Plant Prod., 2026, 49(3), 499-515
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2026.51273.2311
Received: 28 November 2025
Accepted: 11 January 2026

Plant Productions
Research Article

Evaluation of pomological traits in selected walnut genotypes and fatty acid profiles of promising samples

Amir-Hosein Mostafavi[1], Javad Erfani-Moghadam[1*], Abdolkarim Zarei[2]

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, Iran
2. Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran

Citation: Mostafavi, A.H., Erfani-Moghadam, J., & Zarei, A. (2026). Evaluation of pomological traits in selected walnut genotypes and fatty acid profiles of promising samples. *Plant Productions*, 49(3), 499- 515.

Abstract

Introduction

Walnut (*Juglans regia* L.) is one of the most valuable nut crops in Iran, playing a important role in human nutrition and the prevention of chronic diseases due to its high content of unsaturated fatty acids. It is one of the oldest and most valuable edible nuts in temperate regions worldwide, cultivated in Iran for thousands of years. However, the significant variability caused by seed propagation and the inconsistency in kernel quality limit Iran's competitiveness in global markets. Therefore, identifying superior genotypes with high oil quality and desirable fatty acid profiles is an essential prerequisite for breeding programs. Walnut genotypes exhibit significant variation in fatty acid composition, with some genotypes possessing higher oleic acid content. Walnuts are a rich source of unsaturated fatty acids, and studies have shown that their fatty acid profile is influenced by genetic, climatic, and management factors.

Materials and Methods

This research was conducted during 2022-2023 in orchards located in Abiz city, in the northeast of South Khorasan province. Walnut genotypes were labeled from 1 to 61 and evaluated for 12 different quantitative and qualitative traits related to the fruit and kernel. Following a comprehensive assessment of morphological and phenological traits, 11 genotypes were selected as superior and were evaluated for their kernel fatty acid composition at the Biorefining Laboratory, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad. To determine oil percentage via the Soxhlet method, several walnuts from each sample were cracked, shelled, and ground. Fatty acid profiles were determined using Gas Chromatography with a Flame Ionization Detector (GC-FID). Separation of fatty acid components was achieved using multiple temperature gradients, and the

* **Corresponding Author:** Javad Erfani-Moghadam
E-mail: j.erfani@ilam.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

fatty acid profile was identified by comparing sample peaks with those of a standard fatty acid mixture.

Results and Discussion

The evaluation of pomological traits revealed considerable diversity among the examined walnut samples. The highest dry fruit weight including the woody shell (17.3 g) and the lowest (11.9 g) were recorded for genotypes C5 and C2, respectively, with an overall mean of 13.40 g across all genotypes. The highest dry kernel weight (8.9 g) and the lowest (4.6 g) were observed in genotypes C5 and B6, respectively, with an overall mean of 6.29 g for all genotypes. The results indicated varying amounts of fatty acids in the kernels. The lowest palmitic acid content (5.6%) was found in genotype G6, while the highest (6.88%) was in G7, with an average of 6.33% across all samples. Stearic acid values were lower overall, averaging 3.10%, but showed greater diversity compared to palmitic acid. Oleic acid content in the kernels ranged from 12.45% to 34.15%, with an overall mean of 20.95% and a coefficient of variation of 29.59%. The mean linoleic acid and linolenic acid contents were estimated at 57.86% and 11.75%, respectively. Linoleic acid values ranged from 43.16% to 64.29%, while linolenic acid content ranged from 9.13% to 13.88%. Estimation of saturated and unsaturated fatty acids confirmed that walnut kernels contain high levels of unsaturated fatty acids. The mean saturated fatty acid content was 9.44%, while the mean unsaturated fatty acid content was 90.56%. Total oil content ranged from 65% to 71%, with a mean of 69%. Correlation analysis among fatty acids revealed a significant positive correlation between linoleic acid and total oil content ($r = 0.82$). Total oil content showed a positive correlation with unsaturated fatty acids and a negative correlation with saturated fatty acids. Factor analysis extracted three principal factors, which together accounted for 95.61% of the total variance among genotypes. The first factor, which included certain saturated and unsaturated fatty acids along with total oil content, was the most important, explaining 40.21% of the total variance alone.

Conclusion

The availability of plant genetic resources and the evaluation of various tools for the effective utilization of germplasm are essential for any breeding program. Breeding and developing walnut cultivars with larger fruit size, higher kernel ratio, lighter kernel color, high oil content, and high unsaturated fatty acids are of particular importance, and there is significant demand for such walnut varieties. In this study, genotypes C5, E6, G7, and B5 were ultimately identified as having desirable kernel and oil traits, making them suitable for cultivation or for developing new cultivars in walnut breeding programs.

Keywords: Kernel weight, Oleic acid, Total oil, Unsaturated fatty acid

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۳)، ٤۹۹-۵۱۵
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2026.51273.2311
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۱

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

ارزیابی صفات پومولوژیک برخی ژنوتیپ‌های گردو و پروفایل اسیدهای چرب نمونه-های امیدبخش

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

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران

چکیده

گردو یکی از ارزشمندترین محصولات خشکباری ایران است که به دلیل دارا بودن مقادیر بالای اسیدهای چرب غیراشباع، نقش مهمی در تغذیهٔ انسان و پیشگیری از بیماری‌های مزمن ایفا می‌کند. در این پژوهش، ویژگی‌های ٦۱ ژنوتیپ گردو بر اساس ۱۲ صفت کمی و کیفی مربوط به میوه و مغز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بالایی در جمعیت‌های مورد بررسی بود. بیشترین وزن میوهٔ خشک با پوست چوبی (۱۷/۳ گرم) و کمترین مقدار آن (۱۱/۹ گرم) به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های C5 و C2 مشاهده شد و میانگین این صفت در کل ژنوتیپ‌ها ۱۳/٤۰ گرم به‌دست آمد. همچنین بیشترین وزن خشک مغز (۸/۹ گرم) و کمترین آن (٤/٦ گرم) به‌ترتیب مربوط به نمونه‌های C5 و B6 بود و میانگین وزن مغز در بین ژنوتیپ‌ها ٦/۲۹ گرم ثبت شد. پس از ارزیابی اولیه بر اساس ویژگی‌های میوه و مغز، ۱۱ ژنوتیپ برتر انتخاب و پروفایل اسیدهای چرب مغز آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب اسیدهای چرب در مغز گردو متنوع است، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار اسید پالمیتیک به‌ترتیب ۵/٦ و ٦/۸۸ درصد در ژنوتیپ‌های G6 و G7 مشاهده شد و میانگین آن در ژنوتیپ‌ها ٦/۳۳ درصد بود. میزان اسید استئاریک در مقایسه با اسید پالمیتیک کمتر بود و میانگین آن ۳/۱۰ درصد برآورد شد، هرچند دامنه تغییرات آن بیشتر بود. مقدار اسید اولئیک در مغز گردو ۱۲/٤۵۱ تا ۳٤/۱۵ درصد متغیر بود و میانگین آن ۲۰/۹۵ درصد با ضریب تغییرات ۲۹/۵۹ درصد محاسبه شد. میانگین اسید لینولئیک و اسید لینولنیک به‌ترتیب ۵۷/۸٦ و ۱۱/۷۵ درصد برآورد گردید. مقدار اسید لینولئیک در محدوده ٤۳/۱٦ تا ٦٤/۲۹ درصد و اسید لینولنیک در بازه ۹/۱۳ تا ۱۳/۸۸ درصد قرار داشت. بررسی مجموع اسیدهای چرب نشان داد که مغز گردو دارای مقادیر بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع است، به‌طوری‌که میانگین اسیدهای چرب اشباع ۹/٤٤ درصد و اسیدهای چرب غیراشباع ۹۰/۵٦ درصد بود. درصد کل روغن نیز در محدوده ٦۵ تا ۷۱ درصد با میانگین ٦۹ درصد قرار داشت. نتایج همبستگی نشان داد که اسید لینولئیک همبستگی مثبت و معنی‌داری با روغن کل داشت (r=۰/۸۲)، در حالی که بین اسید اولئیک و اسید لینولئیک همبستگی منفی قوی مشاهده شد (r=-۰/۹٦). همچنین روغن کل با اسیدهای چرب غیراشباع همبستگی مثبت و با اسیدهای چرب اشباع همبستگی منفی نشان داد. اسید استئاریک نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با اسید اولئیک و همبستگی منفی با اسید لینولئیک داشت. بر اساس نتایج تجزیه به عامل‌ها، سه عامل اصلی در مجموع

