DOI: 10.22092/spj.2026.371547.1456

"نهال و بذر"
جلد ۴۱، شماره ۱، سال ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع ژنتیکی برخی از ژنوتیپ‌های گزینش شده گردو خراسان جنوبی با استفاده از خصوصیات مورفولوژیکی

Evaluation of Genetic Diversity of Some Persian Walnut (*Juglans regia* L.) Genotypes of South Khorasan Using Morphological Characteristics

امیرحسین مصطفوی[۱]، جواد عرفانی مقدم[۲*] و عبدالکریم زارعی[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۲

چکیده

مصطفوی، ا. ح.، عرفانی مقدم، ج. و زارعی، ع. ۱۴۰۴. ارزیابی تنوع ژنتیکی برخی از ژنوتیپ‌های گزینش شده گردو خراسان جنوبی با استفاده از خصوصیات مورفولوژیکی. **نهال و بذر ۴۱:** ۴۷-۲۳

گردوی ایرانی یکی از مهمترین محصولات خشکبار در ایران می‌باشد. در این پژوهش، تنوع ژنتیکی ۶۱ ژنوتیپ گزینش شده گردو از شهر آبیز در شمال شرقی استان خراسان جنوبی بر اساس ۳۰ ویژگی کمی وکیفی درخت و میوه بررسی شد. نتایج نشان داد تنوع ژنتیکی بالایی برای صفات مورد ارزیابی در جمعیت‌های بررسی شده وجود دارد. بیشترین ضریب تنوع مربوط به صفات شکاف میوه، شکل برگ، شکل میوه، تعداد میوه روی شاخه، رنگ پوسته چوبی، اندازه مغز و رنگ مغز بود. بیشترین و کمترین وزن میوه خشک با پوست چوبی ۱۷/۳ و ۱۱/۹ گرم به ترتیب مربوط به ژنوتیپ C5 و C2 بود و میانگین این صفت برای کلیه ژنوتیپ‌ها، ۱۳/۴۰ گرم ثبت شد. همچنین بیشترین وزن خشک مغز ۸/۹ گرم و کمترین آن ۴/۶ گرم به ترتیب در ژنوتیپ‌های C5 و B6 با میانگین ۶/۲۹ گرم برای کلیه ژنوتیپ‌ها بود. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس کلیه صفات، بیانگر دو گروه اصلی در فاصله ۱۶۵ بود که هر کدام از گروه‌های اصلی با خویشاوندی بیشتر به چند زیر گروه تقسیم شدند. نتایج تجزیه به عامل‌های اصلی نشان داد، هشت عامل اول در مجموع نزدیک به ۷۶/۸۰ درصد از واریانس کل مشاهده شده را توجیه کردند. عامل اول که بیشتر مربوط به صفات کمی میوه بود، حدود ۳۷/۹۵ درصد از واریانس کل را توجیه کرد. به طورکلی ژنوتیپ‌های C5، E6، G7 و B5 دارای صفات مطلوب مغز و میوه بودند که می توانند برای کشت و یا تولید ارقام جدید در برنامه‌های برنامه‌های به‌نژادی گردو استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: گردو، ضریب تنوع، تجزیه به عامل‌ها، وزن میوه، وزن مغز.

* نگارنده مسئول: j.erfani@ilam.ac.ir تلفن: ۰۸۴۳۲۲۲۷۰۱۵

2025© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

ارزیابی تنوع ژنتیکی جمعیت‌های طبیعی از جنبه‌های مهم در مدیریت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی است و اهمیت بسیاری در بقا و سازگاری گونه‌ها گیاهی دارد. گردو ایرانی (*Juglans regia* L.) یکی از قدیمی‌ترین محصولات درختی شناخته شده برای بشر است که به شکل گسترده‌ای در مناطق معتدل و نیمه خشک برای آجیل خوراکی کشت می‌شود (Vahdati *et al*., 2019). کشور ایران به دلیل داشتن شرایط مناسب کاشت و پرورش گردو، با تولید بیش از ۱۳ درصد از گردوی جهان، در ردیف مهمترین مراکز تولید این گونه گیاهی ارزشمند قراردارد، به‌طوری که بعد از چین و آمریکا بزرگترین تولیدکننده گردو در سطح جهان است (FAO, 2023).

علیرغم تولید زیادگردو در ایران، تجارت بین‌المللی این محصول ارزشمند در کشور موفقیت چندانی نداشته که علت اصلی آن را می‌توان به نایکنواختی میوه تولیدی در اثر تکثیر جنسی نسبت داد (Vahdati *et al*., 2019). البته این مشکل با احداث باغات پیوندی و جایگزینی ارقام اصلاح شده و تجاری گردو قابل مدیریت و بهبود است، ولی از نظر برنامه‌های به نژادی این تنوع می‌تواند یک فرصت استثنایی را در اختیار به‌نژادگران قرار دهدکه با شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر در مناطق مختلف کشور، پژوهش‌های جدید،کاربردی و موثر مورد نیاز و با سود تجاری خوب با افق‌های بلند مدت را انجام دهند (Rezaei *et al*., 2020).

تنوع ژنتیکی قابل توجهی در جمعیت بومی گردو در ایران به دلیل میزان هتروزیگوسیتی بالا، دیگوکامی، گرده افشانی متقابل و در نتیجه تکثیر از طریق بذر وجود دارد (Ebrahimi *et al*., 2015). این تنوع ژنتیکی فرصتی بسیار مغتنمی برای شناسایی ژنوتیپ‌های دارای خصوصیات ارزشمند فراهم می‌کند. مطالعات متعددی برای شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر گردو (Sarikhani Khorami *et al*., 2021) و همچنین برای بررسی تنوع ژنتیکی در بین جمعیت‌های گردو در ایران و جهان انجام شده است (Jafari Saydi *et al*., 2011).

مرکز اولیه تنوع گردو فلات ایران (شامل ایران امروزی و برخی از کشورهای آسیای مرکزی) است. یافتن جمعیت گردوهای وحشی در این کشورها آسان است. وجود انواع مختلف درختان گردو با ویژگی‌های متنوع، پرورش دهندگان گردو را قادر می‌سازد تا هرگونه برنامه به‌نژادی را بر اساس این جمعیت‌ها طراحی و اجرا کنند. منابع ژنتیکی گردو نقش اساسی در تولید ارقام کنونی گردو داشته است. بسیاری از ارقام تجاری گردو منتشر شده در کالیفرنیا (نظیر Eureka و Olmo) از نهال‌های جمع آوری شده در ایران، افغانستان و سایر کشورهایی مانند چین که گردو از آنجا منشاء گرفتند به دست آمد (Vahdati *et al*., 2019).

بخش بزرگی از منابع ژنتیکی گردو به دلیل شهرنشینی، تجاری‌سازی باغ‌های سنتی و استفاده

از چوب در معرض نابودی قرار دارند. در حال حاضر یکی از روش‌های اصلی حفاظت از ژرم‌پلاسم گردو در کشورهای مرکز تنوع آن، شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و انتقال آنها به باغ‌های کلکسیون و مادری می‌باشد. رویکردهای مختلفی برای ارزیابی تنوع در منابع ژنتیکی گردو وجود دارد. تاکنون مطالعات تنوع ژنتیکی زیادی در مورد گردو برای بررسی وضعیت تنوع این گیاه ارزشمند انجام شده است (Ebrahimi *et al*., 2016 and Ebrahimi *et al*., 2017a and Ebrahimi *et al*., 2017b; Nie *et al*., 2021; Shahi Shavvon *et al*., 2023; Kairova *et al*., 2023; *et al*., 2025; Zarinkolah *et al*., 2025). استفاده از ویژگی‌های مورفولوژیکی یکی از اولین و مهمترین روش‌ها برای ارزیابی ژنوتیپ‌های موجود درختان میوه می‌باشد (Zarei *et al*., 2019). مطالعات ریخت‌شناسی صفات میوه گردو یکی از ویژگی‌های مهم در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر این درخت میوه می‌باشد (Fatahi *et al*., 2010; Karimi *et al*., 2014; Khadivi-Khub 2014; Shamloo *et al*., 2016; Sharifi *et al*., 2021; Hakimi *et al*., 2022).

پژوهش‌های متعددی در زمینه ارزیابی تنوع ژنتیکی گردو براساس خصوصیات ریخت‌شناسی در ایران انجام شده است (Karimi *et al*., 2014; Vahdati *et al*., 2015; Ebrahimi *et al*., 2017a). وزن میوه و درصد مغز، ضخامت پوست چوبی و سهولت جدا شدن نیمه‌های مغز، از مهم‌ترین ویژگی‌های تعیین کننده کیفیت میوه هستند (Ehteshamnia *et al*., 2009; Sarikhani Khorami *et al*., 2014) که به عنوان شاخص تولید اقتصادی گردو مطرح می‌باشند (Ehteshamnia *et al*., 2009). طول، ضخامت و عرض میوه و همچنین ضخامت پوست چوبی نقش مهمی در تعیین اندازه میوه و وزن مغز دارند و ضخامت پوست چوبی رابطه منفی معنی‌داری با درصد مغز دارد (Ehteshamnia *et al*., 2009; Sarikhani Khorami *et al*., 2014).

در پژوهشی، ۵۶ ژنوتیپ گردو در خراسان رضوی با استفاده از ۲۲ صفت کمی و کیفیت میوه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد وزن مغز از ۴/۱۲ تا ۱۰/۳۰ گرم و وزن میوه خشک از ۱۲/۷۲ تا ۲۶/۷۸ گرم متغیر بود (Attar *et al*., 2021). ۸۱ ژنوتیپ گردو در استان چهارمحال و بختیاری، براساس ۲۱ صفت مورفولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند و از این تعداد، بیش از نیمی از ژنوتیپ‌ها درصد مغز بیش از ۵۰٪ داشتند (Mousavi *et al*., 2013). در پژوهش دیگر، ۳۳ ژنوتیپ بذری گردو با استفاده از صفات مورفولوژی و پومولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج نشان داد تنوع بالایی به لحاظ درصد و وزن مغز، درصد روغن و وزن میوه در ژنوتیپ ها وجود دارد (Rasouli and Ershadi, 2018). پژوهش‌های اخیر روی ژنوتیپ های گردو در نهایت منتج به معرفی

چهار رقم جدید ایرانی با نام‌های کاسپین، پرشیا، الوند و چالدران شد که دارای خصوصیات بارزی مانند دیر برگ‌دهی، وزن بالای مغز، گل‌دهی جانبی، درصد میوه‌دهی بالا تا ۸۰ درصد و استحصال آسان مغز می‌باشند (Hassani *et al*., 2020).

