

Diversity of Color Parameters and Anthocyanin Content in the Petals of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Genotypes of Khuzestan, Iran

F. Mohsen Nasab¹, M. Heidari² , M. Shamili¹

¹Department of Horticultural Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

²Department of Horticultural Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

Received: 01 May 2026

Accepted: 14 Aug 2026

Published: 11 Oct 2026

Corresponding

Author:

Mokhtar Heidari

Email:

mkheidari@asnrkh.ac.ir

Keywords:

Pomegranate,
Flower,
Phenolics,
Flavonoids,
Quality, Natural
colorant

Citation:

Mohsen Nasab, F.,
Heidari, M., &
Shamili, M. (2026).
Diversity of Color
Parameters and
Anthocyanin
Content in the
Petals of
Pomegranate
(*Punica granatum*
L.) Genotypes of
Khuzestan, Iran
. *Journal of
Research in Plant
Metabolites*, 3(4),
79-92.

Doi:10.22034/jrpsm
.2026.580102.1111

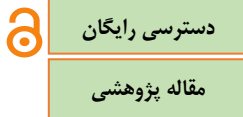
Extended Abstract

Background and Objectives: Pomegranate (*Punica granatum* L.) is valued for its high nutritional and bioactive compounds, including phenolics, flavonoids, and anthocyanins. While most studies have focused on the fruit, peel, and arils, little is known about the biochemical composition of pomegranate petals. In traditional medicine, pomegranate flowers are used to treat conditions such as diabetes, inflammation, and aphthous stomatitis. Anthocyanins, as key natural pigments, not only attract pollinators but also represent a healthy alternative to synthetic colorants in the food and pharmaceutical industries. Given the high genetic diversity of pomegranates in the Baghmalek region of Khuzestan and the lack of data on petal composition, this study aimed to evaluate color indices and anthocyanin content in the petals of 24 pomegranate genotypes. The findings may support the use of petals as a natural color source and inform breeding programs for improved visual and nutritional quality.

Material and Methods: This study was conducted on 24 pomegranate genotypes in the Baghmalek region, Khuzestan Province. Flower samples were collected at full bloom stage from the second week of April to the first week of May 2023. Healthy hermaphrodite flowers were harvested from four directions of marked trees and immediately transferred to the laboratory. After drying at ambient temperature, total anthocyanins were extracted using acidified ethanol (HCl:ethanol, 15:85), and absorbance was measured at 535 nm. Color indices—including color intensity (CI), pure red color index (dA), hue, total color density (TCD), and the proportions of yellow, red, and blue colors—were calculated based on absorbance at 420, 520, and 620 nm. Data were analyzed using Excel, Minitab 16, and SAS 9.4. Mean comparisons were performed using Duncan's test at a 0.05 probability level. To classify genotypes based on color traits, hierarchical cluster analysis using Ward's method was applied via Past software (v4.03).

Results: Significant differences were observed among genotypes in color indices and anthocyanin content. The highest yellow index (18.94 AU₄₂₀) was recorded in genotype 24, while the highest red index (16.8 AU₅₂₀) was found in genotypes 14 ('Sabz Shirin Alafi') and 18 ('Qermez Daneh Robi'). Total anthocyanin content (based on cyanidin-3-glucoside) was also highest in genotypes 24 ('Dane Siah Robi -Alafi') and 14 ('Sabz Shirin Alafi') (17.92 and 16.77 mg/L, respectively). Cluster analysis divided the genotypes into three distinct groups: Group I with moderate color and balanced yellow/red pigments, Group II with light color and dominant yellow/orange pigments, and Group III with dark color and high red/purple pigment and anthocyanin content. Genotypes 14 ('Sabz Shirin Alafi'), 18 ('Qermez Daneh Robi'), and 24 ('Dane Siah Robi -Alafi') fell into Group III and were identified as superior in terms of natural color potential and nutritional value. An inverse relationship was observed between absorbance at 520 nm and absorbances at 420 and 620 nm, suggesting the conversion of monomeric to polymeric anthocyanins and enhanced color stability.

Conclusion: This study revealed considerable diversity in color indices and anthocyanin content among pomegranate petals from the Baghmalek region. Genotypes with dark-colored petals and high anthocyanin levels—particularly 14, 18, and 24 ('Sabz Shirin Alafi', 'Qermez Daneh Robi' and 'Dane Siah Robi -Alafi')—show strong potential as natural colorant sources for food and pharmaceutical applications. These genotypes may also be valuable in breeding programs aimed at enhancing visual and nutritional quality. Further studies are recommended to identify specific anthocyanin types in petals and to correlate color indices with other biochemical parameters.



تنوع شاخص‌های رنگی و محتوای آنتوسیانین در گلبرگ ژنوتیپ‌های انار (*Punica granatum* L.) خوزستان

فاطمه محسن نسب^۱، مختار حیدری^{۲*}، منصوره شمیلی^۱

^۱ گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران.
^۲ گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، خوزستان، ایران.

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۱

چکیده

نویسنده مسئول:

مختار حیدری

ایمیل:

mkheidari@asnrukh.a
c.ir

سابقه و هدف: انار به دلیل دارا بودن ترکیبات زیست فعال از جمله فنول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها، از اهمیت غذایی و دارویی بالایی برخوردار است. اگرچه مطالعات بسیاری بر روی میوه، پوست و آریل‌های انار متمرکز شده‌اند، اما تحقیقات محدودی در مورد ترکیبات بیوشیمیایی گلبرگ‌های انار انجام شده است. گل انار در طب سنتی برای درمان بیماری‌هایی مانند دیابت، التهاب و استوماتیت آفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنتوسیانین‌ها به عنوان مهم‌ترین رنگدانه‌های طبیعی، نه تنها در جذب گرده‌افشان‌ها نقش دارند، بلکه به عنوان جایگزین سالم برای رنگ‌های مصنوعی در صنایع غذایی و دارویی مطرح هستند. با توجه به کمبود اطلاعات در مورد ترکیبات بیوشیمیایی گلبرگ‌های انار در ایران، این پژوهش باهدف بررسی شاخص‌های رنگی و محتوای آنتوسیانین در گلبرگ ۲۴ ژنوتیپ انار منطقه باغملک (استان خوزستان) انجام شد تا پتانسیل استفاده از گلبرگ‌ها به عنوان منبع رنگ طبیعی و همچنین کاربرد در برنامه‌های بهنجاری ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش بر روی ۲۴ ژنوتیپ انار بومی منطقه باغملک استان خوزستان انجام شد. نمونه برداری گل‌ها در مرحله باز شدن کامل از هفته دوم فروردین تا هفته اول اردیبهشت ۱۴۰۳ از درختان علامت‌گذاری شده انجام گرفت. گل‌های هرامفروdit سالم از چهار جهت درخت برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از خشک شدن گلبرگ‌ها در دمای محیط، آنتوسیانین کل با استفاده از اتانول اسیدی استخراج و جذب در طول موج ۵۳۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. شاخص‌های رنگی شامل شدت رنگ (CI)، شاخص رنگ قرمز خالص (dA)، فام (Hue)، شدت رنگ کل (TCD) و نسبت رنگ‌های زرد، قرمز و آبی با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۶۲۰ نانومتر محاسبه گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، Minitab و SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام گرفت. برای دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های رنگی، از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارد و نرم‌افزار Past استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌های تحقیق نشان داد که میان ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های رنگی و محتوای آنتوسیانین تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیشترین شاخص رنگ زرد (۱۸/۹۴) در ژنوتیپ دانه سیاه ربی و بیشترین شاخص رنگ قرمز (۱۶/۸) در ژنوتیپ‌های سبز شیرین علفی و قرمز دانه ربی مشاهده شد. بالاترین میزان آنتوسیانین کل بر اساس سیانیدین-۳-گلوکوزید نیز در ژنوتیپ‌های دانه سیاه ربی و سبز شیرین علفی به ترتیب با مقادیر ۱۷/۹۲ و ۱۶/۷۷ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. بر اساس تحلیل خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها به سه گروه اصلی تقسیم شدند: گروه اول با رنگ متوسط و تعادل بین رنگدانه‌های زرد و قرمز، گروه دوم با رنگ روشن و غلبه رنگدانه‌های زرد/نارنجی، و گروه سوم با رنگ تیره و غلبه رنگدانه‌های قرمز/بنفش و محتوای آنتوسیانین بالا. ژنوتیپ‌های سبز شیرین علفی، قرمز دانه ربی و دانه سیاه ربی- علفی در گروه سوم قرار گرفتند و به عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پتانسیل تولید رنگ طبیعی شناسایی شدند. همچنین، رابطه معکوس بین جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر و جذب در طول موج‌های ۴۲۰ و ۶۲۰ نانومتر نشان‌دهنده تبدیل آنتوسیانین‌های مونومری به پلی‌مری و افزایش پایداری رنگ بود.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد که گلبرگ‌های انار منطقه باغملک از تنوع قابل توجهی در شاخص‌های رنگی و محتوای آنتوسیانین برخوردارند. ژنوتیپ‌های با رنگ تیره و محتوای آنتوسیانین بالا (به ویژه ژنوتیپ‌های سبز شیرین علفی، قرمز دانه ربی و دانه سیاه ربی- علفی) پتانسیل بالایی برای استفاده به عنوان منبع رنگ طبیعی در صنایع غذایی و دارویی دارند. همچنین، این ژنوتیپ‌ها می‌توانند در برنامه‌های بهنجاری انار باهدف بهبود کیفیت ظاهری و ارزش تغذیه‌ای مورد استفاده قرار گیرند. برای بهره‌برداری کامل از این پتانسیل، انجام مطالعات بیشتر در زمینه شناسایی انواع آنتوسیانین‌های موجود در گلبرگ‌ها و بررسی ارتباط آن‌ها با پارامترهای بیوشیمیایی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انار، گل، فنول‌ها، فلاونوئیدها، کیفیت، رنگ طبیعی

نحوه استناد:

محسن نسب، ف.، حیدری، م.، شمیلی، م. (۱۴۰۵) تنوع شاخص‌های رنگی و محتوای آنتوسیانین در گلبرگ ژنوتیپ‌های انار (*Punica granatum* L.) خوزستان. مجله پژوهش در متابولیت‌های گیاهی، دوره ۴، شماره ۳، صفحات: ۷۹-۹۲.

