Crop Biotechnology Open Access

Autumn (2024) 14 (1): 1-14.
DOI: 10.30473/cb.2024.71803.1974

ORIGINAL ARTICLE

# Study of promising Iranian *Punica granatum* L. genotypes based on morphological and pomological characteristics

**Maryam Farsi[1], Mansoor Kalantar[1], Mehrshad Zeinalabedini[2*(ORCID: 0000000234364334)], Mohammad Reza Vazifeshenas[3], Reyhaneh Asgarpour[4]**

1. Department of Plant Breeding, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran.
2. Department of Systems Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3. Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
4. Department of Systems Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Correspondence:
Mehrshad Zeinalabedini
Email: m.zeinolabedini@abrii.ac.ir

Received: 16, May 2024
Accepted: 21, Aug. 2024

**How to cite:**
Farsi, M., Kalantar, M., Zeinalabedini, M., Reza Vazifeshenas, M., & Asgarpour, R. (2024). Study of promising Iranian *Punica granatum* L. genotypes based on morphological and pomological characteristics. *Crop Biotechnology*, 14 (3), 1-14.
(DOI: 10.30473/cb.2024.71803.1974)

## ABSTRACT

*Punica granatum* L. is a valuable fruit tree that exhibits favorable genetic diversity in Iran. The investigation of genetic diversity is the basis of plant breeding and is of particular importance. For this purpose, 38 morphological and pomological traits of 30 pomegranate genotypes were evaluated over two consecutive years. The results indicated that the genotypes displayed a high diversity in the studied traits, with the exception of the presence of anthocyanin in the branch of this year, aril color, fruit size, fruitful flower size, and intermediate cut of the leaf. The physiological disorder of fruit skin sensitivity to bursting had a positive correlation with fruit skin sensitivity to sunburn, but it showed a negative relationship with fruit skin thickness and tree mean yield. A positive correlation was observed between fruit size and fruitful flower size, and between fruitful flower percentage and flower position. The results of the principle component analysis revealed that the characteristics of fruit skin sensitivity to bursting, tree mean yield, fruit skin thickness, flower position, and fruit shape were the most key traits in determining the diversity between the studied genotypes. Based on the results of cluster analysis, the genotypes were divided into three groups, and the first group included genotypes with the lowest fruit skin sensitivity to bursting and sunburn. Among the cultivars studied, Rabab Malas Fars, Garch-shahvar, Shahvar-ghasrdasht, and Malas-Yazdi could be considered superior and desirable cultivars due to their low sensitivity to bursting and sunburn, as well as their high fruit number and tree yield. The results of this study indicated that utilizing morphological and pomological traits through detailed statistical analyses can aid in the identification and selection of superior pomegranate genotypes. This approach can facilitate the improvement of breeding programs and enhance the productivity of this valuable crop.

## KEYWORDS

*Punica granatum*, multivariate analyses, genetic diversity, functional traits.

© 2024, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
https://cropbiotech.journals.pnu.ac.ir/

زیست‌فناوری گیاهان زراعی

سال چهاردهم، شماره یکم، پیاپی ۴۷، پاییز ۱۴۰۳ (۱۴-۱)

DOI: 10.30473/cb.2024.71803.1974

«مقاله پژوهشی»

# راهبردهای انتخاب ژنوتیپ‌های امیدبخش گونه *Punica granatum* L. با استفاده از صفات مورفولوژیک و پومولوژیک

مریم فارسی[۱]، منصور کلانتر چاهوکی[۱]، مهرشاد زین‌العابدینی[۲*](ارکید: ۰۰۰۰۰۰۰۲۳۴۳۶۴۳۳۴)، محمدرضا وظیفه‌شناس[۳]، ریحانه عسگرپور[۴]

۱. گروه مهندسی کشاورزی واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران.

۲. گروه زیست شناسی سامانه‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳. گروه تحقیقات علوم زراعی و باغبانی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی، یزد، ایران.

۴. گروه زیست‌شناسی سامانه‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

نویسنده مسئول:
مهرشاد زین‌العابدینی
رایانامه: m.zeinolabedini@abrii.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

**استناد به این مقاله:**
فارسی، مریم؛ کلانتر چاهوکی، منصور؛ زین‌العابدینی، مهرشاد؛ وظیفه‌شناس، محمدرضا و عسگرپور، ریحانه (۱۴۰۳). راهبردهای انتخاب ژنوتیپ‌های امیدبخش گونه *Punica granatum* L. با استفاده از صفات مورفولوژیک و پومولوژیک. فصلنامه علمی زیست‌فناوری گیاهان زراعی، ۱۴ (۱)، ۱۴-۱.
(DOI: 10.30473/cb.2024.71803.1974)

## چکیده

گیاه *Punica granatum* L. از گیاهان ارزشمند و دارای تنوع ژرم‌پلاسم مطلوب در ایران است. بررسی تنوع ژنتیکی اساس اصلاح گیاهان بوده و از اهمیت خاصی برخوردار است. بدین‌منظور، ۳۸ صفت مورفولوژیک و پومولوژیک ۳۰ ژنوتیپ امیدبخش انار طی چهار سال متوالی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که به استثنا برخی از ویژگی‌ها مانند وجود میزان آنتوسیانین بر روی شاخه سال جاری، رنگ حبه، اندازه میوه، اندازه گل بارور و بریدگی میانی برگ، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از تنوع بالایی در سایر صفات برخوردار بودند. عارضه فیزیولوژیک حساسیت پوست میوه به ترکیدگی دارای همبستگی مثبت با حساسیت پوست میوه به آفتاب‌سوختگی بود، ولی ارتباط منفی با ضخامت پوست میوه و میانگین عملکرد میوه نشان داد. همبستگی مثبت بین اندازه میوه با اندازه گل مثمر و درصد گل بارور با موقعیت گل مشاهده شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که صفات حساسیت پوست میوه به ترکیدگی، میانگین عملکرد درخت، ضخامت پوست میوه، موقعیت گل و شکل میوه، کلیدی‌ترین صفات در تعیین تنوع بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند. براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در سه گروه تقسیم شدند که در گروه اول ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که پایین‌ترین حساسیت پوست میوه به ترکیدگی و آفتاب‌سوختگی را داشتند. از میان ارقام مورد مطالعه، ارقام رباب ملس فارس، شهوار قصر دشت، شهوار، گرج شهوار و ملس یزدی، را می‌توان به‌دلیل داشتن حساسیت پایین میوه به ترکیدگی و آفتاب‌سوختگی و نیز تعداد میوه و عملکرد درخت بالا به‌عنوان ارقام و ژنوتیپ‌های برتر و امیدبخش معرفی کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از ویژگی‌های مورفولوژیک و پومولوژیک از طریق انجام تجزیه تحلیل‌های دقیق آماری می‌تواند به شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر انار کمک کرده و بهبود برنامه‌های اصلاحی و افزایش بهره‌وری تولید این میوه ارزشمند را تسهیل کند.

## واژه‌های کلیدی

*Punica granatum* L.، تجزیه‌های چند متغیره، تنوع ژنتیکی، صفات عملکردی.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۳ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت مجوز Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) منتشر شده و استفاده از آن با ارجاع صحیح مجاز است.
(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
https://cropbiotech.journals.pnu.ac.ir/

## مقدمه

*Punica granatum* L. گیاهی بومی آسیای مرکزی، به‌ویژه ایران بوده که در دیگر نقاط جهان نیز پراکنده‌است (Verma *et al.*, 2010). کشت گسترده انار در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری در شرایط تغییر اقلیم بیانگر سازگاری و انعطاف‌پذیری بالای این گونه گیاهی است (Da Silva *et al.*, 2013). ایران با تولید سالانه بیش از یک میلیون تن و سطح زیر کشت بالغ بر ۸۹۴۰۰ هکتار، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان انار در دنیا به‌شمار می‌رود (FAO, 2022). براساس آمارهای موجود، در بین کشورهای تولیدکننده انار در جهان، ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان این محصول است، و به‌دلیل وجود تنوع بالایی از نظر ویژگی‌های ژنوتیپی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز ذخایر ژنتیکی شناخته می‌شود. ایستگاه تحقیقات منابع ژنتیکی گاریگالا در کشور ترکمنستان با گردآوری ۱۱۱۷ ژنوتیپ در رتبه اول قرار دارد. پس از آن، کلکسیون مؤسسه تحقیقات گیاهی واویلوف در سن پترزبورگ روسیه با ۸۰۰ ژنوتیپ در مقام دوم و کلکسیون ایستگاه تحقیقات انار یزد با مجموع ۷۶۲ ژنوتیپ در مقام سوم جهان قرار دارد (Holland *et al.*, 2009).

