

Research Paper

The effects of planting substrate and sowing methods on germination and seedling growth of white oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)

Eisa Naji Shadbad¹, Nasrin Seyedi^{2,2} and Hadi Beygi Heidarlou³

1- MSc. of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (najieisa940@gmail.com)

2,*- (Corresponding author) Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (n.seyedi@urmia.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (h.beygi@urmia.ac.ir)

Received: 21 May 2024

Accepted: 30 January 2025

Extended Abstract

Background and Objective: Afforestation and forest restoration using native species are recognized as vital strategies for conserving natural resources and ensuring sustainable development. In Iran, where the climate is arid and the forest cover significantly lags behind optimal levels, these efforts are even more critical. The Arasbaran forests, a distinctive region of the country, are home to valuable species such as the white oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), which plays a key role in forest ecosystem conservation due to its adaptability to a variety of environmental conditions, along with its ecological and economic importance. However, habitat destruction has restricted the distribution of this species. This study was designed to investigate the impact of planting beds and planting methods on the germination and early growth of white oak seedlings at the El-Goli nursery in Tabriz. The study aims to provide useful insights for afforestation and oak forest restoration projects in Iran and similar regions.

Material and Methods: This research was conducted as a factorial experiment with a completely randomized design to explore the effects of planting bed and planting method on the germination and initial growth of white oak (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.). Seeds collected from the Arasbaran forests were prepared and planted in three different planting beds (Control: soil, compost, and sand in a 1:1:1 ratio; Bed 1: soil, compost, and sand in a 2:1:1 ratio; Bed 2: soil, compost, and sand in a 3:1:1 ratio) and three planting methods (horizontal, tip-up, tip-down) on February 4, 2023. The pots were irrigated regularly every two days using a misting system. Data collection on germination percentage, speed, and seedling growth (height and collar diameter) began when the first germination occurred (May 10, 2023) and continued until the conclusion of the experiment in September 2023. Statistical analysis was performed using two-way ANOVA and Duncan's test in SPSS software (version 26).

Results: The results revealed that both planting method and bed type significantly influenced seed germination and growth characteristics. Analysis of variance showed that planting bed type had a significant effect on collar diameter ($p < 0.05$), while the planting method and the

interaction between the two factors were not significant. The highest collar diameter was found in the horizontal planting method with Bed 2, with a mean value of 4.29 ± 0.25 cm, whereas the smallest diameter was recorded in the tip-down planting method with Bed 1 (2.93 ± 0.58 cm). In terms of seedling height, the planting method was significant ($p < 0.05$), with the horizontal planting method in Bed 2 showing the greatest mean height of 35.69 ± 3.88 cm, while the tip-down method with Bed 2 had the smallest height (22.17 ± 4.36 cm). However, neither the type of planting bed nor the interaction between planting bed and planting method had a significant impact. Root length was also influenced by planting method ($p < 0.05$), with the highest mean root length recorded in the horizontal planting method with Bed 2 (48.69 ± 3.54 cm) and the lowest in the tip-down method with Bed 2 (35.50 ± 5.21 cm). For germination traits, the highest germination percentage (100%) was achieved using the horizontal planting method with the control treatment, while the lowest germination percentage (13%) was observed with the tip-down planting method in Bed 1. In general, horizontal and tip-up planting methods resulted in higher germination percentages compared to the tip-down method, with the control and Bed 2 outperforming Bed 1.

Conclusion: This study highlighted the significant impact of planting methods and bed types on germination and seedling growth. The horizontal planting method was particularly effective in improving collar diameter, seedling height, and root length, while the tip-down method proved to be the least beneficial. Additionally, Bed 2 outperformed the other planting beds, particularly in terms of collar diameter and root length. The highest germination percentage was observed in the control treatment with the horizontal planting method. These findings emphasize the importance of selecting the appropriate planting method and bed to optimize seedling growth, contributing to the success of afforestation and restoration efforts. Furthermore, the study sets the stage for future research on the effects of various environmental and management factors on plant species growth.

Keywords: Arasbaran, Soil composition, Planting patterns, Seedling establishment.

How to Cite This Article: Naji Shadbad, E., Seyedi, N., and Beygi Heidarlou, H. (2025). The effects of planting substrate and sowing methods on germination and seedling growth of white oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Forest Research and Development, 10(4), 511-526. DOI: [10.30466/jfrd.2025.55829.1746](https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.55829.1746)



Copyright ©2024 Naji Shadbad et al. Published by Urmia University.

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

تأثیر بستر و روش‌های کاشت بر جوانه‌زنی و رشد نهال بلوط سفید (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)عیسی ناجی شادباد^۱، نسرين سیدی*^۲ و هادی بیگی حیدرلو^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (najieisa940@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (n.seyedi@urmia.ac.ir)

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (h.beygi@urmia.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱

چکیده

مقدمه و هدف: جنگلکاری و احیای جنگل‌ها، به‌ویژه با استفاده از گونه‌های بومی، به‌عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای حفظ و توسعه پایدار منابع طبیعی هستند. در ایران، با توجه به اقلیم خشک و شکننده و سطح پوشش جنگلی بسیار پایین‌تر از حد مطلوب، اهمیت این برنامه‌ها دوچندان است. جنگل‌های ارسباران، به‌عنوان یکی از مناطق رویشی ویژه کشور، زیستگاه گونه‌های ارزشمندی مانند بلوط سفید (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) هستند که با توانایی بالای خود در سازگاری با شرایط مختلف زیست‌محیطی و اهمیت بوم‌شناسی و اقتصادی، نقشی کلیدی در حفاظت از بوم‌سازگان‌های جنگلی دارند، اما تخریب زیستگاه‌های طبیعی باعث محدود شدن پراکنش این گونه شده است. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر بستر و روش کاشت بر جوانه‌زنی و رشد نهال‌های بلوط سفید در نهالستان ائل‌گلی واقع در شهر تبریز طراحی شده است تا نتایج آن بتواند راهنمایی مؤثر برای اجرای طرح‌های جنگلکاری و احیای جنگل‌های بلوط در ایران و مناطق مشابه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی انجام شد تا تأثیر بستر و روش کاشت بر جوانه‌زنی و رشد اولیه بلوط سفید (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) بررسی شود. بذرها از جنگل‌های ارسباران جمع‌آوری و پس از آماده‌سازی در سه نوع بستر (شاهد: خاک، کود و ماسه به نسبت ۱:۱:۱؛ بستر یک: خاک، کود و ماسه به نسبت ۲:۱:۱؛ بستر دو: خاک، کود و ماسه به نسبت ۳:۱:۱) و سه روش کاشت (افقی، نوک به بالا، نوک به پایین) در تاریخ ۱۵ بهمن ۱۴۰۱ کاشته شدند. آبیاری گلدان‌ها به‌طور منظم و طبق برنامه زمانی مشخص هر دو روز یک‌بار با استفاده از سیستم مه‌پاش انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها، که شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و رشد نهال‌ها (ارتفاع و قطر یقه) بود، از تاریخ اولین