Doi: 10.22034/jrpsm.2026.580102.1111

مقدمه

غیرزنده (مانند آسیب نور ماوراءبنفش و سرما) را نشان می‌دهد (Borochoy-Neori *et al.*, 2011; Mattioli, 2020). انار (*Punica granatum* L.) میوه‌ای با ارزش غذایی بالا و خواص سلامت بخش است که توجه فراوانی را از جنبه‌های تغذیه و دارویی به خود جلب کرده است. این اثرات سودمند به دلیل وجود ترکیبات زیست فعال، به‌ویژه مشتقات فنول‌ها مانند تانن‌های قابل هیدرولیز، فلاونوئیدها، کاتچین‌ها و اسید الایک، در بخش‌های مختلف میوه است (Mirjalili, 2016; Bhatt *et al.*, 2025). اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد رادیکال آزاد، اثرات و ضد مالاریایی ترکیبات زیست فعال انار مورد تأیید قرار گرفته است (Abdu *et al.*, 2020; Reddy *et al.*, 2007). علاوه بر میوه، سایر قسمت‌های گیاه انار نیز دارای ترکیبات زیست فعال هستند. انار دارای سه نوع گل هرمافروdit، حد واسط و گل نر می‌باشد. گل انار دارای ۵ تا ۸ گلبرگ است.

تعداد گلبرگ‌ها معمولاً برابر با تعداد کاسبرگ‌ها است. گلبرگ‌ها که با کاسبرگ‌ها متناوب هستند، جدا از هم بوده و بسته به رقم، رنگ صورتی-نارنجی تا نارنجی-قرمز دارند (Tyagi and Tiwari, 2020). گل انار برای درمان اسهال مزمن و آفت دهان (استوماتیت آفتی^۲) استفاده می‌شود. در طب یونانی (أنانی)، آیورودا و همچنین در برخی مناطق کشور چین، گل انار به‌طور گسترده‌ای برای درمان دیابت مورد استفاده قرار گرفته است.

همچنین گزارش‌ها حاکی از اثرات ضدالتهابی و کنترل‌کننده تکثیر غیرطبیعی سلول‌ها، در گل‌های انار است (Xu *et al.*, 2017). Aslani *et al.*, 2016; Kam *et al.*, 2013; Bekir *et al.*, 2013; Ali and Sharma, 2006). اثرات سودمند گل انار به ترکیبات فعلی آن، به‌خصوص آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و تانن‌ها، نسبت داده شده است. آنتوسیانین‌ها مهم‌ترین عامل ایجادکننده رنگ در گل‌های انار می‌باشند (Zhang *et al.*, 2011). علاوه بر وجود ۱۸ نوع الاجیتاین^۴ و ۱۴ نوع گالیک اسید^۵ و مشتقات گالویل، وجود پنج نوع آنتوسیانین در گل‌های انار گزارش شده است (Yisimayili *et al.*, 2019). اگرچه در مورد آنتوسیانین در آریل‌های انار (Sharifi *et al.*, Heidari and Dehghani Nezhad, 2024) پوست میوه (Abdu *et al.*, 2020; Bhatt *et al.*, 2025) و گل انار (Ali and Sharma, 2006; Xu *et al.*, 2017) و امکان استفاده از پوست انار برای تهیه رنگ طبیعی (Bhatt *et al.*, 2017) و انتشار گردیده است؛ ولی در مورد آنتوسیانین گلبرگ‌های انار، اطلاعات چندانی در دسترس نیست.

ترکیبات فنولی گروهی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که دارای تنوع زیادی هستند و از ترکیبات فنولی ساده مانند اسیدهای فنولی تا ساختارهای پیچیده مانند پروآنتوسیانیدین‌ها را شامل می‌شوند و شامل اسیدهای فنولی، فلاونوئیدها، و تانن‌ها می‌باشد (Babincev *et al.*, 2016). فلاونوئیدها به همراه کاروتنوئیدها، بتالاین‌ها و کلروفیل‌ها، چهار گروه رنگدانه‌های اصلی در گیاهان عالی هستند و تقریباً در تمام اندام‌های گیاهی از جمله گل‌ها، میوه‌ها، دانه‌ها، ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها وجود دارند. این رنگدانه‌ها در رشد، تکثیر و بقای گیاهان نقش مهمی ایفا می‌کنند. به‌طور خاص، رنگ گل‌ها و میوه‌ها به جذب گرده‌افشان‌ها و پراکنش بذر کمک می‌کند و برای تولیدمثل گیاه در شرایط طبیعی اهمیت حیاتی دارد (Tasaki *et al.*, 2019). رنگدانه‌های آنتوسیانین، گروهی از فلاونوئیدها هستند که در اندام‌های زایشی مانند میوه و گل و همچنین در اندام‌های رویشی گیاهان وجود دارند و رنگ‌های متنوع قرمز، بنفش و آبی ایجاد می‌کنند. گلبرگ‌ها یکی از مهم‌ترین قسمت‌های گل‌ها هستند که دارای ترکیبات آنتوسیانینی هستند و تغییر رنگ گلبرگ‌ها طی دوره نمو گل ناشی از سنتز آنتوسیانین‌ها و یا تغییر اسیدیته واکوئل سلول‌ها می‌باشد. تغییر غلظت آنتوسیانین‌ها شدت رنگ را تغییر می‌دهد ولی تغییر اسیدیته واکوئل موجب تغییر فام (هیو^۱) می‌شود (Mattioli, 2020). تغییرات در آنتوسیانین‌ها و ایجاد تنوع رنگ به‌طور عمده ناشی از تغییرات اسکلت آنتوسیانیدین در ترکیب با قندها و اسیدهای آروماتیک، و همچنین تعداد و موقعیت گروه‌های هیدروکسیل و متوکسیل متصل به مولکول پایه آنتوسیانیدین آگلیکون^۲ است. مطالعه مسیر بیوسنتز فلاونوئید در گیاهان عالی نشان داده است که ژن‌های مسئول بیوسنتز آگلیکون آنتوسیانیدین در میان گونه‌های گیاهی به شدت حفاظت شده هستند. باین‌حال، ژن‌های مسئول تغییرات بعدی پس از گلیکوزیلاسیون اولیه در موقعیت ۳-O، در بین گونه‌های گیاهی و اندام‌های گیاهی بسیار متنوع هستند. آنتوسیانین‌های تجمع یافته در اندام‌های مختلف یک‌گونه گیاهی متفاوت هستند ولی به‌طور ویژه، گل‌ها انواع مختلفی از آنتوسیانین‌ها را تولید می‌کنند. اگرچه نقش اصلی آنتوسیانین‌های موجود در گل‌ها یا اپیدرم میوه، جذب حیوانات و حشرات گرده‌افشان برای تسهیل انتشار و پراکنده شدن یا دانه گرده یا بذرها است (Tasaki *et al.*, 2019)؛ ولی گزارش شده سنتز آنتوسیانین‌ها در طول شرایط نامطلوب تغییر می‌یابد که دخالت آن‌ها در تنش‌های زنده و

² . Anthocyanidin aglycone

³ . Apathous stomatitis

⁴ . Ellagitannins

⁵ . Gallic acid

¹ . Hue

• همه رنگ‌ها را می‌توان با سه عامل (هیو، اشباع و روشنایی) اندازه‌گیری کرد.

کرد. هیو، نشاندهنده نوع یا کیفیت رنگ است که فقط برای رنگ‌های کروماتیک (زنده) استفاده می‌شود (رنگ‌هایی غیر از سفید، خاکستری و سیاه)

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به منظور مقایسه میزان آنتوسیانین و شدت رنگ گلبرگ ۲۴ ژنوتیپ انار (*Punica granatum* L.) در سال ۱۴۰۴ در منطقه باغملک (۱۴۴ کیلومتری اهواز، شمال شرق استان خوزستان، ارتفاع ۹۱۷ متر از سطح دریا) انجام شد. جمع‌آوری نمونه‌ها از باغ‌های انار واقع در حاشیه شهر باغملک انجام شد.

به منظور اطمینان از تفاوت بین ژنوتیپ‌ها بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی میوه، در زمان برداشت میوه‌ها در شهریور و مهرماه ۱۴۰۳، علامت‌گذاری درختان هر ژنوتیپ انجام شد. جمع‌آوری گل‌ها از هفته دوم فروردین تا هفته اول اردیبهشت ۱۴۰۴ از درختان هر ژنوتیپ انجام شد. نمونه‌برداری، قبل از ساعت ۹ صبح، از چهار جهت درختان هر ژنوتیپ انجام شده و گل‌های هر مرفرودیت با شکل ظاهری طبیعی در مرحله گلدهی درست قبل از باز شدن کامل برداشت شده و در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند. بلافاصله پس از برداشت گل‌ها، پاکت‌ها با رعایت اصول جابجایی، به آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (۳۵ کیلومتری اهواز) منتقل گردیدند. اسامی رایج ژنوتیپ‌های انار بومی باغملک مورد استفاده در تحقیق در جدول یک آورده شده است.

در آزمایشگاه، گلبرگ‌های گل با دست جدا شده و به مدت ۴۸ ساعت روی کاغذ در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند تا خشک شوند. برای استخراج آنتوسیانین کل، نیم گرم بافت خشک گلبرگ با ۵۰ میلی‌لیتر اتانول اسیدی له شد. برای تهیه اتانول اسیدی، محلول اسیدکلریدریک رقیق‌شده (۱۲۲/۷ میلی‌لیتر اسید در لیتر) و اتانول خالص به نسبت ۸۵:۱۵ استفاده شد. محلول‌های اتانول اسیدی حاوی گلبرگ له‌شده در فالكون با پوشش آلومینیمی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. پس از آن، محلول‌ها از کاغذ صافی واتمن شماره ۴ گذرانیده شده و میزان جذب در طول موج ۵۳۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین کل (بر اساس سیانیدین-۳-گلوکوزید) بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (Santana *et al.*, 2020):

رابطه ۱: $A_{535} = \frac{A_{535} \times MV \times DF \times 100}{26900}$ (mg/l) = آنتوسیانین کل که در آن A_{535} = جذب در طول موج ۵۳۵ نانومتر، $MV = 449/2$ ، وزن مولکولی سیانیدین-۳-گلوکوزید، DF = ضریب رقیق‌سازی و عدد ۲۶۹۰۰، معادل ضریب خاموشی سیانیدین-۳-گلوکوزید است.

استفاده بیش از حد از رنگ‌های مصنوعی منجر به محدودیت‌های زیست‌محیطی قابل توجه و همچنین مخاطرات سلامتی از جمله سرطان‌زایی، آسیب به اندام‌ها و عوارض تهدیدکننده زندگی می‌شود. برای غلبه بر این موانع، یافتن جایگزین‌های رنگی طبیعی با فرآورده‌های استخراج پایدار ضروری است که انرژی، زمان و مصرف مواد شیمیایی را بهینه کرده و رنگدانه‌ای با جذب و بازدهی بالا فراهم می‌کند. مزایای استخراج رنگ طبیعی مقرون به صرفه بودن، تجدید پذیری، غیر سرطان‌زایی و عدم ایجاد واکنش آلرژیک است (Bhatt *et al.*, 2025). آنتوسیانین‌ها در تولید رنگ‌های خوراکی مانند نوشیدنی‌ها، مربا، قندهای مورد استفاده در تهیه شیرینی‌ها و فرآورده‌های تهیه‌شده از میوه‌ها (مانند سس‌ها) کاربرد دارند (Anderson and Francis, 2004). جمع‌آوری اطلاعات در مورد آنتوسیانین‌های انار امکان استفاده از این گلبرگ‌های انار به عنوان یک منبع آنتوسیانین و تولید رنگ با منشأ طبیعی در تهیه فرآورده‌های غذایی را فراهم می‌سازد.

