Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 13, Issue 1, 2025 p: 14-25

OPEN ACCESS

Research Paper

Assessing Genetic Diversity and Heritability in Growth Traits of *Quercus Brantii* from Different Provenances of Zagros Forests in Field Trials

Khaled Karimi Hajipomagh[1], Roghayeh Zolfaghari[2], Payam Fayyaz[3] and Sohrab Alvaninejad[4]

1- M.Sc., Department of Forestry, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Yasouj, Yasouj, Iran
2- Associate professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Yasouj, Yasouj, Iran, (Corresponding Author: Zolfaghari@yu.ac.ir)
3- Associate professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Yasouj, Yasouj, Iran
4- Assistant professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Yasouj, Yasouj, Iran

Received:18 September, 2024 Revised: 11 November, 2024 Accepted: 21 December, 2024

Extended Abstract

Background: *Quercus brantii* Lindl., as the dominant species of Zagros forests, has a high ecological and social value. The study of genetic and phenotypic diversity is critical and necessary for understanding the adaptation of forest species to environmental stresses, such as climate change, and it can cause the preservation of genetic resources, restoration, and breeding of forest trees. A provenance trial, in which the seeds of mother trees from populations of different geographical regions are planted in the same experimental environment, is one of the ways to study intraspecific adaptive genetic diversity.

Methods: Three provinces from northwest to southwest of Zagros, Baneh (north), Khorramabad (Middle), and Yasuj (South) were selected for research. The mother trees from Khorramabad province were selected from three different altitudes (lower, middle, and upper), and Yasuj provenance from two forest stands (Sapidar and Dehbaraftab). A total of 60 mother trees from all provenances were selected and their seeds were randomly planted in the same conditions in the Yasuj region in November. After the germination of the seeds in the spring of the next year, quantitative and qualitative growth traits, such as height, diameter, volume, the number of leaves, diameter, and height growth during summer, vitality, bending, the number of branches, and survival of *Q. brantii* seedlings, were measured and calculated in two times, June (before the dry season) and late October (the end of the growing season). Then, quantitative genetic parameters, such as the coefficient of additive genetic variation (CVg), individual narrow-sense heritability (h2), and the coefficient of quantitative genetic differentiation (Qst) of different traits, were calculated and compared in the total provenance and each provenance separately.

Results: The variance components between the mother trees in different traits were from 4.7% in the number of branches and bending to 25% for the volume, vitality, and survival of the seedlings. The variance components percentage of traits in different provenances was less than mother trees. It was observed less than 5% in traits, such as bending, diameter, and height growth during the dry season, the number of branches, survival, and the leaf number of seedlings, respectively. However, the height and volume of seedlings, especially in October, had a higher variance in the provenance level (about 20%). The heritability ranged from 0.15 to 0.74 for different trains. The lowest and highest values of CVg were observed in the number of branches and survival percentage, respectively. However, the lowest (less than 0.05) of Qst was observed in qualitative traits, growth during the dry season, vitality, and survival, and the highest value was observed in the height of seedlings in October (0.6). The comparison between different provenances for genetic parameters also showed large differences in heritability, the genetic diversity coefficient, and yield in all the traits measured in the seedlings, except for the height in June. The heritability of vegetative traits increased from June to October in the low-altitude of Khorramabad and Sepidar-Yasuj, but it was the opposite in the rest of the provenances. Seedlings of Baneh showed the highest values of quantitative growth traits, such as height, diameter, and volume, among the studied provenances, while the performance, CVg, and heritability of this provenance for growth during the dry season, vitality, and survival were lowest compared to the other provenances, especially the low-altitude of Khorramabad. Among the studied provenances, the middle and

Copyright ©2025 Karimi Hajipomagh et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, 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.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

upper altitudes of Khorramabad showed the lowest yield, genetic diversity, and heritability in most of the measured traits. Despite the low performance and survival rate of Dehbaraftab-Yasuj, it had high genetic diversity and heritability, while the Sepidar population of Yasoj showed higher adaptation due to a high survival percentage, but its genetic diversity was low .

Conclusion: The results of this research revealed highly significant differences in the phenotypic and genetic variability of traits among provenances. Quantitative growth traits, such as the height, diameter, and volume of *Q. brantii* seedlings, can be used for the initial selection of seedlings due to their medium and high heritability values (more than 0.4) despite qualitative traits such as bending and the number of branches. Moreover, the low altitude of Khorramabad has higher adaptability to climate change due to the highest survival rate, heritability, and CVg of this provenance in the drier planting site (Yasuj). Therefore, it seems that this provenance has a higher adaptability to climate change, and collecting seeds of suitable mothers in this provenance can increase the adaptability of seedlings and reforestation in the face of global climate changes in the future. On the other hand, based on the results of this research, it can be concluded that the local population does not always have more chances to establish and grow, and factors other than geographical factors, such as climatic factors and rainfall, can be effective. Therefore, it is suggested to study the seeds of different provenances to determine the best provenance for reforestation in each region. Furthermore, since the results showed that the genetic difference between the mother trees is more than the provenance, and due to the high genetic diversity and adaptation of Dehbaraftab-Yasuj seedlings to the climate of Yasuj, the seeds of suitable mother trees in this provenance can be used for the restoration program of Yasuj.

Keywords: Climate Change, Growth Traits, Heritability, Natural Selection, Zagros Forests

How to Cite This Article: Karimi Hajipomagh, kh., Zolfaghari, R., Fayyaz, P & Alvaninejad, S. (2025) Assessing Genetic Diversity and Heritability in Growth Traits of Quercus Brantii from Different Provenances of Zagros Forests in Field Trials. *Ecol Iran For,* 13(1), 14-25. DOI: 10.61186/ifej.2024.565

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات رویشی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) حاصل از پرووانس‌های مختلف جنگل زاگرس در شرایط مزرعه‌ای

خالد کریمی حاجی پمق[۱]، رقیه ذوالفقاری[۲]، پیام فیاض[۳] و سهراب الوانی‌نژاد[۴]

۱- کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، (نویسنده مسوول: Zolfaghari@yu.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۴- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۳۱
صفحه ۱۴ تا ۲۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: بلوط ایرانی به‌عنوان گونه غالب جنگل‌های زاگرس دارای ارزش بوم‌شناختی و اجتماعی بالایی است. مطالعه تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای فهم میزان سازگاری گونه‌های جنگلی در برابر تنش‌های محیطی مانند تغییرات اقلیمی بسیار مهم و ضروری است و می‌تواند سبب حفاظت منابع ژنی، احیاء و اصلاح درختان جنگلی گردد. یکی از راه‌های مطالعه تنوع ژنتیکی تطبیقی درون‌گونه‌ای، انجام آزمایش‌های مبداء بذر است که در آن بذر درختان مادری جمعیت‌های مناطق جغرافیایی مختلف در یک محیط آزمایشی کاشته می‌شوند.

