



# نشریه علمی علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)



جلد ۳۹ شماره ۳

سال ۱۴۰۴

شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

شماره پیاپی ۶۷

## عنوان مقالات

- بررسی تنوع ژنوتیپی گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) در ایران براساس میزان اسانس و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ..... ۳۶۱  
بهزاد کاویانی - رعنا محمدی پور - داود هاشم آبادی - محمدحسین انصاری - رسول انسی نژاد - احمدرضا بریموندی
- اثر کودهای آهن و انداز ریزغده بر کیفیت غده سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) ..... ۳۷۵  
محسن پوراحمدی - رضا ضرغامی - مرجان دیانت - علی محمدی تر کاشوند
- بهبود کیفیت و ماندگاری نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.) با استفاده از تیمارهای قبل و پس از برداشت ملاتونین ..... ۳۸۹  
سکینه ملاتی محمدآبادی - سمیه رستگار
- ارزیابی برخی از ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه در بعضی از ارقام انگور (*Vitis vinifera* L.) ..... ۴۰۵  
عبدالله گودرزی - مهرباد یادگاری - سید اصغر موسوی - سید حبیب الله نوربخش
- مقایسه اثر اسانس نعناع فلفلی (*Mentha × piperita* L.) به دو صورت آزاد و نانوکپسوله شده بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه گوجه فرنگی گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.) ..... ۴۲۳  
معصومه و کیلی قرطاول - حسین آرونی - شیوا گل محمدزاده - محبوبه ناصری - لیلا بندگان
- پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد انگور رقم 'یاقوتی' (*Vitis vinifera* L.) در مراحل رشد به کم آبیاری ..... ۴۴۳  
متصور فاضلی رستم پور
- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر ارزش غذایی و بازارپسندی میوه توت فرنگی رقم 'موتتری' ..... ۴۵۷  
صفا محمد علی کاظم الجناهی، محمدرضا اصغری، پری زاهدی پور ششگلانی
- ارزیابی تأثیرپذیری عملکرد کاهوی آیسبرگ (*Lactuca sativa* var. Bruma Rz) از برهم کنش بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی ..... ۴۷۳  
فاطمه احمدنیا - علی عبادی - مسعود هاشمی
- ارزیابی تنوع ریخت شناختی و فنولوژیکی برخی ژنوتیپ های امیدبخش پسته (*Pistacia vera* L.) در باغستان سنتی قزوین ..... ۴۹۱  
پوریا کاکوند - علی سلیمانی - فرهنگ رضوی - گارت برار
- اصلاح هندوانه (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum and Nakai) آجیلی: ارزیابی و گزینش از بین جمعیت های برخی نژادهای بومی ..... ۵۰۷  
کاظم حکم آبادی - سید حسین نعمتی - رضا توکل افشاری
- تأثیر سطوح زغال زیستی بر رشد و برخی خصوصیات کیفی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تغذیه گوگردی ..... ۵۲۷  
محمد بهزاد امیری - وحید محمدزاده کاخکی - محمد حسین امینی فرد

# نشریه علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)

26524

21/2015

با شماره پروانه \_\_\_\_\_ و درجه علمی - پژوهشی شماره \_\_\_\_\_ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
68/4/11 73/10/19

جلد 39 شماره 3 پاییز 1404

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد  
مدیر مسئول: رضا ولی زاده  
سرمدیر: علی تهرانی فر  
اعضای هیئت تحریریه:

استاد - تغذیه نشخوارکنندگان (دانشگاه فردوسی مشهد)  
استاد - علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)

علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)  
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)  
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)  
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)  
علوم باغبانی (دانشگاه صنعتی اصفهان)  
بخش بیولوژی (دانشگاه کوپن کانادا)  
موسسه کشاورزی و غذا اوتاوا کانادا  
پژوهشگر مرکز جهانی اصلاح و تولید بذر سبزی تایوان  
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)  
علوم باغبانی (دانشگاه شیراز)  
علوم باغبانی (دانشگاه تهران)  
علوم باغبانی (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)  
گیاهان دارویی (دانشگاه فردوسی مشهد)  
علوم باغبانی (دانشگاه تهران)  
گروه علوم باغبانی دانشگاه آیداهوی آمریکا  
ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)  
گلکاری و مهندسی فضای سبز (دانشگاه تهران)  
فیزیولوژی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)  
دانشگاه کشاورزی و فناوری توکیو ژاپن

آرویی، حسین  
عابدی، بهرام  
تهرانی فر، علی  
شور، محمود  
حقیقی، مریم  
حسن زاده مبینی، سعید  
خانی زاده، شاهرخ  
خرزاعی، حمید  
داوری نژاد، غلامحسین  
راحی، مجید  
زمانی، ذبیح اله  
شریفانی، محمد مهدی  
عزیزی، مجید  
عبادی، علی  
فلاحی، اسماعیل  
فارسی، محمد  
کافی، محسن  
لاهوئی، مهرداد  
فوجی، یوشی هارو  
ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی 91775 صندوق پستی 1163 دانشکده کشاورزی - دبیرخانه نشریات علمی - نشریه علوم باغبانی نمابر: 8787430

پست الکترونیکی: Jhorts4@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jhs.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است .  
این نشریه به صورت فصلنامه (4 شماره در سال) چاپ و منتشر می شود.

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## مندرجات

- 361 بررسی تنوع ژنوتیپی گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) در ایران براساس میزان اسانس و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک  
بهزاد کاویانی - رعنا محمدی پور - داود هاشم آبادی - محمدحسین انصاری - رسول انسی نژاد - احمدرضا بریموندی
- 375 اثر کودهای آهن و اندازه ریزغده بر کیفیت غده سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)  
محسن پوراحمدی - رضا ضرغامی - مرجان دیانت - علی محمدی ترکاشوند
- 389 بهبود کیفیت و ماندگاری نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.) با استفاده از تیمارهای قبل و پس از برداشت ملاتونین  
سکینه ملانی محمدآبادی - سمیه رستگار
- 405 ارزیابی برخی از ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه در بعضی از ارقام انگور (*Vitis vinifera* L.)  
عبدالله گودرزی - مهرباد یادگاری - سید اصغر موسوی - سید حبیب الله نوربخش
- 423 مقایسه اثر اسانس نناع فلفلی (*Mentha × piperita* L.) به دو صورت آزاد و نانو کپسوله شده بر برخی خصوصیات فیزیوشیمیایی میوه گوجه فرنگی گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.)  
معصومه وکیلی قرطاول - حسین آروئی - شیوا گل محمدزاده - محبوبه ناصری - لیلا بندیان
- 443 پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد انگور رقم 'یاقوتی' (*Vitis vinifera* L.) در مراحل رشد به کم آبیاری  
منصور فاضلی رستم پور
- 457 تأثیر 24- اپی براسینولید بر ارزش غذایی و بازارپسندی میوه توت فرنگی رقم 'مونتری' (*Fragaria × ananasa* cv. Monterey)  
صفا محمد علی کاظم الجنابی، محمدرضا اصغری، پری زاهدی پور ششگلانی
- 473 ارزیابی تأثیر پذیری عملکرد کاهوی آیسبرگ (*Lactuca sativa* var. Bruma Rz) از برهم کنش بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی  
فاطمه احمدنیا - علی عبادی - مسعود هاشمی
- 491 ارزیابی تنوع ریخت شناختی و فنولوژیکی برخی ژنوتیپ های امیدبخش پسته (*Pistacia vera* L.) در باغستان سنتی قزوین  
پوریا کاکوند - علی سلیمانی - فرهنگ رضوی - گارت برار
- 507 اصلاح هندوانه (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum and Nakai) آجیلی: ارزیابی و گزینش از بین جمعیت های برخی نژادهای بومی  
کاظم حکم آبادی - سید حسین نعمتی - رضا توکل افشاری
- 527 تأثیر سطوح زغال زیستی بر رشد و برخی خصوصیات کیفی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تغذیه گوگردی  
محمد بهزاد امیری - وحید محمدزاده کاخکی - محمد حسین امینی فرد

## Investigation of Genotype Variation of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) in Iran Based on the Rate of Essence and some Morphologic and Physiologic Traits

B. Kaviani<sup>1\*</sup>, R. Mohammadipour<sup>1</sup>, D. Hashemabadi<sup>1</sup>, M.H. Ansari<sup>2</sup>, R. Onsinejad<sup>1</sup>, A.R. Berimavandi<sup>2</sup>

1- Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

(\*- Corresponding author's Email: [behzad.kaviani@iau.ac.ir](mailto:behzad.kaviani@iau.ac.ir))

Received: 29 April 2022

Revised: 19 July 2022

Accepted: 26 July 2022

Available Online: 26 July 2022

### How to cite this article:

Kaviani, B., Mohammadipour, R., Hashemabadi, D., Ansari, M.H., Onsinejad, R., & Berimavandi, A.R. (2025). Investigation of genotype variation of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) in Iran based on the rate of essence and some morphologic and physiologic traits. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 359-372. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76452.1167>

### Introduction

Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) is used as a multi-purpose species. The flower essential oil of this plant has many applications in various industries. There is a wide variety of morphological, phonological, flower shape, yield and yield of essential oils among genotypes and different populations of Damask rose in various ecological conditions in Iran. Evaluation of genetic diversity among Damask rose of Iran is important in order for breeding purposes. Some studies on phenotype, essential oil and genetic diversity were also carried out among different cultivars of rose flowers in other parts of the world. Significant diversity has been reported among the populations and genotypes of rose in different ecological conditions for many traits. Identifying superior species, cultivars and populations is important for commercial cultivation and more essential oil production. It is difficult to understand genetic diversity in roses because natural hybridization and spontaneous mutations with high abundance occurs in this plant. Morphological differences can be due to the geographical coordinates, natural hybridization and mutations. The purpose of this study was to investigate and compare the genetic variety of Damask rose in Guilan, Ilam, Golestan, Tehran and Kashan in order to introduce superior genotype based on essence content and some other morphological and physiological traits.

### Materials and Methods

Five genotypes of Damask rose including Kashan, Ilam, Golestan, Tehran and Guilan genotypes were evaluated as plant materials. Plant materials were collected from mentioned-above regions as root-sucker and transferred to the farm of Research Institute of Forests and Rangelands of the country. The experimental design used was a completely randomized block, which was performed with 3 replications and was considered for each 5-suckers' repetition (total: 75 suckers). In each replication, three specimens of each genotype were planted in pits with diameter and depth of 50-60 cm. The distance between scions per rows was 2.5 meters and row spacing from each other was 2 meters. During the experimental period, the bushes were irrigated using drip (trickle) irrigation method. The sampling was performed to measure morphological and physiological parameters after the blooms were opened in early May. Evaluated parameters were plant height, leaf length, leaf width, leaf area, petal number, stamen number, carpel number, fresh weight of petals, petal anthocyanin levels, petals essential oil



©2022 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76452.1167>



levels, chlorophyll content and leaf carotenoids. Data were analyzed by ANOVA and, if significant, Tukey analysis was used. SPSS software was employed for statistical analysis.

## Results and Discussion

The results showed that the highest amount of essential oil (0.042 and 0.038%) was extracted from the petals of Ilam and Kashan genotypes, respectively. The highest petal weight (2.70 and 2.30 g) was related to the petals of Ilam and Kashan genotypes, respectively. The highest petal length and width were obtained in these two genotypes. The largest number of petals (71.80 per each plant) was related to Guilan samples. The highest amount of chlorophyll a was related to Ilam genotype and the highest amount of chlorophyll b, carotenoids and anthocyanin was related to Kashan genotype. In the present study, rose flower genotypes collected from different parts of Iran showed significant diversity in relation to morphological and physiological properties, especially essence. The results of the present study showed that there was a significant correlation between the amount of essence in the petals and the weight and dimensions of the petals. Similar findings related to the correlation between flower yield and its components in roses flowers were presented in some studies. Some studies have shown that the weight of the flower has a very strong, positive and significant correlation with the flower yield. Despite the geographical distance between some genotypes, the high similarity coefficient between them may indicate the common origin or continuous and purposeful genotypes. On the other hand, the low similarity coefficient between genotypes proposes relatively low geographical connection and different primary origin. In the present study, there was a low correlation between the amount of essence in the petals and the weight and dimensions of the petals in the Ilam and Kashan genotypes with the Golestan and Guilan genotypes. Generative traits, including flower characteristics, are more suitable for genetic and evolutionary evaluations than vegetative traits. The results of some researchers in Iran and elsewhere in the world showed that flower yield per plant is associated with some other traits, including flower number, dimensions and weight of flowers, and the number of branches in the plant. The genetic analysis of rose flower genotypes showed that some genotypes collected from different areas are genetically relevant and some are separate. This subject shows effective role of ecological conditions in changing and variability of different species and varieties. The results indicated that the difference in the amount of essential oil compounds is mostly influenced by environmental and physiological factors.

## Conclusion

The morphological differences observed among the flower genotypes indicate the presence of valuable germplasm and a strong potential for trait improvement. These differences also demonstrate the feasibility of selecting superior genotypes using morphological markers to enhance flower yield within the country. Overall, the Ilam and Kashan genotypes are recommended as promising candidates for use in breeding programs.

## Acknowledgement

We thank Islamic Azad University, Rasht Branch for its assistance.

**Keyword:** Essential oils, Flower yield, Genetic variation, Rosaceae family, *Rosa damascena* Mill.

## بررسی تنوع ژنوتیپی گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) در ایران براساس میزان اسانس و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

بهزاد کاویانی<sup>۱\*</sup> - رعنا محمدی پور<sup>۱</sup> - داود هاشم آبادی<sup>۱</sup> - محمدحسین انصاری<sup>۲</sup> - رسول انسی نژاد<sup>۱</sup>

احمد رضا بریموندی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴

### چکیده

گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) به عنوان یک گونه گیاهی چند منظوره (خوراکی، دارویی، معطره و زینتی)، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و اسانس گل این گیاه کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارد. تنوع گسترده‌ای از نظر عملکرد گل و اسانس در بین ژنوتیپ‌های مختلف گل محمدی در شرایط متفاوت بوم‌شناختی در ایران مشاهده شده است. ارزیابی تنوع ژنتیکی در میان گل‌های محمدی ایران به منظور اصلاح ژنوتیپ‌های این گل‌ها با ویژگی‌های باغی مناسب حائز اهمیت زیادی است. در این پژوهش، تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های جمع‌آوری شده از استان‌های گیلان، ایلام، گلستان، تهران و کاشان به منظور معرفی ژنوتیپ برتر و بهره‌برداری از آن در برنامه‌های اصلاحی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد و برای هر تکرار ۵ پاجوش در نظر گرفته شد. نمونه‌ها از نظر عملکرد اسانس، تعداد حلقه‌های مختلف گل و ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک، بعد از باز شدن غنچه‌های گل در اوایل اردیبهشت ماه انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان اسانس (۰/۰۴۲ و ۰/۰۳۸ درصد)، به ترتیب از گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های آیلام و کاشان به دست آمد. بیشترین وزن گلبرگ (۲/۷۰ و ۲/۳۰ گرم)، به ترتیب مربوط به گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های آیلام و کاشان بود. بالاترین طول و عرض گلبرگ نیز در این دو ژنوتیپ به دست آمد. بیشترین تعداد گلبرگ (۷۱/۸۰ در هر بوته) مربوط به نمونه‌های گیلان بود. بالاترین میزان کلروفیل a، مربوط به ژنوتیپ آیلام و بالاترین میزان کلروفیل b، کاروتنوئید و آنتوسیانین، مربوط به ژنوتیپ کاشان بود. در مجموع، ژنوتیپ‌های آیلام و کاشان به دلیل عملکرد بالا در تولید اسانس و اغلب صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی به عنوان ژنوتیپ‌های برتر و ذخایر توارثی مناسب برای برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌شوند. گسترش رویشگاه‌های گل محمدی اطلاعات مفیدی را برای تولید انبوه در آینده و مدیریت منابع ژنتیکی فراهم می‌نماید.

**واژه‌های کلیدی:** اسانس‌ها، تنوع ژنتیکی، خانواده گل سرخ، عملکرد گل، *Rosa damascena* Mill.

### مقدمه

بسیاری از کشورها از جمله ایران، بلغارستان، ترکیه و هندوستان و در شرایط اقلیمی مختلف کشت می‌شود. این گونه حاصل دورگ‌گیری *R. gallica* و *R. phoenicea* است (Kumar Pal, 2013). تنوع گسترده‌ای از نظر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکرد گل، بازده و عملکرد اسانس در بین ژنوتیپ‌های مختلف گل محمدی در ایران وجود دارد. شناسایی ژنوتیپ‌های برتر براساس مقایسه صفات فوق برای تولید اسانس بیشتر با کیفیت بهتر، همچنین برای برنامه‌های اصلاحی حائز اهمیت است. پژوهش حاضر با تکیه بر مقایسه این صفات در ژنوتیپ‌های گل محمدی در پنج استان، مبادرت به معرفی

گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.)، از خانواده گل سرخیان (Rosaceae)، یکی از مهم‌ترین گونه‌های جنس *Rosa* با ارزش زینتی، دارویی، خوراکی و بهداشتی-آرایشی است که به منظور تولید روغن‌های ضروری (اسانس‌ها) استفاده می‌شود. این گونه در

۱- گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

(Email: behzad.kaviani@iau.ac.ir)

(\*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76452.1167>

ژنوتیپ‌های برتر به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت این گونه کرده‌است. جنس *Rosa* به‌طور طبیعی در سراسر نواحی معتدله نیمکره شمالی گسترش یافته‌است (Kumar Pal, 2013). از گل محمدی، به‌عنوان گل ملی ایران نام برده می‌شود. از این جنس، ۱۴ گونه اصلی، هشت دورگ و سه گونه مشکوک در ایران گزارش شده‌است (Yousefi et al., 2021). از نظر عادت گل‌دهی، دو نوع تابستانه و پاییزه وجود دارد (Pirseyedi et al., 2005). انواع تابستانه به‌دلیل داشتن اسانس بیشتر با عطر قوی‌تر، در باغ‌های تجاری رز در مناطق مختلف ایران کشت می‌شوند. اسانس این گل خاصیت آنتی‌اکسیدان دارد (Yousefi, 2019). با توجه به اهمیت این گونه، سطح زیر کشت آن در ایران افزایش روزافزونی پیدا کرده‌است (Sefidkon, 2017). تنوع قابل توجهی در بین جمعیت‌های گل محمدی در شرایط مختلف اکولوژیک برای برخی صفات از جمله صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد و اسانس وجود دارد (Tabaei-Aghdaei et al., 2005; Yousefi, 2019). عملکرد گل تحت کنترل تعدادی ژن قرار دارد و عوامل محیطی روی آن تأثیرگذار است. شناسایی اجزای عملکرد و تنوع موجود می‌تواند مبنای گزینش ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد گل و اسانس باشد (Haghi Kashani et al., 2012).

سه نوع نشانگر برای ارزیابی تفاوت‌ها و شباهت‌ها بین افراد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد: نشانگرهای مورفولوژیک (فنوتیپی)، نشانگرهای بیوشیمیایی (پروتئین‌ها به‌ویژه آنزیم‌ها) و نشانگرهای مولکولی (DNA). برخی پژوهش‌ها در زمینه بررسی تنوع ژنتیکی گل محمدی با استفاده از عملکرد گل و نشانگرهای مورفولوژیک در مناطق مختلف ایران انجام شده‌است (Kodori & Tabaei-Aghdaei, 2007; Haghi Kashani et al., 2012; Yousefi, 2019). بررسی تنوع در ترکیب شیمیایی اسانس ۲۵ ژنوتیپ گل محمدی کشت‌شده در استان کرمانشاه نشان داد که براساس چهار روند متفاوت برای این ترکیب‌های شیمیایی، ژنوتیپ‌ها نیز در چهار گروه قرار می‌گیرند (Yousefi et al., 2016). در پژوهشی، اسانس نمونه‌های مختلف گل محمدی استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل بیانگر وجود تنوع در ترکیب‌های اسانس نواحی مختلف بود (Jaymand et al., 2004). نتایج بررسی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده این گل از نقاط مختلف کشور نشان از وجود تنوع در صفات ریخت‌شناختی و عملکردی و نوع اسانس داشت (Tabaei-Aghdaei et al., 2005). مطالعه روی ۲۶ ژنوتیپ گل محمدی جمع‌آوری‌شده از استان‌های کرمان، اصفهان، فارس، آذربایجان شرقی و خراسان رضوی نشان داد که ۱۴ ژنوتیپ در یک گروه واحد قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده نزدیکی ژنتیکی آن‌ها به یکدیگر است (Kiani et al., 2010). شناسایی ژنوتیپ‌های گل محمدی در منطقه کاشان با مقایسه صفات مورفولوژیک نشان داد که

این ژنوتیپ‌ها خصوصیات مورفولوژیک یکسان دارند (Davazdah-Emami, 2002). از طرف دیگر، مقایسه این ژنوتیپ‌ها در سطح وسیع‌تری از کشور با استفاده از پنج صفت مورفولوژیک تنوع این صفات را نشان داد (Tabaei-Aghdaei et al., 2007). مطالعه روی ۳۷ ژنوتیپ غیربومی و ۱۲ ژنوتیپ بومی گل محمدی استان کردستان نشان داد که عوامل بوم‌شناختی تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات گل و اسانس دارد. در ادامه این تحقیقات، نتایج بررسی عملکرد گل و اجزای آن در ۱۲ ژنوتیپ محلی گل محمدی استان کردستان نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد (Yousefi, 2019). در ژنوتیپ‌های مختلف استان کرمان، اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد و اجزای عملکرد گل مشاهده شد (Kodori & Tabaei-Aghdaei, 2007). در چندین پژوهش مختلف، تنوع زیادی از نظر بازده و عملکرد اسانس در نمونه‌های مختلف گل محمدی گزارش شد (Batooli & Safaie-Ghomi, 2012; Yousefi & Jaimand, 2019; Yousefi, 2019). بنابراین، به نظر می‌رسد که موقعیت جغرافیایی و بوم‌شناختی و شرایط آب‌وهوایی نقش مؤثری در تنوع ژنتیکی گیاهان دارند و این موضوع می‌تواند زمینه‌ساز اقدامات اصلاحی باشد.

برخی مطالعات روی تنوع فنوتیپ، تنوع اسانس و تنوع ژنتیکی در میان ارقام مختلف این گل در سایر نقاط جهان نیز انجام شده‌است (Rusanov et al., 2013). بررسی خصوصیات گل ژنوتیپ‌های مختلف رز (*Rosa alba* L.) در مرکز پژوهش رزها در بلغارستان، حضور دو فنوتیپ مجزا را آشکار کرد که به‌طور معنی‌داری از نظر ویژگی‌های گل از جمله وزن گل و تعداد گلبرگ متفاوت بودند (Rusanov et al., 2013). نتایج اغلب این مطالعات نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف، صفات فنوتیپی (به‌ویژه وزن گل، تعداد گلبرگ و مقدار و اجزای تشکیل‌دهنده اسانس) متفاوتی داشتند. همچنین، تنوع قابل توجهی در بین جمعیت‌ها و ژنوتیپ‌های گل محمدی در شرایط مختلف بوم‌شناختی ایران از نظر بسیاری از صفات از جمله خصوصیات و عملکرد گل و نیز مقدار اسانس گزارش شده‌است. شناسایی گونه‌ها، ارقام و جمعیت‌های برتر به‌منظور کشت تجاری و تولید اسانس بیشتر، حائز اهمیت است.

تنوع ژنتیکی، ویژگی یک جمعیت است که در آن افراد، صفات ژنتیکی مختلفی را نشان می‌دهند. درک تنوع ژنتیکی در جنس رز به‌دلیل دورگ‌گیری‌های طبیعی و جهش‌های خودبخودی مشکل است. از آنجایی که گل‌های محمدی ایران برخی تنوع‌های مورفولوژیک را نشان می‌دهند، مشخص نیست که منشأ مواد گیاهی از چه تعداد ژنوتیپ مشتق می‌شود. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از مختصات جغرافیایی محل رویش آن‌ها باشد یا می‌تواند حاصل

گردید و درب آن بسته شد. لوله‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی نگهداری شدند. سپس محلول با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی جدا گردید و میزان جذب در طول موج ۵۵۰ نانومتر اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

(۱)

$$\left( \frac{e \times b \times c}{d \times a} \right) \times 100 = \text{آنتوسیانین (میلی گرم بر 100 گرم وزن خشک)}$$
 که در آن، e: وزن نمونه، b: اندازه نمونه، c: محلول کل، d: حجم نمونه برداشته شده و a: عدد قرائت‌شده توسط اسپکتروفتومتر هستند.

### میزان اسانس گلبرگ

از دستگاه کلونجر با روش تقطیر با آب برای اندازه‌گیری میزان اسانس یا روغن‌های ضروری گلبرگ‌ها استفاده شد. در هر تکرار، تعداد ۱۰ گل انتخاب گردیدند.

### میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ

از هر تکرار، سه برگ به‌طور تصادفی انتخاب شدند و مقدار کلروفیل آن‌ها با استفاده از کلروفیل‌متر و مقدار کاروتنوئید از طریق روش ول‌بورن (Lichtenthaler & Buschmann, 2001) به دست آمد. مقدار ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی قرار داده شد و با استفاده از ازت مایع کاملاً ساییده شد. مقدار ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد نیز به آن اضافه گردید. محلول حاصل با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول با کاغذ صافی صاف گردید و با آب مقطر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس مقداری از محلول داخل بالن قرار گرفت و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر به‌طور جداگانه در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، طول موج ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید قرائت شد.

$$(۲) \quad \text{کلروفیل (میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ)} = 7.18 \times A_{663} + 17.32 \times A_{645}$$

مقدار کلروفیل خوانده‌شده توسط دستگاه کلروفیل‌متر با استفاده از معادله ۳ به‌میزان واقعی تبدیل گردید.

$$(۳) \quad \text{کلروفیل (میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ)} = 0.1751$$

عدد خوانده شده توسط کلروفیل‌متر ×

$$\text{کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ)} = 4.69 \times A_{660} - 0.268 \times (20.2) A_{645} + (8.02) A_{665}$$

### اجزاء گل

دورگ‌گیری‌های طبیعی و جهش‌ها باشد. بنابراین، مشخص شدن تنوع ژنتیکی در میان گل‌های محمدی ایران به‌منظور اصلاح ژنوتیپ‌های این گل‌ها با ویژگی‌های باغی مناسب اهمیت زیادی دارد. بررسی منابع آشکار کرد که گزارشی در ارتباط با مقایسه ژنوتیپی گل محمدی در پنج استان گیلان، ایلام، گلستان، تهران و کاشان وجود ندارد. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، بررسی و مقایسه تنوع ژنوتیپی گل محمدی در این استان‌ها به‌منظور معرفی ژنوتیپ برتر و بهره‌برداری از آن در برنامه‌های اصلاحی و اقتصادی، براساس میزان اسانس و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دیگر بود.

### مواد و روش‌ها

#### مواد گیاهی و طرح آزمایشی

تعداد پنج ژنوتیپ گل محمدی شامل ژنوتیپ‌های کاشان، ایلام، گلستان، تهران و گیلان به‌عنوان مواد گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مواد گیاهی به‌صورت پاجوش در اواخر پاییز از مناطق فوق جمع‌آوری شدند و به مزرعه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (۱۵ کیلومتری شمال غربی تهران با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا) منتقل گردید. طرح مورد استفاده، طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی بود که در سه تکرار اجرا شد و برای هر تکرار پنج پاجوش (در مجموع: ۷۵ پاجوش) در نظر گرفته شد. نحوه کاشت ژنوتیپ‌ها به‌صورتی بود که در هر تکرار، سه نهال از هر نمونه در داخل چاله‌هایی با قطر و عمق ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر کاشته شدند. فاصله بین نهال‌ها در هر ردیف، ۲/۵ متر و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر، دو متر در نظر گرفته شد. در طول دوره آزمایش، بوته‌ها با استفاده از روش قطره‌ای، آبیاری شدند. عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز در مواقع لازم انجام شد. بعد از بازشدن غنچه‌ها در اوایل خرداد ماه، نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک صورت گرفت.

#### اندازه‌گیری شاخص‌ها

##### وزن تر گلبرگ

گلبرگ‌ها بعد از باز شدن گل در هر بوته، جدا شدند و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

#### میزان آنتوسیانین گلبرگ

آنتوسیانین گلبرگ‌ها به‌روش ونگر (Timberlake, 1980) اندازه‌گیری شد. یک گرم از بافت تازه گلبرگ با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی به‌خوبی ساییده شد و عصاره حاصل به لوله آزمایش منتقل

در پایان زمان گل‌دهی، از هر بوته، سه گل به‌طور تصادفی انتخاب شدند و تعداد گلبرگ‌های آن‌ها شمارش شد. میانگین گلبرگ هر سه گل به‌عنوان تعداد گلبرگ در یک تکرار در نظر گرفته شد. تعداد پرچم و برچه هر گل شمارش گردید و میانگین تعداد سه پرچم و برچه به‌عنوان تعداد اجزاء گل هر تکرار تعیین شد.

### ارتفاع بوته

در پایان دوره رشد، در ابتدای خرداد، اندازه هر بوته از کف شاخه اصلی تا انتهای بوته اندازه‌گیری شد.

### طول، عرض و سطح برگ

از هر تکرار، به‌طور تصادفی شش برگ از سه نقطه متفاوت از بوته‌های هر تکرار انتخاب شدند و طول، عرض و سطح آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین گرفته شد. برای اندازه‌گیری طول و عرض برگ از خط‌کش و برای اندازه‌گیری سطح برگ از سطح‌برگ‌سنج استفاده شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها به‌وسیله آزمون ANOVA انجام شد و در صورت معنی‌دار بودن، از آزمون توکی برای مقایسه میانگین داده‌های معنی‌دار استفاده شد. برای تحلیل آماری از برنامه نرم‌افزاری SPSS استفاده شد. به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه خوشه‌ای (آنالیز کلاستر) با استفاده از نرم‌افزار SAS به‌روش Ward انجام شد.

### نتایج

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های مورد مقایسه از نظر همه صفات مورد مطالعه بود. بر این اساس، بین ژنوتیپ‌های گل محمدی مورد بررسی از لحاظ صفات تعداد گلبرگ، وزن گلبرگ، طول گلبرگ، عرض گلبرگ، ارتفاع بوته، طول برگ، سطح برگ، تعداد پرچم، تعداد برچه، میزان اسانس گلبرگ، مقدار کلروفیل برگ، مقدار کاروتنوئید برگ و مقدار آنتوسیانین گلبرگ، اختلاف معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) مشاهده شد.

### تعداد، وزن، طول و عرض گلبرگ

بیشترین تعداد گلبرگ (۷۱/۸۰) در ژنوتیپ 'گیلان' و کمترین تعداد آن (۳۴/۶۰) در ژنوتیپ 'تهران' شمارش شد (جدول ۲). بین تعداد گلبرگ در ژنوتیپ‌های 'ایلام' و 'گلستان' تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین وزن گلبرگ (۲/۷۰ گرم)، طول گلبرگ (۳/۸۰ سانتی‌متر) و عرض گلبرگ (۳/۹۰ سانتی‌متر) از ژنوتیپ 'ایلام' به دست آمد. کمترین وزن گلبرگ (۱/۳۰ گرم) نیز از ژنوتیپ 'گلستان' حاصل

شد. طول گلبرگ (۳/۳۰ سانتی‌متر) در ژنوتیپ 'کاشان' نیز بالا بود. کمترین طول گلبرگ (۲/۳۰ سانتی‌متر) و عرض گلبرگ (۱/۹۰ سانتی‌متر) در ژنوتیپ 'گیلان' اندازه‌گیری شد. بین ژنوتیپ‌های 'تهران'، 'کاشان' و 'گلستان' از نظر شاخص عرض گلبرگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱ و ۲). جدول همبستگی بین صفات مختلف (جدول ۳) نشان داد که تعداد گلبرگ با ارتفاع بوته، سطح برگ، عرض گلبرگ و وزن گلبرگ همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) داشت. همبستگی این صفت با کلروفیل a و b و تعداد برچه قوی، مثبت و معنی‌دار ( $p \leq 0.05$ ) بود. وزن گلبرگ نیز با سطح برگ و عرض گلبرگ همبستگی مثبت را نشان داد. عرض گلبرگ با ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن گلبرگ، تعداد گلبرگ و اسانس گلبرگ همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین طول گلبرگ با طول برگ و تعداد پرچم همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری نشان داد. همبستگی بین طول گلبرگ با کلروفیل a و آنتوسیانین گلبرگ نیز قوی، مثبت و معنی‌دار بود.

### ارتفاع بوته و طول و سطح برگ

ارتفاع بوته (۱۵۲ و ۱۴۸ سانتی‌متر)، به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های 'ایلام' و 'گلستان' بالاتر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود. ارتفاع بوته (۹۲ سانتی‌متر) در ژنوتیپ 'تهران' پایین‌تر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۲). بالاترین طول برگ (۱۴/۲۰ سانتی‌متر) در ژنوتیپ 'تهران' و بالاترین سطح برگ (۶۸/۷۰ میلی‌متر) در ژنوتیپ 'ایلام' مشاهده شد. ژنوتیپ 'گیلان' با طول برگ ۹/۸۰ سانتی‌متر و سطح برگ ۴۲/۷۰ میلی‌متر، کمترین طول و سطح را بین ژنوتیپ‌های مختلف داشت (جدول ۲). ارتفاع بوته با کلروفیل a، طول برگ، آنتوسیانین گلبرگ، عرض گلبرگ و تعداد گلبرگ همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین طول برگ با کلروفیل a و b، ارتفاع بوته، طول گلبرگ، آنتوسیانین گلبرگ، تعداد پرچم و تعداد برچه همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری بین سطح برگ با وزن گلبرگ، تعداد گلبرگ و عرض گلبرگ مشاهده شد (جدول ۳).

### تعداد پرچم و برچه

تعداد پرچم (۵۲/۶۰) و تعداد برچه (۴۳/۸۰) در ژنوتیپ 'گیلان' کمتر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود. از طرف دیگر، بیشترین تعداد پرچم (۱۱۰/۷۰) و برچه (۹۳/۵۰)، به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های 'گلستان' و 'تهران' شمارش گردید (جدول ۲). همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری بین تعداد پرچم با طول گلبرگ و برگ مشاهده شد. همبستگی بین تعداد پرچم با کلروفیل a نیز مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۳). این

جدول همچنین نشان می‌دهد که همبستگی بین تعداد برچه با قوی، مثبت و معنی‌دار بود.

کلروفیل a و b، طول برگ، آنتوسیانین گلبرگ و تعداد گلبرگ بسیار

جدول ۱- تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی در ژنوتیپ‌های مختلف گل محمدی  
Table 1-The ANOVA of some morphological and biochemical traits for different Damask rose genotypes

| منبع تغییرات<br>S.O.V     | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean squares |                        |                        |                           |                                |                                              |                                              |                       |                                |                                |                                 |                                  |                                  |                                    |
|---------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|                           |                     | کاروتنوئید<br>Carotenoid       | کلروفیل<br>b<br>Chl. b | کلروفیل<br>a<br>Chl. a | طول برگ<br>Leaf<br>length | ارتفاع بوته<br>Plant<br>height | اسانس<br>گلبرگی<br>Petal<br>essential<br>oil | آنتوسیانین<br>گلبرگی<br>Petal<br>anthocyanin | سطح برگی<br>Leaf area | تعداد پرچه<br>Pistil<br>number | تعداد پرچم<br>Stamen<br>number | عرض<br>گلبرگی<br>Petal<br>width | طول<br>گلبرگی<br>Petal<br>length | وزن<br>گلبرگی<br>Petal<br>weight | تعداد<br>گلبرگی<br>Petal<br>number |
| ژنوتیپ<br>Genotype        | 4                   | 6.19**                         | 15.40**                | 21.80**                | 212.05**                  | 962.10**                       | 0.80**                                       | 0.31**                                       | 300.10**              | 1294.30**                      | 14.82**                        | 1.75**                          | 65.50**                          | 2.08**                           | 614.60**                           |
| خطا<br>Error              | 10                  | 0.052                          | 1.33                   | 0.806                  | 1.55                      | 20.8                           | 0.00006                                      | 0.0079                                       | 10.71                 | 16.05                          | 1.003                          | 0.089                           | 0.604                            | 0.022                            | 1.001                              |
| ضریب<br>تغییرات<br>CV (%) | -                   | 1.67                           | 9.44                   | 3.75                   | 10.29                     | 3.69                           | 22.91                                        | 9.68                                         | 5.74                  | 6.76                           | 1.11                           | 11.25                           | 24.84                            | 7.60                             | 2.08                               |

\*\* : معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

\*\* : Significant at the 0.01 probability level



جدول ۲- برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی در ژنوتیپهای مختلف گل محمدی  
Table 2- Some morphological and biochemical traits for different Damask rose genotypes

| ژنوتیپ<br>Genotype | کاروتنوئید<br>Carotenoid<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) | کلروفیل b<br>Chlorophyll b<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) | کلروفیل a<br>Chlorophyll a<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) | طول برگ<br>Leaf<br>length<br>(cm) | ارتفاع بوته<br>Scion<br>height<br>(cm) | اسانس<br>گلبرگ<br>Petal<br>essential oil<br>(%) | آنتوسیانین گلبرگ<br>Petal<br>anthocyanin<br>( $\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ ) | سطح<br>برگ<br>Leaf<br>area<br>(mm) | تعداد<br>برچه<br>Pistil<br>number | تعداد پرچم<br>Stamen<br>number | عرض<br>گلبرگ<br>Petal<br>width<br>(cm) | طول<br>گلبرگ<br>Petal<br>length<br>(cm) | وزن<br>گلبرگ<br>Petal<br>weight<br>(g) | تعداد<br>گلبرگ<br>Petal<br>number |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|
| ایلام<br>Ilam      | 13.04b*                                                         | 9.50c                                                             | 25.42a                                                            | 10.00c                            | 152.00a                                | 0.042a                                          | 0.50c                                                                           | 68.70a                             | 58.58b                            | 95.40c                         | 3.90a                                  | 3.80a                                   | 2.70a                                  | 42.65c                            |
| گلستان<br>Golestan | 13.05b                                                          | 11.55b                                                            | 24.56ab                                                           | 12.70b                            | 148.00a                                | 0.024c                                          | 0.48c                                                                           | 55.40c                             | 55.54b                            | 110.70a                        | 2.55ab                                 | 3.14ab                                  | 1.30b                                  | 40.60c                            |
| گیلان<br>Guilan    | 12.34c                                                          | 11.90b                                                            | 23.77b                                                            | 9.80c                             | 120.00b                                | 0.031b                                          | 0.78b                                                                           | 42.70d                             | 43.80c                            | 52.60d                         | 1.90b                                  | 2.30b                                   | 1.50b                                  | 71.80a                            |
| تهران<br>Tehran    | 13.64ab                                                         | 12.65b                                                            | 22.80d                                                            | 14.20a                            | 92.00d                                 | 0.034ab                                         | 1.03a                                                                           | 60.60b                             | 93.50a                            | 93.20c                         | 2.40ab                                 | 3.10ab                                  | 1.95ab                                 | 34.60d                            |
| کاشان<br>Kashan    | 15.98a                                                          | 15.69a                                                            | 23.00c                                                            | 12.80b                            | 105.00c                                | 0.038a                                          | 1.21a                                                                           | 57.20c                             | 44.90c                            | 100.10b                        | 2.50ab                                 | 3.30a                                   | 2.30ab                                 | 50.54b                            |

\* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف همسان نیستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی، تفاوت معنی‌دار دارند.  
\* Means with different letters on the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ) based on Tukey test.

جدول ۳- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده گل محمدی  
Table 3- The correlation between measured traits of *Rosa damascena* Mill.

|                                       | کاروتنوئید<br>Carotenoid | کلروفیل b<br>Chlorophyll b | کلروفیل a<br>Chlorophyll a | طول برگ<br>Leaf length | ارتفاع بوته<br>Scion height | اسانس گلبرگ<br>Petal essential oil | آنتوسیانین گلبرگ<br>Petal anthocyanin | سطح برگ<br>Leaf area | تعداد پرچه<br>Pistil number | تعداد پرچم<br>Stamen number | عرض گلبرگ<br>Petal width | طول گلبرگ<br>Petal length | وزن گلبرگ<br>Petal weight | تعداد گلبرگ<br>Petal number |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| کاروتنوئید<br>Carotenoid              | 1.000                    |                            |                            |                        |                             |                                    |                                       |                      |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| کلروفیل b<br>Chlorophyll b            | -0.273                   | 1.000                      |                            |                        |                             |                                    |                                       |                      |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| کلروفیل a<br>Chlorophyll a            | -0.723**                 | 0.751**                    | 1.000                      |                        |                             |                                    |                                       |                      |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| طول برگ<br>Leaf length                | -0.484**                 | 0.755**                    | 0.895**                    | 1.000                  |                             |                                    |                                       |                      |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| ارتفاع بوته<br>Scion height           | -0.850**                 | 0.216                      | 0.761**                    | 0.460**                | 1.000                       |                                    |                                       |                      |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| اسانس گلبرگ<br>Petal essential oil    | -0.712**                 | 0.083                      | 0.203                      | 0.078                  | 0.258                       | 1.000                              |                                       |                      |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| آنتوسیانین گلبرگ<br>Petal anthocyanin | -0.803**                 | 0.755**                    | 0.961**                    | 0.873**                | 0.690**                     | 0.421*                             | 1.000                                 |                      |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| سطح برگ<br>Leaf area                  | 0.078                    | 0.184                      | -0.180                     | -0.466**               | -0.092                      | 0.142                              | -0.148                                | 1.000                |                             |                             |                          |                           |                           |                             |
| تعداد پرچه<br>Pistil number           | -0.076                   | 0.970**                    | 0.568**                    | 0.618**                | -0.018                      | 0.037                              | 0.590**                               | 0.283                | 1.000                       |                             |                          |                           |                           |                             |
| تعداد پرچم<br>Stamen number           | -0.028                   | 0.009                      | 0.353*                     | 0.594**                | 0.217                       | -0.410*                            | 0.229                                 | 0.922*<br>*          | -0.112                      | 1.000                       |                          |                           |                           |                             |
| عرض گلبرگ<br>Petal width              | -0.669**                 | -0.156                     | 0.135                      | -0.278                 | 0.594**                     | 0.622**                            | 0.206                                 | 0.507*<br>*          | -0.252                      | -0.576**                    | 1.000                    |                           |                           |                             |
| طول گلبرگ<br>Petal length             | -0.058                   | 0.182                      | 0.429*                     | 0.719**                | 0.145                       | -0.297                             | 0.350*                                | 0.915*<br>*          | 0.079                       | 0.968**                     | -0.646**                 | 1.000                     |                           |                             |
| وزن گلبرگ<br>Petal weight             | 0.115                    | -0.048                     | -0.203                     | -0.556**               | 0.099                       | -0.142                             | -0.282                                | 0.886*<br>*          | -0.003                      | -0.723**                    | 0.546**                  | -0.828**                  | 1.000                     |                             |
| تعداد گلبرگ<br>Petal number           | -0.215                   | 0.417*                     | 0.353*                     | -0.016                 | 0.457**                     | -0.096                             | 0.245                                 | 0.750*<br>*          | 0.372*                      | -0.477**                    | 0.511**                  | -0.528**                  | 0.839**                   | 1.000                       |

\*\* و \* : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵.  
\*\* and \* : Significant at the 0.01 and 0.05 probability level, respectively

## اسانس گلبرگ

در بررسی انجام شده روی اسانس گلبرگ، از نظر آماری بین ژنوتیپ‌های مختلف گل محمدی اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تفاوت‌ها قابل توجه بودند. بیشترین مقدار اسانس (۰/۰۴۲ و ۰/۰۳۸ درصد)، به ترتیب از گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های آیلام و کاشان، استحصال شد. از طرف دیگر، کمترین مقدار اسانس (۰/۰۲۴ درصد)، از گلبرگ‌های ژنوتیپ گلستان به دست آمد (جدول ۲). اسانس گلبرگ با عرض گلبرگ همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌دار و با آنتوسیانین گلبرگ همبستگی قوی، مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۳).

## رنگدانه‌های برگ و گلبرگ

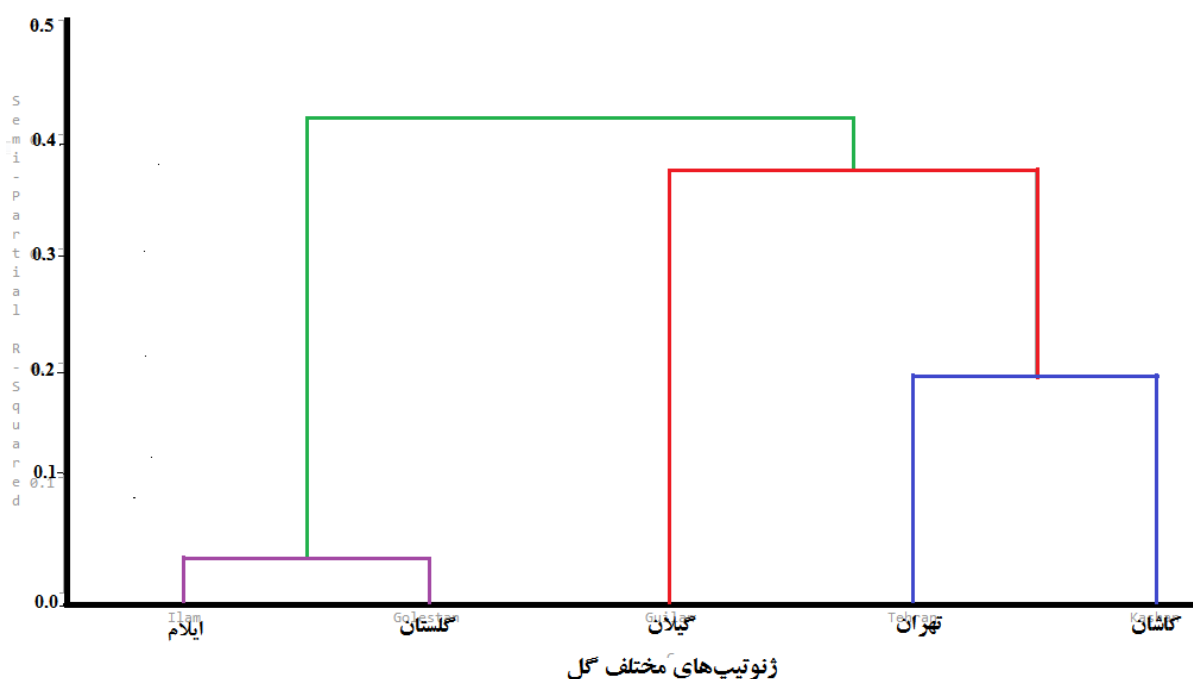
نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتنوئید برگ و آنتوسیانین گلبرگ نشان از برتری ژنوتیپ کاشان داشت (جدول ۲). بنابراین، بالاترین مقدار کلروفیل b (۱۵/۶۹ میکروگرم بر گرم)، کاروتنوئید (۱۵/۹۸ میکروگرم بر گرم) و آنتوسیانین (۱/۲۱ میکرومول بر گرم) مربوط به ژنوتیپ کاشان بود. پایین‌ترین غلظت کلروفیل b (۹/۵۰ میکروگرم بر گرم) مربوط به ژنوتیپ آیلام و پایین‌ترین غلظت کاروتنوئید (۱۲/۳۴ میکروگرم بر گرم) مربوط به ژنوتیپ گیلان بود. ژنوتیپ‌های گلستان و آیلام، به ترتیب با غلظت ۰/۴۸ و ۰/۵۰ میکرومول بر گرم، کمترین غلظت آنتوسیانین را در گلبرگ داشتند. بالاترین غلظت کلروفیل a (۲۵/۴۲ میکروگرم بر گرم)، مربوط به ژنوتیپ آیلام و پایین‌ترین غلظت آن (۲۲/۸۰ میکروگرم بر گرم) مربوط به ژنوتیپ تهران بود. جدول همبستگی صفات (جدول ۳) نشان داد که کلروفیل a با تعداد گلبرگ، طول گلبرگ و تعداد پرچم همبستگی قوی، مثبت و معنی‌دار ( $p \leq 0.05$ ) و با کلروفیل b، طول برگ، ارتفاع بوته، آنتوسیانین گلبرگ و تعداد برچه همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) داشت. کلروفیل b با چهار صفت (کلروفیل a، طول برگ، آنتوسیانین گلبرگ و تعداد برچه) همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌دار و با یک صفت (تعداد گلبرگ) همبستگی قوی، مثبت و معنی‌داری داشت. همبستگی بین آنتوسیانین گلبرگ با کلروفیل a و b، طول برگ، ارتفاع بوته و تعداد برچه، بسیار قوی، مثبت و معنی‌دار و با اسانس گلبرگ و طول گلبرگ همبستگی قوی، مثبت و معنی‌داری داشت.

دندروگرام تجزیه خوشه‌ای با روش Ward (شکل ۱)، پنج ژنوتیپ گل محمدی را براساس شاخص‌های اندازه‌گیری شده در سه گروه قرار داد. در گروه اول؛ ژنوتیپ‌های گلستان و آیلام، در گروه دوم؛ ژنوتیپ گیلان و در گروه سوم؛ ژنوتیپ‌های تهران و کاشان قرار داشتند. ژنوتیپ‌های گروه اول از نظر شاخص‌های میزان کاروتنوئید، میزان

آنتوسیانین، ارتفاع بوته، تعداد گلبرگ و تعداد برچه در مقایسه با سایر گروه‌ها به هم نزدیک‌تر بودند. ژنوتیپ گروه دوم از نظر شاخص‌های تعداد پرچم، تعداد گلبرگ طول گلبرگ، عرض گلبرگ نسبت به گروه‌های اول و سوم متمایز بود. این تمایز در اغلب این شاخص‌ها کاملاً معنی‌دار است. ژنوتیپ‌های گروه سوم از نظر شاخص‌های میزان اسانس گلبرگ، میزان کلروفیل b، کاروتنوئید، میزان آنتوسیانین، وزن گلبرگ، عرض گلبرگ، طول برگ و سطح برگ در مقایسه با سایر گروه‌ها به هم نزدیک‌تر بودند.