سطح زیر کشت انار در ایران ۹۳،۳۵۱ هکتار و میزان تولید ۱،۳۵۰،۹۷۳ تن می‌باشد. استان‌های فارس، مرکزی و اصفهان (به ترتیب با سطح زیر کشت ۲۷۲۷۹، ۱۲۳۱۶ و ۸۰۰۰ هکتار) مهم‌ترین استان‌های کشور از نظر تولید انار هستند. انار با سطح زیر کشت ۱۸۵۳ هکتار و میزان تولید ۲۲،۱۳۶ تن، پس از خرما و مرکبات یکی از درختان میوه مهم در استان خوزستان است. منطقه باغملک یک از مهم‌ترین مناطق تولید انار در استان خوزستان می‌باشد. عمده تحقیقات انجام‌شده در مورد انار در این منطقه، بر مقایسه اثر زمان برداشت بر کیفیت پس از برداشت میوه یا پوشش دهی آریل متمرکز بوده است (Taheri *et al.*, 2020; Paimard *et al.*, 2014; Paimard and Heidari, 2018). با توجه به اهمیت رنگ‌دانه‌های طبیعی، تنوع ژنتیکی انار و کمبود اطلاعات در مورد گلبرگ‌های انار، این پژوهش باهدف مقایسه شاخص‌های رنگی و محتوای آنتوسیانین در گلبرگ ۲۴ ژنوتیپ انار منطقه باغملک (استان خوزستان) انجام شد. بررسی این شاخص‌ها در گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های مختلف انار، امکان ارزیابی پتانسیل استفاده از گلبرگ را به عنوان منبع رنگ طبیعی در صنایع غذایی و دارویی فراهم می‌کند. همچنین امکان استفاده از شاخص‌های رنگی و آنتوسیانین در برنامه‌های بهنژادی انار و توسعه فرآورده‌های طبیعی مبتنی بر گلبرگ انار مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های انار مورد مطالعه و مختصات جغرافیایی باغات نمونه‌برداری در منطقه باغملک، استان خوزستان

Table 1- Pomegranate genotypes studied and geographic coordinates of sampling orchards in the Baghmalek region, Khuzestan Province

Genotype No. شماره ژنوتیپ	Local Genotype Name نام محلی ژنوتیپ	Genotype No. شماره ژنوتیپ	Local Genotype Name نام محلی ژنوتیپ
1	Ghermez Pust Lakki (قرمز پوست لاک‌کی)	13	Sabz Shirin Shahri (سبز شیرین شهری)
2	Sabz Torsh (سبز ترش)	14	Sabz Shirin Alafi (سبز شیرین علفی)
3	Sabz Jofgi (سبز جفتی)	15	Daneh Siyah Rabi - Shahri (دانه سیاه ربی - شهری)
4	Sabz Pust Lakki (سبز پوست لاک‌کی)	16	Bi-Nam-A (بی‌نام-ا)
5	Sabz Alafi (سبز علفی)	17	Sabz Alafi Shahri (سبز علفی شهری)
6	Zard va Ghermez-1 (زرد و قرمز-۱)	18	Ghermez Daneh Rabi (قرمز دانه ربی)
7	Zard Anari (زرد اناری)	19	Sefid Do-Mazeh (سفید دو مزه)
8	Zard va Ghermez-2 (زرد و قرمز-۲)	20	Sefid va Shirin (سفید و شیرین)
9	Ghermez Shirin (قرمز شیرین)	21	Ghermez Shirin Shahri (قرمز شیرین شهری)
10	Bi-Nam-Z (بی‌نام-ز)	22	Ghermez Baghmalek (قرمز باغ‌ملک)
11	Bi-Nam-C (بی‌نام-ج)	23	Shesh Par Taj Miri (شش پر تاج میری)
12	Bi-Nam-X (بی‌نام-خ)	24	Daneh Siyah Rabi - Alafi (دانه سیاه ربی - علفی)

(منبع: یافته‌های تحقیق؛ Source: Research findings)

رابطه ۸: $K-K = \log(A_{420}) + \log(A_{520})$
شاخص روشنایی^۳ با تقسیم میزان جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر بر میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Glories, 1984):

رابطه ۹: $Tint\ value = (A_{420}/A_{520})$
شدت رنگ کل^۴ (TCD) با استفاده از میزان جذب در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر و بر اساس رابطه ۱۰ محاسبه شد (Valero et al., 2014):

$$TCD = [(A_{420} + A_{533}) - 2(A_{700})] \times DF \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

که در آن DF برابر با ضریب رقیق‌سازی است.
میزان کدورت^۵ بر اساس رابطه ۱۱ و تفریق میزان جذب در طول موج ۷۰۰ نانومتر (A_{700}) از جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر (A_{510}) محاسبه شد (Dussi et al., 1995):

$$Haze = (A_{510} \times DF) - (A_{700} \times DF) \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

میزان مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای و میزان آنتوسیانین با اندازه‌گیری میزان جذب به ترتیب در طول موج‌های ۵۱۰ و ۴۴۶ نانومتر اندازه‌گیری شد (Holcraft et al., 1998).

آنالیز آماری داده‌ها: داده‌های حاصل مربوط به ۲۴ ژنوتیپ انار در سه تکرار (هر تکرار شامل یک درخت) با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه مورد بررسی قرار گرفت. واکاوی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح

با اندازه‌گیری میزان جذب نور در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۶۲۰ نانومتر به ترتیب میزان مواد ایجادکننده رنگ‌های زرد (A_{420})، قرمز (A_{520}) (Valero et al., 2014) و آبی (A_{620}) محاسبه شد (Askini & Atkin, 2016).

شدت رنگ^۱ (CI) بر اساس مجموع میزان جذب در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۶۲۰ نانومتر (Poiana et al., 2007) و شاخص رنگ قرمز خالص (dA) به ترتیب بر اساس رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شدند (Glories, 1984):

$$CI = A_{420} + A_{520} + A_{620} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$dA(\%) = [A_{520} - (A_{420} + A_{620}/2)] \times (1/A_{520}) \times 100 \quad \text{رابطه ۳:}$$

نسبت هر یک از رنگ‌های زرد، قرمز و آبی به شدت رنگ بر اساس سه طول موج (به ترتیب A_{420}/A_{520} ، A_{520}/A_{620} و A_{620}/A_{420}) بر اساس روابط ۴ تا ۶ محاسبه گردیدند (Poiana et al., 2007):

$$A_{420} = (A_{420}/CI) \times 100 \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$A_{520} = (A_{520}/CI) \times 100 \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$A_{620} = (A_{620}/CI) \times 100 \quad \text{رابطه ۶:}$$

تراکم (چگالی) رنگ^۲ بر اساس دو طول موج (CI^*) بر اساس مجموع میزان جذب در طول موج‌های ۴۲۰ و ۵۲۰ نانومتر بر اساس رابطه ۷ انجام شد (Poiana et al., 2007):

$$CI^* = A_{420} + A_{520} \quad \text{رابطه ۷:}$$

شاخص رنگ K-K بر اساس مجموع لگاریتم جذب در ۴۲۰ نانومتر (A_{420}) و لگاریتم جذب در ۵۲۰ نانومتر (A_{520}) با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شد (Yildirim, 2006).

^۴. Total color density

^۵. Turbidity (Haze)

^۱. Color intensity

^۲. Color density

^۳. Tint value

شدت رنگ کل بود (به ترتیب ۱۰/۶، ۱۲/۵۸ و ۱۳/۲۷ درصد). بالا بودن ضریب تغییرات (CV) به عنوان معیاری از تغییرپذیری نسبی، در شاخص‌هایی فوق حساسیت این صفات به عوامل ژنتیکی و احتمالاً محیطی را نشان می‌دهد.

بیشترین شاخص رنگ زرد در گلبرگ‌های ژنوتیپ دانه سیاه ربی-علفی (ژنوتیپ ۲۴) وجود داشت (۱۸/۹۴) واحد جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر) که به طور معنی‌داری بیشتر از شاخص رنگ زرد در گلبرگ‌های سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۲). کمترین شاخص رنگ زرد در گلبرگ‌های ژنوتیپ قرمز پوست لاک (ژنوتیپ ۱) بود (۷/۶ AU₄₂₀) که با این شاخص در گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های سبز جفتی، زرد و قرمز -۱، بی‌نام -C و قرمز شیرین شهری (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۳، ۸، ۱۱ و ۲۱) تفاوت معنی‌داری نداشت (به ترتیب ۹/۳، ۹/۴۷، ۸/۳۷ و ۸/۹۴ AU₄₂₀) ولی به طور معنی‌داری کمتر از شاخص رنگ زرد آب‌میوه در سایر ژنوتیپ‌ها بود.

بیشترین میزان شاخص رنگ قرمز در گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های قرمز دانه ربی (ژنوتیپ ۱۸) و سبز شیرین علفی (ژنوتیپ ۱۴) بود (به ترتیب ۱۶/۸ و ۱۶/۴۶ AU₅₂₀) که به طور معنی‌داری بیشتر از این شاخص در سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۲). پس از این دو ژنوتیپ، میزان شاخص رنگ قرمز در گلبرگ ژنوتیپ‌های دلنه سیاه ربی-علفی (ژنوتیپ ۲۴) و زرد و قرمز -۱ (ژنوتیپ ۶) بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (به ترتیب ۱۳/۸ و ۱۲/۲۹ AU₅₂₀). کمترین شاخص رنگ قرمز در ژنوتیپ‌های قرمز پوست لاک، سبز ترش، بی‌نام -Z و سفید و شیرین (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲۰، ۱۰ و ۲۰) بود (به ترتیب ۷/۱، ۶/۵، ۷/۱۲ و ۷/۷۱ AU₅₂₀). میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر به دلیل آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فلاویلیوم آن‌ها می‌باشد (Sepulveda et al., 2010).

