

Effect of habitat conditions of elite *Cerasus mahaleb* L. genotypes on their progeny characteristics in the Fereydunshahr Seed Orchard, Iran

Shila Hajehforooshnia^{1*}, Abbas Ghamarizare², Abbas Pourmeidani³

- 1- Corresponding author, Assist. Prof., Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Isfahan, Iran. Email: sh.hajehforoshnia@areeo.ac.ir
2- Assoc. Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3- Assist. Prof., Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Qom, Iran.

Received: 03/09/2025

Revised: 10/11/2025

Accepted: 19/01/2026

Abstract

Background and Objectives: Mahaleb cherry (*Cerasus mahaleb* L.) belonging to the Rosaceae family is a valuable native tree species of the Irano-Turanian region. Owing to its high drought tolerance and remarkable ability to establish under harsh environmental conditions, it plays an important role in the restoration and conservation of semi-arid mountainous forests. In addition, it contributes to soil stabilization, enhances biodiversity, and serves as a resilient rootstock for fruit trees in horticultural systems. Despite its ecological and economic importance, limited information is available on the phenotypic performance of different genotypes grown under uniform environmental conditions within a common seed orchard. Therefore, this study aimed to investigate the influence of maternal habitat characteristics on the growth and productivity traits of elite mahaleb genotypes established in the Fereydunshahr seed orchard.

Materials and Methods: A total of 120 cuttings representing elite genotypes selected from six natural habitats with contrasting ecological conditions, including differences in elevation, slope, aspect, and soil properties, were evaluated over eight consecutive years in the Fereydunshahr seed orchard. Two important vegetative traits, namely plant height (cm) and canopy diameter (cm), were measured twice annually (spring and summer) during the final three years of the evaluation period. The average values recorded traits in the third year were used as the principal criterion for identifying superior genotypes. In addition, the relationships between vegetative growth traits and ecological characteristics of the maternal habitats, including annual precipitation, temperature, slope, and altitude, were examined using Pearson's correlation coefficient. Furthermore, hierarchical clustering analysis using Ward's method was performed to classify the 10 superior genotypes based on their phenotypic performance.

Results: The evaluation of mahaleb genotypes under uniform environmental conditions in the Fereydunshahr seed orchard revealed considerable variation in plant height and canopy diameter over the three-year assessment period. Significant phenotypic differences were detected among the evaluated genotypes, indicating that both genetic and environmental factors of maternal habitats substantially influenced vegetative growth. A very strong positive correlation was observed between plant height and canopy diameter ($r \approx 0.96$), reflecting a coordinated pattern of vertical and horizontal growth among the superior genotypes. However, there were no significant



relationships between either trait and ecological characteristics (annual precipitation, temperature, slope, and altitude. Hierarchical cluster analysis using Ward's method separated the selected genotypes into two clearly distinguishable groups. Genotypes assigned to Cluster 1 exhibited significantly greater plant height and canopy diameter than those belonging to Cluster 2. These results indicate that, despite cultivation under identical orchard conditions, the genetic background of the genotypes and the environmental characteristics of their maternal habitats continued to exert a pronounced influence on growth performance. The findings provide valuable information for the establishment of improved seed orchards and for the identification of suitable parental genotypes in future breeding programs.

Conclusion: For the establishment of improved seed orchards, it was recommended to combine genotypes exhibiting vigorous vegetative growth with those demonstrating stable and consistent reproductive performance. Such a breeding strategy can facilitate the production of high-quality seeds that are well adapted to diverse environmental conditions. Forest stands established from these improved seeds are expected to possess greater genetic diversity, enhanced adaptability, and increased resilience to environmental stresses, thereby contributing to the long-term sustainability of forest restoration and conservation programs.

Keywords: Seed orchard, *Cerasus mahaleb* genotype, maternal site, Pearson correlation, clustering, phenotypic traits

اثر شرایط رویشگاه ژنوتیپ‌های نخبه محلب (*Cerasus mahaleb* L.) بر خصوصیات نتاج آنها در باغ بذر فریدون‌شهر

شیلا حجه فروش نیا^{۱*}، عباس قمری زارع^۲ و عباس پورمیدانی^۳

۱* نویسنده مسئول، استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
پست الکترونیک: sh.hajehforoshnia@areeo.ac.ir

۲ دانشیار، اصلاح نباتات، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

۳ استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: محلب (*Cerasus mahaleb* L.) از تیره گلسرخیان، یکی از گونه‌های جنگلی بومی ارزشمند ناحیه ایران- تورانی است، این گونه به دلیل مقاومت بالا به خشکی و توان استقرار در شرایط سخت، نقش مهمی در بازسازی و حفاظت جنگل‌های کوهستانی نیمه‌خشک دارد، همچنین در تثبیت خاک و افزایش تنوع زیستی، به عنوان پایه‌ای مقاوم برای درختان میوه در باغبانی نیز مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، اطلاعات اندکی درباره سازگاری و عملکرد فنوتیپی ژنوتیپ‌های مختلف آن در شرایط یکنواخت باغ‌های بذر وجود دارد. هدف این پژوهش، بررسی اثر شرایط رویشگاه پایه‌های مادری بر ویژگی‌های رشدی و تولیدی ژنوتیپ‌های نخبه محلب در باغ بذر فریدون‌شهر در استان اصفهان بود.

مواد و روش‌ها: تعداد ۲۰ ژنوتیپ محلب از شش رویشگاه با شرایط اکولوژیکی متفاوت (ارتفاع، شیب، جهت و خاک) انتخاب و از هر یک ۶ پایه پس از انتقال به باغ بذر فریدون‌شهر (در سال ۱۳۹۶) به صورت منظم کاشته شدند و طی هشت سال متوالی ارزیابی شدند. صفات کلیدی شامل ارتفاع نهال و قطر تاج‌پوشش در دو نوبت (بهار و تابستان) در سه سال آخر (۱۴۰۱-۱۴۰۴) اندازه‌گیری و آمار توصیفی آنها محاسبه شد. از میانگین داده‌های سال آخر برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از شاخص کارایی گزینش (Selection efficiency) استفاده شد. این شاخص بر پایه نسبت میانگین ژنوتیپ‌های منتخب به میانگین جمعیت پایه در هر رویشگاه و به صورت درصد بیان گردید. بر این اساس، ۱۰ پایه برتر از لحاظ ارتفاع نهال و قطر تاج‌پوشش انتخاب شد. ضریب همبستگی بین صفات رشدی و ویژگی‌های رویشگاهی (بارندگی، دما، شیب و ارتفاع) با استفاده از ضریب پیرسون در ژنوتیپ‌های برتر محاسبه شد. همچنین برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های برتر، از روش تجزیه خوشه‌ای به روش Ward استفاده شد.