جوانه‌زنی (۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۲) آغاز و تا پایان دوره آزمایش (شهریور ۱۴۰۲) ادامه یافت. داده‌ها با استفاده از آزمون واریانس دوطرفه و آزمون دانکن در نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۶) مورد تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که روش کاشت و نوع بستر کاشت تأثیر زیادی بر ویژگی‌های رشد و جوانه‌زنی بذرها دارد. آنالیز واریانس نشان داد که اثر نوع بستر کاشت بر قطر یقه معنی‌دار بود ($p < 0/05$)، درحالی‌که روش کاشت و اثر متقابل این دو عامل تأثیر معنی‌داری نداشتند. بیشترین قطر یقه در روش کاشت افقی و بستر دو با مقدار میانگین $4/29 \pm 0/25$ سانتی‌متر مشاهده شد، درحالی‌که کمترین مقدار آن در روش کاشت رو به پایین و بستر یک با مقدار $2/93 \pm 0/58$ سانتی‌متر ثبت شد. در رابطه با ارتفاع نهال، اثر روش کاشت بذر معنی‌دار بود ($p < 0/05$)، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع در روش کاشت افقی و بستر دو با میانگین $35/69 \pm 3/88$ سانتی‌متر مشاهده شد و کمترین مقدار آن در روش کاشت رو به پایین و بستر دو با مقدار $22/17 \pm 4/36$ سانتی‌متر ثبت شد. با این حال، اثر نوع بستر کاشت و اثر متقابل نوع بستر کاشت و روش کاشت معنی‌دار نبودند. طول ریشه نیز تحت تأثیر روش کاشت بذر قرار گرفته بود ($p < 0/05$) و بیشترین مقدار طول ریشه در بستر دو و کاشت افقی با میانگین $48/69 \pm 3/54$ سانتی‌متر به‌دست آمد. در مقابل، کمترین طول ریشه مربوط به روش کاشت رو به پایین و بستر دو با مقدار $35/50 \pm 5/21$ سانتی‌متر بود. در بررسی صفات جوانه‌زنی، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) مربوط به روش کاشت افقی و تیمار شاهد بود، درحالی‌که کمترین درصد جوانه‌زنی (۱۳ درصد) در روش کاشت رو به پایین و بستر یک مشاهده شد. به‌طورکلی، روش کاشت افقی و رو به بالا در مقایسه با رو به پایین درصد جوانه‌زنی بالاتری داشتند. همچنین، بسترهای شاهد و دو عملکرد بهتری نسبت به بستر یک نشان دادند.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش تأثیر زیاد روش‌های کاشت و نوع بستر کاشت را بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد نهال‌ها نشان داد. به‌طور ویژه، کاشت افقی به‌عنوان روشی مؤثرتر نسبت به دیگر روش‌ها شناخته شد که باعث بهبود قابل توجه قطر یقه، ارتفاع نهال و طول ریشه شد. در مقابل، کاشت به‌صورت رو به پایین کمترین تأثیر را بر این صفات داشت. همچنین، بستر کاشت شماره دو عملکرد بهتری نسبت به دیگر بسترها داشت و به‌ویژه در بهبود قطر یقه و طول ریشه مؤثر بود. در خصوص درصد جوانه‌زنی، بیشترین درصد مربوط به تیمار شاهد و روش کاشت افقی بود. این نتایج تأکید می‌کند که انتخاب مناسب روش کاشت و بستر کاشت می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود فرآیند جوانه‌زنی و رشد نهال‌ها داشته باشد و در برنامه‌های جنگلکاری و احیای منابع طبیعی نقش مهمی ایفا کند. این پژوهش علاوه بر فراهم کردن راهکارهایی برای بهینه‌سازی رشد نهال‌ها، زمینه‌ساز تحقیقات آتی در زمینه بررسی عوامل محیطی و مدیریتی دیگر بر گونه‌های گیاهی مختلف خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارسباران، ترکیب خاک، الگوهای کاشت، استقرار نهال.

طغیان آفات و بیماری‌ها را به حداقل برساند (Simmons et al., 2007; Brudvig and Catano, 2024). در ایران، جنگل‌های ارسباران به‌عنوان یکی از مناطق منحصربه‌فرد از نظر تنوع زیستی و ذخایر ژنتیکی شناخته می‌شوند. این جنگل‌ها که در شمال غربی کشور و در ارتفاعات جنوبی حوضه رودخانه ارس واقع شده‌اند، زیستگاه گونه‌های ارزشمندی مانند زغال‌اخته (*Cornus mas* L.)، اردوج (*Juniperus foetidissima*)، بلوط سفید (*Quercus petraea* (Matt.) Willd.) هستند. با وجود مساحت نسبتاً کم این جنگل‌ها (حدود ۱۶۰ هزار هکتار)، بیش از ۱۳۰۰ گونه گیاهی در آن شناسایی شده است (Sagheb Talebi et al., 2014; Sasanifar et al., 2024). اما این منطقه به‌دلیل فعالیت‌های شدید انسانی، از جمله قطع غیرمجاز درختان، چرای بی‌رویه دام و تغییر کاربری اراضی، با تهدیدات جدی مواجه شده است (Beygi Heidarlou et al., 2024).

بلوط سفید یکی از گونه‌های ارزشمند جنگلی است که نقش بسیار مهمی در پایداری بوم‌سازگان‌های جنگلی و حفاظت از تنوع زیستی ایفا می‌کند. این گونه که به‌دلیل سازگاری بالا با شرایط بوم‌شناسی مختلف شناخته شده است، در بسیاری از جنگل‌های معتدل جهان حضور دارد و از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد (Vospernik et al., 2023). در ایران، بلوط سفید در مناطقی مانند جنگل‌های شمال (هیرکانی) و ارسباران یافت می‌شود و به‌دلیل ویژگی‌های خاص خود، از جمله توانایی در بهبود خاک و ایجاد زیستگاه برای حیات‌وحش، مورد توجه ویژه‌ای قرار دارد (Tantray et al., 2017). با این حال، پراکنش محدود این گونه در کشور و تأثیرات منفی ناشی از تخریب زیستگاه‌های طبیعی، بر اهمیت برنامه‌های جنگلکاری و احیای جنگل‌های بلوط افزوده است.