بیشترین میزان شاخص رنگ آبی (AU₆₂₀ ۱/۲۴) در گلبرگ‌های ژنوتیپ سبز شیرین شهری (ژنوتیپ ۱۳) بود که با این شاخص در گلبرگ‌های ژنوتیپ دانه سیاه ربی-علفی (ژنوتیپ ۲۴) تفاوت معنی‌داری نداشت (AU₆₂₀ ۱/۰۹) ولی به طور معنی‌داری بیشتر از شاخص رنگ آبی در گلبرگ سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۲). شاخص رنگ آبی در گلبرگ‌های سایر ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به اینکه گزارش شده است در pH اسیدی آنتوسیانین‌ها رنگ قرمز دارند و بر اثر شرایط محیطی، تغییر به رنگ آبی ایجاد می‌شود (Khoo et al., 2017). و با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های انار مورد بررسی در آزمایش حاضر از یک منطقه جمع‌آوری شده‌اند، یکی از عوامل ایجاد تفاوت در شدت رنگ قرمز و آبی گلبرگ‌های انار را ناشی از پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک به شرایط محیطی مانند خاک و درجه حرارت می‌باشد و

احتمال خطای ۰/۰۵ انجام شد. بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اسیرنوف-کولموگروف در نرم‌افزار MiniTab (ver. 16) انجام شد. همچنین خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارد^۱ و ترسیم دندروگرام تنوع شاخص‌های رنگی در ژنوتیپ انار، پس از محاسبه ماتریس فاصله اقلیدسی با نرم‌افزار Past (Ver 4.03) انجام شد. از نرم‌افزار قابل اجرا در وب هیت مپر (www.heatmapper.ca/pairwise/, accessed on 2 February 2026) برای رسم نمودار ماتریس عدم تشابه بین ژنوتیپ‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، محتوای آنتوسیانین و شاخص‌های رنگی گلبرگ ۲۴ ژنوتیپ انار از منطقه باغملک (استان خوزستان) مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). بر اساس نتایج، مقادیر شاخص‌های رنگی و آنتوسیانین در میان ژنوتیپ‌ها از تنوع قابل توجهی برخوردار بود. شاخص‌های میزان رنگ زرد (AU₄₂₀)، میزان رنگ قرمز (AU₅₂₀) و شدت رنگ بر اساس سه طول موج (CI) با دامنه تغییرات نسبتاً گسترده‌ای مواجه بودند که حاکی از تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر ترکیبات رنگ دهنده است. میانگین شاخص‌های اصلی رنگ ۱۰/۶۹ برای میزان رنگ زرد (AU₄₂₀)، ۱۰/۰۲ برای میزان رنگ قرمز (AU₅₂₀) و ۲۱/۵۵ برای شدت رنگ بر اساس سه طول موج (CI) بود. همچنین میانگین آنتوسیانین کل برابر با ۱۰/۳۸ میلی گرم بر لیتر تعیین شد که حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۵/۷۳ و ۲۰/۳۱ بود و نشان‌دهنده پتانسیل بالای برخی ژنوتیپ‌ها در تولید این ترکیب است. شاخص‌های پراکندگی نظیر واریانس و انحراف معیار نیز در مورد اکثر پارامترها مقادیر نسبتاً بالایی را نشان دادند که مجدداً بر ناهمگنی ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی تأکید دارد. از نظر شکل توزیع، اغلب شاخص‌ها دارای چولگی (عدم تقارن) مثبت (بالا تر از ۰/۵) بودند که بیانگر تمرکز بیشتر داده‌ها در سمت مقادیر پایین و وجود تعداد کمتری از ژنوتیپ‌ها با مقادیر بسیار بالا است. شاخص میزان رنگ زرد (AU₄₂₀) با چولگی ۱/۴۵ بیشترین انحراف از تقارن را نشان داد. در مقابل، برخی شاخص‌ها مانند نسبت رنگ زرد و نسبت رنگ قرمز که بیانگر نسبت رنگ‌های زرد و قرمز نسبت به شدت رنگ کل هستند، توزیع متقارن‌تری داشتند (چولگی نزدیک به صفر). بیشترین ضریب تغییرات در شاخص‌های Haze، شاخص مواد قهوه‌ای (AU₄₄₆) و آنتوسیانین کل بر اساس جذب در ۵۳۵ نانومتر بودند (به ترتیب ۳۵/۳۶، ۳۵/۳۲، ۳۲/۸۴ درصد). همچنین بررسی آمار توصیفی شاخص‌های رنگی گلبرگ نشان داد کمترین ضریب تغییرات در شاخص K-K، نسبت رنگ زرد و نسبت رنگ قرمز به

¹ . Ward

در سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۲). کمترین شدت رنگ بر اساس سه طول موج در ژنوتیپ‌های قرمز پوست لاک، سبز ترش و بی‌نام Z- (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱، ۲ و ۱۰) بود (به ترتیب ۱۵/۴۵، ۱۷/۳۶ و ۱۷/۶۴). شدت رنگ ناشی از تولید آنتوسیانین‌ها (به‌خصوص رنگدانه‌های آنتوسیانینی دارای رنگ قرمز و آبی) می‌باشد (Locatelli *et al.*, 2016)

پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات بعدی اثر عوامل محیطی بر تغییرات آنتوسیانین‌ها مورد بررسی قرار گیرد. مقایسه شدت رنگ بر اساس سه طول موج (CI) نشان داد بیشترین شدت رنگ بر اساس سه طول موج در گلبرگ‌های ژنوتیپ ژنوتیپ دانه سیاه ربی - علفی (ژنوتیپ ۲۴) بود (۳۳/۸۳) که با این شاخص در ژنوتیپ‌های سبزشیرین شهری و قرمز دلنه ربی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۸) (به ترتیب ۳۱/۱۸ و ۳۰/۷۷) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به‌طور معنی‌دار بیشتر از شدت رنگ سه طول موج (CI)

جدول ۲- آمار توصیفی شاخص‌های رنگی و آنتوسیانین گلبرگ ژنوتیپ‌های انار باغملک (استان خوزستان)

Table 2- Descriptive statistics of color indices and petal anthocyanin of pomegranate genotypes from Baghmalek (Khuzestan Province)

منبع تغییرات	ضریب تغییرات	چولگی	میانه	انحراف معیار	واریانس	میانگین	حداکثر	حداقل
S.O.V	Coeff. var	Skewness	Median	Stand. dev	Variance	Mean	Max	Min
AU ₄₂₀	26.13	1.45	10.16	2.79	7.8	10.69	21.47	6.11
AU ₅₂₀	29.42	1.04	9.66	2.95	8.69	10.02	19.38	5.41
AU ₆₂₀	19.99	0.87	0.81	0.17	0.03	0.84	1.4	0.57
AU ₅₁₀	31.41	1.14	6.65	2.21	4.88	7.04	13.71	3.86
AU ₇₀₀	15.13	0.16	1	0.15	0.02	1	1.29	0.73
Haze	35.36	1.23	5.51	2.13	4.56	6.04	12.54	3.06
CI	25.3	0.98	21.16	5.45	29.72	21.55	38.34	12.42
CI*	25.8	1	20.3	5.34	28.55	20.71	37.11	11.82
TCD	29.64	1.36	14.3	4.41	19.49	14.89	31.27	8.08
%AU ₄₂₀	12.58	0.3	49.58	6.26	39.25	49.78	65.68	37.58
%AU ₅₂₀	13.27	0.14	45.87	6.14	37.66	46.25	60.71	32.58
%AU ₆₂₀	19.08	0.36	3.98	0.76	0.57	3.97	6.4	2.4
K-K	10.6	0.34	2.01	0.21	0.04	2	2.53	1.54
Tontality	18.47	0.53	1.09	0.2	0.04	1.1	1.55	0.78
dA	26.14	0.44	40.99	10.69	114.21	40.88	58.42	16.46
AU ₅₁₀	32.84	1.03	9.62	3.41	11.62	10.38	20.31	5.73
AU ₄₄₆	35.32	1.35	6.54	2.51	6.32	7.12	15.46	2.26
AU _{446/ AU₅₁₀}	20.07	0.29	1.01	0.2	0.04	1.02	1.46	0.57

و ۲۴ بود (به ترتیب ۳۷/۴۴، ۴۴/۳۶، ۳۹/۴۶ و ۴۰/۷۹ درصد). در ژنوتیپ سبز شیرین شهری (ژنوتیپ ۱۳) بیشترین نسبت رنگ آبی به شدت رنگ کل (A₆₂₀/A) بود (۵/۶۵ درصد) که به‌طور معنی‌داری بیشتر از این نسبت در سایر تیمارها بود. کمترین نسبت رنگ آبی به شدت رنگ کل (A₆₂₀/A) در گلبرگ ژنوتیپ‌های سبزشیرین علفی، قرمز دانه ربی، سفید دومه و دانه سیاه ربی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۴) بود (به ترتیب ۲/۵۷، ۳/۰۹، ۳/۰۷ و ۳/۲۲ درصد) که به‌طور معنی‌داری کمتر از این نسبت در سایر ژنوتیپ‌ها بودند.

نتایج نشان داد کاهش میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر، همراه با افزایش میزان جذب در طول موج‌های ۴۲۰ و ۶۲۰ نانومتر است (جدول ۲)، این تغییر، نشان‌دهنده تبدیل آنتوسیانین‌های مونومریک به آنتوسیانین‌های پلی مریک است (Pasku, 2005). این تغییر در رنگ آنتوسیانین‌ها همراه با تغییر در وزن مولکولی آنتوسیانین‌ها هم می‌باشد. همچنین کاهش آنتوسیانین‌های مونومری و افزایش

بررسی نتایج نسبت رنگ‌های زرد، قرمز و آبی به شدت رنگ کل نشان داد نسبت رنگ زرد بیشتر از نسبت رنگ‌های قرمز و آبی بود (جدول ۲). بیشترین نسبت رنگ زرد به شدت رنگ کل (A₄₂₀/A) در گلبرگ ژنوتیپ‌های سبز ترش و سفید دومه (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲ و ۱۹) بود (به ترتیب ۵۸/۱۲ و ۵۷/۴۷ درصد) که به‌طور معنی‌دار بیشتر از این نسبت در ژنوتیپ‌های قرمز شیرین، بی‌نام-C، سبزشیرین علفی، قرمز دانه ربی و قرمز شیرین شهری (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۸ و ۲۱) بود (به ترتیب ۴۴/۲، ۴۵/۹۷، ۴۴/۶۴، ۴۲/۳۱ و ۴۵/۰۲ درصد) بود. کمترین نسبت، نسبت رنگ زرد به شدت رنگ کل (A₄₂₀/A) در ژنوتیپ‌های قرمز شیرین، قرمز دانه ربی و دانه سیاه ربی - علفی بود.