بررسی و ارزیابی تنوع ژنتیکی مسئله‌ای مهم در برنامه‌های به‌نژادی، مدیریت منابع ژنتیکی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گردو می‌باشد. گردو در ایران از دیرباز توسط بذر تکثیر می‌شود. بنابراین ژنوتیپ‌های متفاوتی از گردو در مناطق مختلف گردوخیز ایران وجود دارد. شهر آبیز در خراسان جنوبی از مناطقی است که سابقه طولانی در کشت و تولید گردو دارد و درختان گردو با زمینه ژنتیکی متنوع در این مناطق وجود دارند. تنوع ژنتیکی درختان این منطقه نسبت به دیگر مناطق گردوخیز کشور، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب و ارزیابی خویشاوندی بین آنها در این منطقه می‌تواند در بهبود خصوصیات مطلوب این میوه خشکبار برای دستیابی به نتاج یا ژنوتیپ‌هایی با وزن میوه بیشتر و کیفیت بالاتر موثر باشد. ارزیابی تنوع ژنتیکی علاوه بر شناسایی ژنوتیپ‌های برتر که می‌توانند برای تکثیر رویشی مورد استفاده قرار گیرند.

هدف از این پژوهش ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گزینش شده خراسان جنوبی به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای تکثیر رویشی، انتخاب والدین با فاصله ژنتیکی بیشتر برای استفاده در برنامه دورگ‌گیری در برنامه های به‌نژادی گردو بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۴۰۱تا ۱۴۰۲ در باغات گردوی شهر آبیز در شمال شرقی استان خراسان جنوبی انجام شد. این شهر در فاصله ۷۵ کیلومتری شهرستان قائنات طول جغرافیایی ″۴۵ ′۵۷ °۵۹ و عرض جغرافیایی ″۳۶ ′۴۱ °۳۳ شمالی و با ارتفاع ۱۱۴۸ متر از سطح دریا واقع شده و جزو اقلیم‌های نیمه‌گرم و خشک با میانگین بارندگی سالانه ۱۱۰ میلیمتر است. فصل رویش در این منطقه نسبتا طولانی و از ۱۸۰ تا ۲۴۰ روز متغیر می‌باشد. این پژوهش به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و امید بخش گردو از لحاظ مورفولوژیکی در برخی از باغات شهر آبیز که کشت گردو در آنجا متداول بود انجام شد.

شصت و یک ژنوتیپ گرد مورد مطالعه از A1 تا G7 نامگذاری شدند (جدول ۱) و از لحاظ ۳۰ صفت مختلف کمی و کیفی مربوط به درخت، برگ، میوه و مغز میوه مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲). زمان باز شدن جوانه، زمان تشکیل اولین میوه بر اساس تعداد روز از یک اسفند ثبت شد. زمان رسیدن میوه و زمان ریزش برگ نیز براساس تعداد روز از یک شهریور و یک آبان ثبت شد. طول و عرض برگ در زمان بلوغ کامل برگ با ارزیابی ۵۰ برگ برای هر ژنوتیپ که به شکل تصادفی از بخش‌های مختلف درخت جمع‌آوری شد به دست آمد.

جدول ۱- کد ژنوتیپ‌های گردوی مورد ارزیابی

Table 1. Codes of the evaluated walnut genotypes

کد Code	کد Code	کد Code	کد Code
A1	C2	D7	F1
A2	C3	D8	F2
A3	C4	D9	F3
B1	C5	D10	F4
B2	C6	E1	F5
B3	C7	E2	F6
B4	C8	E3	F7
B5	C9	E4	F8
B6	C10	E5	F9
B7	D1	E6	G1
B8	D2	E7	G2
B9	D3	E8	G3
B10	D4	E9	G4
B11	D5	E10	G5
C1	D6	E11	G6
			G7

میوه ژنوتیپ های مورد بررسی در مرحله بلوغ کامل به طور تصادفی از بخش‌های مختلف درختان گردو جمع‌آوری شد، و از هر ژنوتیپ ۱۵ عدد میوه ارزیابی شدند. صفات وزن دانه (وزن میوه با پوست سبز و وزن خشک میوه) و مغز آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی (مدل BPSIID، شرکت Sartorius، آلمان) با دقت یک صدم گرم محاسبه گردید. سپس خصوصیات مربوط به هر ژنوتیپ از قبیل عرض و طول دانه با استفاده از کولیس دیجیتالی (مدل EGL-111-111، شرکت Guanglu، ژاپن) و سایر ویژگی‌های درخت مانند رنگ مغز، روزنه انتهایی، قدرت رشد درخت، عادت رشد درخت، شاخه دهی درخت... وکیفیت میوه برای هر ژنوتیپ با استفاده از توصیف‌گر موسسه بین‌المللی منابع ژنتیکی گیاهی برای گردو ارزیابی شدند (IPGRI, 1994; UPOV, 1998).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و SPSS (نسخه ۲۳) انجام شد. ضریب شاخص تنوع، نسبتی از انحراف معیار هر صفت بر میانگین همان صفت در کل جمعیت می‌باشد که مقدار آن برآورد شد. همبستگی و تجزیه عامل‌ها برای صفات موفولوژیکی با نرم افزار SPSS و روش چرخش عامل‌ها به روش وریماکس انجام شد. عامل اصلی و مستقل ضرایب عاملی ۰/۵ به بالا معنی‌دار در نظر گرفته شدند. تجزیه خوشه‌ای با روش وارد (Ward) بر اساس فاصله اقلیدوسی و ترسیم اسکاتر پلات توسط نرم افزار Past (نسخه ۵/۱) انجام شد.

جدول ۲- صفات کمی و کیفی ارزیابی شده ژنوتیپ‌های گردوی مورد بررسی

Table 2. Quantitative and qualitative traits of the evaluated walnut genotypes

Trait	صفات	Unit	واحد
Tree growth vigor	قدرت رشد درخت	Code: 3-Weak, 5-Medium, 7-Strong, 9-Very Strong	کد: ۳-ضعیف ۵-متوسط ۷-قوی ۹-خیلی قوی
Tree growth habit	عادت رشد درخت	Code: 1-Upright, 2-Semi-upright, 3-Spreading	کد: ۱-مستقیم ۲-نیمه مستقیم ۳-گسترده
Tree branching	شاخه دهی درخت	Code: 1-Very Open, 3-Open, 5-Intermediate, 7-Dense, 9-Very Dense	کد: ۱-خیلی باز ۳-باز ۵-بینابین ۷-متراکم ۹- خیلی متراکم
Leaf bud breaking time	زمان باز شدن جوانه برگ	Day: Day after February 20th	روز: روز بعد از یک اسفند
Time of first fruit formation	زمان تشکیل اولین میوه	Day: Day after February 20th	روز: روز بعد از یک اسفند
Fruit ripening time	زمان رسیدگی میوه	Day: Day after August 23rd	روز: روز بعد از یک شهریور
Leaf falling date	زمان ریزش برگ	Day: Day after October 23rd	روز: روز بعد از یک آبان
Leaf length	طول برگ	mm	میلی‌متر
Leaf width	عرض برگ	mm	میلی‌متر
Leaf shape	شکل برگ	Code: 1-Narrow elliptic, 2-Elliptic, 3-Broad elliptic	کد: ۱-بیضی باریک ۲- بیضی ۳- بیضی پهن
Fresh kernel weight	وزن تر مغز	g	گرم
Dry kernel weight	وزن خشک مغز	g	گرم
Kernel size	اندازه مغز	Code: 1-Very Small, 3-Small, 5-Medium, 7-Large, 9-Very Large	کد: ۱-خیلی کوچک ۳-کوچک ۵-متوسط ۷-بزرگ ۹-خیلی بزرک
Kernel color	رنگ مغز	Code: 1-Very Light, 3-Light, 5-Medium, 7-Dark	کد: ۱-خیلی روشن ۳-روشن ۵-متوسط ۷-تیره
Kernel fleshiness	گوشتی بودن مغز	Code: 1-Poor, 5-Medium, 7-Full	کد: ۱-ضعیف ۵-متوسط ۷-گوشتی کامل
Removable kernel	سهولت درآوردن مغز	Code: 1-Very Easy, 3-Easy, 5-Medium, 7-Hard	کد: ۱-خیلی راحت ۳-راحت ۵-متوسط ۷-سخت
Kernel shriveling	چروکیدگی مغز	Code: 1-Tip shriveled, 2-Less than 50%, 3-More than 50%, 4-Papery	کد: ۱-نوک چروکیده ۲-کمتر از ۵۰٪ ۳-بیشتر از ۵۰٪ ۴-پوک
Fruit shape	شکل میوه	Code: 1-Round, 2-Triangular, 3-Broad ovate, 4-Ovate, 5-Short trapezoid, 6-Long trapezoid, 7-Broad elliptical, 8-Elliptical, 9-Cordate	کد: ۱-گرد ۲-مثلثی ۳-تخم مرغی پهن ۴-تخم مرغی ۵-ذوزنقه ای کوتاه ۶-ذوزنقه ای کشیده ۷-بیضوی پهن ۸-بیضوی ۹-قلبی
Tree height	ارتفاع درخت	m (Laser)	متر: لیزر
Fruit split	شکاف میوه	Code: 0-Absent, 1-Present	کد: ۰- ندارد ۱- دارد
Fruit woody shell color	رنگ پوست سخت میوه	Code: 1-Very Light, 2-Light, 5-Medium, 7-Dark, 9-Very Dark	کد: ۱-خیلی روشن ۲-روشن ۵-متوسط ۷-تیره ۹-خیلی تیره
Green husk thickness	ضخامت پوست سبز میوه	Code: 1-Very Thin, 3-Thin, 5-Medium, 7-Thick	کد: ۱-خیلی نازک ۳-نازک ۵-متوسط ۷-ضخیم
Type of fruit bearing on the branch	نوع باردهی میوه روی شاخه	Code: 1-Terminal, 3-Lateral	کد: ۱-انتهایی ۳-جانبی
Number of fruits on the branch	تعداد میوه روی شاخه	–	–
Fresh fruit weight with green husk	وزن میوه با پوست سبز	g	گرم
Dry fruit weight	وزن خشک میوه	g	گرم
Fruit length	طول میوه	mm	میلی‌متر
Fruit width	عرض میوه	mm	میلی‌متر
Fruit wooden shell surface	سطح پوست چوبی میوه	Code: 1-Few grooves, 2-Medium grooves, 3-Many grooves, 4-Extensive grooves	کد: ۱-شیار اندک ۲-شیار متوسط ۳-شیار زیاد ۴- شیار گسترده
Fruit formation form onthe branch	فرم تشکیل میوه روی شاخه	Code: 1-Single, 3-Clustered	کد: ۱- تکی ۳- خوشه ای

نتایج و بحث

مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و شاخص تنوع فنوتیپی کل ژنوتیپ‌ها برای هر یک از صفات در جدول ۳ ارائه شده است. در میان صفات مورد بررسی، بیشترین ضریب تنوع مربوط به شکاف میوه، شکل برگ، شکل میوه، تعداد میوه روی شاخه رنگ پوسته سخت، اندازه مغز و رنگ مغز بود. کمترین ضریب تنوع مربوط به طول میوه و برگ، وزن میوه خشک با پوست چوبی، وزن میوه با پوست سبز و زمان خزان برگ بود. همچنین صفاتی مانند سهولت درآوردن مغز، ضخامت پوسته سخت میوه و نوع باردهی درخت از تنوع بالایی برخوردار بودند (جدول ۳).

