and Caucasian alder were identified based on a minimum diameter at breast height (DBH) of 1.5 m. Due to the rarity and limited distribution of trees with such large diameters, a plotless sampling method was used. First, all old trees of the studied species were identified across the Namkhane District, covering approximately 770 ha. Then, five old trees from each species were selected for seed sampling. For comparison, seeds were also collected from the nearest healthy mature non-old trees of the same species, considered as control trees, with a DBH of 50–70 cm. In total, seeds were collected from 30 trees, including 15 old trees and 15 control trees, during the seed production period of each species. Seed storage conditions were identical for all samples, and the seeds were kept under controlled conditions until laboratory analyses were performed. After seed preparation and moisture determination, thousand-seed weight, seed diameter, and germination capacity were measured according to the rules of the International Seed Testing Association. All seed data were analyzed using a completely randomized design, and mean comparisons between old and control trees were performed separately for each species using independent-samples *t*-tests.

Results

The results showed that seed moisture content did not differ significantly between old and control trees in any of the three studied species ($P>0.05$). The highest seed moisture content was observed in old velvet maple trees, with a value of 41.5%, followed by Hyrcanian beech with 27.3% and Caucasian alder with 14.5%. Comparison of mean thousand-seed weight showed that this trait was significantly lower in seeds from old Hyrcanian beech and velvet maple trees than in seeds from their corresponding control trees. However, no significant difference was observed between old and control trees of Caucasian alder. Similarly, mean seed diameter was lower in seeds from old Hyrcanian beech and velvet maple trees than in seeds from their corresponding control trees, whereas this difference was not significant in Caucasian alder. The results of germination capacity showed that seeds from old Caucasian alder trees had a lower germination percentage than seeds from control trees of this species. In contrast, no significant differences in germination percentage were observed between old and control trees of Hyrcanian beech and velvet maple.

Discussion and Conclusion

The findings showed that the effect of tree oldness on seed traits was not uniform among the studied species. Instead, the response pattern was species-specific and depended on the seed trait considered. In Hyrcanian beech and velvet maple, thousand-seed weight and seed diameter were significantly lower in old trees than in control trees, whereas no significant differences in these traits were observed in Caucasian alder. Therefore, the reduction in seed weight and diameter in Hyrcanian beech and velvet maple should be interpreted mainly as a change in the quantitative characteristics of seeds produced by old trees, rather than as definitive evidence of reduced seed quality or decreased regeneration potential.

On the other hand, germination percentage was lower in seeds from old Caucasian alder trees than in seeds from control trees of the same species, whereas such a pattern was not observed in Hyrcanian beech or velvet maple. This result indicates that the effect of tree oldness on seed traits does not necessarily operate through a single pathway. In some species, the effect may be expressed mainly through changes in seed weight and diameter, while in another species it may be reflected more clearly in germination capacity. Because traits such as photosynthetic performance, carbon allocation, nutritional status of mother trees, and physiological seed viability were not directly measured in this study, further research is required to explain the mechanisms underlying these changes. Overall, the present results should not be interpreted simply as evidence of a general decline in seed quality in all old trees. Rather, they indicate that the relationship between mother-tree oldness and seed traits is complex, species-specific, and dependent on the seed trait being evaluated. These findings highlight the importance of simultaneously assessing quantitative and physiological seed traits when selecting mother trees for seed collection. Accordingly, seed management and mother-tree selection in Hyrcanian forests should not be based solely on external tree characteristics or approximate tree age. Instead, seed traits, germination capacity, and the regeneration stability of each species should be evaluated separately.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the esteemed reviewers for their thoughtful structural and scientific comments. With the deepest reverence and heartfelt gratitude, this study is dedicated to the blessed memory of the late Professor Mohammadreza Marvie Mohadjer, a sage among scholars, a learned and noble scientist, a devoted teacher, and an unrivalled pioneer in the understanding, stewardship, and conservation of the Hyrcanian forests.

محیط زیست طبیعی

انتشارات دانشگاه تهران

شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

مشخصه‌های بذر درختان کهنسال راش هیرکانی، پلت و توسکای ییلاقی در جنگل‌های کهن‌رست هیرکانی

مجتبی آذریان[۱] | حامد آقاجانی[۲]✉ | وحید اعتماد[۳] | انوشیروان شیروانی[۴] | سید محمدمعین صادقی[۵،۶]

۱. گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: azaryan.mo@fa.lu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: h.aghajani@sanru.ac.ir

۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: vetemad@ut.ac.ir

۴. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: shirvany@ut.ac.ir

۵. دانشکدگان جنگلداری، کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آرکانزاس در مانتیسلو، مانتیسلو، آرکانزاس، آمریکا. رایانامه: sadeghis@uamont.edu

۶. بخش کشاورزی دانشگاه آرکانزاس، مرکز منابع جنگلی آرکانزاس، سامانه دانشگاه آرکانزاس، مانتیسلو، آرکانزاس، آمریکا. رایانامه: sadeghis@uada.edu

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۹

کلیدواژه‌ها:

احیای جنگل،

بذر،

جوانه‌زنی،

درختان کهنسال،

قطر برابر سینه،

وزن هزاردانه.

چکیده

درختان کهنسال نقش مهمی در حفظ ذخایر ژنتیکی، پایداری بوم‌سازگان و تداوم زادآوری طبیعی جنگل‌های هیرکانی دارند؛ با این حال، اطلاعات اندکی دربارهٔ کیفیت بذر این درختان و تفاوت آن با درختان بالغ غیرکهنسال وجود دارد. این پژوهش با هدف بررسی و مقایسهٔ برخی ویژگی‌های کمّی و کیفی بذر شامل درصد رطوبت، وزن هزار دانه، قطر بذر و قوهٔ نامیه در درختان کهنسال و شاهد سه گونهٔ راش هیرکانی (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm)، پلت (*Acer velutinum* Boiss.) و توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A. Mey) در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود انجام شد. برای هر گونه، پنج پایهٔ کهنسال با حداقل قطر برابر سینه ۱/۵ متر شناسایی و نزدیک‌ترین درختان بالغ و سالم همان گونه با قطر برابر سینه ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر به‌عنوان شاهد انتخاب شدند. نتایج نشان داد درصد رطوبت بذر بین درختان کهنسال و شاهد در هیچ‌یک از گونه‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت. وزن هزار دانه و قطر بذر در درختان کهنسال راش هیرکانی و پلت نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد، اما در توسکای ییلاقی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در مقابل، درصد جوانه‌زنی بذر درختان کهنسال توسکای ییلاقی کمتر از شاهد بود، در حالی‌که در راش هیرکانی و پلت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد اثر کهنسالی بر ویژگی‌های بذر، گونه‌محور و وابسته به نوع شاخص مورد بررسی است. ازاین‌رو، ارزیابی توان زادآوری پایه‌های مادری و استفاده از آنها به‌عنوان منابع بذر باید با توجه همزمان به تفاوت‌های بین‌گونه‌ای و مجموعه‌ای از شاخص‌های کمّی و فیزیولوژیکی بذر انجام شود.