نویسنده مسئول: جواد عرفانی مقدم
رایانامه: j.erfani@ilam.ac.ir

۹۵/۶۱ درصد از واریانس کل بین ژنوتیپ‌ها را تبیین کردند. عامل اول که شامل برخی اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع به همراه روغن کل بود، به‌تنهایی ۴۰/۲۱ درصد از واریانس کل را توجیه نمود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های C5، E6، G7 و B5 دارای صفات مطلوب مغز و روغن بوده و می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه مناسب در برنامه‌های به نژادی و توسعهٔ ارقام جدید گردو استفاده شوند

کلید واژه‌ها: اسید اولئیک، اسیدهای چرب غیر اشباع، روغن کل، وزن مغز

مقدمه

گردو یکی از قدیمی‌ترین و ارزشمندترین آجیل‌های خوراکی در مناطق معتدل جهان است که در ایران با سابقه‌ای چند هزار ساله کشت می‌شود. ایران با تولید سالانه بیش از ۳۸۱ هزار تن، سومین تولیدکنندهٔ جهانی گردو پس از چین و آمریکا محسوب می‌شود (FAO, 2023). با این حال، تنوع بالای ناشی از تکثیر بذری و عدم یکنواختی مغز گردو، مانع از رقابت مؤثر ایران در بازارهای جهانی شده است. از این‌رو، شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر کیفیت روغن و پروفایل اسیدهای چرب، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در برنامه‌های اصلاحی است (Vahdati *et al*., 2019). اگرچه در ژرم-پلاسم گردوی ایرانی (باتوجه به تکثیر زیاد بذری آن در سال-های گذشته) تنوع زیادی وجود دارد که باعث عدم یکنواختی میوه‌های برداشتی می‌شود (Rezaei *et al*., 2020)، ولی از نظر برنامه‌های به‌نژادی این تنوع می‌تواند یک فرصت استثنایی را در اختیار به‌نژادگران قرار دهدکه با شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر در نقاط مختلف کشور، پژوهش‌های نو، کاربردی و مؤثر مورد نیاز کشور و با سود تجاری خوب با افق-های بلند مدت را انجام دهند. گردو دارای اسیدهای چرب مفید با سطوح بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع (UFAS) و مقدار زیادی پروتئین (۱۶–۲۴ درصد)، کربوهیدرات (۱۲–۲۱ درصد)، فیبر (۱/۵–۲ درصد) است (Chatrabnous *et al*., 2018). در مطالعات قبلی نشان داده است که بسته به نوع گردو، ۶۰–۴۰ درصد از میوه گردو از مغزهایی تشکیل شده است که دارای سطح بالایی از روغن (۵۲ تا ۷۰ درصد) هستند (Labuckas *et al*., 2008). اسید لینولنیک (۱۸:۳)، اولئیک (۱۸:۱) و اسید لینولئیک (۱۸:۲) اسیدهای چرب اصلی مغز گردو هستند. اگرچه اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA[1]) به اکسیداسیون حساس هستند و ماندگاری کمی دارند، اما نقش مهمی در کاهش کلسترول کل، LDL و افزایش کلسترول HDL دارند (Sarikhani *et al*., 2021). اسیدهای چرب موجود در روغن گردو عمدتاً غیراشباع هستند. در مقایسه با سایر میوه‌های پوسته سخت که عمدتاً حاوی اسیدهای چرب تک غیراشباع (MUFA[2])هستند، گردو از نظر اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA) مانند امگا ۶ و امگا ۳ بسیار غنی است. اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA) برای تغذیهٔ انسان حیاتی هستند (Beyhan *et al*., 2017). ترکیب اسیدهای چرب در گردو نه‌تنها در ارزش غذایی، بلکه در ثبات اکسیداتیو روغن و عمر انبارمانی آن نیز تأثیرگذار است. اسیدهای چرب غیراشباع چندپیوندی (PUFA) مانند اسید لینولئیک (C18:2, ω-6) و اسید α–لینولنیک (C18:3, ω-3) به‌دلیل خواص ضدالتهابی و کاهش‌دهندهٔ چربی‌های خون، از اهمیت بالایی در رژیم‌های سالم برخوردارند (Bolling *et al*., 2023). در مقابل، اسید اولئیک (C18:1, ω-9) یک اسید تک‌غیراشباع (MUFA) است که باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن و کاهش خطر بیماری‌های قلبی می‌شود (Pereira *et al*., 2008). برخی گزارشات نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های گردو در ترکیب اسیدهای چرب تفاوت چشم‌گیری دارند و برخی ژنوتیپ‌ها دارای درصد بالاتری از اسید اولئیک هستند (Kömür *et al*., 2023). در مطالعه‌ای روی گردوهای اروپایی مشخص شد گردو منبع غنی اسیدهای چرب غیراشباع است و ارزش

1- Polyunsaturated fatty acids (PUFA)
2- Monounsaturated fatty acids (MUFA)

تغذیه‌ای بالایی دارد (Szalóki-Dorkó *et al.*, 2024). همچنین با استفاده از تحلیل ترانسکریپتوم، ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتز لیپیدها شناسایی شدند که می‌تواند مبنای اصلاح ژنتیکی باشد (Hao *et al.*, 2024). مطالعات نشان داده‌اند که پروفایل اسیدهای چرب گردو تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، اقلیمی و مدیریتی قرار دارد (Poggetti *et al.*, 2018). منطقهٔ قائنات در خراسان جنوبی یکی از مناطق کشت گردو در ایران است که ویژگی‌های اقلیمی خاصی از جمله بارندگی کم (~۱۱۰ میلی‌متر سالانه)، دمای متغیر در روز و شب و فصل رشد طولانی دارد. این شرایط می‌تواند در ترکیب لیپیدی گردو تأثیرگذار باشد. بنابراین در این پژوهش با ارزیابی برخی ژنوتیپ‌های گردو در این منطقه و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر، پروفایل اسیدهای چرب مهم گردو بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۴۰۱تا ۱۴۰۲ در باغات شهر آبیز در شمال شرقی خراسان جنوبی انجام شد. این شهر در فاصله ۷۵ کیلومتری شهرستان قائنات واقع شده و با مختصات جغرافیایی ″۵۶ ′۶۹ °۳۳ درجه شمالی و ″۰۵ ′۹۶ °۵۹ درجه شرقی با ارتفاع ۱۱۴۸ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر در سال و میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۱۴- و ۴۳ درجهٔ‌سانتیگراد می‌باشد. فصل رویش در این منطقه به نسبت طولانی و از ۱۸۰ تا ۲۴۰ روز متغیر می‌باشد. این تحقیق به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر و امید بخش گردو از لحاظ پومولوژیک در برخی از باغات شهر آبیز که کشت گردو در آنجا متداول بود انجام شد و ۶۱ ژنوتیپ مورد مطالعه به شکل قراردادی نامگذاری شدند (جدول ۱) و از لحاظ ۱۲ صفت مختلف کمی و کیفی مربوط میوه و مغز میوه مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲). در این تحقیق میوه نمونه‌های مورد بررسی در مرحله رسیدگی کامل زمانی که پوست سبز ترک خورده بود به طور تصادفی از بخش‌های مختلف درختان گردو جمع‌آوری گردید و از هر ژنوتیپ ۱۵ عدد میوه ارزیابی شدند و وزن میوه (وزن خشک میوه)، وزن خشک و تر مغز آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی (مدل BPSIID، شرکت Sartorius، آلمان) با دقت یک صدم گرم محاسبه گردید. سپس مشخصات مربوط به هر ژنوتیپ از قبیل عرض و طول میوه با استفاده از کولیس دیجیتالی (مدل EGL-111-111، شرکت Guanglu، ژاپن) و سایر صفات کیفی میوه مانند رنگ مغز، گوشتی بودن مغز، وضعیت روزنه، چروکیدگی مغز، شکل میوه و سهولت جدایی مغز از میوه با استفاده از توصیف‌گر موجود برای این گیاه ارزیابی شدند (IPGRI,1994).