استفاده از ارقام گیاهی اصلاح شده با عملکرد کمی و کیفی بالا و سازگارتر با عوامل محدود کننده زیستی و غیر زیستی، مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین راهکار برای افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد (Eiadathong *et al.*, 2000). از اقدامات اساسی که قبل از انجام هر برنامه اصلاحی باید مورد توجه قرار گیرد، دستیابی به تنوع ژنتیکی موجود برای صفات مورد نظر است تا به‌نژادگر به نحو مطلوبی به خصوصیات ذخایر ژنتیکی آگاهی کامل حاصل نماید. در واقع، تنوع ژنتیکی اساس اصلاح گیاهان بوده و از اجزای مهم پایداری نظام‌های زیستی به‌شمار می‌آید. از این‌رو، بررسی آن از اهمیت خاصی برخوردار است (Mohammadi and Prasanna, 2003). از تنوع ژنتیکی همراه با اطلاعات مختلف از ژرم پلاسم، می‌توان در انتخاب ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان مختلف و حفاظت از منابع ژنتیکی استفاده‌کرد (Zarkti *et al.*, 2010).

یکی از مفیدترین روش‌های بررسی تنوع ژنتیکی، بررسی تنوع و تعیین قرابت ژنتیکی بین ارقام و توده‌ها، به‌وسیله شاخص‌های مورفولوژیک است. بررسی صفات متمایز و مشخص برای شناسایی، تجزیه و تحلیل تنوع ژنتیکی مجموعه ژرم پلاسم بسیار مفید و ضروری است (Martinez-Nicolas *et al.*, 2016). نشانگرهای مورفولوژیک، حاصل جهش‌ها و تنوع قابل رؤیت در مورفولوژی گیاه بوده و از جمله نخستین نشانگرهای مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی به‌شمار می‌آیند که از زمان‌های بسیار دور مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ البته صفات مهم و اقتصادی گیاهان باغی عمدتاً توسط چند ژن کنترل می‌شوند و تحت‌تأثیر محیط قرار دارند. (Alsaeed *et al.*,2009) خصوصیات کیفی چهار رقم انار رشد یافته در عمان را مورد بررسی قرار داده‌اند. تفاوت معنی داری در بین ارقام از نظر اندازه میوه، رنگ پوست میوه، اندازه آریل، اسیدیته قابل تیتراسیون و مقدار آب میوه مشاهده گردید، به‌خصوص آب میوه واریته‌های وحشی حدود ۸ برابر اسیدی‌تر از دیگر ارقام مورد مطالعه بود. با بررسی ۱۷ رقم انار از منطقه بتلیس، تنوع قابل توجهی در وزن میوه، طول میوه و عرض میوه گزارش نمودند (Volkan *et al.*, 2015). همچنین، میر و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی ده رقم انار از لحاظ ویژگی‌های مختلف فیزیکی میوه گزارش نمودند که صفات وزن میوه، قطر میوه و حجم میوه ضریب تغییرات بیشتری را نسبت به سایر صفات داشتند. March and Marrakech (1991) نیز با انجام برخی مطالعات براساس مقایسات مورفولوژیک به منظور مشخص نمودن چندشکلی درون ذخایر بومی انار، تنوع فنوتیپی قابل توجهی را در میان ژنوتیپ‌ها گزارش نمودند. صفات مورفولوژیک ۱۱۷ ژنوتیپ انار در استان یزد نشان داد که شکل پایین میوه و شکل میوه بر پایه شاخص شانون از تنوع بالایی برخوردار است (Zahravi and Vazifeshenas, 2017). روی ۲۱ صفت میوه از ۱۸ ژنوتیپ انار در جنوب جالیسکو، مکزیک مطالعه کرده و دریافتند که اندازه و وزن میوه مهم‌ترین متغیرها هستند. Tapia Campos *et al.* (2021) نیز تنوع بالایی (CV=30.5%) بین ژنوتیپ‌های انار مورد مطالعه از نظر وزن میوه مشاهده کردند (Karap Tsi *et al.*, 2021). تشخیص دقیق ژنوتیپ‌ها برای پرورش و

تجارت ارقام انار و به‌منظور مدیریت کارآمد برنامه‌های به‌نژادی آینده، امری حیاتی است (Sarkhosh *et al.*, 2011). هرچند تعداد گونه‌های جنس *Punica* بسیار کم است، اما به‌علت تاریخچه طولانی کشت انار در ایران، تنوع مورفولوژیک بسیار بالایی در داخل ارقام و ژنوتیپ‌های موجود در کشور مشاهده می‌شود، ولی مستندات قوی مبتنی بر تفاوت بین این نمونه‌ها وجود ندارد.

هدف از این مطالعه، ارزیابی دقیق ویژگی‌ها و معرفی ژنوتیپ‌های امیدبخش انار از طریق تجزیه و تحلیل صفات مورفولوژیک است. با توجه به تنوع ژنتیکی موجود در کلکسیون انار کشور و مطالعات قبلی انجام‌شده در آن و نیز اهمیت اقتصادی- تغذیه‌ای این محصول، بررسی و ارزیابی صفات مختلف در ژنوتیپ‌های امیدبخش می‌تواند منجر به شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با خصوصیات مطلوب کشاورزی و باغبانی شود. این مطالعه به‌دنبال فراهم کردن اطلاعات پایه‌ای و کاربردی جهت بهبود برنامه‌های اصلاحی، افزایش بهره‌وری تولید انار و معرفی ارقام جدید در آینده انجام‌شده است.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تنوع کلکسیون انار در کشور، تعداد ۳۰ ژنوتیپ امیدبخش موجود در کلکسیون انار استان یزد و اصفهان براساس مطالعات قبلی انجام‌شده (Farsi *et al.*, 2023) انتخاب گردید (جدول ۱) و خصوصیات مورفولوژیک و پومولوژیک آنها طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ مورد ارزیابی قرار گرفت.

**جدول ۱.** اطلاعات ژنوتیپ‌های انار مورد بررسی

Pomegranate, multivariate analyses, genetic diversity, functional traits. Information of the studied pomegranate genotypes

| شماره No. | کد ژنوتیپ Genotype Code. | نام ژنوتیپ Genotype Name. | شماره No. | کد ژنوتیپ Genotype Code. | نام ژنوتیپ Genotype Name. |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | 3-119 | Robab-malas-Kazeron<br>رباب ملس کازرون | ۱۶ | 9-141 | Siahnar-Behshahr<br>سیاهنار بهشهر |
| ۲ | 3-215 | Bihasteh-Jahrom<br>بی هسته جهرم | ۱۷ | 9-165 | Babolsar<br>بابلسر |
| ۳ | 3-229 | Sabz-Ghasrdasht<br>سبز قصرالدشت | ۱۸ | 9-166 | Ghermez-Gorgan<br>قرمز گرگان |
| ۴ | 3-255 | Tashtoo-Estahban<br>تشتو استهبان | ۱۹ | 11-224 | Yek-Kiluei<br>یک کیلویی |
| ۵ | 3-271 | Esfahani-malas<br>اصفهانی ملس | ۲۰ | 11-334 | Eikhosh-Lariz-sistan<br>ایخوش لاریز سیستان |
| ۶ | 3-287 | Oud-Neiriz<br>عود نیریز | ۲۱ | 12-139 | Toughi-Varamin<br>طوقی ورامین |
| ۷ | 3-297 | Robab-Torsh<br>رباب ترش | ۲۲ | 12-160 | Vahshi-Kan<br>وحشی کن |
| ۸ | 3-301 | Gelobarike-Isfahan<br>گلوباریک اصفهان | ۲۳ | 12-170 | Shahpar-Pishva<br>شهپر پیشوا |
| ۹ | 3-319 | Khajei-Ghasrdasht<br>خاجه ای قصردشت | ۲۴ | 12-181 | Shahpar-Varamin<br>شهپر ورامین |
| ۱۰ | 3-320 | Shahvar-Ghsrdasht<br>شهوار قصرالدشت | ۲۵ | 14-110 | Garch-Shahvar<br>قرچ شهوار |
| ۱۱ | 3-323 | Robab-malas-Fars<br>رباب ملس فارس | ۲۶ | 14-121 | Shirin-Shahvar<br>شیرین شهوار |
| ۱۲ | 3-333 | Asali-Sarvestan<br>عسلی سروستان | ۲۷ | 14-125 | Malas-Yazdi<br>ملس یزدی |
| ۱۳ | 3-339 | Farugh-Neiriz<br>فروغ نی ریز | ۲۸ | 14-144 | Aban-Mahi<br>آبان ماهی |
| ۱۴ | 5-190 | Sorkh-Torsh-Shahreza<br>سرخ ترش شهررضا | ۲۹ | 14-233 | Abarnadabad<br>آبرنادآباد |
| ۱۵ | 5-248 | Ardestani-Ghermez<br>اردستانی قرمز | ۳۰ | 14-342 | Tablarz-Yazd<br>تب لرز یزد |