استناد: آذریان، مجتبی؛ آقاجانی، حامد؛ اعتماد، وحید؛ شیروانی، انوشیروان؛ و صادقی، سید محمد معین (۱۴۰۵). مشخصه‌های بذر درختان کهنسال راش هیرکانی، پلت و توسکای ییلاقی در جنگل‌های کهن‌رست هیرکانی. *محیط زیست طبیعی*، ۷۹ (۳)، ۵۰۹-۴۹۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.412285.2902

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

درختان کهنسال به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ساختاری و ژنتیکی بوم‌سازگان‌های جنگلی شناخته می‌شوند، زیرا طی دهه‌ها و حتی قرن‌ها در معرض تنش‌های محیطی، آشفتگی‌های طبیعی و رقابت‌های زیستی قرار گرفته و توانسته‌اند در شرایط متغیر محیطی پایدار بمانند (Xie *et al.*, 2024). ازاین‌رو، این درختان نه‌تنها از نظر ساختار توده و ایجاد زیستگاه اهمیت دارند، بلکه می‌توانند به‌عنوان منابع بالقوهٔ ژنتیکی برای تداوم زادآوری و سازگاری نسل‌های آینده نیز مطرح باشند. با توجه به تخریب گستردهٔ بوم‌سازگان‌های جنگلی و تهدیدی به نابودی بسیاری از ذخایر ژنتیکی جنگل، امروزه حفاظت و احیای جنگل‌ها از مهم‌ترین دغدغه‌های علمی و مدیریتی در سطح جهانی است. در این میان، شناخت ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی درختان کهنسال، به‌ویژه مشخصه‌های مرتبط با تولید و کیفیت بذر، می‌تواند در ارزیابی نقش این درختان در بازسازی و پایداری پوشش گیاهی مؤثر باشد (Lindenmayer *et al.*, 2012; Fröhlich *et al.*, 2024).

در جنگل‌شناسی همگام با طبیعت، استمرار تولید زیستی و پایداری زادآوری طبیعی از اصول اساسی مدیریت جنگل به‌شمار می‌رود. در این چارچوب، بذر به‌عنوان نقطهٔ آغاز زادآوری جنسی نقش تعیین‌کننده‌ای در بازسازی طبیعی، تداوم ساختار توده و پویایی بوم‌سازگان جنگلی دارد. ازاین‌رو، تولید بذرهای زنده، کافی و باکیفیت توسط درختان مادری، یکی از پیش‌نیازهای اصلی موفقیت زادآوری طبیعی و تولید نهال محسوب می‌شود. کیفیت بذر معمولاً با شاخص‌هایی مانند رطوبت بذر، قوهٔ نامیه، وزن هزار دانه، اندازه و ابعاد بذر ارزیابی می‌شود؛ شاخص‌هایی که می‌توانند بازتابی از توان تولیدمثلی و وضعیت فیزیولوژیکی درختان مادری باشند. از سوی دیگر، ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی بذر ممکن است با سن درختان مادری تغییر کند و فرآیندهای مانند جوانه‌زنی بذر، استقرار اولیه و بقای نهال تا حد زیادی تحت تأثیر اندازه و کیفیت بذر قرار می‌گیرند (Mao *et al.*, 2022). افزون بر ویژگی‌های درخت مادری، عوامل محیطی و جغرافیایی، از جمله طول فصل رشد در عرض‌های مختلف جغرافیایی، می‌توانند بر اندازهٔ بذر اثرگذار باشند (Moles *et al.*, 2007). بنابراین، دستیابی به بذرهایی با کیفیت بالا و تنوع ژنتیکی مناسب، یکی از ضرورت‌های اصلی تولید نهال، احیای جنگل و مدیریت پایدار بوم‌سازگان‌های جنگلی است (Göktürk and Güner, 2024). در میان گونه‌های شاخص جنگل‌های هیرکانی، سه گونهٔ راش هیرکانی (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm)، پلت (*Acer velutinum* Boiss) و توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A. Mey) از گونه‌های مهم و اثرگذار در ساختار، ترکیب و پویایی این جنگل‌ها به‌شمار می‌روند. راش هیرکانی در جنگل‌های هیرکانی از نظر تعداد پایه‌ها، پس از ممرز، گونهٔ دوم و از نظر حجم سرپا، گونهٔ نخست محسوب می‌شود و بنابراین نقش بسیار مهمی در ساختار توده، ذخیرهٔ چوبی و پایداری بوم‌سازگان‌های جنگلی این ناحیه دارد. در مقابل، پلت و توسکای ییلاقی از گونه‌های پیشگام جنگل‌های هیرکانی هستند که با توان استقرار در رویشگاه‌های باز، آشفته یا مرطوب، در مراحل اولیهٔ توالی، بازسازی طبیعی و ترمیم ساختار جنگل نقش مهمی ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، موفقیت زادآوری طبیعی این گونه‌ها به کمّیت و کیفیت بذر تولیدشده توسط درختان مادری وابسته است؛ بنابراین، ارزیابی ویژگی‌های بذر در پایه‌های کهنسال و مقایسهٔ آن با درختان بالغ شاهد می‌تواند نشان دهد که این درختان تا چه اندازه می‌توانند به‌عنوان منابع مناسب بذر و پایه‌های مادری در فرآیند احیای طبیعی جنگل نقش‌آفرینی کنند. با این حال، نقش درختان کهنسال در زادآوری طبیعی را نمی‌توان تنها براساس جایگاه ساختاری یا ارزش حفاظتی آنها ارزیابی کرد، بلکه لازم است کیفیت بذر تولیدشده توسط این پایه‌ها نیز در مقایسه با درختان بالغ غیرکهنسال بررسی شود. از این دیدگاه، سن و وضعیت درخت مادری به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر ویژگی‌های بذر، حلقهٔ ارتباطی میان زیست‌شناسی بذر، انتخاب پایهٔ مادری و مدیریت زادآوری طبیعی در جنگل‌های هیرکانی است. ازاین‌رو، شناخت چگونگی تغییر ویژگی‌های بذر در طول مراحل مختلف رشد و کهنسالی درختان مادری، برای ارزیابی نقش آنها در زادآوری طبیعی و انتخاب مناسب پایه‌های مادری اهمیت ویژه‌ای دارد.

در همین راستا، مطالعات انجام‌شده در گونه‌های مختلف درختی نشان داده‌اند که ویژگی‌های بذر می‌توانند در طول دورهٔ زندگی درخت مادری تغییر کنند. با افزایش سن درختان، توان تولید بذر و ویژگی‌های کمّی (مانند وزن و ابعاد بذر) و کیفی (مانند قوّه نامیه و سرعت جوانه‌زنی) می‌توانند دستخوش تغییر شوند (Roach and Wulff, 1987; Espahbodi *et al.*, 2007; Ertekin *et al.*, 2015; Farmer, 2017). بسیاری از پژوهش‌ها حاکی از افزایش تولید و بهبود مشخصه‌های کمّی و کیفی بذر تا دورهٔ میان‌سالی درختان هستند. برای نمونه، بررسی بذور درختان راش شرقی (*F. orientalis*) جنگل‌های ترکیه در سه طبقهٔ سنی ۲۰

ساله (شامل ۴۰ تا ۵۹، ۶۰ تا ۷۹ و ۸۰ تا ۹۹ سال) نشان داد که سن درخت به‌طور معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی تأثیر داشته و گروه سنی میان‌سال (یعنی ۶۰ تا ۷۹ سال) بالاترین درصد جوانه‌زنی (۷۶ درصد) را دارند (Ertekin *et al.*, 2015). در کنار سن درخت مادری، منشأ بذر و شرایط رویشگاهی نیز می‌توانند بر ویژگی‌های بذر اثرگذار باشند. در همین راستا، Yousefzadeh و همکاران (۲۰۰۷) تفاوت معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی بذر پلت در رویشگاه‌های مختلف استان مازندران مشاهده کردند. در پژوهش Najafi و همکاران (۲۰۰۸)، همبستگی معنی‌داری بین ارتفاع مبدأ بذر و وزن هزار دانه بذر پلت مشاهده نشد. Göktürk و Güner (۲۰۲۴) به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا بر اندازه بذر توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertin.) در جنگل‌های ترکیه پرداختند و نتایج نشان داد که قطر، طول، عرض و ضخامت بذر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ارتفاع از سطح دریا قرار گرفتند. تفاوت در درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی نیز با توجه به ارتفاع از سطح دریا معنی‌دار بود. بذرهای جمع‌آوری‌شده از ارتفاعات ۲۷۰، ۵۹۰ و ۸۷۰ متر از سطح دریا به‌ترتیب دارای طول بذر ۲/۷۱، ۲/۶۳ و ۲/۶۱ میلی‌متر، عرض بذر ۲/۴۵، ۲/۴۹ و ۲/۲۰۸ میلی‌متر و ضخامت بذر ۰/۴۹، ۰/۵۲ و ۰/۴۱ میلی‌متر بودند. در مجموع، این مطالعات نشان می‌دهند که ویژگی‌های بذر تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل، از جمله سن درخت مادری، منشأ بذر و شرایط رویشگاهی قرار دارد؛ با این حال، سهم مشخص درختان کهنسال در تولید بذرهای باکیفیت، به‌ویژه در گونه‌های شاخص جنگل‌های هیرکانی، همچنان کمتر شناخته شده است.