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های طبیعی، نقش کلیدی در حفظ تعادل زیست‌محیطی، تأمین منابع زیستی و ایجاد زیستگاه‌های متنوع برای گونه‌های گیاهی و جانوری دارند. با این حال، تخریب روزافزون جنگل‌های طبیعی به‌دلایلی مانند تغییر کاربری اراضی، برداشت بی‌رویه چوب و افزایش فشار جمعیتی، چالش‌های جدی برای حفظ این منابع ارزشمند به همراه داشته است (Fasona et al., 2022). این روند تخریب، همراه با افزایش تقاضا برای محصولات چوبی و دیگر خدمات اکوسیستمی، باعث شده است که جنگلکاری و احیای جنگل‌ها به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی برای حفظ و توسعه پایدار منابع طبیعی در دستور کار کشورهای مختلف قرار گیرد (Shabanian et al., 2010; Liu et al., 2022).

ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، با مشکلات زیادی در زمینه تخریب جنگل‌ها و کمبود پوشش سبز مواجه است. سطح پوشش جنگلی کشور تنها ۷/۵ درصد از مساحت کل را شامل می‌شود که بسیار کمتر از حد مطلوب جهانی است (Lesiv et al., 2022). سرانه جنگل در ایران ۰/۱۳ هکتار است که کمتر از میانگین جهانی (۰/۵۲ هکتار) است (Worldometer, 2020). بنابراین، گسترش فضای سبز و توسعه جنگلکاری از اولویت‌های اصلی در مدیریت منابع طبیعی کشور به‌شمار می‌آید (Khademi et al., 2005). یکی از راهکارهای موفق در راستای توسعه پایدار جنگل‌ها، بهره‌گیری از گونه‌های بومی است که با شرایط بوم‌شناسی منطقه سازگار شده‌اند (Zhang et al., 2022). انتخاب صحیح گونه‌های بومی می‌تواند منجر به احیای موفق بوم‌سازگان‌های تخریب‌شده شود و مشکلاتی مانند ناسازگاری گونه‌های کاشته‌شده،

برای افزایش موفقیت کاشت این گونه در برنامه‌های احیای جنگل کمک کند. در ایران پژوهش‌های محدودی در این زمینه انجام شده است و این موضوع نیازمند بررسی‌های جامع‌تری است. نوآوری این پژوهش در این است که به‌طور خاص به بررسی تأثیر انواع بستر کاشت و روش‌های مختلف کاشت بر جوانه‌زنی و رشد نهال‌های بلوط سفید پرداخته شده و برای نخستین‌بار بسترهای جدید و روش‌های نوین کاشت معرفی می‌شود. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان راهنمایی عملی برای طرح‌های جنگلکاری و غنی‌سازی جنگل‌ها در مناطق مختلف کشور مورد استفاده قرار گیرد و به‌ویژه در شرایط خاص اقلیمی و زیست‌محیطی ایران مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و آماده‌سازی بذرها

بذرهای بلوط سفید (*Q. petraea*) از جنگل‌های ارسباران، واقع در شمال غرب ایران، طی فصل پاییز و در اوج زمان بلوغ بذرها جمع‌آوری شدند. این منطقه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های جنگلی ایران شناخته می‌شود و انتخاب این محل برای جمع‌آوری بذرها به‌دلیل اهمیت بوم‌شناسی و سازگاری گونه بلوط سفید با شرایط منطقه‌ای انجام شد. بذرها جمع‌آوری شده بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند، جایی که در آن بذرها ناسالم، آسیب‌دیده و ناقص از طریق بررسی چشمی حذف شدند. برای حفظ کیفیت بذرها و جلوگیری از کاهش رطوبت و افت قوه نامیه، بذرها سالم در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در سردخانه نگهداری شدند. این شرایط تا زمان انجام آزمایش حفظ شد تا از هرگونه تغییر نامطلوب در ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرها جلوگیری شود.

طراحی آزمایش و تیمارها

عوامل متعددی بر موفقیت جنگلکاری و احیای جنگل‌ها تأثیرگذار هستند. انتخاب بستر مناسب کاشت، مدیریت صحیح نهالستان‌ها و بهینه‌سازی روش‌های کاشت از جمله مواردی هستند که می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش درصد جوانه‌زنی، رشد و بقای نهال‌ها داشته باشند (Brito et al., 2007; Yıldız et al., 2022). درحالی‌که پژوهش‌های زیادی به بررسی تأثیر بستر کاشت و روش‌های کاشت بر رشد نهال‌ها پرداخته‌اند، اما پژوهش‌های موجود بیشتر به بررسی تأثیر این عوامل در گونه‌های خاص یا در شرایط محیطی محدود پرداخته‌اند (Thongtip et al., 2022). با این حال، در خصوص درختان بلوط سفید، که یکی از گونه‌های مهم جنگلی در ایران است، پژوهش‌های محدودی وجود دارد که به‌طور خاص تأثیر روش‌های مختلف کاشت و بسترهای متفاوت کاشت بر رشد و جوانه‌زنی آنها پرداخته باشد.

پژوهش‌های مشابه نشان داده‌اند که شرایط بستر کاشت می‌تواند تأثیر مستقیمی بر جوانه‌زنی بذر، توسعه ریشه و رشد اولیه نهال داشته باشد (Thongtip et al., 2022) و همچنین روش‌های مختلف کاشت می‌تواند نتایج متفاوتی از نظر کیفیت و کمیت نهال‌های تولیدی به همراه داشته باشد (Nambiar and Fife, 2007; Preece et al., 2023). با این حال، نیاز به پژوهش‌های بیشتری در زمینه بررسی ترکیب مناسب بستر و روش‌های کاشت برای گونه‌های مختلف از جمله بلوط سفید همچنان احساس می‌شود. بنابراین، این پژوهش با هدف پر کردن این خلأ پژوهشی و ارائه راهکارهای عملی برای بهبود فرآیندهای جنگلکاری و احیای منابع طبیعی در ایران طراحی شده است.