بیشترین نسبت رنگ قرمز به شدت رنگ کل (A₅₂₀/A) در ژنوتیپ‌های قرمز شیرین، سبزشیرین علفی و قرمز دانه ربی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۹، ۱۴ و ۱۸) بود (به ترتیب ۵۶/۱۲، ۵۲/۷۹ و ۵۴/۶ درصد). کمترین میزان نسبت رنگ قرمز در ژنوتیپ‌های ۲، ۱۰، ۱۹

تراکم (چگالی) رنگ در سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۳). کمترین تراکم (چگالی) رنگ در ژنوتیپ‌های قرمز پوست لاک‌ی، سبز ترش و بی‌نام- Z (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱، ۲ و ۱۰) بود (به ترتیب ۱۴/۷، ۱۶/۵۹ و ۱۶/۸۱).

مقایسه نتایج شدت رنگ کل (TCD) در گلبرگ ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک (جدول ۳) نشان داد بیشترین میزان این شاخص در ژنوتیپ دانه سیاه ربی- علفی (ژنوتیپ ۲۴) بود (۲۷/۵۹) که به‌طور معنی‌داری بیشتر از شدت رنگ کل در گلبرگ سایر ژنوتیپ‌های انار بود. کمترین میزان این شاخص در ژنوتیپ‌های قرمز پوست لاک‌ی، بی‌نام- C و قرمز شیرین شهری (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱ و ۲۱) بود (به ترتیب ۹/۹۳، ۱۱/۹۳ و ۱۱/۴۷). با توجه به اینکه گزارش شده است تغییر رنگ گلبرگ‌ها ناشی از سنتز آنتوسیانین‌ها و یا تغییر اسیدیته واکوئل سلول‌ها می‌باشد و تغییر غلظت آنتوسیانین‌ها شدت رنگ را تغییر می‌دهد (Mattioli, 2020)، بنابراین نتایج آزمایش حاضر در مورد تفاوت در شدت رنگ گل کل (TCD) در گلبرگ ژنوتیپ‌های مختلف انار می‌تواند به دلیل تفاوت در سنتز آنتوسیانین در ژنوتیپ‌های مختلف انار باشد. بررسی عوامل مؤثر در سنتز آنتوسیانین‌ها می‌تواند اطلاعات بیشتری در زمینه شدت رنگ کل در گلبرگ‌های انار در اختیار قرار دهد که برای بررسی تفاوت‌های ژنتیکی و یا استفاده از آنتوسیانین‌های گلبرگ مورد استفاده قرار گیرد.

بیشترین میزان شاخص رنگ K-K در گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های سبز شیرین علفی، قرمز دانه ربی و دانه سیاه ربی- علفی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۸ و ۲۴) بود (به ترتیب ۲/۳۶، ۲/۳۳ و ۲/۴۱) که با این شاخص در گلبرگ ژنوتیپ‌های سفید دومه و زرد و قرمز-۱ (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۶) (به ترتیب ۲/۱۸ و ۲/۱۵) تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاخص رنگ K-K در گلبرگ سایر ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). کمترین میزان شاخص رنگ K-K در گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های قرمز پوست لاک‌ی، سبز ترش، سبز جفتی، سبز پوست لاک‌ی، بی‌نام- Z و سفید و شیرین (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۰ و ۲۰) بود (به ترتیب ۱/۷۲، ۱/۸۱، ۱/۸۸، ۱/۸۸، ۱/۸۳ و ۱/۸۵).

میزان کدورت در ژنوتیپ‌های دانه سیاه ربی- علفی، سبز شیرین علفی و قرمز دانه ربی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲۴، ۱۴ و ۱۸) به‌طور معنی‌داری بیشتر از این شاخص در سایر ژنوتیپ‌ها بود (به ترتیب ۱۱/۰۶، ۱۰/۷۲ و ۹/۲۷). کمترین میزان این شاخص در ژنوتیپ‌های قرمز پوست لاک‌ی و سبز ترش (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱ و ۲) بود (به ترتیب ۳/۹۸ و ۳/۶۸). کدورت ناشی در واکنش‌های پیچیده بین ترکیبات فنولی، پروتئین‌ها، نشاسته، عناصر مس و آهن می‌باشد که

آنتوسیانین‌های پلی مریک (متصل) نشان‌دهنده ثبات رنگ و تشکیل ترکیبات ناشی از اتصال تانن‌ها و آنتوسیانین‌ها می‌باشد (Babincev et al., 2016); با توجه به اینکه رنگدانه‌های پلی مریک ترکیبات با ثبات بالا هستند و می‌توانند رنگ را به مدت زمان حفظ نماید (Babincev et al., 2016)، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی مربوط به اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ، میزان تانن در گلبرگ‌ها اندازه‌گیری شده و در تهیه محصولات از گلبرگ‌های انار میزان تانن نیز اندازه‌گیری شود.

بیشترین شاخص رنگ قرمز خالص (da) در گلبرگ‌های ژنوتیپ قرمز دانه ربی (ژنوتیپ ۱۸) بود (۵۸/۴۲ درصد) که با این شاخص در ژنوتیپ‌های قرمز شیرین، بی‌نام- C، سبزشیرین علفی، سبز علفی شهری و قرمز شیرین شهری (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۱) (به ترتیب ۵۴/۱۴، ۴۹/۸۴، ۵۵/۲۹، ۵۲/۸ و ۵۰/۹۵ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از این شاخص در سایر ژنوتیپ‌ها بود. کمترین نسبت شاخص رنگ قرمز خالص در گلبرگ‌های ژنوتیپ سبز ترش (ژنوتیپ ۲) بود (۱۶/۴۶ درصد) که با این شاخص در ژنوتیپ‌های بی‌نام- Z، سفید دومه و دانه سیاه ربی- علفی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۹ و ۲۴) (به ترتیب ۲۶/۱۲، ۲۳/۳ و ۲۷/۴۳ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به‌طور معنی‌داری کمتر از شاخص رنگ قرمز خالص در سایر ژنوتیپ‌ها بود. شاخص رنگ قرمز خالص نشان‌دهنده میزانی از رنگ قرمز است که بر اثر کاتیون‌های فلاویلیوم^۱ تولید می‌شود. فلاویلیوم‌ها، نمک‌های آنتوسیانین هستند که توانایی واکنش دهی با سایر ترکیبات را دارند (Sepulveda et al., 2010). درخشندگی^۲ رنگ محلول‌های قرمز با شکل طیف مرتبط است. زمانی که رنگ عصاره قرمز روشن است، حداکثر طیف در ۵۲۰ نانومتر باریک و به‌وضوح مشخص می‌شود. در مقابل، وقتی رنگ عصاره قرمز تیره یا آجری رنگ باشد، حداکثر طیف نسبتاً پهن و تخت است. این ویژگی را می‌توان با استفاده از شاخص رنگ قرمز خالص (da) اندازه‌گیری نمود. زمانی که میزان شاخص رنگ قرمز خالص (da) بین ۴۰ تا ۶۰ باشد، رنگ قرمز روشن است و افزایش مقدار این شاخص بیشتر از ۶۰ نشان‌دهنده افزایش شدت رنگ قرمز و تیره‌تر شدن رنگ قرمز است (Rib'ereau-Gayon et al., 2006).

مقایسه تراکم (چگالی) رنگ بر اساس مجموع میزان جذب در دو طول موج ۴۲۰ و ۵۲۰ نانومتر (CI*) نشان داد بیشترین تراکم (چگالی) رنگ در گلبرگ‌های ژنوتیپ دانه سیاه ربی- علفی (ژنوتیپ ۲۴) بود (۳۲/۷۴) که با این شاخص در ژنوتیپ‌های سبزشیرین علفی و قرمز دانه ربی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۸) (به ترتیب ۳۰/۳۸ و ۲۹/۸۲) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به‌طور معنی‌دار بیشتر از

2. Brilliance

1. Flavilium cations

هستند که موجب کاهش تمایل مصرف‌کنندگان آب‌میوه انار می‌شود (Turkyilmaz *et al.*, 2012) و با توجه به نتایج آزمایش حاضر در مورد تفاوت در میزان کدروت در عصاره گلبرگ ژنوتیپ‌های مختلف انار، لازم است در صورت استفاده از گلبرگ انار برای تهیه فرآورده‌های مختلف، کدروت رنگ که ناشی از میزان تانن ها می‌باشد، موردتوجه قرار گیرد.

به‌طور طبیعی در بافت‌های گیاهی مانند میوه می‌باشد. روش فرآوری محصول نیز بر میزان کدروت تأثیر دارد (Yemi, 2016). در مورد کدروت عصاره تهیه‌شده از گلبرگ‌های انار اطلاعاتی منتشر نگردیده است تا بتوان نتایج آزمایش حاضر را با آن مقایسه نمود ولی با توجه به اینکه گزارش‌شده است بیشتر محصولات آب انار تجاری دارای مشکلات کیفیت ازجمله کدورت بالا، مواد معلق و رنگ قهوه‌ای

جدول ۳- مقایسه شاخص‌های رنگ و شدت رنگ در گلبرگ ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک خوزستان

Table 3- Comparison of color indices and color intensity in the petals of pomegranate genotypes from the Baghmalek region of Khuzestan

ژنوتیپ	رنگ زرد (AU ₄₂₀)	رنگ قرمز (AU ₅₂₀)	رنگ آبی (AU ₆₂₀)	شدت رنگ (CI)	%A ₄₂₀	%A ₅₂₀	%A ₆₂₀	شاخص رنگ قرمز (dA)
1	7.6 d	7.1 d	0.75 c	15.45 e	49.19 abc	45.95 abc	4.85 b	41.2 b
2	10.09 c	6.5 d	0.77 c	17.36 e	58.12 a	37.44 c	4.44 bc	16.46 d
3	9.3 cd	8.46 cd	0.72 c	18.48 de	50.32 abc	45.78 abc	3.9 c	40.78 b
4	9.56 c	8.15 cd	0.86 bc	18.57 de	51.48 abc	43.89 bc	4.63 b	36.07 bc
5	10.28 c	9.56 cd	0.89 bc	20.73 cd	49.59 abc	46.12 abc	4.29 bc	41.58 b
6	11.81 c	12.29 b	0.9 bc	25 bc	47.24 abc	49.16 ab	3.6 c	48.29 b
7	10.4 c	7.96 cd	0.76 c	19.12 de	54.39 ab	41.63 bc	3.97 c	29.9 c
8	9.47 cd	8.53 cd	0.75 c	18.75 de	50.51 abc	45.49 abc	4 bc	40.09 b
9	9.83 c	11.6 bc	0.81 c	22.24 cd	44.2 c	52.16 a	3.64 c	54.14 ab
10	9.69 c	7.12 d	0.83 bc	17.64 e	54.93 abc	40.36 c	4.71 b	26.12 cd
11	8.73 cd	9.48 c	0.78 c	18.99 de	45.97 bc	49.92 ab	4.11 bc	49.84 ab
12	9.68 c	8.34 cd	0.79 c	18.81 de	51.46 abc	44.34 abc	4.2 bc	37.23 bc
13	10.88 c	9.83 c	1.24 a	21.95 cd	49.57 abc	44.78 abc	5.65 a	38.35 bc
14	13.92 bc	16.46 a	0.8 c	31.18 ab	44.64 c	52.79 a	2.57 d	55.29 ab
15	10.32 c	10.61 bc	0.77 c	21.7 cd	47.56 abc	48.89 ab	3.55 c	47.74 b
16	9.57 c	9.91 bc	0.81 c	20.29 cd	47.17 abc	48.84 ab	3.99 bc	47.63 b
17	9.85 c	11.26 cd	0.78 c	21.89 cd	45 bc	51.44 ab	3.56 c	52.8 ab
18	13.02 bc	16.8 a	0.95 bc	30.77 ab	42.31 c	54.6 a	3.09 d	58.42 a
19	15 b	10.3 bc	0.8 c	26.1 bc	57.47 a	39.46 c	3.07 d	23.3 cd
20	9.61 c	7.71 d	0.69 c	18.01 de	53.37 abc	42.8 bc	3.83 c	33.17 c
21	8.94 cd	9.52 cd	0.85 bc	18.86 de	45.02 bc	50.48 ab	4.51 b	50.95 ab
22	10.22 c	10.02 c	0.93 bc	21.17 cd	48.28 abc	47.33 abc	4.39 bc	44.36 b
23	10.32	9.21cd	0.72 c	20.25 cd	50.96 abc	45.48 abc	3.56 c	40.07 b
24	18.94 a	13.8 b	1.09 ab	33.83 a	55.99 ab	40.79 c	3.22 d	27.43 cd