با توجه به نقش کلیدی درختان کهنسال در تولید بذر و انتقال صفات ژنتیکی مطلوب به نسل‌های آینده و پویایی طبیعی جنگل‌ها، بررسی مشخصه‌های بذر پایه‌های کهنسال این درختان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با وجود اهمیت بذر به‌عنوان پایه‌ای‌ترین عنصر در زادآوری طبیعی و احیای جنگل، تاکنون در ایران پژوهش‌های نظام‌مندی دربارهٔ ویژگی‌های بذور درختان کهنسال انجام نشده است. در نتیجه، دانش موجود دربارهٔ رابطهٔ میان کهنسالی درختان مادری، وضعیت فیزیولوژیکی آنها و مشخصه‌های کمّی و کیفی بذر در گونه‌های شاخص جنگل‌های هیرکانی بسیار محدود است؛ به‌طوری‌که هنوز به درستی مشخص نیست که افزایش سن و اندازهٔ درختان مادری چگونه بر رطوبت بذر، وزن هزار دانه، ابعاد بذر و قوهٔ نامیه تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، معیارهای انتخاب درختان مادری در جنگل‌های شمال کشور غالباً بر پایهٔ برداشت‌های تجربی از سلامت تاج، استقامت تنه و شادابی ظاهری استوار است، درحالی‌که ارتباط این ویژگی‌های ظاهری با کیفیت فیزیولوژیکی و زادآوری بذر به‌طور علمی ارزیابی نشده است. این خلأ دانشی موجب شده است که نقش واقعی درختان کهنسال در پویایی ژنتیکی، زادآوری طبیعی و مدیریت بذر جنگل‌های هیرکانی به‌درستی شناخته نشود. بر این اساس، هدف از این پژوهش، مقایسهٔ ویژگی‌های کمّی و کیفی بذور (از جمله درصد رطوبت، وزن هزار دانه، قطر و قوهٔ نامیه) در درختان کهنسال و درختان شاهد سه گونهٔ راش هیرکانی، پلت و توسکای ییلاقی در جنگل‌های کهن‌رست هیرکانی است. در این پژوهش، فرض شد که کهنسالی درختان مادری می‌تواند با کاهش در توان فیزیولوژیکی و فرآیندهای تخصیص منابع، برخی ویژگی‌های کمّی و کیفی بذر را تحت تأثیر قرار دهد. به‌بیان‌دیگر، انتظار می‌رود بذور حاصل از پایه‌های کهنسال نسبت به درختان بالغ شاهد، از نظر وزن، اندازه و درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری داشته باشند.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ پژوهش: این مطالعه در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، به‌عنوان یکی از رویشگاه‌های شاخص جنگل‌های کهن‌رست هیرکانی انجام شد. این جنگل در فاصلهٔ حدود هفت کیلومتری شرق نوشهر در استان مازندران بین عرض‌های جغرافیایی ´۲۷ °۳۶ تا ´۴۰ °۳۶ شمالی و طول‌های ´۳۲ °۵۱ تا ´۴۳ °۵۱ شرقی قرار دارد. داده‌های هواشناسی منطقه، متوسط بارش سالانه ۱۲۷۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۶/۶ درجهٔ سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. درختان مورد بررسی در دومین بخش این جنگل، یعنی بخش نم‌خانه، قرار داشتند.

روش پژوهش: در این پژوهش، معیار شناسایی درختان کهنسال برای گونه‌های راش هیرکانی، پلت و توسکای ییلاقی، حداقل قطر برابر سینه برابر با ۱/۵ متر در نظر گرفته شد (Azaryan *et al.*, 2015; Sadati *et al.*, 2020; Azaryan *et al.*, 2026). شایان ذکر است که دستیابی گونه‌هایی نظیر توسکای ییلاقی به قطر برابر سینه بیش از ۱/۵ متر در جنگل‌های هیرکانی بسیار نادر است (Sadati *et al.*, 2020; Azaryan *et al.*, 2026). ازاین‌رو، پایه‌های انتخاب‌شده در این پژوهش در زمرهٔ بزرگ‌ترین و

قدیمی‌ترین درختان موجود هر گونه در منطقهٔ مورد مطالعه قرار داشته و به‌عنوان درختان کهنسال در نظر گرفته شدند. به‌دلیل نادر بودن و همچنین پراکنش محدود درختانی با قطر بسیار زیاد، روش نمونه‌برداری بدون قطعه‌نمونه به‌کار گرفته شد (Azaryan *et al.*, 2015). بدین‌منظور، ابتدا با جنگل‌گردشی در سطح بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود، تمامی پایه‌های واجد شرایط در گونه‌های مورد مطالعه شناسایی شدند. بررسی میدانی نشان داد که در محدودهٔ مورد مطالعه، به‌ویژه برای گونه‌های پلت و توسکای ییلاقی، تعداد درختان کهنسال واجد شرایط بسیار محدود بوده و بیش از پنج پایه برای هر گونه در دسترس نبود. ازاین‌رو، تمامی پایه‌های کهنسال واجد شرایط این دو گونه وارد مطالعه شدند و برای حفظ تعادل آماری و امکان مقایسهٔ مستقیم میان گونه‌ها، تعداد پایه‌های کهنسال در گونهٔ راش هیرکانی نیز پنج پایه در نظر گرفته شد. برای مقایسه، از نزدیک‌ترین درختان بالغ و سالم همان گونه با قطر برابر سینه ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر، به‌عنوان پایه‌های شاهد، بذرگیری انجام شد. در مجموع، از ۳۰ پایه شامل ۱۵ درخت کهنسال و ۱۵ درخت شاهد بذر جمع‌آوری گردید.

جمع‌آوری بذور در فصل بذردهی هر گونه انجام گرفت؛ به‌طوری‌که بذر درختان راش هیرکانی و پلت در اواخر مهرماه تا اوایل آبان‌ماه و بذور درختان توسکای ییلاقی در اوایل آذرماه جمع‌آوری شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه بذر دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، بذرهای هر گونه پاک‌سازی و تفکیک شدند، به این صورت که کاسه از بذور راش هیرکانی، شاتون از بذور توسکا ییلاقی جدا و بال‌های بذور پلت هم حذف شدند. سپس بذور غربال شده هر گونه در دو دستهٔ مجزا (درختان کهنسال و شاهد) در یخچال آزمایشگاه و در شرایط کنترل‌شده تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. بذور پاک‌سازی‌شده در کیسه‌های جداگانه و در دمای حدود ۴ درجهٔ سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند. مدت نگهداری بذور تا زمان آغاز آزمایش‌ها برای هر گونه براساس زمان جمع‌آوری و آماده‌سازی متفاوت بود و پیش از انجام آزمایش‌های رطوبت، وزن هزار دانه، قطر بذر و جوانه‌زنی، بذور در شرایط یکسان نگهداری شدند. پس از آماده‌سازی بذور و تعیین رطوبت، نسبت به اندازه‌گیری وزن هزار دانه، قطر و قوهٔ نامیه بذور براساس قوانین انجمن بین‌المللی آزمایش بذر (International Seed Testing Association; ISTA) اقدام شد. برای اندازه‌گیری رطوبت بذور، بذرها در دستگاه آون با دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد و به‌مدت ۱۸ ساعت قرار داده شدند. برای تعیین وزن هزار دانه بذرهای درختان کهنسال و شاهد هر یک از گونه‌ها، به‌طور تصادفی و در ۴ تکرار نمونه‌های ۱۰۰ تایی جدا و وزن شدند. با ضرب میانگین به‌دست آمده از ۴ تکرار (وزن صد دانه) در عدد ۱۰، وزن هزار دانه به‌دست آمد. قطر بذور درختان نیز در چهار تکرار تصادفیِ ۳۰ تایی و با استفاده کولیس دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به‌طوری‌که بذور پلت در سه جهت، راش هیرکانی در دو جهت و برای توسکای ییلاقی فقط قطر بذر اندازه‌گیری شد. سپس برای هر گونه، میانگین قطر ۱۲۰ بذر درخت کهنسال و شاهد، مقایسه شدند (شکل ۱).