با توجه به اهمیت بلوط سفید در حفظ تنوع زیستی و احیای جنگل‌های تخریب‌شده، نتایج این تحقیق می‌تواند به شناسایی بهترین روش‌ها و شرایط

انتخاب شدند. به‌طور ویژه، ترکیب‌های مختلف خاک و ماسه برای بازنمایی ویژگی‌های گوناگون خاک‌های مناطق مختلف طراحی شدند تا شرایط خاک‌های طبیعی منطقه به‌خوبی در پژوهش منعکس شود. این انتخاب‌ها با هدف بررسی تأثیر ترکیب بستر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد در محیط‌های گوناگون انجام شد. این بسترها به‌دلیل کاربرد وسیع‌شان در تولید نهال‌های انواع مختلف درختان و گیاهان انتخاب شدند (Piva et al., 2013; Kholkhal and Benmahiou, 2021). ویژگی

هرکدام از بسترها به شرح زیر است:

- بستر شاهد: شامل نسبت مساوی خاک، کود و ماسه (۱:۱:۱)
- بستر یک: شامل نسبت یک واحد خاک، یک واحد کود و دو واحد ماسه (۲:۱:۱)
- بستر دو: شامل نسبت یک واحد خاک، یک واحد کود و سه واحد ماسه (۳:۱:۱)

این پژوهش در قالب یک آزمایش فاکتوریل دو عاملی طراحی شد که شامل دو عامل بستر کاشت و روش کاشت بود. این عوامل به‌منظور بررسی اثرهای جداگانه و متقابل بر جوانه‌زنی و رشد اولیه بلوط سفید انتخاب شدند. طرح آزمایش به‌صورت کاملاً تصادفی اجرا شد و شامل ۱۵ تکرار برای هر تیمار بود. در مجموع، ۱۳۵ گلدان نایلونی با ابعاد ۲۰×۱۵ سانتی‌متر برای کاشت بذرها استفاده شد. این گلدان‌ها در شرایط کنترل‌شده در نهالستان ائل‌گلی واقع در شهر تبریز (با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی)، استان آذربایجان شرقی، قرار گرفتند.

بسترهای کاشت

عامل بستر کاشت شامل سه سطح مختلف با نسبت‌های متفاوت خاک، کود و ماسه بود (جدول ۱). این ترکیبات برای شبیه‌سازی تنوع شرایط خاکی موجود در منطقه

جدول ۱- نسبت اجزای خاک در تیمارهای آزمایش

Table 1. The proportion of soil components in the experimental treatments

ماسه	کود	خاک	تیمار
Sand	Fertilizer	Soil	Treatment
1	1	1	بستر شاهد Control substrate
2	1	1	بستر یک Substrate 1
3	1	1	بستر دو Substrate 2

روش کاشت

عامل روش کاشت نیز در سه سطح بررسی شد:

کاشت و مدیریت گلدان‌ها
بذرها پس از آماده‌سازی، در تاریخ ۱۵ بهمن ۱۴۰۱ طبق طرح آزمایشی در گلدان‌ها کاشته شدند. عمق کاشت برای تمامی تیمارها یکسان و به‌گونه‌ای تنظیم شد که از قرارگیری مناسب بذر در بستر اطمینان حاصل شود. آبیاری گلدان‌ها به‌طور منظم و طبق برنامه زمانی مشخص هر دو روز یک‌بار با استفاده از سیستم مه‌پاش

- کاشت افقی
- کاشت به‌صورت رو به بالا (با نوک بذر به سمت بالا)
- کاشت به‌صورت رو به پایین (با نوک بذر به سمت پایین)

انجام شد تا رطوبت لازم برای جوانه‌زنی و رشد ابتدایی تأمین شود. شرایط محیطی نهالستان شامل دمای مطلوب و نور کافی بود که برای شبیه‌سازی شرایط طبیعی رشد تنظیم شده بود.

یادداشت‌برداری و ثبت داده‌ها

فرایند ثبت داده‌ها از زمان مشاهده اولین بذر جوانه‌زده (در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۲) آغاز شد. درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و میانگین جوانه‌زنی روزانه از مهم‌ترین صفات مورد بررسی بودند. شمارش بذرهای جوانه‌زده هر دو روز یک‌بار انجام شد و این فرایند به مدت ۴۵ روز ادامه یافت تا تمامی بذرهای جوانه‌زده ثبت شوند. سپس، جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شدند.

رابطه (۱) درصد جوانه زنی: $(n/N) \times 100$

رابطه (۲) میانگین جوانه‌زنی روزانه: $\sum Cpsgt/T$

رابطه (۳) سرعت جوانه‌زنی: $\sum (n_i/t_i)$

که در آنها، N تعداد کل بذرهای کاشته‌شده، n تعداد بذرهای جوانه‌زده، $Cpsgt$ درصد بذرهای جوانه‌زده، T طول کل دوره جوانه‌زنی، n_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در یک بازه زمانی مشخص و t_i تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی است (ISTA, 2011).

اندازه‌گیری رشد نهال‌ها

در مراحل بعدی آزمایش، رشد نهال‌ها هر دو هفته یک بار به صورت کمی ارزیابی شد. ارتفاع نهال‌ها با استفاده از خط‌کش (دقت ۰/۱ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد و قطر یقه آنها با کولیس دیجیتالی ثبت شد. این اندازه‌گیری‌ها تا پایان دوره آزمایش (شهریور ۱۴۰۲) انجام شد تا تأثیر بسترها و روش‌های کاشت بر رشد اولیه نهال‌ها بررسی شود.

اندازه‌گیری رشد ریشه‌های نهال‌ها

طول ریشه نهال‌ها نیز در انتهای دوره رشد برای ارزیابی توسعه ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از اتمام دوره رشد و زمانی که نهال‌ها برای اندازه‌گیری آماده بودند، نهال‌ها از بستر خاکی به دقت خارج شدند. ریشه‌ها به طور کامل از خاک جدا شده و برای جلوگیری از آسیب به ساختار ریشه‌ها، با دقت شسته شدند تا از هر گونه ذرات اضافی خاک و مواد دیگر پاک شوند. سپس، ریشه‌ها به طور مستقیم روی یک سطح صاف قرار داده شدند و طول هر ریشه از نقطه اتصال به ساقه (یقه نهال) تا انتهای ریشه اندازه‌گیری شد. برای اطمینان از دقت در اندازه‌گیری‌ها، طول ریشه‌ها با استفاده از یک خط‌کش دقیق اندازه‌گیری شد. در مواردی که ریشه‌ها به صورت پیچیده یا به هم پیچیده شده بودند، از قیچی استریل برای جدا کردن بخش‌های متصل و اندازه‌گیری هر بخش به طور مجزا استفاده شد. در نهایت، میانگین طول ریشه‌ها برای هر تیمار در هر تکرار محاسبه شده و برای تحلیل‌های آماری استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا داده‌ها از نظر نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شدند. برای تعیین اثرات اصلی و متقابل عوامل بستر و روش کاشت، از تجزیه واریانس دوطرفه (Two-Way ANOVA) استفاده شد. مقایسه‌های چندگانه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد تا تفاوت معنی‌دار میان تیمارها مشخص شود. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شدند.