کمترین و بیشترین وزن میوه خشک با پوست چوبی بین ۱۱/۹ تا ۱۷/۳ گرم به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های C2 و C5 بود و میانگین این صفت برای کلیه ژنوتیپ‌ها، ۱۳/۴۰ گرم ثبت شد. همچنین بیشترین وزن خشک مغز ۸/۹ گرم و کمترین آن ۴/۶ گرم به ترتیب در ژنوتیپ‌های C5 و B6 با میانگین ۶/۲۹ گرم برای کلیه ژنوتیپ‌ها به‌دست آمد (جدول ۳). در پژوهشی، با ارزیابی ۱۰۲ ژنوتیپ بذری گردو، میانگین وزن یک میوه خشک از ۶/۱ تا ۱۹/۷۹ گرم و وزن مغز ۲/۹ تا ۹/۴ گرم متغیر بود (Shamlu *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر شاه و همکاران (Shah *et al.*, 2021) با مطالعه ۸۴ ژنوتیپ بذری گردو در منطقه شمال غربی هیمالیا جامو و کشمیر میانگین وزن یک میوه خشک گردو را از ۱۰/۰۴ تا ۲۲/۶۶ گرم و میانگین وزن خشک میوه را از ۴/۷۵ تا ۱۴ گرم گزارش کردند.

باز شدن جوانه‌های برگی از ۱۲ اسفند شروع و تا ۲۲ اسفند ادامه داشت. نتایج نشان داد باز شدن جوانه‌ها در اکثر ژنوتیپ‌ها در اواسط اسفند اتفاق افتاد. زمان تشکیل میوه در اکثر ژنوتیپ‌ها در اوایل فروردین بود و فقط برخی از ژنوتیپ‌ها در پایان دهه اول فروردین وارد فاز تشکیل میوه شدند (جدول ۳). یکی از اهداف مهم برنامه های به‌نژادی گردو دستیابی به ارقامی است که برگ آنها در شروع فصل رشد دیرتر ظاهر شود (Ebrahimi *et al.*, 2017a). ارقام زود گل در بهار بیشتر در معرض خطر سرمای دیررس و بارندگی‌های بهاره در طول دوره گلدهی می باشند که این می‌تواند موجب اختلال در گرده افشانی آنها شود و از طرفی به بیماری بلایت نیز حساس هستند.

قدرت رشد درخت یکی از خصوصیات مهم درختان میوه در میوه‌کاری می باشد. ضریب تغییرات این شاخص در پژوهش حاضر ۳۳/۶۶ درصد برآورد شد (جدول ۳). با این حال این شاخص در پژوهش‌های مختلف براساس نوع ژنوتیپ و اقلیم متفاوت است. ضریب تغییرات قدرت رشد درخت از ۲۴/۷ درصد (Shah *et al.*, 2021) تا ۴۱/۷۰ درصد (Khadivi-Khub, 2014) و در مطالعه شاملو و همکاران (Shamlu *et al.*, 2018) میانگین آن ۲۷/۱۱ درصدگزارش شده است. با توجه به اینکه

جدول ۳- خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطاله

Table 3. Quantitative and qualitative characteristics of the evaluated walnut genotypes

Trait	صفت	Unit	*واحد	کمترین Min.	بیشترین Max.	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	شاخص تنوع فنوتیپی (٪) Phenotypic diversity index (%)
Tree growth vigor	قدرت رشد درخت	Code	کد	3.00	9.00	5.30	1.78	33.66
Tree growth habit	عادت رشد درخت	Code	کد	1.00	3.00	2.36	0.54	23.24
Tree branching	شاخه دهی درخت	Code	کد	1.00	9.00	4.67	2.13	45.69
Leaf bud breaking time	زمان باز شدن جوانه برگ	Day	روز	12.00	22.00	17.64	3.95	22.43
Time of first fruit formation	زمان تشکیل اولین میوه	Day	روز	28.00	39.00	32.84	4.63	14.12
Fruit ripening time	زمان رسیدگی میوه	Day	روز	5.00	20.00	17.18	4.54	26.45
Leaf falling date	زمان ریزش برگ	Day	روز	15.00	25.00	21.56	3.71	17.22
Leaf length	طول برگ	mm	میلی‌متر	159.00	215.00	185.08	12.37	6.68
Leaf width	عرض برگ	mm	میلی‌متر	37.00	115.00	76.41	11.59	15.17
Leaf shape	شکل برگ	Code	کد	1.00	8.00	2.02	1.83	90.76
Fresh kernel weight	وزن تر مغز	g	گرم	7.50	12.40	8.91	1.15	12.96
Dry kernel weight	وزن خشک مغز	g	گرم	4.60	8.90	6.29	1.03	16.41
Kernel size	اندازه مغز	Code	کد	1.00	9.00	4.38	2.05	46.85
Kernel color	رنگ مغز	Code	کد	1.00	7.00	3.39	1.49	44.13
Kernel fleshiness	گوشتی بودن مغز	Code	کد	1.00	7.00	5.23	1.27	24.28
Removable kernel	سهولت درآوردن مغز	Code	کد	1.00	5.00	3.33	1.37	41.31
Kernel shriveling	چروکیدگی مغز	Code	کد	1.00	3.00	2.18	0.67	30.77
Fruit shape	شکل میوه	Code	کد	1.00	8.00	2.74	2.88	105.20
Tree height	ارتفاع درخت	m	متر	3.00	9.00	5.22	1.26	24.23
Fruit split	شکاف میوه	Code	کد	0.00	1.00	0.25	0.43	176.50
Fruit wooden shell color	رنگ پوست سخت میوه	Code	کد	1.00	9.00	4.00	2.27	56.80
Fruit green husk thickness	ضخامت پوست سبز میوه	Code	کد	1.00	7.00	3.75	1.68	44.74
Type of fruit bearing on the branch	نوع باردهی میوه روی شاخه	Code	کد	1.00	3.00	2.08	1.00	48.26
Number of fruits on the branch	تعداد میوه روی شاخه		-	1.00	15.00	5.41	3.09	57.11
Fresh fruit weight with green husk	وزن میوه با پوست سبز	g	گرم	54.6	77.1	60.89	5.10	8.37
Dry fruit weight	وزن خشک میوه	g	گرم	11.90	17.30	13.40	1.34	10.03
Fruit length	طول میوه	mm	میلی‌متر	34.00	51.00	42.57	4.1.00	9.64
Fruit width	عرض میوه	mm	میلی‌متر	32.00	79.00	40.46	6.27	15.51
Fruit wooden shell surface	سطح پوست چوبی میوه	Code	کد	1.00	4.00	2.03	0.93	45.76
Fruit formation form on the branch	فرم تشکیل میوه روی شاخه	Code	کد	1.00	3.00	2.74	0.68	24.86

*For more information about different traits units, refer to the Table 2.

*برای اطلاعات بیشتر در مورد واحد صفات مختلف، به جدول ۲ مراجعه شود.

درختان گردو به شدت هتروزایگوت هستند و بسیاری از نهال‌های بالغ مورد بررسی عمدتاً منشاء دانهالی دارند، تنوع بالایی در قدرت رشد درخت مشاهده شد که دامنه گسترده ایی از رشد ضعیف تا قوی در بین نهال‌های مورد بررسی دیده شد که می‌توانند به عنوان مواد ژنتیکی ارزشمندی در کنترل اندازه درخت مورد استفاده قرار گیرد (Germain *et al*., 1995; Rezaee *et al*., 2006).

قدرت رشد پایین منتج به نهال‌هایی با ارتفاع کم و تاج گسترده خواهد شد که در میوه‌کاری از اهمیت بالایی برخوردار است. عادت رشد درخت یکی دیگر از شاخص‌های مهم در میوه‌کاری است. درختان میوه با عادت رشد گسترده معمولاً گلدهی و میوه‌دهی بالاتری دارند. در پژوهش حاضر اکثر درختان مورد بررسی دارای رشد گسترده بودند و میانگین این شاخص در مجموع ۲/۳۶ با ضریب تغییرات ۲۳/۲۴ درصد ثبت شد (جدول ۳). در پژوهشی بر روی برخی ژنوتیپ‌های گردو گزارش شده است که ۶۵ ژنوتیپ (۴۲/۷۷ درصد) دارای شاخه‌های مستقیم، ۵۷ ژنوتیپ (۳۷/۵۰ درصد) دارای شاخه‌های نیمه مستقیم و ۳۰ ژنوتیپ (۱۹/۷۳ درصد) دارای شاخه‌های پراکنده بودند (Lone, 2017).

نوع میوه‌دهی بر اساس نحوه قرار گرفتن میوه روی جوانه‌ها ارزیابی می‌شود. از بین ۶۱ ژنوتیپ بررسی شده، حدود ۵۵ درصد دارای باردهی جانبی و ۴۵ درصد دارای باردهی انتهایی بودند. شکاف میوه یکی از صفات بسیار مهم در نگهداری و انبارداری محصول گردو است. گردو دارای روزنه باز ضمن احتمال آلودگی قارچ ها در هنگام انبارداری، مورد حمله حشرات قرار می گیرد و در زمان کاشت دانه نیز در خزانه به علت ورود آب زیاد به درون دانه مورد خسارت قارچ ها و کپک زدگی قرار می‌شود. وجود روزنه در هنگام شکستن پوست سخت، به آسانی دانه را به دو نیم تقسیم کرده یا مغزشان خیلی بد خارج می شود.

میزان شاخص تنوع بدست آمده در این صفت ۱۷۶/۵۷ درصد بود که نشان می دهد از لحاظ باز یا بسته بودن روزنه تفاوت زیادی در میان ژنوتیپ‌های این منطقه وجود دارد (جدول ۳). هرچه میزان ضخامت پوست در گردوها بیشتر باشد روزنه انتهای میوه بسته‌تر است، به طوریکه روزنه موجود در گردوهای پوست کاغذی بزرگتر از گردوهای پوست ضخیم می‌باشد (McGranahan *et al*., 1990). نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی قابل توجهی از نظر این شاخص در میان ۶۱ ژنوتیپ گردوی مورد مطالعه در منطقه آبیز وجود داشت (جدول ۳). این تنوع به‌ویژه در صفات مرتبط با میوه و مغز نظیر وزن میوه، وزن مغز، شکل میوه، رنگ مغز و وجود درز و شکاف در پوست مشهود بود. چنین تنوعی می‌تواند به دلیل تولیدمثل جنسی، هتروزیگوسیتی بالا و تأثیر شرایط اکولوژیکی منطقه باشد (Vahdati *et al*., 2019).