پس از بررسی کامل صفات مورفولوژیک و فنولوژیک همه نمونه‌ها، تعداد ۱۱ ژنوتیپ (B5_B7_C5_D2_D3_D6_E4_E6_G6_G7_G1) به عنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند و به منظور ارزیابی ترکیبات اسیدهای چرب مغز گردو در آزمایشگاه بیوپالایش دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور تعیین درصد روغن به روش سوکسله چند گردو از هر نمونه به وسیله گردو شکن شکسته شد و پس از پوست گیری آسیاب گردید (Christie and Han, 2010). مقدار ۱۰ گرم از پودر گردو با استفاده از روش سوکسله (دمای ۴۵ درجه سانتی گراد و حلال دی اتر خشک) روغن گیری شد. حلال موجود در روغن استخراج‌شده با استفاده از آون در شرایط خلاء (تاوان سون و هرسر، آمریکا) در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد جداسازی و میزان روغن آن مشخص گردید. برای بررسی کیفیت روغن، مقدار ۱۰ گرم مغز گردو خشک توسط آسیاب آزمایشگاهی به صورت یکنواخت پودر گردید و داخل کاغذ صافی خشک پیچیده شد. روغن نمونه‌ها با استفاده روش سرد و غوطه وری درون حلال دی اتیل اتر (مرک با خلوص کروماتوگرافی) جداسازی شد. برای جداسازی حلال از روغن استخراج شده، از دستگاه روتاری تحت شرایط خلاء استفاده شد. مقدار باقیماندهٔ حلال نیز با عبور جریان ملایم نیتروژن از روی نمونه‌ها به صورت کامل جداسازی شد. به ۱۰۰ میلی گرم روغن استخراج شده، ۵۰ میکرولیتر متوکسیدسدیم و ۵۰۰ میکرولیترهگزان اضافه شد و به مدت یک دقیقه کاملاً با یکدیگر مخلوط گردید. سپس به این محلول ۵۰۰ میکرولیتر نمک سدیم کلرید طعام اشباع اضافه، و به شدت به مدت ۱۵

ثانیه دوباره بهم زده شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه ۵۰ میکرولیتر اینترنال استاندارد و ۵۰ میکرولیتر هگزان به محلول آماده سازی شده اضافه شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه از قرار دادن محلول در حالت سکون و کامل شدن فرایند متیلاسیون، از فیلترهای سرسرنگی (از جنس PTFE مخصوص صاف کردن حلال آلی، با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرون، شرکت البت،آلمان) استفاده شد نمونه صاف شده داخل وایل جمع آوری شده و تا زمان تزریق به دستگاه کروماتوگرافی تحت گاز نیتروژن و یخچال با دمای چهار درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

برای تعیین پروفایل اسید های چرب از دستگاه GC-FID مورد استفاده قرار گرفت. برای جداسازی اجزای اسیدهای چرب موجود در نمونه از برنامه دمایی مشخصی استفاده شد که شامل دمای محل تزریق ۲۲۵ درجه سانتی گراد، دمای آشکارساز ۲۵۰ درجه سانتی گراد و برای ستون از برنامه دمایی دیگری استفاده گردید که شامل چهار دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و افزایش دمای خود ستون با سرعت سه درجه سانتی گراد در هر دقیقه تا زمان رسیدن به دمای ۲۴۰ درجه سانتی گراد و سپس حفظ دما به مدت پنج دقیقه سرانجام از طریق مقایسه پیک‌های نمونه با پیک مخلوط استاندارد اسیدهای چرب پروفایل اسیدهای چرب موجود در نمونه مورد آنالیز شناسایی شدند. دیاگرام زمان خوانش اسیدهای چرب در یک تکرار توسط دستگاه GC-FID در شکل ۱ ارائه شده است (شکل ۱).

برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم‌افزار SPSS و Past استفاده 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 پروفایل اسیدهای چرب با نرم افزار SPSS و تکنیک چرخش عامل‌ها به روش وریماکس استفاده شد. عامل اصلی و مستقل ضرایب عاملی ۰/۵ به بالا معنی دار در نظر گرفته شدند. همچنین آنالیز خوشه بندی با روش وارد و محاسبه فواصل و همچنین ترسیم اسکاتر پلات توسط نرم افزار Past انجام گرفت.

جدول ۱- اسامی قراردادی نمونه‌های گردو

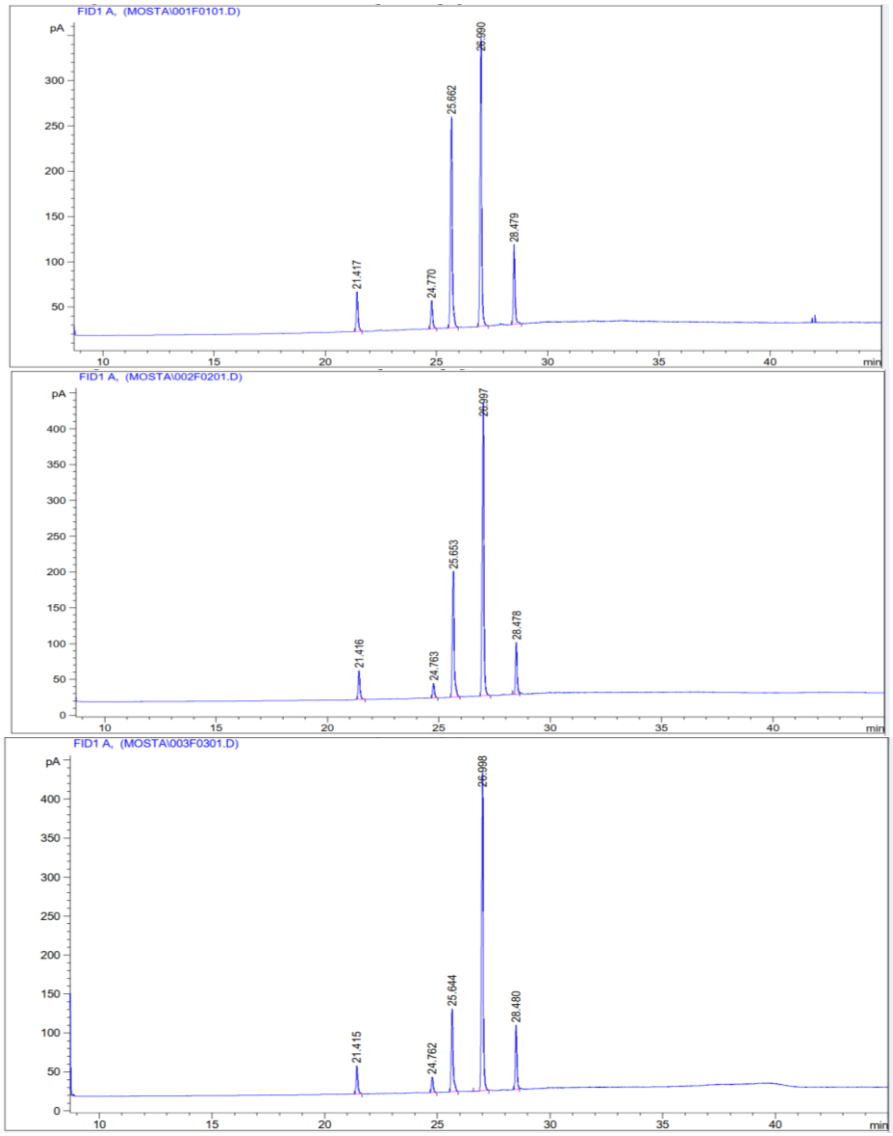
Table 1. Conventional names of walnut samples