نتایج

قطر یقه

طبق نتایج آنالیز واریانس قطر یقه، بین سطوح مختلف بستر کاشت تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). با این حال، تأثیر مستقل روش کاشت و همچنین اثرات

متقابل آن با بستر کاشت بر قطر یقه به‌طور معنی‌داری متفاوت نبود. بنابراین، مقایسه میانگین‌ها برای روش‌های مختلف کاشت و بسترهای مختلف ضروری نخواهد بود. بیشترین مقدار قطر یقه در روش کاشت افقی با بستر دو ($4/29 \pm 0/25$ سانتی‌متر) و کمترین مقدار آن در روش کاشت رو به پایین با بستر یک ($2/93 \pm 0/58$ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس قطر یقه

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) for collar diameter

Sig.	F	میانگین مربعات Mean squares (MS)	مجموع مربعات Sum of squares (SS)	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
0.32	1.17	1.27	2.54	2	روش کاشت بذر Sowing method
0.01	4.82	5.24	10.47	2	بستر کاشت Planting substrate
0.92	0.23	0.25	0.98	4	روش کاشت × بستر کاشت Sowing method × Planting substrate
		1.1	88.06	81	خطا Error
			1223.9	90	کل Total

جدول ۳- میانگین قطر یقه \pm اشتباه معیار در تیمارهای مختلف

Table 3. Mean collar diameter \pm standard error in different treatments

کل Total	بستر دو Substrate 2	بستر یک Substrate 1	شاهد Control substrate	روش کاشت/بستر کاشت Sowing method / Planting substrate
$3.67^a \pm 0.17$	4.29 ± 0.25	3.47 ± 0.38	3.26 ± 0.24	افقی Horizontal
$3.53^a \pm 0.19$	4.16 ± 0.29	3.11 ± 0.34	3.24 ± 0.31	رو به بالا Upward
$3.20^a \pm 0.21$	3.47 ± 0.39	2.93 ± 0.58	3.01 ± 0.27	رو به پایین Downward
3.54 ± 0.12	$4.09^a \pm 0.17$	$3.24^b \pm 0.23$	$3.21^b \pm 0.16$	کل Total

حروف مشترک در ستون آخر نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین سطوح مختلف روش کاشت است.

The different letters in the last row indicate a significant difference at the 0.05 level between the different planting bed types.

برای بسترهای مختلف و روش‌های مختلف کاشت ضروری نیست. بیشترین ارتفاع نهال مربوط به روش کاشت افقی و بستر دو ($35/69 \pm 3/88$ سانتی‌متر) و کمترین مقدار آن مربوط به روش کاشت رو به پایین و بستر دو ($22/17 \pm 4/36$ سانتی‌متر) بود (جدول ۵).

ارتفاع نهال

طبق نتایج آنالیز واریانس، اثر مستقل روش کاشت بذر بر ارتفاع نهال معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر مستقل بستر کاشت و اثر متقابل آن با روش کاشت بر ارتفاع نهال معنی‌دار نبود (جدول ۴). بنابراین، مقایسه میانگین‌ها

جدول ۴- تجزیه واریانس متغیر ارتفاع نهال

Sig.	F	میانگین مربعات Mean squares (MS)	مجموع مربعات Sum of squares (SS)	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
0.04	2.12	200.85	401.7	2	روش کاشت بذر Sowing method
0.89	0.11	10.83	21.67	2	بستر کاشت Planting substrate
0.24	1.4	132.23	528.92	4	روش کاشت × بستر کاشت Sowing method × Planting substrate
		94.8	7678.74	81	خطا Error
			90712	90	کل Total

جدول ۵- میانگین ارتفاع نهال ± اشتباه معیار در تیمارهای مختلف

کل Total	بستر دو Substrate 2	بستر یک Substrate 1	شاهد Control substrate	روش کاشت/بستر کاشت Sowing method / Planting substrate
32.23 ^a ±1.41	35.69±3.88	33.10±2.13	28.8±2.03	افقی Horizontal
30.21 ^a ±1.72	30.29±2.85	27.92±3.58	32.58±2.42	رو به بالا Upward
24.50 ^b ±2.46	22.17±4.36	30±0.03	25±3.83	رو به پایین Downward
30.2±1.04	30.94 ^a ±1.94	30.16 ^a ±2.06	29.48 ^a ±1.48	کل Total

حروف متفاوت در ردیف آخر نشانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ بین سطوح مختلف بستر کاشت است.

The different letters in the last row indicate a significant difference at the 0.05 level between the different planting bed types.

در واقع نتایج این پژوهش نشان داد که در بین

تیمارهای مختلف روش کاشت بذر، بیشترین مقدار قطر یقه، ارتفاع نهال و طول ریشه در روش کاشت افقی بذر مشاهده شد. همچنین، کمترین مقدار هر سه پارامتر در روش کاشت رو به پایین بذر مشاهده شد. این نتایج بر اساس آنالیز واریانس و مقایسات میانگین‌ها به دست آمده است، که نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی دار میان روش‌های مختلف کاشت است.

طول ریشه

بر اساس نتایج آنالیز واریانس، اختلاف طول ریشه بین تیمارهای مختلف روش کاشت معنی دار بود (جدول ۶). در حالی که اثر بستر کاشت و اثر متقابل بستر کاشت با روش کاشت بر طول ریشه معنی دار نبود. بیشترین مقدار طول ریشه مربوط به روش کاشت افقی و بستر دو (۴۸/۶۹±۳/۵۴ سانتی‌متر) و کمترین مقدار آن مربوط به روش کاشت رو به پایین و بستر دو (۳۵/۵±۵/۲۱ سانتی‌متر) بود (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیه واریانس متغیر طول ریشه

Table 6. Analysis of variance (ANOVA) for root length

Sig.	F	میانگین مربعات Mean squares (MS)	مجموع مربعات Sum of squares (SS)	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
0.03	2.09	262.95	525.91	2	روش کاشت بذر Sowing method
0.88	0.12	15.51	31.02	2	بستر کاشت Planting substrate
0.81	0.39	49.35	197.4	4	روش کاشت × بستر کاشت Sowing method × Planting substrate
		125.3	10172.18	81	خطا Error
			187905	90	کل Total

جدول ۷- میانگین طول ریشه ± اشتباه معیار در تیمارهای مختلف

Table 7. Mean root length ± standard error in different treatments

کل Total	بستر دو Substrate 2	بستر یک Substrate 1	شاهد Control substrate	روش کاشت/بستر کاشت Sowing method / Planting substrate
47.11 ^a ±1.84	48.69±3.54	45.10±4.53	47.07±2.04	افقی Horizontal
43.62 ^{ab} ±1.67	43.79±2.82	41.38±3.66	45.83±2.15	رو به بالا Upward
38.36 ^b ±2.83	35.5±5.21	43±2	39.67±4.20	رو به پایین Downward
44.26±1.17	44.21 ^a ±2.16	43 ^a ±2.6	45.27 ^a ±1.46	کل Total

حروف مشترک در ستون آخر نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین سطوح مختلف روش کاشت است.