مواد و روش‌ها: سه پرووانس از شمال غرب تا جنوب غرب زاگرس، بانه (شمالی)، خرم‌آباد (میانی) و یاسوج (جنوبی) برای تحقیق انتخاب شدند. پرووانس خرم‌آباد کمترین میزان بارندگی و متوسط دمای سالیانه را در بین پرووانس‌های مورد مطالعه داشت. بذور درختان مادری در پرووانس خرم‌آباد از سه ارتفاع مختلف (پایین، میانی و بالا) و در پرووانس یاسوج از دو توده جنگلی (سپیدار و ده‌برآفتاب) جمع‌آوری گردیدند و در مجموع ۶۰ درخت مادری از کلیه پرووانس‌ها انتخاب و بذور آنها در یک شرایط یکسان در منطقه یاسوج به‌طور تصادفی در آذرماه کاشته شد. پس از سبز شدن بذور در بهار سال بعد، صفات کمّی و کیفی رویشی مانند ارتفاع، قطر، حجم، تعداد برگ، رویش قطری و ارتفاعی در طی تابستان، شادابی، خمیدگی، تعداد شاخه و زنده‌مانی در نهال‌های بلوط ایرانی در دو زمان خردادماه (قبل از فصل خشک) و اواخر مهرماه (پایان فصل رویش) اندازه‌گیری و محاسبه شدند. پارامترهای ژنتیکی کمّی مانند درصد واریانس، وراثت‌پذیری، تنوع ژنتیکی و فنوتیپی در سطح کل پرووانس‌ها و هر پرووانس به‌طور جداگانه محاسبه و مقایسه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که واریانس بین درختان مادری در صفات مختلف از ۴/۷ درصد در تعداد شاخه و خمیدگی تا ۲۵ درصد برای حجم، شادابی و زنده‌مانی نهال‌ها وجود داشت. درصد واریانس صفات در پرووانس‌های مختلف کمتر از درختان مادری بود و کمتر از ۵ درصد به‌ترتیب در صفاتی مانند خمیدگی، رویش قطری و ارتفاعی در طی فصل خشک، تعداد شاخه، زنده‌مانی و تعداد برگ نهال‌ها مشاهده گردید. اما ارتفاع و حجم نهال به‌ویژه در مهرماه دارای واریانس بالاتری در سطح پرووانس بودند (حدود ۲۰٪). میزان وراثت‌پذیری نیز از ۰/۱۵ — ۰/۷۴ در صفات مختلف مشاهده شد. کمترین و بیشترین میزان ضریب تنوع ژنتیکی به‌ترتیب در تعداد شاخه و درصد زنده‌مانی مشاهده گردید، اما میزان تنوع فنوتیپی در صفات کیفی، رویش در طی فصل خشک، شادابی و زنده‌مانی کمترین مقدار بود (کمتر از ۰/۰۵) و بیشترین آن در ارتفاع نهال مهرماه مشاهده شد (۰/۶). مقایسه بین پرووانس‌های مختلف از نظر پارامترهای ژنتیکی محاسبه شده نیز نشان داد که همه صفات اندازه‌گیری شده در نهال، به‌جز ارتفاع خردادماه، دارای تفاوت زیادی از نظر وراثت‌پذیری، ضریب تنوع ژنتیکی و عملکرد بودند. میزان وراثت‌پذیری صفات رویشی در پرووانس‌های ارتفاع پایین خرم‌آباد و سپیدار یاسوج از خرداد به مهرماه افزایش یافت اما در بقیه پرووانس‌ها برعکس بود. همچنین، نهال‌های پرووانس بانه از نظر صفات رویشی کمی مانند ارتفاع، قطر و حجم بالاترین مقادیر را بین پرووانس‌های مورد مطالعه نشان دادند، اما عملکرد، تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری رویش در طی فصل خشک، شادابی و درصد زنده‌مانی در این پرووانس نسبت به سایر پرووانس‌ها به‌ویژه ارتفاع پایین خرم‌آباد کمتر بود. ارتفاعات میانی و بالای خرم‌آباد نیز کمترین عملکرد، تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری را در اکثر صفات مورد بررسی بین پرووانس‌های مورد مطالعه نشان دادند. پرووانس ده‌برآفتاب یاسوج نیز علی‌رغم عملکرد رویشی و زنده‌مانی پایین دارای تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری بالا بود، در حالی‌که جمعیت سپیدار یاسوج سازگاری بالاتر (از نظر درصد زنده‌مانی) نشان داد اما تنوع ژنتیکی آن پایین‌تر بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق مشخص می‌کند که تفاوت‌های زیادی در بین پرووانس‌ها از نظر تنوع فنوتیپی و ژنتیکی وجود دارد. صفات رویشی کمّی مانند حجم نهال، قطر یقه و ارتفاع نهال‌های بلوط ایرانی به دلیل وراثت‌پذیری متوسط و بالا (بیشتر از ۰/۴) بر خلاف صفات کیفی، مانند خمیدگی و تعداد شاخه، می‌توانند برای گزینش اولیه نهال‌ها استفاده شوند. همچنین، از آنجا که نهال‌های پرووانس ارتفاع پایین خرم‌آباد درصد زنده‌مانی بالا همراه با وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی بالا در محل کاشت خشک‌تر (یاسوج) داشتند، بنابراین به‌نظر می‌رسد این پرووانس دارای سازگاری بالاتری نسبت به تغییرات اقلیمی است و می‌توان با جمع‌آوری بذر درختان مادری مناسب از آن، سازگاری نهال‌ها و توده‌های جنگلی احیاء شده در برابر تغییرات اقلیمی را در آینده افزایش داد. از طرف دیگر، بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان بیان نمود که همواره جمعیت محلی شانس بیشتری برای استقرار و رویش ندارند و عوامل دیگری غیر از عوامل جغرافیایی، مانند عوامل اقلیمی و بارندگی، می‌توانند مؤثر باشند. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد تا در عملیات جنگل‌کاری، بذور پرووانس‌های مختلف بررسی شوند تا بهترین پرووانس برای هر منطقه مشخص گردد. همچنین، با توجه به این که نتایج نشانگر تفاوت ژنتیکی بین درختان مادری بیشتر از پرووانس است و نیز بالا بودن تنوع ژنتیکی در پرووانس ده‌برآفتاب یاسوج و سازگاری آن با اقلیم یاسوج، می‌توان از بذر درختان مادری مناسب در این پرووانس در برنامه احیاء جنگل‌های یاسوج استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: انتخاب طبیعی، تغییرات اقلیمی، جنگل زاگرس، صفات رویشی، وراثت‌پذیری

مقدمه

امروزه در دنیا بوم‌سازگان‌های جنگلی با فشارهای زیست‌محیطی فزاینده ناشی از عوامل اقلیمی و انسانی مواجه هستند (IPCC, 2014). انتظار می‌رود که در مناطق مدیترانه‌ای گرمایش جهانی اثرات نامطلوبی بر بقای درختان داشته باشد و سبب تشدید شدت خشک‌سالی و افزایش شیوع آفات و

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

بیماری‌ها گردد، اما منابع ژنتیکی جنگل را می‌توان به‌عنوان ابزاری برای مقابله با تهدیدات غیرزیستی و زیستی مورد استفاده قرار داد (Sampaio *et al.,* 2019). مطالعه بر روی درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس نشان داد که به‌ترتیب تغییر اقلیم با بیشترین اثر و سپس آفات و بیماری‌ها، عوامل انسانی و دام، آلودگی هوا، کیفیت رویشگاه و مشخصات کمی و کیفی درخت به‌همراه خصوصیات جنگل‌شناسی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خشکیدگی هستند (Karamian & mirzaei, 2020). گونه‌ها از طریق تغییرات فنوتیپی و شکل‌پذیری که در طی زمان و در اثر انتخاب طبیعی ایجاد می‌شوند، می‌توانند با تغییرات محیطی استرس‌زا در سطح فرد، جمعیت و جامعه گیاهی سازگار گردند (Lindner *et al.* 2010). از طرف دیگر، ظرفیت گونه‌ها برای سازگاری از طریق انتخاب طبیعی به تنوع ژنتیکی سازگاری (Adaptive genetic variability) آن‌ها بستگی دارد (Bogdan *et al.,* 2017). علاوه‌بر این‌ها، با توجه به شرایط محیطی، پاسخ فنوتیپی، ژنوتیپی و اثر متقابل ژنتیک در محیط هم می‌تواند باعث تغییر در میزان تنوع یک صفت در افراد یک گونه شود (George *et al.,* 2020). از آنجاکه بذور جنگلی سازگار به شرایط استرس‌زا می‌توانند سبب افزایش قدرت رقابت و زنده‌مانی گونه‌های درختی گردند، در این راستا شناسایی پرووانس‌هایی که چنین فشارهای طبیعی را نیز در گذشته تجربه کرده‌اند و تنوع ژنتیکی یا واریانس ژنتیکی در آن صفات سازگاری در آنها مشاهده گردد، مطلوب هستند و می‌توانند به‌عنوان منبع بذر مناسب در برنامه‌های جنگل‌کاری استفاده شوند (Harfouche *et al.,* 2012). از طرف دیگر، معمولاً فرض بر این است که جمعیت محلی شانس بیشتری برای تحمل شرایط محل کاشت خود را دارند، اما از آنجاکه محیط به‌دلیل گرمایش کره زمین به‌سرعت در حال تغییر است، این نگرانی را ایجاد می‌کند که آیا درختان می‌توانند با این شرایط سازگار شوند (Higgins & Harte, 2006). بنابراین، نیاز است تا گونه‌های درختی به‌روش‌های مختلف، مانند مهاجرت (Loss *et al.,* 2011) و یا تغییرات فنوتیپی و نیز سازگاری ژنتیکی، این تغییرات سریع را تحمل کنند (Valladares *et al.,* 2007). از آنجا که سرعت مهاجرت درختان نسبت به تغییرات محیطی مثل گرمایش کره زمین بسیار آهسته‌تر است، بنابراین این کار نمی‌تواند باعث حفظ گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها گردد (Bussotti *et al.,* 2015). اما شناسایی و تفکیک پاسخ‌های سازگاری و انعطاف‌پذیری (Plastic) در درختان برای مقابله با تغییر اقلیم می‌تواند از اهداف حفاظتی مهم در مدیریت جنگل‌ها باشد. تنوع ژنتیکی سازگار در صورتی‌که قابل وراثت باشد و بتواند از نسلی به نسل دیگر منتقل شود و به‌عبارتی وراثت‌پذیری آن بالا باشد، مناسب است. همچنین تفاوت فنوتیپی بالا (QST) در بین جمعیت‌ها نیز دلالت بر وجود ژنوتیپ‌های از پیش سازگار شده دارد و می‌تواند برای جریان ژن و مهاجرت نیز کمک نماید (Aitken & Bemmels, 2016). رویکردهای مختلفی برای بررسی پاسخ‌های سازگاری یا انعطاف‌پذیری در گیاهان استفاده شده‌اند، مانند مطالعه تنوع صفات در سطح پراکنش آن‌ها و تحقیقاتی در زمینه آزمون پرووانس که در آن نهال‌های پرووانس‌های مختلف با شرایط اقلیمی متفاوت از یک گونه در شرایط محیطی برابر رشد می‌کنند که می‌تواند یک منبع ارزشمند برای ارزیابی الگو و سطوح تنوع ژنتیکی در بین و درون جمعیت‌های درختی باشد (George *et al.,* 2020). هم‌چنین، درک اینکه چگونه اقلیم باعث تغییر در فنوتیپ‌ها می‌گردد و آیا این تغییرات تحت کنترل ژنتیکی هستند یا خیر را می‌توان به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای مطالعه سازگاری جنگل در پاسخ به تغییرات آب و هوایی استفاده کرد (Pâques, 2013). اگرچه پرووانس بخش مهمی از تغییرات فنوتیپی را شامل می‌گردد و استفاده از صفات عملکردی مهم، مانند رویش و زنده‌مانی، در سازگاری به خشک‌سالی به ما کمک می‌کند، از طرف دیگر فراتر از سطح پرووانس می‌توان واریانس افزایشی و پلاستیستی مربوط به اثر درخت مادری را هم تشخیص داد. این موضوع امکان تفکیک تنوع سازگاری در سطح پرووانس و تک‌درخت را به ما می‌دهد که برای مدیریت آینده در برابر تغییرات اقلیمی می‌تواند به‌کار رود (George *et al.,* 2020).