نتایج: در این پژوهش، رشد ارتفاعی و قطر تاج‌پوشش ژنوتیپ‌های برتر محلب طی سه سال آخر رشد در شرایط یکنواخت باغ بذر فریدون‌شهر بررسی شد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های منتخب دارای تفاوت‌های معنی‌دار فنوتیپی بودند که عمدتاً ناشی از اثرهای ژنتیکی و شرایط رویشگاه مادری می‌باشد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع و قطر تاج‌پوشش مشاهده شد ($p < 0.01$, $r = 0.96$) که بیانگر هماهنگی بین رشد طولی و گسترش افقی اندام هوایی در ژنوتیپ‌های برتر است. با این وجود، همبستگی معنی‌داری بین این دو صفت با عوامل محیطی شامل بارندگی، دما، شیب و ارتفاع رویشگاهی مشاهده نشد. تحلیل خوشه‌ای ژنوتیپ‌های منتخب، منجر به تشکیل دو خوشه متمایز شد. ژنوتیپ‌های خوشه ۱ به‌طور معنی‌داری از نظر صفات ارتفاع و قطر تاج‌پوشش نسبت به ژنوتیپ‌های

خوشه ۲ برتری داشتند. این گروه‌بندی نشان داد اگرچه شرایط محیطی باغ یکنواخت بوده، اما اثرهای ژنتیکی و ویژگی‌های رویشگاهی مادری همچنان تعیین‌کننده عملکرد رشدی هستند.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه می‌تواند مبنای مناسبی برای طراحی باغ‌های بذر اصلاح‌شده و انتخاب والدین در برنامه‌های اصلاحی آینده فراهم کنند. برای طراحی باغ‌های بذر با ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده، توصیه می‌شود از ترکیب ژنوتیپ‌هایی با رشد رویشی قوی و توان تولیدمثل پایدار استفاده شود. چنین ترکیبی امکان تولید بذرهای استاندارد، با کیفیت بالا و سازگار با شرایط محیطی را فراهم می‌نماید. جنگل‌هایی که بر پایه این بذرها ایجاد می‌شوند، از نظر تنوع ژنتیکی غنی‌تر بوده و در برابر تنش‌های محیطی تاب‌آوری بیشتری خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری، تنوع ژنتیکی، خوشه‌بندی، رویشگاه مادری، صفات فنوتیپی، همبستگی پیرسون

مقدمه

درخت محلب (*Cerasus mahaleb* L.) یکی از گونه‌های بومی ارزشمند در مناطق کوهستانی ایران و بخش‌هایی از اروپا و آسیای مرکزی است که به دلیل مقاومت بالا در برابر خشکی، سازگاری با خاک‌های آهکی، فقیر و توانایی رشد در شرایط سخت محیطی، به عنوان پایه‌ای مناسب برای درختان میوه مانند گیلاس و آلبالو است (Browicz & Zohary, 1996; Jolliffe & Cadima, 2016). افزون بر این، محلب در منابع طبیعی نقش مهمی در تثبیت خاک، ارتقای تنوع زیستی و تأمین بذر با ارزش دارویی و صنعتی دارد. با وجود محاسن ارزشمند محلب، مطالعات علمی در زمینه ایجاد باغ بذر محلب بسیار محدود است.

باغ‌های بذر یکی از مؤثرترین راهکارها برای تأمین پایدار بذرهای اصلاح‌شده در برنامه‌های جنگل‌کاری، احیای اراضی تخریب‌شده و تولید نهال‌های کیفی به‌شمار می‌روند. این باغ‌ها با هدف نگهداری ژنوتیپ‌های برتر، حفظ تنوع ژنتیکی و تولید بذرهای یکنواخت و باکیفیت در مقیاس انبوه طراحی می‌شوند (Kang et al., 2001). در کشورهای توسعه‌یافته، باغ‌های بذر نقش مهمی در پشتیبانی از جنگل‌کاری صنعتی و بازسازی جنگل‌های طبیعی دارند و معمولاً در قالب برنامه‌های بلندمدت اصلاح ژنتیکی و مدیریت منابع ژنتیکی تعریف می‌شوند. در ایران نیز، به‌ویژه در گونه‌های بومی مناطق خشک و نیمه‌خشک، باغ‌های بذر جایگاه مهمی در سیاست‌های احیای جنگل‌ها و مقابله با

بیابان‌زایی پیدا کرده‌اند. طراحی علمی باغ‌های بذر نیازمند انتخاب دقیق پایه‌های مادری، پایش عملکرد فنوتیپی و ژنتیکی و اعمال مدیریت زراعی و ژنتیکی دقیق در طول دوره بهره‌برداری است (Mirzaie Nodoushan, 2015). باغ‌های بذر به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی اصلاح ژنتیکی و حفاظت منابع گیاهی، با هدف تجمع ژنوتیپ‌های برتر در شرایط مدیریتی یکنواخت طراحی می‌شوند تا بذرهای تولیدی از توان جوانه‌زنی کافی و کیفیت بالاتری برخوردار شوند و در احیای جنگل‌ها و توسعه فضای سبز به‌کار روند (Belaj et al., 2003; Zobel & Talbert, 2003).

باغ بذر محلب در فریدون‌شهر نخستین باغ بذر این گونه در ایران و حتی منطقه است که با هدف تولید بذر و نهال استاندارد برای توسعه و احیای جنگل‌های ایران-تورانی و عرصه‌های کم‌بازده آن ایجاد شده است. مطالعات متعددی به بررسی ویژگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی محلب پرداخته‌اند. در مطالعات شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر، استفاده از صفات ریختی به عنوان شاخص‌های اولیه و عملیاتی در غربالگری و ارزیابی تنوع ژنتیکی پایه‌های درختی رایج است. این صفات که شامل ویژگی‌هایی مانند ارتفاع، قطر تاج‌پوشش، فرم رشد، رنگ و شکل اندام‌ها می‌باشند، اغلب تحت تأثیر محیط هستند اما با مدیریت مناسب آزمایش می‌توانند اطلاعات ارزشمندی از ظرفیت ژنتیکی پایه‌ها ارائه دهند. برخلاف نشانگرهای مولکولی که اغلب در مطالعات دقیق ژنتیکی به‌کار می‌روند، صفات ریختی به عنوان ابزار

درصد متغیر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی باغ بذر در مجاورت اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان فریدون‌شهر را نشان می‌دهد که به منابع آبی محدود اما پایدار متکی است. خاک منطقه از نوع قهوه‌ای آهکی با بافت متوسط تا نیمه‌سنگین است و از نظر زهکشی و تهویه به نسبت مناسب ارزیابی شده است. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه حدود ۵۴۳ میلی‌متر است که عمدتاً در فصل زمستان و بهار رخ می‌دهد. دمای متوسط سالانه بین ۶ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است و در زمستان‌ها یخبندان شدید در منطقه اتفاق می‌افتد. جهت شیب به‌طور عمده شمالی و غربی است که سبب برخورداری از نور ملایم‌تر و حفظ رطوبت نسبی در خاک می‌شود. این شرایط اکولوژیکی متنوع، موقعیت مناسبی برای بررسی واکنش فنوتیپی ژنوتیپ‌های مختلف محلب و ارزیابی ظرفیت آنها در محیط به نسبت سخت و سرد فریدون‌شهر فراهم می‌کند.