*در هر ستون میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column, means sharing the same letter(s) are not significantly different at the 0.05 probability level according to Duncan's test.

(AU₄₄₆). میزان شاخص مواد قهوه‌ای و نسبت آنتوسیانین به شاخص مواد قهوه‌ای از عوامل مؤثر بر رنگ آریل‌های انار می‌باشند و برای بررسی کیفیت آریل‌های میوه انار تحت تأثیر تیمارهای پس از برداشت قرار می‌گیرند (Taheri *et al.*, 2020)، ولی در مورد میزان مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای در گلبرگ‌های انار اطلاعاتی منتشر نگردیده است. در pH پایه، آنتوسیانین‌ها ناپایدار هستند و تجزیه آن‌ها و تولید ترکیبات اکسید شده قهوه‌ای تیره رنگ ایجاد می‌شود (Khoo *et al.*, 2017). پایداری ساختار آنتوسیانین‌ها به حلقه- B در

بیشترین میزان شاخص مواد قهوه‌ای در ژنوتیپ‌های دانه سیاه ربی- علفی و سبز شیرین شهری (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲۴ و ۱۳) بود (به ترتیب ۱۳/۶۴ و ۱۲/۸۴ میزان جذب در طول موج ۴۴۶ نانومتر) که با این شاخص در ژنوتیپ سفید دومزه (ژنوتیپ ۱۹) (۱۰/۸۲) (AU₄₄₆) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از میزان شاخص مواد قهوه‌ای در سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۳). میزان شاخص مواد قهوه‌ای در ژنوتیپ قرمز پوست لاک‌ی (ژنوتیپ ۱) به‌طور معنی‌داری کمتر از این شاخص در سایر ژنوتیپ‌ها بود (۲/۸۱)

میزان آنتوسیانین بر اساس جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر در گلبرگ ژنوتیپ‌های دانه سیاه ربی- علفی و سبز شیرین علفی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲۴ و ۱۴) (به ترتیب ۱۲/۱ و ۱۱/۶۸ AU₅₁₀) که با این شاخص در گلبرگ‌های ژنوتیپ قرمز دلانه ربی (ژنوتیپ ۱۸) (AU₅₁₀ ۱۰/۴۳) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاخص میزان جذب در طول ۵۱۰ نانومتر در سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۳). کمترین میزان جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر در گلبرگ ژنوتیپ‌های قرمز پوست لاک‌ی و سبز ترش (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱ و ۲) بود (۴/۹۳ و ۴/۶۴ AU₅₁₀) که با این شاخص در ژنوتیپ‌های سبز جفتی، سبز پوست لاک‌ی، زرداناری، بی‌نام-Z و قرمز شیرین شهری (ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۷، ۱۰ و ۲۱) (بین ۵/۲۷ تا ۵/۷۳ AU₅₁₀) تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی به‌طور معنی‌داری کمتر از این شاخص در سایر ژنوتیپ‌ها بودند.

جدول ۴- مقایسه شاخص‌های رنگ و شدت رنگ در گلبرگ ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک خوزستان

Table 4- Comparison of color indices and color intensity in the petals of pomegranate genotypes from the Baghmalek region of Khuzestan

ژنوتیپ	شدت رنگ (CI*)	شدت رنگ کل (TCD)	شاخص رنگ KK	کدرت رنگ (Haze)	شاخص مواد قهوه‌ای (AU ₄₄₆)	آنتوسیانین کل (AU ₅₁₀)	آنتوسیانین کل (AU ₅₃₅)
1	14.7 e	9.93 e	1.72 c	3.98 d	2.81 d	4.93 d	7.06 de
2	16.59 e	12.29 de	1.81 c	3.68 d	6.28 bc	4.64 d	6.88 e
3	17.76 de	12.43 de	1.88 c	4.85 cd	5.96 bc	5.77 cd	8.3 cd
4	17.71 de	12.34 de	1.88 c	4.57 cd	6.29 bc	5.63 cd	8.18 d
5	19.84 cd	13.65 de	1.98 bc	5.29 cd	6.3 bc	6.32 bc	9.07 cd
6	24.1 cd	16.81 cd	2.15 ab	7.19 bc	7.51 bc	8.25 b	11.89 bc
7	18.36 de	13.18 de	1.91 bc	4.58 cd	6.13 bc	5.57 cd	7.95 d
8	18 de	12.98 de	1.9 bc	5.26 cd	6.39 bc	6.2 bc	9 cd
9	21.43 cd	14.78 de	2.05 b	7.02 bc	6.56 bc	8.01 bc	11.57 bc
10	16.81 e	12.27 de	1.83 c	4.24 cd	6.07 c	5.27 cd	7.75 de
11	18.21 de	11.93 e	1.91 bc	5 cd	5.44 c	5.96 c	8.55 cd
12	18.02 de	12.65 de	1.9 bc	4.73 cd	5.97 c	5.73 cd	8.3 cd
13	20.71 cd	16.6 cd	2.02 b	7.83 b	12.84 a	8.96 b	13.33 b
14	30.38 ab	22.04 b	2.36 a	10.72 a	9.1 b	11.68 a	16.77 a
15	20.93 cd	14.45 de	2.04 b	6.06 bcd	6.99 bc	6.99 bc	10 c
16	19.48 cd	13.59 de	1.97 bc	6.54 bcd	6.31 bc	7.61 bc	10.05 c
17	21.11 cd	17.1 cd	2.04 b	5.52 bcd	6.32 bc	6.39 bc	15.31 ab
18	29.82 ab	20.05 bc	2.33 a	9.27 a	7.94 bc	10.43 ab	15.48 ab
19	25.3 bc	19.3 bc	2.18 ab	6.65 cd	10.82 ab	7.59 bc	10.55 bc
20	17.32 de	12.34 de	1.85 c	6 cd	6.75 bc	7.05 bc	8.15 d
21	18.01 de	11.47 e	1.9 bc	4.73 cd	5.71 c	5.72 cd	8.42 cd
22	20.24 cd	14.26 de	2 bc	5.75 bcd	6.72 bc	6.81 bc	10.29 bc
23	19.53 cd	13.45 de	1.97 bc	4.92 cd	6 c	5.84 c	8.3 cd
24	32.74 a	27.59 a	2.41 a	11.06 a	13.64 a	12.1 a	17.92 A

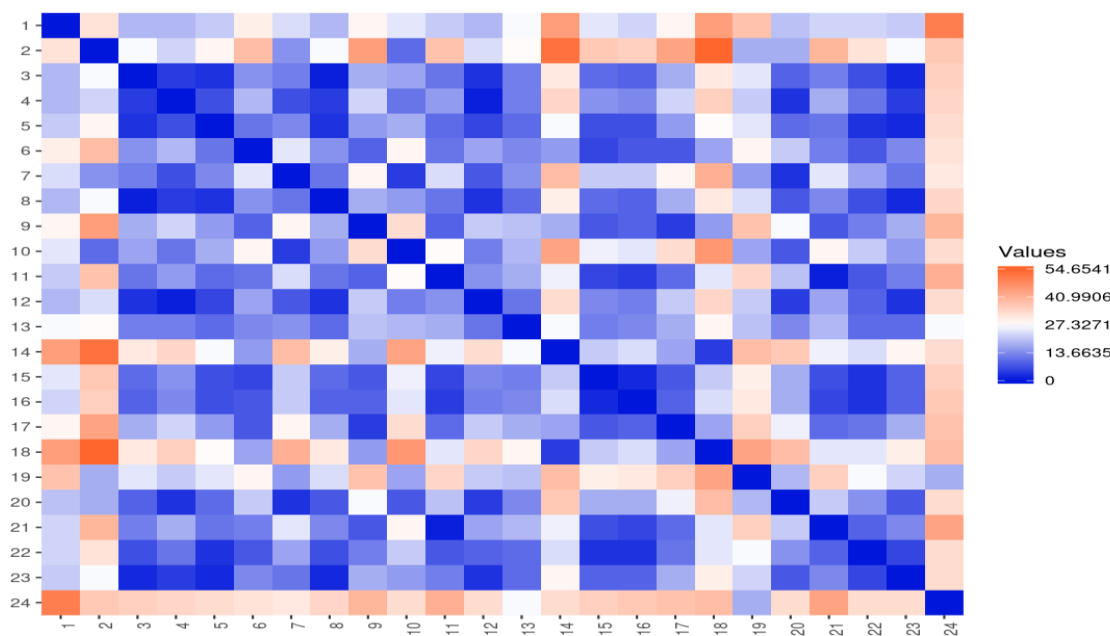
*در هر ستون میانگین‌های دارای حرف (حروف) مشترک در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column, means sharing the same letter(s) are not significantly different at the 0.05 probability level according to Duncan's test.

به تخریب سلولی و شروع واکنش‌های تخریب آنتوسیانین‌ها و شروع واکنش‌های تولید مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای باشد (Franck *et al.*, 2007). یکی از دلایل تفاوت در میزان آنتوسیانین در گلبرگ در ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک خوزستان ناشی از پاسخ متفاوت ارقام به درجه حرارت محیط در مرحله رشد و نمو گل و گلدهی باشد که میزان آنتوسیانین‌های گلبرگ‌های گل‌های انار را تحت تأثیر قرار داده است.