در این پـژوهش، تعـداد ۳۸ صـفت مورفولوژیـک مـورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که شامل صفات رویشی، زایشی، پومولوژیک و برخی از ویژگی‌هـای عملکـردی بـود. صـفات مورد ارزیابی در این تحقیق کیفی بوده و در ابتـدا بـه‌منظـور انجام هرگونه آنالیز، داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده براساس دستورالعمل ملی آزمون‌های تمایز، یکنواختی و پایداری انار به امتیازهای کمی تبدیل شدند. صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده به‌صورت زیر دسته بندی شدند: ۱–صفات رویشی: شکل نوک برگ، حاشیه برگ، نسبت طول به عرض برگ، نسبـت طول دمبرگ به رگبرگ اصلی، بریدگی میـانی بـرگ، وجـود غده جانبی برگ، شکل تاج و قدرت رشـدی درخـت، میـزان پاجوش، میزان خار بر روی شاخه چوبی بـالغ، سـطح شـاخه چوبی و میزان آنتوسیانین در شاخه سال جـاری؛ ۲– صـفات زایشی: اندازه گل مثمـر، قطـر جـام، رنـگ گلبـرگ، درصـد گل‌های مثمر، عادت گل‌دهی، محل تشکیل گل و موقعیـت گل؛ ۳– صفات پومولوژیک: اندازه و شـکل میـوه، ضـخامت پوست، طعم، رنگ پوست، شکل تحتانی، شکل پاشنه، شکل تاج، تقارن میوه، حساسیت پوست میوه به آفتـاب‌سـوختگی و ترکیدگی، زمان رسیدن میوه، رنگ پیه، رنگ حبـه، انـدازه و رنـگ دانـه و ۴– ارزیـابی برخـی از صـفات فیزیولوژیـک و عملکردی میوه: تعداد میوه‌های درخت، وزن متوسط میـوه و عملکرد متوسط درخت (جدول ۲).

**جدول ۲.** لیست صفات اندازه‌گیری در پژوهش حاضر به‌همراه علائم اختصاری

**Table 2.** The list of measured attributes in the present study along with abbreviations

| Code. کد | Adjective. نام صفت | No. شماره | Code. کد | Adjective. نام صفت | No. شماره |
|---|---|---|---|---|---|
| FS | Fruit Size سایز میوه | ۲۰ | TCS | Tree Crown Shape شکل تاج درخت | ۱ |
| FST | Fruit Skin thickness ضخامت پوست میوه | ۲۱ | TGP | Tree Growth Power قدرت رشد درخت | ۲ |
| SAS | Stick Arils to Skin and Albedo نسبت آریل به پوست و آلبدو(مزوکارپ) | ۲۲ | SU | Sucker مکنده | ۳ |
| FSSB | Fruity Skin Sensitivity to Burst حساسیت پوست میوه به ترکیدن | ۲۳ | WSWB | Wood Surface of Wooden Branch سطح چوب شاخه چوبی | ۴ |
| FSSS | Fruit Skin Sensitivity to Sunburn حساسیت پوست میوه به آفتاب سوختگی | ۲۴ | TMB | Thorn in Mature wood Branch خار شاخه چوب | ۵ |
| FF | Fruit Flavor طعم میوه | ۲۵ | ABTY | Anthocyanin on Branch of This year آنتوسیانین در شاخه امسال | ۶ |
| FRT | Fruit Ripening Time زمان رسیدن میوه | ۲۶ | ICL | Intermediate Cuts of Leaves برش میانی برگ | ۷ |
| FSC | Fruit Skin Color رنگ پوست میوه | ۲۷ | LTS | Leaf Tip Shape شکل نوک برگ | ۸ |
| FRS | Fruit Shape شکل میوه | ۲۸ | LM | Leaf Margin حاشیه برگ | ۹ |
| FBS | Fruit Bottom Shape شکل پایین میوه | ۲۹ | PC | Petiole Color رنگ دمبرگ | ۱۰ |
| FCS | Fruit Crown Shape شکل تاج میوه | ۳۰ | LLG | Leaf Lateral Gland غده جانبی برگ | ۱۱ |
| FSY | Fruit symmetry تقارن میوه | ۳۱ | LWLR | Length-to-width Leaf Ratio نسبت طول به عرض برگ | ۱۲ |
| FHS | Fruit Heel Shape شکل پاشنه میوه | ۳۲ | PMVR | Petiole to Middle Vein Ratio نسبت دمبرگ به رگ میانی | ۱۳ |
| AC | Aril Color رنگ آریل | ۳۳ | FP | Flower Position موقعیت گل | ۱۴ |
| SS | Seed Size اندازه بذر | ۳۴ | FFS | Flower Formation Site محل تشکیل گل | ۱۵ |
| SC | Seed Color رنگ دانه | ۳۵ | DFH | Dominant Flowering Habit عادت غالب گلدهی | ۱۶ |
| NFT | Number of Fruits in Tree تعداد میوه در درخت | ۳۶ | FFP | Fruitful Flowers Percentage درصد گلهای مثمر | ۱۷ |
| FMW | Fruit Mean Weight (g) میانگین وزن میوه (گرم) | ۳۷ | FCD | Flower Cup Diameter قطر فنجان گل | ۱۸ |
| TMY | Tree Mean Yield (kg) میانگین عملکرد درخت (کیلوگرم) | ۳۸ | FRFS | Fruitful Flower Size اندازه گل مثمر | ۱۹ |

به‌منظور اندازه‌گیری صفات پومولوژیک، نمونه‌برداری میوه همزمان با رسیدن آن‌ها آغاز گردید و خصوصیات مورفولوژیک و صفات رشدی درخت برای هر یک از ارقام براساس مقالات موجود و توصیف نامه انار اندازه‌گیری شد. برای هر صفت پومولوژیک از هر ژنوتیپ حداقل هشت نمونه جهت مطالعه و اندازه‌گیری صفات به آزمایشگاه منتقل و برای هر صفت میانگین هشت نمونه در نظر گرفته شد. به‌منظور افزایش دقت در تجزیه و تحلیل اطلاعات مورفولوژیک، این طرح به‌صورت تکرار دار طی چهار سال انجام شد و در نهایت برای آنالیزهای آماری از میانگین داده‌ها استفاده گردید.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های مورد ارزیابی، از همبستگی اسپیرمن با استفاده از بسته "corrplot" در نرم‌افزار R استفاده شد. داده‌های مورفولوژیک و پومولوژیک با استفاده از تحلیل خوشه‌ای بر اساس فاصله اقلیدسی و روش وارد تحلیل شده و به‌صورت نقشه حرارتی نیز نمایش داده شدند. علاوه بر این، ساختار جمعیتی ژنوتیپ‌های انار مورد استفاده در این مطالعه از طریق الگوریتم خوشه‌بندی بیزی با استفاده از بسته "apcluster" در نرم‌افزار R ارزیابی شد. تعداد بهینه زیرجمعیت‌ها (K) با استفاده از معیار کالینسکی-هاراباش (CHC) برای خوشه‌بندی K-means تعیین گردید.