روش تحقیق

تعداد ۲۰ ژنوتیپ محلب (*Cerasus mahaleb* L.) از شش رویشگاه اصلی (دره سه‌پستان شرقی، دره سه‌پستان غربی ۱، دره سه‌پستان غربی ۲، گووه ۱ و گووه ۲، کاهگانک، دورک و پشندگان) با شرایط اکولوژیکی متفاوت در سال ۱۳۹۶ گردآوری و از هریک ۶ پایه (جمعاً ۱۲۰ پایه) به باغ بذر فریدون‌شهر انتقال یافت و به‌صورت منظم کاشته شدند تا امکان ارزیابی مقایسه‌ای آنها در شرایط یکسان فراهم گردد. منشأ ژنوتیپ‌ها مناطق کوهستانی در غرب و شمال‌غرب استان اصفهان بود. در طراحی باغ بذر، ژنوتیپ‌ها به‌صورت منظم و براساس کدگذاری استاندارد چهار رقمی کاشته شده‌اند، به‌طوری‌که رقم اول نشانه رویشگاه، دو رقم میانی، نشان‌دهنده شناسه ژنوتیپ و رقم آخر معرف پایه انتخابی است. این سیستم کدگذاری امکان رهگیری هر ژنوتیپ براساس محل رویش اولیه و ویژگی‌های آن را فراهم کرده و تحلیل تطبیقی داده‌ها با اطلاعات اکولوژیکی را ممکن نموده است. اطلاعات اکولوژیک رویشگاه‌های مادری هر ژنوتیپ (ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت جغرافیایی و نوع خاک) از

ارزیابی سریع و کم‌هزینه به‌ویژه در مراحل ابتدایی به‌نژادی و طراحی باغ‌های بذر مورد توجه هستند ([Mirzaie Nodoushan, 2015](#); [Mohammadi & Prasanna, 2003](#)) در تحقیقی [Godoy](#) و [Jordano \(2001\)](#) با استفاده از نشانگرهای RAPD ساختار ژنتیکی جمعیت‌های محلب را بررسی کردند و تفاوت‌های معنی‌داری بین مناطق پراکنش آن گزارش نمودند. در تحقیق دیگری [Ganji Moghadam](#) و [Khalighi \(2006\)](#) با استفاده از صفات مورفولوژیک (ارتفاع، قطر تاج‌پوشش، حجم تاج و محیط تنه) تنوع درون‌گونه‌ای محلب در استان خراسان را ارزیابی کردند. آنان نشان دادند که صفات تاج‌پوشش و ارتفاع بیشترین نقش را در تمایز ژنوتیپ‌ها داشتند. در ترکیه [Özyurt](#) و همکاران ([2013](#)) با بهره‌گیری از نشانگرهای ISSR توانستند ۷۵ درصد باندهای پلی‌مورفیک را در جمعیت‌های محلب شناسایی کنند و ساختار ژنتیکی مشخصی از ژنوتیپ‌ها ارائه دهند-[Shahi-Gharahlar](#) و همکاران ([2011](#)) نیز با استفاده از ISSR در گونه‌های مختلف زیرسرده *Cerasus* در ایران، وجود تنوع ژنتیکی قابل توجهی را گزارش کردند. با وجود این پیشنهاد پژوهشی، مطالعات اندکی به بررسی عملکرد فنوتیپی ژنوتیپ‌های محلب در شرایط یکنواخت باغ بذر و ارتباط آن با ویژگی‌های رویشگاهی درختان مادری آنها پرداخته‌اند. بنابراین، این پژوهش دلیل برتری برخی ژنوتیپ‌ها از نظر رشد ژنوتیپ‌های نخبه محلب رویشگاه‌های مختلف را در شرایط یکسان باغ بذر فریدون‌شهر بررسی می‌نماید.