## بحث

پنج ژنوتیپ گل محمدی براساس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک با یکدیگر مقایسه شدند. صفات مورفولوژیک به‌میزان بالایی به شرایط محیطی وابسته هستند، اما صفات فیزیولوژیک کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند. ترکیب این صفات انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را قابل اعتمادتر می‌کند. در پژوهش حاضر، ژنوتیپ‌های گل محمدی جمع‌آوری شده از نواحی مختلف ایران، تنوع قابل توجهی را در ارتباط با ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک به‌ویژه مقدار اسانس نشان دادند. گل، ارزشمندترین اندام گیاهی در برنامه‌های به‌نژادی است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقدار اسانس در گلبرگ‌های ژنوتیپ‌های آیلام و کاشان بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. این دو ژنوتیپ همچنین از وزن و ابعاد گلبرگ بالاتری برخوردار بودند. یافته‌های مشابه در ارتباط با همبستگی بین عملکرد گل و اجزاء آن در گل محمدی در برخی مطالعات مشاهده گردید (Kodori & Tabaei-Aghdaei, 2007; Yousefi & Jaimand, 2019; Yousefi, 2018). تعداد گل در بوته، وزن تر هر گل و تعداد گل در هر شاخه می‌تواند معیار انتخاب مناسبی برای بهبود عملکرد گل در ژنوتیپ‌های گل محمدی باشند (Zeinali et al., 2007). این محققان نشان دادند که وزن گل در هر بوته با عملکرد گل در بوته همبستگی بسیار قوی، مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین، همبستگی بین تعداد گل و عملکرد آن مثبت، معنی‌دار و متوسط بود. یافته‌های پژوهش حاضر، نتایج به‌دست‌آمده توسط این محققان را تأیید می‌کند. علی‌رغم فاصله جغرافیایی بین برخی ژنوتیپ‌ها، ضریب تشابه بالا بین آن‌ها ممکن است نشان از منشأ مشترک یا گزینش‌های مداوم و هدفمند ژنوتیپ‌ها داشته باشد. از طرف دیگر، ضریب تشابه پایین بین ژنوتیپ‌ها، ارتباط جغرافیایی نسبتاً کم و منشأ اولیه متفاوت را پیشنهاد می‌کند (Pirseyedi et al., 2005). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین مقدار اسانس و وزن و ابعاد گلبرگ‌ها در ژنوتیپ‌های آیلام و کاشان و ژنوتیپ‌های گلستان و گیلان همبستگی پایینی وجود داشت.



شکل ۱- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گل محمدی در تجزیه خوشه‌ای با استفاده از میزان اسانس و برخی صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی (رنگدانه‌ها) براساس روش Ward

Figure 1- Grouping of *Rosa damascena* Mill. genotypes in cluster analysis using essence content and some morphologic and biochemical (pigments) traits based on Ward method

براساس ویژگی‌های مورفولوژیک ارائه شده است (Tabaei-Aghdaei & Rezaei, 2003; Tabaei-Aghdaei *et al.*, 2003; Tabaei-Aghdaei *et al.*, 2004a, b; Jaymand *et al.*, 2004; Yousefi *et al.*, 2005; Babaei *et al.*, 2007; Tabaei-Aghdaei *et al.*, 2007; Yousefi *et al.*, 2009; Kiani *et al.*, 2010; Yousefi, 2019). وجود تنوع و تفاوت بین صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های مختلف، زمینه لازم را برای اقدامات اصلاحی از جمله انتخاب ژنوتیپ برتر و دورگ‌گیری فراهم می‌کند. در ارزیابی قرابت و دوری بین ژنوتیپ‌های مختلف با یکدیگر، در طبقه‌بندی براساس نظام فیلوژنتیک، صفات زایشی مانند ویژگی‌های گل از ارزش بیشتری نسبت به صفات رویشی مانند ویژگی‌های برگ برخوردار هستند. علت اصلی این برتری این است که صفات زایشی کمتر از صفات رویشی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند. بررسی همبستگی بین صفات از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا هنگامی که برای صفتی گزینش انجام می‌شود، لازم است به تأثیر آن صفت بر صفات دیگر توجه شود (Haghi Kashani *et al.*, 2012). بهبود توأم همه صفات مناسبی که با یکدیگر همبستگی مثبت دارند، گام بلندی در اصلاح نباتات است. تعداد، ابعاد و وزن گلبرگ، مهم‌ترین اجزاء عملکرد گل هستند و گزینش مستقیم روی این صفات

ارزیابی تنوع ریخت‌شناختی ژنوتیپ‌های گل محمدی ایران (استان‌های فارس، اصفهان، کرمان، آذربایجان شرقی و خراسان رضوی) نشان داد که تفاوت بین نمونه‌ها در نمونه‌های استانی که دارای فاصله جغرافیایی بیشتری بودند، مشهودتر بود (Kiani *et al.*, 2010). طبایعی عقدائی و همکاران (Tabaei-Aghdaei *et al.*, 2007) نیز در یافته‌های خود براساس مقایسه پنج صفت ریخت‌شناختی در بین ژنوتیپ‌های گل محمدی تفاوت‌های بارزی را بین ژنوتیپ‌های مربوط به استان‌های شمالی (گیلان، مازندران و گلستان) در مقایسه با سایر استان‌ها با توجه به شرایط متمایز آب‌وهوایی این مناطق گزارش کردند. بررسی همبستگی بین صفات و یافتن همبستگی بالا بین صفات مهم‌تر، ارزش بالایی در برنامه‌های اصلاحی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر دارد. بهبود توأم همه صفاتی که همبستگی مثبتی با عملکرد دارند، در بهبود عملکرد مؤثر بوده است (Zeinali *et al.*, 2007).

شناسایی دقیق ژنوتیپ‌ها، پیش‌نیاز بهره‌برداری کامل از آن‌ها است. مبنای انتخاب این ژنوتیپ‌ها، میزان عملکرد کمی و کیفی گل می‌باشد که به‌عنوان ارزشمندترین اندام گیاه در برنامه‌های اصلاحی و به‌نژادی به شمار می‌رود (Kodori & Tabaei-Aghdaei, 2007). برخی گزارش‌ها در ارتباط با مقایسه ژنوتیپ‌های گل محمدی

همراه با میزان اسانس می‌تواند منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا شود.

مطالعه روی ۲۰ ژنوتیپ گل محمدی آشکار کرد که عملکرد گل در هر بوته به‌طور مستقیم با تعداد گل در هر بوته و تعداد شاخه در گیاه مرتبط است. همچنین، تعداد گل در هر بوته، تعداد گل در هر شاخه و تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه به‌عنوان مهم‌ترین اجزاء تشکیل‌دهنده عملکرد گل در بوته در نظر گرفته می‌شوند (Singh & Kayiyar, 2001). آنالیز بیومتریکی گل ۳۸ ژنوتیپ رز از مجموعه منابع ژنتیکی موجود در یکی از مناطق بلغارستان، حضور دو فنوتیپ مجزای گل را آشکار کرد که به‌طور معنی‌داری از نظر وزن گل، تعداد گلبرگ و تعداد بساک متفاوت بودند (Rusanov et al., 2013). نتایج این پژوهش همانند نتایج پژوهش حاضر، تفاوت معنی‌داری را بین اسانس‌های ژنوتیپ‌های مختلف نشان داد، اگرچه فراوانی برخی ترکیبات اسانس در دو گروه مجزا، متفاوت بود. این تفاوت در اسانس به‌منظور تولید صنعتی مواد گیاهی با کیفیت حائز اهمیت است. آنالیز تنوع ژنتیکی ۱۲ ژنوتیپ گل محمدی در ایران نشان داد که برخی ژنوتیپ‌های جمع‌آوری‌شده از نواحی مختلف، از نظر ژنتیکی با یکدیگر مرتبط و برخی نسبت به یکدیگر مجزا هستند (Pirseyedi et al., 2005). این موضوع نقش مؤثر شرایط بوم‌شناختی در تغییر و تنوع ژنوتیپی گونه‌ها و ارقام مختلف را نشان می‌دهد. مطالعه روی ۲۶ ژنوتیپ جمع‌آوری‌شده از استان‌های فارس، اصفهان، کرمان، آذربایجان شرقی و خراسان رضوی نشان داد که ۱۴ ژنوتیپ در یک گروه قرار داشتند که نشان‌دهنده شباهت ژنتیکی تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های گل محمدی جمع‌آوری‌شده از استان‌های فارس، اصفهان و کرمان بود (Kiani et al., 2010). بررسی تنوع ژنتیکی ۱۲ ژنوتیپ محلی گل محمدی در استان کردستان نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد گل و اجزاء آن (ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد، طول، عرض، قطر و وزن گل و گلبرگ) اختلاف معنی‌داری وجود داشت که می‌تواند زمینه اقدامات اصلاحی برای بهبود عملکرد گل را فراهم نماید (Yousefi, 2019). در این بررسی مشخص شد که عملکرد گل با تعداد گل، ارتفاع گیاه، تعداد، طول و عرض برگ، قطر گل، وزن تر و خشک گل و گلبرگ همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد.

مطالعه مورفولوژیک و فنولوژیک روی ۲۰ ژنوتیپ گل محمدی جمع‌آوری‌شده از نقاط مختلف ایران نشان داد که بین برخی از صفات مورد مطالعه مانند تعداد گل در بوته و عملکرد گل، رابطه مثبت قوی وجود داشت (Haghi Kashani et al., 2012). تغییر صفات تعداد

گل در بوته و وزن تر هر گل، ۹۴ درصد تغییرات عملکرد گل در بوته را توجیه می‌کند. تعداد گل در بوته، بالاترین اثر مستقیم را بر عملکرد دارد. طبق نظر این محققان، تعداد گل در بوته و وزن تر گل می‌تواند به‌عنوان معیار مناسب برای عملکرد گل در هر ژنوتیپ گل محمدی در نظر گرفته شوند. در بررسی صفات عملکردی، مورفولوژیک و فنولوژیک ۴۸ ژنوتیپ این گل از سراسر ایران مشخص شد که اختلاف بین همه صفات مورد بررسی در بین سال‌های آزمایش و در بین ژنوتیپ‌های مختلف معنی‌دار بود (Yousefi et al., 2021). در ژنوتیپ‌های مختلف گل محمدی استان کرمان، اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد و اجزاء عملکرد گل مشاهده شد (Kodori & Tabaei, 2007). نتایج تجزیه خوشه‌ای روی ۲۵ ژنوتیپ این گل کشت‌شده در استان کرمانشاه آن‌ها را در چهار ژنوتیپ مجزا قرار داد (Yousefi et al., 2016). نتایج حاکی از آن بود که تفاوت در مقدار ترکیبات اسانس، بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی و فیزیولوژیک قرار دارد. ارزیابی عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌ها در استان کرمان نشان داد که ژنوتیپ 'رفسنجان' از نظر عملکرد گل نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری دارد (Kodori & Tabaei-Aghdaei, 2007). برخی مطالعات، تنوع قابل‌توجهی را در بازده اسانس و عملکرد اسانس در نمونه‌های مختلف گل محمدی نشان داده است (Batooli & Safaie-Ghomi, 2012; Yousefi & Jaimand, 2018). تفاوت ریخت‌شناختی بین ژنوتیپ‌های مختلف این گل نشان‌دهنده وجود ژرمپلاسم و ظرفیت مناسب برای بهبود صفات و امکان گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از مارکرهای مورفولوژیک در جهت افزایش عملکرد گل در کشور است (Tabaei-Aghdaei et al., 2005).

### نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که بین ژنوتیپ‌های 'گیلان'، 'ایلام'، 'گلستان'، 'تهران' و 'کاشان' از لحاظ همه صفات مورد اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری وجود داشت. این اختلاف می‌تواند زمینه لازم را برای اقدامات اصلاحی در جهت بهبود عملکرد گل فراهم کند. ژنوتیپ‌های با مقدار اسانس بالا در گلبرگ، دارای وزن و ابعاد گلبرگ بالاتری بودند. در مجموع، ژنوتیپ‌های ایلام و کاشان به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر برای برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌شوند.

## References

1. Babaei, A., Tabaei-Aghdaei, S.R., Khosh-Khui, M., Omidbaigi, R., Naghavi, M.R., Esselink, G.D., & Smulders, M.J.M. (2007). Microsatellite analysis of Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) accessions from various regions in Iran reveals multiple genotypes. *BMC Plant Biology*, 7, 12–19. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-7-12>
2. Batooli, H., & Safaie-Ghomi, J. (2012). Comparison of flower constituents of three *Rosa damascena* Mill. genotypes in Kashan region. *Journal of Medicinal Plants*, 11(9), 157–166. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.2717204.2012.11.42.35.3>
3. Davazdah-Emami, S. (2002). Identification of *Rosa damascena* cultivars in Kashan. Final Report of Research Project, Agricultural Research Center, Isfahan, Iran. (In Persian).
4. Haghi Kashani, A., Arab, M., Tabaei Aghdaei, S.R., Zeinali, H., & Roozban, M.R. (2012). The relationship between flower yield and yield components in Damask roses (*Rosa damascena* Mill.) in different region of Iran. *Journal of Crops Improvement*, 14(1), 13–19. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2012.25040>
5. Jaymand, K., Rezaei, M.B., Tabaei Aghdaei, S.R., & Barazandeh, M.M. (2004). Evaluation of rose essential oil of different areas of Isfahan province. *Pajooresh & Sazandagi*, 65, 86–91. (In Persian).
6. Kiani, M., Zamani, Z., Khalighi, A., Fattahi Moghaddam, M.R., & Kiani, M.R. (2010). Collection and evaluation of morphological diversity of Damask rose genotypes of Iran. *Iranian Horticultural Science Journal*, 41(3), 223–233. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.2008482.1389.41.3.2.0>
7. Kodori, M.R., & Tabaei-Aghdaei, S.R. (2007). Collection and evaluation of morphological diversity of Damask rose genotypes of Iran. *Iranian Horticultural Science Journal*, 23(1), 100–110. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.2008482.1389.41.3.2.0>
8. Kumar Pal, P. (2013). Evaluation, genetic diversity, recent development of distillation method, challenges and opportunities of *Rosa damascena*: A Review. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.764176>
9. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids - Extraction, Isolation and Purification. Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA), (Supplement 1), Unit F4.2.1-F4.2.6 (2001) (John Wiley, New York).
10. Pirseyedi, M., Mardi, M., Davazdahemami, S., Kermani, M., & Mohamadi, A. (2005). Analysis of the genetic diversity of 12 Iranian Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) genotypes using amplified fragment length polymorphism markers. *Iranian Journal of Biotechnology*, 3, 225–230. (In Persian).
11. Rusanov, K., Kovacheva, N., Rusanova, M., & Atanassov, I. (2013). Flower phenotype variation, essential oil variation and genetic diversity among *Rosa alba* L. accessions used for rose oil production in Bulgaria. *Scientia Horticulturae*, 161, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.010>
12. Sefidkon, F. (2017). The necessity of using cultivars and genotypes of *Rosa damascena*. *Journal of Nature of Iran*, 3(4), 88.
13. Singh, S.P., & Kayiyar, R.S. (2001). Correlation and path analysis for flower yield in *Rosa damascena* Mill. *Herb, Spices and Medicinal Plants*, 8(1), 43–51. [https://doi.org/10.1300/J044v08n01\\_06](https://doi.org/10.1300/J044v08n01_06)
14. Tabaei-Aghdaei, S.R., Babaei, A., Khosh-Khui, M., Jaimand, K., Rezaei, M.B., Assareh, M.H., & Naghavi, M.R. (2007). Morphological and oil content variations amongst Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) landraces from different regions of Iran. *Scientia Horticulturae*, 113, 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.010>
15. Tabaei-Aghdaei, S.R., & Rezaei, M.B. (2003). Study of flower yield variation in *Rosa damascena* L. genotypes of Kashan. *Iranian Journal of Rangeland and Forest Plant Breeding and Genetic Resources*, 9, 111–122. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2002.115795>
16. Tabaei-Aghdaei, S.R., Rezaei, M.B., & Jaimand, K. (2003). Evaluation of genetic variation in floral parts and essential oils concentration of *Rosa damascena* genotypes collected from Kashan/Iran. *Iranian Journal of Rangeland and Forest Plant Breeding and Genetic Resources*, 11, 219–247. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2003.115510>
17. Tabaei-Aghdaei, S.R., Soleimani, E., Jafari, A.A., & Rezaei, M.B. (2004a). Evaluation of flower yield and morphological characteristics of *Rosa damascena* Mill genotypes from west parts of Iran, using multivariate analysis. *Iranian Journal of Rangeland and Forest Plant Breeding and Genetic Resources*, 12, 203–220. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2004.115471>
18. Tabaei-Aghdaei, S.R., Sahebi, M., Jafari, A.A., & Rezaei, M.B. (2004b). Evaluation of flower yield and morphological characteristics of 11 *Rosa damascena* Mill. using multivariate analysis. *Iranian Journal of Medicine and Aromatic Plants*, 20, 199–211. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2004.115471>

19. Tabaei-Aghdaei, S.R., Soleimani, E., & Jafari, A.A. (2005). Evaluation of morphological variation in *Rosa damascena* Mill genotypes from six central province of Iran. *Iranian Journal of Medicine and Aromatic Plants*, 21, 233–246. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2005.115190>
20. Timberlake, C.F. (1980). Anthocyanins-occurrence, extraction and chemistry. *Food Chemistry*, 5(1), 69–80. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(80\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(80)90065-5)
21. Yousefi, B. (2019). Evaluation of genetic diversity of flower yield and its components in 12 local genotypes of *Rosa damascena* Mill. in Kurdistan province. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 723–732. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.259075.1454>
22. Yousefi, B., Ghasempoor, H.R., Yousefi, B., Tabaei Aghdaie, S.R., & Jaimand, K. (2016). Variations in chemical components of essential oils in 25 accessions of damask rose (*Rosa damascena* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(1), 98–114. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106140>
23. Yousefi, B., & Jaimand, K. (2018). Chemical variation in the essential oil of Iranian *Rosa damascena* landraces under semi-arid and cool conditions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 5(1), 81–92. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2018.256329.234>
24. Yousefi, B., Tabaei-Aghdaei, S.R., & Amiri, A. (2021). Study on yield and flower yield components, essential oil percentage, and some morphological and phonological traits in 48 different accessions of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) in Kermanshah province. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(4), 612–627. (In Persian).
25. Yousefi, B., Tabaei-Aghdaei, S.R., & Assareh, M.H. (2005). Study of cutting rhizogenesis and sapling growth variation in *Rosa damascena* genotypes in Kurdistan. *Iranian Journal of Rangeland and Forest Plant Breeding and Genetic Resources*, 13, 1–27. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2005.115212>
26. Yousefi, B., Tabaei-Aghdaei, S.R., Darvish, F., & Assareh, M.H. (2009). Flower yield performance and stability of various *Rosa damascena* Mill. landraces under different ecological conditions. *Scientia Horticulturae*, 121(3), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.02.004>
27. Zeinali, H., Tabaei Aghdaei, S.R., Askarzadeh, M., Kianipour, A., & Abtahi, S.M. (2007). Study of relationship between flower function and components in *Rosa damascena* genotypes. *Science-Research Periodical of Fragrant and Medicinal Herbs in Iran*, 23(2), 195–203. (in Persian).



## Effect of Iron Fertilizers and Tuber Size on the Quality of Potato Tuber (*Solanum tuberosum* L.)

M. Pourahmadi<sup>1</sup>, R. Zargami<sup>2</sup>, M. Diyanat<sup>1\*</sup>, A. Mohammadi Torkashvand<sup>1</sup>

1- Department of Agricultural Science and Engineering, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Agricultural Biotechnology Research Institute, Karaj, Iran

(\*- Corresponding author's Email: [0383713072@iau.ir](mailto:0383713072@iau.ir))

Received: 30 April 2024

Revised: 26 January 2025

Accepted: 17 March 2025

Available Online: 17 March 2025

### How to cite this article:

Pourahmadi, M., Zargami, R., Diyanat, M., & Mohammadi Torkashvand, A. (2025). Effect of iron fertilizers and tuber size on the quality of potato tuber (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 373-386. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.87850.1340>

### Introduction

Iron is an essential element for plants, playing a crucial role in the structure of many oxidation and reduction enzymes and in the synthesis of chlorophyll. Its importance in nitrogen fixation and enzyme activity has been well-documented. However, in calcareous soils, such as those in Iran, non-chelated forms of iron are not effective in providing iron to plants and soil microorganisms. The use of iron chelates is considered the best solution to address iron chlorosis, particularly in alkaline soils. Excessive use of chemical fertilizers has led to the alkalization of large agricultural areas, causing challenges such as reduced absorption of micronutrients, including iron. This experiment was designed to evaluate the effects of different particle sizes of micronutrients, including iron oxide and iron chelate nanofertilizers, on tuber quality. The potatoes used in this study were cultivated from seedlings produced through tissue culture.

### Materials and Methods

A factorial experiment was conducted using a completely randomized design with three replications at the greenhouse of the Agricultural Research Institute of Hamadan during 2018–2019 and 2019–2020. The experimental factors included: microtuber weight at three levels of 1-3, 3-5 and 5-10 g and different iron fertilizers at seven levels of Zero, 20  $\mu$ mol iron chelate in the form of soil consumption, 20  $\mu$ mol nano iron oxide in the form of soil consumption, foliar spraying of 1% iron chelate, foliar spraying of 2% iron chelate, foliar spraying of 1% nano iron oxide and foliar spraying of 2% nano iron oxide. The iron chelate fertilizer (Fe-EDDHA 7%) was sourced from Khadra Company and is water-soluble, with plant absorption at pH levels of 3–11. Nano iron oxide with a purity of 98% was obtained from Pishgaman Nano Materials, an Iranian company. Data analysis was performed using SAS statistical software. Bartlett's test was used to check data normality, and means were compared using Duncan's Multi-Range Test at a 5% probability level.

### Results and discussion

The results of the comparison of the mean number of eyes in the microtuber under the influence of the size of the tuber and iron fertilizer showed that the lowest number of eyes per tuber (3.18 eyes) was in the absence of application of iron fertilizer in the tuber 1-3 g and the highest number of eyes in the tuber (4.24 eyes) was in the application of 20  $\mu$ mol iron chelate was obtained in microtuber 10-5 g. The results indicated that the number of tuber eyes, as well as iron, protein, and amino acid contents (alanine, glycine, methionine, and lysine), increased with the weight of the microtubers. Iron fertilizers had no significant effect on protein levels in microtubers weighing 1–3 g or 3–5 g. However, in 5–10 g microtubers, the highest protein contents (4.67%, 4.81%, 5.16%,



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.87850.1340>



5.4%, and 5.67%) were observed with treatments of 2% iron chelate, 1% iron chelate, 2% nano iron oxide, 20  $\mu\text{mol}$  nano iron oxide, and 20  $\mu\text{mol}$  iron chelate, respectively. There was no significant effect of iron fertilizers on alanine in 5–10 g microtubers. In 1–3 g microtubers, treatments with 20  $\mu\text{mol}$  iron chelate, 20  $\mu\text{mol}$  nano iron oxide, 1% iron chelate, and 2% nano iron oxide resulted in the greatest increases in alanine levels. In 1–3 g microtubers, iron application did not significantly differ from the control. In 3–5 g microtubers, foliar spraying with 2% iron chelate increased methionine by 17.92%. For 5–10 g microtubers, the highest methionine levels (1.32 and 1.36  $\mu\text{mol.g}^{-1}$  FW) were observed with treatments of 20  $\mu\text{mol}$  iron chelate and 2% iron chelate. The maximum lysine levels (2.19, 2.43, and 2.49  $\mu\text{mol.g}^{-1}$  FW) were achieved with treatments of 20  $\mu\text{mol}$  iron chelate, 1% nano iron oxide (foliar spray), and 20  $\mu\text{mol}$  nano iron oxide, respectively, in 5–10 g microtubers.

## Conclusion

Nano iron oxide fertilizers were more effective than iron chelates in enhancing tuber quality. The nanoscale size of iron particles increases the number of reactive atoms, resulting in higher reactivity and efficiency. Consequently, the application of nano iron fertilizers requires less material while achieving superior results. The highest quality improvement of potato tuber was observed in microtubers of 5-10 g and foliar application of nano iron oxide fertilizer.