گونه بلوط ایرانی به‌عنوان گونه غالب جنگل‌های زاگرس دارای پراکنش وسیع از شمال غرب تا جنوب غرب است و می‌تواند دارای سازگاری بالقوه به تغییرات آب و هوایی باشد، اما اطلاعات ما در ارتباط با تغییرات یا تنوع ژنتیکی مرتبط با سازگاری جوامع به شرایط اقلیمی متفاوت بسیار اندک است. اگرچه مطالعاتی در زمینه وراثت‌پذیری صفات رویشی گونه بلوط ایرانی انجام شده است (Mirzaie-Nodoushan *et al.,* 2018; Alvani nezhad *et al.,* 2008)، اما همه این مطالعات گزارش‌شده مربوط به یک منطقه اقلیمی و به‌شکل محدود هستند و به ما اجازه توصیف کامل محدوده توزیع طبیعی این گونه را نمی‌دهند. بنابراین، نیاز است تا تحقیقاتی در زمینه سازگاری محلی و شکل‌پذیری فنوتیپی صفات مهم در محدوده جغرافیایی و اقلیمی گسترده‌تر مورد بررسی قرار گیرند. از آنجاکه آب عامل اصلی محدودکننده در بقا و رشد گیاه به ویژه در سنین نهالی است (Larcher, 2000)، انتخاب پرووانس‌های با میزان بارندگی یا ضریب خشکی متفاوت می‌تواند مؤثرتر باشد. با توجه به موارد ذکر شده، اهداف این تحقیق شامل موارد زیر است:

۱- تعیین میزان وراثت‌پذیری صفات کمّی و کیفی مختلف در نهال بلوط ایرانی جهت تعیین مناسب‌ترین صفات در انتخاب زود هنگام نهال برتر در مرحله‌ی ابتدایی رشد

۲. شناسایی و ارزیابی تنوع ژنتیکی و فنوتیپی صفات مهم از نظر سازگاری به خشکی برای معرفی بهترین پرووانس و درخت مادری جهت عملیات احیاء جنگل‌های زاگرس

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، بذور ۶۰ درخت مادری از سه پرووانس واقع در زاگرس شمالی (بانه)، میانی (خرم‌آباد) و جنوبی (یاسوج) جمع‌آوری گردید. این سه پرووانس از نظر اقلیمی و جغرافیایی دارای تفاوت‌های زیادی بودند که محدوده پراکنش این گونه را شامل می‌گردید و مشخصات آنها و تعداد درختان انتخاب شده در هر پرووانس در جدول آورده شده است (جدول ۱). در انتخاب درختان در هر جمعیت نیز سعی گردید تا حداقل ۱۰۰ متر از همدیگر فاصله داشته باشند تا از انتخاب درختان فامیل جلوگیری شود (Neophytou *et al.,* 2007).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

سپس در اواخر آذرماه همان سال، بذور هر درخت مادری با فاصله ۱۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی به فاصله ۱ متر و به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و در شرایط کاملاً یکسان در زمین زراعی در دانشگاه یاسوج کاشته شدند. نهال‌ها در طول مدت کاشت و رویش مورد آبیاری قرار نگرفتند تا همانند شرایط طبیعی در عرصه جنگلی باشد و تنها علف‌های هرز وجین شدند. سپس در خرداد و مهرماه (پس از گذراندن فصل خشک) سال بعد، برخی صفات کمی رویشی نهال‌ها، مانند ارتفاع، قطریقه، تعداد برگ، حجم تنه نهال، رویش قطری و رویش ارتفاعی (در طی خرداد تا مهرماه همان سال)، اندازه‌گیری و محاسبه شدند. همچنین صفات کیفی، مانند تعداد شاخه از بالا و پایین (به‌صورت جست) و خمیدگی (وجود یا عدم وجود) نیز ثبت شدند. درصد زنده‌مانی نهال‌ها نیز در مهرماه بر اساس تعداد نهال زنده محاسبه گردید (رابطه ۱)

$$\%SU = N_{su}/N_G$$ رابطه (۱)

که در آن در آن ٪SU = درصد زنده‌مانی، Nsu = تعداد نهال‌های زنده در مهر ۱۳۹۰، Ng = تعداد کل بذر جوانه‌زده می‌باشد. برای اندازه‌گیری ارتفاع نهال‌ها از خط‌کش با دقت میلی‌متر و قطر یقه از کولیس دیجیتالی با دقت میلی‌متر استفاده شد. حجم تنه نهال‌ها نیز با استفاده از قطر یقه و ارتفاع نهال‌ها محاسبه گردید (رابطه ۲).

$$SV = \pi D^4/_4 \times H$$ رابطه (۲)

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات اقلیمی پرووانس‌های مختلف

Table 1. Geographic and climatic charectersitics of different provenances

تعداد درخت Tree number	ضریب خشکی Drought index	میانگین دما Mean tempreature	بارندگی سالیانه Precipatation	ارتفاع از سطح دریا Altitude	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	منطقه Region	پرووانس Provenance
19	258	14	739	1600-2000	45˚ 54´ ۰	36˚ 0´ 0	آرمرده Armardeh	بانه Baneh
16				1000-1300	47 ˚56 ´10	33 ˚53 67	پایین Low	خرم‌آباد (نورآباد) Khorram Abad (Noorabad)
9	264	12	462	1300-1700	47˚ 53 ´85	33 ˚55 ´13	میانی Middle	
14				1700-2000	47˚ 51 ´ 80	33 ˚55 ´49	بالا High	
10	330	14	815	2000-2100	51˚ 30 0	30˚ 40´ 0	سپیدار Sepidar	یاسوج Yasouj
8				1600-2000	51˚ 35 0	30˚ 40´ 0	ده‌برآفتاب Dehbaraftab	

برای انجام تجزیه واریانس هریک از ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده از طریق مدل خطی رویه PROC GLM (type III) استفاده شد که در آن درختان مادری و پرووانس (هردو به‌صورت تصادفی) با طرح پایه کاملاً تصادفی آشیان شده بودند. سپس برای محاسبه واریانس ژنتیکی و محیطی از طرح آشیانه‌ای استفاده گردید که در آن واریانس کل به اثر متغیر تصادفی پرووانس، اثر متغیر تصادفی درختان مادری آشیان شده در پرووانس و خطا مطابق مدل ۱ تفکیک گردید. در مدل ۱، μ معرف میانگین کل درختان مادری برای صفت موردنظر، Pri اثر پرووانس‌ها، Pr(F)ij اثرات متقابل درختان مادری آشیان شده در پرووانس و eijk اثر خطای کل مدل هستند.

$$Y = \mu + Pri + Pr(F)ij + eijk$$ مدل (۱)

سپس، با توجه به تصادفی بودن تمام متغیرهای مستقل در مدل خطی، واریانس هریک از اجزاء از طریق امید ریاضی برآورد گردید و با استفاده از رویه VARCOMP اجزاء واریانس (واریانس کمپانت)، منابع تغییر در بین و داخل هر پرووانس برای صفات موردنظر محاسبه گردید و در صورتی‌که اجزاء واریانس (واریانس کمپانت) منفی بود در محاسبات تبدیل به صفر شدند. آنالیزهای نامبرده در بالا توسط نرم‌افزار *SPSS 16.0* انجام شدند.