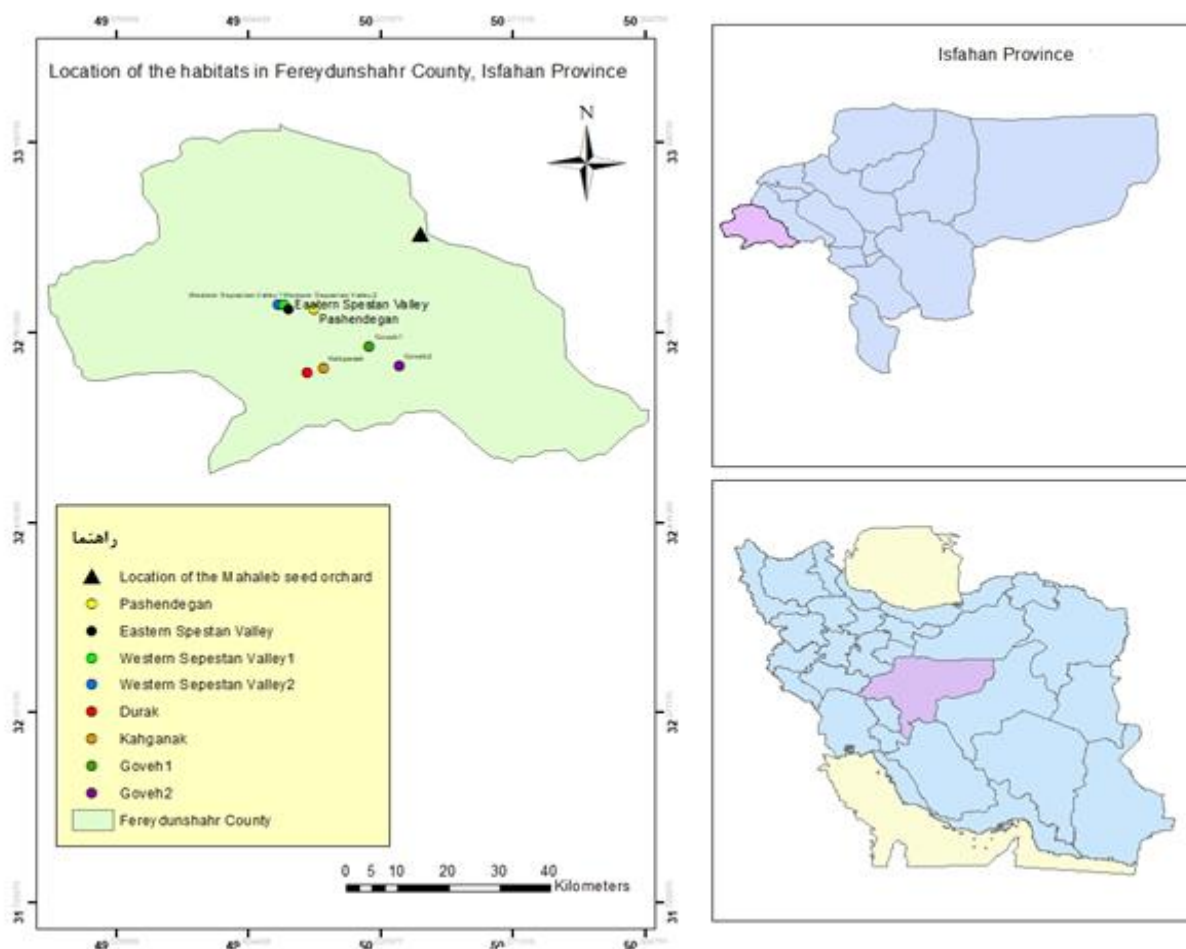
مواد و روش‌ها

منطقه اجرای طرح

این مطالعه در باغ بذر گونه محلب (*C. mahaleb* L.) واقع در شهرستان فریدون‌شهر استان اصفهان با موقعیت جغرافیایی $32^{\circ}56'25''N$ و $50^{\circ}06'31''E$ انجام شده است. این منطقه در بخش غربی استان و در دامنه‌های زاگرس مرکزی واقع شده و از اقلیم کوهستانی سرد و مرطوب برخوردار است. ارتفاع متوسط این باغ بذر از سطح دریا حدود ۲۴۰۰ متر است و میانگین شیب زمین بین ۲۰ تا ۴۰

سلسیوس و بارندگی سالانه ۵۴۳ میلی‌متر) با تصحیح ارتفاعی برآورد شدند؛ به‌طوری‌که دما براساس شیب دمایی استاندارد ($C/m^{\circ}0.0065$) و بارندگی با افزایش ۲ درصد به ازای هر ۱۰۰ متر اختلاف ارتفاع نسبت به ایستگاه تعدیل گردید (جدول ۱).

محل برداشت اولیه بذر ثبت گردید. داده‌های اقلیمی شامل میانگین بارندگی سالانه و میانگین دمای سالانه نیز براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی فریدون‌شهر محاسبه شد. داده‌های اقلیمی هر رویشگاه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی شهرستان فریدون‌شهر (میانگین دما ۸/۹ درجه



شکل ۱- نقشه موقعیت رویشگاه‌های محلب در شهرستان فریدون‌شهر، استان اصفهان

Figure 1. Geographic distribution map of *Cerasus mahaleb* habitats in Fereydunshahr County, Isfahan Province, Iran

جدول ۱- مشخصات رویشگاهی ژنوتیپ‌های محلب در باغ بذر فریدونشهر

Table 1. Ecological characteristics of *Cerasus mahaleb* genotypes in the Fereydunshahr seed orchard

Site Name		Aspect	Slope (%)	Altitude (mabsl)	Annual Temperature .°C	Annual Rainfall (mm)	Soil type	Climate Type
Eastern Spestan Valley		West	40	2481	9.22	538.2	Deep and light soil	Mountainous climate
Western Valley1	Sepestan	South	30	2123	11.55	499.3	Well-drained soil	Moderate
Western Valley2	Sepestan	North	25	2425	9.58	532.1	Deep with good moisture	Humid area
Durak		West	20	1804	13.62	464.6	Semi-deep soil	Temperate climate
Goveh1		West	40	2481	9.22	538.2	Good moisture	High rainfall,
Goveh2		North	25	2425	9.58	532.1	Favorable soil	Cold climate
Kahganak		South	30	2123	11.55	499.3	Medium soil	Semi-arid climate
Pashendegan		North	25	2425	9.58	532.1	Brown calcareous	High altitude

معیار اصلی انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در نظر گرفته شد. به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در سال سوم از شاخص کارایی گزینش برای دو صفت ارتفاع و قطر تاج‌پوشش استفاده شد.

تجزیه آماری

برای تحلیل داده‌ها، ابتدا آمار توصیفی شامل میانگین، بیشینه، کمینه، انحراف معیار و ضریب تغییرات به تفکیک هر سال (در سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۴) محاسبه گردید. در مرحله بعد، به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در سال سوم از شاخص کارایی گزینش برای دو صفت ارتفاع و قطر تاج‌پوشش با استفاده از فرمول زیر استفاده شد.

$$\text{Selection efficiency (\%)} = \frac{\text{Mean of Selected plants}}{\text{Mean of Base Population}}$$

گروه‌بندی ژنوتیپ‌های برتر، از تجزیه خوشه‌ای به روش (Ward, 1963) استفاده گردید. این روش براساس حداقل‌سازی واریانس درون‌خوشه‌ای عمل می‌کند و یکی از

باغ بذر فریدونشهر، در حال حاضر ۸ ساله است. داده‌های جمع‌آوری شده در این تحقیق مربوط به صفات رشد ارتفاعی و قطر تاج‌پوشش، طی سال‌های (۱۴۰۱-۴) رشد است و به‌صورت متوالی اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند. این دوره زمانی به‌دلیل تثبیت نسبی رشد رویشی و آغاز تمایز ژنوتیپی در شرایط یکنواخت باغ بذر، برای تحلیل رشد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شد. در این پژوهش دو صفت کلیدی شامل ارتفاع (سانتی‌متر)، قطر تاج‌پوشش (سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. این داده‌ها طی سه سال متوالی و دو نوبت در سال (اواخر بهار و اواسط تابستان) توسط تیم ثابت و با ابزار یکنواخت جمع‌آوری و یادداشت‌برداری گردید. در مجموع، برای هر ژنوتیپ شش بار اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج‌پوشش ثبت گردید و میانگین دو نوبت برداشت سال سوم به‌عنوان

از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط صفات رشدی با شرایط رویشگاهی (ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، بارندگی و دما) استفاده شد. در ادامه، به‌منظور

گرفته شد.

به منظور بررسی تغییرات کلی صفات رشدی در کل جمعیت، آمار توصیفی ارتفاع و قطر تاج پوشش ژنوتیپ‌های محلب طی سه سال متوالی (از سال ۴ تا ۷) محاسبه شد (جدول‌های ۲ و ۳). در این تحلیل، میانگین دو تکرار در هر سال برای هر ژنوتیپ محاسبه شد و کلیه مقادیر صفر (بیانگر رشد واقعی صفر یا داده ناقص) از محاسبات آماری حذف شدند. میانگین ارتفاع و قطر تاج پوشش در سال‌های مختلف روند افزایشی داشت و دامنه تغییرات (کمینه و بیشینه) بیانگر تنوع بالای فنوتیپی در بین ژنوتیپ‌هاست.

مقادیر بالای ضریب تغییرات (CV) در هر دو صفت نیز وجود اختلاف قابل توجه میان ژنوتیپ‌ها را تأیید می‌کند. همچنین خطای استاندارد پایین در مقایسه با انحراف معیار نشان می‌دهد که میانگین‌ها برآورد مناسبی از وضعیت عمومی جمعیت هستند. این نتایج، پایه‌ای برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در مراحل بعدی تحلیل فراهم می‌کند.