با توجه به سرشت متفاوت بذر در گونه‌های مختلف، به‌منظور بررسی قدرت جوانه‌زنی بذور سه گونهٔ مورد آزمایش، از روش‌های مختلفی استفاده شد. بذور راش هیرکانی و پلت دارای رکود بوده و از تیمار لایه‌گذاری سرد برای شکستن رکود بذر آنها استفاده شد. ولی بذر توسکای ییلاقی فاقد رکود بوده و نیاز به تیمار ندارد. بذور راش هیرکانی و پلت به‌منظور جوانه زدن، ابتدا با روش لایه‌گذاری سرد (استراتیفیکاسیون)، به‌مدت ۱ تا ۳ ماه تیمار سرمادهی همراه با رطوبت اعمال شد. لایه‌گذاری سرد بذور معمولاً در ماسهٔ مرطوب و با قرار دادن آن در دمای پایین یخچال (یک تا پنج درجهٔ سانتی‌گراد) و به‌مدت معین انجام شد. اولین بذور پلت پس از حدود ۳۰ روز و برای راش هیرکانی پس از ۴۰ روز جوانه زدند. هنگامی‌که ۱۰ تا ۲۰ درصد بذور جوانه زدند، عمل سرمادهی متوقف شده و آنها به ژرمیناتور (دمای ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد) منتقل شدند، اما بذور درختان توسکای ییلاقی نیاز به تیمار خاصی برای جوانه‌زنی ندارند. بنابراین جهت بررسی جوانه‌زنی، بذور در ۴ تکرار ۱۰۰ تایی برای هر یک از نمونه بذرهای کهنسال و شاهد، درون پتری‌دیش‌هایی به‌عنوان محیط کشت با رطوبت و دمای مناسب (دمای ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد) قرار داده شد. سپس بذور هرسه گونه روزانه مورد بازدید و رطوبت‌دهی قرار گرفته و تعداد بذور جوانه‌زده ثبت شدند. لازم به ذکر است که هدف پژوهش، مقایسهٔ ویژگی‌های بذور بین درختان کهنسال و شاهد در داخل هر یک از گونه‌های مورد مطالعه بوده و هیچ‌گونه مقایسهٔ آماری بین گونه‌های مختلف انجام نگرفت.

شکل ۱- بذر درختان پلت (الف)، راش هیرکانی (ب) و توسکا ییلاقی (ج) در منطقهٔ مورد مطالعه

Figure 1. Seeds of velvet maple (*Acer velutinum* Boiss.) (a), Hyrcanian beech (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm) (b), and Caucasian alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) (c) in the study area

کلیهٔ داده‌های بذور این درختان در قالب طرح کاملاً تصادفی در نرم‌افزار SPSS (نسخهٔ ۲۴) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. پیش از مقایسهٔ میانگین‌ها، داده‌ها از نظر نرمال بودن با آزمون کولموگروف–اسمیرنوف و از نظر همگنی واریانس‌ها با آزمون لِون بررسی شدند. با توجه به برقراری مفروضهٔ نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها، مقایسهٔ میانگین صفات بذور بین درختان کهنسال و شاهد در هر گونه با استفاده از آزمون t مستقل انجام شد.

یافته‌های پژوهش

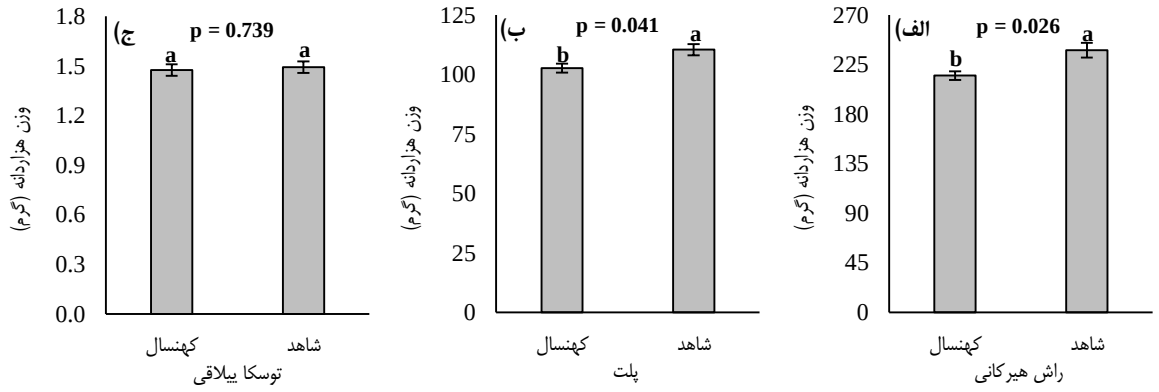
نتایج اندازه‌گیری درصد رطوبت بذور نشان داد که اختلاف درصد رطوبت بذر بین درختان کهنسال و شاهد در هیچ‌یک از سه گونهٔ مورد بررسی معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). بیشترین درصد رطوبت بذر در درختان کهنسال پلت با ۴۱/۵ درصد مشاهده شد (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین (± خطای معیار) درصد رطوبت بذور درختان کهنسال و شاهد راش هیرکانی، پلت و توسکا ییلاقی در بخش نم‌خانه جنگل خیرود، نوشهر

Table 1. Mean (± standard error) seed moisture percentage of old and control trees of Hyrcanian beech (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm), velvet maple (*Acer velutinum* Boiss.), and Caucasian alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) in the Namkhane District of Kheyrud Forest, Nowshahr.

گونه	رطوبت بذور درختان کهنسال (درصد)	رطوبت بذور درختان شاهد (درصد)	نتیجهٔ آزمون t مستقل
راش هیرکانی	27.3 (± 0.3)	27.9 (± 0.2)	غیرمعنی‌دار
پلت	41.5 (± 0.4)	40.9 (± 0.5)	غیرمعنی‌دار
توسکا ییلاقی	14.5 (± 0.1)	13.7 (± 0.1)	غیرمعنی‌دار