**Keywords:** Amino acid, Micro nutrient, Protein

## مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، ص. ۳۷۳-۳۸۶

اثر کودهای آهن و اندازه ریزغده بر کیفیت غده سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)محسن پوراحمدی<sup>۱</sup> - رضا ضرغامی<sup>۲</sup> - مرجان دیانت<sup>۱</sup>  - علی محمدی ترکاشوند<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷

## چکیده

به‌منظور بررسی اثر اندازه‌های مختلف ریزغده‌ها و کودهای نانواکسید آهن و کلات آهن بر کیفیت غده سیب‌زمینی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی همدان در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹ اجرا گردید. عوامل آزمایشی شامل سطوح وزنی ریزغده در سه سطح ۱-۳، ۵-۳ و ۱۰-۵ گرم و کودهای مختلف آهن در هفت سطح ۱- صفر، ۲- کلات آهن به‌صورت خاک کاربرد به‌میزان ۲۰ میکرومولار، ۳- نانواکسید آهن به‌صورت خاک کاربرد به‌میزان ۲۰ میکرومولار، ۴- محلول‌پاشی یک درصد کلات آهن ۵- محلول‌پاشی دو درصد کلات آهن، ۶- محلول‌پاشی یک درصد نانواکسید آهن و ۷- محلول‌پاشی نانواکسید آهن دو درصد بود. نتایج نشان داد که با افزایش وزن ریزغده‌ها، تعداد چشم روی غده و محتوای آهن، پروتئین و اسیدهای آمینه آلانین، گلیسین، متیونین و لیزین غده افزایش یافت. در ریزغده ۱-۳ گرم، بیشترین میزان اسید آمینه لیزین به‌میزان ۱/۷۶ میکرومول در گرم وزن‌تر از کاربرد دو درصد نانواکسید آهن حاصل شد. در ریزغده ۵-۳ گرم، بیشترین پروتئین به‌میزان ۴/۸۶ درصد در تیمار ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن حاصل شد. در ریزغده ۱۰-۵ گرم، بالاترین پروتئین به‌میزان ۴/۶۷، ۴/۸۱، ۵/۱۶، ۵/۴ و ۵/۶۷ درصد به ترتیب در تیمارهای دو درصد کلات آهن، یک درصد کلات آهن، دو درصد نانواکسید آهن، ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن و ۲۰ میکرومولار کلات آهن به دست آمد. بیشترین بهبود خصوصیات کمی و کیفی غده سیب‌زمینی در ریزغده‌های ۱۰-۵ گرم مشاهده شد. بنابراین محلول‌پاشی کود نانواکسید آهن (دو درصد) جهت افزایش وزن غده و محتوای آهن، پروتئین و اسیدهای آمینه در ریزغده‌های سیب زمینی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید آمینه، پروتئین، ریز مغذی

## مقدمه

با افزایش جمعیت، اهمیت کشاورزی برای تمام جوامع بشری بیش از هر زمان دیگری مشخص شده است. اولین و مهم‌ترین نیاز هر انسان، به مواد غذایی و عرضه مواد غذایی است که در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با کشاورزی می‌باشد. آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد بقاء گیاهان می‌باشد، زیرا برای فرایندهای فیزیولوژیکی و عملکرد صحیح متابولیک‌های چندان ضروری است (Grillet et al., 2014). در سال‌های اخیر، شکاف بین تقاضا و تولید مواد غذایی ناشی از افزایش جمعیت و کاهش اراضی قابل کشت در کره زمین به‌دلیل شهرنشینی افزایش یافته است. بنابراین، افزایش تولید محصولات

زراعی با حداقل خسارت زیست‌محیطی امری ضروری می‌باشد (Zhao et al., 2018).

ارزش غذایی سیب‌زمینی به‌دلیل داشتن هیدروکربن‌های قابل هضم و پروتئین‌های حاوی لیزین است که در بسیاری از محصولات مانند غلات و سبزیجات وجود ندارد. این محصول به‌دلیل داشتن متابولیت‌های اولیه و ثانویه نقش مهمی در فرایندهای متابولیک انسان دارد. اهمیت غذایی سیب‌زمینی تنها به‌دلیل انرژی‌زایی آن نبوده، بلکه این محصول حاوی مقادیر قابل توجهی ویتامین‌های B<sub>6</sub> و C، فیبر و مواد معدنی همانند آهن، منیزیم، روی و مس است. این گیاه از نظر کارایی کاربرد آب، عملکرد ماده خشک قابل کاربرد، مقدار پروتئین و مواد معدنی در واحد سطح بر غلات برتری دارد (Birch et al., 2012).

ریزغده سیب‌زمینی دارای قطر ۵ تا ۱۵ میلی‌متر می‌باشد و پتانسیل تولید یک گیاه کامل سیب‌زمینی را دارد. ریزغده‌های سیب-

۱- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج، ایران

(Email: 0383713072@iaui.ir)

(\*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.87850.1340>

زمینی، غده‌های عاری از ویروسی هستند که در یک محیط کنترل شده تحت شرایط بهداشتی مناسب، از گیاهچه‌های آزمایشگاهی، پس از انتقال به گلخانه، در تراکم زیاد تولید می‌شوند (Asghari & Fathi, 2010). ریزغده سیب‌زمینی نقش مهمی در سیستم تولید غده بذری آن دارد (Struik, 2007).

آهن یکی از عناصر ضروری اما کم‌کاربرد و کم‌تحرک برای گیاهان است. در بین همه ریزمغذی‌ها، گیاهان بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن، در ساختار بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیاء وجود دارد و برای سنتز کلروفیل مورد نیاز می‌باشد. نقش این عنصر در تثبیت نیتروژن و فعالیت برخی از آنزیم‌ها، به‌خوبی مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از آهن به شکل‌های غیرکلات به‌خصوص در خاک‌های آهکی ایران، تأثیر زیادی در فراهم آوردن آهن برای گیاه و ریزجانداران خاک ندارند. ترکیب کلات آهن، بهترین راه‌حل برای برطرف کردن کلروز آهن در همه خاک‌ها و به‌ویژه خاک‌های قلیایی است (Taiz & Zeiger, 2002). آهن دارای نقش کوآنزیمی در تعدادی از آنزیم‌های گیاهی نظیر دهیدروژناز، ردوکتاز و اکسیداز بوده و در سنتز یا تجمع ریبوزوم‌ها دخالت دارد. در صورت کمبود آهن، فعالیت این آنزیم‌ها کاهش می‌یابد (Havlin, 2016). با کاربرد عناصر آهن، فعالیت فوسفات‌تحرک می‌شود که منجر به افزایش ترکیبات شیمیایی مانند پروتئین می‌گردد (Zhang et al., 2022). مشخص شده است که بین غلظت پروتئین و غلظت آهن ارتباط نزدیک و مثبت وجود دارد (Mahil & Kumar, 2019). مقادیر کافی عناصر روی و آهن، جهت افزایش متابولیسم کربوهیدرات‌ها، DNA، RNA، سنتز روغن‌ها و پروتئین‌ها ضروری است و کاربرد و رفع کمبود این عناصر سبب بهبود واکنش‌های فیزیولوژیک دخیل در سنتز پروتئین‌ها می‌شود (Wang et al., 2020).

استفاده از محلول‌پاشی کودها به‌ویژه کودهای عناصر کم‌کاربرد، یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های کاربرد کود می‌باشد که در مقایسه با کاربرد خاکی آن هفت برابر کارایی بیشتری داشته و گیاه نیز واکنش سریع‌تری به آن نشان می‌دهد. دلیل این امر، تعادل در فرمولاسیون و کلاته شدن، دقت در زمان مناسب کاربرد کود، پخش یکنواخت محلول غذایی در سطوح برگ‌ها و کارایی بالا در جذب عناصر می‌باشد (Monsef-Afshar et al., 2012). کاربرد کود آهن بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکردهای دانه و کل، شاخص کلروفیل و جذب آهن و منگنز توسط دانه کلزا معنی‌دار بود (Mirzashahi et al., 2017). در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) مقدار پروتئین‌های محلول برگ، گلوکز، زایلوز پرولین و مانوز در کاربرد خاکی کلات آهن به بالاترین میزان خود رسید، اما بیشترین درصد آب نسبی برگ در محلول‌پاشی کلات آهن به دست آمد

(Fathi et al., 2015). با کاربرد آهن عملکرد غده، تعداد غده در بوته، ضخامت پوست غده و وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت (Jam et al., 2015). اظهار شده است که آهن می‌تواند از طریق طولانی کردن دوره پر شدن غده به افزایش وزن غده کمک نماید (Feng, 2022). کاربرد نانوذرات آهن در سیب‌زمینی افزایش ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد ساقه اصلی، تعداد غده در بوته، وزن متوسط غده، عملکرد غده، درصد ماده خشک و کاهش نیترات را به همراه داشت (Khodadadi-karooki et al., 2020). برخی پژوهشگران افزایش میزان اسیدآمینو لیزین را تحت تأثیر افزایش سطوح کود نیتروژن و عناصر ریزمغذی از جمله آهن مشاهده کردند (Aqiqi Shahvardi-Kandi et al., 2018). همچنین افزایش قابل توجه درصد اسیدآمینو لیزین سیب‌زمینی در اثر کاربرد نانوکودهای زیستی حاوی آهن مشاهده گردیده است (Hamzapour et al., 2014). با کاربرد عناصر ریزمغذی مثل آهن، کارایی گیاهان در استفاده از منابع نیتروژن افزایش یافته و منجر به افزایش ساخت اسیدآمینو‌هایی از جمله لیزین، متیونین و تریپتوفان می‌گردد (Monsef-Afshar et al., 2012).

متأسفانه کودهای شیمیایی قابلیت بالایی در آلوده‌سازی خاک، آب و هوا دارند، بنابراین در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی در جهت تأمین نهاده‌های مربوط به کشاورزی صورت گرفته است. برای کاهش مشکلات ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی، استفاده از فرم نانو برای عناصر کم کاربرد مطرح شده است (Naderi & Danesh-Shahraki, 2013). با توجه به قلیایی شدن سطح وسیعی از خاک‌های زراعی به‌دلیل استفاده بیش از اندازه کودهای شیمیایی و مشکل جذب عناصر ریزمغذی شبیه آهن، هدف از این آزمایش، اثر اندازه‌های مختلف ریزغده‌ها و کودهای نانوآکسید آهن و کلات آهن بر کیفیت غده‌های سیب زمینی حاصل از گیاهچه‌های حاصل از کشت بافت بود.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی همدان در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سطوح وزنی ریزغده در سه سطح ۱-۳، ۵-۳ و ۱۰-۵ گرم و کودهای مختلف آهن در هفت سطح ۱-، صفر، ۲- کلات آهن به‌صورت خاک کاربرد به‌میزان ۲۰ میکرومولار، ۳- نانوآکسید آهن به‌صورت خاک کاربرد به‌میزان ۲۰ میکرومولار، ۴- محلول‌پاشی کلات آهن یک درصد ۵- محلول‌پاشی کلات آهن دو درصد، ۶- محلول‌پاشی نانوآکسید آهن یک درصد و ۷- محلول‌پاشی نانوآکسید

۱۸ تا ۲۰ درجه سلسیوس در شب و ۲۶ تا ۲۸ درجه در روز تأمین گردید. رطوبت گلخانه نیز ۶۵-۶۰ درصد بود. پس از استقرار کامل بوته، محلول پاشی در دو مرحله به فاصله ۱۵ روز (اولین مرحله پس از استقرار کامل بوته BBCH= 13) انجام شد. زمان محلول پاشی اوایل صبح بود که تا حد امکان از اثرات نامطلوب نور خورشید جلوگیری به عمل آید. در این آزمایش از کود کلات آهن (Fe-EDDHA) هفت درصد) شرکت خضراء که قابل جذب برای گیاه در pH بین ۳ و ۱۱ و کاملاً محلول در آب است، استفاده گردید. همچنین نانواکسید آهن از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد، این کود دارای خلوص ۹۸ درصد، اندازه ذرات ۴۰-۲۰ نانومتر، سطح ویژه ۶۰-۴۰ مترمربع در گرم، رنگ قرمز قهوه‌ای، فاز بلور منفرد و شکل بلور کروی بود. نانوذرات اکسید آهن پس از کاشت و زمانی که بوته‌ها استقرار پیدا کردند با استفاده از سم پاش دستی در دو مرحله به فاصله ۱۵ روز به مقدار لازم برای هر جعبه کشت توزین و پای بوته‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ۰/۱۶ گرم از این ماده با آب مقطر دو بار تقطیر در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مخلوط حاصل ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک با توان ۱۰۰ وات و فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به منظور پراکنده شدن ذرات قرار گرفتند. سپس یک مگنت مغناطیسی درون محلول قرار داده شد و به مدت ۶۰ دقیقه روی دستگاه همزن قرار گرفت تا مانع چسبیدن نانوذرات شود. از این محلول برای ساخت مقدار استفاده شد. برای ساخت دو میکرومولار یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون را در یک لیتر آب حل و به خاک اضافه شد (Prasad et al., 2012). در طی مراحل رشد، دو مرحله خاک‌دهی پای بوته‌ها صورت پذیرفت، مرحله اول زمانی که ارتفاع بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود و مرحله دوم در زمان گل‌دهی بوته‌ها انجام شد. در طول دوره رشد به منظور مهار آفات و بیماری‌ها، قبل از مرحله گل‌دهی مخلوط دیازینون (به نسبت ۱/۵ در هزار) و متاسیتوکس (به نسبت یک در هزار) برای مهار شته و آگروتیس به کار برده شد.

#### صفات مورد بررسی

در پایان آزمایش، بوته‌ها پس از رسیدگی محصول برداشت شدند. وزن غده در هر بوته (متوسط چهار غده) و تعداد چشم‌های هر غده اندازه‌گیری و یادداشت گردید.

پروتئین به روش برادفورد (Bradford, 1976) محاسبه شد. بدین شکل که در ابتدا داخل لوله آزمایش پنج میلی‌لیتر معرف بیوره ریخته و سپس به آن ۱۰۰ میکرولیتر عصار آنزیمی اضافه کرده و بلافاصله لوله‌های آزمایش، ورتکس شده و در ادامه میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به دست آمد. برای اندازه‌گیری غلظت آهن، نمونه‌های پودر شده به روش

آهن دو درصد (Ardashiri & Jahanbin, 2018) بود. در این تحقیق از ریزغده‌های حاصل از کشت بافت رقم 'سانته' موجود در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج استفاده شد.

#### نحوه اجرای آزمایش

ریزغده‌ها حدود ۲۰ روز قبل از کاشت از سردخانه (چهار درجه سلسیوس) خارج و ابتدا در جعبه در تاریکی در دمای ۱۵-۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفته تا جوانه‌ها فعال شوند، به طوری که در زمان کاشت، ریزغده‌ها از نظر سن فیزیولوژیک در شرایط سنی جوانه‌زنی معمولی ۱-۱/۵ سانتی‌متری و دارای ۳-۵ جوانه سبز بودند. پس از ضدعفونی گلخانه، جعبه‌های کشت نیز شسته و با سدیم هیپوکلریت ضدعفونی گردید. سپس وزن خالی آن‌ها اندازه‌گیری شد. محیط کشت که ترکیبی از پیت ماس و پرلیت و با نسبت ۳:۱ (پرلیت: پیت‌ماس) مخلوط شده ضدعفونی گردید. سپس داخل جعبه‌های کشت با عمق ۲۰ سانتی‌متر در ابعاد ۳۰ در ۵۰ سانتی‌متر به مقدار مساوی (۲۰ کیلوگرم) از محیط کشت ریخته شد. درون هر کدام از جعبه‌ها پنج ریزغده رقم سانته کشت گردید. گلدان‌ها به مدت چهار ماه در شرایط گلخانه‌ای در دمای مناسب (۲۰/۱۵ درجه سلسیوس شب/روز) نگهداری شدند. آبیاری محیط کشت تا حد اشباع انجام شد. برای تعیین رطوبت ظرفیت زراعی، پس از گذشت حدود ۲۴ ساعت از زمان آبیاری، تمام جعبه‌های کشت وزن شدند. وزن خالی جعبه‌ها و وزن محیط کشت داخل آن‌ها از مقدار وزن به دست آمده کم شد، در این صورت وزن به دست آمده بیانگر مقدار آب موجود در بستر کشت و در جعبه‌های کشت در وضعیت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد. جعبه‌های کاشت به صورت مرتب پس از هر ۲۴ ساعت وزن شده و مطابق با کاهش وزن (۱۰ درصد) و رسیدن به میزان مورد نظر از ظرفیت مزرعه‌ای (۹۰ درصد) براساس میزان آب مورد نیاز مجدداً آبیاری شدند (Parvizi & Navaei, 2019). شرایط محیط گلخانه از نظر نور و دما به صورت خودکار تنظیم شد. در دو ماه اول کاشت و قبل از غده‌زایی، طول روز با ۱۶ ساعت تنظیم شد و دوره نوری بیشتر با روشن نمودن لامپ‌های سدیمی فشار بالا به صورت خودکار به وسیله زمان‌سنج مرکزی تأمین شد. در دو ماه آخر دوره رشد، طول روز معمولی ۱۲ ساعته و کمتر برقرار شد. در ارتباط با شدت نور با توجه به پوشش گلخانه، شدت نوری معادل ۲۰ تا ۲۲ هزار لوکس قابل دریافت بود، اما در روزهای ابری و بارانی با روشن کردن لامپ‌های سدیمی فشار بالا (با توزیع دو عدد لامپ ۲۵۰ وات) در هر ۱۰ مترمربع از سطح گلخانه) و تأمین شدت نوری معادل ۵۰۰۰ لوکس به‌ازاء هر لامپ، کمبود نور در گلخانه جبران شد. دمای داخلی گلخانه با تنظیم سیستم تهویه مطبوع و حرارت مرکزی در محدوده

استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### وزن غده در بوته

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اندازه ریزغده، آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر وزن غده در بوته تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۱). بیشترین وزن غده در بوته در ریزغده ۱-۳ گرم ( $40.5/23$  گرم) مربوط به کاربرد ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن، در ریزغده ۵-۳ گرم ( $44.4/61$  گرم) مربوط به محلول‌پاشی دو درصد کلات آهن و در ریزغده ۱۰-۵ گرم ( $55.6/92$ ،  $54.4/52$ ،  $48.2/60$  و  $46.5/82$  گرم) مربوط به تیمارهای ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن، محلول‌پاشی دو درصد نانواکسید آهن، محلول‌پاشی یک درصد نانواکسید آهن و محلول‌پاشی دو درصد کلات آهن بود (جدول ۲). استفاده از کود آهن باعث جذب بهتر سایر عناصر غذایی پرکاربرد در مرحله زایشی می‌گردد که از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده مخزن می‌باشد. به عبارت دیگر، افزایش کاربرد این عنصر موجب رفع محدودیت‌های عناصر غذایی برای گیاه شده و بازده فتوسنتزی و تولید گیاه را افزایش می‌دهد و موجب افزایش تعداد غده می‌شود (Gomaa et al., 2020). آهن می‌تواند از طریق طولانی کردن دوره پر شدن غده به افزایش وزن غده کمک نماید (Timsina, 2013). وزن غده همبستگی معنی‌داری با تعداد چشم روی غده ( $r=0.491^{**}$ )، محتوای آهن ( $r=0.642^{**}$ )، پروتئین ( $r=0.732^{**}$ )، آلانین ( $r=0.69^{**}$ )، گلايسين ( $r=0.457^{**}$ )، متیونین ( $r=0.421^{**}$ ) و لیزین ( $r=0.729^{**}$ ) داشت (جدول ۳). در مطالعات پژوهشگران بسیاری نیز افزایش عملکرد و برخی از اجزاء عملکرد با استفاده از نانوکودهای ماکرو و میکرو گزارش شده است (Bakhtiari et al., 2015).

### تعداد چشم در غده

همان‌طور که از نتایج تجزیه مرکب مشهود است، اثر اندازه ریزغده و کودهای آهن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد چشم در غده معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین تعداد چشم در غده تحت تأثیر اندازه ریزغده و کود آهن نشان داد که کمترین تعداد چشم در غده به میزان ۳/۱۸ چشم در عدم کاربرد کود آهن در ریزغده ۱-۳ گرم و بیشترین تعداد چشم در غده به میزان ۴/۲۴ چشم در کاربرد ۲۰ میکرومولار کلات آهن در ریزغده ۱۰-۵ گرم حاصل گردید (جدول ۲).

خشک‌سوزانی هضم و غلظت عناصر در عصاره هضم‌شده با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری شد (Paech & Tracey, 2013). برای اندازه‌گیری میزان تجمع آهن در غده، نمونه‌های مورد نظر با آب مقطر شسته شدند و سپس در آون خشک شده و آسیاب شدند. از پودر حاصل میزان ۰/۵ گرم توزین و به وسیله کوره الکترونیکی با دمای ۵۵۰ سلسیوس به مدت شش ساعت خاکستر گردید. نمونه‌های خاکستر در پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک (دو نرمال) حل شده و به مدت ۴۵ دقیقه روی هات‌پلیت در دمای ۷۵ سلسیوس قرار گرفت و در نهایت با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده و عصاره‌گیری با عبور دادن محلول از کاغذ صافی انجام شد (Jeong & Guerinot, 2009).

برای سنجش اسیدهای آمینه، مقدار ۰/۳ گرم بافت تر درون ویال ۱/۵ میلی‌متری ریخته و بر روی آن یک میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد ریخته شد و ویال‌های حاوی نمونه به بن‌ماری شیکردار (ترمومیکسر) با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت یک دقیقه منتقل شدند. بعد از آن، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس ( $13.000$  دور در دقیقه) سانتی‌فیوژ گردید. سپس محلول رویی برداشته شده و به ویال‌های دو میلی‌متری جدید انتقال یافت. نمونه درون دستگاه تغلیظ‌کننده در دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا محلول الکلی آن‌ها جدا شود درون ویال خارج‌شده از دستگاه تغلیظ‌کننده، یک میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه ریخته و ورتکس شد. این محلول به کمک فیلتر ۰/۴۵ میکرومتری صاف گردید. درون ویال دو میلی‌متری جدید، ۲۵۰ میکرولیتر از این محلول صاف‌شده ریخته و سپس ۲۰۰ میکرولیتر بافر بورات و در نهایت ۱۰۰ میکرولیتر O-Phthaldialdehyde اضافه گردید. دقیقاً بعد از ۱۲۰ ثانیه، مقدار ۵۰ میکرولیتر HCl ۰/۵ مولار به ویال افزوده، در ویال را بسته، چندبار دستی آن را تکان داده و در نهایت با سرنگ مخصوص، به دستگاه HPLC (مدل Agilent 1260) با ستون C18، HALO پنج سانتی‌متری (دمای ستون ۲۵ درجه سلسیوس) و فازهای متحرک (حلال‌ها) با شدت جریان ۱/۱ میلی‌لیتر در دقیقه، تزریق شد. با تزریق غلظت‌های هر یک از اسیدهای آمینه و محاسبه مساحت سطح زیر منحنی هر یک از غلظت‌های داده‌شده به دستگاه و تعیین رابطه غلظت و سطح زیر منحنی، منحنی استاندارد رسم شده و مقادیر هر یک از اسیدهای آمینه محاسبه شد (Manivannan et al., 2008).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون بارتلت

جدول ۱ - نتایج تجزیه مرکب اثر اندازه ریزغده‌ها و کودهای آهن بر صفات مختلف کمی و کیفی غده سیب‌زمینی رقم 'سانته'

| منابع تغییرات       | درجه آزادی | df | Tuber weight per plant  | وزن غده در بوته | تعداد چشم در غده        | آهن                  | پروتئین             | آلانین               | گلیسین               | متیونین               | لیزین                | والین              | ایزولوسین           |
|---------------------|------------|----|-------------------------|-----------------|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| S.O.V               |            |    |                         |                 | Number of eyes on tuber | Iron                 | Protein             | Alanine              | Glycine              | Methionine            | Lysine               | Valine             | Isoleucine          |
| سال                 |            | 1  | 25.17 <sup>ns</sup>     |                 | 0.0007 <sup>ns</sup>    | 0.0003 <sup>ns</sup> | 0.002 <sup>ns</sup> | 0.0003 <sup>ns</sup> | 0.0005 <sup>ns</sup> | 0.00006 <sup>ns</sup> | 0.0009 <sup>ns</sup> | 0.02 <sup>ns</sup> | 0.003 <sup>ns</sup> |
| Year                |            |    |                         |                 |                         |                      |                     |                      |                      |                       |                      |                    |                     |
| تکرار در سال        |            | 4  | 1322.6                  |                 | 0.19                    | 0.01                 | 0.23                | 0.09                 | 0.03                 | 0.01                  | 0.01                 | 0.02               | 0.07                |
| (Year) Replication  |            |    |                         |                 |                         |                      |                     |                      |                      |                       |                      |                    |                     |
| اندازه ریزغده (a)   |            | 2  | 183473.99 <sup>**</sup> |                 | 0.45 <sup>*</sup>       | 0.88 <sup>**</sup>   | 8.81 <sup>**</sup>  | 0.92 <sup>**</sup>   | 0.58 <sup>**</sup>   | 0.04 <sup>**</sup>    | 5.55 <sup>**</sup>   | 0.09 <sup>ns</sup> | 0.07 <sup>ns</sup>  |
| Mimi tuber size (a) |            |    |                         |                 |                         |                      |                     |                      |                      |                       |                      |                    |                     |
| کود آهن (b)         |            | 6  | 44755.49 <sup>**</sup>  |                 | 0.39 <sup>*</sup>       | 0.81 <sup>**</sup>   | 2.21 <sup>**</sup>  | 1.14 <sup>**</sup>   | 0.25 <sup>**</sup>   | 0.09 <sup>**</sup>    | 0.66 <sup>**</sup>   | 0.44 <sup>**</sup> | 0.14 <sup>ns</sup>  |
| Iron fertilizer (b) |            |    |                         |                 |                         |                      |                     |                      |                      |                       |                      |                    |                     |
| b×a                 |            | 12 | 4751.35 <sup>**</sup>   |                 | 0.38 <sup>**</sup>      | 0.22 <sup>**</sup>   | 0.76 <sup>**</sup>  | 0.17 <sup>**</sup>   | 0.14 <sup>**</sup>   | 0.03 <sup>**</sup>    | 0.22 <sup>**</sup>   | 0.23 <sup>*</sup>  | 0.08 <sup>ns</sup>  |
| a× year             |            | 2  | 48.57 <sup>ns</sup>     |                 | 0.004 <sup>ns</sup>     | 0.0003 <sup>ns</sup> | 0.01 <sup>ns</sup>  | 0.002 <sup>ns</sup>  | 0.001 <sup>ns</sup>  | 0.0002 <sup>ns</sup>  | 0.01 <sup>ns</sup>   | 0.08 <sup>ns</sup> | 0.06 <sup>ns</sup>  |
| b× year             |            | 6  | 777.48 <sup>ns</sup>    |                 | 0.04 <sup>ns</sup>      | 0.005 <sup>ns</sup>  | 0.06 <sup>ns</sup>  | 0.02 <sup>ns</sup>   | 0.02 <sup>ns</sup>   | 0.01 <sup>ns</sup>    | 0.01 <sup>ns</sup>   | 0.11 <sup>ns</sup> | 0.03 <sup>ns</sup>  |
| b×a× year           |            | 12 | 698.38 <sup>ns</sup>    |                 | 0.04 <sup>ns</sup>      | 0.004 <sup>ns</sup>  | 0.06 <sup>ns</sup>  | 0.02 <sup>ns</sup>   | 0.02 <sup>ns</sup>   | 0.004 <sup>ns</sup>   | 0.01 <sup>ns</sup>   | 0.04 <sup>ns</sup> | 0.04 <sup>ns</sup>  |
| خطا                 |            | 80 | 1850.94                 |                 | 0.13                    | 0.01                 | 0.19                | 0.07                 | 0.03                 | 0.01                  | 0.01                 | 0.1                | 0.12                |
| Error               |            |    |                         |                 |                         |                      |                     |                      |                      |                       |                      |                    |                     |
| ضریب تغییرات        |            | -  | 10.77                   |                 | 10.23                   | 9.77                 | 10.05               | 10.02                | 6.89                 | 6.76                  | 6.78                 | 7.32               | 11.15               |
| CV (%)              |            |    |                         |                 |                         |                      |                     |                      |                      |                       |                      |                    |                     |
| آزمون بارلت         |            | -  | 0.78                    |                 | 0.88                    | 0.77                 | 0.91                | 0.83                 | 0.81                 | 0.81                  | 0.81                 | 0.59               | 0.94                |
| Bartlett (P)        |            |    |                         |                 |                         |                      |                     |                      |                      |                       |                      |                    |                     |

ns: \* و \*\*: not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.