گوشتی بودن و رنگ مغز از صفات مهم در بازارپسندی گردو است و مقدار میانگین بدست آمده برای این صفات به ترتیب ۵/۲۳ و ۳/۳۹

بود که نشـــان می دهد اکثر ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای رنگ مغز کهربایی تا کمی روشن با خصـوصـیات گوشـتی بودند (جدول ۳). رنگ مغز مورد پســـنـد ایرانی‌هـا رنـگ مغز روشـــن می‌باشد ولی در آمریکا رنگ مغز کهربایی بیشتر مورد پذیرش می‌باشـد (McGranahan *et al*., 2012). میانگین وزن میوه و مغز از خصـوصـیات مهم کمی و کیفیت میوه گردو است که در بازار پسندی این محصول نقشتعیین کننده دارند. نتایج پژوهش حاضـر نشـان داد برخی از ژنوتیپ‌های گردو در این بررســـی دارای وزن مغز بـالایی بودند که می‌تواند مورد توجه مصـرف کنندگان قرار بگیرد (جـدول ۳). وزن ایـده‌آل مغز گردو در دامنه ۱۰-۶ گرم اسـت (Khadivi-Khub *et al*., 2015a). در صـورتی که در پژوهش حاضـر میانگین وزن خشـک مغز در برخی از ژنوتیپ‌ها بیشـتر از هفت گرم بود و میانگین وزن خشـک مغز کلیه ژنوتیپ‌های گردو ارزیابی شـــده ۶/۲۹ گرم ثبت شد (جدول ۳).

ضـــخامت پوســـت میوه ژنوتیپ‌های گردوی ارزیابی شـــده در این پژوهش متنوع بود (جدول ۳). خدیوی خوب و همکاران (Khadivi-Khub *et al*., 2015a-b) گزارش کـردنـد میـانگـین ضـخامت پوسـته در ۱۴۲ ژنوتیپ از ۲۳۲ ژنوتیپ گردو جمع‌آوری شـــده از اســـتان فارس ۰/۹۲ میلی‌متر بود. تفاوت در ضـــخامت پوســـته میوه ممکن اســـت نـاشـــی از تفـاوت‌هـای ژنتیکی بین ژنوتیـپ هـای محلی بـاشـــد یـا بـه طور بالقوه می‌تواند با آب و هوا منطقه مرتبط باشـــد. منطقه قائنات نسـبت به اسـتان فارس فصـل رشـد کوتـاه‌تر، رطوبـت کمتر و زمســـتـان ســـردتری دارد. شـــرایط اقلیمی یـک منطقـه و همچنین برهمکنش ژنتیـک × محیط می‌توانـد بر روی خصـوصـیات کمی و کیفی گردو اثرگذار باشـد (McGranahan and Leslie, 2012).

همبستگی صفات

ضـرایب همبسـتگی نشـان داد که ژنوتیپ‌های گردوی مورد بررســی از نظر بسـیاری از صـفات مورد ارزیـابی بـا یکـدیگر همبســتگی مثبـت و معنی‌داری داشتد (جدول ضرایب همبستگی ارائه نشـــده اســـت). در میان صـــفات ارزیابی شـــده، می‌توان به صـفات زمان باز شـدن جوانه برگ با زمان تشـکیل میوه اشـاره کرد که همبسـتگی بین آنها $r = ۰/۹۵^{**}$ درصـد بود. همبسـتگی مثبت و معنی داری بین وزن مغز خشـــک با انـدازه مغز ($r =۰/۹۳^{**}$) و وزن میوه خشـــک ($r =۰/۹۵^{**}$) مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که گردوهای بزرگتر داری مغز بیشـــتری بودن کـه ارزش اقتصـــادی بـالاتری دارنـد. ارزانی و همکـاران (Arzani *et al*., 2008) گـزارش کـردنـد کـه گردوهای بزرگتر سنگین‌تر و دارای مغز سنگین‌تر و گوشتی‌تر بودند.

بین طول و قطر میوه همبسـتگی قوی و مثبتی ($r =۰ /۷۶^{**}$) وجود داشـــت. این یافته با نتایج ارزانـی و هـمـکـاران (Arzani *et al*., 2008) هم‌خوانی دارد. شارما (Sharma, 2001) گزارش کرد که همبســتگی مثبت و معنی‌داری بین وزن میوه با قطر میوه گردو ($r =۰/۵۴^{*}$) وجود داشـت.

مهمترین عاملی که می‌تواند باعث کاهش درصد مغز گردو شود ضخامت پوست و وزن چوب است که در صورت بالا بودن این دو صفت، درصد مغز کاهش می‌یابد. در پژوهش حاضر همبستگی منفی بین درصد مغز با ضخامت پوست و وزن چوب وجود داشت. احتشام‌نیا و همکاران (Ehteshamnia *et al.*, 2009) نیز گزارش کردند که همبستگی منفی بین درصد مغز با ضخامت پوست و وزن چوب مشاهده شد. از طرفی همبستگی مثبت و قوی بین اندازه مغز و گوشتی بودن آن وجود داشت.

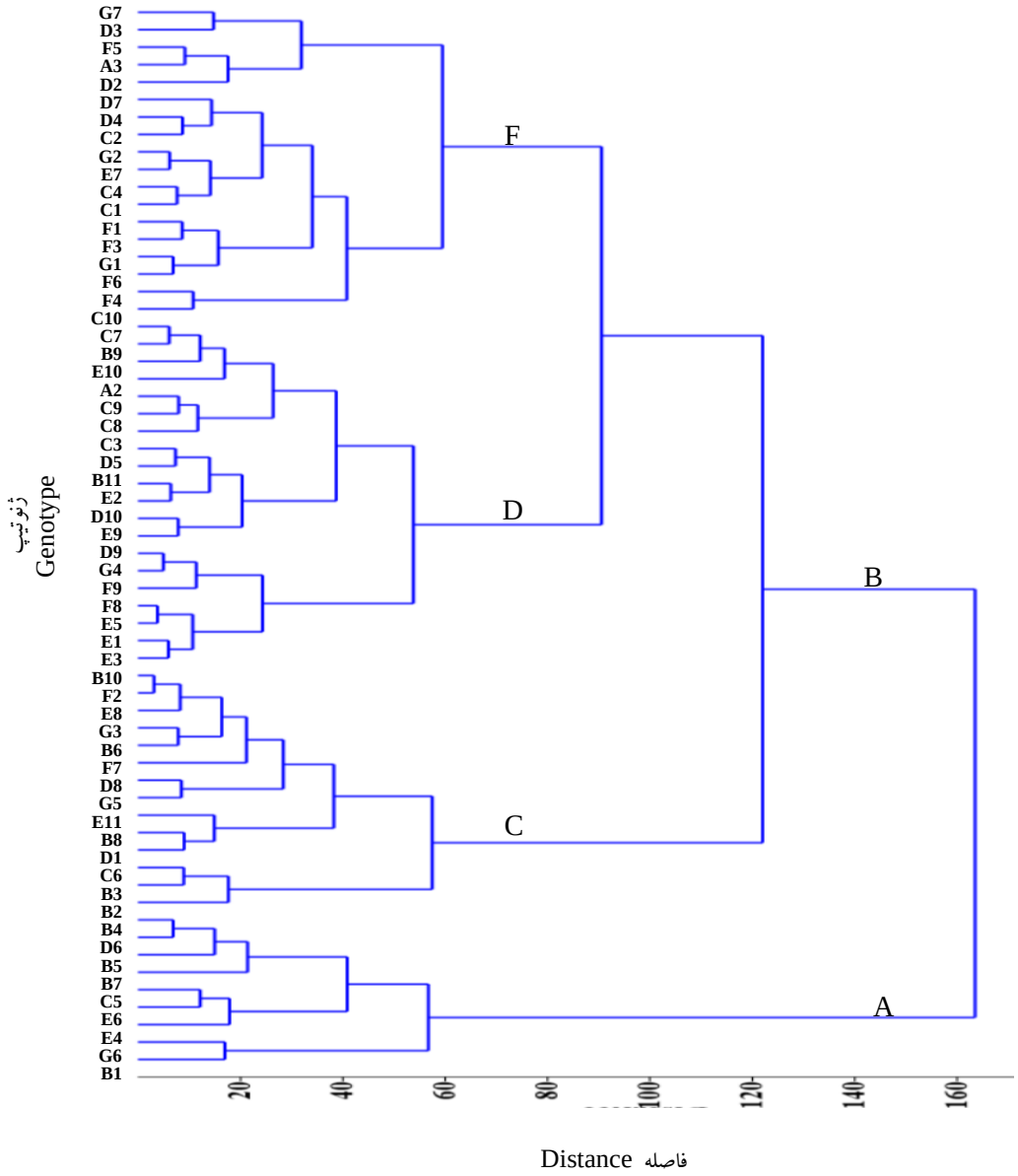
تجزیه خوشه‌ای صفات مرفولوژیکی

بر اساس تجزیه خوشه‌ای مبتنی بر صفات مورفولوژیکی، ژنوتیپ های گردو مورد ارزیابی را در دو گروه اصلی در فاصله ۱۶۵ قرار گرفتند که هر کدام از گروه‌ها با خویشاوندی بیشتر به چند زیر گروه تقسیم شدند (شکل ۱). گروه A شامل نه ژنوتیپ بود که به لحاظ خصوصیاتی مانند وزن میوه و مغز دارای ویژگی‌های مطلوب بودند و بیشتر ژنوتیپ‌های‌های مطلوب گردو در این گروه قرار گرفتند. بافت مغز در این گروه عمدتاً گوشتی و مغز دارای رنگ کهربایی روشن بودند. باردهی از نوع جانبی و سهولت جدا شدن مغز از پوسته از خصوصیات بارز میوه‌های این گروه بود.

ژنوتیپ‌هایی که در گروه B جای گرفتند دارای بیشترین شکاف بر روی ساختار سطحی خود بودند و اکثراً دارای میوه‌هایی با پوست نسبتاً تیره بودند. این گروه از لحاظ وزن چوب در جایگاه بالاتری نسبت به گروه A قرار گرفتند و مغزشان دارای چروک بیشتری بود. با توجه به میانگین که برای کل صفات برای هرگروه محاسبه شد، ژنوتیپ های گردو درگروه B وزن پوسته سخت بیشتری داشتند و دارای کمترین مقدار وزن و اندازه مغز بودند (شکل ۱).