حروف متفاوت در ردیف آخر نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین سطوح مختلف بستر کاشت است.

The common letters in the last column indicate no significant difference at the 0.05 level between the different planting methods.

The different letters in the last row indicate a significant difference at the 0.05 level between the different planting bed types.

بستر یک از درصد جوانه‌زنی بیشتری برخوردار بودند. به‌طورکلی بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) در روش کاشت افقی و تیمار شاهد و کمترین آن در روش کاشت رو به پایین و بستر یک (۱۳ درصد) مشاهده شد.

صفات جوانه‌زنی

با توجه به جدول ۸ بیشترین درصد جوانه‌زنی (۸۵ درصد) مربوط به روش کاشت افقی و رو به بالا و کمترین درصد جوانه‌زنی (۳۱ درصد) در روش کاشت رو به پایین بود. همچنین بستر شاهد و دو نیز نسبت به

جدول ۸- صفات جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف

Table 8. Germination traits in different treatments

کل Total	بستر دو Substrate 2	بستر یک Substrate 1	شاهد Control substrate	صفات Traits	روش کاشت Sowing method
86	86	73	100	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	افقی Horizontal
1.91	1.91	1.62	2.22	میانگین جوانه‌زنی Mean germination	
1.26	0.68	0.42	1.07	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	
86	93	86	80	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	رو به بالا Upward
1.91	2.07	1.91	1.78	میانگین جوانه‌زنی Mean germination	
0.95	0.38	0.5	0.7	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	
31	40	13	40	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	رو به پایین Downward
0.68	0.89	0.29	0.89	میانگین جوانه‌زنی Mean germination	
0.48	0.21	1	0.24	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	
68	73	57	73	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	کل Total
1.5	1.62	1.27	1.62	میانگین جوانه‌زنی Mean germination	
2.24	0.80	0.84	1.1	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	

بحث

قطر یقه

(Dostálek et al. 2007) انجام شد، نشان داده شد که روش کاشت افقی بذرها باعث بهبود رشد قطر یقه در گونه‌های مختلف درختان جنگلی (شامل: *Prunus Crataegus* و *Tilia cordata* Mill. *avium* L. *monogyna* Jacq.) می‌شود، زیرا این روش کاشت به توزیع یکنواخت‌تر فشارهای مکانیکی و تغذیه‌ای روی ریشه‌ها کمک می‌کند. در پژوهشی که توسط Yao et al. (2021) انجام شد، تأثیر عمق کاشت و جهت‌گیری بذرها بر جوانه‌زنی و رشد رویشی نهال‌های درخت *Vitellaria paradoxa* CF Gaertn.) Shea بررسی شد. نتایج نشان داد که عمق پنج سانتی‌متر باعث افزایش نرخ جوانه‌زنی (۸۴/۶ درصد) و کاهش زمان تأخیر

نتایج نشان داد که روش کاشت افقی بذرها به‌طور معنی‌داری باعث افزایش قطر یقه نهال‌های بلوط سفید شد. این یافته حاکی از آن است که در کاشت افقی، بذرها به‌طور متعادل‌تری در خاک قرار گرفته و ریشه‌ها توانایی بیشتری برای توسعه به‌طور افقی و عمودی دارند. این وضعیت باعث افزایش سطح تماس ریشه‌ها با منابع آبی و مواد مغذی در خاک می‌شود که به نوبه خود منجر به افزایش قطر یقه می‌شود (Masilamani et al., 2023). نتایج مشابهی در پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال، در پژوهشی که توسط

۵۱/۳) روز) شد. همچنین، جهت‌گیری افقی بذرها بهترین نتایج رشد را داشت و ۳۲/۵ درصد از نهال‌ها برای پیوند مناسب بودند، درحالی‌که در جهت‌گیری عمودی این مقدار تنها ۲۰ درصد بود. این یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت عمق کم و جهت‌گیری افقی در بهبود جوانه‌زنی و رشد نهال‌ها است.

نتایج نشان داد که بستر کاشت ممکن است تأثیر معنی‌داری بر قطر یقه نهال‌ها داشته باشد، به‌طوری‌که بستر دو پتانسیل بالاتری برای رشد ارائه می‌دهد. اگرچه در این پژوهش اندازه‌گیری‌های دقیقی در مورد ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترها انجام نشده است، این یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارند. به‌ویژه، بسترهایی که ظرفیت نگهداری آب و تهویه بهتری دارند، به‌طور فرضی می‌توانند رشد ریشه‌ها را تسهیل کرده و باعث افزایش قطر یقه شوند. در پژوهشی که توسط Pérez-Ramos et al. (2017) انجام شد، تأثیر مثبت بسترهای حاوی مواد آلی بیشتر بر رشد نهال‌های بلوط تأیید شد، که با نتایج پژوهش حاضر سازگاری دارد. در پژوهشی که توسط Page-Dumroese et al. (1990) انجام شد، تأثیر مثبت بسترهای حاوی مواد آلی بیشتر بر رشد نهال‌های *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco تأیید شد، که با نتایج پژوهش حاضر سازگاری دارد. در این پژوهش، نشان داده شد که بسترهای غنی از مواد آلی به‌طور زیادی به رشد بهتر نهال‌های این درخت کمک می‌کنند. بنابراین، بسترهای حاوی مواد آلی بهبود شرایط رشد نهال‌ها را تسهیل کرده و می‌توانند نقش مهمی در موفقیت بازسازی جنگل‌ها در شرایط مختلف ایفا کنند.

ارتفاع نهال

روش کاشت بذر به‌طور معنی‌داری بر ارتفاع نهال‌های بلوط سفید تأثیر داشت. بیشترین ارتفاع نهال‌ها در روش

کاشت افقی مشاهده شد. این امر ممکن است به‌دلیل توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای در این حالت باشد، که به نهال‌ها امکان جذب بیشتر آب و مواد مغذی را می‌دهد (Masilamani et al., 2023). افزایش ارتفاع نهال‌ها در کاشت افقی نشان‌دهنده بهبود شرایط رشد و دسترسی بیشتر به منابع مورد نیاز برای فتوسنتز و توسعه نهال‌هاست. این یافته‌ها با نتایج پژوهشی که توسط Masilamani et al. (2023) انجام شد، هم‌خوانی دارد. در آن پژوهش، کاشت افقی بذرها باعث افزایش قابل توجهی در ارتفاع نهال‌های چندین گونه جنگلی شد.