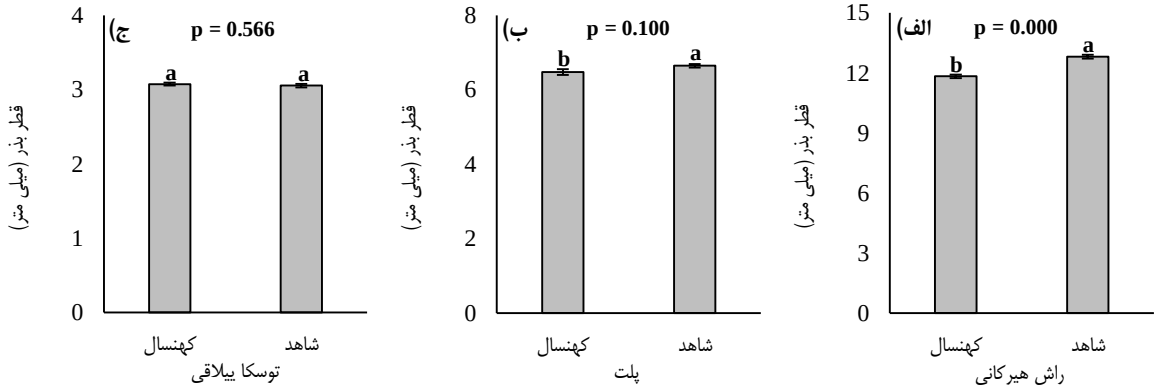
مقایسهٔ میانگین‌های وزن هزار دانهٔ بذور درختان کهنسال و بذور درختان شاهد در سه گونهٔ مورد مطالعه، نشان می‌دهد که این مشخصّه در بذور درختان کهنسال راش هیرکانی و پلت نسبت به درختان شاهد این گونه‌ها کاهش یافته است (شکل ۲). اما در مورد توسکای ییلاقی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۲- میانگین (± خطای معیار) وزن هزار دانه بذور درختان کهنسال و شاهد راش هیرکانی (الف)، پلت (ب) و توسکای ییلاقی (ج) در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود، نوشهر. حروف انگلیسی متفاوت بر روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین درختان کهنسال و شاهد در داخل هر گونه براساس آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 2. Mean (± standard error) thousand-seed weight of seeds from old and control trees of Hyrcanian beech (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm) (a), velvet maple (*Acer velutinum* Boiss.) (b), and Caucasian alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) (c) in the Namkhane District of Kheyrud Forest, Nowshahr. Different letters above the bars indicate significant differences between old and control trees within each species based on an independent-samples t-test at the 95% confidence level.

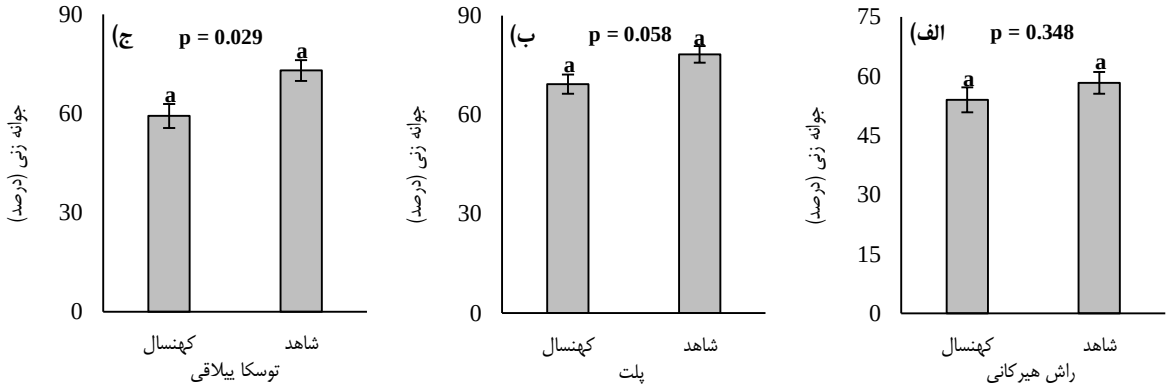
مقایسهٔ میانگین‌های قطر بذر بین درختان کهنسال و شاهد نشان داد که بذور درختان کهنسال راش شرقی و پلت قطر کمتری نسبت به درختان شاهد این گونه‌ها داشتند (شکل ۳)، در حالی‌که در توسکای ییلاقی اختلاف معنی‌داری از نظر قطر بذر مشاهده نشد.



شکل ۳- میانگین (± خطای معیار) قطر بذر در درختان کهنسال و شاهد راش هیرکانی (الف)، پلت (ب) و توسکای ییلاقی (ج) در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود، نوشهر. حروف انگلیسی متفاوت بر روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین درختان کهنسال و شاهد در داخل هر گونه براساس آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 3. Mean (± standard error) seed diameter of old and control trees of Hyrcanian beech (*Fagus caspica* Denk & G.W.Grimm) (a), velvet maple (*Acer velutinum* Boiss.) (b), and Caucasian alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) (c) in the Namkhane District of Kheyrud Forest, Nowshahr. Different letters above the bars indicate significant differences between old and control trees within each species based on an independent-samples *t*-test at the 95% confidence level.

نتایج مقایسهٔ میانگین درصد جوانه‌زنی بذور درختان کهنسال و شاهد در چهار تکرار صدتایی نشان داد که درصد جوانه‌زنی بذور درختان کهنسال توسکای ییلاقی به‌طور معنی‌داری کمتر از درختان شاهد این گونه بود. در مقابل، در گونه‌های راش هیرکانی و پلت، اختلاف معنی‌داری بین درختان کهنسال و شاهد مشاهده نشد (شکل ۴).



شکل ٤- میانگین (± خطای معیار) جوانه‌زنی درختان کهنسال و شاهد راش هیرکانی (الف)، پلت (ب) و توسکای ییلاقی (ج) در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود، نوشهر. حروف انگلیسی متفاوت بر روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین درختان کهنسال و شاهد در داخل هر گونه براساس آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 4. Mean (± standard error) seed germination from old and control trees of Hyrcanian beech (*Fagus hyrcana*) (a), velvet maple (*Acer velutinum* Boiss.) (b), and Caucasian alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) (c) in the Namkhane District of Kheyrud Forest, Nowshahr. Different letters above the bars indicate significant differences between old-growth and control trees within each species based on an independent-samples t-test at the 95% confidence level.

بحث

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که رابطهٔ میان کهنسالی درختان مادری و ویژگی‌های بذر، رابطه‌ای یک‌جهته نیست. اگرچه درختان کهنسال در جنگل‌های کهن‌رست به‌عنوان عناصر کلیدی تنوع زیستی، پایدرای بوم‌سازگان و ذخایر ژنتیکی شناخته می‌شوند (Pasques and Munné-Bosch, 2024)، اما یافته‌های حاضر نشان داد که ارزش بوم‌شناختی این درختان الزاماً به‌معنای برتری همهٔ شاخص‌های بذر آنها نسبت به درختان بالغ شاهد نیست. در واقع، پاسخ بذر به کهنسالی درخت مادری، گونه‌محور و وابسته به نوع شاخص مورد بررسی بود؛ به‌طوری‌که در راش هیرکانی و پلت، تفاوت‌ها بیشتر در ویژگی‌های فیزیکی بذر ظاهر شد، درحالی‌که در توسکای ییلاقی، تغییر اصلی در قوهٔ نامیه مشاهده گردید. به‌نظر می‌رسد اثر کهنسالی درخت مادری بر ویژگی‌های بذر در همهٔ گونه‌ها از مسیر یکسانی عمل نمی‌کند؛ به‌طوری‌که در برخی گونه‌ها این اثر از طریق کاهش اندازه و ذخایر بذر، و در برخی دیگر از طریق تغییر در کیفیت فیزیولوژیکی و زنده‌مانی بذر بروز می‌یابد.