تحلیل حرارتی (Heat map) بر اساس شاخص‌های رنگ در ۲۴ ژنوتیپ انار (تصویر ۱)، الگوی تغییرپذیری واضحی را در صفات مرتبط با رنگ نشان می‌دهد. مقادیر pairwise حاکی از وجود تنوع قابل توجه بین ژنوتیپ‌ها است، به طوری که برخی ژنوتیپ‌ها (مانند گروه‌های با مقادیر نزدیک به صفر) شباهت بالایی در ویژگی‌های رنگ داشته، در حالی که دیگر ژنوتیپ‌ها (با مقادیر مثبت یا منفی بالاتر) تمایز آشکاری را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های با اعداد بالاتر در ماتریس، دارای شدت رنگ و احتمالاً محتوای آنتوسیانین یا سایر رنگدانه‌های بالاتری هستند. این پراکندگی ژنوتیپی می‌تواند در انتخاب والدین برای برنامه‌های بهنجاری انار باهدف بهبود کیفیت ظاهری میوه مفید باشد.

بیشترین میزان آنتوسیانین (بر اساس سیانیدین-۳-گلوکوزید) اندازه‌گیری شده در طول موج ۵۳۵ نانومتر) در گلبرگ ژنوتیپ‌های دانه سیاه ربی-علفی و سبز شیرین علفی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲۴ و ۱۴) بود (به ترتیب ۱۷/۹۲ و ۱۶/۷۷ میلی گرم در لیتر) بود که با این میزان آنتوسیانین در ژنوتیپ‌های سبز علفی شهری و قرمز دانه ربی (به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸) تفاوت معنی‌داری نداشت (به ترتیب ۱۵/۳۱ و ۱۵/۴۸ میلی گرم در لیتر) ولی بیشتر از این شاخص در سایر ژنوتیپ‌ها بود. کمترین میزان آنتوسیانین در گلبرگ ژنوتیپ سبز ترش (ژنوتیپ ۲) بود (۶/۸۸ میلی گرم در لیتر) که با این شاخص در ژنوتیپ بی‌نام-Z (ژنوتیپ ۱۰) تفاوت معنی‌داری نداشت (۷/۷۵) ولی به طور معنی‌داری کمتر از آنتوسیانین در گلبرگ سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۴). گزارش شده است کمیت و کیفیت ترکیبات فنولی تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی (رقم)، شرایط آب و هوایی، خاک و روش‌های کشت قرار می‌گیرد (Poiana *et al.* 2007; Glories, 1984). اگرچه بخشی از تفاوت در میزان آنتوسیانین گلبرگ‌های انار می‌تواند به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی در ژنوتیپ‌ها باشد ولی با توجه به اینکه گزارش شده است میزان آنتوسیانین‌ها در انار به طور منفی تحت تأثیر پدیده گرم شدن جهانی قرار گرفته است (Borochoy-Neori *et al.* 2011) و درجه حرارت بالا می‌تولند منجر



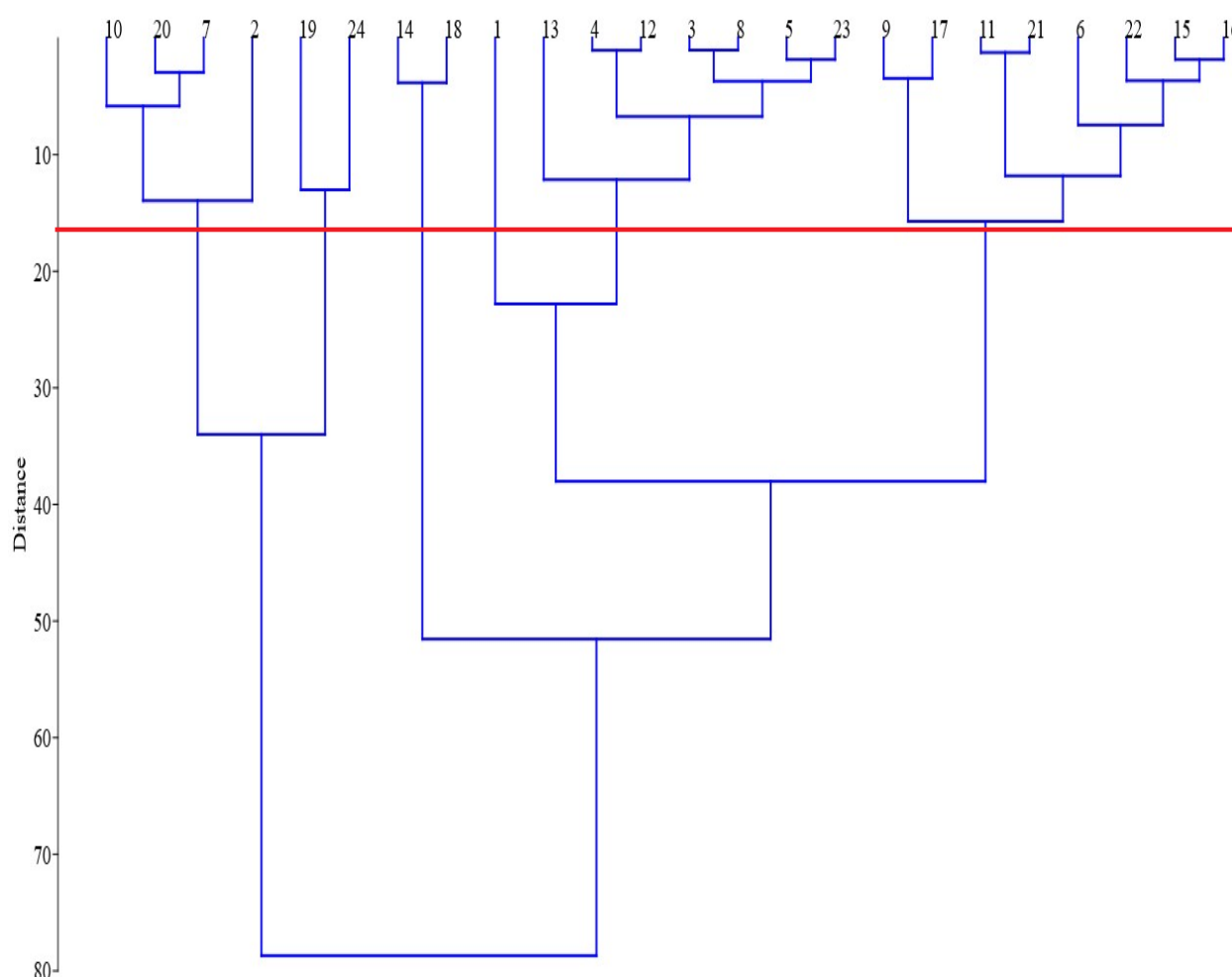
تصویر ۱- نقشه حرارتی ژنوتیپ‌های انار باغملک (خوزستان) بر اساس شاخص‌های رنگی و میزان آنتوسیانین

ماتریس عدم تشابه که نشان‌دهنده فاصله بین ژنوتیپ‌ها هست. شیب تغییر رنگ نشان‌دهنده فاصله بین ژنوتیپ‌ها، رنگ‌های قرمز نشان‌دهنده بیشترین عدم تشابه و رنگ آبی نشان‌دهنده بیشترین تشابه هست.

Figure 1- Heatmap of pomegranate genotypes from Baghmalek (Khuzestan) based on color indices and anthocyanin content. The dissimilarity matrix represents the distance between genotypes. The color gradient indicates the distance between genotypes; red colors indicate the highest dissimilarity, and blue colors indicate the highest similarity.

زرد/نارنجی و رنگ گلبرگ زرد/نارنجی روشن است. در ژنوتیپ‌های این گروه، گلبرگ‌ها محتوای آنتوسیانین پایین‌ترین مقدار را در بین خوشه‌ها دارد. خوشه سوم شامل ۱۸، ۱۴، ۲۴، ۱۹، ۲، ۷، ۲۰ و ۱۰ می‌باشد که در گروه ژنوتیپ‌های با رنگ تیره و اشباع‌شده قرار دارند. این گروه بالاترین مقادیر آنتوسیانین، شدت رنگ بر اساس سه طول موج و TCD را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده غلبه شدید رنگ‌دانه‌های قرمز/بنفش، اشباع رنگ بالا و رنگ گلبرگ تیره قرمز تا ارغوانی است. پایین بودن نسبت (۵۲۰/۴۲۰) نشان‌دهنده غلبه رنگ قرمز بر زرد است. خوشه‌بندی انجام‌شده به‌وضوح سه الگوی رنگی متمایز را در بین ژنوتیپ‌های انار آشکار کرد. ژنوتیپ‌های خوشه سوم (به‌ویژه ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۴ و ۲۴) به دلیل دارا بودن رنگ تیره و محتوای آنتوسیانین بالا، از پتانسیل بالایی برای به‌نژادی جهت بهبود کیفیت ظاهری و ارزش تغذیه‌ای برخوردارند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان منابع ارزشمند برای تنوع‌بخشی به رنگ گلبرگ میوه در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند.

بر اساس نمودار دندروگرام (تصویر ۲) و با توجه به معیار حداکثر افزایش فاصله ادغام، خط برش در فاصله اقلیدسی ۱۸ انتخاب شد که منجر به تشکیل سه خوشه مجزا با حداکثر همگنی درون‌گروهی و ناهمگنی بین‌گروهی گردید. توزیع ژنوتیپ‌ها در خوشه‌ها نشان داد خوشه اول شامل ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۵، ۲۲، ۶، ۲۱، ۱۱، ۱۷ و ۹ می‌باشد که در گروه ژنوتیپ‌های با رنگ متوسط قرار دارند. این گروه دارای بالاترین میانگین جذب در ۵۲۰ نانومتر (مربوط به رنگ‌دانه‌های قرمز) و نسبت متعادل (۵۲۰/۴۲۰) نزدیک به ۱ است که نشان‌دهنده تعادل بین رنگ‌دانه‌های زرد و قرمز و رنگ نهایی نارنجی/قرمز روشن می‌باشد. مقادیر متوسط آنتوسیانین و شدت رنگ بر اساس سه طول موج نشان‌دهنده رنگ گلبرگ با شدت متوسط است. خوشه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۲۳، ۵، ۸، ۳، ۱۲، ۴، ۱۳ و ۱ می‌باشد که در گروه ژنوتیپ‌های با رنگ روشن‌تر قرار دارند. این خوشه کمترین میانگین جذب در ۵۲۰ نانومتر و بالاترین نسبت (۵۲۰/۴۲۰) را دارد که نشان‌دهنده غلبه رنگ‌دانه‌های



تصویر ۲- خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های انار باغملک (خوزستان) بر اساس شاخص‌های رنگی و میزان آنتوسیانین

Figure 2 – Clustering of pomegranate genotypes from Baghmalek (Khuzestan) based on color indices and anthocyanin content

نتیجه‌گیری

ژنوتیپ‌های سبزشیرین علفی، قرمز دانه ربی و دانه سیاه ربی-علفی (۱۴، ۱۸ و ۲۴)، با دارا بودن بالاترین میزان آنتوسیانین و شدت رنگ، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شده که پتانسیل مناسبی برای استخراج رنگ‌دانه‌های طبیعی و استفاده در صنایع غذایی، دارویی و برنامه‌های بهنژادی انار باهدف بهبود کیفیت ظاهری و ارزش‌افزوده دارند. انجام مطالعات تکمیلی در سطح مولکولی و بیوشیمیایی برای بررسی آنتوسیانین‌ها در گلبرگ ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک خوزستان پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه هرمزگان به خاطر حمایت مالی از این تحقیق، گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای تأمین امکانات آزمایشگاهی و آقای افشین محمدی باغدار شهرستان باغملک به خاطر همکاری در تهیه نمونه‌ها، تشکر می‌نمایند.