طول ریشه

طول ریشه نهال‌ها نیز تحت تأثیر روش کاشت بذرها قرار گرفت. بیشترین طول ریشه‌ها در روش کاشت افقی مشاهده شد. این امر ممکن است به‌دلیل فضای بیشتر و عدم وجود موانع فیزیکی برای توسعه ریشه‌ها در این حالت باشد (Masilamani et al., 2023). رشد بهتر ریشه‌ها در روش کاشت افقی می‌تواند به افزایش دسترسی نهال‌ها به منابع زیرزمینی و در نتیجه افزایش طول ریشه منجر شود. پژوهش‌های دیگری نیز تأیید کرده‌اند که روش کاشت افقی به‌دلیل ایجاد شرایط مناسب‌تر برای توسعه ریشه، می‌تواند منجر به افزایش طول ریشه شود. به‌عنوان مثال، در پژوهشی که توسط Khan et al. (2012) انجام شد، کاشت افقی باعث افزایش معنادار طول ریشه در چندین گونه درختی شد.

بستر کاشت و ارتفاع نهال و طول ریشه

اگرچه در این پژوهش تأثیر معنادار بستر کاشت بر ارتفاع نهال و طول ریشه اندازه‌گیری نشد، برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تأثیر بستر کاشت بر این ویژگی‌ها ممکن است بسته به شرایط خاص محیطی و ترکیب خاک متفاوت باشد. این تحلیل با نتایج دیگر پژوهش‌ها هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهند ویژگی‌های

فیزیکی و شیمیایی بسترها می‌توانند بر رشد نهال‌ها تأثیرگذار باشند. به‌عنوان مثال، پژوهش Kholkhal & Benmahioul (2020) نشان داد که در شرایط محیطی مختلف، تأثیر بستر کاشت بر رشد نهال‌ها متفاوت است و ممکن است در برخی موارد معنی‌دار نباشد.

صفات جوانه‌زنی

نتایج پژوهش نشان داد که روش کاشت تأثیر بسزایی بر درصد جوانه‌زنی دارد. کاشت افقی و رو به بالا بهترین شرایط را برای جوانه‌زنی فراهم کرد (۸۶ درصد)، درحالی‌که کاشت رو به پایین به‌طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی کمتری داشت (۳۱ درصد). این نتایج ممکن است به دلیل تفاوت در شرایط فیزیکی خاک، مانند فشردگی و تهویه و همچنین دسترسی بذرها به نور و آب باشد. در حالت افقی و رو به بالا، بذرها به‌طور مناسب‌تری در معرض رطوبت و دمای بهینه قرار می‌گیرند که موجب بهبود جوانه‌زنی می‌شود. در مقابل، کاشت رو به پایین ممکن است باعث تجمع رطوبت بیش از حد یا فشار خاک بیشتر روی بذرها شود که باعث کاهش توانایی جوانه‌زنی می‌شود (Masilamani et al., 2023).

نتایج همچنین نشان دادند که بستر شاهد و بستر دو درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به بستر یک داشتند. اگرچه این اختلاف می‌تواند به دلیل شرایط بهتر رطوبت، تهویه و مواد مغذی موجود در بستر شاهد و بستر دو باشد، باید توجه داشت که اندازه‌گیری‌های دقیقی از این ویژگی‌ها در این پژوهش انجام نشد. بنابراین، این تحلیل به‌عنوان یک فرضیه بر اساس پژوهش‌های پیشین و تفاوت‌های مشاهده‌شده در درصد جوانه‌زنی ارائه شده است. این موضوع نشان می‌دهد که انتخاب بستر مناسب کاشت نیز در افزایش درصد جوانه‌زنی نقش کلیدی دارد. بر اساس نتایج، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) در بستر شاهد و کاشت افقی مشاهده شد.

این ترکیب بهینه می‌تواند نشان‌دهنده تعامل مثبت بین عوامل بستر و روش کاشت باشد. به‌عبارت دیگر، شرایط بهینه بستر و روش کاشت می‌تواند به‌طور متقابل بر افزایش درصد جوانه‌زنی تأثیر بگذارد. در مقابل، کمترین درصد جوانه‌زنی (۱۳ درصد) در بستر یک و کاشت رو به پایین دیده شد که به وضوح نشان‌دهنده تأثیر منفی این ترکیب است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش به‌طور کلی نشان می‌دهد که روش کاشت افقی بذرها بهترین تأثیر را بر روی رشد نهال‌های بلوط سفید از نظر قطر یقه، ارتفاع نهال و طول ریشه دارد. از سوی دیگر، بستر کاشت نیز تأثیر مهمی بر رشد این گونه دارد، اما این تأثیر بسته به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر متفاوت است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، توصیه می‌شود که در برنامه‌های احیای جنگل‌ها و کاشت بلوط سفید از روش کاشت افقی بذرها استفاده شود تا بهترین نتایج در رشد و توسعه نهال‌ها به‌دست آید. همچنین انتخاب بستر مناسب با ظرفیت نگهداری آب بالا می‌تواند به بهبود عملکرد رشد نهال‌ها کمک کند.

همچنین، این پژوهش نشان داد که روش و بستر کاشت به‌طور معناداری بر درصد جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارند. نتایج به‌دست‌آمده تأکید می‌کنند که کاشت افقی و رو به بالا به‌خصوص در بسترهای بهینه مانند بستری با نسبت مساوی خاک، کود و ماسه، می‌تواند جوانه‌زنی را به حداکثر برساند. از سوی دیگر، کاشت رو به پایین و استفاده از بسترهای نامناسب، می‌تواند به کاهش زیادی در جوانه‌زنی منجر شود. این نتایج می‌تواند برای محققان حوزه جنگلداری و همچنین کشاورزان که در زمینه تولید نهال درختان جنگلی فعالیت می‌کنند، به‌عنوان راهنمایی در بهبود روش‌های کاشت و انتخاب بستر مناسب مفید باشد.