رطوبت بذر، برخلاف برخی شاخص‌های کمّی و فیزیولوژیکی دیگر، بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های ذاتی گونه، ساختار بذر و شرایط پس از جمع‌آوری قرار می‌گیرد. نبود اختلاف معنی‌دار رطوبت بذر میان درختان کهنسال و شاهد در هر سه گونه نشان می‌دهد که در شرایط نمونه‌برداری و نگهداری یکسان، کهنسالی اثر آشکاری بر این ویژگی نداشته است. بنابراین، اختلاف عددی رطوبت میان پلت، راش هیرکانی و توسکای ییلاقی نباید به‌عنوان اثر سن تفسیر شود، بلکه بیشتر بازتاب تفاوت در ساختار بذر، نوع پوشش بذر، ظرفیت جذب آب و رفتار ذخیره‌ای هر گونه است. گزارش‌های پیشین دربارهٔ رطوبت بذر راش هیرکانی و توسکای ییلاقی نیز نشان داده‌اند که این ویژگی می‌تواند بسته به گونه، ارتفاع از سطح دریا و شرایط نگهداری تغییر کند (Motallebi *et al.*, 2010; Rezai *et al.*, 2014; Eslami *et al.*, 2016). از این‌رو، در پژوهش حاضر، رطوبت بذر بیش از آنکه شاخصی برای اثر کهنسالی باشد، شاخصی برای تفاوت‌های زیستی گونه‌ها و یکنواختی شرایط آزمایشگاهی محسوب می‌شود.

کاهش وزن هزار دانه در راش هیرکانی و پلت می‌تواند نشان‌دهندهٔ کاهش سرمایه‌گذاری کمّی در هر بذر در پایه‌های کهنسال باشد، اما این کاهش به‌تنهایی برای قضاوت دربارهٔ افت کیفیت بذر کافی نیست. وزن بذر معمولاً با مقدار ذخایر غذایی، شرایط تشکیل بذر و وضعیت فیزیولوژیکی درخت مادری ارتباط دارد (Etemad, 2002). با این حال، بذر سنگین‌تر الزاماً همیشه بذر زنده‌تر یا موفق‌تر نیست؛ زیرا قوهٔ نامیه، سلامت جنین و شرایط پس از پراکنش نیز در موفقیت زادآوری نقش دارند. در پژوهش حاضر، کاهش وزن هزار دانه در راش هیرکانی و پلت با کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی همراه نبود. این موضوع نشان می‌دهد که در این دو گونه، کوچک‌تر یا سبک‌تر شدن بذرهای درختان کهنسال الزاماً به افت فوری توان جوانه‌زنی منجر نشده است. چنین الگویی اهمیت تفکیک میان «کیفیت فیزیکی بذر» و «کیفیت فیزیولوژیکی بذر» را نشان می‌دهد. مقایسه با پژوهش‌های پیشین نیز نشان می‌دهد که وزن بذر در گونه‌های درختی می‌تواند تحت تأثیر ارتفاع، شرایط رویشگاهی، منشأ بذر و سن درخت مادری تغییر کند، اما جهت این تغییرات همیشه یکسان نیست (Najafi *et al.*, 2008; Eslami *et al.*, 2016; Faraji *et al.*, 2023). در مقایسه با نتایج پژوهش‌های پیشین، این یافته نشان می‌دهد که اثر سن درخت مادری بر ویژگی‌های بذر می‌تواند بسته به گونه، شرایط رویشگاهی و وضعیت فیزیولوژیکی درخت متفاوت باشد. برای نمونه، در مطالعه‌ای دربارهٔ بذر راش شرقی در ترکیه، اثر سن درخت مادری بر وزن بذر معنی‌دار گزارش نشد (Ertekin *et al.*, 2015)، در حالی‌که در پژوهش حاضر چنین اثری در راش هیرکانی و پلت مشاهده شد. همچنین، گزارش شده است که در برخی گونه‌ها مانند کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) افزایش سن درختان مادری می‌تواند با تغییر برخی ویژگی‌های بذر همراه باشد (Pardos *et al.*, 2022). بنابراین، نتایج حاضر نشان می‌دهد که کهنسالی می‌تواند در برخی گونه‌ها با کاهش وزن بذر همراه باشد، اما شدت و جهت این اثر وابسته به گونه و شرایط رویشگاهی است و نباید به‌صورت یک الگوی عمومی برای همهٔ گونه‌های درختی تفسیر شود.

الگوی قطر بذر، تفسیر مربوط به وزن هزار دانه را تقویت می‌کند. کاهش همزمان وزن و قطر بذر در درختان کهنسال راش هیرکانی و پلت نشان می‌دهد که در این دو گونه، کهنسالی با تولید بذرهای کوچک‌تر همراه بوده است. با این حال، چون این کاهش در ابعاد بذر با کاهش معنی‌دار قوهٔ نامیه همراه نشد، نمی‌توان آن را به‌طور مستقیم به کاهش توان زادآوری نسبت داد. فرآیندهای مختلف زندگی گیاه، مانند جوانه‌زنی بذر، استقرار و بقا تحت تأثیر اندازهٔ بذر قرار می‌گیرد (Mao *et al.*, 2022). به طورکلی اندازهٔ بذر تحت تأثیر فصول رشد کوتاه و بلند که مشخصه‌های عرض‌های مختلف جغرافیایی است، قرار می‌گیرد (Moles *et al.*, 2007). نتایج Rezai و همکاران (۲۰۱۴) با اندازه‌گیری ابعاد بذر توسکای ییلاقی، بیشترین میزان اندازه طول میوه (۲/۰۰ سانتی‌متر) و عرض میوه (۱/۳۸ سانتی‌متر) در ارتفاع ۱۵۰۰ متری و کمترین آن (طول ۱/۳۰ سانتی‌متر و عرض ۰/۷۴ سانتی‌متر) در ارتفاع ۲۰۰ متری از سطح دریا ثبت گردید. ابعاد بذر نیز همانند وزن بذر در درختان کهنسال راش هیرکانی و پلت، به شکل معنی‌داری کمتر از بذور درختان شاهد به‌دست آمدند (شکل ۳). این یافته با نتایج Pardos و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد که کاهش قطر و وزن بذور را افزایش سن درختان مرتبط دانستند. در مقابل، برخی پژوهش‌ها مانند Alejano و همکاران (۲۰۱۹) تأثیری معنی‌داری از سن بر قطر بذور گزارش نکرده‌اند. بنابراین، ممکن است بذرهای کوچک‌تر در شرایط آزمایشگاهی همچنان توان جوانه‌زنی مشابهی داشته باشند، اما در شرایط طبیعی جنگل، تفاوت آنها در استقرار و بقای نهال آشکارتر شود. این نکته برای تفسیر نتایج حاضر مهم است، زیرا آزمون جوانه‌زنی آزمایشگاهی تنها بخشی از فرآیند زادآوری طبیعی را نشان می‌دهد و نمی‌تواند به‌تنهایی موفقیت استقرار در عرصه جنگل را پیش‌بینی کند.

نتایج مربوط به قوهٔ نامیه نشان داد که اثر کهنسالی بر جوانه‌زنی بذر در گونه‌های مورد مطالعه یکسان نبود. درصد جوانه‌زنی بذرهای درختان کهنسال توسکای ییلاقی به‌طور معنی‌داری کمتر از درختان شاهد این گونه بود، درحالی‌که در راش هیرکانی و پلت تفاوت معنی‌داری بین درختان کهنسال و شاهد مشاهده نشد. این الگو نشان می‌دهد که قوهٔ نامیه، برخلاف برخی ویژگی‌های ظاهری بذر، می‌تواند پاسخ گونه‌محور و پیچیده‌تری به کهنسالی درخت مادری داشته باشد. در توسکای ییلاقی، کاهش جوانه‌زنی در پایه‌های کهنسال در شرایطی مشاهده شد که وزن هزار دانه و قطر بذر تفاوت معنی‌داری با پایه‌های شاهد نداشت؛ بنابراین، کاهش قوهٔ نامیه در این گونه را نمی‌توان صرفاً به کوچک‌تر یا سبک‌تر بودن بذر نسبت داد، بلکه احتمالاً به ویژگی‌های درونی‌تر بذر مانند زنده‌مانی جنین، درجهٔ رسیدگی، کیفیت فیزیولوژیکی یا حساسیت گونه‌ای بذر مربوط است. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که جوانه‌زنی بذر در گونه‌های درختی، به‌ویژه گونه‌های توسکا، می‌تواند به شرایط رویشگاهی و ارتفاع از سطح دریا حساس