گروه C شامل ۱۴ ژنوتیپ بود که در خصوصیاتی مانند شکل میوه گرد، عدم وجود شکاف در میوه و از لحاظ گوشتی بودن مغز متوسط دسته‌بندی می شوند. زمان رسیدن میوه ۲۰ شهریور و زمان ریزش برگ ۲۵ آبان، فرم تشکیل میوه روی شاخه به صورت جانبی بود.

تعداد ۲۰ ژنوتیپ گردو مورد ارزیابی در گروه D قرار گرفتند که قدرت رشد درخت در این گروه متوسط و زمان باز شدن جوانه برگ عمدتاً در اواخر اسفند بود و زمان تشکیل اولین میوه در فروردین ثبت شد. زمان رسیدن میوه در نیمه انتهایی شهریور و زمان ریزش برگ در اواخر آبان بود. اندازه مغز این گروه عمدتاً کوچک و دارای رنگ مغز روشن هستند. میزان گوشتی بودن مغز متوسط و سهولت در آوردن مغز آسان بود. شکل میوه در این گروه گرد، فرم تشکیل میوه بصورت جانبی و به لحاظ چروکیدگی مغز کمتر از ۵۰٪ بودند. شکل برگ ژنوتیپ‌های این گروه بصورت بیضی باریک بود.



شکل ۱- تجزیه خوشه‌ای ۶۱ ژنتیپ‌های گردو براساس روش Ward با استفاده از صفات مورفولوژیکی

Fig 1. Cluster analysis of 61 walnut genotypes based on Ward's method using morphological traits

گروه F شامل ۱۸ ژنوتیپ بود که تعداد سه ژنوتیپ برتر در این گروه قرار گرفتند. طول برگ ژنوتیپ‌های این گروه بالای ۱۸۵ میلی‌متر بود و از لحاظ خصوصیات مغز به لحاظ گوشتی بودن، متوسط دارای رنگ روشن و اندازه متوسط است. میوه‌ها دارای شکل گرد و عدم وجود شکاف در پوسته بود (شکل ۱).

موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2015) با ارزیابی ۵۸ ژنوتیپ گردو در استان چهار محال و بختیاری نتیجه گرفتند ژنوتیپ‌های

مطلوب براساس خصوصیات مطلوب مغز و میوه در یک خوشه مشخص شدند. همچنین بر اساس مطالعات حکیمی و همکاران (Hakimi *et al.*, 2022) ۲۸ ژنوتیپ گردوی ارزیابی شده در تجزیه خوشه‌ای بر اساس ویژگی‌های کمی میوه از قبیل وزن، اندازه آن و درصد مغز گروه‌بندی شدند. تجزیه خوشه‌ای برخلاف تحلیل‌های تک‌متغیره، قادر است الگوهای پیچیده روابط میان صفات مورفولوژیکی را آشکار کند و ژنوتیپ ها را در قالب گروه‌های همگن طبقه‌بندی کند. چنین طبقه‌بندی‌هایی نه تنها درک بهتری از تنوع ژنتیکی موجود ارائه می‌دهند، بلکه مبنای علمی برای انتخاب والدین مناسب در برنامه‌های به‌نژادی فراهم می‌کنند.

علاوه بر این، تجزیه خوشه‌ای در مطالعات مربوط به گونه‌های درختی مانند گردو، که تنوع بالایی در صفات مورفولوژیکی دارند، می‌تواند به شناسایی منابع ژنتیکی منحصر به‌فرد و دارای صفات مطلوب کمک کند. اطلاعات حاصل از تجزیه خوشه‌ای این امکان را فراهم می‌کند تا با کاهش پیچیدگی داده‌ها، راهبردهای دقیق‌تری برای مدیریت ژرم‌پلاسم در برنامه‌ریزی‌های به‌نژادی اتخاذ شود و به‌عنوان ابزاری کارآمد برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده قرار شود. در پژوهش حاضر، تجزیه خوشه‌ای مبتنی بر صفات مورفولوژیکی توانست ژنوتیپ‌های گردو را به چند گروه اصلی و زیرگروه‌های مرتبط تقسیم کند که هر کدام ویژگی‌های متمایزی داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که خوشه‌بندی بر اساس صفات مورفولوژیکی می‌تواند به‌طور مؤثر ژنوتیپ‌های مطلوب را از سایر گروه‌ها تفکیک کرده و مبنای مناسبی برای انتخاب و بهبود خصوصیات ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های به‌نژادی گردو فراهم آورد.

تجزیه به عامل‌های اصلی

در پژوهش حاضر، با استفاده از تجزیه به عامل‌های اصلی صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گردو را در هشت مولفه اصلی قرار گرفتند و در مجموع نزدیک به ۷۶/۸۰ ٪ از واریانس کل را توجیه کردند (جدول ۴). مولفه اول که بیشتر مربوط به صفات کمی میوه بود، نزدیک به ۳۷/۹۵٪ از واریانس کل را توجیه کرد. صفات کمی میوه مانند وزن میوه و مغز، اندازه مغز در عامل اول با مقادیر بالا قرار گرفتند که نشان می دهد که این صفات از شاخص‌های مهم در پژوهش حاضر بودند و در تفکیک ژنوتیپ‌ها نقش به‌سزایی داشتند. مولفه دوم نیز ۱۱/۴٪ از واریانس کل را توجیه نمود که شامل زمان باز شدن جوانه برگ، زمان تشکیل میوه، تاریخ رسیدن میوه و زمان ریزش برگ بود. مولفه سوم نیز در برگیرنده سه صفت بود و فقط ۶/۴۵٪ از واریانس کل را توجیه کرد و شامل طول برگ، ضخامت پوست سخت میوه و سهولت جدایی مغز از پوسته بود.

تجزیه به عامل‌های اصلی به‌عنوان یکی از روش‌های آماری چندمتغیره، ابزاری قدرتمند برای کاهش پیچیدگی داده‌های مورفولوژیکی و پومولوژیکی در مطالعات تنوع ژنتیکی ژرم‌پلاسم

جدول ۴- ضرایب عاملی، واریانس، واریانس تجمعی و مقادیر ویژه صفات در تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گردو مورد بررسی

Table 4. Component coeficiens, variance, cumulative variance and eigenvalues of traits in genetic diversity of the evaluated walnut genotypes

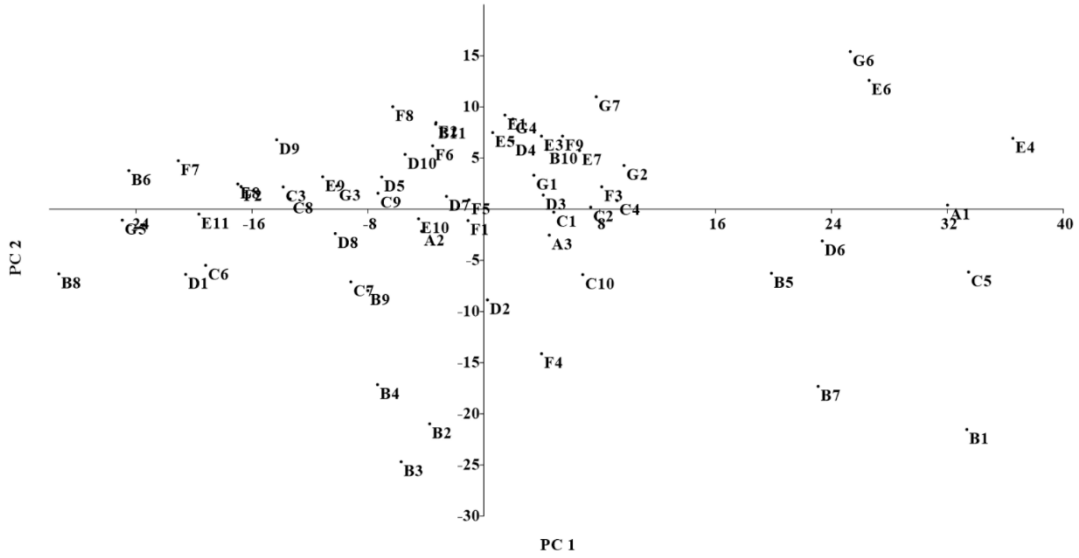
		Component مولفه							
Trait	صفت	1	2	3	4	5	6	7	8
Tree growth vigor	قدرت رشد درخت	0.69	-0.15	0.47	0.13	-0.02	0.16	0.16	0.19
Tree growth habit	عادت رشد درخت	0.04	-0.05	0.07	0.07	0.07	-0.14	0.08	0.86
Tree branching	شاخه دهی درخت	0.30	-0.25	0.48	0.05	0.22	-0.26	0.17	0.08
Leaf bud breaking time	زمان باز شدن جوانه برگ	-0.05	0.96	-0.02	-0.03	-0.11	-0.02	0.05	-0.04
Time of first fruit formation	زمان تشکیل اولین میوه	-0.12	0.91	-0.01	-0.07	-0.09	0.07	-0.05	0.07
Fruit ripening time	زمان رسیدگی میوه	-0.21	0.76	-0.25	-0.04	0.11	-0.21	0.20	-0.14
Leaf fall date	زمان ریزش برگ	-0.19	0.75	-0.39	-0.10	0.03	-0.30	0.12	0.07
Leaf length	طول برگ	0.22	-0.18	0.77	0.02	-0.07	-0.05	0.04	0.13
Leaf width	عرض برگ	0.06	-0.29	0.43	-0.27	0.27	0.29	-0.45	0.35
Leaf shape	شکل برگ	-0.01	-0.07	0.01	-0.04	0.83	-0.03	-0.06	0.12
Fresh kernel weight	وزن تر مغز	0.85	-0.08	0.27	0.22	0.04	0.07	0.04	-0.01
Dry kernel weight	وزن خشک مغز	0.94	-0.10	0.12	0.10	0.04	0.05	-0.05	-0.02
Kernel size	اندازه مغز	0.94	-0.08	0.16	0.10	0.06	0.07	-0.06	-0.01
Kernel color	رنگ مغز	-0.37	-0.001	-0.47	-0.29	-0.08	-0.33	0.07	0.13
Kernel fleshiness	گوشتی بودن مغز	0.66	-0.08	0.29	0.26	0.003	-0.16	-0.14	-0.07
Removable kernel	سهولت درآوردن مغز	-0.44	0.18	-0.53	-0.11	0.16	-0.17	0.16	-0.04
Kernel shriveling	چروکیدگی مغز	-0.58	0.18	-0.39	-0.01	-0.10	-0.21	0.19	-0.10
Fruit shape	شکل میوه	0.11	-0.13	-0.10	-0.05	0.007	-0.17	-0.81	-0.12
Tree height	ارتفاع درخت	0.62	-0.14	0.42	0.17	0.04	0.17	0.18	0.20
Fruit split	شکاف میوه	-0.22	0.06	-0.06	-0.65	0.08	-0.17	0.09	-0.002
Fruit wooden shell color	رنگ پوست چوبی میوه	-0.33	0.06	-0.44	-0.36	-0.40	0.16	-0.12	0.15
Green husk thickness	ضخامت پوست سبز میوه	-0.45	0.03	-0.53	-0.27	-0.25	0.05	-0.13	0.20
Type of fruit bearing on the branch	نوع باردهی میوه روی شاخه	0.14	-0.18	-0.006	0.03	-0.03	0.74	0.17	-0.13
Number of fruits on the branch	تعداد میوه روی شاخه	0.65	-0.05	0.50	0.13	0.24	0.27	0.00	-0.02
Fresh fruit weight with green husk	وزن میوه با پوست سبز	0.92	-0.15	-0.003	0.04	0.007	0.02	-0.04	0.03
Dry Fruit Weight	وزن خشک میوه	0.95	-0.11	0.13	0.08	0.06	0.07	-0.02	0.01
Fruit length	طول میوه	0.36	-0.31	0.13	0.42	0.36	0.32	-0.29	0.001
Fruit width	عرض میوه	0.16	-0.05	0.13	0.79	0.01	-0.12	0.24	0.10
Fruit wooden shell surface	سطح پوست چوبی میوه	-0.58	-0.09	-0.34	0.31	0.11	0.22	0.17	0.30
Fruit formation form on the branch	فرم تشکیل میوه روی شاخه	0.4	0.3	-0.06	-0.35	0.44	0.20	0.26	-0.22
Eigenvalue	مقدار ویژه	11.38	3.31	1.93	1.56	1.38	1.29	1.11	1.04
Variance (%)	درصد واریانس	37.95	11.04	6.45	5.22	4.63	4.30	3.70	3.49
Cumulative variance (%)	درصد واریانس تجمعی	37.95	48.89	55.45	60.67	65.30	69.60	73.31	76.80