روش‌های متداول برای تحلیل داده‌های چند متغیره در علوم زیستی است برای انجام تحلیل‌های آماری شامل آمار توصیفی، ضریب همبستگی پیرسون و تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار MINITAB16 استفاده شد.

نتایج

باغ بذر محلب مورد مطالعه حدود هشت سال قبل از این پژوهش (۱۳۹۶) در شهرستان فریدون‌شهر احداث شده است. در این پژوهش، داده‌های سه سال اخیر (۱۴۰۴-۱۴۰۱) از این باغ طی دو نوبت در هر سال (اواخر بهار و اواسط تابستان) ثبت گردیده است. انتخاب این بازه زمانی، به این دلیل انجام شد که پس از گذشت چند سال از احداث، نهال‌های محلب کاشته شده، وارد فاز رشد زایشی پایدار شده‌اند و داده‌های ثبت‌شده در این دوره از دقت و قابلیت اتکای بالاتری برای ارزیابی عملکرد ژنوتیپ‌ها برخوردارند. بنابراین، میانگین دو نوبت برداشت سال سوم این دوره به عنوان شاخص اصلی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در نظر

جدول ۲- آمار توصیفی ارتفاع نهال ژنوتیپ‌های محلب در سه سال متوالی

Table 2. Descriptive statistics of plant height in *Cerasus mahaleb* genotypes over three consecutive years.

Year	Genotype numbers	Mean (cm)	Min (cm)	Max (cm)	SD (cm)	SE (cm)	CV (%)
Year 1	116	56.75	5.0	170	35.35	3.28	62.29
Year 2	116	60.79	10.0	170	31.92	2.96	52.51
Year 3	115	76.91	5.0	175	39.86	3.72	51.82

جدول ۳- آمار توصیفی قطر تاج پوشش نهال ژنوتیپ‌های محلب در سه سال متوالی

Table 3. Descriptive statistics of canopy cover diameter in *Cerasus mahaleb* genotypes over three consecutive years.

Year	Genotype numbers	Mean (cm)	Min (cm)	Max (cm)	SD (CM)	SE (CM)	CV (%)
Year 1	117	32.93	2.5	110	20.14	1.86	61.16
Year 2	112	42.12	5.0	120	30.81	2.91	73.16
Year 3	116	38.36	2.5	106.5	21.76	2.02	56.72

و به صورت درصد بیان گردید (جدول ۴ و ۵). در این تحلیل، برای افزایش دقت، مقادیر صفر و داده‌های پرت حذف شدند و میانگین ژنوتیپ‌های منتخب با جمعیت پایه در هر رویشگاه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که برای ارتفاع نهال، ژنوتیپ‌های ۴۲۱ از رویشگاه دره سه پستان غربی و ۶۴۲ از

انتخاب ژنوتیپ‌های برتر براساس بازدهی گزینش

به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در سال سوم، از شاخص کارایی گزینش برای دو صفت ارتفاع و قطر تاج پوشش استفاده شد. این شاخص بر پایه نسبت میانگین ژنوتیپ‌های منتخب به میانگین جمعیت پایه در هر رویشگاه

کهگانک، به ترتیب با بازدهی گزینش ۷۲/۶٪ و ۶۴/۱٪ و ۸۳٪ بازدهی گزینش بیشتری نسبت به پایه‌های منطقه خود بیشترین فاصله مثبت از میانگین جمعیت خود را دارا بودند (جدول ۴). همچنین برای صفت قطر تاج پوشش، ژنوتیپ‌های ۴۲۱ از دره سه پستان غربی و ۱۸۳ از گوه، به ترتیب با ۱۴۰٪ و ۸۳٪ بازدهی گزینش بیشتری نسبت به پایه‌های منطقه خود داشتند (جدول ۴). این نتایج نشان‌دهنده موفقیت روند غربالگری و انتخاب در شناسایی ژنوتیپ‌هایی با رشد مطلوب در شرایط طبیعی رویشگاه‌های مختلف است.

جدول ۴- میانگین ارتفاع نهال (سانتی‌متر) در جمعیت‌های پایه و ژنوتیپ‌های منتخب محلب در سال سوم با منشأ رویشگاهی در شهرستان فریدونشهر

Table 4. Means of plant height (cm) in base populations and selected genotypes of *Cerasus mahaleb* in the third year originated from different habitats of Fereydunshar County, Iran

Habitat Name	Genotype No Per/ habitat	Total Plant No	Selected Plant code	Base Population Mean $\pm$ SE (cm)	Selected plants Mean $\pm$ SE (cm)	Selection efficiency (%)
Goveh	4	24	G113	99.36 $\pm$ 5.60	147.5 $\pm$ 11.63	48.45
			G183	99.36 $\pm$ 5.60	128.3 $\pm$ 6.20	29.00
Pashendegan	3	18	P256	85.35 $\pm$ 10.92	119.3 $\pm$ 6.71	39.78
			P262	85.35 $\pm$ 10.92	115.0 $\pm$ 15.32	34.74
			P286	85.35 $\pm$ 10.92	101.8 $\pm$ 6.87	19.27
Eastern Spestan Valley	3	18	ES333	83.69 $\pm$ 7.89	123.6 $\pm$ 5.53	48.74
Western Sepestan Valley	2	12	WS421	70.10 $\pm$ 14.82	121.2 $\pm$ 5.94	72.63
Kahganak	4	24	K642	96.17 $\pm$ 9.53	167.8 $\pm$ 7.60	64.08
			K661	96.17 $\pm$ 9.53	123.4 $\pm$ 5.14	17.92
			K665	96.17 $\pm$ 9.53	108.0 $\pm$ 2.53	12.30
Total	16	96				

SE=Standard error خطای استاندارد

جدول ۵- میانگین قطر تاج پوشش (سانتی‌متر) در جمعیت‌های پایه و ژنوتیپ‌های منتخب محلب در سال سوم با منشأ رویشگاهی متفاوت فریدونشهر

Table 5. Means of canopy cover diameter (cm) in base populations and selected genotypes of *Cerasus mahaleb* in the third year originated from different habitats of Fereydunshahr County, Iran.