Conventional name	Conventional name	Conventional name	Conventional name
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

جدول ۲- صفات کمی و کیفی مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گردو

Table 2. Quantitative and qualitative traits studied in walnut genotypes

Trait	Unit
Wet kernel weight	g
Dry kernel weight	g
Kernel size	Code: 1-Very Small, 3-Small, 5-Medium, 7-Large, 9-Very Large
Kernel color	Code: 1-Very Light, 3-Light, 5-Medium, 7-Dark
Kernel fleshy	Code: 1-Poor, 5-Medium, 7-Full
Removable kernel	Code: 1-Very Easy, 3-Easy, 5-Medium, 7-Hard
Kernel shriveling	Code: 1-Tip shriveled, 2-Less than 50%, 3-More than 50%, 4-Papery
Seed shape	Code: 1-Round, 2-Triangular, 3-Broad ovate, 4-Ovate, 5-Short trapezoid, 6-Long trapezoid, 7-Broad elliptical, 8-Elliptical, 9-Cordate
Fruit split	Code: 0-Absent, 1-Present
Dry Fruit Weight	g
Seed length	mm
Seed width	mm



شکل ۱- دیاگرام زمان خوانش مهم‌ترین اسیدهای چرب مغز گردو، از چپ به راست: پالمیتیک اسید، استئاریک اسید، اولئیک اسید، لینولنیک اسید و لینولئیک اسید. از بالا به پایین به ترتیب نمونه C5، G1، G6

Figure 1. Chromatogram of the main fatty acids in walnut kernel, from left to right: palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linolenic acid, and linoleic acid. From top to bottom: samples C5, G1, and G6, respectively

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی اولیه ویژگی‌های پومولوژیک گردو نشان داد تنوع بالایی در جمعیت‌های بررسی شده وجود دارد. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و شاخص تنوع فنوتیپی کل ژنوتیپ‌ها برای هر یک از صفات در جدول ۳ ارائه شده است. در بین صفات مورد بررسی، بیشترین ضریب تنوع مربوط به صفات درز و شکاف میوه، شکل میوه، اندازه مغز و رنگ مغز بود. کمترین ضریب تنوع مربوط به صفات طول میوه و وزن خشک میوه به دست آمد. بیشترین وزن میوه خشک با پوست چوبی (۱۷/۳ گرم) و کمترین (۱۱/۹ گرم) به ترتیب متعلق به نمونهٔ C5 و C2 با میانگین ۱۳/۴۰ گرم برای کلیه ژنوتیپ‌ها به‌دست آمد. بیشترین وزن خشک مغز (۸/۹ گرم) و کمترین مقدار آن (۴/۶ گرم) به ترتیب متعلق به نمونه C5 و B6 با میانگین ۶/۲۹ گرم برای کلیه ژنوتیپ‌ها به‌دست آمد. در پژوهشی، با ارزیابی ۱۰۲ ژنوتیپ بذری گردو متوسط 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 مطالعهٔ ۸۴ نمونهٔ بذری گردو در منطقه شمال غربی هیمالیا جامو و کشمیر متوسط وزن یک میوه خشک گردو را در محدوده ۱۰/۰۴ تا ۲۲/۶۶ گرم و متوسط وزن خشک میوه را از ۴/۷۵ تا ۱۴ گرم گزارش کردند.

درز، شکاف و روزنه میوه یکی از صفات بسیار مهم در نگهداری و انبارداری محصول گردو می‌باشد. گردو دارای روزنه باز ضمن احتمال آلودگی قارچ ها در هنگام انبارداری مورد حمله حشرات قرار گرفته و در زمان کاشت دانه نیز در خزانه به علت ورود آب زیاد به درون دانه مورد خسارت قارچ ها و کپک زدگی قرار می گیرند. وجود روزنه در هنگام شکستن پوست سخت، به آسانی دانه را به دو نیم تقسیم کرده یا مغزشان خیلی بد خارج می‌گردد. هرچه میزان ضخامت پوست در گردوها بیشتر باشد روزنه انتهای میوه بسته‌تر می‌باشد به طوری که روزنه موجود در گردوهای پوست کاغذی بزرگتر از گردوهای پوست ضخیم می‌باشد (McGranahan et al., 1990).

گوشتی بودن و رنگ مغز از صفات مهم در بازارپسندی گردو است و مقدار میانگین به دست آمده در این صفات به ترتیب ۵/۲۳ و ۳/۳۹ می‌باشد که نشان می دهد اکثر ژنوتیپ‌ها دارای رنگ مغز کهربایی تا کمی روشن با ویژگی‌های گوشتی بوده‌اند. متوسط وزن میوه و مغز از فاکتورهای مهم کمی و کیفی گردو است که در بازار پسندی این آجیل نقش مهمی دارد. نتایج این مطالعه نشان داد برخی از ژنوتیپ‌های گردو در این پژوهش دارای وزن مغز بالایی بودند که می‌تواند مورد توجه قرار بگیرد. وزن ایده‌آل مغز گردو در محدوده ۶ تا ۱۰ گرم می‌باشد (Khadivi-Khub *et al.*, 2015). در صورتی که در این مطالعه متوسط وزن خشک مغز در برخی از ژنوتیپ‌ها بیشتر از ۷ گرم بود و متوسط وزن خشک مغز گردو ۶/۲۹ گرم در بین کلیه ژنوتیپ‌ها ثبت شد. نتایج این پژوهش نشان‌دهندهٔ تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ۶۱ ژنوتیپ گردوی مورد مطالعه در منطقهٔ آبیز بود. این تنوع به‌ویژه در صفات مرتبط با میوه و مغز نظیر وزن میوه، وزن مغز، شکل میوه، رنگ مغز و وجود درز در میوه مشهود بود. چنین تنوعی می‌تواند به دلیل سیستم تولیدمثل جنسی، هتروزیگوسیتی بالا و تأثیر شرایط اکولوژیکی منطقه باشد (Vahdati *et al.*, 2019).

پس از ارزیابی اولیه بر اساس ویژگی‌های میوه و مغز، ۱۱ ژنوتیپ گردو که دارای بیشترین وزن خشک مغز به همراه سایر صفات مطلوب مانند گوشتی بودن مغز، رنگ کهربایی تا روشن در مغز، سهولت جدایی مغز از بخش استخوانی بودند به عنوان نمونه‌های مطلوب انتخاب شدند و ترکیبات اسیدهای چرب در مغز آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار و شاخص تنوع فنوتیپی برای هر یک از اسیدهای چرب گردو در جدول ۴ ارائه شده است که بیانگر وجود تنوع بالا در