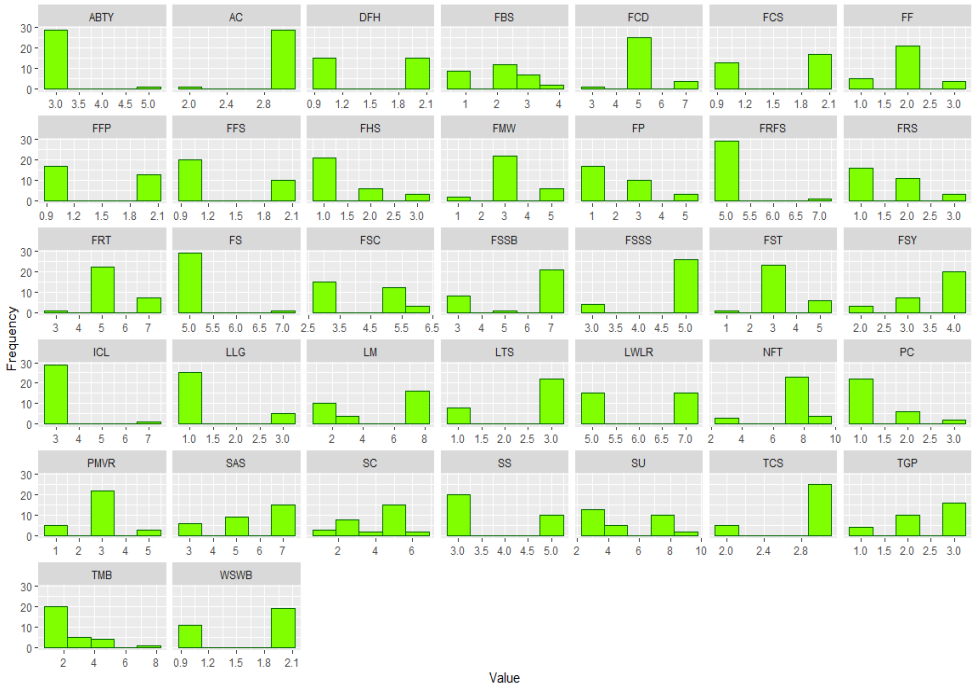
برای شناسایی صفاتی که بیشترین تغییرپذیری را در گروهی از ژنوتیپ‌ها ایجاد می‌کنند، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی تمام متغیرها به‌طور همزمان انجام شد. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار R انجام شدند.

## نتایج و بحث

نتایج بررسی تنوع صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌کمک نمودارهای فراوانی نشان داد که تنوع مطلوبی بین ۳۰ ژنوتیپ مورد بررسی انار وجود دارد. بسیاری از صفات مهم اقتصادی مانند طعم میوه (FF)، وزن میوه (FMW) و زمان رسیدگی میوه (FRT)، دارای ژنوتیپ‌های با دو حد آستانه‌ای بودند (شکل ۱) که می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی و یا طرح‌های تلاقی جهت دستیابی به ژنوتیپ‌های برتر استفاده نمود. براساس توزیع فراوانی، تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات از جمله شکل تحتانی میوه (FBS)، شکل پاشنه میوه (FHS)، رنگ بذر (SC)، تعداد پاجوش (SU)، تعداد خار بر روی شاخه چوبی بالغ (TMB) و قدرت رشد درخت (TGP) مشاهده شد، ولی شاخصی از نظر صفات اندازه میوه (FS)، رنگ آریل (AC) و اندازه گل مثمر (FRFS) بین ژنوتیپ‌ها وجود نداشت (شکل۱).

در مطالعات مختلف که برای بررسی تنوع ژرم پلاسم انار انجام‌شده است، تنوع بسیار زیادی در خصوصیات مورفولوژیک میوه و خصوصیات بیوشیمیایی آب میوه انار در میان ژنوتیپ‌های کشور ترکیه (Caliskan and Bayazit, 2013) و ایران (Akbarpour *et al*., 2009) و تنوع مورفولوژیک گسترده‌ای برای ژرم پلاسم انار در اردن (Awamleh *et al*., 2009) و مراکش (Haddioui, 2012) گزارش شده‌است. Karaptesi *et al*. (2021) نیز در مطالعه ۲۶ ژنوتیپ انار از کلکسیون مصر گزارش کردند که ژنوتیپ‌ها از نظر وزن میوه از تنوع مطلوبی برخوردار بودند. Welkan *et al*. (2015) با بررسی ۱۷ رقم انار از منطقه بتلیس تنوع قابل توجهی در وزن میوه، طول میوه و عرض میوه گزارش نمودند. صفات مورفولوژیک ۱۱۷ ژنوتیپ انار در استان یزد نشان داد که شکل پایین میوه و شکل میوه بر اساس شاخص شانون از تنوع بالایی برخوردار است (Zahravi and Vazifeshenas, 2017). با مطالعه ۲۱ صفت میوه از ۱۸ ژنوتیپ انار در جنوب جالیسکو دریافتند که اندازه و وزن میوه مهم‌ترین متغیرها هستند.

Tapia Campus *et al*. (2021) در بررسی صفات تنوع پومولوژیک و شیمیایی ۴۹ نمونه انار از کشورهای اروپای جنوبی نیز تنوع بالایی در صفات مورد مطالعه از جمله وزن میوه و صد دانه، ضخامت و رنگ پوست میوه مشاهده شد (Bartual *et al*., 2022). هشت صفت مورفولوژیک و پومولوژیک حائز اهمیت برای پرورش انار در ۹۴ نمونه از ژرم پلاسم انار اسپانیا مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که صفات زمان رسیدن میوه، رنگ پوست میوه و سختی دانه از تنوع بالایی بین نمونه‌ها برخوردار بودند (Zuriaga *et al*., 2024).

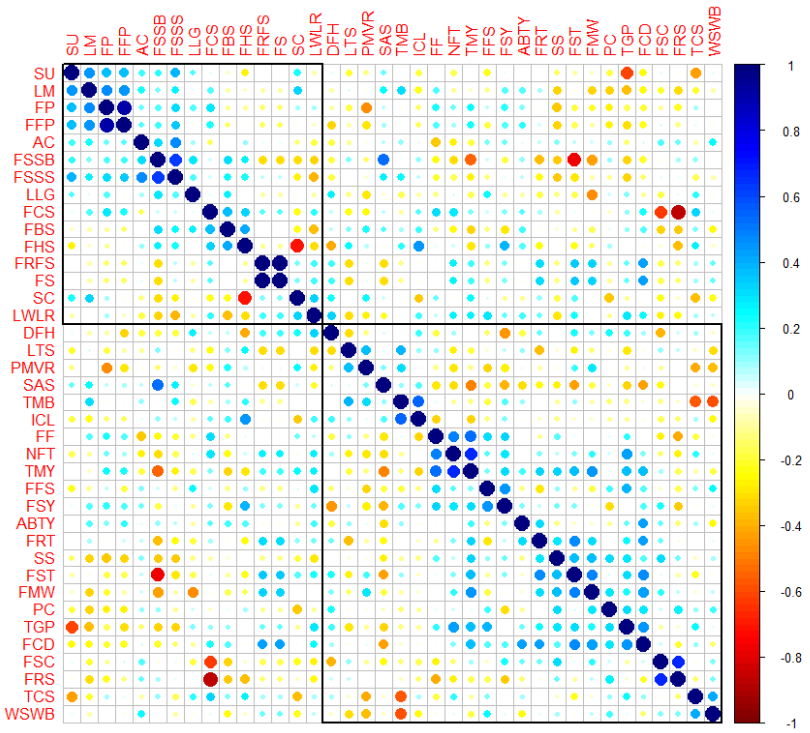



**شکل ۱.** فراوانی صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف کلکسیون انار

**Figure 1.** Frequency of traits measured in different genotypes of pomegranate collection

نتایج تجزیه همبستگی ساده صفات وجود همبستگی‌های منفی و مثبت معنی‌دار بین برخی صفات مهم را نشان داد. از جمله اندازه میوه (FS) با اندازه گل مثمر (FRFS) همبستگی بالا و معنی‌داری با همدیگر داشتند (شکل ۲). با مطالعه همبستگی بین ۲۸ صفت کمی و کیفی میوه ۲۴ ژنوتیپ انار مشاهده کردند که صفات مورد بررسی دارای همبستگی معنی‌دار هستند که نشان دهنده تنوع و ارتباط بین صفات می‌باشد (Sarkhosh *et al*., 2005).