Habitat Name	Genotype No Per/ habitat	Total Plant No	Selected Plant code	Base Population Mean $\pm$ SE (cm)	Selected plants Mean $\pm$ SE (cm)	Selection efficiency (%)
Goveh	4	24	G113	55.45 $\pm$ 5.01	90.3 $\pm$ 6.80	63.28
			G183	55.45 $\pm$ 5.01	101.5 $\pm$ 11.44	83.87
Pashendegan	3	18	P256	49.00 $\pm$ 8.07	90.8 $\pm$ 12.13	85.31
			P262	49.00 $\pm$ 8.07	65.1 $\pm$ 18.13	32.45
			P286	49.00 $\pm$ 8.07	66.3 $\pm$ 6.29	35.31
Eastern Spestan Valley	3	18	ES333	41.92 $\pm$ 5.72	63.2 $\pm$ 8.33	50.76
Western Sepestan Valley	2	12	WS421	41.80 $\pm$ 11.63	100.6 $\pm$ 8.35	140.67
Kahganak	4	24	K642	53.70 $\pm$ 6.75	63.0 $\pm$ 7.39	20.94
			K661	53.70 $\pm$ 6.75	80.8 $\pm$ 3.71	50.47
			K665	53.70 $\pm$ 6.75	78.3 $\pm$ 4.91	45.81
Total	16	96				

SE=Standard error خطای استاندارد

تحلیل همبستگی

از بین ۱۰ ژنوتیپ برتر، تنها ۴ ژنوتیپ دارای بذردهی پایدار بودند. به همین دلیل در همبستگی بین صفات رشدی و ویژگی‌های رویشگاهی از این صفت استفاده نشد. نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین صفات رشدی (ارتفاع گیاه، قطر تاج پوشش) و عوامل رویشگاهی در جدول ۶ ارائه شده است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع و قطر تاج پوشش مشاهده شد ($r=0.96$, $p<0.01$). ماتریس همبستگی پیرسون بین متغیرهای ارتفاع گیاه، قطر تاج پوشش با عوامل محیطی شامل بارندگی، دما، شیب و ارتفاع رویشگاه

نشان داد که همگی در رویشگاه‌هایی با شرایط خاص اقلیمی و اکولوژیکی قرار داشتند. این رویشگاه‌ها شامل مناطق با ارتفاع و رطوبت نسبی بیشتر و شیب کمتر بودند که ارتباط معنی‌داری بین دو صفت مذکور و ویژگی‌های رویشگاهی مشاهده نشد. در حالی که همبستگی بین دما با بارندگی، شیب و ارتفاع از سطح دریا منفی و معنی‌دار بود. به عبارت دیگر، در مناطق مرتفع و شیب‌دار بارندگی بیشتر و دمای کمتر مشاهده شد. این نتایج بیانگر آن است که شرایط اقلیمی محلی از جمله رطوبت، دما و توپوگرافی می‌توانند بر رشد ژنوتیپ‌ها تأثیرگذار باشند.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات رشد و ویژگی‌های رویشگاهی در ژنوتیپ‌های منتخب محلب در باغ بذر فریدونشهر

Table 6. Correlation coefficients between growth traits and habitat characteristics of selected genotypes of *Cerasus mahaleb* in Fereydunshahr seed orchard.

Traits	Plant height	Canopy diameter	Precipitation	Temperature	Slope
Canopy diameter	0.96**				
Precipitation	-0.08	-0.04			
Temperature	0.08	0.04	-0.99 **		
Slope	0.03	-0.01	0.63 *	-0.63 *	
Altitude	-0.08	-0.04	0.99 **	-0.99 **	0.63 *

*, ** = Significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

*, **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

تحلیل خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برتر محلب

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های برتر محلب از نظر صفات رشدی، تحلیل خوشه‌ای با روش Ward بر پایه صفات ارتفاع و قطر تاج پوشش در ژنوتیپ‌های برتر در سال سوم انجام شد. نتایج این تحلیل، ژنوتیپ‌ها را در دو خوشه متمایز طبقه‌بندی کرد (جدول ۷ و شکل ۲).

در خوشه ۱، ژنوتیپ‌های ۱۱۳، ۱۸۳، ۶۴۲، ۶۶۱ و ۶۶۵ قرار گرفتند. این گروه از نظر میانگین ارتفاع و قطر تاج پوشش، برتر از خوشه دوم بودند؛ به طوری که میانگین ارتفاع ژنوتیپ‌های منتخب در این خوشه ۱۲۷ سانتی‌متر و قطر تاج پوشش ۸۷/۵۸ سانتی‌متر بود. در مقابل، خوشه ۲ شامل ژنوتیپ‌های ۲۵۶، ۲۶۲، ۲۸۶، ۳۳۳ و ۴۲۱ بود که با

میانگین ارتفاع ۱۱۲/۱۸ سانتی‌متر و تاج پوشش ۷۵/۲ سانتی‌متر در سطح پایین‌تری نسبت به خوشه اول بودند. مقایسه بین میانگین خوشه‌ها به روش آزمون تی تست انجام شد. نتایج تفاوت معنی‌دار بین میانگین صفات دو خوشه نشان داد که ژنوتیپ‌های خوشه ۱ دارای توان رشد بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های خوشه ۲ هستند. بنابراین، ژنوتیپ‌های خوشه ۱ می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای انتخاب در برنامه‌های اصلاحی با هدف بهبود صفات رویشی در باغ‌های بذر محلب باشند. با این حال، برای انتخاب نهایی ژنوتیپ‌ها جهت استقرار در باغ‌های بذر اصلاح‌شده، نیاز به بررسی‌های تکمیلی از جمله آزمون‌های نتاج و ارزیابی صفات زایشی وجود دارد.

جدول ۷- تجزیه خوشه‌ای و نام ژنوتیپ‌های محلب هر خوشه و مقایسه میانگین خوشه‌ها برای صفات ارتفاع و قطر تاج پوشش در باغ بذر فریدونشهر

Table 7. Cluster analysis and the names of *Cerasus mahaleb* genotypes in each cluster and mean comparisons between clusters for plant height and canopy cover diameter in Fereydunshahr seed orchard.

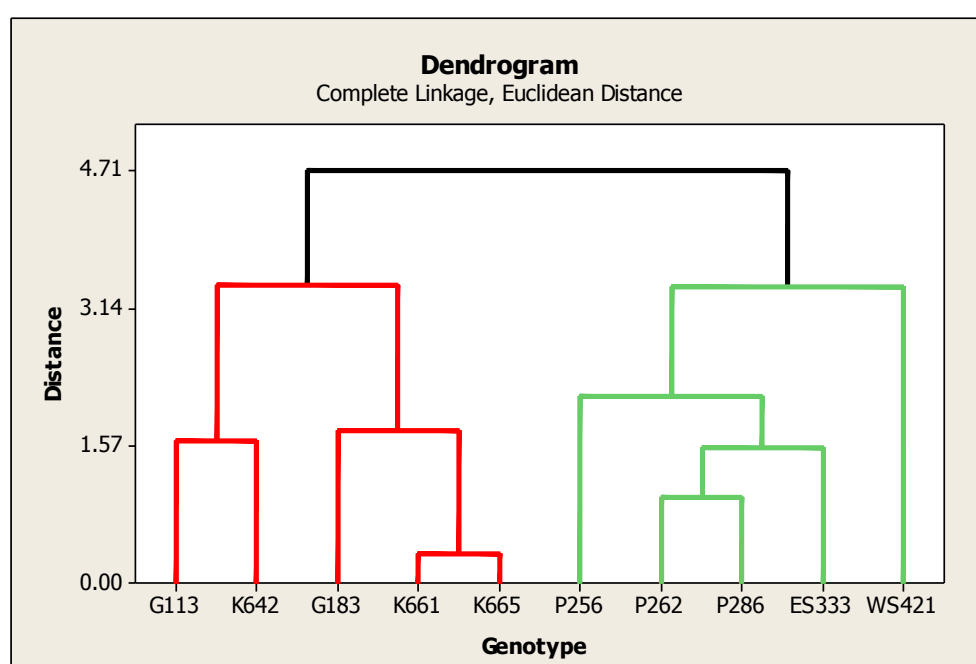
Cluster	Genotype Code	Plant height (cm)		Canopy Diameter (cm)	
		Base population	Selected genotype	Base population	Selected genotype
Cluster1	G113, G183, K642, K661, K665	97.44 a	127.00 a	54.40 a	87.58 a
Cluster2	P256, P262, P286, ES333, WS421	81.96 b	112.18 b	46.14 b	75.2 b

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون تی تست است.