محسوب می‌شود. اهمیت این روش در آن است که با تعیین مولفه‌های اصلی، امکان شناسایی صفات کلیدی و تعیین نقش آن‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها فراهم می‌شود. در پژوهش حاضر، بخش عمده‌ای از واریانس کل توسط چند عامل محدود توضیح داده شد که نشان‌دهنده تمرکز تنوع ژنتیکی در صفات خاصی مانند وزن میوه، وزن مغز و ویژگی‌های فنولوژیکی بود. این امر بیانگر آن است که صفات کمی میوه و زمان‌بندی مراحل رشد، بیشترین سهم را در تمایز ژنوتیپ ها داشتند و می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های انتخاب در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند.

مقایسه نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که همواره صفات مرتبط با کیفیت و کمیت میوه در مولفه‌های اصلی قرار می‌گیرند و نقش تعیین‌کننده‌ای در ساختار تنوع ژنتیکی دارند. ارزانی و همکاران (Arzani *et al.*, 2008) گزارش کردند سه مولفه اول نزدیک به ۸۱٪ واریانس را در ژنوتیپ‌های گردو را توجیه کرد و خصوصیات میوه و مغز در دو مولفه اول قرار گرفتند که نزدیک به ۶۵/۸ ٪ واریانس کل را توجیه کردند. شاه و همکاران (Shah *et al.*, 2021) با ارزیابی نه صفت کمی و کیفی در ۸۴ ژنوتیپ گردو چهار مولفه را شناسایی کردند که نزدیک به ۸۹/۲۱ درصد واریانس کل را توجیه کردند. مولفه اول به تنهایی ۴۰/۳۵ درصد واریانس را نشان داد و دو مولفه اول در مجموع نزدیک به ۶۰/۴۰٪ واریانس کل را به خود اختصاص داد. فرخی تولیر و سلیمانی (Farrokhi Toolir and Soleimani, 2024) با ارزیابی ۳۵ ژنوتیپ براساس ۲۱ صفت مورفولوژیکی و پومولوژیکی گردو سه مولفه را شناسایی کردند که نزدیک به ۵۸/۹ ٪ واریانس را توجیه کرد.

استفاده از اسکاترپلات در کنار تجزیه به عامل‌های اصلی، تصویر روشنی از پراکنش ژنوتیپ‌ها و روابط میان صفات ارائه می‌دهد و امکان شناسایی ژنوتیپ های برتر را تسهیل می‌کند. بنابراین، تجزیه به عامل‌ها نه تنها درک عمیق‌تری از ساختار تنوع ژنتیکی گردو فراهم می‌آورد، بلکه به‌عنوان رویکردی کارآمد در انتخاب والدین مناسب و هدایت راهبردهای به‌نژادی پایدار اهمیت ویژه‌ای دارد. در پژوهش حاضر تجزیه اسکاترپلات پراکنش ژنوتیپ های گردو را در محدوده عوامل اصلی مشخص نمود و تصویر بهتری از فاصله ژنوتیپ‌ها و تفاوت بین آنها براساس عوامل اصلی و تاثیرگذار حاصل از تجزیه به عامل اول (صفات وزن میوه و مغز، اندازه مغز، گوشتی بودن مغز، ارتفاع و قدرت رشد درخت) و عامل دوم (تاریخ رشد گیاه و رسیدن میوه و خزان برگ) را نشان داد (شکل ۲).

با توجه به پراکنش ژنوتیپ‌ها بر طبق نمودار در شکل ۲، اکثر ژنوتیپ ها براساس اکثر صفات حول محور اصلی قرار گرفتند. با این حال برخی ژنوتیپ‌های گردو مورد ارزیابی که دارای خصوصیات مطلوبی مانند وزن میوه و مغز دارای ویژگی‌های بودند و در یک ناحیه بالا نمودار سمت راست مشخص شدند (شکل ۲). بافت مغز



شکل ۲- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌های گردو براساس دو مولفه اول و دوم صفات مورفولوژیکی

Fig 2. Scatter plot of of walnut genotypes based on the first and second components of morphological traits

این گروه عمدتا گوشتی و مغز دارای رنگ کهربایی روشن بودند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد، تنوع زیادی در خصوصیات ریختی برگ، میوه و درخت گردو وجود دارد. در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام گردو دارای میوه بزرگتر و مغز بیشتر، درصد مغز بالاتر، رنگ مغز، سهولت جدایی مغز از بخش چوبی اهمیت خاصی دارد و تقاضای زیادی برای این نوع ارقام گردو وجود دارد.

در پژوهش حاضر، تجزیه به عامل‌ها توانست بخش عمده‌ای از واریانس کل صفات مورفولوژیکی و پومولوژیکی ژنوتیپ‌های گردو را توضیح دهد و نشان دادکه صفات کمی میوه مانند وزن میوه، وزن مغز و اندازه مغز و همچنین زمان باز شدن جوانه بیشترین نقش را در تفکیک ژنوتیپ‌های گردو مورد ارزیابی ایفا کردند. این یافته اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا در برنامه‌های به‌نژادی گردو، صفات مرتبط با کیفیت و کمیت میوه و زمان باز شدن جوانه همواره به‌عنوان شاخص‌های اصلی انتخاب در نظر گرفته می‌شوند. نتایج پژوهش حاضر علاوه بر تأیید مطالعات پیشین، نشان داد که پراکنش ژنوتیپ‌ها در شکل ۲ به‌وضوح بیانگر تمایز ژنوتیپ های برتر با صفات مطلوب از سایر ژنوتیپ‌هاست (Ebrahimi *et al*., 2017; Shah *et al*., 2021; Farrokhi Toolir and Soleimani, 2024). این امر اهمیت استفاده از تجزیه چندمتغیره را در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و هدایت برنامه‌های به‌نژادی برجسته می‌سازد. در این مطالعه در نهایت ژنوتیپ‌های (C5، G7، E6، E4، D2، D3، D6، B5 و B7) دارای خصوصیات مطلوب و به عنوان ژنوتیپ های برتر معرفی می‌شوند (جدول ۵).

جدول ۵- خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های برتر گردو مورد بررسی

Table 5. Quantitative and qualitative characteristics of superior walnut genotypes

Trait	صفات	Unit	واحد*	C5	E6	G7	B5	B7	D2	D3	D6	E4
Tree growth vigor	قدرت رشد درخت	Code	کد	9	9	9	9	9	9	7	9	9
Tree growth habit	عادت رشد درخت	Code	کد	3	3	2	2	3	2	3	2	3
Tree branching	شاخه دهی درخت	Code	کد	1	7	7	9	7	7	7	9	9
Leaf bud breaking time	زمان باز شدن جوانه برگ	Day	روز	12	20	18	22	12	14	12	12	14
Time of first fruit formation	زمان تشکیل اولین میوه	Day	روز	28	35	28	39	28	28	28	28	28
Fruit ripening time	زمان رسیدگی میوه	Day	روز	5	18	20	20	5	10	5	5	12
Leaf falling date	زمان ریزش برگ	Day	روز	15	20	20	20	15	15	15	15	15
Leaf length	طول برگ	mm	میلی‌متر	205	211	195	185	189	177	195	199	215
Leaf width	عرض برگ	mm	میلی‌متر	95	83	69	80	98	75	85	85	89
Leaf shape	شکل برگ	Code	کد	3	3	1	3	3	3	1	3	1
Fresh kernel weight	وزن تر مغز	g	گرم	11.2	12.2	12.4	12.0	10.0	11.4	9.7	10.4	10.8
Dry kernel weight	وزن خشک مغز	g	گرم	8.9	8.3	8.5	8.4	7.9	8.5	7.7	7.9	8.4
Kernel size	اندازه مغز	Code	کد	9	9	9	9	7	9	7	7	9
Kernel color	رنگ مغز	Code	کد	1	1	3	1	1	1	3	1	1
Kernel fleshiness	گوشتی بودن مغز	Code	کد	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Removable kernel	سهولت درآوردن مغز	Code	کد	1	1	1	3	1	1	1	3	1
Kernel shriveling	چروکیدگی مغز	Code	کد	1	1	1	2	1	1	1	2	1
Fruit shape	شکل میوه	Code	کد	8	1	1	1	1	1	8	1	1
Tree height	ارتفاع درخت	m	متر	7.8	8.2	7.9	7.1	8.0	7.4	7.5	7.8	6.0
Fruit split	شکاف میوه	Code	کد	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fruit wooden shell color	رنگ پوست سخت	Code	کد	1	1	1	1	1	2	2	1	1
Green husk thickness	ضخامت پوست سبز	Code	کد	3	1	1	1	1	3	1	1	1
Type of fruit bearing on the branch	نوع باردهی میوه روی شاخه	Code	کد	3	3	1	3	1	3	3	3	3
Number of fruits on the branch	تعداد میوه روی شاخه	-	-	8	15	11	10	12	9	9	11	13
Fresh fruit weight with green husk	وزن میوه با پوست سبز	g	گرم	77.1	61.4	72.1	75.6	69.0	68.0	68.4	68.6	69.7
Dry fruit weight	وزن خشک میوه	g	گرم	17.3	16.1	16.3	17.1	15.8	16.9	15.5	14.5	16.0
Fruit length	طول میوه	mm	میلی‌متر	48	51	46	41	48	47	50	50	49
Fruit width	عرض میوه	mm	میلی‌متر	44	49	44	40	46	46	44	45	47
Fruit wooden shell surface	سطح پوست چوبی میوه	Code	کد	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fruit formation form on the branch	فرم تشکیل میوه روی شاخه	Code	کد	3	3	3	3	3	3	3	3	3

*For more information about different traits units, refer to the Table 2. *برای اطلاعات بیشتر در مورد واحد صفات مختلف، به جدول ۲ مراجعه شود.