|                                             |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
|---------------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| محل‌یابی یک درصد کلات آهن                   | 351.82 <sup>d-h</sup> | 3.44 <sup>ab</sup> | 1.21 <sup>b-f</sup> | 4.54 <sup>a-e</sup> | 2.3 <sup>bcd</sup>  | 2.68 <sup>a-d</sup> | 1.14 <sup>bcd</sup> | 1.55 <sup>d-g</sup> | 4.18 <sup>ab</sup> |
| Foliar application of 1% Iron chelate       |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| محل‌یابی دو درصد کلات آهن                   | 444.61 <sup>a-e</sup> | 3.18 <sup>ab</sup> | 0.89 <sup>ab</sup>  | 3.93 <sup>de</sup>  | 2.46 <sup>a-d</sup> | 2.46 <sup>a-e</sup> | 1.25 <sup>abc</sup> | 2.08 <sup>bc</sup>  | 4.37 <sup>ab</sup> |
| Foliar application of 2% Iron chelate       |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| محل‌یابی یک درصد نانو اکسید آهن             | 364.24 <sup>c-h</sup> | 3.73 <sup>ab</sup> | 1.01 <sup>d-h</sup> | 4.36 <sup>b-e</sup> | 2.41 <sup>a-d</sup> | 2.67 <sup>a-d</sup> | 1.15 <sup>a-d</sup> | 1.68 <sup>def</sup> | 4.34 <sup>ab</sup> |
| Foliar application of 1% Iron nano oxide    |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| محل‌یابی دو درصد نانو اکسید آهن             | 405.68 <sup>c-g</sup> | 3.26 <sup>ab</sup> | 1.3 <sup>a-d</sup>  | 4.41 <sup>b-e</sup> | 2.8 <sup>abc</sup>  | 2.55 <sup>a-e</sup> | 1.16 <sup>a-d</sup> | 2.02 <sup>bc</sup>  | 4.42 <sup>ab</sup> |
| Foliar application of 2% Iron nano oxide    |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| عدم کاربرد (شاهد) Control                   | 348.88 <sup>d-h</sup> | 3.53 <sup>ab</sup> | 0.93 <sup>gh</sup>  | 4.31 <sup>b-e</sup> | 2.52 <sup>a-d</sup> | 2.43 <sup>a-e</sup> | 1.03 <sup>cd</sup>  | 1.77 <sup>cde</sup> | 4.04 <sup>ab</sup> |
| ۲۰ میکرومولار کلات آهن خاک کاربرد           | 419.84 <sup>c-g</sup> | 4.24 <sup>a</sup>  | 1.53 <sup>a</sup>   | 5.67 <sup>a</sup>   | 3.11 <sup>a</sup>   | 2.63 <sup>a-d</sup> | 1.32 <sup>ab</sup>  | 2.19 <sup>ab</sup>  | 4.17 <sup>ab</sup> |
| Soil application of 20 μmol Iron chelate    |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| ۲۰ میکرومولار نانو اکسید آهن خاک کاربرد     | 556.92 <sup>a</sup>   | 3.84 <sup>ab</sup> | 1.19 <sup>b-f</sup> | 5.4 <sup>ab</sup>   | 2.94 <sup>ab</sup>  | 2.87 <sup>ab</sup>  | 1.16 <sup>a-d</sup> | 2.49 <sup>a</sup>   | 4.15 <sup>ab</sup> |
| Soil application of 20 μmol Iron nano oxide |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| محل‌یابی یک درصد کلات آهن                   | 465.82 <sup>a-d</sup> | 3.55 <sup>ab</sup> | 1.26 <sup>a-e</sup> | 4.81 <sup>a-d</sup> | 2.59 <sup>a-d</sup> | 2.49 <sup>a-e</sup> | 1.09 <sup>cd</sup>  | 1.88 <sup>bcd</sup> | 4.58 <sup>a</sup>  |
| Foliar application of 1% Iron chelate       |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| محل‌یابی دو درصد کلات آهن                   | 478.96 <sup>abc</sup> | 3.71 <sup>ab</sup> | 1.47 <sup>ab</sup>  | 4.67 <sup>a-e</sup> | 2.89 <sup>abc</sup> | 2.88 <sup>a</sup>   | 1.36 <sup>a</sup>   | 2.02 <sup>bc</sup>  | 4.15 <sup>ab</sup> |
| Foliar application of 2% Iron chelate       |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| محل‌یابی یک درصد نانو اکسید آهن             | 482.6 <sup>abc</sup>  | 3.21 <sup>ab</sup> | 0.98 <sup>c-h</sup> | 3.9 <sup>de</sup>   | 2.27 <sup>bcd</sup> | 2.48 <sup>a-e</sup> | 1.08 <sup>cd</sup>  | 2.43 <sup>a</sup>   | 4.56 <sup>a</sup>  |
| Foliar application of 1% Iron nano oxide    |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |
| محل‌یابی دو درصد نانو اکسید آهن             | 544.52 <sup>ab</sup>  | 3.77 <sup>ab</sup> | 1.48 <sup>ab</sup>  | 5.16 <sup>abc</sup> | 3.08 <sup>a</sup>   | 2.37 <sup>cde</sup> | 1.22 <sup>abc</sup> | 2.13 <sup>b</sup>   | 4.32 <sup>ab</sup> |
| Foliar application of 2% Iron nano oxide    |                       |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                    |

\* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.  
Means with the same letters in each column are not significantly different at 5% level based on Duncan's Multiple Range Test.

## آهن غده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اندازه ریزغده، کودهای آهن و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر آهن غده معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین آهن غده در ریزغده ۳-۱ گرم در محلول‌پاشی دو درصد کلات آهن و دو درصد نانواکسید آهن به‌میزان ۱/۳۳ درصد، در ریزغده ۵-۳ گرم در کاربرد ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن و محلول‌پاشی دو درصد نانواکسید آهن به‌میزان ۱/۴۷ و ۱/۳ درصد و در ریزغده ۱۰-۵ گرم در کاربرد ۲۰ میکرومولار کلات آهن به‌میزان ۱/۵۳ درصد، محلول‌پاشی یک و دو درصد کلات آهن به‌میزان ۱/۲۶ و ۱/۴۷ درصد و محلول‌پاشی دو درصد نانواکسید آهن به‌میزان ۱/۴۸ درصد به دست آمد (جدول ۲). نتایج این آزمایش با نتایج سایر محققان در افزایش

جذب عناصر غذایی مانند آهن در اثر کاربرد کودهای آهن هم‌خوانی داشت (De Souza et al., 2019; Jalali et al., 2017). افزایش جذب آهن با افزایش سطوح کاربرد کود آهن گزارش شده است (Lafmejani et al., 2018). در تأیید این نتایج گزارش شده است که استفاده از پودر نانواکسید آهن نسبت به آهن اکسید معمولی، در افزایش غلظت آهن در گیاه به‌طور معنی‌داری اثر برتری داشته است که احتمالاً به‌دلیل ویژگی‌های نانوذرات بوده است (Mazaherinia et al., 2010; Ahmed et al., 2000). ذرات کودی می‌تواند با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌کند. پوشاندن و سیمانی کردن با ذرات نانو باعث ایجاد قابلیت تنظیم رهاسازی عناصر غذایی از کپسول کودی می‌شود (Liu et al., 2006).

جدول ۳- همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی سیب‌زمینی رقم 'سانته'

Table 3- Simple correlation among traits of potato cv. Santeh

| وزن غده در بوته<br>Tuber weight per plant | تعداد چشم روی غده<br>Number of eyes on tuber | آهن<br>Iron | پروتئین<br>Protein | آلانین<br>Alanine | گلیسین<br>Glycine | متیونین<br>Metyonine | لیزین<br>Lysine | والین<br>Valine | ایزولوسین<br>Isoleucine |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| 1                                         | 0.491**                                      | 1           | 0.866**            | 0.796**           | 0.844**           | 0.356**              | 0.31**          | 0.398**         | 0.062                   |
| 0.491**                                   | 1                                            | 0.20 ns     | 0.01 ns            | 0.31 ns           | 0.04 ns           | 0.10 ns              | 0.18 ns         | 0.22 ns         | 0.09 ns                 |
| 0.642**                                   | 0.20 ns                                      | 1           | 0.866**            | 0.854**           | 0.744**           | 0.572**              | 0.459**         | 0.472**         | 0.147                   |
| 0.732**                                   | 0.01 ns                                      | 0.866**     | 1                  | 0.796**           | 0.73**            | 0.511**              | 0.465**         | 0.469**         | 0.113                   |
| 0.69**                                    | 0.31 ns                                      | 0.854**     | 0.796**            | 1                 | 0.844**           | 0.517**              | 0.423**         | 0.506**         | 0.056                   |
| 0.457**                                   | 0.04 ns                                      | 0.744**     | 0.73**             | 0.844**           | 1                 | 0.356**              | 0.468**         | 0.349**         | -0.009                  |
| 0.421**                                   | 0.10 ns                                      | 0.572**     | 0.511**            | 0.517**           | 0.356**           | 1                    | 0.31**          | 0.017           | 0.059                   |
| 0.729**                                   | 0.18 ns                                      | 0.459**     | 0.465**            | 0.423**           | 0.468**           | 0.31**               | 1               | 0.398**         | 0.048                   |
| 0.238                                     | 0.22 ns                                      | 0.472**     | 0.469**            | 0.506**           | 0.349**           | 0.017                | 0.398**         | 1               | 0.062                   |
| 0.088                                     | 0.09 ns                                      | 0.147       | 0.113              | 0.056             | -0.009            | 0.059                | 0.048           | 0.062           | 1                       |

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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

## پروتئین غده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تأثیر اندازه ریزغده، کود آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده و آهن در سطح احتمال یک درصد بر پروتئین غده معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن

بود که در ریزغده ۳-۱ و ۵-۳ گرم کاربرد کودهای آهن تأثیر معنی‌داری بر پروتئین نداشت. در ریزغده ۱۰-۵ گرم، بیشترین میزان پروتئین (به ترتیب ۴/۶۷، ۴/۸۱، ۵/۱۶، ۵/۴ و ۵/۶۷ درصد) از تیمارهای دو درصد کلات آهن، یک درصد کلات آهن، دو درصد

درصد کلات آهن و دو درصد نانواکسید آهن توانست بیشترین تأثیر را بر افزایش آلانین نشان دهد. در ریزغده ۵-۳ گرم نیز تیمارهای کاربرد آهن با افزایش آلانین همراه بود (جدول ۲). کاربرد کودهای آهن، افزایش اسیدهای آمینه را در پی داشت. با تأمین عناصر ریزمغذی و به دنبال آن افزایش کارایی استفاده از عناصر پرکاربرد، افزایش در میزان اسید آمینه اتفاق می افتد (Monsef-Afshar et al., 2012).

### گلايسين

همان طور که از نتایج تجزیه مرکب (جدول ۱) مشهود است، تأثیر اندازه‌های مختلف ریزغده، کودهای آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده و آهن در سطح احتمال یک درصد بر گلايسين معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین گلايسين تحت تأثیر اندازه ریزغده و آهن نشان داد که بیشترین گلايسين به میزان ۲/۸۸ میکرومول در گرم وزن تر مربوط به محلول پاشی دو درصد کلات آهن در ریزغده ۱۰-۵ گرم بود که در این اندازه ریزغده تنها نسبت به تیمار محلول پاشی دو درصد نانواکسید آهن تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۲). همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $r=0.844^{**}$ ) بین محتوای اسید آمینه گلايسين و آلانین وجود داشت (جدول ۳). در اغلب موارد، استفاده از کودهای آهن در خاک نتیجه دلخواه در پی ندارد. هنگامی که کودی در خاک استفاده می‌شود، به دلایلی نظیر آب‌شویی، پیوند با سایر عناصر در خاک و نقش ریزجانداران، ممکن است که قسمت یا تمامی آن از دسترس گیاه خارج گردد، لذا محلول پاشی برخی از کودها می‌تواند باعث عبور آنها از موانع فیزیکی و شیمیایی مختلف گردد (Liu et al., 2008).

### متيونين

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر اندازه ریزغده، آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال یک درصد بر متيونين معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین متيونين تحت تأثیر کاربرد آهن در اندازه‌های مختلف ریزغده نشان داد که کاربرد کودهای آهن در ریزغده‌های ۳-۱ گرم تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، در ریزغده ۵-۳ گرم محلول پاشی دو درصد کلات آهن توانست موجب افزایش ۱۷/۹۲ درصدی متيونين گردد، در ریزغده ۱۰-۵ گرم بالاترین متيونين از ۲۰ میکرومولار کلات آهن و دو درصد کلات آهن به میزان ۱/۳۲ و ۱/۳۶ میکرومول در گرم وزن تر به دست آمد (جدول ۲).

### ليزين

نانواکسید آهن، ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن و ۲۰ میکرومولار کلات آهن به دست آمد (جدول ۲). گزارش شده است که کود نانو آهن سبب افزایش فتوسنتز و میزان پروتئین در سیبزمینی شده است (Pirzad et al., 2012). محققان نتایج مشابهی روی سویا گزارش نمودند، به طوری که کاربرد کود نانو آهن به صورت محلول پاشی در مقایسه با کود سولفات آهن، علاوه بر بهبود وزن اندام‌های هوایی و وزن خشک غلاف‌ها سبب افزایش عملکرد دانه سویا (Glycine max) نیز گردید (Sheykhbaglou et al., 2010). عنصر آهن در متابولیسم نیتروژن دخالت دارد. نیتروژن یکی از عناصر ضروری در ساخت پروتئین است. آهن به طور غیرمستقیم سبب افزایش جذب نیتروژن می‌شود (Rawashdeh & Florin, 2015). از آنجایی که نیتروژن یکی از عناصر مهم و ضروری شرکت‌کننده در ساختار پروتئین‌ها می‌باشد و کاربرد کودهای آهن از طریق حفظ کلروفیل برگ موجب افزایش طول دوره فتوسنتزی می‌شود، این امر منجر به آسیمیله شدن بهتر نیتروژن و افزایش کمی و کیفی پروتئین می‌گردد. گیاهان دارای مقادیر بالاتر عناصر ریزمغذی، کارایی بالاتری در استفاده از نیتروژن خاک دارند، بنابراین سنتز پروتئین در آن‌ها افزایش می‌یابد (Monsef-Afshar et al., 2012). عنصر آهن در ساخت پروتئین‌ها نقش مستقیمی دارد، به گونه‌ای که تعداد ریبوزوم‌های سلول‌های برگ با کمبود این عنصر به شدت کاهش می‌یابد. علاوه بر این عنصر آهن در فرآیندهای وابسته به نور در فتوسنتز نیز دخیل می‌باشد (Gao et al., 2022). محتوای پروتئین همبستگی معنی‌داری با اسیدهای آمینه آلانین ( $r=0.796^{**}$ )، گلايسين ( $r=0.73^{**}$ )، متيونين ( $r=0.511^{**}$ )، لیزین ( $r=0.465^{**}$ ) و والین ( $r=0.469^{**}$ ) داشت (جدول ۳). نانوکودها، کارایی مصرف عناصر غذایی را از طریق سازوکارهایی مثل انتقال هدفدار، رهاسازی کنترل شده و آهسته بهبود می‌بخشند. این کودها همچنین می‌توانند دقیقاً اجزاء فعال خود را در پاسخ به محرک‌های محیطی و نیازهای بیولوژیکی آزاد کنند (Solanki et al., 2015). نانوکودها در انتقال انرژی در گیاه، فعالیت‌های آنزیمی و فتوسنتز و در نهایت در تنفس و سنتز پروتئین‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند که به بهبود رشد گیاه منجر می‌شود (Ali, 2012).

### آلانين

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر اندازه ریزغده و کود آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده و کود آهن در سطح احتمال یک درصد بر آلانين معنی‌دار بود (جدول ۱). کاربرد کودهای آهن تأثیر معنی‌داری بر آلانين در ریزغده ۳-۱ گرم نداشت، در ریزغده ۱۰-۵ گرم کاربرد ۲۰ میکرومولار کلات آهن، ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن، یک

اثر اندازه ریزغده، کودهای آهن و اثر متقابل اندازه ریزغده و آهن در سطح احتمال یک درصد بر لیزین معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین لیزین نشان داد که در ریزغده ۱-۳ گرم بیشترین لیزین به میزان ۱/۷۶ میکرومول در گرم وزن تر از کاربرد دو درصد نانواکسید آهن، در ریزغده ۳-۵ گرم بالاترین لیزین به میزان ۲/۰۲ و ۲/۰۸ میکرومول در گرم وزن تر از محلول‌پاشی دو درصد نانواکسید آهن و دو درصد کلات آهن به دست آمد. در ریزغده ۵-۱۰ گرم حداکثر لیزین به میزان ۲/۱۹، ۲/۴۳ و ۲/۴۹ میکرومول در گرم وزن تر از تیمارهای ۲۰ میکرومولار کلات آهن، محلول‌پاشی یک درصد نانواکسید آهن و ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن حاصل شد (جدول ۲). برقی و همکاران (Barghi et al., 2017) گزارش کردند که عملکرد غده سیب‌زمینی در اثر کاربرد دو گرم در لیتر نانواکسید آهن نسبت به تیمار بدون کود به میزان هشت درصد و با محلول‌پاشی در مرحله پر شدن غده نسبت به مرحله رشد رویشی به میزان پنج درصد افزایش یافت. همچنین محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با آهن می‌تواند میزان آهن غده سیب‌زمینی را تا ۷۵ میکروگرم بر کیلوگرم غده افزایش داده و اثرهای سوء ناشی از کمبود آهن در خاک را برطرف سازد. محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با آهن، درصد اسیدهای آمینه لیزین و متیونین، پروتئین غده و عناصر معدنی مهم نظیر پتاسیم و کلسیم را افزایش می‌دهد (Barghi et al., 2017). کودهای نانو به آسانی توسط گیاه جذب شده و مؤثرتر از کودهای شیمیایی رایج هستند. به‌علاوه این کودها جزء مواد دوست‌دار طبیعت بوده و به‌دلیل عدم آلوده کردن محیط زیست و عدم افزایش شوری خاک، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ranjbar & Shams, 2009).

## والین

نتایج تجزیه مرکب مشخص کرد که آهن در سطح احتمال یک درصد و اثر اندازه ریزغده با آهن در سطح احتمال پنج درصد بر والین تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین والین تحت تأثیر اندازه ریزغده و کود آهن نشان داد که در اندازه‌های مختلف

ریزغده بین تیمارهای کود آهن و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، باین‌حال، بیشترین والین به میزان ۴/۵۸ و ۴/۵۶ میکرومول در گرم وزن تر از محلول‌پاشی یک درصد نانواکسید آهن و یک درصد کلات آهن در ریزغده ۵-۱۰ گرم به دست آمد (جدول ۲). این اسیدآمینه بالاترین میزان همبستگی ( $r=0.506^{**}$ ) را با اسیدآمینه آلانین داشت (جدول ۳). با کاهش اندازه ذرات آهن به مقیاس نانو، تعداد اتم‌هایی که می‌توانند در واکنش درگیر شوند افزایش و در نتیجه سرعت واکنش‌پذیری افزایش می‌یابد که این امر موجب می‌گردد نانوذرات آهن قدرت انتخاب‌پذیری بیشتری نسبت به کلات آهن داشته باشند. زمانی که ذرات به اندازه نانو کوچک می‌شوند، یک‌سری از خواص آن‌ها از جمله سطح ویژه و انرژی سطحی افزایش می‌یابد، این امر موجب می‌شود که میزان کاربرد ذرات آهن کمتر و واکنش در شرایط بهتری انجام گردد (Mazaherinia et al., 2010).

## ایزولوسین

نتایج تجزیه مرکب مشخص کرد که اثرات سال، اندازه‌های مختلف ریزغده، کودهای آهن و اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان ایزولوسین نداشتند (جدول ۱).

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در ریزغده ۵-۱۰ گرم بیشترین میزان پروتئین از تیمارهای دو درصد کلات آهن، یک درصد کلات آهن، دو درصد نانواکسید آهن، ۲۰ میکرومولار نانواکسید آهن و ۲۰ میکرومولار کلات آهن به دست آمد. با افزایش وزن ریزغده‌ها، تعداد چشم در غده، محتوای آهن، پروتئین و اسیدهای آمینه آلانین، گلايسين، متیونین و لیزین افزایش یافت. بیشترین بهبود خصوصیات کیفی غده سیب‌زمینی در ریزغده‌های ۵-۱۰ گرم مشاهده شد و محلول‌پاشی کود نانواکسید آهن در مقایسه با کلات آهن در بهبود کیفیت غده سیب‌زمینی مؤثرتر بود.