نتایج همبستگی صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های انار نشان داد که حساسیت پوست میوه به آفتاب‌سوختگی (FSSS) با حساسیت میوه به ترکیدگی (FSSB) همبستگی مثبت معنی‌داری داشتند که این امر نشان می‌دهد هرچه میزان حساسیت پوست میوه به آفتاب سوختگی بیشتر باشد، به همان میزان میوه دچار ترکیدگی خواهد شد که می‌تواند به این علت باشد که پوست آسیب دیده در اثر آفتاب، یکپارچگی چربی‌های سلولی، پروتئین‌ها و غشاء خود را از دست داده و در نتیجه دچار ترک‌خوردگی می‌گردد. دو عارضه آفتاب‌سوختگی و ترکیدگی پوست میوه انار از جمله مهم‌ترین مشکلات تولید انار در دنیا به‌خصوص در مناطق گرم و خشک است که کاشت آن را با محدودیت مواجه می‌کند. این دو عارضه فیزیولوژیک قبل از برداشت، کیفیت و قابلیت انبارداری میوه را به‌طور جدی کاهش می‌دهد. اثر تشدیدکننده آفتاب‌سوختگی بر ترکیدگی میوه در پژوهش‌های پیشین گزارش شده‌است که به‌دلیل خشکی پوست در میوه‌های آفتاب‌سوخته، ترک‌خوردن میوه نیز مشاهده می‌شوداز سوی دیگر، حساسیت پوست میوه به ترکیدگی رابطه منفی با ضخامت پوست میوه (FST) داشت (Yazici and Kaynak, 2009; Shakeri and Sadat akhavi, 2003; Hepaksoy *et al*., 2000) (شکل ۲). ارقام دارای میوه‌هایی با پوست ضخیم، احتمال ترکیدگی پوست در آنها کمتر خواهد بود. ارقامی مانند رباب ملس فارس، رباب ملس کازرون و خواجه قصر دشت دارای پوستی ضخیم‌تر از بقیه ارقام مورد مطالعه بوده و حساسیت آنها به ترکیدگی نیز پایین بود. در بررسی تنوع مورفولوژیک و پومولوژیک ۲۲۱ ژنوتیپ انار نیز چنین نتیجه‌ای را مشاهده کردند (Razi *et al*., 2021).




**شکل ۲.** تجزیه همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده کلکسیون انار

**Figure 2.** Correlation analysis between measured traits of pomegranate collection

صفت نسبت طول به عرض برگ (LWLR) رابطه منفی با حساسیت پوست میوه به آفتاب‌سوختگی و ترکیدگی داشت (شکل ۲) که بیانگر این موضوع است که هرچه سطح برگ بالاتر باشد، محافظت بیشتری از میوه‌ها در برابر تشعشعات خورشید فراهم می‌شود. بنابراین، در مناطقی که دارای میزان تابش بالای خورشید هستند، انتخاب ارقام با سطح برگ بیشتر می‌تواند به کاهش خسارت آفتاب‌سوختگی و ترکیدگی کمک کند.

میانگین محصول درخت (TMY) با تعداد میوه‌های موجود در درخت (NFT) همبستگی مثبت بالاتری نسبت به میانگین وزن میوه (FMW) نشان داد (شکل ۲). از این‌رو می‌توان چنین استنباط کرد که میزان عملکرد کلی درخت بیشتر از آنکه به وزن میوه‌ها وابسته باشد، تحت تأثیر تعداد میوه تولید شده روی درخت قرار می‌گیرد. با بررسی ۳۳ رقم انار نشان دادند که بین صفات تعداد میوه هر درخت، عملکرد هر درخت و عملکرد بهره‌وری همبستگی مثبت بالایی وجود دارد (Vani et al., 2012).

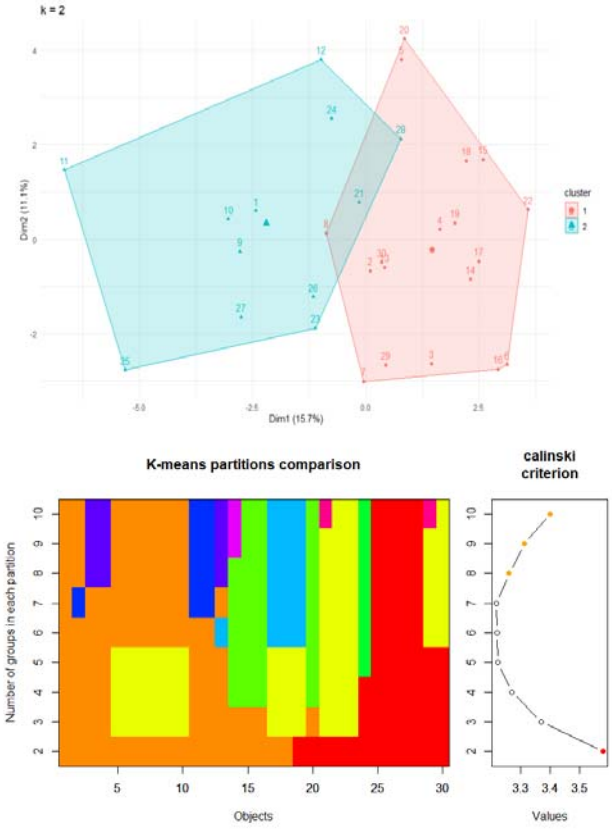
میانگین عملکرد درخت دارای ارتباط منفی با حساسیت پوست میوه به ترکیدگی بود. اثر منفی ترکیدگی پوست میوه انار بر عملکرد توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Chandra *et al.*, 2011). پدیده نامطلوب ترکیدگی پوست میوه می‌تواند تا ۶۵ درصد باعث کاهش عملکرد شود (Singh *et al.*, 2020) که این میزان در میان ارقام، متفاوت است. طیف وسیعی از تنوع (۶۲/۶–۱۸/۳ درصد) را در ترک‌خوردگی میوه در ارقام مختلف انار در منطقه خشک مشاهده کردند (Sing *et al.*, 2014).

اندازه گل بارور (FRFS) همبستگی مثبت با اندازه میوه (FS)، میانگین وزن میوه (FMW)، ضخامت پوست میوه (FST) و زمان رسیدن میوه (FRT) داشت (شکل ۲). رقم رباب ملس فارس دارای بزرگ‌ترین اندازه میوه بود که بزرگ‌ترین اندازه گل بارور نیز به همین رقم تعلق داشت. در واقع، هرچه اندازه گل بارور بزرگ‌تر باشد، در نتیجه تعداد تخمک موجود در آن افزایش یافته و نهایتاً میزان و کیفیت تشکیل میوه نیز بالا رفته و طبیعتاً با

افزایش تعداد حبه تشکیل‌شده، اندازه میوه نیز افزایش می‌یابد. درصد تشکیل میوه در گل‌های درشت بیش از ۹۵ درصد و در گل‌های کوچک کمتر از ۲۰ درصد بود و میانگین وزن میوه به‌طور معنی‌داری با افزایش اندازه گل، افزایش یافت که این امر مؤید همبستگی به‌دست آمده در این پژوهش می‌باشد (Wetzxtein *et al*., 2013). میوه درشت انار دارای بیش از ۱۰۰۰ حبه در هر میوه است که هر حبه حاصل بارور شدن مستقل یک تخمک بوده؛ بنابراین تولید میوه‌های درشت‌تر نیازمند بارور شدن هزاران تخمک است. به‌طور کلی، کیفیت گل نقش مهمی در تولید میوه ایفا می‌کند (wetzstein *et al*., 2011). از آنجا که وزن میوه یکی از مهم‌ترین معیارهای اقتصادی مهم در تولید صنعتی انار می‌باشد (Maestre *et al*., 2000)، می‌توان ارقام را در مرحله گل با استفاده از این موضوع انتخاب کرد.

ارتباط مثبتی بین قطر جام گل (FCD) با قدرت رشد درخت، اندازه گل مثمر، اندازه میوه، میانگین وزن میوه، میانگین عملکرد درخت، ضخامت پوست میوه و زمان رسیدن میوه داشت (شکل ۲). در پژوهش‌های مختلف بر روی محصولات مختلف از جمله زغال‌اخته (Johnson *et al*., 2011) و زیتون (Rosati *et al*., 2009) اثرگذاری و همبستگی میان اندازه گل یا تخمدان بر اندازه نهایی میوه گزارش شده‌است.