نمونه‌های انتخابی از لحاظ ویژگی اسیدهای چرب می-باشد. همچنین مقادیر مهم‌ترین پروفایل اسیدهای چرب ۱۱ نمونه برتر گردو و درصد کل روغن مغز گردو در جدول ۵ ارائه شده است. کمترین میزان اسید پالمیتیک (۵/۶ درصد) و بیشترین مقدار آن (۶/۸۸ درصد) به ترتیب در نمونه‌های G6 و G7 مشاهده شد. میانگین اسید پالمیتیک در نمونه‌های مورد بررسی ۶/۳۳ درصد بود. مقادیر اسید استئاریک در نمونه‌ها کمتر بود. متوسط این شاخص در نمونه‌ها برابر با ۳/۱۰ درصد بود ولی تنوع آن در مقایسه با اسید پالمیتیک بیشتر بود.میزان اسید اولئیک در مغز گردو از ۱۲/۴۵ تا ۳۴/۱۵ درصد در مغز متغیر بود و میانگین آن برای همه نمونه‌ها ۲۰/۹۵ درصد با ضریب تنوع ۲۹/۵۹ درصد به دست آمد. اسید اولئیک یک اسید چرب غیر اشباع می باشد و هرچه مقدار آن در مغز بیشتر باشد بیانگر کیفیت بالای مغز است و نمونه C5 دارای بیشترین مقدار اسید اولئیک با مقدار ۳۴/۱۵ درصد در بین نمونه‌های مورد بررسی بود. اسید لینولئیک و اسید لینولنیک هم جز اسیدهای چرب غیراشباع هستند و میانگین آن‌ها در نمونه‌های گردو به ترتیب ۵۷/۸۶ و ۱۱/۷۵ درصد برآورد شد. مقادیر اسید لینولئیک در نمونه-ها از ۴۳/۱۶ تا ۶۴/۲۹ درصد متغیر بود، با این حال مقدار اسید لینولنیک در محدوده ۹/۱۳ تا ۱۳/۸۸ درصد قرار داشت. نمونه E6 دارای مقادیر بالایی ار این دو اسید چرب غیراشباع بود. برآورد میزان اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع نشان داد مغز گردو دارای مقادیر بالایی از اسید چرب غیراشباع می باشد. میانگین اسید چرب اشباع در نمونه‌های گردو ۹/۴۴ درصد بود درحالی که برای اسیدهای چرب غیراشباع ۹۰/۵۶ درصد ثبت شد. این نسبت بیانگر کیفیت بالای مغز گردو درمقایسه با سایر روغن‌های گیاهی می‌باشد (Bhattacharya, 2022). نتایج نشان داد عمده نمونه‌های انتخابی دارای اسیدهای چرب غیر اشباع بالایی هستند و این شاخص در بیشتر نمونه‌ها بالای ۹۰ درصد می‌باشد. درصد کل روغن همچنین در محدوده ۶۵ تا ۷۱ درصد با میانگین ۶۹ درصد قرار داشت.

جدول ۳- ویژگی‌های کلی صفات پومولوژیک گردو

Table 3. General characteristics of the morphological traits studied in walnut

Traits	Unit	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Phenotypic diversity index (%)
Wet kernel weight	g	7.5	12.4	8.91	1.15	12.96
Dry kernel weight	g	4.6	8.9	6.29	1.03	16.41
Kernel size	Code	1	9	4.38	2.05	46.85
Kernel color	Code	1	7	3.39	1.49	44.13
Kernel fleshy	Code	1	7	5.23	1.27	24.28
Removable kernel	Code	1	5	3.33	1.37	41.31
Kernel shriveling	Code	1	3	2.18	0.67	30.77
Seed shape	Code	1	8	2.74	2.88	105.2
Fruit split	Code	0	1	0.25	0.43	176.5
Dry Fruit Weight	g	11.9	17.3	13.4	1.34	10.03
Seed length	mm	34	51	42.57	4.1	9.64
Seed width	mm	32	79	40.46	6.27	15.51

جدول ٤- ویژگی‌های کلی صفات مربوط به روغن ژنوتیپ‌های گردو

Table 4. General characteristics of oil-related traits in walnut genotypes

Traits	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Diversity index (%)
Palmitic acid (%)	5.6	6.88	6.33	0.38	5.98
Stearic acid (%)	2.45	4.64	3.1	0.57	18.22
Oleic acid (%)	12.45	34.15	20.95	6.2	29.59
Linoleic acid (%)	43.16	64.29	57.86	6.01	10.39
Linolenic acid (%)	9.13	13.88	11.75	1.48	12.55
Saturated fatty acid (%)	8.7	10.97	9.44	0.69	7.26
Unsaturated fatty acid (%)	89.03	91.3	90.56	0.69	0.76
Unsaturated/Saturated fatty acid ratio	8.12	10.49	9.64	0.73	7.54
Polyunsaturated fatty acid (PUFA) (%)	18.32	23.25	21.19	1.58	7.44
Oleic acid/Linoleic acid ratio	0.19	0.79	0.38	0.17	44.15
Total oil (%)	65	71	69	0.02	2.84

مغز گردوی ایرانی یکی از پرمصرف ترین آجیل‌های درختی در جهان است. مغز گردو غنی از چندین ترکیب فعال زیستی است که اسیدهای چرب چند غیراشباع (PUFA) و تک غیراشباع (MUFA) در غلظت‌های بالا در مغز وجود دارند. مصرف گردو از بیماری های قلبی عروقی و عصبی محافظت می کند (Nogales-Bueno *et al.*, 2021). وجود مقدار بالای اسیدهای چرب تک غیراشباعی، که مهم‌ترین آن اسید اولئیک می‌باشد، ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی مغز گردو را بالا می‌برد و نقش بسیار تعیین کننده‌ای در کیفیت آن دارد بنابراین افزایش مقدار این اسید چرب همیشه جزء اهداف به‌نژادی گردو می-باشد. ترکیب اسیدهای چرب روغن مغز بسیار تأثیرپذیر از ژنوتیپ گیاه، مراحل رشدی گیاه، شرایط اقلیمی، عملیات داشت و حتی موقعیت میوه بر روی شاخه می‌باشد. دما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که در سنتز و ترکیب اسیدهای چرب میوه مؤثر می‌باشد (Bhattacharya, 2022). در مطالعه‌ای بر روی گیاهان روغنی، افزایش دمای محیط منجر به کاهش محتوای اسید اولئیک و محتوای اسید پالمیتیک گردید (Zhao *et al.*, 2025). توآتی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی درختان زیتون در مناطق مختلف آب و هوایی نشان دادند همبستگی منفی معنی‌دار بین دمای متوسط با محتوای اسید اولئیک و همبستگی مثبت بین دمای محیط و اسید پالمیتیک وجود دارد (Touati *et al.*, 2022). علاوه بر شرایط اقلیمی، وضعیت عناصر غذایی موجود در درخت گردو نقش اساسی در تولید و کیفیت روغن ایفا می کند. در این راستا مشخص شده است که پتاسیم و عناصر غذایی کم مصرف بور و روی از طریق تاثیر بر ساخت و متابولیسم کربوهیدرات‌ها، به عنوان پیش مادهٔ سنتز روغن و نیز تنظیم فعالیت‌های آنزیمی مؤثر در سنتز اسیدهای چرب، ساختار موادآلی و بهبود فتوسنتز نقش کلیدی در کیفیت و ترکیب روغن دارند (Gholami *et al.*, 2018). یکی از مهم-ترین ویژگی‌های مغز گردو ترکیب چربی آن است. در مقایسه با اکثر آجیل‌های دیگر، گردو کمترین نسبت اسیدهای چرب اشباع (SFA) را به کل اسیدهای چرب نشان می‌دهد. علاوه بر این، گردو دارای درصد کمتر اسیدهای چرب تک غیراشباع (MUFA) و درصد بیشتری از اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA) است (Pereira *et al.*, 2008; Hayes *et al.*, 2016). نتایج یک مطالعه نشان داد چربی کل (روغن کل) از ۶۵/۸۵ درصد برای "چندلر" تا ۶۸/۸۶ درصد برای انواع "Franquette" متغیر بود ولی تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده نشد (Nogales-Bueno *et al.*, 2021). براساس نتایج گزارشات، گردو دارای مقدار متوسط ۶۵ درصد چربی وزنی است (Hayes *et al.*, 2016; Fatima *et al.*, 2018). در تحقیقی دیگر مقادیری بین