بعد از محاسبه واریانس کمپانت هریک از منابع تغییر، میزان واریانس ژنتیک افزایشی (σ_A^2) در سطح کل پرووانس‌ها (رابطه ۳) و در هر پرووانس (رابطه ۴) به‌دست آمد (Rochon *et al.,* 2007). همچنین، به‌دلیل لقاح درون‌گروهی بین پایه‌های مختلف، به‌جای چهاربرابر نمودن واریانس کمپانت (واریانس ژنتیک افزایشی) از سه برابر کردن آن استفاده شد تا برآورد محتاطانه و دقیق‌تری از واریانس ژنتیک افزایشی به‌دست آید (Zolfaghari *et al.,* 2024). واریانس فنوتیپی (σ_P^2) نیز در سطح کل پرووانس‌ها (رابطه ۵) و در هر پرووانس (رابطه ۶) به‌دست آمد. از نسبت واریانس ژنتیک افزایشی به واریانس فنوتیپی نیز وراثت‌پذیری خصوصی هریک از صفات مورد بررسی محاسبه گردید.

$$\sigma_A^2 = \sigma_{pr} + 3\sigma_{Pr\,(f)}^2$$ رابطه (۳)

$$\sigma_A^2 = 3\sigma_f^2$$ رابطه (۴)

$$\sigma_P^2 = \sigma_{pr}^2 + \sigma_{Pr\,(f)}^2 + \sigma_e^2$$ رابطه (۵)

$$\sigma_P^2 = \sigma_f^2 + \sigma_e^2$$ رابطه (۶)

درصد ضریب تنوع ژنتیکی (CV_G) هر یک از صفات نیز با توجه به تغییرات ژنتیک افزایشی نسبت به میانگین هریک از صفات به‌دست‌آمد که در سطح کل پرووانس‌ها (رابطه ۷) و در هر پرووانس (رابطه ۸) محاسبه گردید.

$$CV_G = \frac{\sqrt{\sigma_{pr}^2 + 3\sigma_{Pr\,(f)}^2}}{\mu} \times 100$$ رابطه (۷)

$$CV_G = \frac{\sqrt{3\sigma_f^2}}{\mu} \times 100$$ رابطه (۸)

میزان تغییرات فنوتیپی (Q_{ST}) بین پرووانس‌ها (رابطه ۹) به‌دست آمد (Rochon *et al.,* 2007). در واقع، Qst میزان واریانس ژنتیکی هر صفت را نسبت به کل محاسبه می‌نماید و مشابه FST یا تفاوت ژنتیکی بر اساس مارکر مولکولی است

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

(Wright, 1949). همچنین، به‌جای میانگین هر صفت در هر پرووانس از مقدار Z-score (ارزش Z) آن استفاده شد (رابطه ۱۰) که در آن T μ مقدار میانگین جمعیت آماری و σ انحراف معیار جمعیت هستند. هنگامی که این مقدار مثبت باشد، یعنی Z-score بالاتر از میانگین و اگر منفی باشد، نشان دهنده کمتر بودن آن مقدار خاص از میانگین کل داده‌ها است. از آنجاکه مقدار ارزش Z برای مقایسه صفات با واحدهای مختلف و در جمعیت‌های مختلف عدد استاندارد شده را نشان می‌دهد، در این تحقیق به‌جای میانگین هر صفت استفاده گردید.

$$Q_{ST} = \frac{\sigma^2_{Pr}}{\sigma^2_{pr} + 3\sigma^2_{Pr\,(f)}}$$ رابطه (۹)

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\delta_i}$$ رابطه (۱۰)

نتایج و بحث

برآورد تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات در کلیه پرووانس‌های مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه صفات رویشی اندازه‌گیری شده به‌جزء خمیدگی نهال در بین پرووانس‌ها و درختان مادری مختلف تفاوت معنی‌داری باهم داشتند. صفاتی مانند شادابی، رشد ارتفاعی و قطری، چند شاخگی و خمیدگی دارای درصد واریانس کمتر از ۱ درصد بین پرووانس‌ها بودند. زنده‌مانی و تعداد برگ نیز واریانس پایینی بین پرووانس‌ها داشتند. اما سایر صفات رویشی، به ویژه ارتفاع و حجم نهال، دارای بالاترین میزان پرووانس در سطح پرووانس بودند. با افزایش زمان از خرداد به مهرماه نیز میزان این واریانس در سطح پرووانس برای هر دو صفت به‌میزان کمی افزایش یافت. از نظر واریانس بین درختان مادری نیز به‌ترتیب صفاتی مانند شادابی، حجم نهال، قطر یقه و ارتفاع به ویژه در خردادماه دارای بیشترین مقادیر بودند که حدود ۲۰ درصد از واریانس کل را شامل گردید (شکل ۱).

نتایج وراثت‌پذیری صفات نیز نشان داد که دامنه وراثت‌پذیری پارامترهای رویشی در بین پرووانس‌ها از ۰/۰۳ تا ۰/۹۴ به‌ترتیب برای صفات چندشاخگی از بالا و حجم نهال در خرداد ماه متغیر بود. همانند درصد واریانس درختان مادری، میزان وراثت‌پذیری صفات نیز در مرحله دوم برداشت (مهرماه) کمتر از مرحله اول (خردادماه) بود. صفاتی مانند حجم نهال، قطر یقه، شادابی، زنده‌مانی و ارتفاع نهال دارای وراثت‌پذیری بالا (بیشتر از ۰/۷) اما تعداد شاخه، خمیدگی و رویش قطری و ارتفاعی در طی فصل خشک وراثت‌پذیری خیلی پایینی داشتند. حجم نهال و زنده‌مانی علاوه بر وراثت‌پذیری بالا دارای ضریب تغییرات ژنتیکی (CVg) بالایی هم بودند. همچنین، بیشترین میزان تغییرات فنوتیپی (Qst) در ارتفاع نهال به‌ویژه در مهرماه (حدود ۶۰ درصد) مشاهده شد و کمترین نیز مربوط به شادابی، رویش قطری و ارتفاعی و خمیدگی بود (شکل ۲).