## References

- Ahmed, H.U., Ali, M.S. & Dey, T.K. (2000). *Tuber crop disease management*. Poster presented in the International Conference on Integrated Plant Disease Management for Sustainable Agriculture. D. K. Mitra (ed), Indian Phytopathological Society, New Delhi, India. 3, 1281 p.
- Ali, E.A. (2012). Effect of iron nutrient care sprayed on foliage at different physiological growth stages on yield and quality of some durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties in sandy soil. *Asian Journal of Crop Science*, 4(4), 139-149. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2012.139.149>
- Aqiqi Shahvardi-Kandi, M., Tobe, A., Qalipouri, A., Hasanpanah, D., & Cefalian, A. (2018). Checking the amount of protein potato cultivars with an emphasis on the amino acid allicin under the influence of different levels of fertilizers. MSc. Thesis, Faculty Agricultural Sciences and Natural Resources, Mohagheg Ardabili University, Ardabil, Iran. (In Persian)

4. Ardashiri, T., & Jahanbin. Sh. (2018). Effect of foliar application of nano-iron and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. *Crop Improvments*, 20, 31-43. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.220873.1582>
5. Asghari, R., & Fathi, M. (2010). *Prebasic potato seed production*. Principles and Procedures. 103 pp. (In Persian).
6. Bakhtiari, M., Moaveni, P., & Saani, B. (2015). Effect of iron nanoparticles spray on some morpho-physiological traits of wheat in Ghods region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 7(2), 104-119. (In Persian)
7. Birch, P.R., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J.T.A., Prashar, M. A., Taylor, L., Torrance I., & Toth, K. (2012). Crops that feed the world 8, potato, are the trends of increased global production sustainable? *Food Security*, 4(4), 477-508. <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0220-1>
8. Barghi, A., Gholopouri, A., Tobe, A., Jahanbakhsh, S., & Jamaati-Samarin, Sh. (2017). Effect of iron nano oxide concentration and application time on tuber yield and quality of potato. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9, 145-155.
9. Bradford, M.M. (1976). A rapid sensitive metod for the question of microprogram quantities of protein utilizing the principle of protein – dye binding. *Annual of Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
10. De Souza, A., Govea-Alcaide, E., Masunaga, S.H., Fajardo-Rosabal, L., Effenberger, F., Rossi, L.M., & Jardim, R.F. (2019). Impact of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle on nutrient accumulation in common bean plants grown in soil. *SN Applied Science*, 1, 308-316. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0321-y>
11. Fathi, A., Amini-Dehghi, M., & Heshmati, S. (2015). Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower cv. Goldasht under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16, 308-321. (In Persian), <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1393.16.4.4.5>
12. Feng, Y., Kreslavski, V.D., Shmarev, A.N., Ivanov, A.A., Zharmukhamedov, S.K., Kosobryukhov, A., & Shabala, S. (2022). Effects of iron oxide nanoparticles (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (*Triticum aestivum*) plants. *Plants*, 11(14), 1894-1909. <https://doi.org/10.3390/plants11141894>
13. Gao, D., Ran, C., Zhang, Y., Wang, X., Lu, S., Geng, Y., Guo, L., & Shao, X. (2022). Effect of different concentrations of foliar iron fertilizer on chlorophyll fluorescence characteristics of iron-deficient rice seedlings under saline sodic conditions. *Plant Physiology Biochemistry*, 185, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.05.021>
14. Gomaa, M.A., Kandil, E.E., & Ibrahim, A.M.M. (2020). Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 11(1), 13-21. <https://doi.org/10.21608/eajbsh.2020.81409>
15. Grillet, L., Mari, S., & Schmidt, W. (2014). Iron in seeds loading pathways and subcellular localization. *Frontiers in Plant Science*, 4, 535-547. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00535>
16. Hamzapour, G.R., Tobeh, A., Jamalpour, S., & Al-Ebrahim, M.T. (2014). *Investigating the increase in nutritional quality of apple tuber ground (amino acid lysine) with the use of bio-fertilizer (biozer) in comparison with the use of nitrogen and phosphorus chemical fertilizers*. The first National Specialized Conference of Agricultural and Environmental Sciences of Iran, Ardabil, Zemin Kav Research Center, Iran. January. 5 pp. (In Persian).
17. Havlin, J. (2016). *Soil Fertility and Fertilizers, An Introduction to Nutrient Management*. 8th Edition. Pearson India. 536 p.
18. Jalali, M., Ghanati, F., Modarres-Sanavi, A.M., & Khoshgoftarmanesh, A.H. (2017). Physiological effects of repeated foliar application of magnetite nanoparticles on maize plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203, 593-602. <https://doi.org/10.1111/jac.12208>
19. Jam, A., Ebadi, A., & Parmoon, Gh. (2015). The role of iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9, 177-190. (In Persian)
20. Jeong, J., & Guerinot, M.L. (2009). Homing in on iron homeostasis in plants. *Trends in Plant Science*, 14(5), 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.02.006>
21. Khodadadi-Karooki, A., Yavarzadeh, M.R., Akbarian, M.M., & Askari, A. (2020). Effect of iron and magnesium nanoparticles and planting date on yield and nitrate content in potato tubers. *Journal of Plant Production Science*, 10, 41-54.
22. Lafmejani, Z.N., Jafari, A.A., Moradi, P., & Moghadam, A.L. (2018). Impact of foliar application of iron-chelate and iron nano particles on some morpho-physiological traits and essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Essential Oil Bear Plants*, 21, 1374-84. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1556122>
23. Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xiao, Q., & Wang, Y. (2006). Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. *Scientia Agriculture Sinica*, 39, 1598-1604. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(06\)60113-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(06)60113-2)

24. Liu, X., Chen, Q., Hy, Q., Xue, N., & Seung, L.K. (2008). Evaluation of the role of mixed amino acids in nitrate uptake and assimilation in leafy radish by using 15 N labeled nitrate. *Agricultural Sciences in China*, 7(10), 1196-1202. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60164-9](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60164-9)
25. Mahil, E.I.T., & Kumar, B.N.A. (2019). Foliar application of nanofertilizers in agricultural crops. A review. *Journal of Farm Science*, 32(3), 239-249.
26. Manivannan, P., Jaleel, C.A., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2008). Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 418-425. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.03.003>
27. Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., & Monshi, A. (2010). Studying effect of iron oxide (ordinary and nano) together with sulfur granular compost on iron concentration and growth of Atyla cultivar of wheat. *Iranian Journal of Crop Research*, 8, 855-861. (In Persian)
28. Mirzashahi, K., Nourgholipour, F., & Samavat, S. (2017). Effects of two Fe-fertilizers on yield and yield components of soybean grown in the north of Khuzestan. *Land Management Journal*, 4, 191-201. <https://doi.org/10.22092/lmj.2017.109490>
29. Monsef-Afshar, R., Hadi, H., & Pirzad, A. (2012). Effect of spraying nano-iron on characteristics qualitative and quantitative of cowpea, under drought stress end of season. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(8), 1709-1717.
30. Naderi, M.R., & Danesh-Shahraki, A. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(19), 2229-2232.
31. Paech, K., & Tracey, M.V. (2013). *Modern Methods of Plant Analysis*. Springer Science and Business Media. 766 pp.
32. Parvizi, K., & Navaei, A. (2019). Evaluation of potato growth traits by inoculation of mycorrhiza under drought stress conditions. *Journal of Plant Research*, 32, 328-340. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1398.32.2.6.1>
33. Pirzad, A., Zardashti, M., & Mazloumi, M. (2012). *The effect of foliar iron nanoparticles in different growth stages on some physiological Characteristics and yield of sugar beet root*. 12<sup>th</sup> Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding. Islamic Azad University of Karaj, June 13. p. 576. (In Persian).
34. Prasad, T.N.V., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R., & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscales zinc oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35(6), 905-927. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443>
35. Ranjbar, M., & Shams, G.A. (2009). Using of nanotechnology. *Journal of Environment Green*, 3, 29-34. (In Persian).
36. Rawashdeh, H.M., & Florin, S. (2015). Foliar application with iron as a vital factor of wheat crop growth, yield quantity and quality, A review. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 3(9), 368-376.
37. Sheykhabglo, R., Sedghi, M., Tajbakhsh shishevan, M., & Sharifi, R. (2010). Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2), 112-113. <https://doi.org/10.15835/nsb224667>
38. Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., & Panwar, J. (2015). *Nano-fertilizers and their smart delivery system*. In M. Rai., C. Ribeiro, L. Mattoso & N. Dura (Eds.), *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. pp. 81-101. Springer International Publishing, Cham, Switzerland
39. Struik, P.C. (2007). The canon of potato science, Minutubers. *Potato Research*, 50, 305-308. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9051-z>
40. Timsina, Y.N. (2013). Effect of nitrogen fertilization on zinc and iron uptake and yield components of wheat. Department of Plant and Environmental Sciences, (IPM). Norwegian University of Life Sciences (UMB), pp. 94.
41. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*, Sinauer Associates. 3th edition. Hardcover. 690 pp.
42. Wang, L., Liu, B., Wang, Y., Qin, Y., Zhou, Y., & Qian, H. (2020). Influence and interaction of iron and lead on seed germination in upland rice. *Plant Soil*, 455, 187-202. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04680-4>
43. Zhang, R., Zhang, W., Kang, Y., Shi, M., Yang, X., Li, H., Yu, H., Wang, Y., & Qin, S. (2022). Application of different foliar iron fertilizers for improving the photosynthesis and tuber quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) and enhancing iron biofortification. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 3-14. <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00346-8>
44. Zhao, J.H., Sun, J.H., & Li, W.Q. (2018). Effect of maize sowing date on yield and interspecific competition in soybean/maize intercropping system. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 26(11), 1634-1164. <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180132>



## Improving the Quality and Shelf life of Kinnow Mandarin (*Citrus reticulata* L.) Fruits using Pre- and Post-Harvest Melatonin Treatments

S. Molaei Mohammad Abadi<sup>1</sup>, S. Rastegar<sup>1\*</sup>

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

(\*- Corresponding author's Email: [rastegarhort@gmail.com](mailto:rastegarhort@gmail.com))

Received: 03 August 2024  
Revised: 30 November 2024  
Accepted: 26 January 2025  
Available Online: 26 January 2025

### How to cite this article:

Molaei Mohammad Abadi, S., & Rastegar, S. (2025). Improving the quality and shelf life of Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* L.) fruits using pre- and post-harvest melatonin treatments. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 387-401. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89185.1368>

### Introduction

Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* L.) is one of the most important citrus fruits that undergoes significant postharvest quality deterioration. This deterioration is primarily due to moisture loss, physiological changes, and pathogen infections. To maintain the quality and extend the shelf-life of kinnow mandarins, various postharvest treatments and storage conditions have been explored. Melatonin, being a nontoxic and safe chemical, has application potential in the improvement of fruit quality. By stimulating the production of antioxidants like ascorbic acid and phenolics, melatonin can boost the overall antioxidant capacity of fruits. It has been reported that by influencing pigment production, melatonin can enhance fruit color and appearance. Further research is needed to optimize the application methods and determine the most effective melatonin concentrations for different cultivars and storage conditions. Additionally, the underlying physiological and biochemical mechanisms by which melatonin enhances fruit quality during postharvest storage warrant further investigation. Implementing melatonin treatments in commercial postharvest operations could provide a valuable strategy for maintaining the quality and extending the shelf-life of Kinnow mandarins and other citrus fruits.

### Materials and Methods

A field experiment was conducted at a citrus orchard located in Rudkhan district, Rudan, Iran. Ten-year-old Kinnow mandarin (*Citrus nobilis* × *Citrus deliciosa*) trees were treated with three melatonin concentrations: 0 µM (distilled water as control), 100 µM, and 200 µM. The treatments were applied as foliar sprays one month prior to harvest, repeated three times at weekly intervals. Mature fruits were harvested in December and randomly divided into two groups: one for immediate analysis and the other for storage. Fruits destined for storage were disinfected with 0.05% sodium hypochlorite for one min, rinsed with distilled water, and then subjected to a 30-min immerse in melatonin solutions (100 µM or 200 µM) corresponding to the previous foliar treatment. The fruits were then stored at 5 ± 1°C. Samples were evaluated for physicochemical properties at 30 and 60 days of storage. A factorial experiment was conducted in a randomized complete block design. Data were analyzed using SAS software, version 9.4. Means were compared using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% level of significance. Graphs were generated using Excel software.

### Results and Discussion

The results showed that melatonin treatments significantly increased fruit weight, pulp weight, juice volume, titratable acidity, and ascorbic acid content at harvest. During storage, both sprayed and immersed fruits exhibited less weight loss. At the end of the storage period, treated fruits also had higher ascorbic acid content compared to the control. Fruit immersion was more effective in preserving total flavonoids at the end of the



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89185.1368>



experiment. The highest antioxidant capacity was observed in fruits sprayed with 100  $\mu$ M melatonin. Melatonin is a potent antioxidant, scavenging free radicals and protecting cellular components from oxidative damage. In addition, by modulating ethylene production, melatonin can influence fruit ripening rate and overall quality. Melatonin has been studied in fruits like mango and papaya, where it has shown potential to improve fruit quality and extend shelf life. Studies on citrus fruits have indicated that melatonin can reduce chilling injury, maintain juice quality, and increase antioxidant content. It's important to note that the optimal melatonin concentration and application method can vary significantly between fruit species. Overall, the sprayed treatments showed better performance in terms of marketability and various quality attributes compared to the other treatments. The findings of this study suggest that pre- and post-harvest melatonin treatments can effectively maintain the quality and extend the shelf-life of Kinnow mandarin fruit during cold storage. Melatonin's antioxidant properties and ability to regulate physiological processes may contribute to the observed improvements in fruit quality. These results have important implications for the postharvest management of Kinnow mandarins, as melatonin could be a valuable tool for preserving the fruit's nutritional and sensory attributes during storage and transportation.

## Conclusions

The results of this study demonstrate that melatonin application had a beneficial impact on Kinnow mandarin fruits. Overall, the melatonin spray treatment, particularly at a concentration of 100  $\mu$ M, led to increased fruit weight, water content, ascorbic acid content, and titratable acidity at harvest. During storage, treated fruits exhibited higher antioxidant capacity, phenolic and flavonoid content, and ascorbic acid levels, along with reduced weight loss compared to the control group. Consequently, the use of melatonin is proposed as a promising strategy to enhance the quality and marketability of Kinnow mandarins during postharvest storage.

**Keywords:** Antioxidant capacity, Ascorbic acid, Physiological characters, Spray

بهبود کیفیت و ماندگاری نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.) با استفاده از تیمارهای قبل و

## پس از برداشت ملاتونین

سکینه ملائی محمدآبادی<sup>۱</sup> - سمیه رستگار<sup>۱\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷

## چکیده

نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.)، یکی از مهم‌ترین مرکبات کشت‌شده در کشور، پس از برداشت مستعد کاهش کیفیت به دلیل از دست دادن رطوبت و تغییرات فیزیولوژیکی است. حفظ کیفیت این میوه در طول دوره نگهداری، از جمله اهداف اصلی پژوهشگران می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر کیفیت میوه نارنگی کینو در زمان برداشت و همچنین در مدت نگهداری در سردخانه می‌باشد. آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی درختان ۱۰ ساله نارنگی کینو در باغی واقع در شهرستان رودان انجام شد. محلول‌پاشی درختان با سه غلظت ملاتونین (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار)، یک ماه قبل از برداشت به فاصله هفت روز یک‌بار تکرار گردید. میوه‌ها در مرحله بلوغ تجاری برداشت و به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول بلافاصله پس از برداشت از نظر ویژگی‌های مختلف فیزیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. گروه دوم به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ملاتونین (۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) غوطه‌ور شدند. سپس در دمای پنج درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ روز نگهداری شدند. ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی میوه در روزهای ۳۰ و ۶۰ انبارمانی انجام گردید. براساس نتایج به دست آمده، کاربرد قبل از برداشت ملاتونین نقش مؤثری در افزایش وزن میوه، وزن گوشت و حجم آب، اسیدیته قابل تیتراسیون و محتوای اسید آسکوربیک میوه در زمان برداشت داشت. همچنین، محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش محتوای اسید آسکوربیک، فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گردید. در پایان انبارمانی، میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد کاهش وزن کمتری نشان دادند. به‌طوری‌که حداقل کاهش وزن در میوه‌های محلول‌پاشی شده با ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار و میوه‌های غوطه‌ور شده پس از برداشت در ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد. همچنین میوه‌های تیمار شده، محتوای اسید آسکوربیک و فلاونوئید بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند. در روز ۶۰ انبارمانی، بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های محلول‌پاشی شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار مشاهده شد. به‌طور کلی، در ارزیابی بازاریابی و خصوصیات ظاهری میوه، تیمارهای محلول‌پاشی شده وضعیت بهتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، خصوصیات فیزیولوژیکی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محلول‌پاشی

## مقدمه

ترکیبات مغذی تبدیل کرده است (Saini et al., 2022). نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.)، حاصل تلاقی بین گونه‌های *Citrus deliciosa* و *nobilis*، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ارقام نارنگی (*Citrus reticulata* L.) در کشور ایران از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این رقم که به‌واسطه رشد سریع، عدم وجود تبخ، مقاومت به سرما، باردهی بالا و دوره رسیدن میان‌رس تا دیررس شناخته می‌شود، ویژگی‌های منحصر به فردی را به همراه دارد. پوست نازک و چسبیده به گوشت میوه، به‌آسانی از آن جدا می‌شود. همچنین، گوشت آبدار و شیرین با طعمی مطلوب، از ویژگی‌های بارز این رقم است (Khalid et al., 2016).

مرکبات به‌عنوان یکی از محبوب‌ترین میوه‌های جهان، جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی بسیاری از کشورها دارد. کشورهای برزیل، چین، آفریقا، مکزیک، هند، اسپانیا و ایران از جمله بزرگ‌ترین تولیدکنندگان مرکبات در جهان محسوب می‌شوند (FAO, 2018). تنوع بالای ترکیبات زیست‌فعال در مرکبات از جمله کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، ترپن‌ها و لیمونوئیدها، این میوه را به منبعی غنی از

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(\*) - نویسنده مسئول: (Email: rastegarhort@gmail.com)  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89185.1368>

ملاتونین بر بهبود خصوصیات کمی و کیفی در زمان برداشت و در طول نگهداری در انبار سرد انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر روی درختان ۱۰ ساله نارنگی کینو (*Citrus nobilis* × *Citrus deliciosa*) در باغ مرکبات واقع در بخش رودخانه شهرستان رودان انجام گردید. درختان به طور تصادفی به سه گروه تقسیم شدند و با سه سطح غلظت ملاتونین (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) به صورت محلول پاشی برگی تیمار شدند. محلول پاشی یک ماه قبل از برداشت به فاصله هفت روز یکبار تکرار شد.

میوه‌ها در زمان بلوغ تجاری برداشت شده و به دو گروه تقسیم گردید. گروه اول برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیوشیمیایی میوه‌ها در زمان برداشت مورد استفاده قرار گرفت. گروه دوم پس از ضدغفونی سطحی با سدیم هیپوکلریت ۰/۰۵ درصد، به مدت ۳۰ دقیقه در محلول‌های ملاتونین با غلظت‌های مشابه تیمارهای اولیه خود غوطه‌ور شدند و سپس در دمای  $5 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌برداری در روزهای ۳۰ و ۶۰ انبارمانی صورت گرفت. مراحل مختلف آزمایش و تیمارهای انبارمانی در شکل ۱ نشان داده شده است. هر تیمار با سه تکرار و هر تکرار با پنج میوه انجام گردید.

### اندازه‌گیری طول، قطر، وزن و حجم میوه

طول و قطر میوه با استفاده از خط‌کش با قرار دادن میوه‌ها کنار یکدیگر با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

### وزن میوه

وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد.

### حجم میوه

اندازه‌گیری حجم میوه‌ها با استفاده از استوانه مدرج انجام شد، به طوری که تا قسمت خاصی از استوانه مدرج با آب پر شده و پس از آن با قرار دادن میوه در آن، حجم میوه اندازه‌گیری شد.

### کاهش وزن

کاهش وزن برای هر مقدار جداگانه با اندازه‌گیری و ثبت وزن میوه در زمان برداشت (صفر روز) و در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری در طول انبارمانی اندازه‌گیری شد. وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی

ضایعات پس از برداشت شامل از دست دادن وزن میوه، فساد، کاهش کیفیت ظاهری و داخلی میوه می‌باشد. با استفاده از روش‌های صحیح مدیریت پس از برداشت، می‌توان کیفیت نارنگی کینو را حفظ کرده و میوه تازه و با کیفیت به دست مصرف‌کننده رساند. کاهش ضایعات پس از برداشت، امکان دسترسی به بازارهای داخلی و بین‌المللی را بهبود می‌بخشد. میوه‌های با کیفیت بالا و ماندگاری بیشتر، شانس بیشتری برای ورود به بازارهای صادراتی دارند و فرصت‌های فروش را افزایش می‌دهند. حفظ کیفیت مطلوب نارنگی کینو از زمان برداشت تا رسیدن به دست مصرف‌کننده، یک فرآیند پیچیده و حساس است که نیازمند دانش و مهارت کافی در زمینه تولید و پس از برداشت است. با رعایت اصول صحیح، می‌توان به افزایش عمر انباری، بهبود کیفیت محصول و در نهایت افزایش درآمد کشاورزان کمک کرد (Mahawar et al., 2020).

ملاتونین، یک هورمون طبیعی، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی و محرک رشد در گیاهان عمل می‌کند و در برابر تنش‌های محیطی از گیاه محافظت می‌کند (Debnath et al., 2019). این هورمون با نفوذ به سلول‌ها، سطح آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش داده و به عنوان یک تیمار پس از برداشت، کیفیت و ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات را بهبود می‌بخشد. ملاتونین همچنین با کاهش تنش اکسیداتیو، مقاومت گیاهان به بیماری‌ها را افزایش می‌دهد. به دلیل اثرات مثبت و زیست‌سازگاری، ملاتونین قابلیت بالایی در تولید محصولات کشاورزی پایدار دارد (Lin et al., 2019). محلول پاشی قبل از برداشت ملاتونین باعث افزایش وزن میوه نارنگی اورلاندو، بهبود کیفیت و افزایش محتوای اسید آسکوربیک شده است (Molaei Mohammad Abadi & Rastegar, 2024). کاربرد ترکیبی ملاتونین و کیتوزان بعد از برداشت موز باعث حفظ کیفیت میوه، تأخیر در رسیدن و ویتامین ث میوه شد (Al-Qurashi et al., 2024). مطالعات نشان دادند که استفاده از ملاتونین قبل از برداشت در میوه‌های گیلاس (*Prunus avium* L.) (Cortés - Montaña et al., 2024) و فیسالیس (*Physalis* sp) (Hayati et al., 2023) می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت و ماندگاری آن‌ها را افزایش دهد. تیمار با ملاتونین منجر به افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها، بهبود اندازه میوه، کاهش سرعت پیری و افزایش عمر انباری شد. به نظر می‌رسد که ملاتونین با تأخیر انداختن فرآیندهای پیری و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها، نقش مهمی در حفظ کیفیت آن‌ها ایفا می‌کند.

تاکنون گزارشی از استفاده همزمان محلول پاشی قبل و غوطه‌وری پس از برداشت ملاتونین در نارنگی کینو مشاهده نشده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد قبل و پس از برداشت

اسید متافسفریک سرد یک درصد ترکیب و پس از ۲۰ ثانیه ورتکس یک میلی لیتر از محلول با ایندوفنل (سدیم-۲ و -۶ دی کلروفنل- ایندوفنل) تیترا شده تا رنگ ارغوانی مشاهده شود و دوباره به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شد. و سپس جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه گیری و در نهایت، نتایج به صورت میلی گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر آبمیوه بیان گردید.

### محتوای فنل کل

اندازه گیری محتوای آبمیوه توسط معرف فولین سیوکالتو به صورت زیر انجام گرفت. ۶۰ میکرولیتر آبمیوه به همراه ۳۰۰ میکرولیتر معرف فولین (۱:۱۰) برداشته و پس از پنج دقیقه به آن ۳۴۰ میکرولیتر سدیم کربنات هفت درصد اضافه شد و پس از ۱/۵ ساعت شیکر در تاریکی و در دمای محیط، جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد (Ordonez et al., 2006).

دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه گیری و با استفاده از معادله ۱ درصد کاهش وزن محاسبه گردید (Dong & Wang, 2018).

معادله (۱)  $WL (\%) = (w_1 - w_2) \times 100 / w_1$   
که در آن، WL: درصد کاهش وزن،  $w_1$ : وزن اولیه بر حسب گرم و  $w_2$ : وزن ثانویه بر حسب گرم است.

### مواد جامد محلول (TSS)

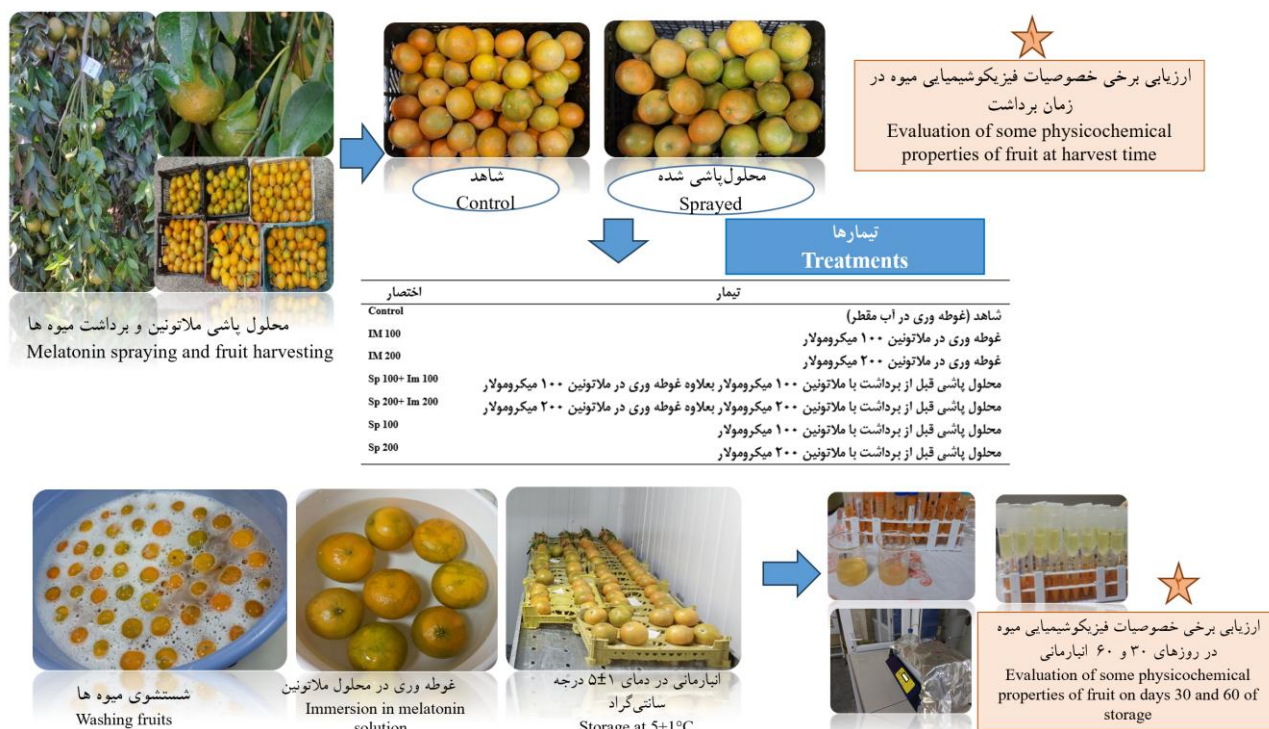
پس از آگیری میوه ها با قرار دادن چند قطره از آبمیوه نارنگی کینو بر روی صفحه دستگاه رفاکتمتر دیجیتالی (DBR95, Taiwan)، میزان مواد جامد محلول آبمیوه بر حسب درجه بریکس اندازه گیری شد.