Different letters in each column indicate statistically significant differences based on the t-test.

The habitat of genotypes is presented in Table 4

نام رویشگاه ژنوتیپ‌های منتخب در جدول ۴ آمده است.



شکل ۲. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای (روش Ward) بین ۱۰ ژنوتیپ برتر محلب براساس داده‌های ارتفاع و قطر تاج پوشش در باغ بذر فریدونشهر

Figure 2. Dendrogram of the 10 top genotypes of *Cerasus mahaleb* derived by Ward method using height and canopy diameter in Fereydunshahr seed orchard.

The name of the habitat of genotypes is presented in Table 4

نام رویشگاه ژنوتیپ‌های منتخب در جدول ۴ آمده است.

بحث

جمعیت پایه داشتند. این موضوع نشان‌دهنده راندمان مطلوب گزینش در شناسایی پایه‌های برتر برای اهداف اصلاحی است. این نتایج با یافته‌های [Ganji Moghadam](#) و [Khalighi \(2006\)](#) مطابقت دارد، که گزارش کردند ارتفاع و قطر تاج پوشش مهم‌ترین صفات تمایزدهنده ژنوتیپ‌های محلب هستند. همچنین، مشابه با نتایج این

نتایج این پژوهش نشان داد که فرایند گزینش ژنوتیپ‌های برتر براساس صفات رشدی در شرایط کنترل‌شده باغ بذر موفقیت‌آمیز بوده است؛ به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های منتخب در سال هشتم از نظر میانگین ارتفاع و قطر تاج پوشش، برتری آماری معنی‌داری نسبت به میانگین

مطالعه‌ای روی تاغ‌کاری در مناطق بیابانی ایران، نشان دادند که ویژگی‌های اکولوژیکی رویشگاه مادری، به‌ویژه ارتفاع و شرایط خاک و اقلیم، تأثیر مستقیم بر موفقیت کاشت و استقرار نهال‌ها دارد. این نتایج مشابه آن چیزی است که در این تحقیق برای محلب مشاهده شد. به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های منشأ گرفته از رویشگاه‌های مرتفع‌تر و دامنه‌های شمالی یا غربی عملکرد بهتری از نظر رشد و بذردهی داشتند. ژنوتیپ‌ها ویژگی‌های متفاوت رویشگاهی از نظر ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، جهت دامنه و نوع خاک دارند. برای نمونه، برخی ژنوتیپ‌های برتر مانند ۲۶۶، ۴۷۵ و ۱۱۰۵ از رویشگاه‌هایی با ارتفاع بالای ۲۴۰۰ متر، جهت شمالی و خاک قهوه‌ای آهکی انتخاب شده‌اند که این ویژگی‌ها به احتمال موجب سازگاری بیشتر آنها با شرایط سرد و مرتفع باغ بذر فریدون‌شهر شده است. در مقابل، ژنوتیپ‌هایی مانند ۵۹۵ و ۵۹۶ از رویشگاه‌هایی با ارتفاع پایین‌تر (حدود ۱۸۰۰ متر) و شیب کمتر انتخاب شده‌اند و عملکرد ضعیف‌تری در رشد طولی یا قطر تاج‌پوشش نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های اکولوژیکی محل جمع‌آوری، به‌ویژه ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی، نقش مؤثری در بیان فنوتیپی صفات رشدی ژنوتیپ‌های محلب دارند.

تحلیل خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برتر محلب در سال هشتم، دو گروه متمایز را آشکار کرد: خوشه ۱ با رشد عمودی بالا و تاج گسترده‌تر و خوشه ۲ با ارتفاع بالا اما تاج محدود. این تمایز نشان می‌دهد که هیچ‌یک از ژنوتیپ‌ها به‌تنهایی دارای تمامی ویژگی‌های رشدی مطلوب نیستند. بنابراین، استفاده ترکیبی از ژنوتیپ‌ها با الگوهای رشدی متفاوت، راهبردی مؤثر برای طراحی باغ‌های بذر اصلاح‌شده به‌منظور دستیابی به رشد پایدار و متعادل در شرایط متنوع اکولوژیکی خواهد بود. چنین رویکردی با برخی مطالعات انجام شده همسو است (Özyurt et al., 2013; Rehfeldt et al., 1999)، به‌طوری‌که بر اهمیت تنوع ژنتیکی و حفاظت ژرم‌پلاسما محلب تأکید داشته‌اند. به‌طورکلی، این تحقیق تأکید می‌کند که راهبرد بهینه برای مدیریت باغ‌های بذر محلب، بهره‌گیری همزمان از ژنوتیپ‌هایی با رشدی قوی و دارای بذردهی پایدار است. این

پژوهش، [Khadivi-Khub و همکاران \(2016\)](#) با بررسی تنوع فنوتیپی ژرم‌پلاسما بادم‌کوهی (*Prunus scoparia*) در ایران، تنوع قابل‌توجهی را در صفات مورفولوژیک ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گزارش کردند و نشان دادند که این تنوع می‌تواند مبنای مناسبی برای شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های برتر و بهره‌برداری از آنها در برنامه‌های اصلاحی باشد.

از نظر بوم‌شناسی، نتایج این تحقیق با مطالعه [Vitasse و همکاران \(2009\)](#) نیز همخوانی دارد. آنان نشان دادند که جمعیت‌های درختی در ارتفاعات بالاتر الگوهای رشد متفاوتی دارند. در این پژوهش نیز مشاهده شد که ژنوتیپ‌های برتر عمدتاً از رویشگاه‌های مرتفع‌تر با جهت شمالی یا غربی انتخاب شدند؛ عاملی که احتمالاً با شرایط نوری و رطوبتی مطلوب‌تر مرتبط است. در نتیجه، این یافته‌ها نه تنها مؤید موفقیت‌آمیز بودن فرایند گزینش هستند، بلکه نشان می‌دهند که ترکیب اطلاعات فنوتیپی با ویژگی‌های رویشگاهی می‌تواند ابزاری قدرتمند در بهبود برنامه‌های انتخاب ژنوتیپ‌ها برای اصلاح نباتات و احیای جنگل‌ها باشد.