منابع

- Abdu, O.H., Saeed, A.A.M. & Fdhel, T.A. (2020). Polyphenols/Flavonoids Analysis and Antimicrobial Activity in Pomegranate Peel Extracts. *Electron. J. Univ. Aden Basic Appl. Sci.* 1: 14–19. doi: 10.47372/ejua-ba.2020.1.4.
- Ali, M. & Sharma, N. (2006). Phytochemical investigation of the flowers of *Punica granatum*, *Indian Journal of Chemistry*. 45B: 1681–1685.
- Anderson, O.M. & Francis, G. W. (2004). Techniques of pigment identification. *Annual Plant Reviews—Plant Pigments and Their Manipulation*, 14: 293–341.
- Askin, B. & Atik, A. (2016) Color, phenolic composition, and antioxidant properties of hardaliye (fermented grape beverage) under different storage conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 40: 803-812.
- Aslani, A., Zolfaghari, B. & Davoodvandi, F. (2016). Design, formulation and evaluation of an oral gel from *Punica granatum* flowers extract for the treatment of recurrent aphthous stomatitis, *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. 6: 391–398.
- Babincev, L. M., Guresic, D. M. & Simonovic, R. M. (2016). Spectrophotometric characterization of red wine color from the vineyard region of Metohia. *Journal of Agricultural Sciences*. 61(3): 281-290.
- Bekir, J., Mars, M., Vicendo, P. Fterrich, A. & Bouajila, J. (2013). Chemical Composition and Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antiproliferation Activities of Pomegranate (*Punica granatum*) Flowers. *Journal of Medicinal Food*. 16(6): 544-550.
- Bhatt, A., Jishtu, V., Tripathi, Y.C. & Varshney, V.K. (2025). Optimization of Natural Colorant Extraction from the Fruit Peels of Wild Pomegranate. *PhytoTalks*. 2(2): 311-317.
- Borochoy-Neori, H., Judeinstein, S., Harari, M., Bar-Ya'akov, I., Patil, B. S., Lurie, S. & Holland, D. (2011). Climate Effects on anthocyanin accumulation and composition in the pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit arils. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 59: 5325–5334.

نتایج این پژوهش نشان داد که گلبرگ ژنوتیپ‌های انار منطقه باغملک از تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی در شاخص‌های رنگی و محتوای آنتوسیانین برخوردار هستند. بر پایه‌ی آمار توصیفی، شاخص‌هایی مانند میزان رنگ قرمز (AU_{520}) و شدت رنگ بر اساس سه طول‌موج (CI) و آنتوسیانین کل دارای دامنه تغییرات گسترده و ضریب تغییرات بالا بودند که بیانگر پتانسیل بالای انتخاب برای اهداف بهنژادی است. تحلیل خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را در سه گروه مجزا با الگوهای رنگی متمایز قرار داد. ژنوتیپ‌های خوشه اول برای مصارف تازه‌خوری با رنگ مطلوب و متوسط مناسب‌اند. ژنوتیپ‌های خوشه دوم با رنگ روشن‌تر، می‌توانند در تولید محصولات فرآوری شده با رنگ خاص موردتوجه قرار گیرند. این ساختار خوشه‌ای می‌تولند مبنای مناسبی برای انتخاب والدین در تلاقی‌های هدفمند، مدیریت مجموعه‌های ژرم‌پلاسما و توسعه ارقام با کیفیت رنگ مطلوب باشد.

Dussi M.C., Sugar D. & Wrolstad R.E. (1995). Characterizing and quantifying anthocyanins in red pears and the effect of light quality on fruit color. *Mem. Fac. Agric. Kagoshima Univ.* 120: 785–789.

Franck, C., J. Lammertyn, Q. Tri Ho, P. Verboven, B. Verlinden & B.M. Nicolai. (2007). Browning Disorders in Pear Fruit. *Postharvest Biology & Technology*. 43:1-13

Glories, Y. (1984) La couleur des vins rouges 2. Mesure, origine et interprétation. *Connais. Vigne Vin* 18: 253-271.

Heidari, M. & Dehghani Nezhad, K. (2024). Comparison of Fruit Quality Indices in Pomegranate s of Tang-e-Siab Region (Kuhdasht, Lorestan Province). *Journal of Research in Plant Metabolites*. 2(1): 39-57. (In Persian).

Holcraft, D. M., Gil, M. I. & Kader, A. A. (1998). Effect of carbon dioxide on anthocyanin ammonia, phenylalanine ammonia-lyase and glucyltransferase in the arils of stored pomegranates. *Journal American Society Horticulture Science*, 123(1): 136-140.

Kam, A., K.M. Li., Razmovski-Naumovski, V., Nammi, S., Shi, J., Chan, K. & Li, G. Q. (2013) A comparative study on the inhibitory effects of different parts and chemical constituents of pomegranate on α -amylase and α -glucosidase, *Phytotherapy Research*. 27: 1614–1620.

Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T. & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*. 61: 1361779.

Locatelli, M., Travaglia, F., Coisson, J. D., Bordiga, M. & Arlorio, M. (2016). Phenolic composition of Nebbiolo grape (*Vitis vinifera* L.) from Piedmont: Characterization during ripening of grapes selected in different geographic areas and comparison with Uva Rara and Vespolina cv. *European Food Research and Technology*, 242(7): 1057–1068.

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L. & Silva. (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*. 21: 25(17):3809.

Mirjalili A. (2015). A review on biochemical constituents and medicinal properties of pomegranate (*Punica*

granatum L.). *Journal of Medicinal Plants*. 14 (56):1-22. (In Persian).

Paimard, F. & Heidari, M. (2018). Effects of Harvest Time and Storage Duration on Some Physical and Biochemical Indices in Pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruits. *Plant Productions*. 41(1): 57-68. (In Persian).

Paimard, F., Heidari, M. Daneshvar, M. H. & Moalemi, N. (2014). Effects of different harvest stage on physical and biochemical characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit in climatic condition of Baghmalek (Khuzestan Province). *Journal of Horticultural Science*. 28 (1): 71- 79. (In Persian)

Pasku, L. (2005). Red wine quality establishing on the basis of chromatic properties. *Revista de Chimie*. 56(7): 703-707.

Poiana, M. A., Moigradean, D., Gergen, I. & Harmascu, M. (2007). The establishing the quality of red wines on the basis of chromatic characteristics. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 33(1): 199-208.

Reddy, M., Gupta, S., Jacob, M., Khan, S. & Ferreira, D. (2007). Antioxidant, Antimalarial and Antimicrobial Activities of Tannin-Rich Fractions, Ellagitannins and Phenolic Acids from *Punica granatum* L. *Planta Medica*. 73, no. 5. doi: 10.1055/s-2007-967167.

Rib'ereau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A. & Dubourdieu, D. (2006). *Handbook of Enology*. Vol. 2. John Wileys Sons, Ltd., New York.

Santana, R. V., Santos, D. C., Santana, A. C. A., Filho, J. G. O., Almeida, A. B., Lima, T. M., Silva, F. G. & Egea, M. B. (2020). Quality parameters and sensorial profile of clarified Cerrado cashew juice supplemented with *Sacharomyces boulardii* and different sweeteners. *LWT-Food Science and Technology*. 128: 109319

Sharifi, S., Heidari, M. & Rahmati Joneid Abad, M. (2023). Evaluation of Some Biochemical Compounds and Juice Color Indices in Pomegranate Genotypes of Oraman Region (Kurdistan Province). *Iran Journal of Horticultural Science*, 54(3): 353-367. (In Persian)

Spulveda, E., Saenz, C., Pena, A., Robert, P., Bartolome, B. & Cordoves, C. G. (2010). Influence of the

genotype on the anthocyanin composition, antioxidant capacity and color of Chilean pomegranate juices. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1): 50-57.

Türkyılmaz, M., Yemiş, O. & Özkan, M. (2012). Clarification and pasteurization effects on monomeric anthocyanins and percent polymeric color of black carrot (*Daucus carota* L.) juice. *Food Chemistry*, 134: 1052-1058.

Tyagi, S. K. and Tiwari, A. (2020). Pomegranate: Production, Postharvest, Marketing and Export. New India Publishing Agency. India. 194 p.

Utami, M. M. D., Dewi, A. C., Hertamawati, R.T., Jasmine, D., Wafia, N., Saputri, J. & Septiyanto, K. H. (2025). Biochemical Composition of Pomegranate (*Punica granatum* L.) as a Natural Feed Additive", *TEFA*, vol. 2, no. 1, pp. 17-24.

Valero, M., Vegara, S., Martí, N. & Saura, D. (2014). Clarification of Pomegranate Juice at Industrial Scale. *Food Process Technology* 5:5.

Xu, J., Zhao, Y. & Aisa, H. A. (2017). Anti-inflammatory effect of pomegranate flowers in lipopolysaccharide (LPS)-stimulated RAW264.7 macrophages, *Pharm. Biol.* 55: 2095-2101.

Yildirim, H. K. (2006). Evaluation of colour parameters and antioxidant activities of fruit wines. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 57(1/2):47-63.

Yisimayili, Z., Abdulla, R., Tian, Q., Wang, Y., Chen, M., Sun, Z., Li, Z., Liu, F. & Aisa, H. A. (2019). A comprehensive study of pomegranate flowers polyphenols and metabolites in rat biological samples by high-performance liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography*. A1604: 460-472.

Zhang, L., Fu, Q. & Zhang, Y. (2011) Composition of anthocyanin in pomegranate flowers and their antioxidant activity, *Food Chemistry*. 127:1444-1449.

Yemi, O. & Arslantürk, H. G. (2016). Berrak Nar Suyu ve Konsantrelerinde Bulanıklık Oluşumu. *Akademik Gıda*, 14(3): 275-283. (English Abstract).