### اسیدیته قابل تیتراسیون

جهت اندازه گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH= ۸/۲ استفاده شد.

### اسید آسکوربیک

جهت اندازه گیری اسید آسکوربیک از روش ایندوفنل استفاده شد (AOAC ۲۰۰۲). ابتدا ۰/۱ میلی لیتر آبمیوه به همراه ۱۰ میلی لیتر



شکل ۱- مراحل مختلف محلول پاشی درختان، برداشت، غوطه وری، انبارمانی و سنجش خصوصیات فیزیوشیمیایی میوه های نارنگی کینو  
Figure 1- Different stages of tree spraying, harvesting, immersion, storage, and physicochemical property measurement of Kinnow mandarin fruits

## محتوای فلاونوئید کل

برای اندازه‌گیری فلاونوئید به ۶۰ میکرولیتر آب‌میوه، ۱۸۰ میکرولیتر متانول ۸۵ درصد، ۱۲ میکرولیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد، ۱۲ میکرولیتر پتاسیم استات و ۳۳۶ میکرولیتر آب مقطر اضافه گردید و پس از ۳۰ دقیقه شیکر در تاریکی و در دمای محیط، جذب آن به وسیله اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد (Chang et al., 2002).

## ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش مهار رادیکال آزاد ۲،۲ دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد. طبق این روش، ۳۰ میکرولیتر عصاره متانولی ۸۵ درصد میوه و ۱۱۷۰ میکرولیتر DPPH (۱۵۰ ماکرومول) ترکیب و به مدت ۴۰ دقیقه در تاریکی شیکر شد. سپس توسط اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Bourtoom, 2008).

معادله (۲)

$$DPPH \% = (A_{control} - A_{sample} / A_{control}) \times 100$$
 که در آن،  $A_{control}$ : جذب شاهد و  $A_{sample}$ : جذب نمونه است.

## آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در

سطح آماری پنج درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

## نتایج و بحث

تأثیر محلول‌پاشی بر برخی از خصوصیات کمی و کیفی میوه در زمان برداشت  
حجم میوه، قطر، طول میوه، حجم آب، وزن گوشت، وزن پوست و وزن میوه

همان‌طور که در جداول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱) نشان داده شده است، محلول‌پاشی ملاتونین (در غلظت ۲۰۰) تأثیر معنی‌داری بر افزایش حجم میوه و آب میوه، وزن گوشت و وزن میوه داشت. اگرچه ملاتونین طول میوه را افزایش داد، اما تأثیری بر نسبت طول به قطر میوه نداشت. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از ملاتونین در درختان میوه، تأثیر مثبتی بر رشدنمو میوه‌ها دارد. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات پیشین نیز هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال، تیمار درختان انگور (*Vitis vinifera*) با ملاتونین منجر به افزایش ۶/۶ درصدی وزن میوه شد (Meng et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر روی درختان گلابی (*pyrus communis* L.)، این افزایش وزن به ۸/۴۷ درصد رسید (Liu et al., 2019). همچنین، در درختان شاه‌توت (*Morus nigra* L.)، تیمار با ملاتونین باعث افزایش تعداد، وزن و اندازه میوه‌ها شد (Çolak, 2018). در درختان انار (*Punica granatum*) نیز تیمار با ملاتونین به میزان یک میلی‌مولار منجر به افزایش عملکرد محصول، و تعداد میوه‌ها در هر درخت، وزن میوه و به‌ویژه افزایش بخش آریل میوه شد.

جدول ۱- تأثیر محلول‌پاشی ملاتونین بر خصوصیات کمی نارنگی کینو

Table 1- The effect of melatonin foliar spraying on the quantitative characteristics of Kinnow mandarin

| تیمار<br>Treatment                             | وزن<br>میوه<br>Fruit weight<br>(g) | طول به<br>قطر<br>Length to<br>diameter | گوشت/پوست<br>Pulp/peel | وزن<br>پوست<br>Peel weight<br>(g) | وزن<br>گوشت<br>Pulp weight<br>(g) | حجم آب<br>Water<br>volume<br>(ml) | طول میوه<br>Fruit<br>length<br>(cm) | قطر میوه<br>Fruit<br>diameter<br>(cm) | حجم میوه<br>Fruit<br>volume<br>(ml) |
|------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| شاهد<br>Control                                | 81.98 <sup>b</sup>                 | 1.13 <sup>a</sup>                      | 2.25 <sup>a</sup>      | 3.03 <sup>b</sup>                 | 68.45 <sup>b</sup>                | 30.3 <sup>b</sup>                 | 5.8 <sup>b</sup>                    | 5.1 <sup>a</sup>                      | 33.3 <sup>b</sup>                   |
| ملاتونین ۱۰۰<br>میکرومولار<br>Melatonin 100 µM | 122.88 <sup>a</sup>                | 1.14 <sup>a</sup>                      | 2.63 <sup>a</sup>      | 33.89 <sup>a</sup>                | 99.88 <sup>a</sup>                | 47 <sup>a</sup>                   | 6.5 <sup>a</sup>                    | 5.6 <sup>a</sup>                      | 46.6 <sup>a</sup>                   |
| ملاتونین ۲۰۰<br>میکرومولار<br>Melatonin 200 µM | 116.28 <sup>a</sup>                | 1.18 <sup>a</sup>                      | 2.61 <sup>a</sup>      | 32.13 <sup>ab</sup>               | 84.1 <sup>a</sup>                 | 46.6 <sup>a</sup>                 | 6.3 <sup>ab</sup>                   | 5.3 <sup>a</sup>                      | 46.6 <sup>a</sup>                   |

\* در هر ستون، اعداد دارای حروف یکسان، از نظر آماری با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

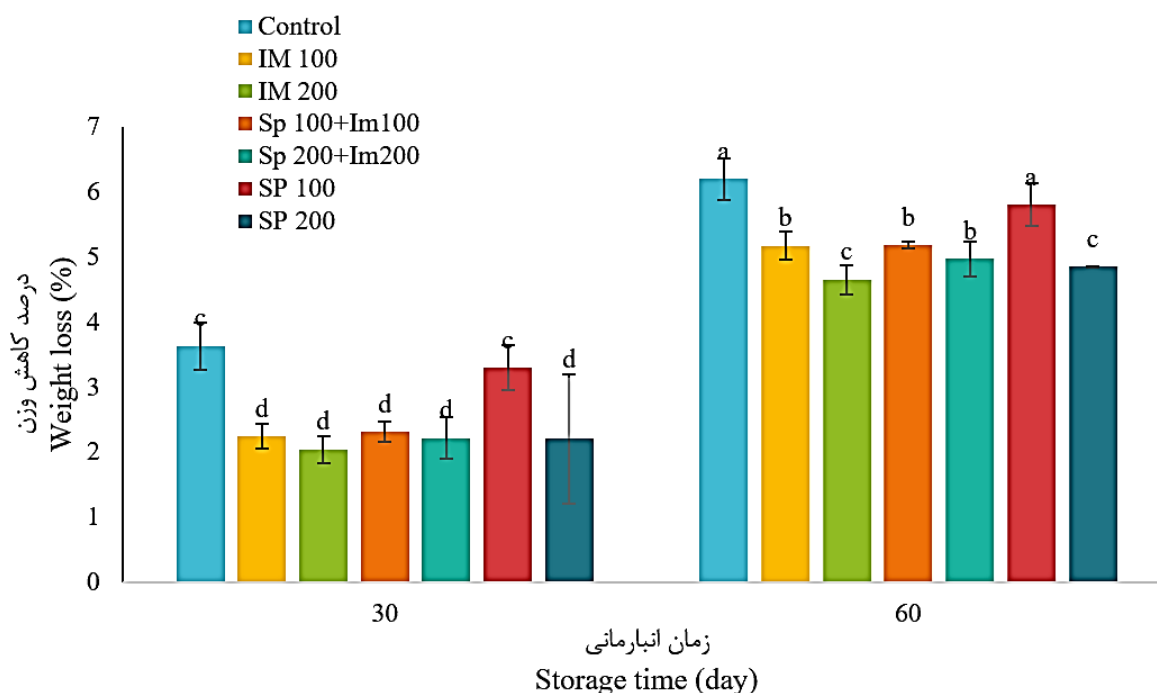
\* In each column, the numbers with the same letters are statistically not significantly different from each other at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

است که خود را به صورت کاهش وزن، از دست دادن آب و تغییرات دیگر نشان می‌دهد (Lufu, 2020). کاهش وزن فیزیولوژیکی عمدتاً به دلیل تنفس و تعرق میوه‌ها رخ می‌دهد. مطالعات نشان دادند که تیمار میوه‌ها با ملاتونین می‌تواند به طور مؤثری از کاهش وزن فیزیولوژیکی آن‌ها جلوگیری کند. در تحقیقات انجام شده روی پرتقال نافدار (*Citrus sinensis* L. Osbeck)، تیمار با ملاتونین منجر به کاهش نرخ تنفس و در نتیجه کاهش وزن میوه‌ها شد (Ma et al., 2021). همچنین، در میوه‌های عنب، غوطه‌وری در محلول ملاتونین در تأخیر انداختن کاهش وزن کمک کرد (Wang et al., 2022). در میوه هلو (*Prunus persica* L.) نیز تیمار قبل و بعد از برداشت ملاتونین، کاهش وزن و نرخ پوسیدگی را کاهش داد و این اثر با افزایش غلظت ملاتونین تشدید شد (Kucuker et al., 2024). مجموع، نتایج تحقیقات نشان داد که ملاتونین با کاهش نرخ تنفس و تعرق میوه‌ها، از کاهش وزن فیزیولوژیکی آن‌ها جلوگیری کرده و در نتیجه، عمر انبارمانی و کیفیت میوه‌ها را افزایش داد.

(Medina-Santamarin et al., 2021a) علاوه بر این، مطالعه‌ای روی سیب (*Malus domestica* Borkh) نشان داد که ملاتونین باعث افزایش اندازه و وزن میوه‌ها می‌شود (Verde et al., 2022). در مجموع، نتایج این مطالعات نشان داد که ملاتونین می‌تواند به عنوان یک محرک رشد طبیعی، بر افزایش اندازه، وزن و عملکرد محصول درختان میوه تأثیرگذار باشد.

### تأثیر کاربرد قبل و پس از برداشت ملاتونین بر برخی خصوصیات میوه طی انبارمانی درصد کاهش وزن میوه

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با گذشت زمان کاهش وزن میوه افزایش می‌یابد. تیمارها به جز محلول پاشی ملاتونین در غلظت ۱۰۰، نقش مؤثری در جلوگیری از کاهش وزن میوه نشان داد. حداقل کاهش وزن در پایان آزمایش در غوطه‌وری ۲۰۰ میکرومولار و محلول پاشی ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد. یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کیفیت و از بین رفتن ارزش اقتصادی میوه‌های مرکبات پس از برداشت، روند پیری طبیعی میوه‌ها



شکل ۲- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر درصد کاهش وزن میوه کینو در مدت انبارمانی

Figure 2- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the weight loss percentage of kinnow mandarin fruit during storage (DMRT,  $p \leq 0.05$ )



**مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)**

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، محلول‌پاشی ملاتونین به‌طور معنی‌داری باعث کاهش محتوای مواد جامد محلول میوه و افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها در زمان برداشت شد. با گذشت زمان، مواد جامد محلول میوه افزایش یافت، و تفاوت معنی‌داری بین شاهد و تیمارها مشاهده شد. ۶۰ روز بعد از انبارمانی، حداکثر (۱۲/۵۶) و حداقل (۱۰/۳۴) محتوای مواد جامد محلول به‌ترتیب در شاهد و محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار به دست آمد. برخلاف محتوای مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون طی انبارمانی نسبتاً کاهش یافت، به‌طوری‌که در پایان دوره آزمایش حداکثر (۰/۸۴) و حداقل (۱/۰۱) اسیدیته قابل تیتراسیون به‌ترتیب از محلول‌پاشی ملاتونین ۲۰۰ میکرولیتر و شاهد حاصل شد.

میزان مواد جامد محلول در طول انبارداری به‌دلیل تخریب دیواره سلولی، افزایش غلظت مواد خشک و کاهش مقدار آب‌میوه افزایش می‌یابد (Khorram et al., 2017). مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون دو شاخص مهم کیفیت میوه محسوب می‌شوند و به‌طور مستقیم بر طعم میوه و پذیرش آن توسط مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارند. مطالعات نشان دادند که کاربرد پس از برداشت ملاتونین، تغییرات در محتوای مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، در پژوهشی روی هلو، تیمار میوه با غلظت‌های مختلف ملاتونین باعث افزایش نسبی مواد جامد محلول و کاهش اسیدیته در طول انبارداری شد. همچنین، تغییرات مواد جامد محلول و نسبت اسیدیته در میوه‌های تیمار شده با ملاتونین کمتر از نمونه‌های شاهد بود (Kucuker et al., 2024). محلول‌پاشی پیش از برداشت ملاتونین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار در دو نوبت (۳۰ و ۹۰ روز پس از شکوفه‌دهی کامل) نیز به‌طور قابل توجهی کیفیت میوه گلابی را بهبود بخشید، به‌طوری‌که منجر به افزایش محتوای قند و کاهش اسید میوه گردید (Zhao et al., 2023).

در مطالعه‌ای دیگر روی توت‌فرنگی، غوطه‌وری میوه‌ها در محلول ملاتونین منجر به حفظ اسیدیته و کاهش سرعت افزایش مواد جامد محلول کل شد (Promyou et al., 2023). به‌طور مشابه، در میوه کیوی، تیمار با ملاتونین باعث افزایش قابل توجه مواد جامد محلول و کاهش اسیدیته شد، در نتیجه نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته در مراحل بعدی انبارداری افزایش یافت (Zhang et al., 2023). محلول‌پاشی برگی ملاتونین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار روی درختان نارنگی اورلاندو تانجلو (*Dancy tangerine*) منجر به

افزایش اسیدیته میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد گردید (Molaei Mohammad Abadi & Rastegar, 2024).

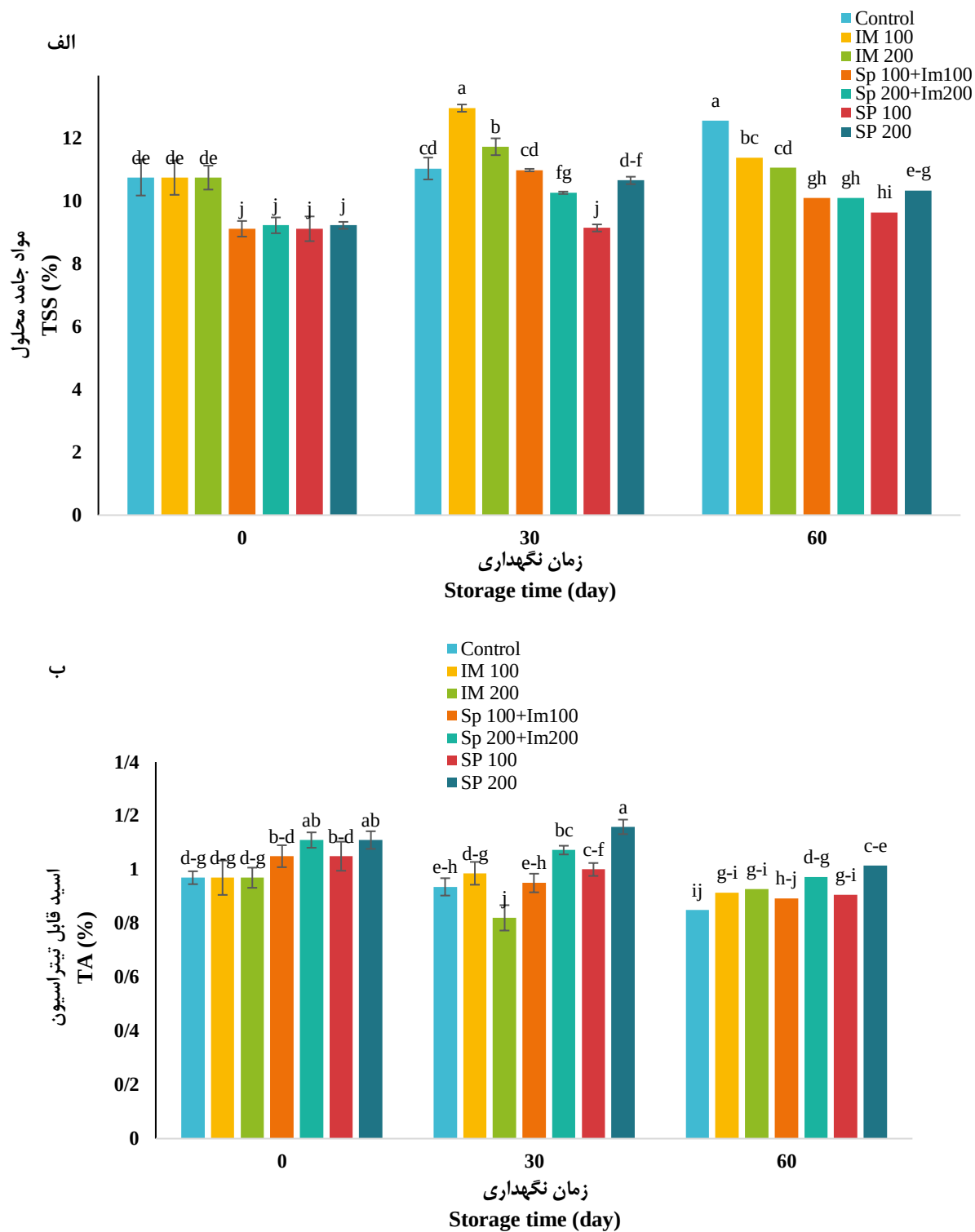
**اسید آسکوربیک**

براساس نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۴ میوه‌های محلول‌پاشی شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار در زمان برداشت حاوی اسید آسکوربیک بیشتری نسبت به سایر تیمارها بودند. علی‌رغم اینکه محتوای اسید آسکوربیک میوه به‌طور معنی‌داری طی انبارمانی کاهش یافت، اما برخی میوه‌های تیمار شده، محتوای اسید آسکوربیک بالاتری نسبت به شاهد داشتند. ۶۰ روز بعد از انبارمانی، حداکثر محتوای اسید آسکوربیک در محلول‌پاشی و غوطه‌وری ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین و حداقل آن در شاهد و غوطه‌وری ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین مشاهده شد. مطالعات متعدد نشان دادند که تیمار میوه‌ها با ملاتونین قبل از برداشت، منجر به افزایش قابل توجهی در سطح اسید آسکوربیک آن‌ها می‌شود. به‌عنوان مثال، در گیلان، تیمار با غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین سبب افزایش محتوای اسید آسکوربیک در میوه‌های برداشت‌شده گردید (Xia et al., 2020). همچنین، در میوه انبه (*Mangifera indica* L.) رقم «گوئی‌قی»، تیمار با یک میلی‌مولار ملاتونین باعث حفظ بهتر اسید آسکوربیک در مقایسه با گروه شاهد شد (Njie et al., 2023). علاوه بر این، در مطالعات انجام‌شده روی توت سفید (Kakaei et al., 2024) و لیموترش (*Citrus limon*) (Al-Qurashi & Awad, 2023)، تیمار با ملاتونین منجر به افزایش معنی‌دار میزان ویتامین ث و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها شد. همچنین، در میوه تمشک (*Rubus idaeus* L.) تیمار قبل از برداشت با ملاتونین باعث افزایش محتوای ویتامین ث گردید (Shah et al., 2024). در درختان انار، تیمار قبل از برداشت ملاتونین ۰/۱ میلی‌مولار باعث شد که میوه‌های انار در طول ذخیره‌سازی ویژگی‌های با کیفیت بالاتری را نسبت به گروه شاهد حفظ کنند. علاوه بر این اسید آسکوربیک در میوه‌های تیمار شده با ملاتونین بیشتر از میوه‌های تیمار نشده بود (Medina-Santamarin et al., 2021a).

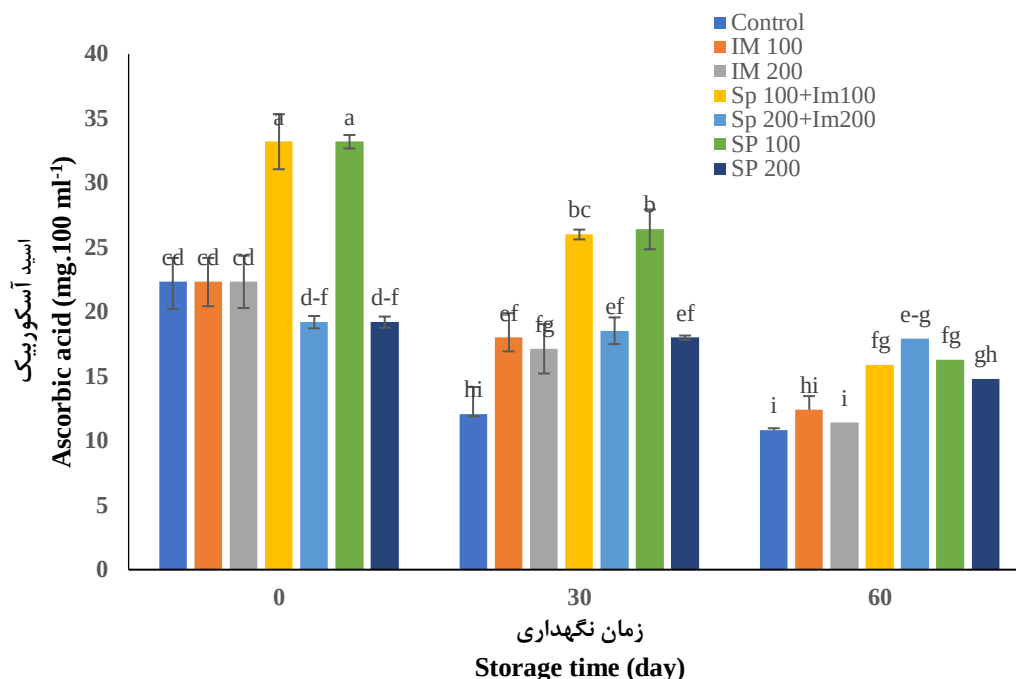
**فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی**

همان‌طور که در شکل ۵ الف مشاهده می‌شود، در زمان برداشت میوه‌های تیمار نشده دارای محتوای فنل بیشتری نسبت به میوه‌های تیمار شده بودند. ۶۰ روز بعد از انبارمانی به‌جز تیمار غوطه‌وری ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین که محتوای کمتری نسبت به شاهد نشان داد، تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان ندادند.





شکل ۳- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت بر محتوای مواد جامد محلول کل و اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه کینو  
Figure 3- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the total soluble solids (TSS) and TA contents of kinnow mandarin juice (DMRT,  $p \leq 0.05$ )



شکل ۴- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر محتوی اسید آسکوربیک آبمیوه کینو

Figure 4- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the ascorbic acid content of kinnow mandarin juice (DMRT,  $p \leq 0.05$ )

فیزیولوژیکی آن‌ها جلوگیری می‌کند. در مجموع، ملاتونین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی و مؤثر، می‌تواند برای بهبود کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. سازوکار اصلی اثر ملاتونین، افزایش تولید ترکیبات فنلی و تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها است.