سپاسگزاری

این پژوهش از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه ایلام تامین شده است. نگارندگان بدین‌وسیله مراتب سپاسگزاری خود را اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌کنند که هیچگونه تعارض منافعی با دیگر اشخاص حقیقی/حقوقی ندارند.

References

Arzani, K., Mansouri, A.H., Vezvaei, A. and Reza, R.M. 2008. Morphological variation among Persian walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from central Iran. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 36*, pp.159–168. DOI: 10.1080/01140670809510232

Attar, S., Davarynejad, G.H., Samiee, L. and Moghaddam, M. 2021. Evaluation of genetic diversity of some walnut genotypes based on morphological characteristics in Khorasan Razavi province. *Acta Horticulture, 1315*, pp.265-272 DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1315.40

Ebrahimi, A., Khadivi-Khub, A., Nosrati, Z. and Karimi, R. 2015. Identification of superior walnut (*Juglans regia*) genotypes with late leafing and high kernel quality in Iran. *Scientia Horticulturae, 193*, pp.195-201. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.06.049

Ebrahimi, A., Zarei, A., Lawson, S., Woeste, K.E. and Smulders, M.J.M. 2016. Genetic diversity and genetic structure of Persian walnut (*Juglans regia*) genotypes from 14 European, African, and Asian countries using SSR markers. *Tree Genetics & Genomes, 12*, e114. Doi: 10.1007/s11295-016-1075-y

Ebrahimi, A., Zarei, A., McKenna, J.R., Bujdoso, G. and Woeste, K.E. 2017. Genetic diversity of Persian walnut (*Juglans regia*) in the cold-temperate zone of the United States and Europe. *Scientia Horticulturae, 220*, pp.36–41. DOI:10.1016/j.scienta.2017.03.030

Ebrahimi, A., Zarei, A., Zamani Faradonbeh M. and Lawson, S. 2017. Evaluation of genetic variability among ``Early Mature" Juglans regia using microsatellite markers and morphological traits. *PeerJ*, 5, e3834; DOI: 10.7717/peerj.3834

Ehteshamnia, A., Sharifani, M., Vahdati, K., Erfani Moghadam, V., Mousavizadeh, S.J., and Mohseni Pour Taklou, S. 2009. Investigation of morphological diversity among native populations of walnut (*Juglans regia*) in Golestan province, Iran. *Journal of Plant Production, 16*, pp.29-48 (in Persian).

FAO, 2023. FAO statistical yearbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Farrokhi Toolir, J. and Soleimani, A. 2024. Evaluation of local walnut genotypes from Kerman province using morphological and pomological traits. *Seed and Plant, 40*, pp.97-125 (in Persian). DOI: 10.22092/spj.2025.368013.1394

Fatahi, R., Ebrahimi, A. and Zamani, Z. 2010. Characterization of some Iranians and foreign walnut genotypes using morphological traits and RAPD markers. *Horticulture, Environment, and Biotechnology, 51*, pp.51–60.

Germain, E., Delort, F. and Kanivets, V. 1995. Precocious maturing walnut populations originating from central Asia: their behaviour in France. In: *III International Walnut Congress, 442*, pp.83–90.

Hakimi, Y., Fattahi, M. and Zamani, Z. 2022. Evaluation of genetic diversity among some selected walnut by using morphological and pomological characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Science, 53*(1), pp.209-224. DOI: 10.22059/ijhs.2021.318674.1896

Hassani, D., Mozaffari, M.R., Soleimani, A., Dastjerdi, R., Rezaee, R., Keshavarzi, M. and Atefi, J. 2020. Four new Persian walnut cultivars of Iran: Persia, Caspian, Chaldoran, and Alvand. *HortScience, 55*, pp.1162-1163. DOI: 10.21273/HORTSCI15044-20

IPGRI 1994. Descriptors for walnut (*Juglans* spp.). International Plant Genetic Reesources Institute, Rome, Italy. 54 pp.

Jafari Sayadi, M.H., Vahdati, K. and Leslie, C.A. 2011. Comparison of four geographically diverse natural populations of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in north of Iran. *In: I International Symposium on Wild Relatives of Subtropical and Temperate Fruit and Nut Crops, 948*, pp.91–96. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.948.9

Kairova, G., Taskuzhina, A., Yanin, K., Ismagulova, E., Oleichenko, S., Sarshayeva, M., Sapakhova, Z., Gritsenko, D. 2025. First evaluation of genetic diversity and population structure of wild and cultivated *Juglans regia* in Kazakhstan. *Genet. Resources and Crop Evolution, 72*(7), pp.1755–1771. DOI: 10.1007/s10722-025-02443-7

Karimi, R., Ershadi, A., Ehtesham Nia, A., Sharifani, M., Ebrahimi, A. and Vahdati, K. 2014. Morphological and molecular evaluation of Persian walnut populations in northern and western regions of Iran. *Journal of Nuts, 5*(2), pp.21-31. DOI: 10.22034/jon.2014.515686

Khadivi-Khub, A., 2014. Genetic divergence in seedling trees of Persian walnut for morphological characters in Markazi province from Iran. Brazilian Journal of Botany, *37*, pp.273–281. DOI: 10.1007/s40415-014-0080-3

Khadivi-Khub, A., Ebrahimi, A., Mohammadi, A. and Kari, A. 2015a. Characterization

and selection of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from seedling origin trees. *Tree Genetic Genomes, 11*, pp.1–10. DOI: 10.1007/s11295-015-0882-x

Khadivi-Khub, A., Ebrahimi, A., Sheibani, F. and Esmaeili, A. 2015b. Phenological and pomological characterization of Persian walnut to select promising trees. *Euphytica, 205*, pp.557–567. DOI: 10.1007/s10681-015-1429-9

Lone, A.I. 2017. Diversity for tree vigour in the natural population of walnut (*Juglans regia* L.) in the Kashmir Valley. *International Journal of Forestry and Crop Improvement, 8*, pp.53–57. DOI: 10.15740/HAS/IJFCI/8.1/53-57

McGranahan, G. and Leslie, C. 1990. Walnuts (*Juglans*). Pp. 907–951.In: Moore, J.N. and Ballington, J.R. (eds.), *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops*. International Society for Horticultural Science. Wageningen, The Netherlands.

McGranahan, G.H. and Leslie, C.A. 2012. Walnut. Pp. 827–846. In: Badenes, M.L. and Byrne, D.H. (eds.), *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding*, Volume 8. Springer, Boston, MA, USA.

Mosivand, M., Hassani, D., Payamnour, V. and Jafar Aghaei, M. 2013. Comparison of tree, nut, and kernel characteristics in several walnut species and inter-specific hybrids. *Crop Breeding Journal*, 3, pp.25-30. DOI: 10.22092/cbj.2013.100447

Mousavi, S.A., Tatari, M., Moradi, H. and Hassani, D. 2015. Evaluation of genetic diversity among the superior walnut genotypes based on pomological and phenological traits in Chahar Mahal va Bakhtiari province. *Seed and Plant, 31*, pp.365-389 (in Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111264

Nie, X., Wang, Z, Liu, N, Song, L, Yan, B, Xing, Y., Zhang, Q., Fang, K., Zhao, Y., Chen, X., Wang, G., Qin, L. and Cao, Q. 2021. Fingerprinting 146 Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) genotypes and selecting a core collection using SSR markers. *Journal of Integrative Agriculture, 20*, pp.1277–1286. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63400-1

Nurzhuma, M., Kokhmetova, A., Kumarbayeva, M., Keishilov, Z., Bakhytuly, K., Bolatbekova, A., Kokhmetova, A., Mukhametzhanov, K., and Akan, K. 2025. Assessment of genetic diversity in walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from southern and southeastern Kazakhstan using microsatellite markers. *Horticulturae, 11*(7), e810. DOI: 10.3390/horticulturae11070810

Rasouli, M. and Ershadi, B. 2018. Investigation of genetic diversity of 33 walnut seed genotypes (*Juglans regia*) using morphological and pomological traits to introduce superior genotypes. *Pomology Research, 3*, pp.27-39 (in Persian).

Rezaee, R., Grigoorian, W. and Vahdati, M. 2006. Evaluation of morphological traits associated with the vigour of Persian walnut (*Juglans regia* L.) seedlings. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 7, pp.157–168 (in Persian).