۶۹ تا ۷۲ درصد برای محتوای چربی کل گزارش شد (Pereira *et al.*, 2008). این تفاوت‌ها را می‌توان به تأثیر تنوع، سال برداشت و شرایط مختلف محیطی نسبت داد که ممکن است بر ترکیب شیمیایی میوه‌ها اثر بگذارد. در واقع، محتوای روغن، اسیدهای چرب، ویتامین E و توکوفرول‌ها به طور قابل توجهی در بین ارقام مختلف گردو و شرایط محیطی متفاوت است (Amaral *et al.*, 2005). مقدار بالاتر SFA را می‌توان به راحتی با پایداری اکسیداتیو بیشتر روغن گردو مرتبط کرد (Rabrenovic *et al.*, 2011). علاوه بر این، غلظت بالاتر MUFA و غلظت کمتر PUFA منجر به نسبت MUFA/PUFA (نسبت اسید چرب غیر اشباع تک پیوندی به چندپیوندی) بالاتر می‌شود. در واقع، نسبت MUFA/PUFA نیز با پایداری اکسیداتیو در آجیل درختی مرتبط است (Sena-Moreno *et al.*, 2016). هر چه نسبت MUFA/PUFA بیشتر باشد، پایداری اکسیداتیو بیشتر است.

همبستگی بین اسیدهای چرب مغز گردو

اسید لینولئیک همبستگی مثبت و معنی‌داری با روغن کل داشت (r=۰/۸۲). نتایج نشان داد. همبستگی منفی بین اسید اولئیک و اسید لینولئیک وجود دارد (r=−۰/۹۶). روغن کل با اسید چرب اشباع دارای همبستگی منفی و با اسید چرب غیراشباع همبستگی مثبت نشان داد. اسید استئاریک همبستگی مثبت و معنی‌داری با اسید اولئیک نشان داد ولی با اسید لینولئیک دارای همبستگی منفی بود (جدول ۶). ترکیب و محتوای روغن با کنترل ژنتیکی گیاهان تعیین می‌شود (Delourme *et al.*, 2006). تنوع قابل توجهی در محتویات اسید لینولئیک، لینولنیک و اولئیک نیز به طور طبیعی به دلیل ژنوتیپ‌های موجود در روغن گردو وجود دارد و بسیاری از تغییرات ثبت شده در پروفایل اسیدهای چرب با محل کشت مرتبط است (Zwarts *et al.*, 1999). علیرغم کنترل ژنتیکی، عوامل محیطی مانند عرض جغرافیایی، دما و خشکی نیز ممکن است بر ترکیب و غلظت روغن تأثیر بگذارند (Poggetti *et al.*, 2018).

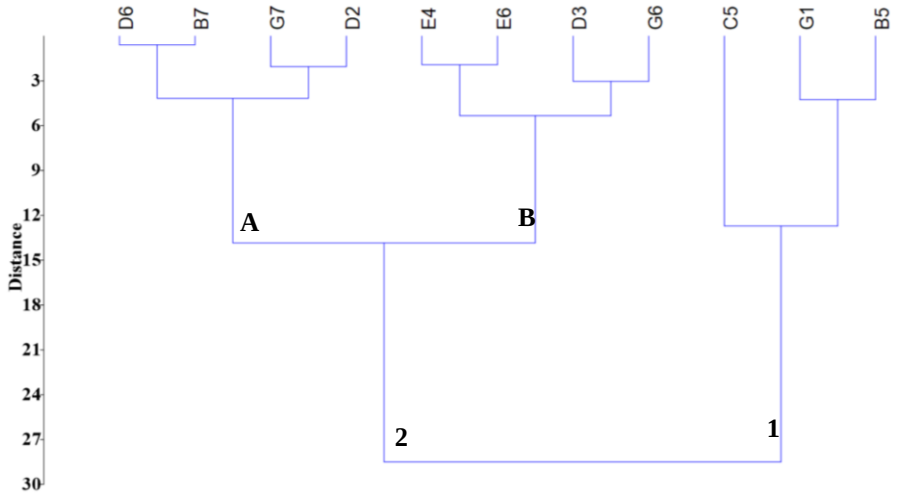
تجزیه خوشه‌ای نمونه‌های برتر گردو براساس اسیدهای چرب مغز گردو

نتایج تجزیه خوشه‌ای ۱۱ نمونه برتر گردو براساس پروفایل اسیدهای چرب مغز در شکل ۲ آمده است. نتایج نشان داد نمونه‌های مورد بررسی در فاصلهٔ ۳۰ به دو گروه اصلی تقسیم شدند و هر گروه در فاصله ۱۴ به گروه کوچکتر تقسیم شده‌اند. در گروه اول سه نمونه C5، G1 و B5 قرار گرفتند که از مشخصات بارز آنها بالا بودن اسید اولئیک و پایین بودن اسید لینولئیک می‌باشد. این دو اسید چرب در گروه اسیدهای چرب غیراشباع قرار دارند. گروه دوم شامل ۸ نمونه D6، B7، G7، D2 که خودشان در یک گروه (A) قرار گرفتند و ۴ نمونه دیگر شامل G6، D3، E6 و E4 که در یک خوشه قرار دارند (B). از مشخصات بارز نمونه‌های گروه دوم می توان به بالا بودن اسید پالمیتیک و میزان کمتر اسید اولئیک و روغن کل در مقایسه با گروه اول اشاره کرد.

جدول ۵- میزان اسیدهای چرب ژنوتیپ‌های گردو مورد بررسی

Table 5. Fatty acid composition of the studied walnut genotypes

Sample	Palmitic acid (%)	Stearic acid (%)	Oleic acid (%)	Linoleic acid (%)	Linolenic acid (%)	Saturated fatty acid (%)	Unsaturated fatty acid (%)	Unsaturated/Saturated Rratio	Polyunsaturated fatty acid (PUFA) (%)	Oleic acid/Linoleic acid ratio	Total oil (%)
C5	6.33	4.64	34.15	43.16	11.72	10.97	89.03	8.12	22.69	0.79	0.71
G1	5.75	2.98	26.06	55.62	9.59	8.73	91.27	10.45	18.32	0.47	0.65
G6	5.6	3.1	17.48	61.95	11.87	8.7	91.3	10.49	20.57	0.28	0.67
D6	6.34	2.79	22.29	57.13	11.44	9.13	90.86	9.95	20.57	0.39	0.68
E4	6.57	2.8	14.25	63.91	12.46	9.37	90.62	9.67	21.83	0.22	0.69
E6	6.58	2.79	12.45	64.29	13.88	9.37	90.62	9.67	23.25	0.19	0.69
G7	6.88	3.36	21.09	59.54	9.13	10.24	89.76	8.77	19.37	0.35	0.71
B7	6.34	2.45	22.2	57.45	11.56	8.79	91.21	10.38	20.35	0.39	0.68
B5	6.17	3.06	25.15	52.7	12.92	9.23	90.77	9.83	22.15	0.48	0.67
D2	6.48	3.23	20.05	59.11	11.12	9.71	90.28	9.3	20.83	0.34	0.71
D3	6.64	2.95	15.23	61.62	13.56	9.59	90.41	9.43	23.15	0.25	0.7



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای ۱۱ نمونه گردو براساس روش Ward با استفاده از صفات مرتبط با میزان اسیدهای چرب گردو

Figure 2. Cluster analysis of the 11 walnut samples using Ward's method based on fatty acid composition traits

جدول ٦- همبستگی ساده بین صفات مرتبط با اسیدهای چرب ژنوتیپ‌های گردو

Table 6. Simple correlation coefficients between fatty acid-related traits in walnut genotypes