باشد. در همین راستا، Eslami و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که میزان جوانه‌زنی بذر توسکای ییلاقی در امتداد شیب ارتفاعی تغییر می‌کند؛ به‌طوری‌که بیشترین جوانه‌زنی، برابر با ۷۲ درصد، در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا مشاهده شد. در آن پژوهش، جوانه‌زنی از ارتفاع ۵۰ تا ۱۴۰۰ متر از سطح دریا روندی افزایشی و نسبتاً منظم داشت، اما در ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریا به‌شدت کاهش یافت. در مقابل، Rezaei و همکاران (۲۰۱۴) روند منظمی برای تغییرات جوانه‌زنی بذر توسکای ییلاقی در امتداد شیب ارتفاعی گزارش نکردند، هرچند بیشترین مقدار جوانه‌زنی در ارتفاع ۱۵۰۰ متری، برابر با ۶۹ درصد، و کمترین مقدار آن در ارتفاع ۲۰۰ متری، برابر با ۳۹ درصد، ثبت شد. این تفاوت میان مطالعات نشان می‌دهد که قوهٔ نامیه بذر توسکای ییلاقی ممکن است نه‌تنها به ارتفاع از سطح دریا، بلکه به ترکیب پیچیده‌ای از شرایط رویشگاهی، ویژگی‌های درخت مادری و وضعیت فیزیولوژیکی بذر وابسته باشد. نتایج Mollashahi و همکاران (۲۰۰۹) دربارهٔ بیشتر بودن جوانه‌زنی بذر گیلاس وحشی (*Prunus avium* L.) در ارتفاعات پایین‌تر و همچنین یافته‌های Göktürk و Güner (۲۰۲۴) درباره اثر معنی‌دار ارتفاع از سطح دریا بر جوانه‌زنی بذر توسکای قشلاقی در جنگل‌های ترکیه، نیز این برداشت را تأیید می‌کند که جوانه‌زنی بذر تنها تابع ویژگی‌های ظاهری بذر نیست و می‌تواند از منشأ بذر، ارتفاع از سطح دریا، شرایط رویشگاهی و وضعیت فیزیولوژیکی درخت مادری تأثیر بپذیرد. دربارهٔ گونهٔ پلت نیز Yousefzadeh و همکاران (۲۰۰۷) تفاوت معنی‌داری از نظر جوانه‌زنی بذر در رویشگاه‌های مختلف استان مازندران گزارش کردند. همچنین Najafi و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تأثیر رویشگاه و مورفولوژی پایه‌های مادری بر برخی از مشخصه‌های فیزیولوژیکی بذر پلت در جنگل سوادکوه مازندران نشان دادند که تغییر ارتفاع از سطح دریا باعث تغییر درصد جوانه‌زنی بذر پلت می‌شود؛ با این حال، درصد جوانه‌زنی بذر پلت در ارتفاعات ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ متر از سطح دریا، که از نظر ارتفاعی به رویشگاه مورد مطالعه حاضرنزدیک است، تقریباً مشابه و حدود ۷۷ درصد گزارش شد. این همخوانی می‌تواند توضیح دهد که چرا در پژوهش حاضر، برخلاف توسکای ییلاقی، در پلت تفاوت آشکاری در قوهٔ نامیه بین درختان کهنسال و شاهد مشاهده نشد. از سوی دیگر، نتایج حاضر با بخشی از مطالعات مربوط به اثر سن درخت مادری بر جوانه‌زنی نیز قابل تفسیر است. Espahbodi و همکاران (۲۰۰۷) بالاترین درصد جوانه‌زنی را در درختان میان‌سال گزارش کردند و کاهش قوهٔ نامیه و جوانه‌زنی بذور در درختان کهنسال را به پیری فیزیولوژیکی بذر نسبت دادند. نتایج مشابهی در پژوهش‌های Ertekin و همکاران (۲۰۱۵) برای راش شرقی و Viglas و همکاران (۲۰۱۳) برای نوئل سیاه (*Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenburg) گزارش شده است. با این حال، همهٔ مطالعات چنین الگویی را تأیید نکرده‌اند؛ برای نمونه، Alejano و همکاران (۲۰۱۹) در کاج سیاه (*Pinus nigra* J.F.Arnold) کاهش معنی‌داری در جوانه‌زنی بذر تا سنین بسیار بالا مشاهده نکردند. همچنین در تودهٔ جنگلی کاج دریایی (*Pinus pinaster* Aiton) در شمال غربی اسپانیا گزارش شد که با وجود تأثیر مثبت وزن و قطر بذر بر جوانه‌زنی، سن درخت مادری در بسیاری از موارد تأثیر منفی بر جوانه‌زنی بذر دارد (Callejas-Díaz *et al.*, 2022). در مقابل، Pardos و همکاران (۲۰۲۲) عنوان کردند که اگرچه وزن و اندازهٔ بذر ممکن است تحت تأثیر سن درختان قرار گیرد، اما جوانه‌زنی بذور الزاماً تحت تأثیر سن درختان قرار ندارد. بنابراین، رابطهٔ میان سن درخت مادری و قوهٔ نامیه بذر رابطه‌ای ساده، خطی و قابل تعمیم به همهٔ گونه‌ها نیست، بلکه بسته به گونه، شرایط رویشگاهی و کیفیت فیزیولوژیکی بذر می‌تواند تغییر کند. براین اساس، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که برای ارزیابی نقش درختان کهنسال در زادآوری طبیعی، اتکا به یک شاخص منفرد مانند وزن بذر، قطر بذر یا حتی درصد جوانه‌زنی کافی نیست. بنابراین، انتخاب پایه‌های مادری در جنگل‌های هیرکانی باید براساس مجموعه‌ای از شاخص‌های کمّی و فیزیولوژیکی بذر انجام شود و ویژگی‌های هر گونه درختی و شرایط رویشگاهی آن نیز به‌طور جداگانه مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش یکی از نخستین ارزیابی‌های نظام‌مند دربارهٔ ارتباط کهنسالی درختان مادری با ویژگی‌های کمّی و فیزیولوژیکی بذر در گونه‌های راش هیرکانی، پلت و توسکای ییلاقی در جنگل‌های هیرکانی است. نتایج نشان داد که اثر کهنسالی بر ویژگی‌های بذر در همهٔ گونه‌ها یکسان نبود، بلکه الگویی گونه‌محور و وابسته به نوع شاخص مورد بررسی بذر داشت. در راش هیرکانی و پلت، کاهش وزن هزار دانه و قطر بذر در درختان کهنسال مشاهده شد، در حالی‌که در توسکای ییلاقی تفاوت اصلی بیشتر در درصد

جوانه‌زنی بذر مشاهده شد. با این حال، تغییر در یک یا چند ویژگی بذر را نمی‌توان به‌تنهایی معادل کاهش کیفیت کلی بذر یا کاهش نقش درختان کهنسال در زادآوری طبیعی دانست.