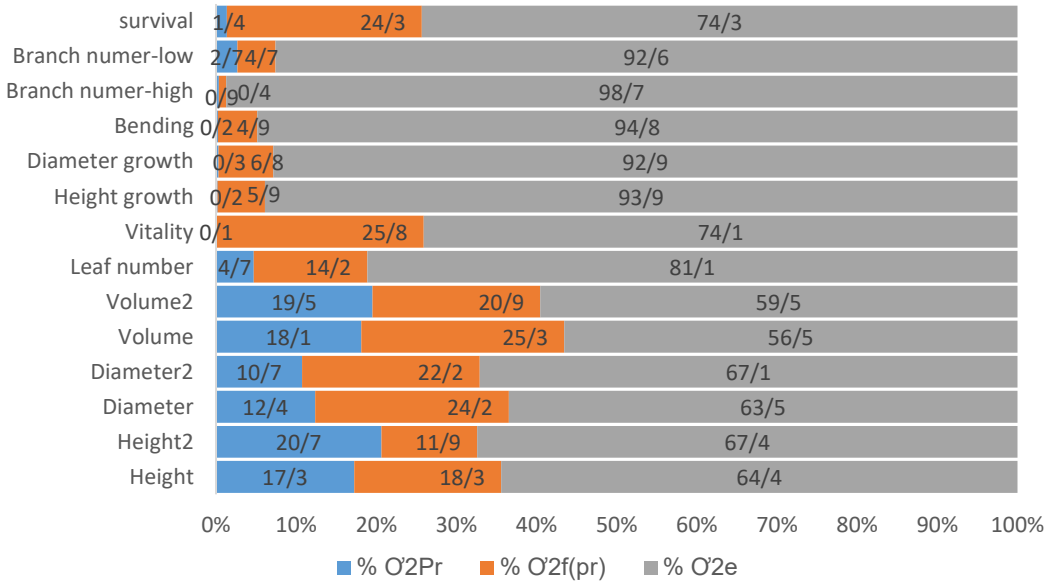
همان‌گونه که نتایج این تحقیق نشان داد، تفاوت و تغییرات فنوتیپی زیادی در اکثر صفات مورد بررسی بین پرووانس‌های بلوط ایرانی وجود داشت. مطالعات دیگر نیز بر روی گونه بلوط ایرانی و سایر گونه‌ها تفاوت‌های زیادی را در بین مبداءهای مختلف نشان داد. الوانی‌نژاد و همکاران (Alvani Nezhad *et al.*, 2019) دریافتند که تفاوت در سطح پرووانس و درخت مادری از نظر صفات رویشی مانند قطر یقه، ارتفاع و زنده‌مانی در بین نهال‌های بلوط یکساله در سطح پرووانس و درخت مادری وجود داشت. در تحقیق دیگر بر روی نهال‌های بلوط ایرانی یک جمعیت نیز تفاوت معنی‌دار بین صفات ذکر شده در بالا در بین درختان مادری وجود داشت (Mirzaie-Nodoushan *et al.*, 2018). از طرف دیگر، این تحقیق نشان داد که در همه صفات، به‌جز ارتفاع نهال در مهرماه، تفاوت یا درصد واریانس بین درختان مادری بیشتر از سطح پرووانس بود. از آنجاکه بلوط ایرانی همانند دیگر بلوطها دگرگشن است، گرده‌افشانی در آن‌ها از طریق باد صورت می‌گیرد که می‌تواند باعث افزایش تفاوت در درختان داخل یک جمعیت اما تفاوت کم بین جمعیت‌ها گردد (Karimi *et al.*, 2021). از طرف دیگر، پایین بودن میزان واریانس در سطح پرووانس و تنوع فنوتیپی (Qst) صفات کیفی نهال‌های بلوط ایرانی، مانند شادابی، چند شاخگی و خمیدگی و نیز رویش ارتفاعی و قطری، نشان می‌دهد که این صفات کمتر تحت تأثیر ویژگی‌های محیطی مبداء بذر در یک محدوده بوم‌شناختی اقلیمی هستند و نمی‌توانند سازگاری محلی نسبت به شرایط دما و بارندگی آن محل را نشان دهند (Sáenz-Romero *et al.*, 2017). از طرف دیگر، به جز شادابی، میزان وراثت‌پذیری این صفات نیز در سطح کل پرووانس‌ها پایین بود (کمتر از ۰/۲) و نشان می‌دهد که این صفات نمی‌توانند به‌عنوان صفات گزینشی برای انتخاب مستقیم نهال‌های سازگار به تغییرات اقلیمی استفاده گردند (Harfouche *et al.*, 2012). به‌همین جهت، صفات خمیدگی و تعداد شاخه در مقایسه درون جمعیت حذف گردیدند. مطالعه دیگری نیز بر روی گونه *Quercus rubra* نیز نشان داد که خمیدگی و زاویه شاخه کمتر حالت پلاستیسیتی داشت (Woeste *et al.*, 2021). از طرف دیگر، سایر صفات کمی رویشی، مانند قطر یقه، ارتفاع و حجم نهال، دارای مقادیر بالای واریانس در سطح پرووانس بودند (بین ۱۰–۲۰ درصد) و در بین این صفات حجم نهال و سپس قطر یقه دارای میزان وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی بسیار بالایی نیز بودند که نشان می‌دهد آنها را می‌توان به‌عنوان یک انتخاب مناسب برای اصلاح بلوط استفاده کرد (Sampaio *et al.*, 2019). هم‌چنین، از آن‌جا که زنده‌مانی یک شاخص خوب برای سازگاری نهال‌ها در شرایط کاشت در عرصه است (Bogdan *et al.*, 2017)، همبستگی مثبت بین این صفات با زنده‌مانی نیز که یک صفت سازگاری است وجود داشت. از طرف دیگر، زنده‌مانی و شادابی علی‌رغم تنوع فنوتیپی پایین دارای وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی بالا بودند که حاکی از مناسب بودن این صفات برای انتخاب در برابر تغییرات اقلیمی آینده است، زیرا تفاوت فنوتیپی سازگاری قبل را در ژنوتیپ‌ها مشخص می‌نماید (Aitken & Bemmels, 2016) اما تنوع ژنتیکی سازگاری بیشتر در آینده را در برابر فشارهای انتخاب طبیعی مانند خشکی مشخص می‌کند (Kreme, 2010).

هم‌چنین، در این تحقیق میزان وراثت‌پذیری قطر یقه از ارتفاع نهال بیشتر بود که با مطالعه بر روی جمعیت‌های مختلف گونه *Quercus suber* هم‌خوانی دارد (Sampaio *et al.*, 2019). هرچند میرزایی ندوشن و همکاران (Mirzaie-

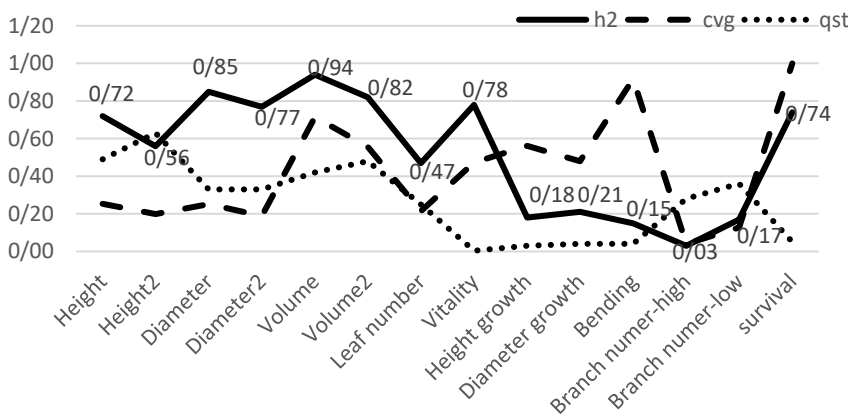
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

با مطالعه بر روی یک جامعه از (Nodoushan *et al.*, 2018) بلوط ایرانی میزان وراثت‌پذیری ارتفاع نهال را بیشتر از قطر یقه گزارش نمودند، اما در این بررسی ارتفاع نهال دارای تغییرات فنوتیپی (Qst) بالاتری بود که با تحقیقات رامیرز ولیینت و همکاران (Ramirez-Valiente *et al.*, 2009) روی گونه *Quercus suber* هم‌خوانی دارد که آن‌ها نیز تغییرات فنوتیپی (Qst) را در ارتفاع نهال را بیشتر از قطر یقه برآورد نمودند.

از طرف دیگر، نتایج نشان داد که میزان تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری حجم نهال، قطر یقه و به‌ویژه ارتفاع نهال از خرداد به مهرماه کاهش یافت. سن یکی از عوامل مؤثر در میزان وراثت‌پذیری است (Barzdajn & Bruder, 2018) و در مطالعه بر روی گونه *Pinus radiata* نیز وراثت‌پذیری قطر یقه با افزایش سن کاهش یافت (Wu & Matheson, 2002). در این تحقیق، به‌دلیل تأثیر فصل خشک در طی تابستان و اثر انتخاب طبیعی بر روی نهال‌ها، تعدادی از نهال‌های ضعیف‌تر حذف گردیدند که باعث کاهش تنوع ژنتیکی آن‌ها در مهرماه گردید. علت دیگر تنوع بالاتر و وراثت‌پذیری بالا در پارامترهای رویشی، چون ارتفاع، قطر یقه و حجم نهال، در مراحل ابتدایی رشد ناشی از تفاوت زمان شروع رویش و سرعت جوانه‌زنی بین درختان مادری پرووانس‌های مختلف است زیرا نهال‌های حاصل از مبداءهای زاگرس شمالی و ارتفاعات بالاتر رویش خود را نسبت به مناطق جنوبی‌تر و ارتفاعات پایین زودتر شروع می‌کنند (Sampaio *et al.*, 2019؛ Bogdan *et al.*, 2017).



شکل ۱- واریانس کمپانت پرووانس، درخت مادری آشیان شده در پرووانس و خطا برای صفات مختلف
Figure 1. Variance components of provenance effect, family within provenance effect, and residuals for different traits



شکل ۲- براورد پارامترهای ژنتیکی مانند CVg: ضریب تنوع ژنتیکی، h2: وراثت‌پذیری و qst: ضریب تغییرات فنوتیپی
Figure 2. Quantitative genetic parameter estimates, such as CVg: the coefficient of additive genetic variation, h2: individual narrow-sense heritability, and qst: the coefficient of quantitative genetic differentiation for different traits

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

مقایسه تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات در بین پرووانانس‌ها

نتایج مقادیر استاندارد شده ارتفاع نهال (بر اساس ارزش Z)، درصد ضریب تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری در خردادماه تفاوت چندانی بین جمعیت‌های مورد مطالعه مشاهده نشد، اما از نظر ارتفاع مهرماه بین جمعیت‌های مختلف تفاوت وجود داشت. بانه با میانگین ارتفاع نهال بالاتر بیشترین مقدار و جمعیت‌های یاسوج کمترین مقدار را نشان دادند. از نظر ضریب تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری ارتفاع نهال در مهرماه نیز جمعیت‌های خرم‌آباد ارتفاع پایین و سپیدار یاسوج بیشترین مقادیر را داشتند، اما خرم‌آباد ارتفاعات بالا و میانی کمترین مقدار را نشان دادند. میزان وراثت‌پذیری ارتفاع نهال برای جمعیت بانه در خرداد بیشتر از مهرماه (۰/۴۹ و ۰/۳۸) بود، اما در سایر جمعیت‌ها، به ویژه سپیدار یاسوج، میزان آن با افزایش سن نهال افزایش یافت (شکل ۳).