Traits	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid	Saturated fatty acid	Unsaturated fatty acid	Unsaturated/Saturated ratio	Polyunsaturated fatty acid (PUFA)	Oleic acid/Linoleic acid ratio	Total oil
Palmitic acid	1										
Stearic acid	0.02	1									
Oleic acid	-0.28	0.67*	1								
Linoleic acid	0.2	-0.74**	-0.96**	1							
Linolenic acid	-0.13	-0.18	-0.44	0.22	1						
Saturated fatty acid	0.57	0.83**	0.4	-0.51	-0.08	1					
Unsaturated fatty acid	-0.57	-0.83**	-0.4	0.51	0.08	-1**	1				
Unsaturated/Saturated ratio	-0.61*	-0.79**	-0.35	0.46	0.05	-0.99**	0.99**	1			
Polyunsaturated fatty acid (PUFA)	0.19	-0.24	-0.36	0.90**	-0.01	-0.36	0.36	0.36	1		
Oleic acid/Linoleic acid ratio	0.23	0.98**	0.76**	-0.51	-0.31	0.99**	-0.99**	-0.76**	-0.23	1	
Total oil	-0.47	-0.78**	-0.82**	0.82**	0.84**	-0.06	0.06	-0.04	0.42	0.05	1

** و * به ترتیب نشان‌دهنده معناداری در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد هستند.

** and * indicate significance at the 1% and 5% probability levels, respectively

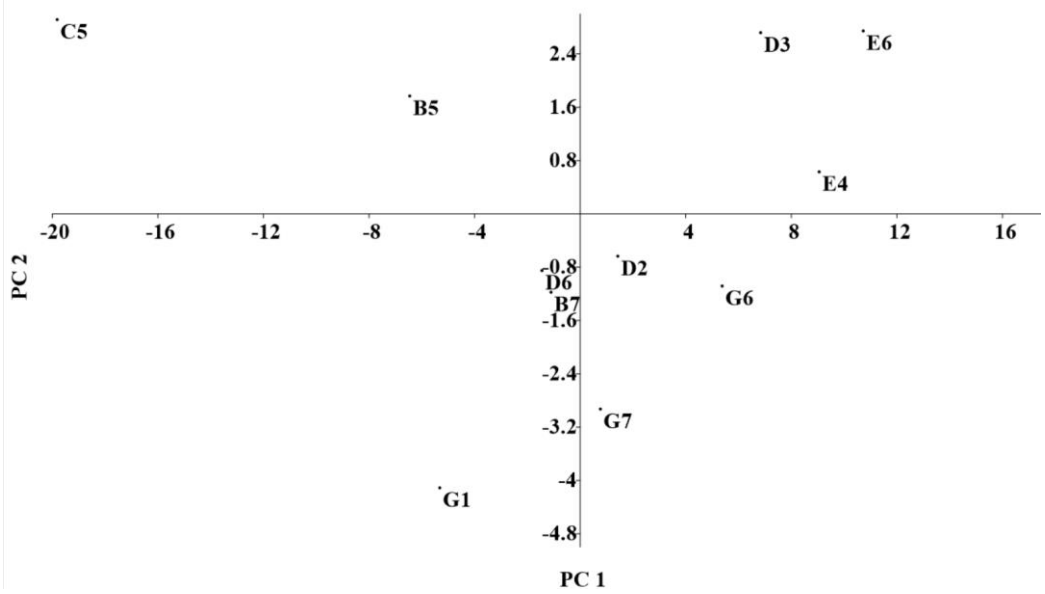
تجزیه به عامل‌ها براساس اسیدهای چرب مغز گردو

در این پژوهش چرخش عامل‌ها با استفاده از روش وریماکس که تغییرات را میان عامل‌ها به شکل یکنواخت توزیع می‌کند، انجام شد. میزان واریانس نسبی هر عامل (درصد واریانس) نشان دهندهٔ اهمیت آن عامل در واریانس کل صفات مورد بررسی است. بر طبق نتایج به دست آمده از این تجزیه، ۳ عامل اصلی که مقادیر ویژه بالاتر از یک داشتند توانستند در مجموع ۹۵/۶۱ درصد واریانس کل بین ژنوتیپ‌ها را توجیه نمایند. در عامل اول صفات اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع و نسبت آن‌ها به همراه روغن کل در اولویت قرار گرفتند که این عامل به تنهایی توانسته است ۴۰/۲۱ درصد کل واریانس را توجیه کند. عامل دوم شامل صفاتی مانند استئاریک اسید، اولئیک اسید، لینولئیک اسید و نسبت اولئیک اسید به لینولئیک اسید بود که نزدیک به ۳۷/۶۴ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص داد. در عامل سوم لینولنیک اسید و اسیدهای چرب چند غیراشباعی قرار گرفتند که نزدیک به ۱۷/۷۶ درصد واریانس کل را به خود اختصاص داد (جدول ۷). تجزیه اسکاترپلات بر مبنای اسیدهای چربی که در عامل اول و دوم قرار گرفتند نشان داد نتایج این بخش منطبق با تجزیه خوشه‌ای می‌باشد. براساس این آزمون نمونه‌های C5، B5 و G1 در سمت چپ نمودار در ضلع بالا و پایین قرار گرفتند که از خصوصیات بارز آنها بالا بودن اسید اولئیک و پایین بودن اسید لینولئیک می‌باشد. همچنین نمونه‌های E4، E6 و D3 در یک ناحیه در بالا و سمت راست نمودار مشخص شدند که مقادیر اسید پالمیتیک در آن ها بالاتر بود ولی میزان اسید استئاریک کمتر بود. نمونه‌های D6، B7، D2، G6 و G7 در یک ناحیه حول مرکز نمودار جای گرفتند که دارای مقادیر نسبتاً بالای اسید پالمیتیک و اسید لینولئیک بود (شکل ۳).

جدول ۷- مقادیر ویژه، واریانس، واریانس تجمعی و ضرایب عاملی صفات پروفایل اسیدهای چرب در هر کدام از عامل‌ها پس از چرخش به روش وریماکس

Table 7. Eigenvalues, variance, cumulative variance, and factor loadings of fatty acid profile traits for each factor after Varimax rotation

Traits	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Palmitic acid	0.48	-0.36	0.08
Stearic acid	0.52	0.78	0.03
Oleic acid	0.02	0.95	-0.26
Linoleic acid	-0.1	-0.98	0.02
Linolenic acid	-0.06	-0.21	0.97
Saturated fatty acid	0.89	0.44	0.07
Unsaturated fatty acid	-0.89	-0.44	-0.07
Unsaturated/Saturated fatty acid ratio	-0.91	-0.39	-0.09
Polyunsaturated fatty acid (PUFA)	0.33	-0.01	0.94
Oleic acid/Linoleic acid ratio	0.1	0.98	-0.1
Total oil	0.95	-0.04	0.11
Eigenvalues	4.42	4.14	1.95
Variance (%)	40.21	37.64	17.76
Cumulative variance (%)	40.21	77.85	95.61



شکل ۳- نتایج بای پلات صفات و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گردو براساس دو عامل اصلی صفات اسیدهای چرب گردو

Figure 3. Biplot results of traits and grouping of walnut genotypes based on the two principal components of fatty acid traits