در تجزیه ساختار جمعیت براساس صفات مورفولوژیک و با استفاده از مدل بیزین و مقادیر معیار Calinski-Harabasz (CHC)، دو زیر جمعیت شناسایی گردید، به طوری‌که گروه اول شامل ۱۸ ژنوتیپ بود و بقیه ژنوتیپ‌ها در گروه دوم قرار گرفتند (شکل ۳). ارقام واقع در گروه دوم شامل ارقامی بود که دارای بالاترین میانگین عملکرد درخت و حساسیت پایین‌تر پوست میوه به ترکیدگی بود.

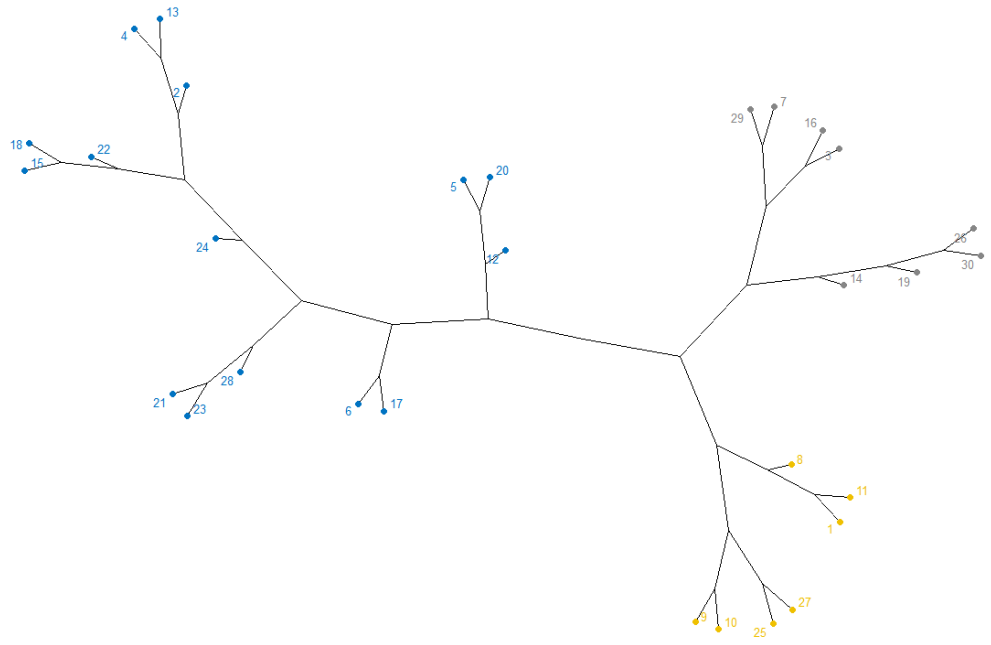



**شکل ۳.** گروه‌بندی ژنوتیپ‌های انار بر اساس صفات مورفولوژی مبتنی بر مدلBayesian

**Figure 3.** Grouping of pomegranate genotypes based on morphological traits based on the Bayesian model

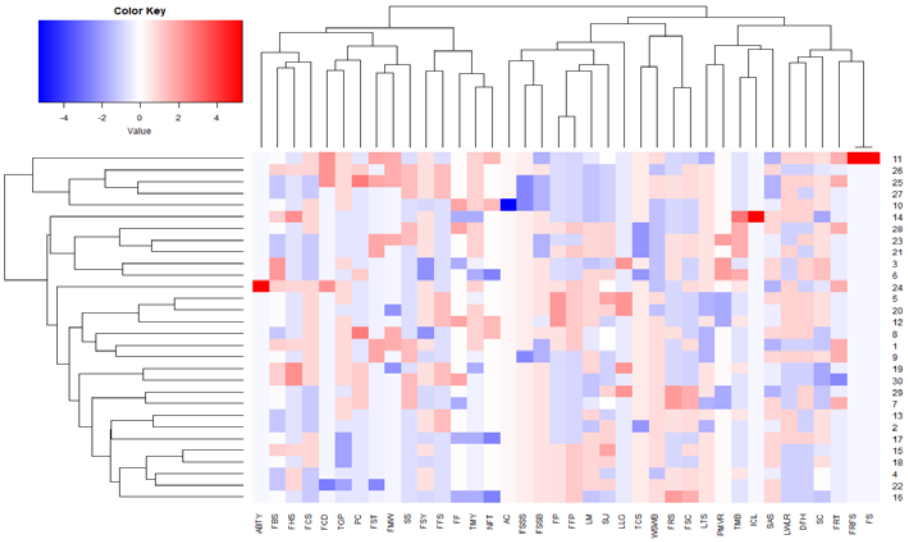
تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها براساس صفات اندازه‌گیری شده، ژنوتیپ‌ها را به سه گروه اصلی تقسیم کرد (شکل ۴). گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۲۵ و ۲۷ بود که دارای حساسیت پایین پوست میوه به ترکیدگی و آفتاب سوختگی بوده و میانگین وزن میوه، تعداد میوه در درخت و متوسط عملکرد درخت بالایی داشتند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۳، ۷، ۱۴، ۱۶، ۱۹، ۲۶، ۲۹ و ۳۰ بود. در گروه سوم ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۵، ۶، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۸ قرار گرفتند که دارای پاجوش فراوان و گل‌هایی با موقعیت جانبی و انتهایی یا فقط انتهایی بودند. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس صفات مختلف می‌تواند روش مفیدی در مشخص شدن رابطه ژنوتیپ‌ها و تعیین فاصله خویشاوندی آن‌ها باشد. با بررسی تنوع ژنتیکی ۴۴ ژنوتیپ انار با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس خصوصیات مورفولوژیک، ژنوتیپ‌ها در چهار گروه مختلف قرار گرفتند، اما تقسیم‌بندی مورفولوژیک نمونه‌ها با دسته‌بندی جغرافیایی آن‌ها تطابق چندانی نداشت که می‌تواند نشان دهنده عدم تأثیر شرایط محیطی بر صفات مورفولوژیک مورد بررسی یا انتقال ژنوتیپ‌ها از منطقه‌ای به منطقه دیگر باشد (Ghorbani *et al*., 2013). در مطالعه تنوع ۴۹ نمونه انار از کشورهای اروپای جنوبی گزارش کردند که نمونه‌ها براساس تجزیه خوشه‌ای در سه گروه تقسیم شدند (Bartual *et al*., 2022).

نقشه حرارتی ژنوتیپ‌ها براساس صفات نشان داد که صفات و ژنوتیپ‌ها در دو گروه اصلی قرار گرفتند و هر گروه به دو زیرگروه تقسیم شد (شکل ۵). در گروه اول، ژنوتیپ ۱۱ (Robab-malas-Fars با کد ۳-۳۲۳) از نظر اندازه میوه و اندازه گل مؤثر دارای اختلاف زیادی با دیگر ژنوتیپ‌ها بود و در یک گروه مجزا قرار گرفت و زیرگروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۱۰، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ بود که دارای کمترین حساسیت میوه به آفتاب‌سوختگی و ترکیدگی و بیشترین نسبت طول به عرض برگ بودند. همچنین، ژنوتیپ‌های واقع در این گروه میانگین عملکرد درخت بالایی داشتند. ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۱۴، ۲۱، ۲۳ و ۲۸ در اولین زیرگروه در گروه دوم قرار گرفتند که از نظر شکل تاج درخت (TCS)، فرم افراشته، سطح پوست شاخه چوبی (WSWB) صاف و میزان خار روی شاخه چوبی بالغ (TMB)، متوسط بودند (شکل ۵).