نتایج مقادیر استاندارد شده، درصد ضریب تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری قطر یقه نهال نیز نشان داد که قطر یقه در خردادماه دارای تفاوت‌های بیشتری بین پرووانانس‌ها نسبت به مهرماه بود و میزان وراثت‌پذیری و ضریب تغییرات ژنتیکی در خردادماه نیز بیشتر بود. جمعیت بانه و سپس یاسوج ده برآفتاب دارای بالاترین میزان وراثت‌پذیری و تغییرات ژنتیکی در خرداد ماه بودند، اما عملکرد استانداردشده در ده‌برآفتاب کم بود. کمترین میزان هر سه مشخصه برای قطر یقه خرداد و مهرماه در جمعیت خرم‌آباد ارتفاعات میانی و بالا مشاهده گردید. از نظر عملکرد نیز پس از جمعیت بانه، خرم‌آباد ارتفاع پایین بیشترین مقدار را در هر دو زمان نشان داد (شکل ۳).

اما میزان عملکرد استانداردشده، درصد ضریب تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری حجم نهال در مهرماه تفاوت‌های بیشتری نسبت به خردادماه داشتند. میزان وراثت‌پذیری و تغییرات ژنتیکی در جمعیت‌های بانه و خرم‌آباد میانی و بالا در مهرماه کاهش یافت، اما در سایر جمعیت‌ها افزایش یافت. بیشترین میزان عملکرد نیز در هر دو زمان مربوط به بانه بود. از نظر تغییرات ژنتیکی و وراثت‌پذیری نیز در خردادماه جمعیت بانه و در مهرماه ارتفاع پایین خرم‌آباد بیشترین مقادیر را داشتند هر چند که در بانه مقدار وراثت‌پذیری در مهرماه حدود ۰/۶ بود که میزان بالایی است (شکل ۳).

رویش قطری نهال‌ها در هر جمعیت نشان داد که خرم‌آباد ارتفاع پایین و یاسوج از تنوع، وراثت‌پذیری و رویش قطری بالاتر در طی ماه‌های خشک سال از خرداد تا مهر برخوردار بودند. اما نتایج مربوط به رویش ارتفاعی نشان داد که تنها جمعیت‌های یاسوج به‌ویژه ده‌برآفتاب از رویش ارتفاعی بالا برخوردارند و خرم‌آباد ارتفاع پایین از لحاظ هر سه مؤلفه مانند میانگین، وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی دارای مقادیر پایین است (شکل ۳).

نتایج تعداد برگ نیز نشان داد که جمعیت بانه دارای بالاترین میزان وراثت‌پذیری و میانگین تعداد برگ بود، اما از نظر تنوع ژنتیکی تفاوت چندانی بین آن‌ها وجود نداشت. جمعیت‌های یاسوج و سپس خرم‌آباد ارتفاع بالا نیز دارای کمترین تعداد برگ بودند. نتایج شادابی نهال‌ها نیز نشان داد که بانه و خرم‌آباد ارتفاع میانی دارای وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی کمتری نسبت به سایر جمعیت‌ها بودند. همچنین میزان شادابی نیز در جمعیت سپیدار یاسوج و ارتفاع پایین خرم‌آباد بیشترین مقدار اما ارتفاعات میانی و بالا خرم‌آباد و ده‌برآفتاب یاسوج کمتر بود (شکل ۳).

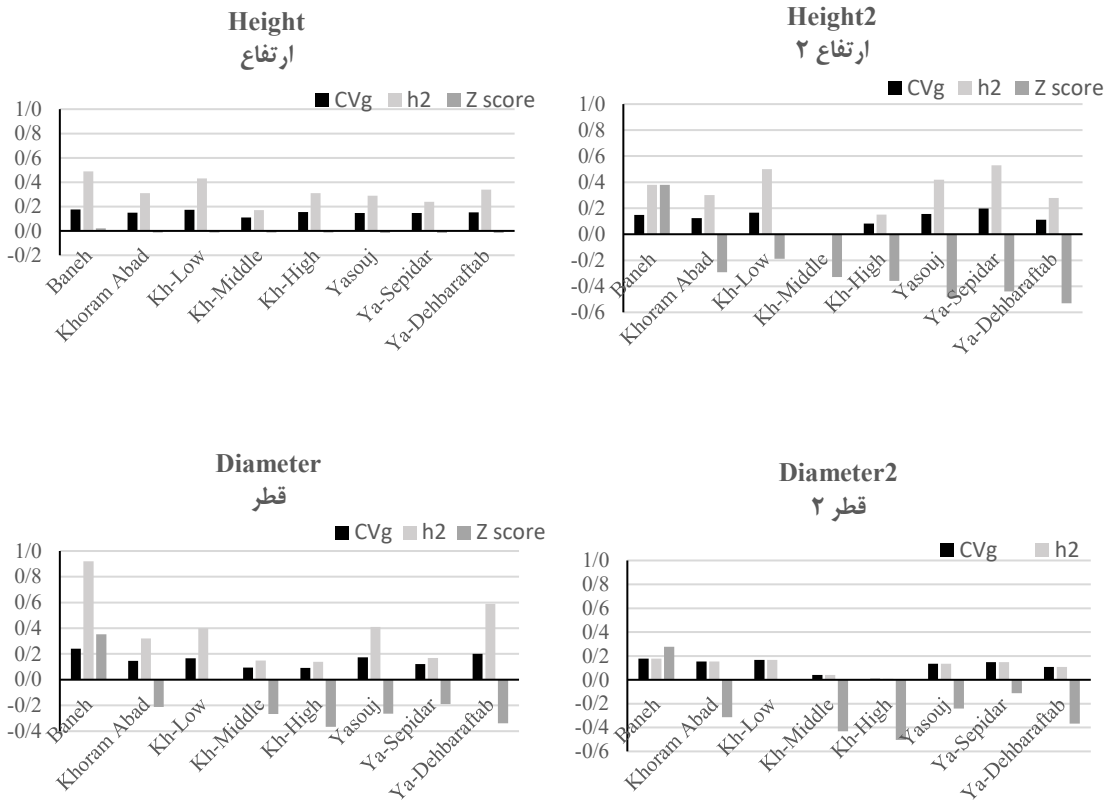
مقادیر وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی برای زنده‌مانی در همه پرووانانس‌های مورد مطالعه بالا بود، اما بیشترین مقدار که عدد یک بود در جمعیت‌های مختلف خرم‌آباد مشاهده گردید. اگرچه درصد زنده‌مانی در ارتفاعات میانی و بالا خرم‌آباد کمترین مقدار بود. خرم‌آباد ارتفاع پایین، بانه و سپیدار نیز به‌ترتیب بیشترین میزان زنده‌مانی را داشتند. از نظر وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی نیز سپیدار یاسوج دارای کمترین میزان بود (شکل ۳).

اندازه‌گیری‌های سه مؤلفه محاسبه شده میانگین استاندارد شده، تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری برای کل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نیز نشان داد که همه جمعیت‌ها از لحاظ تنوع و وراثت‌پذیری تقریباً مشابه هم بودند، به‌جز جمعیت سپیدار یاسوج، خرم‌آباد ارتفاعات میانی و بالا میزان کمتری داشتند. اما از نظر میانگین عملکرد، جمعیت سپیدار و بانه بالاترین مقادیر را نشان دادند (شکل ۳).

با توجه به نتایج به‌دست آمده، تفاوت‌های زیادی از نظر ضریب تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات مورد بررسی نهال‌های گونه بلوط ایرانی در درون پرووانانس‌ها وجود دارد و هر صفت در داخل پرووانانس‌ها بسته به اثر محیط و ژنتیک درختان سازگاری‌های متفاوتی نشان داده‌اند. در بسیاری از بررسی‌ها، تفاوت در وراثت‌پذیری نتاج درختان و ضریب تنوع ژنتیکی در داخل جمعیت‌ها گزارش گردیده است (Alvani nezhad *et al.*, 2009). در این بررسی، پرووانانس شمالی (بانه) بیشترین میانگین را از نظر زنده‌مانی نهال و صفات رویشی داشت زیرا جمعیت‌های عرض‌های جغرافیایی بالا، مانند بانه، جوانه خود را زودتر باز می‌کنند و می‌توانند بهتر از شرایط خوب محیطی در اوایل فصل رویش استفاده نمایند (Sampaio *et al.*, 2019). از طرف دیگر، بذرهای این پرووانانس بزرگ‌تر از سایر پرووانانس‌ها بودند که می‌تواند به رویش اولیه و زنده‌مانی نهال‌ها در اوایل رویش کمک نماید (Karimi Hajipomagh *et al.*, 2014). مطالعه بر روی گونه *Quercus robur* L. نیز نشان داد که برخی جمعیت‌های مناطق مرطوب دارای ارتفاع بیشتری نسبت به مناطق خشک بودند (Bogdan *et al.*, 2017). هم‌چنین، در پرووانانس بانه میزان وراثت‌پذیری و درصد ضریب تنوع ژنتیکی صفات مورد بررسی، به استثناء شادابی و رویش قطری، متوسط و بالا بود، اما در پرووانانس خرم‌آباد ارتفاعات میانی و بالا میزان عملکرد و وراثت پذیری در صفات رویشی و شادابی کمترین مقدار بود. از نظر درصد زنده‌مانی نیز علی‌رغم تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری بالا، میزان درصد زنده‌مانی در این دو جمعیت کمترین مقدار بین جمعیت‌های مورد بررسی بود. بالاتر بودن وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی پرووانانس بانه می‌تواند به‌دلیل تفاوت‌های زیاد بین درختان مادری این پرووانانس باشد. زیرا در این پرووانانس علاوه‌بر گونه بلوط ایرانی، دو گونه بلوط دیگر (دارمازو و وی‌ول) وجود دارد که امکان هیبرید بین درختان گونه‌های مختلف وجود دارد و در