نتیجه‌گیری

برای هر برنامه به‌نژادی، در دسترس بودن منابع ژنتیکی گیاهی و ارزیابی ابزارها و روش‌های مختلف به‌منظور بهره‌برداری مؤثر از ژرم‌پلاسم‌ها امری ضروری است. اگرچه تولید یک رقم ایده‌آل گردو چالش‌برانگیز است، اما بر اساس ارزیابی صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و پومولوژیک می‌توان ژنوتیپ‌های برتر را شناسایی و به‌طور مستقیم از طریق پیوند یا کشت بافت برای توسعهٔ ارقام جدید استفاده کرده و در اختیار کشاورزان قرار داد. بررسی صفات پومولوژیک نشان داد که تنوع قابل‌توجهی در میان نمونه‌های گردوی مورد مطالعه وجود دارد، به‌طوری‌که بیشترین وزن میوهٔ خشک با پوست چوبی (۱۷/۳ گرم) و کمترین مقدار آن (۱۱/۹ گرم) به‌ترتیب به نمونه‌های C5 و C2 تعلق داشت و میانگین این صفت در کل ژنوتیپ‌ها ۱۳/۴۰ گرم به‌دست آمد. همچنین بیشترین وزن خشک مغز (۸/۹ گرم) و کمترین مقدار آن (۴/۶ گرم) به‌ترتیب در نمونه‌های C5 و B6 مشاهده شد و میانگین وزن مغز در بین ژنوتیپ‌ها ۶/۲۹ گرم برآورد گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع بالایی در پروفایل اسیدهای چرب مغز گردو وجود دارد. اصلاح و به‌نژادی ارقام گردو با میوه‌های درشت‌تر، مغز بیشتر، درصد مغز بالاتر، رنگ مغز مطلوب، درصد بالای روغن و مقادیر زیاد اسیدهای چرب غیراشباع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تقاضای بالایی برای چنین ارقامی وجود دارد. در این مطالعه، در نهایت نمونه‌های C5، E6، G7 و B5 به‌دلیل دارا بودن صفات مطلوب مغز و روغن شناسایی شدند و می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه ارزشمند در کشت مستقیم و یا توسعهٔ ارقام جدید در برنامه‌های به‌نژادی گردو مورد استفاده قرار گیرند.

سپاس‌گزاری

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

References

Amaral, J. S., Alves, M. R., Seabra, R. M., & Oliveira, B. P. (2005). Vitamin E composition of walnuts (*Juglans regia* L.): a 3-year comparative study of different cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 5467–5472. https://doi.org/10.1021/jf050342u

Beyhan, O., Ozcan, A., Ozcan, H., Kafkas, N. E., Kafkas, S., Sutyemez, M., & Ercisli, S. (2017). Fat, fatty acids and tocopherol content of several walnut genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 45(2), 1–5. https://doi.org/10.15835/nbha45210932

Bhattacharya, A. (2022). Lipid metabolism in plants under low-temperature stress: a review. *Physiological Processes in Plants under Low Temperature Stress*, 409-516. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9037-2_5

Bolling, B. W., Aune, D., Noh, H., Petersen, K. S., & Freisling, H. (2023). Dried fruits, nuts, and cancer risk and survival: A review of the evidence and future research directions. *Nutrients*, 15(6), 1443. https://doi.org/10.3390/nu15061443

Chatrabnous, N., Yazdani, N., & Vahdati, K. (2018). Determination of nutritional value and oxidative stability of fresh walnut. *Journal of Nuts*, 9(1), 11–20. https://doi.org/10.22034/jon.2018.540862

Christie, W. W., & Han, X. (2010). Lipid analysis: isolation, separation, identification and lipidomic analysis. Elsevier.

Delourme, R., Falentin, C., Huteau, V., Clouet, V., Horvais, R., Gandon, B., & Renard, M. (2006). Genetic control of oil content in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 113(7), 1331–1345. https://doi.org/10.1007/s00122-006-0386-z

FAO. (2023). FAO Statistical Yearbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Fatima, T., Showkat, U., & Hussain, S. Z. (2018). Nutritional and health benefits of walnuts. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 1269–1271.

Gholami, R., Moallemi, N., Khaleghi, E., & Seyyednejad, S. M. (2018). The effect of potassium, boron and zinc foliar application on fruit characteristics of some Olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 32(3), 459–470. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i3.69857 [In Persian].

Hao, Y., Ge, X., Xu, R., Zhao, X., & Zhai, M. (2024). Transcriptome analysis of lipid biosynthesis during kernel development in two walnut varieties. *BMC Plant Biology*, 24, 828. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05546-y

Hayes, D., Angove, M. J., Tucci, J., & Dennis, C. (2016). Walnuts (*Juglans regia*) chemical composition and research in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 1231–1241. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.760516

IPGRI. (1994). Descriptors for walnut (*Juglans* spp.). International Plant Genetic Resources Institute.

Khadivi-Khub, A., Ebrahimi, A., Mohammadi, A., & Kari, A. (2015). Characterization and selection of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from seedling origin trees. *Tree Genetic Genomes*, 11, 1–10. https://doi.org/10.1007/s11295-015-0882-x

Kömür, Y. K., Karakaya, O., Sütyemez, M., Dirim, E., Yaman, M., Say, A., Gönültaş, M., Özcan, A., & Ayaz, I. B. (2023). Characterization of walnut (*Juglans regia* L.) hybrid genotypes; fatty acid composition, biochemical properties and nutrient contents. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 2965–2985. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01810-6

Labuckas, D. O., Maestri, D. M., Perelló, M., Martínez, M. L., & Lamarque, A. L. (2008). Phenolics from walnut (*Juglans regia* L.) kernels: Antioxidant activity and interactions with proteins. *Food Chemistry*, 107(2), 607–612. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.051

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

Nogales-Bueno, J., Baca-Bocanegra, B., Hernández-Hierro, J. M., Garcia, R., Barroso, J. M., Heredia, F. J., & Rato, A. E. (2021). Assessment of total fat and fatty acids in walnuts using near-infrared hyperspectral imaging. *Frontiers in Plant Science*, 12, 729880. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.729880

Pereira, J. A., Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I. C., Bento, A., & Estevinho, L. (2008). Bioactive properties and chemical composition of six walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, 46(6), 2103–2111. https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.02.002

Poggetti, L., Ferfuia, C., Chiabà, C., Testolin, R., & Baldini, M. (2018). Kernel oil content and oil composition in walnut (*Juglans regia* L.) accessions from north-eastern Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(3), 955–962. https://doi.org/10.1002/jsfa.8577

Rabrenovic, B., Dimic, E., Maksimovic, M., Sobajic, S., & Gajic-Krstajic, L. (2011). Determination of fatty acid and tocopherol compositions and the oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars grown in Serbia. *Czech Journal of Food Sciences*, 29, 74–78. https://doi.org/10.17221/180/2010-CJFS

Rezaei, A., Arzani, K., & 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, 441–457. https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.277210.1609 [In Persian].

Sarikhani, S., Vahdati, K., & Ligterink, W. (2021). Biochemical properties of superior Persian walnut genotypes originated from southwest of Iran. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(1), 13–24. https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.309363.392

Sena-Moreno, E., Pardo, J. E., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., & Alvarez-Ortí, M. (2016). Differences in oils from nuts extracted by means of two pressure systems. *International Journal of Food Properties*, 19, 2750–2760. https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1144068

Shah, R. A., Bakshi, P., Sharma, N., Jasrotia, A., Itoo, H., Gupta, R., & 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, 100015. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100015

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

Szalóki-Dorkó, L., Kumar, P., Székely, D., et al. (2024). Comparative study of different walnut (*Juglans regia* L.) varieties based on their nutritional values. *Plants*, 13(15), 2097. https://doi.org/10.3390/plants13152097

Touati, S., Acila, S., Boujnah, D., Chehab, H., Ayadi, M., & Debouba, M. (2022). Geographical location and cultivar-linked changes on chemical properties of olive oils from Algeria. *Food Science & Nutrition*, 10(6), 1937–1949. https://doi.org/10.1002/fsn3.2810

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

Zhao, Q., Wang, F., Xiong, A., Li, S., Wang, Y., Lei, X., & Zhang, J. (2025). Regulation of fatty acid synthesis in oilseed crops: multidimensional insights and strategies for enhancing oil quality. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1–17. https://doi.org/10.1080/07388551.2025.2529591

Zwarts, G. P., Savage, D. L., & McNeil, L. (1999). Fatty acid content of New Zealand-grown walnuts (*Juglans regia* L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50(3), 189–194. https://doi.org/10.1080/096374899101229