**شکل ۴.** تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های انار مورد ارزیابی بر اساس صفات مورفولوژیک و پومولوژیکی

**Figure 4.** Cluster analysis of evaluated pomegranate genotypes based on morphological and pomological traits




**شکل ۵.** نقشه حرارتی گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و صفات اندازه‌گیری شده انار

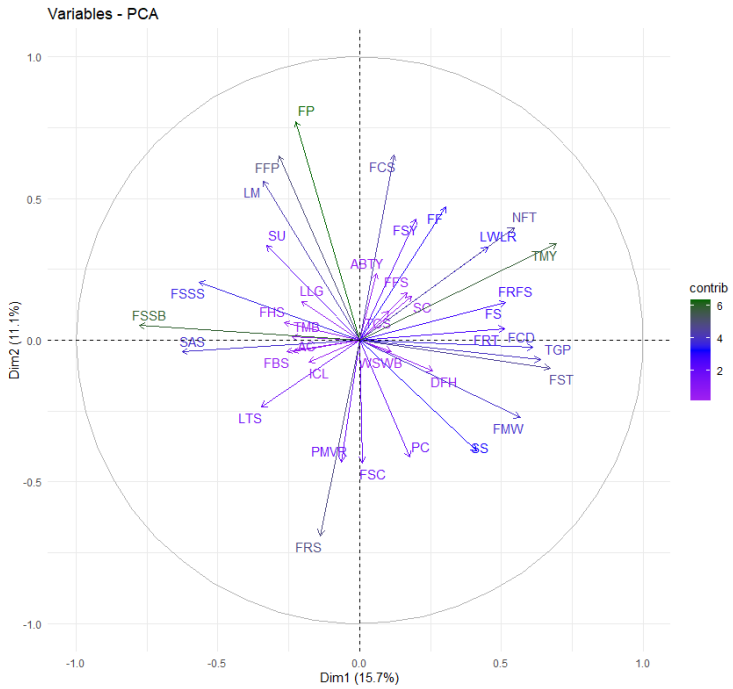
**Figure 5.** Heat map of the grouping of pomegranate genotypes and measured traits

از داده‌های حاصل از ارزیابی ۳۸ صفت اندازه‌گیری شده، برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج نشان داد که ۵۳ درصد از تنوع کل در بین ۳۰ ژنوتیپ انار توسط پنج جزء اصلی اول توضیح داده‌شده‌است. در مؤلفه اول که ۱۵/۷ درصد تغییرات را شرح داد، صفاتی نظیر حساسیت پوست میوه به ترکیدگی، میانگین عملکرد میوه و ضخامت پوست میوه از صفات مهم و کلیدی بودند. مؤلفه دوم، ۱۱/۱ درصد از تنوع بین ژنوتیپ‌ها را نشان داد و صفاتی که بیشترین تأثیر را در این مؤلفه داشتند عبارتند از موقعیت گل، شکل میوه، شکل تاج میوه و درصد گل‌های بارور (شکل ۶).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، امکان شناسایی صفاتی را که بیشترین تنوع را در یک گروه از ژنوتیپ‌ها داشتند، فراهم می‌سازد و کاربرد عملی در انتخاب ژنوتیپ‌های والدینی برای اهداف اصلاحی دارد (Ahmadizadeh and Falanji, 2011). با بررسی تنوع مورفولوژیک ۱۰۳ ژنوتیپ انار وحشی گزارش کردند که ۹۵/۴ درصد از واریانس توسط ده مؤلفه اول تبیین شد و وزن میوه و وزن کل حبه، وزن پوست و طول و قطر میوه در تعیین تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بودند (Ashrafi *et al*., 2023).

در بررسی تنوع ژنتیکی ژرم پلاسم انار کشور اسپانیا گزارش کردند که مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در PC اول به‌ترتیب وزن میوه، طول و قطر میوه و حبه بوده و در این عامل صفات مربوط به برگ و گل از اهمیت کمتری برخوردارند. ایشان نشان دادند که PC1 اساساً ژنوتیپ‌ها را براساس شکل و اندازه میوه و حبه جدا کرد (Martinez Nicholas *et al*., 2016).

در مطالعات دیگری نیز گزارش شده‌است که در PC1، وزن و شکل میوه از مهم‌ترین متغیرهایی هستند که ژنوتیپ های انار را از یکدیگر متمایز می‌کنند (Caliskan and Bayazit, 2013; Radunic *et al*., 2015). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ۷۸ توده انار لبنان با استفاده از ۳۸ صفت مورفولوژیک و شیمیایی نشان داد که سه عامل اول، ۴۱/۴۹ درصد از واریانس کل را تبیین کرده و نسبت قند / اسید، وزن و اندازه میوه مهم‌ترین صفات در تمایز توده‌های مورد مطالعه بود (Dandanchi *et al*., 2017). در پژوهش دیگری، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۲۵ صفت مورفولوژیک روی ۲۲۱ ژنوتیپ انار ایرانی، صفات را در هفت گروه اصلی طبقه بندی کرد که سه مؤلفه اصلی اول، حدود ۴۸/۵۸ درصد از واریانس تجمعی را تبیین کردند. از بین صفات مورد استفاده در آن مطالعه، رنگ پوست میوه، شکل میوه، موقعیت گل و درصد گل میوه به‌عنوان بهترین صفات برای تمایز ژنوتیپ‌های انار بیان شد (Razi *et al*., 2021).




**شکل ۶.** نمودار دو بعدی دو مؤلفه اصلی اول برای ۳۸ صفت مورد مطالعه بر روی ۳۰ ژنوتیپ تجاری انار

**Figure 6.** Two-dimensional diagram of the first two principal components for the 38 traits studied on 30 commercial pomegranate genotypes

## نتیجه‌گیری

در پـژوهش حاضـر، تنـوع ۳۸ ویژگـی مورفولوژیـک و پومولوژیک ۳۰ در ژنوتیپ امیدبخش انار از کلکسیون انـار کشور مورد بررسی قرار گرفت. در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌هایی که دارای حساسیت پـایینی بـه دو عارضه مهم حساسیت به آفتـاب‌سـوختگی و ترکیـدگی مشاهده شد که از این میان می‌توان به ارقام ربـاب ملـس فارس، گرچ شهوار، شهوار قصر دشت و ملس یزدی اشـاره کرد که برای کشت در مناطق گرم و خشک و اسـتفاده در برنامه‌های اصلاحی می‌توانند مورد توجه قـرار بگیرنـد. بـا توجه به نتایج به‌دسـت آمـده در ایـن پـژوهش و مقایسـه صفات مختلف، ارقـام از نظـر صـفات مهـم تأثیرگـذار در میزان بازار پسندی محصول همچون میـانگین وزن میـوه، شکل و طعم میوه از تنوع بالایی برخوردار بـوده و نتیجتـاً وجود این تنوع و نیز ویژگی‌هـای بـاغی برتـر، عـلاوه بـر امکان معرفی ژنوتیـپ‌هـای امیـدبخش جدیـد، در انجـام کارهای اصلاحی در آینده نیز بسیار مفید خواهد بـود و بـا اطمینان زیادی می‌توان این صفات شناسایی شده را جهت مطالعه ویژگی‌های ژنتیکی و پیشبرد برنامه‌های اصـلاحی ژرم پلاسم انار پیشنهاد نمود.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران بـه دلیل حمایت‌های مالی کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## REFERENCES

Ahmadizadeh, M., & Felenji, H. (2011). Evaluation diversity among potato cultivars using agro-morphological and yield components in fall cultivation of Jiroft area. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences,*11(5), 655-662.

Akbarpour, V., Hemmati, K., & Sharifani, M. (2009). Physical and chemical properties of pomegranate (*Punica granatum* L.). fruit in maturation stage. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences,* 6 (4), 411-416.

Al-Said, F.A., Opara, L.U., & Al-Yahyai, R.A. (2009). Physico-chemical and textural quality attributes of pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.). grown in the Sultanate of Oman. *Journal of Food Engineering*, 90, 129-134

Ashrafi, S. H., Bodaghi, H., & Rezaei, M. (2023). Morphological diversity of indigenous wildpomegranate (Punica granatum L. var. spinosa). accessionsfrom northeast of Iran. *Food Science & Nutrition*, 11, 1001-1012. https,//doi.org/10.1002/fsn3.3135

Awamleh, H., Hassawi, D., Migdadi, H., & Brake, M. (2009). Molecular characterization of pomegranate (*Punica granatum* L.). landraces grown in Jordan using amplified fragment length polymorphism markers. *Biotechnology*, 83, 316-322.

Bartual, J., Zuriaga, E., Koka, T., Navarro, M.J., Ortiz, M., & Badenes, M.L. (2022). Pomological and chemical diversity in a pomegranate (Punica granatum L.). germplasm collection from Southern European countries. Acta *Horticulturae*, 1349 (0567-7572), 1-7.