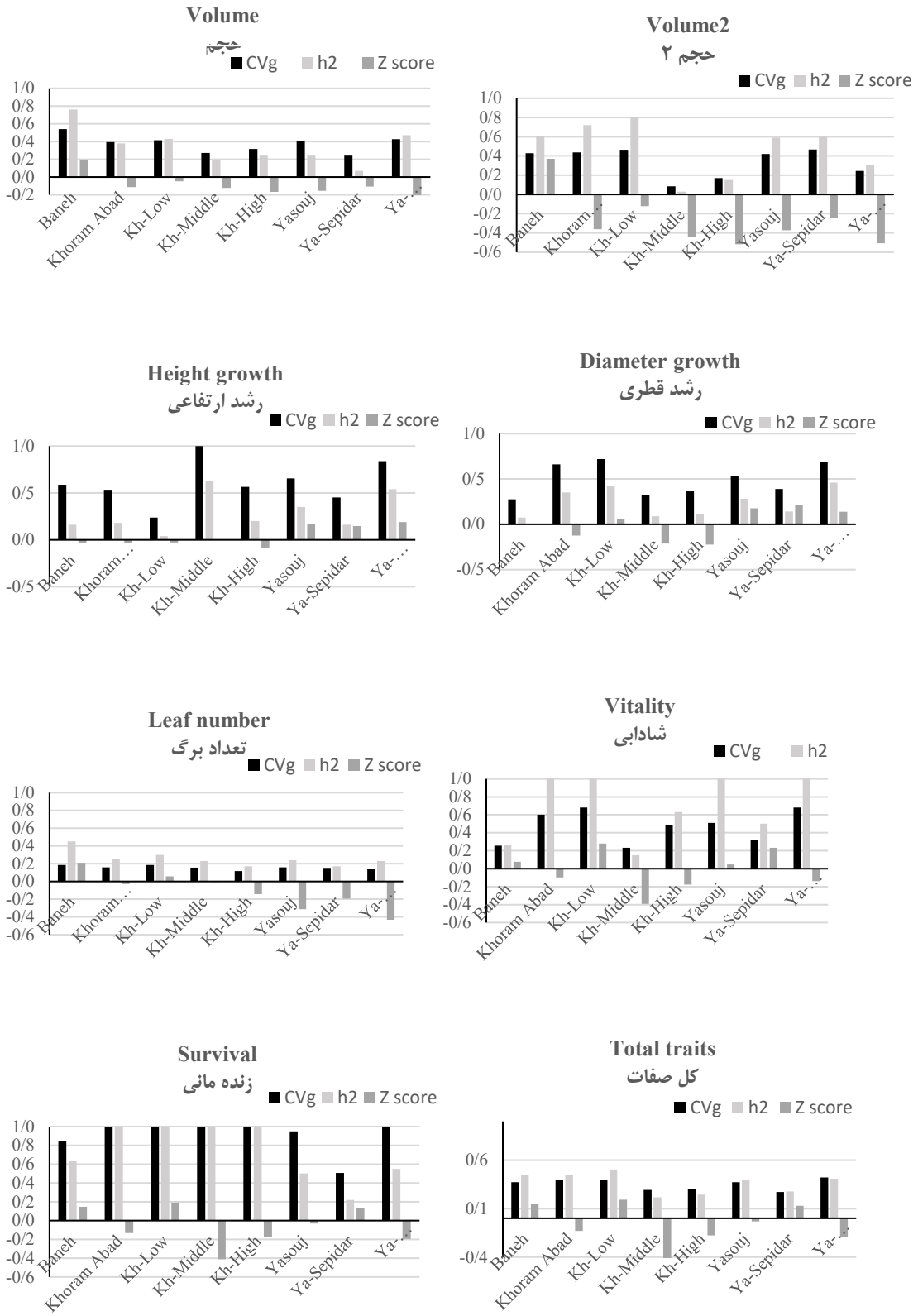
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

نتیجه سبب اختلافات زیاد و نیز تنوع ژنتیکی بالا در درختان این پرووانس می‌شود. اما پایین بودن صفاتی مانند شادابی، رویش قطری و ارتفاعی در طی دوره ماه‌های خشک سال و زنده‌مانی در پرووانس بانه و پرووانس‌های ارتفاعات بالا و میانی خرم‌آباد می‌تواند ناشی از انتخاب طبیعی باشد که همه نهال‌ها رویش خود را متوقف نمودند تا شرایط سخت تابستان را پشت‌سر بگذراند و در نتیجه واریانس ژنتیکی آن‌ها در مهرماه پایین‌تر بود. از طرف دیگر، وراثت‌پذیری پارامترهای رویشی در مرحله دوم (مهرماه) در بعضی جمعیت‌ها مانند ارتفاع پایین خرم‌آباد و سپیدار بیشتر از خردادماه شد زیرا نهال‌های حاصل از این جمعیت‌ها سازگارتر با خشکی تابستان واقع در منطقه کاشته‌شده (یاسوج) بودند. مطالعه دیگر بر روی سازگاری نهال‌های بلوط ایرانی جمعیت‌های مختلف در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد که بذرهای ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی پایین از زنده‌مانی و مقاومت به خشکی بالاتری برخوردارند (Alizadeh *et al.*, 2023). هم‌چنین، جمعیت‌های با تنوع ژنتیکی بالا عموماً سازگاری بیشتری نسبت به فشارهای انتخاب طبیعی مثل خشکی دارند (Kreme, 2010) و هرچه وراثت‌پذیری نیز بیشتر باشد، توانایی جمعیت‌ها برای تغییر فنوتیپ میانگین خود به‌سمت بهترشدن تحت شرایط انتخاب طبیعی بالاتر خواهد بود (Kelly, 2011). همچنین، جمعیتی مانند ده‌برآفتاب علی‌رغم زنده‌مانی کم به‌دلیل وراثت‌پذیری و تنوع ژنتیکی بالا دارای پتانسیل سازگاری خوب در آینده است، هرچند که با شرایط حال حاضر سازگاری ندارد زیرا می‌توان در این جمعیت درختانی را که دارای زنده‌مانی بالا هستند را پیدا نمود و به‌عنوان زیرجامعه از آن‌ها استفاده کرد (Bogdan *et al.*, 2017). بالاتر بودن رشد و زنده‌مانی جمعیت‌های دیگر (به‌ویژه خرم‌آباد ارتفاع پایین) نسبت به جمعیت محل کاشت (یاسوج) در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است و آن‌ها دریافتند که بذرهای همان منطقه از این لحاظ در حد متوسط بود که با نتایج ما همخوانی دارد (Sampaio *et al.*, 2019). بنابراین، فاکتورهای دیگری غیر از اقلیم منطقه جغرافیایی بذور در سازگاری نقش دارد و انتقال بذر از مناطق سازگارتر به شرایط اقلیمی و گرم‌تر می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد (George *et al.*, 2020).



شکل ۳- ضریب تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری و ارزش مؤلفه *Z* صفات مختلف در هر پرووانس
Figure 3. CVg: the coefficient of additive genetic variation, h2: individual narrow-sense heritability, and Z-score for different traits in each provenace

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]



ادامه شکل ۳- ضریب تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری و ارزش مؤلفه Z صفات مختلف در هر پرووانس
Continued of Figure 3. CVg: the coefficient of additive genetic variation, h2: individual narrow-sense heritability, and Z-score for different traits in each provenace

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان نمود که در بین پرووانانس‌ها تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی زیادی وجود دارد. در بین صفات مورد بررسی نیز حجم نهال، قطر یقه و ارتفاع نهال از تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری (بیشتر از ۰/۴) در حد متوسط و بالا برخوردار بودند (Sampaio *et al.,* 2019). از طرف دیگر، نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه پرووانانس بانه از رویش و عملکرد بالاتری برخوردار بود، که می‌تواند به‌دلیل اندازه بذر بزرگ‌تر این پرووانانس باشد که با گذشت زمان اثر آن کاسته شد و باعث شد تا تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات رویشی نسبت به سایر پرووانانس‌ها کمتر شود، اما نهال‌های ارتفاع پایین خرم‌آباد درصد زنده‌مانی، تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری بالایی را نشان دادند که می‌تواند تا حدی به‌دلیل اثر اپی‌ژنتیک ناشی از شرایط درختان مادری باشد. مطالعه دیگر بر روی نهال‌های بلوط ایرانی نیز نشان می‌دهد که نهال‌های حاصل از درختان مادری سالم نسبت به درختان خشکیده از مقاومت بیشتری نسبت به خشکی و عامل بیماری‌زا برخوردارند (Zolfaghari *et al.,* 2024). در واقع حافظه اپی‌ژنتیک درختان مادری واقع در ارتفاعات پایین می‌تواند سبب شود تا نهال‌های این پرووانانس سازگاری بیشتری در منطقه یاسوج که دارای ضریب خشکی بالاتر و عرض جغرافیایی پایین‌تری است، داشته باشد.