Rezaei, A., Arzani, K. and Sarikhani, S. 2020. Morphological evaluation and identification of walnut (*Juglans regia* L.) superior genotypes in north Hamadan province of Iran. *Iranian Journal of Horticultural Science, 51*, pp.441-457 (in Persian). DOI: 10.22059/ijhs.2019.277210.1609

Sarikhani Khorami, S., Arzani, K. and Roozban, M. R. 2014. Correlation of certain high heritability horticultural traits in Persian walnut (*Juglans regia* L.). *Acta Horticulture*, 1050, pp.61-68. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1050.6

Sarikhani, S., Vahdati, K. and Ligterink, W. 2021. Biochemical properties of superior Persian walnut genotypes originated from southwest of Iran. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *8*, pp.13-24. DOI: 10.22059/ijhst.2020.309363.392

Shah, R.A., Bakshi, P., Sharma, N., Jasrotia, A., Itoo, H., Gupta, R. and Singh, A. 2021. Diversity assessment and selection of superior Persian walnut (*Juglans regia* L.) trees of seedling origin from North-Western Himalayan region. *Resources, Environment and Sustainability*, 3, e100015. DOI: 10.1016/j.resenv.2021.100015

Shahi Shavvon, R., Qi, H.L., Mafakheri, M., Fan, P.Z., Wu, H.Y., Bazdid Vahdati, F., Al-Shmgani, H.S., Wang, Y.H. and Liu, J. 2023. Unravelling the genetic diversity and population structure of common walnut in the Iranian Plateau. *BMC Plant Biology, 23*, e201. DOI: 10.1186/s12870-023-04190-2

Shamlo, F., Rezaei, M., Biabani, A. and Khanahmadi, A.R. 2016. Morphological diversity among walnut genotypes of Azadshar, Iran. *Journal of Horticultural Science, 30*(3), pp.469-479. DOI:10.22067/jhorts4.v30i3.45073

Shamlu, F., Rezaei, M., Lawson, S., Ebrahimi, A., Biabani, A. and Khan-Ahmadi, A. 2018. Genetic diversity of superior Persian walnut genotypes in Azadshahr, Iran. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 24*, pp.939–949. DOI: 10.1007/s12298-018-0573-9

Sharifi, S., Amiri-Fahliani, R., Kavoosi, B., and Masoumi Asl, A. 2021. Walnut genetic diversity investigation using phenological and morphological characteristics and ISSR markers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *23*(1), pp.187-200

Sharma, O.C. and Sharma, S.D. 2001. Genetic divergence in seedling trees of Persian walnut (*Juglans regia* L.) for various metric nut and kernel characters in Himachal Pradesh. *Scientia Horticulturae, 88*, pp.163–171. DOI: 10.1016/S0304-4238(00)00204-1

UPOV. 1998. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Walnut (*Juglans regia*). International union for the protection of new varieties of plants. Geneva. 34 pp.

Vahdati, K., Arab, M.M., Sarikhani, S., Sadat-Hosseini, M., Leslie, C.A. and Brown, P.J. 2019. Advances in Persian walnut (*Juglans regia* L.) breeding strategies. Pp. 401–472. In: Al-Khayri, J., Jain, S. and Johnson, D. (eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies*: *Nut and Beverage Crops, 4.* Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-23112-5_11

Vahdati, K., Pourtaklu, S.M., Karimi, R., Barzehkar, R., Amiri, R., Mozaffari, M. and Woeste, K., 2015. Genetic diversity and gene flow of some Persian walnut populations in southeast of Iran revealed by SSR markers. *Plant Systematics and Evolution, 301,* pp.691–699. DOI: 10.1007/s00606-014-1107-8

Zarei, A., Erfani-Moghadam, J. and Jalilian, H. 2019. Assessment of variability within and among four *Pyrus* species using multivariate analysis. *Flora,* 250: 27–36. DOI:10.1016/j.flora.2018.11.016

Zarinkolah, M., Karimi, H.R., Esmaeilizadeh, M., Malekzadeh, K. and Sahhafi SR. 2025. Genetic relationships among some old walnuts (*Juglans regia* L.) genotypes in Iran and selection of superior genotypes. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization,* 23(2):106-119. DOI:10.1017/S1479262124000583

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22092/spj.2026.371547.1456

Evaluation of Genetic Diversity of Some Persian Walnut (*Juglans regia* L.) Genotypes of South Khorasan Using Morphological Characteristics

A. H. Mostafavi[1], J. Erfani-Moghadam[2] * and A. Zarei [3]

1. Former M.Sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
3. Associate Professor in Department of Plant Production and Genetic (Biotechnology), Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran.

ABSTRACT

Mostafavi, A. H., Erfani-Moghadam, J. and Zarei, A. 2025. Evaluation of genetic diversity of some Persian walnut (*Juglans regia* L.) genotypes of South Khorasan using morphological characteristics. *Seed and Plant, 41*, pp.23-47 (in Persian).

Persian walnut is one of the most important dried fruit products in Iran. In this research, the genetic diversity of 61 walnut genotypes was evaluated based on 30 quantitative and qualitative traits related to leaf, fruit, and tree traits. The results revealed high genetic diversity among the studied genotypes, with the highest coefficients of variation related to the traits of fruit split, leaf shape, fruit shape, number of fruits per branch, wooden shell color, kernel size, and kernel color. The lowest and highest dry in-shell fruit weight, ranged from 11.9 to 17.3 grams, and were recorded for genotypes C2 and C5, respectively. The mean value of this trait for all genotypes was 13.40 grams. Furthermore, the highest and lowest dry kernel weights were 8.9 and 4.6 grams, and were recorded for genotypes C5 and B6, respectively. The overall mean of all genotypes, was 6.29 grams. The highest dry kernel weight (8.9 grams) and the lowest (4.6 grams) belonged to genotypes C5 and B6, respectively. The overall mean of all genotypes was 6.29 grams. Cluster analysis of genotypes based on all morphological traits indicated two main groups at a distance of 165, each of which was subdivided into subgroups with closer kinship. The results of principal component analysis showed that the first two components explained nearly 76.80% of the total variance. The first component, which was mostly related to quantitative fruit traits, explained approximately 37.95% of the total variance. The results of this reseach showed that genotypes C5, E6, G7, and B5 possessed desirable kernel and fruit traits and could be used for establishment commercial walnut orchards as well as the development of new cultivars in walnut breeding programs.

Keywords: Walnut, coefficient of variation, principal component analysis, kernel weight, kernel color.

Introduction

The evaluation of genetic diversity of native pant populations is an important aspect for the management and utilization of plant germplasm, and plays a significant role in the survival and adaptation of species (Vahdati *et al.,* 2019). Despite the high production of walnuts in Iran, the international trade of this valuable horticultural product has not been very successful. The main reason can be attributed to the variation of the fruit characteritics produced due to sexual propagation (Vahdati *et al.*, 2019). Significant variation exists in the native walnut populations of Iran due to its high level of heterozygosity, dichogamy, cross-pollination, and consequently, sexual propagation (Ebrahimi *et al.,* 2015). This genetic diversity provides an excellent opportunity for the identification of genotypes with desirable and valuable traits. A large number of walnut trees with diverse genetic backgrounds exist in the orchards of Abiz city in Qaenat region in northeast of South Khorasan provinc, in Iran, and the identification of suitable genotypes and the evaluation of kinship among them can be effective in walnut breeding programs. The aim of this research was to evaluate the selected walnut genotypes from Abiz city and identify the superior genotypes for further studies.

Materials and Methods

This research was conducted in 2022 and 2023 in the walnut orchards of Abiz city, located in the northeast of South Khorasan province. To identify superior and promising walnut genotypes, 61 genotypes were evaluated for 30 different quantitative and qualitative traits related to the tree, leaf, fruit, and kernel. In this study, fruits were randomly collected from various parts of the walnut trees at the ripe stage. Fifteen fruits from each genotype were evaluated. The fruit weight (weight of the fruit with green husk and dry fruit weight) and their kernel weight were measured using a digital balance (Model: BPSIID, Sartorius Company, Germany) with an accuracy of 0.01 grams. Subsequently, traits related to each genotypes, such as fruit width and length, were measured using a digital caliper (Model: EGL-111-111, Guanglu Company, Japan). Other qualitative traits of the fruit and tree, including kernel color, fruit split, tree growth vigor, tree growth habit, tree branching, etc., were assessed for each accession using the available descriptor for this plant.

Results and Discussion

The results indicated that the highest coefficients of variation were related to the traits of shell split, leaf shape, fruit shape, number of fruits per branch, shell color, kernel size, and kernel color, while the lowest coefficients of variation were obtained for fruit length, leaf length, dry fruit weight with wooden shell, fresh fruit weight with green husk, and leaf falling date. Furthermore, traits such as kernel removal ease, hard shell thickness, and type of fruit bearing exhibited high variation. The highest dry kernel weight (8.9 grams) and the lowest (4.6 grams) belonged to accession C5 and B6, respectively. The average for all genotypes was 6.29 grams. Shamlu *et al.,* (2018) evaluated 102 seedling walnut genotypes, the average dry fruit weight ranged from 6.1 to 19.79 grams and kernel weight varied from 2.9 to 9.4 grams.

The results of the present study revealed considerable genetic diversity among the 61 studied walnut genotypes in the Abiz city, particularly for traits related to fruit and kernel

such as fruit weight, kernel weight, fruit shape, kernel color, and shell split. Such diversity could be attributed to sexual reproduction system, high heterozygosity, and ecological conditions (Vahdati *et al.*, 2019). Significant positive correlation coefficients were observed among many studied traits. Cluster analysis based on morphological traits divided the walnut genotypes into two main groups, indicating heterogeneous population structure and high breeding potential of this germplasm.

Principal component analysis showed that the first eight components accounted for nearly 76.80% of total variance, with quantitative fruit traits including fruit weight, kernel weight, and kernel size loading highly on the first component, and demonstrated their importance as key discriminators among evaluated genotypes. In the present study, a substantial proportion of the total variance was explained by limited number of componnets, indicating that genetic diversity is concentrated in specific traits such as fruit weight, kernel weight, and phenological characteristics. Farrokhi Toolir and Soleimani (2024) evaluated 35 walnut genotypes based on 21 morphological and pomological traits, three first principal components accounted for approximately 58.9% of the total variance. The findings of the present research suggest that quantitative traits of fruit and the timing of growth stages accounted for the greatest contribution genetic variation among the evaluated walnut genotypes, and can be effectively utilized as selection criteria in walnut breeding programs.

References

Ebrahimi, A., Khadivi-Khub, A., Nosrati, Z. and Karimi, R. 2015. Identification of superior walnut (*Juglans regia*) genotypes with late leafing and high kernel quality in Iran. *Scientia Horticulturae*, *193*, pp.195-201. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.06.049

Farrokhi Toolir, J. and Soleimani, A. 2024. Evaluation of local walnut genotypes from **Farrokhi Toolir, J. and Soleimani, A. 2024.** Evaluation of local walnut genotypes from Kerman province using morphological and pomological traits. *Seed and Plant*, *40*, pp.97-125 (in Persian). DOI: 10.22092/spj.2025.368013.1394

Shamlu, F., Rezaei, M., Lawson, S., Ebrahimi, A., Biabani, A. and Khan-Ahmadi, A. 2018. Genetic diversity of superior Persian walnut genotypes in Azadshahr, Iran. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *24*, pp.939–949. DOI: 10.1007/s12298-018-0573-9

Vahdati, K., Arab, M.M., Sarikhani, S., Sadat-Hosseini, M., Leslie, C.A. and Brown, P.J. 2019. Advances in Persian walnut (*Juglans regia* L.) breeding strategies. Pp. 401–472. In: Al-Khayri, J., Jain, S. and Johnson, D. (eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies*: *Nut and Beverage Crops, 4.* Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-23112-5_11

***Corresponding author**: j.erfani@ilam.ac.ir Tel.: +988432227015

Received: Received: 05 March 2025
Accepted: 02 May 2025

2025© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.