Caliskan, O., & Bayazit, O. (2013). Morpho-pomological and chemical diversity of pomegranate accessions grown in Eastern Mediterranean region of Turkey. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 15,1449-1460.

Chandra, R., Suroshe, S., Sharma, J., Marathe, R.A., & Meshram, D.T. (2011). Pomegranate growing manual. NRC on Pomegranate, Solapur. pp. 1-58.

Da Silva, J.A.T.; Rana, T.S.; Narzary, D., & Verma, N. (2013). Meshram, D.T.; Ranade, S.A. Pomegranate biology and biotechnology, A review. *Scientia Horticulturae,* 160, 85–107.

Dandachi, F., Hamadeh, B., Youssef, H., Chahine, H., & Chalak, L. (2017). Diversity assessment of the Lebanese germplasm of pomegranate (*Punica granatum* L.). by morphological and chemical traits. *Annals of Agricultural Science*, 62, 89-98.

Eiadthong, W., Nakatsubo, F., Utsunomiya, N., & Subahadrandhu, S. (2000). Studies on some Mangifera species. *Acta Horticulturae*, 509, 143-151.

Ehteshami, S., Sarikhani, H., & Ershadi, A. (2011). Effect of Kaolin and Gibberellic Acid Application on Some Qualitative Characteristics and Reducing the Sunburn in Pomegranate Fruits (*Punica granatum*). cv. 'Rabab Neiriz'. *Plant Production Technology*, 3, 15-24 (in Persian)

FAO (2022). FAOSTAT, https,//www.fao.org/faostat/en/#data.

Farsi, M., Kalantar, M., Zeinalabedini, M., & Vazifeshena, M.R. (2023). First assessment of Iranian pomegranate germplasm using targeted metabolites and morphological traits to develop the core collection and modeling of the current and future spatial distribution under climate change conditions. *PLoS ONE*, 18(2), e0265977.

Gharesheikhbayat, R. (2006). Anatomical study of fruit cracking in pomegranate cv. Malas-e-torsh. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 18 (69 in Agronomy & Horticulture), 10-14. (in Persian)

Ghorbani, T., Cheghamirza, K., & Arji, E. (2013). Evaluation of genetic diversity in pomegranate using morphological traits and molecular markers. *Agricultural Biotechnology Journal*, 5, 111-128. (in Persian)

Haddioui, A. (2012). La culture du grenadier (*Punica granatum* L.). au Maroc. In, Melgarejo, P., Valero, D. (Eds.), II International Symposium on the Pomegranate, vol. 103. CIHEAM/Universidad Miguel Hernández, Zaragoza, pp. 79-81.

Hepaksoy, S.; Aksoy, U.; Can, H.Z.; & Ui, M.A. (2000). Determination of relationship between fruit cracking and some physiological responses, leaf characteristics and nutritional status of some pomegranate varieties. Options Méditerranéennes, 87–92, Ege University, 35100 Bornova-Izmir, Turkey.

Holland, D., Hatib, K., & Bar-Ya'akov, I. (2009). Pomegranate, Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews*, 35, 127-191.

Johnson, L.K., Malladi, A. and NeSmith, D.S. (2011). Differences in cell number facilitate fruit size variation in rabbit eye blueberry genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural* Science, 136(1), pp.10-15.

Maestre, J., Melgarejo, P., Tomas-Barberan, F., & Garcia-Viguera, C. (2000). New food products derived from pomegranate. In, Production, processing and marketing of pomegranate in the mediter-ranean region, *Advances in research and technology*, 243-245.CIHEAM

Martinez-Nicolas, J.J., Melgarejo, P., Legua, P., Garcia-Sanchez, F., & Hernández, F. (2016). Genetic diversity of pomegranate germplasm collection from Spain determined by fruit, seed, leaf and flower characteristics. *PeerJ*, 4, p.e2214.

Mir M.M., Sofi, A.A., Singh, D.B., & Khan, F.U. (2007). Evaluation of pomegranate cultivars under temperate conditions of Kashmir Valley. *Indian Journal Horticulture*, 64, 150–154.

Mohammadi, S.A., & Prasanna, B.M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants-Salient statistical tools and considerations. *Crop Science*, 43, 1235-1248.

Radunić, M., Špika, M.J., Ban, S.G., Gadže, J., Díaz-Pérez, J.C., & MacLean, D. (2015). Physical and chemical properties of pomegranate fruit accessions from Croatia. *Food chemistry*, 177, 53-60.

Razi, S., Soleimani, A., Zeinalabedini, M., Vazifeshenas, M. R., Martínez-Gómez, P., Martínez-García, P. J., Mohsenzade Kermani, A., Raiszadeh, A. R., & Tayari, M. (2021). Development of a Multipurpose Core Collection of New Promising Iranian Pomegranate (*Punica granatum* L.). Genotypes Based on Morphological and Pomological Traits. *Horticulturae*, 7, 350.

Rosati, A., Zipančič, M., Caporali, S., & Padula, G. (2009). Fruit weight is related to ovary weight in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia horticulturae*, 122(3), 399-403.

Sarkhosh, A., Zamani, Z., Fatahi, R., Hassani, M., Wiedow, C., Buck, E., & Gardiner S. (2011). Genetic diversity of Iranian soft-seed pomegranate genotypes as revealed by fluorescent-AFLP markers. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17, 305-311.

Shakeri, M., & Sadat Akhavi, Y. (2003). Pests and Diseases of Pomegranate. Tasbih Publication.

Singh, A., Burman, U., Santra, P., & Morwal, B.R. (2014). Fruit cracking of pomegranate and its relationship with temperature and plant water status in hot arid region of India. *Journal of Agrometeorology*, 16 (Special Issue-I), 24-29.

Singh, A., Shukla, A.K., & Meghwal, P.R. (2020). Fruit cracking in pomegranate, extent, cause, and management–A Review. *International Journal of Fruit Science*, 20, S1234-S1253.

Tapia-Campos, E., Ramírez-Anaya, J.d.P., Cavazos-Garduño, A., Serrano-Niño, J.C., Fragoso-Jiménez, J.C., & Castañeda-Saucedo, M.C. (2021). Morphological Characterization of Southern Jalisco, Mexico, Pomegranate Genotypes Using AFLP Markers. *Agronomy*, 11, 1449.

Verma, N., & Mohanty, A. (2010). Lal, A. Pomegranate genetic resources and germplasm conservation, A review. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 4, 120–125.

Volkan O., Akca Y., Ercisli S., & Gozlekci, S. (2015). Genotype selection for physico-chemical fruit traits in pomegranate (*Punica granatum* L.). In Turkey. *Acta Science*, 14(2), 123-132.

Wani, I., Bhat, M.Y., Banday, F.A., Khan, I.A., Hassan, G.I., Lone, A., et al. (2012). Correlation studies of morphological and economic traits in pomegranate (*Punica granatum* L.). Plant Arch.;12, 943-946.

Wetzstein, H.Y., Yi, W., Porter, J.A., & Ravid, N. (2013). Flower position and size impact ovule number per flower, fruitset, and fruit size in pomegranate. *Journal of the American Society for Horticultural Science,* 159–166.

Wetzstein, H.Y., N. Ravid, E. Wilkins, & A.P. Martinelli. (2011). A morphological and histological characterization of bisexual and male flower types in pomegranate *Journal of the American Society for Horticultural Science,* 136, 83-92.

Yazici, K., & Kaynak, L. (2009). Effects of air temperature, relative humidity and solar radiation on fruit surface temperatures and sunburn damage in pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). *Acta Horticulturae*, 818, 181–186.

Zahravi, M., & Vazifeshenas, M.R. (2017). Study of genetic diversity in pomegranate germplasm of Yazd province of Iran. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 6, 20-35.

Zarkti, H., Ouabbou, H., Hilali, A., & Udupa, S.M. (2010). Detection of genetic diversity in Moroccan durum wheat accessions using agro-morphological traits and microsatellite markers. *African Journal of Agricultural Research*, 5(14), 1837-1844.

Zuriaga E., Pintová J., Bartual, J., & Badenes M.L. (2022). Characterization of the Spanish Pomegranate Germplasm Collection Maintained at the Agricultural Experiment Station of Elche to Identify Promising Breeding Materials. *Plants*, 11, 1257.