همچنین،وراثت‌پذیری درصد زنده‌مانی در همه جمعیت‌ها بالا بود و حتی در برخی عدد یک بود. این نتیجه نشان می‌دهد که درصد زنده‌مانی تحت کنترل کامل ژنتیکی است و اثر درخت مادری نیز بیشتر از درخت پدری است (Barzdajn & Bruder, 2018) و در نتیجه می‌توان با دقت پیش‌بینی بالا، درختان کاندید واقع در محیط‌های خشک و سازگار را که در این تحقیق ارتفاع پایین خرم‌آباد است را به‌همراه بذور درختان برتر محل کاشت را برای جنگل‌کاری در جنگل‌های یاسوج انتخاب نمود (Cappa *et al.,* 2010).

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد با حمایت مالی دانشگاه یاسوج انجام گرفت.

References

Aitken, S. N., & Bemmels, J. B. (2016). Time to get moving: Assisted gene flow of forest trees. *Evolutionary Applications*, 9(1), 271–290. https:// doi.org/10.1111/eva.12293

Alizadeh, Z., Zolfaghari, R, Molaee, S., & Fayyaz, P. (2023). Prediction of Establishment in Progenies of Persian Oak Trees Based on the Morphological and Chlorophyll Fluorescence Traits. *Ecology of Iranian Forest*, 11(22), 22-31. doi:10.61186/ifej.11.22.22 [In Persian]

Alvani nezhad, S., Tabari, M., Espahbudi, K., & Taghvaei, M. (2009). Heritability of Traits in 1- Year Seedlings of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 16(2), 218-228. [In Persian]

Barzdajn, W., & Bruder, M. (2018). Tree testing and estimation of heritability using the pedunculate oak *Quercus robur* L. seed orchard in the Krotoszyn Forest District. *Lesne Prace Badawcze*, 79(4), 309-315. DOI: 10.2478/frp-2018-0031

Bogdan, S., Ivanković, M., Temunović, M., Morić, M., Franjić, J., & Bogdan, I.K. (2017). Adaptive genetic variability and differentiation of Croatian and Austrian *Quercus robur* L. populations at a drought prone field trial. *Annals of Forest Research*, 60(1), 33-46. https://doi.org/10.15287/afr.2016.733

Bussotti, F., Pollastrini, M., Holland, V., & Brueggemann, W. (2015). Functional traits and adaptive capacity of European forests to climate change. *Environmental and Experimental Botany*, 111, 91–113. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.11.006

Cappa, E. P., Pathauer, P., & Lopez, G. A. (2010). Provenance variation and genetic parameters of *Eucalyptus viminalis* in Argentina. *Tree, Genetics & Genomes*, 6, 981–994. DOI: 10.1007/s11295-010-0307-9

George, J. P., Theroux-Rancourt, G., Rungwattana, K., Scheffknecht, S., Momirovic, N., Neuhauser, L., Weißenbacher, L., Watzinger, A., & Hietz, P. (2020). Assessing adaptive and plastic responses in growth and functional traits in a 10-year-old common garden experiment with pedunculate oak (*Quercus robur* L.) suggests that directional selection can drive climatic adaptation. *Evolutionary Applications,* 13(9), 2422-2438. https://doi.org/10.1111/eva.13034

Harfouche, A., Meilan, R., Kirst, M., Morgante, M., Boerjan, W., Sabatti, M., & Mugnozza, G. S. (2012). Accelerating the domestication of forest trees in a changing world. *Trends in Plant Science*, 17(2), 64–72. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.11.005

Higgins, P., & Harte, J. (2006). Biophysical and biogeochemical responses to climate change depend on dispersal and migration. *Bioscience*, 56(5), 407–417. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006) 056[0407:BABRTC]2.0.CO;2.

IPCC, (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), Part A: Global and Sectorial Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1132.

Karamian, M., & mirzaei, J. (2020). The Most Important Factors Affecting Persian Oak (*Quercus brantii*) Decline in Ilam Province. *Ecology of Iranian Forest*, 8(15), 93-103. doi:10.52547/ifej.8.15.93. [In Persian]

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]

Karimi Hajipomagh, K., Zolfaghari, R., Alvaninejad, S., & Fayyaz, P. (2014). Effect of Seed Provenance and Mother Tree of *Quercus branti* Base on Primary Establishment in Yasuj. *Forest and Wood Products*, 66(4), 427-439. Doi: 10.22059/jfwp.2014.36659 [In Persian]

Karimi, Z., Zolfaghari, R., Fayyaz, P., & Rahimian, J. (2021). Assessment of genetic structure in healthy and declined populaation of *Quercus brantii* Lindl. using EST-SSR and ISSR markers. *Iranian Journal of Forest*, 13(3), 305-317. Doi: 10.22034/ijf.2021.284198.1780 [In Persian]

Kelly, J. K. (2011). The Breeder's Equation. Nature Education Knowledge, 4(5), 5.

Kremer, A. (2010). Evolutionary responses of European oaks to climate change. *Irish Forestry*, 67, 53–66.

Larcher, W. (2000). Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant Biosystem*, 134 (3), 279–295. https://doi.org/10.1080/11263500012331350455.

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., & Lexer, M. J. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259, 698–709. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023

Loss, S., Terwilliger, L., & Peterson, A. C. (2011). Assisted colonization: integrating conservation strategies in the face of climate change. *Biological Conservation*, 144(1), 92–100. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.11.016.

Mirzaie-Nodoushan, H., Hosseinzadeh, J., Pourhashemi, M., Mehrpur, S., Hamzehpour, M., & Abravesh, Z. (2018). Heritability and growth analysis of Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) based on sapling characteristics. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(2), 215-227. Doi: 10.22092/ijfpr.2018.116750. [in Persian]

Neophytou, C. H., Palli, G., Douvani, A., & Aravanopoulos, T. A. (2007). Morphological differentiation and hybridization between Quercus alnifolia Poech and *Quercus coccifera* L. (Fagaceae) in Cyprus. *Silvae Genetica*, 56, 1-7.

Paques, L. E. (2013). Forest Tree Breeding in Europe. Current State-of-the-Art and Perspectives. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Ramirez-Valiente, J. A., Lorenzo, Z., Soto, A., Valladares, F., Gil, L., & Aranda, I. (2009). Elucidating the role of genetic drift and natural selection in cork oak differentiation regarding drought tolerance. *Molecular Ecology*, 18(18), 3803-3815. doi: 10.1111/j.1365-294X.2009.04317.x

Rochon, C., Margolis, H. A., & Weber, J. C. (2007). Genetic variation in growth of *Guazuma crinita* (Mart.) trees at an early age in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 243(2–3), 291-298. https:// doi. org/ 10. 1016/j. foreco. 2007. 03. 025

Sampaio, T., Gonçalves, E., Patrício, M. S., Cota, T. M., & Almeida, M. H. (2019). Seed origin drives differences in survival and growth traits of cork oak (*Quercus suber* L.) populations. *Forest Ecology and Managagment*, 448, 267–277. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.001

Valladares, F., Gianoli, E., & Gomez, J. M. (2007). Ecological limits to plant phenotypic plasticity. *New Phytologist*, 176(4), 749–763. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02275.x.

Woeste, K. E., Pike, C. C., Warren, J. C., & Coggeshall, M. V. (2021). Characterization of stem volume and form tradeoffs in a northern red oak (*Quercus rubra*) breeding population in early stages of selection. *Annals of Forest Science*, 78(3), 72. https://doi.org/10.1007/s13595-021-01084-x

Wright, S. (1949). The genetic structure of populations. *Annals of Eugenics*, 15(1), 323–354.

Wu, H. X., & Matheson, A. C. (2002). Quantitive genetics of growth and form traits in radiate pine. *CSIRO Forestry and Forest products Technical Raport*, 138, 133.

Zolfaghari, R., Dalvand, F., Fayyaz, P., & Solla, A. (2022). Maternal drought stress on Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) afects susceptibility to single and combined drought and biotic stress in ofspring. *Environmental and Experimental Botany*, 194, 104716. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104716

Zolfaghari, R., Karimi, F., Fayyaz, P., & Martín, J. A. (2024). Evaluating physiological and genetic variation of *Quercus brantii* response to *Brenneria goodwinii* in Iran. *European Journal of Plant Pathology*, 168(3), 607-623. DOI: 10.1007/s10658-023-02788-8

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.565]