از منظر تولیدمثل، بررسی بذردهی ژنوتیپ‌های منتخب نشان داد که تنها چهار ژنوتیپ از میان پایه‌های رشدی قوی (کدهای ۴۲۱، ۱۸۳، ۶۴۲ و ۱۱۳) دارای بذردهی پایدار بودند. این ژنوتیپ‌ها از رویشگاه‌هایی با ارتفاع بالا (بیش از ۲۳۰۰ متر) و عمدتاً دارای شیب متوسط و جهت شمالی یا غربی منشأ گرفته‌اند؛ شرایطی که معمولاً با رطوبت خاک بیشتر، دریافت نور کمتر در طول روز و محدودیت دمایی نسبی همراه است. این عوامل می‌توانند بر تقویت فرایندهای زایشی مانند تشکیل جوانه‌های گل و رسیدن بذر اثرگذار باشند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بذردهی پایدار در ژنوتیپ‌های برتر تنها در شرایط رویشگاهی خاصی امکان‌پذیر بوده و نمی‌توان رشد قوی را به‌تنهایی شاخص انتخاب در برنامه‌های اصلاحی قرار داد. این موضوع با یافته‌های [Kleinschmit \(1999\)](#) درباره گیلاس وحشی (*Prunus avium*) همخوان است که در آن تنوع زیادی در توان تولیدمثل ژنوتیپ‌ها با منشأهای متفاوت گزارش شد. [Pourmeidani و Mirzaie Nodoushan \(2004\)](#) در

تحلیل همبستگی نیز وجود رابطه مثبت و قوی بین ارتفاع و قطر تاج پوشش را تأیید کرد، به طوری که ژنوتیپ‌های با رشد طولی بهتر، معمولاً دارای تاج پوشش گسترده‌تری نیز بودند. نتایج تحلیل خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌ها در دو گروه متمایز قرار گرفتند که تفاوت آنها عمدتاً مبتنی بر الگوهای متفاوت رشد عمودی و افقی بود. این یافته‌ها بر اهمیت تنوع فنوتیپی در انتخاب ترکیب ژنوتیپ‌های مناسب برای طراحی باغ‌های بذر اصلاح‌شده تأکید دارند و می‌توانند به عنوان مبنایی برای انتخاب والدین در برنامه‌های اصلاحی و احیای عرصه‌های جنگلی مورد استفاده قرار بگیرند.

رویکرد می‌تواند علاوه بر بهبود کیفیت بذر تولیدی، به حفظ تنوع ژنتیکی و افزایش سازگاری بلندمدت این گونه ارزشمند در برابر تغییرات اقلیمی کمک کند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ‌های محلب حتی در شرایط یکنواخت باغ بذر نیز از نظر ویژگی‌های رشد رویشی تفاوت‌های معنی‌داری دارند. براساس میانگین صفات ۱۰ ژنوتیپ برتر شناسایی شدند که از نظر ارتفاع و قطر تاج پوشش عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند.

References

- Belaj, A., Satovic, Z., Cipriani, G., Baldoni, L., & Testolin, R. 2003. Comparative study of the discriminating capacity of RAPD, AFLP and SSR markers and of their effectiveness in establishing genetic relationships in olive. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 736–744. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1301-5>
- Browicz, K., & Zohary, D. 1996. The genus *Amygdalus* L. (Rosaceae): Species relationships, distribution and evolution under domestication. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43(3), 229–247. <https://doi.org/10.1007/BF00123275>.
- Ganji Moghadam, E., & Khalighi, A. 2006. Genetic variation of Mahaleb (*Prunus mahaleb* L.) on some Iranian populations using morphological characters. *Journal of Applied Sciences*, 6(3), 651–653. <https://doi.org/10.3923/jas.2006.651.653>
- Godoy, J. A., & Jordano, P. 2001. Seed dispersal by animals: Exact identification of source trees with endocarp DNA microsatellites. *Molecular Ecology*, 10(9), 2275–2283. <https://doi.org/10.1046/j.0962-1083.2001.01342.x>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. 2016. Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Khadivi-Khub, A., Sarooghi, F., & Abbasi, F. 2016. Phenotypic variation of *Prunus scoparia* germplasm: Implications for breeding. *Scientia Horticulturae*, 207, 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.023>
- Kang, K. S., Lindgren, D., & Mullin, T. J. 2001. Prediction of genetic gain and gene diversity in seed orchard crops under alternative management strategies. *Theoretical and Applied Genetics*, 103, 1099–1107. [DOI: 10.1007/s001220100700](https://doi.org/10.1007/s001220100700)
- Kleinschmit, J. 1999. Breeding strategies for hardwoods: oak, cherry and birch. In: *Strategies for Improvement of Forest Trees. Proceedings of the Symposium on Forestry Genetics March 1998 Trinity College Dublin*. (G. C. Douglas, ed.). COFORD publication 37-62.
- Mirzaie-Nodoushan, H. 2015. *Forest Trees Seed Orchard*, Edition: 1. Publisher: University of Tehran Press, Tehran, Iran. ISBN: 9789640367308 (In Persian).
- Mohammadi, S. A. & Prasanna, B. M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants—salient statistical tools and considerations. *Crop Science*, 43(4), 1235–1248. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1235>.
- Özyurt, I. K., Akca, Y., & Ercisli, S. 2013. Molecular characterization of *Prunus mahaleb* L. rootstock candidates by ISSR markers. *Genetika*, 45(3), 717–726. <https://doi.org/10.2298/gensr1303717o>
- Pourmeidani, A., & Mirzaie Nodoushan, H. 2004. Investigation of genetic variation and cluster analysis in different *Haloxylon* genotypes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2004.115480> (In Persian).
- Rehfeldt, G. E., Ying, C. C., Spittlehouse, D. L., & Hamilton, D. A., Jr. 1999. Genetic responses to climate in *Pinus contorta*: Niche breadth, climate change, and reforestation. *Ecological Monographs*, 69(3), 375–407. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1999\)069\[0375:GRTICP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1999)069[0375:GRTICP]2.0.CO;2)
- Shahi-Gharahlar, A., Zamani, Z., Fatahi, R., & Bouzari, N. 2011. Estimation of genetic diversity in some Iranian wild *Prunus* subgenus *Cerasus* accessions using inter-simple sequence repeat (ISSR) markers.

- Biochemical Systematics and Ecology*, 39(4–6), 826–833. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2011.07.018>
- Vitasse, Y., Delzon, S., Bresson, C. C., Michalet, R., & Kremer, A. 2009. Altitudinal differentiation in growth and phenology among populations of temperate-zone tree species growing in a common garden. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(7), 1259–1269. <https://doi.org/10.1139/X09-054>
- Ward, J. H., Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Zobel, B. J., & Talbert, J. T. 2003. *Applied Forest Tree Improvement*. Waveland Press.