از دیدگاه مدیریت جنگل و جنگل‌شناسی همگام با طبیعت، درختان کهنسال به‌دلیل کارکردهای حفاظتی، ساختاری، ژنتیکی و بوم‌شناختی، از اجزای ارزشمند و ضروری جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شوند. نقش این درختان در زادآوری طبیعی نیز باید در همین چارچوب گسترده و با توجه به تفاوت‌های بین‌گونه‌ای ارزیابی شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اثر کهنسالی بر بذر را نمی‌توان با یک الگوی واحد برای همهٔ گونه‌ها تفسیر کرد و ارزیابی توان درختان کهنسال در مشارکت در زادآوری طبیعی مستلزم بررسی همزمان مجموعه‌ای از ویژگی‌های کمّی و فیزیولوژیکی بذر است. بنابراین، در مواردی که انتخاب پایه‌های مادری و جمع‌آوری بذر برای برنامه‌های احیا، غنی‌سازی یا تجدید حیات جنگل ضرورت دارد، تصمیم‌گیری نباید صرفاً بر اساس سن، قطر، ظاهر درخت یا یک صفت منفرد بذر، مانند وزن، اندازه، رطوبت یا درصد جوانه‌زنی، انجام شود. در چنین شرایطی، لازم است کیفیت و زنده‌مانی بذر، سلامت پایه مادری، شرایط رویشگاهی، ویژگی‌های زیستی هر گونه و توان استقرار نهال به‌صورت توأمان مورد توجه قرار گیرند. چنین رویکردی می‌تواند ضمن حفظ جایگاه و کارکردهای بوم‌شناختی درختان کهنسال، مبنای علمی مناسب‌تری برای مدیریت زادآوری طبیعی و برنامه‌های حفاظت و احیای جنگل‌های هیرکانی فراهم سازد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائهٔ نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود. با نهایت احترام و سپاس ویژه، این پژوهش به روان پاک استاد فقید، **دکتر محمدرضا مروی مهاجر** تقدیم می‌شود. استادی فرزانه، دانشمندی فرهیخته، معلمی وارسته و پیشگامی بی‌بدیل در شناخت، پاسداشت و مدیریت جنگل‌های هیرکانی. یاد و نام آن استاد فرزانه تا همیشه در حافظهٔ علمی و فرهنگی جنگل ایران زنده و جاودان خواهد ماند.

References

Azaryan, M., Marvie Mohadjer, M.R., Etemaad, V., Shirvany, A., Sadeghi, S.M.M., 2015. Morphological characteristics of old trees in Hyrcanian Forest (Case study: Pattom and Namkhaneh districts, Kheyrud). Forest and Wood Products 68(1), 47-59. (In Persian)

Azaryan M., Deljouei A., Etemad V., Marcu M.V., Sadeghi S.M.M. 2026. Effects of single-tree selection on large-diameter tree retention in old-growth Hyrcanian temperate forests. BOSQUE 47, e4707.

Alejano, R., Domínguez-Delmás, M., García-González, I., Wazny, T., Vázquez-Piqué, J., Fernández-Martínez, M., 2019. The age of black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco) mother trees has no effect on seed germination and on offspring seedling performance. Annals of Forest Science 76(1), 15.

Callejas-Díaz, M., Chambel, M.R., San-Martín-Lorén, J., Gea-Izquierdo, G., Santos-Del-Blanco, L., Postma, E., Climent, J.M., 2022. The role of maternal age, growth, and environment in shaping offspring performance in an aerial conifer seed bank. American Journal of Botany 109(3), 366-376.

Etemad, V., 2002. Quantitative and qualitative survey on beech (*Fagus orientalis* Lipsky) nuts in Mazandaran forests, Ph.D. dissertation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 258 p. (In Persian)

Eslami, A., Naseri, B., Khazaei Kohpar, J., 2016. A survey on physical and physiological characteristics of Caucasian Alder (*Alnus subcordata* C. A. May.) in different ecological conditions (case study: Golband forest management plan, Nowshahr). Iranian Journal of Biology 29(3), 475-483. (In Persian)

Ertekin, M., Kırdar, E., Ayan, S., 2015. The effects of exposure, elevation and tree age on seed characteristics of *Fagus orientalis* Lipsky. South-East European Forestry: SEEFOR 6(1), 15-23.

Espahbodi, K., Hosseini, S.M., Mirzaie-Nodoushan, H., Tabari, M., Akbarinia, M., Dehghan-Shooraki, Y., 2007. Tree age effects on seed germination in *Sorbus torminalis*. General and Applied Plant Physiology 33(1-2), 107-119.

Faraji., B., Javanmiri pour, M., Etemad, V., 2023. The oriental beech (*Fagus orientalis* L) seed production and regeneration in northern forests of Iran. Iranian Journal of Biology 36(3), 232-244. (In Persian)

Farmer, R., 2017. Seed Ecophysiology of Temperate and Boreal Zone Forest Trees. Routledge.

Fröhlich, A., Przepióra, F., Drobniak, S., Mikusiński, G., Ciach, M., 2024. Public safety considerations constraint the conservation of large old trees and their crucial ecological heritage in urban green spaces. Science of the Total Environment 948, 174919.

Göktürk, A., Güner, S., 2024. Effect of elevation on morphological characteristics and germination of black alder (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) seeds. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty 24(1), 13-21.

Lindenmayer, D.B., Laurance, W.F., Franklin, J.F., Likens, G.E., Banks, S.C., Blanchard, W., Gibbons, P., Ikin, K., Blair, D., McBurney, L., Manning, A.D., Stein, J.A., 2014. New policies for old trees: averting a global crisis in a keystone ecological structure. Conservation Letters 7(1), 61-69.

Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. Nature 455(7210), 213-215.

Mao, P., Kan, X., Pang, Y., Ni, R., Cao, B., Wang, K., Dong, J., 2022. Effects of forest gap and seed size on germination and early seedling growth in *Quercus acutissima* plantation in Mount Tai, China. Forests 13(7), 1025.

Mollashahi, M., Hosseini, S.M., Naderi, A., 2009. Effect of seed provenances on germination, height and diameter growth of wild cherry (*Prunus avium* L.) seedlings. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 17(1), 107-115. (In Persian)

Moles, A.T., Ackerly, D.D., Tweddle, J.C., Dickie, J.B., Smith, R., Leishman, M.R., Westoby, M., 2007. Global patterns in seed size. Global Ecology and Biogeography 16(1), 109-116

Motallebi, S.A., Tabari, M.O., Soltani, A., Etemad, V., 2010. Seed viability of *Fagus orientalis* Lipsky during short-time storing. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 18(4), 587-595. (In Persian)

Najafi, F., Espahbodi, K., Ghorbanli, M., 2008. Effect of site conditions and tree morphology on maple seed physiology. Pajouhesh and Sazandegi 77, 148-154. (In Persian)

Pardos, M., Vázquez-Piqué, J., Benito, L., Madrigal, G., Alejano, R., Fernández, M., Calama, R., 2022. Does the age of *Pinus sylvestris* mother trees influence reproductive capacity and offspring seedling survival?. Forests 13(6), 937.

Pasques, O., Munné-Bosch, S., 2024. Ancient trees are essential elements for high-mountain forest conservation: Linking the longevity of trees to their ecological function. Proceedings of the National Academy of Sciences 121(7), e2317866121.

Rezai, G., Yezdian, F., Shafizadeh, F., Hedayati, M.A., 2014. Effects of altitudinal variation on physical and physiological characteristics of alder seeds (*Alnus Subcordata* CAM) (case study Vaz Forest management plan-district 1). Natural Ecosystems of Iran 1(5), 15-21. (In Persian)

Roach, D.A., Wulff, R.D., 1987. Maternal effects in plants. Annual Review of Ecology and Systematics 18, 209-235.

Sadati, S.E., Khoshnevis, M., Ghelichnia, H., Khorrami, R., Khorankeh, S., 2020. Distribution of old trees and their ecological sites characteristics in the Mazandaran Province, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 28(1), 14-29. (In Persian)

Viglas, J.N., Brown, C.D., Johnstone, J.F., 2013. Age and size effects on seed productivity of northern black spruce. Canadian Journal of Forest Research 43(6), 534-543.

Xie, C., Liu, C., Liu, D., Jim, C.Y., 2024. Charting the research terrain for large old trees: Findings from a quantitative bibliometric examination in the twenty-first century. Forests 15(2), 373.

Yousefzadeh, H., Tabari, M., Jalali, Gh., Espahbodi, K., 2007. Effect of seed source on germination, growth and survival of Caucasian maple *(Acer velutinum* Boiss.) in mountain nursery of Sangdeh (Northern Iran). Iranian Journal of Natural Resources 60(2), 963-970. (In Persian)