References

- Beygi Heidarlou, H.; Hatami Bashlanboshlu, A.; Sharifi, P.; Gholamzadeh Bazarbash, M., Remote sensing-based drought assessment using vegetation and LST indices in Hyrcanian forests of Iran. Presented at 6th National Forest Conference of Iran, Tehran, Iran, December 24-25, 2024; p 13. (In Persian)
- Brito, J. M. C.; Lopes, R.; Machado, A. M. V.; Guerrero, C. A. C.; Faleiro, L.; Beltrao, J. Sewage sludge as a horticultural substrate. *Biomedical and Life Sciences* **2007**, *86*, 205-286.
- Brudvig, L. A.; Catano, C. P., Prediction and Uncertainty in Restoration Science. *Restoration Ecology* **2024**, *32* (8), e13380.
- Dostálek, J.; Weber, M.; Matula, S.; Frantík, T. Forest stand restoration in the agricultural landscape: the effect of different methods of planting establishment. *Ecological Engineering* **2007**, *29* (1), 77-86.
- Fasona, M. J.; Akintuyi, A. O.; Adeonipekun, P. A.; Akoso, T. M.; Udofia, S. K.; Agboola, O. O.; Ogundipe, O. T., Recent Trends in Land-Use and Cover Change and Deforestation in South-West Nigeria. *GeoJournal* **2022**, *87* (3), 1411-1437.
- International Seed Testing Association (ISTA). International Rules for Seed Testing. *Seed Science and Technology* **2011**, *13*, 299-513.
- Khademi, A.; Adeli, E.; Babaei, S.; Mattaji, A. Study of afforestation (Khojin Forest park & Hiroabad) in Khalkhal area & present adaptable species. *Journal of Agricultural Sciences* **2005**, *11* (4), 63-73. (In Persian)
- Khan, M. B.; Yousaf, F.; Hussain, M.; Haq, M. W.; Lee, D. J.; Farooq, M. Influence of planting methods on root development, crop productivity, and water use efficiency in maize hybrids. *Chilean Journal of Agricultural Research* **2012**, *72* (4), 556-563.
- Kholkhal, D.; Benmahioul, B., Effects of Substrate on the Germination and seedling growth of *Quercus suber* L. *Biodiversity Research and Conservation* **2021**, *64* (1), 7-14.
- Lesiv, M.; Schepaschenko, D.; Buchhorn, M.; See, L.; Dürauer, M.; Georgieva, I.; Fritz, S., Global forest management data for 2015 at a 100 m resolution [online]; *Scientific Data* **2022**, *9* (1), 199. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01199-9> (accessed Jan 20, 2025).
- Liu, H.; Xu, C.; Allen, C. D.; Hartmann, H.; Wei, X.; Yakir, D.; Yu, P., Nature-based framework for sustainable afforestation in global drylands under changing climate. *Global Change Biology* **2022**, *28* (7), 2202-2220.
- Masilamani, P.; Venkatesan, S.; Navamaniraj, K. N.; Rajarathinam, P.; Alagesan, A.; Thiagu, K., Impact of the orientation of seed placement and depth of its sowing on germination: a review. *Journal of Applied and Natural Science* **2023**, *15* (1), 314-324.
- Nambiar, E. K. S.; Fife, D. N. Growth and nutrient retranslocation in needles of radiata pine in relation to nitrogen supply. *Annals of Botany* **1987**, *60* (2), 147-156.
- Page-Dumroese, D. S.; Graham, R. T.; Harvey, A. E.; Loewenstein, H., Soil source, seed source, and organic-matter content effects on douglas-fir seedling growth. *Soil Science Society of America Journal* **1990**, *54* (1), 229-233.
- Pérez-Ramos, I. M.; Gómez-Aparicio, L.; Villar, R.; García, L. V.; Maranon, T. Seedling growth and morphology of three oak species along field resource gradients and seed mass variation: a seedling age-dependent response. *Journal of Vegetation Science* **2010**, *21* (3), 419-437.
- Piva, A. L.; Mezzalira, E. J.; Santin, A.; Schwantes, D.; Klein, J.; Rampim, L.; Nava, G. A., Emergence and initial development of cape gooseberry (*Physalis peruviana*) seedlings with different substrate compositions. *African Journal of Agricultural Research* **2013**, *8* (49), 6579-6584.
- Preece, N. D.; van Oosterzee, P.; Lawes, M. J., Reforestation success can be enhanced by improving tree planting methods. *Journal of Environmental Management* **2023**, *336*, 117645.
- Sagheb Talebi, Kh.; Sajedi, T.; Pourhashemi, M. Forests of Iran: a treasure from the past, a hope for the future; Springer: **2014**; p 152.
- Sasanifar, S.; Alijanpour, A.; Shafiei, A. B.; Rad, J. E.; Molaei, M.; Álvarez-Álvarez, P., Understanding how forest ecosystem services are affected by conservation practices and differences in elevation: a study in the Arasbaran Biosphere Reserve, Iran. *Ecological Engineering* **2024**, *203*, 107230.
- Shabaniyan, N.; Heydari, M.; Zeinivand, M. Effect of afforestation with broad leaved and

- conifer species on herbaceous diversity and some physico-chemical properties of soil (case study: Dushan afforestation-Sanandaj). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2010**, 18 (3), 437-446. (In Persian)
- Simmons, M. T.; Venhaus, H. C.; Windhager, S. Exploiting the attributes of regional ecosystems for landscape design: the role of ecological restoration in ecological engineering. *Ecological Engineering* **2007**, 30 (3), 201-205. (In Persian)
- Tantray, Y. R.; Wani, M. S.; Hussain, A. Genus *Quercus*: an overview. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering* **2017**, 6 (8), 1880-1886.
- Thongtip, A.; Mosaleeyanon, K.; Korinsak, S.; Toojinda, T.; Darwell, C. T.; Chutimanukul, P.; Chutimanukul, P., Promotion of seed germination and early plant growth by KNO₃ and light spectra in *Ocimum tenuiflorum* using a plant factory. *Scientific Reports* **2022**, 12 (1), 6995.
- Vospornik, S.; Heym, M.; Pretzsch, H.; Pach, M.; Steckel, M.; Aldea, J.; Wolff, B., Tree species growth response to climate in mixtures of *Quercus robur/Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* across Europe—a dynamic, sensitive equilibrium. *Forest Ecology and Management* **2023**, 530, 120753.
- Worldometer, Forest Area by Country. Retrieved from <https://www.worldometers.info/food-agriculture/forest-by-country/>
- Yao, S. D. M.; Diarrassouba, N.; Diallo, R.; Koffi, E. B. Z.; Dago, D. N.; Fofana, I. J., Effects of sowing depth and seed orientation on the germination and seedling growth in Shea tree (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn.) for rootstock production in nursery. *Research in Plant Sciences* **2021**, 9, 13-22.
- Yıldız, O.; Eşen, D.; Sargıncı, M.; Çetin, B.; Toprak, B.; Dönmez, A. H., Restoration success in afforestation sites established at different times in arid lands of central Anatolia. *Forest Ecology and Management* **2022**, 503, 119808.
- Zhang, S.; Zhou, Y.; Yu, R.; Xu, X.; Xu, M.; Li, G.; Yang, Y., China's biodiversity conservation in the process of implementing the sustainable development goals (SDGs). *Journal of Cleaner Production* **2022**, 338, 130595.