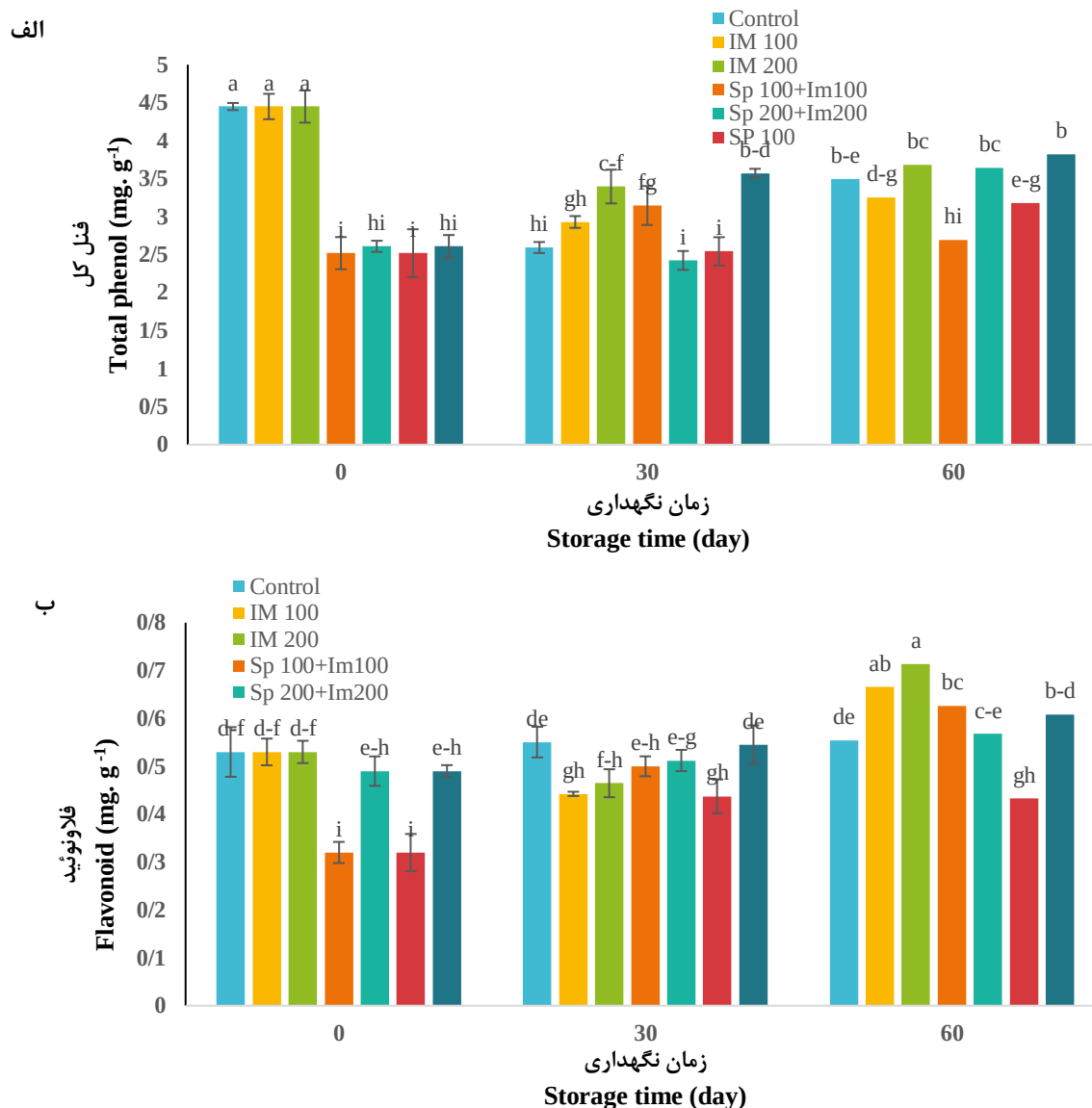
تیمار ملاتونین در درختان زردآلو (*Prunus armeniaca* L.) منجر به کاهش کندتر محتوای فنلی در میوه‌های برداشت‌شده گردید. نتایج نشان دادند که ملاتونین می‌تواند ابزاری مؤثر برای بهبود کیفیت، افزایش عمر انباری و حفظ ترکیبات زیست‌فعال مانند فنل‌ها در میوه زردآلو باشد (Medina-Santamarina et al., 2021b). در میوه توت سفید (*Morus alba* L.) تیمار شده با ملاتونین، محتوای فنل کل و فلاونوئید کل در میوه تیمار شده به‌طور قابل توجهی بیشتر از میوه تیمار نشده بود که با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همراه بود (Kakaei et al., 2024). همچنین استفاده از محلول پاشی ملاتونین قبل از برداشت (۱۰۰ ماکرومولار دو هفته قبل از برداشت مورد انتظار، به‌طور معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شاه توت Elvira را در طول مدت ۱۲ روز نگهداری سرد کاهش داد. (Shah et al., 2023). کاربرد محلول پاشی برگی ملاتونین با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش محتوای ترکیبات فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در انگور (*Vitis vinifera* L.) رقم سرمه بی‌دانه زرشکی شد (Kök et al., 2024). تیمار ملاتونین در میوه گل

کمترین محتوای فلاونوئید در زمان برداشت در میوه‌های محلول‌پاشی‌شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار مشاهده شد. ۶۰ روز بعد از انبارمانی، بیشترین محتوای فلاونوئید به‌ترتیب در تیمارهای غوطه‌وری‌شده با غلظت‌های مختلف ملاتونین و کمترین محتوای فلاونوئید در تیمار محلول‌پاشی‌شده با ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار به دست آمد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه نارنگی کینو طی انبارمانی نسبتاً ثابت ماند و تفاوت معنی‌داری طی نگهداری مشاهده نشد. در پایان دوره انبارمانی، میوه‌های محلول‌پاشی‌شده با ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین به‌طور معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۶).

ترکیبات فنلی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در میوه‌ها، در طول فرایند رسیدن افزایش می‌یابند، اما با آغاز پیری، میزان آن‌ها کاهش می‌یابد. ملاتونین نیز یک آنتی‌اکسیدان قوی است که با حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو کمک می‌کند (Liang et al., 2019). یکی از اثرات مهم ملاتونین بر روی میوه‌ها، افزایش محتوای ترکیبات فنلی است. مطالعات نشان دادند که تیمار میوه‌هایی مانند کیوی (*Actinidia deliciosa* L.)، پرتقال و انار با ملاتونین منجر به افزایش قابل توجهی در مجموع ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها می‌شود (Ma et al., 2021; Wang et al., 2019). این افزایش در ترکیبات فنلی، به حفظ کیفیت میوه‌ها در طول انبارداری کمک کرده و از پیری

(Cola et al., 2024). در میوه زغال اخته (*Cornus mas*)، نتایج اثربخشی تیمار ملاتونین در دمای پنج درجه سانتی‌گراد به مدت سه هفته نشان داد که در مقایسه با گروه شاهد، تیمار ملاتونین باعث تولید بیش از حد پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها شد و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد (Magri & Petriccione, 2022). در آزمایشی روی میوه گواوا (*Psidium guajava* L.)، تیمار ملاتونین پتانسیل آنتی‌اکسیدانی یعنی فنل کل، فلاونوئیدها و اسید آسکوربیک را همراه با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش داد (Menaka et al., 2024).

ساعتی (*Passiflora incarnata* L.)، تجمع فنل‌ها و فلاونوئیدها را در میوه شور در مراحل بعدی نگهداری بهبود بخشید. فنل کل و محتوای فلاونوئید میوه‌های شور تیمار شده در طول نگهداری بالا باقی ماندند (Cai et al., 2024). در میوه عناب، ملاتونین در غلظت‌های مناسب فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد و کیفیت میوه‌های عناب (*Ziziphus jujuba* L.) پس از برداشت را حفظ کرد (Tang et al., 2020). در میوه تمشک، استفاده از محلول‌پاشی ملاتونین قبل از برداشت (۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار)، سه روز قبل از بلوغ مورد انتظار برداشت، برای حفظ کیفیت و میزان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی میوه به میزان قابل توجهی بهتر بود.



شکل ۵- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر محتوای فنل و فلاونوئید آب‌میوه نارنگی کینو

Figure 5- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the total phenol and flavonoid contents in kinnow mandarin juice (DMRT,  $p \leq 0.05$ )



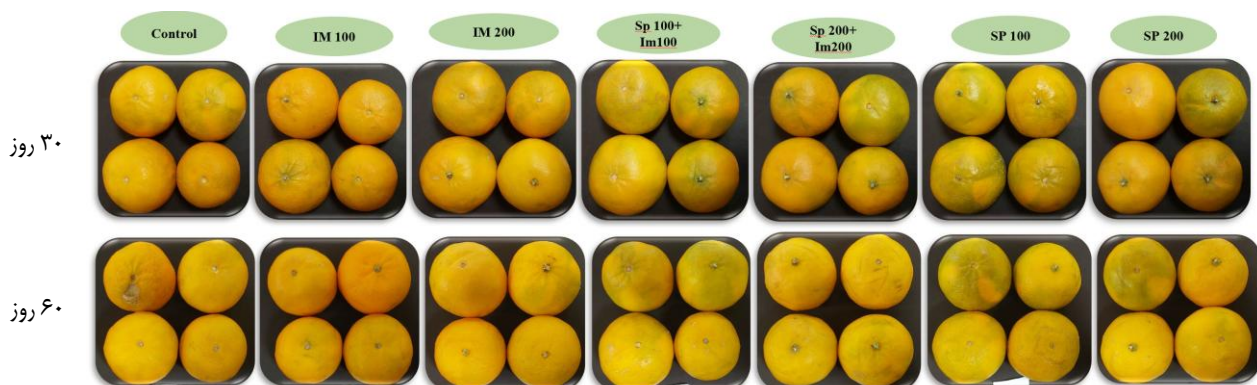
شکل ۶- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر ظرفیت آنتی اکسیدانی آبمیوه نارنگی کینو

Figure 6- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the antioxidant capacity of Kinnow mandarin juice (DMRT,  $p \leq 0.05$ )

شد. میوه‌های تیمار شده در مدت انبارمانی، ظرفیت آنتی اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید و اسید آسکوربیک بیشتر و کاهش وزن کمتری نسبت به میوه‌های شاهد نشان دادند. بنابراین، استفاده از ملاتونین به عنوان روشی برای بهبود کیفیت و بازارپسندی نارنگی کینو در طول نگهداری پس از برداشت پیشنهاد می‌شود (شکل ۷).

## نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد ملاتونین اثر مثبتی بر میوه نارنگی کینو داشت. به طور کلی، تیمار محلول پاشی ملاتونین، به ویژه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار، منجر به افزایش وزن میوه، حجم آب، مقدار اسید آسکوربیک، اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در زمان برداشت



شکل ۷- وضعیت ظاهری میوه‌های نارنگی کینو در ۳۰ و ۶۰ روز بعد از انبارمانی در دمای  $5 \pm 1^\circ\text{C}$

Figure 7- Appearance of Kinnow mandarin fruits after 30 and 60 days of storage at  $5 \pm 1^\circ\text{C}$

Control: شاهد، IM 100: غوطه‌وری در ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، IM 200: غوطه‌وری در ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار، SP100+IM 100: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار به علاوه غوطه‌وری در ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، SP 200+IM 200: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار به علاوه غوطه‌وری در ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار، SP 100: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، SP 200: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار. Control: untreated group. IM 100: immersion in 100  $\mu\text{M}$  melatonin. IM 200: immersion in 200  $\mu\text{M}$  melatonin. SP 100 + IM 100: pre-harvest spray with 100  $\mu\text{M}$  melatonin plus immersion in 100  $\mu\text{M}$  melatonin. SP 200 + IM 200: pre-harvest spray with 200  $\mu\text{M}$  melatonin plus immersion in 200  $\mu\text{M}$  melatonin. SP 100: pre-harvest spray with 100  $\mu\text{M}$  melatonin. SP 200: pre-harvest spray with 200  $\mu\text{M}$  melatonin.

## سیاسگزاری

از دانشگاه هرمزگان و پارک علم و فناوری استان هرمزگان برای فراهم آوردن تجهیزات آزمایشگاهی و حمایت مالی این پژوهش تقدیر و تشکر می‌گردد.

## References

1. Al-Qurashi, A.D., Awad, M.A., Elsayed, M.I., & Ali, M.A. (2024). Postharvest melatonin and chitosan treatments retain quality of 'Williams' bananas during ripening. *Journal of Food Science and Technology*, 61(1), 84-96. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05819-8>
2. Al-Qurashi, A.D., & Awad, M.A. (2023). Effect of exogenous melatonin and chitosan treatments on quality and biochemical changes of 'Balady Banzahir' limes during shelf life. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 33(2), 310-319. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2023.2.0640>
3. Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237-248.
4. Cai, S., Zhang, Z., Wang, J., Fu, Y., Zhang, Z., Khan, M.R., & Cong, X. (2024). Effect of exogenous melatonin on postharvest storage quality of passion fruit through antioxidant metabolism. *LWT*, 194, 115835. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115835>
5. Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., & Chern, J.C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
6. Cola, G., Cavenago, B., Gardana, C.S., & Spinardi, A. (2024). Effect of elicitor treatments on quality attributes in blueberry: Implications of cultivar and environmental conditions. *Plants*, 13(8), 1105. <https://doi.org/10.3390/plants13081105>
7. Çolak, A.M. (2018). Effect of melatonin and gibberellic acid foliar application on the yield and quality of Jumbo blackberry species. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(6), 1242-1246. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.06.008>
8. Cortés-Montaña, D., Bernalte-García, M.J., Palomino-Vasco, M., Serradilla, M.J., & Velardo-Micharet, B. (2024). Effect of preharvest melatonin applications at dusk on quality and bioactive compounds content of early sweet cherries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(3), 1583-1590. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13040>
9. Debnath, B., Islam, W., Li, M., Sun, Y., Lu, X., Mitra, S., Hussain, M., Liu, S., & Qiu, D. (2019). Melatonin mediates enhancement of stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1040. <https://doi.org/10.3390/ijms20051040>
10. Dong, F., & Wang, X. (2018). Guar gum and ginseng extract coatings maintain the quality of sweet cherry. *Lwt*, 89, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.035>
11. FAO. (2018). Area cultivation, yield and production of citrus in the world. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
12. Hayati, P., Hosseinfarahi, M., Abdi, G., Radi, M., & Taghipour, L. (2023). Melatonin treatment improves nutritional value and antioxidant enzyme activity of *Physalis peruviana* fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(3), 2782-2791. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01819-6>
13. Kakaei, S., Saba, M.K., Mansouri, S., & Darvishi, H. (2024). Melatonin postharvest spray influence on white mulberry browning, storage life, and biochemical changes. *Postharvest Biology and Technology*, 213, 112947. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112947>
14. Khalid, S., Malik, A.U., Khan, A.S., Razzaq, K., & Naseer, M. (2016). Plant growth regulators application time influences fruit quality and storage potential of young Kinnow mandarin trees. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(3), 623-629. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0136>
15. Khorram, F., Ramezani, A., & Hosseini, S.M.H. (2017). Effect of different edible coatings on postharvest quality of 'Kinnow' mandarin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1827-1833. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9564-8>
16. Kök, D., Bal, E., Torçuk, A.İ., & Ergönül, O. (2024). The effects of pre-harvest melatonin applications on phytochemical properties of Crimson seedless grape variety (*V. vinifera* L.). *Black Sea Journal of Agriculture*, 7(2), 157-162. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1378445>
17. Kucuker, E., Gundogdu, M., Aglar, E., Ogurlu, F., Arslan, T., Ozcengiz, C.K., & Tekin, O. (2024). Physiological effects of melatonin on polyphenols, phenolic compounds, organic acids and some quality properties of peach fruit during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(1), 823-833. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02199-7>

18. Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., Lin, L., Deng, Q., & Luo, X. (2019). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 246, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.058>
19. Liu, J., Yue, R., Si, M., Wu, M., Cong, L., Zhai, R., Yang, C., Wang, Z., Ma, F., & Xu, L. (2019). Effects of exogenous application of melatonin on quality and sugar metabolism in 'Zaosu' pear fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 1161-1169. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09921-0>
20. Lin, Y., Fan, L., Xia, X., Wang, Z., Yin, Y., Cheng, Y., & Li, Z. (2019). Melatonin decreases resistance to postharvest green mold on citrus fruit by scavenging defense-related reactive oxygen species. *Postharvest Biol Technology*, 153, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.016>
21. Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U.L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109519>
22. Ma, Q., Lin, X., Wei, Q., Yang, X., Zhang, Y.N., & Chen, J. (2021). Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of 'Newhall' navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity. *Scientia Horticulturae*, 286, 110236. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110236>
23. Magri, A., & Petriccione, M. (2022). Melatonin treatment reduces qualitative decay and improves antioxidant system in highbush blueberry fruit during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(10), 4229-4237. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11774>
24. Medina-Santamarina, J., Serrano, M., Lorente-Mento, J.M., García-Pastor, M.E., Zapata, P.J., Valero, D., & Guillén, F. (2021a). Melatonin treatment of pomegranate trees increases crop yield and quality parameters at harvest and during storage. *Agronomy*, 11(5), 861. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050861>
25. Medina-Santamarina, J., Zapata, P.J., Valverde, J.M., Valero, D., Serrano, M., & Guillén, F. (2021b). Melatonin treatment of apricot trees leads to maintenance of fruit quality attributes during storage at chilling and non-chilling temperatures. *Agronomy*, 11(5), 917. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050917>
26. Mahawar, M.K., Jalgaonkar, K., Bibwe, B., Bhushan, B., Meena, V.S., & Sonkar, R.K. (2020). Post-harvest processing and valorization of Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* L.): A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 799-815. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04083-z>
27. Menaka, M., Asrey, R., Meena, N.K., Vargheese, E., Sethi, S., Ahamad, S., & Goswami, A.K. (2024). Effect of melatonin on biochemical changes, antioxidant system and oxidative membrane damage of Indian guava (cv. Barafkhana) during cold storage. *South African Journal of Botany*, 169, 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.007>
28. Meng, J.F., Shi, T.C., Song, S., Zhang, Z.W., & Fang, Y.L. (2017). Melatonin in grapes and grape-related foodstuffs: A review. *Food Chemistry*, 231, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.137>
29. Molaei Mohammad Abadi, S., & Rastegar, S. (2024). Preharvest melatonin and postharvest xanthan gum coating maintain the quality of Orlando tangelos during storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(3), 49-64. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.87553.1324>
30. Njie, A., Dong, X., Liu, Q., Lu, C., & Pan, X. (2023). Melatonin treatment inhibits mango fruit (cv. 'Guiqi') softening by maintaining cell wall and reactive oxygen metabolisms during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112500. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112500>
31. Ordonez, A.A.L., Gomez, J.D., & Vattuone, M.A. (2006). Antioxidant activities of *Sechium edule* (Jacq.) Swartz extracts. *Food Chemistry*, 97(3), 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.024>
32. Promyou, S., Raruang, Y., & Chen, Z.Y. (2023). Melatonin treatment of strawberry fruit during storage extends its post-harvest quality and reduces infection caused by *Botrytis cinerea*. *Foods*, 12(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/foods12071445>
33. Saini, R.K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K.G.M., & Keum, Y.S. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11(2), 239. <https://doi.org/10.3390/antiox11020239>
34. Shah, H.M. S., Singh, Z., Hasan, M.U., Kaur, J., Afrifa-Yamoah, E., & Woodward, A. (2024). Melatonin application suppresses oxidative stress and maintains fruit quality of cold stored 'Esperanza' raspberries by regulating antioxidant system. *Postharvest Biology and Technology*, 207, 112597. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112597>
35. Shah, H.M.S., Singh, Z., Hasan, M.U., Afrifa-Yamoah, E., & Woodward, A. (2023). Preharvest melatonin application alleviates red drupelet reversion, improves antioxidant potential and maintains postharvest quality of 'Elvira' blackberry. *Postharvest Biology and Technology*, 203, 112418. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112418>



36. Tang, Q., Li, C., Ge, Y., Li, X., Cheng, Y., Hou, J., & Li, J. (2020). Exogenous application of melatonin maintains storage quality of jujubes by enhancing anti-oxidative ability and suppressing the activity of cell wall-degrading enzymes. *Lwt*, 127, 109431. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109431>
37. Verde, A., Míguez, J.M., & Gallardo, M. (2022). Role of melatonin in apple fruit during growth and ripening: Possible interaction with ethylene. *Plants*, 11(5), 688. <https://doi.org/10.3390/plants11050688>
38. Wang, X., Liang, D., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., & Xia, H. (2019) Melatonin application increases accumulation of phenol substances in kiwifruit during storage. *Emirates Journal Food Agriculture*. 31(5). 361–367.
39. Wang, Y., Zhang, J., Ma, Q., Luo, X., & Deng, Q. (2022). Exogenous melatonin treatment on post-harvest jujube fruits maintains physicochemical qualities during extended cold storage. *PeerJ Publishing* , 10, e14155. <https://doi.org/10.7717/peerj.14155>
40. Xia, H., Shen, Y., Shen, T., Wang, X., Zhang, X., Hu, P., Liang, D., Lin, L., Deng, H., Wang, J., Deng, Q., & Lv, X. (2020). Melatonin accumulation in sweet cherry and its influence on fruit quality and antioxidant properties. *Molecules*, 25(3), 753. <https://doi.org/10.3390/molecules25030753>
41. Zhang, Y., Tang, H., Lei, D., Zhao, B., Zhou, X., Yao, W., Fan, J., Lin, Y., Chen, Q., Wang, Y., & Zhang, Y. (2023). Exogenous melatonin maintains postharvest quality in kiwiberry fruit by regulating sugar metabolism during cold storage. *LWT*, 174, 114385. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114385>
42. Zhao, L., Yan, S., Wang, Y., Xu, G., & Zhao, D. (2023). Evaluation of the effect of preharvest melatonin spraying on fruit quality of 'Yuluxiang' pear based on principal component analysis. *Foods*, 12(18), 3507. <https://doi.org/10.3390/foods12183507>



## Evaluation of Physiological and Biochemical Properties in some Grape (*Vitis vinifera* L.) Cultivars

A. Goodarzi<sup>1</sup>, M. Yadegari<sup>2\*</sup>, S.A. Mousavi<sup>1,3</sup>, S.H. Nourbakhsh<sup>1,4</sup>

1- Department of Agriculture and Medicinal Plants, Shk.C., Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

2- Research Center of Nutrition and Organic Products, Shk.C., Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

3- Horticulture Crops Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran

4- Plant Protection Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran

(\* - Corresponding author's Email: [mehrabiyadegari@gmail.com](mailto:mehrabiyadegari@gmail.com); [kazemkazem1357@iau.ac.ir](mailto:kazemkazem1357@iau.ac.ir))

Received: 25 August 2024  
Revised: 28 January 2025  
Accepted: 02 February 2025  
Available Online: 02 February 2025

### How to cite this article:

Goodarzi, A., Yadegari, M., Mousavi, A., & Nourbakhsh, H. (2025). Evaluation of physiological and biochemical properties in some grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 403-419. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89578.1374>

### Introduction

Grapes (*Vitis vinifera* L.) belong to a group of temperate fruits, which have high nutritional qualities, and many by-products are produced from different parts of their berries. The difference in quantity and quality properties of different cultivars is an opportunity to screen grapes based on their desirable characteristics and nutritional value. The morphological and yield traits of grapes usually vary depending on the cultivar, vineyard climate, light, temperature, viticultural operations, nutrition, irrigation management, pests, disease control, pruning, training practices, and crop load. Since the study of the nutrients state can be a real criterion for evaluating the growth and yield of the plant, therefore, the present study was carried out to evaluate and compare the growth, yield and concentration of macro and micro nutrients elements in the leaves of 12 commercial varieties of grapes in the climatic conditions of Saman region located in Chaharmahal Bakhtiari province, Iran.

### Materials and Methods

The present study was conducted with the aim of investigating the morphological and pomological characteristics of 12 grape varieties in the grape collection garden of Chaharmahal province and Bakhtiari of Saman region in the base of a randomized complete block design with three replications. Saman region is located at 32.19° latitude, 50.51° longitude and 2060 meters above sea level. The studied area is a temperate mountainous region with an average temperature of 12.8°C and an average annual rainfall of 243 mm. The absolute maximum and absolute minimum temperature in the investigated garden are 42 and -32°C, respectively. In this research, three-year-old plants of Bidaneh-Ghermez, Flame, Perlette, Kashmiri 1, Shahrودي, Yaghouti, Kashmiri 2, Nasrallah daei's Asgari, Rish baba, Siahe-Mahali, Asgari, Siahe-Hasnabad were studied. In the fruit ripening stage, morphological traits, fruit yield and the concentration of nutrients in the leaves of the studied cultivars were measured in two growing seasons of 1400-1401 and 1402-1401.

### Results and Discussion

Having precise selection power among plants is necessary for breeding and production of new varieties, which depends on the identification of existing varieties and their diversity. In the present study most of the traits showed significant variations among the studied cultivars. The results revealed significant differences among the



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89578.1374>

studied cultivars in terms of growth characteristics, including stem diameter, current season shoot length, number and spacing of internodes, and leaf surface area. Yield-related traits—such as cluster length, cluster width, cluster weight, berry length, and berry width—were also significantly influenced by the grape cultivar. The highest yield was observed in the Flame cultivar, producing 7.19 kg per plant. Based on the results, the evaluated grape cultivars were significantly differed from each other in terms of the concentration of macro and micro nutrient elements in the leaves. Correlation results showed that the leaf area, cluster characteristics, and the concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron, manganese, zinc, and boron significantly and positively correlated with the grape yield. Cluster analysis classified the studied grape cultivars into three groups, which were in accordance with the results of principal components analysis. Based on the results of this research, the cultivars Perlette, Flame, Bidaneh-Ghermez, Siahe-Hasnabad and Rish baba were superior to other cultivars in terms of the evaluated traits, which can be investigated for further studies and breeding programs. The amount of copper in the leaves of grape cultivars in the first year was higher than in the second year, and Asgari Dai Nasrallah and Siah Mahali cultivars had the highest ( $7.60 \text{ mg.kg}^{-1}$  in leaf fresh weight) and the lowest ( $4.28 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) respectively. Kg.leaf fresh weight<sup>-1</sup>) had copper content. The amount of manganese in the first year was more than the second year and the different grape cultivars were significantly different from each other. The highest amount of manganese was in Siahe-Hasnabad cultivars ( $95.92 \text{ mg.kg}^{-1}$  in leaf fresh weight) and Philim ( $93.50 \text{ mg.kg}^{-1}$  in leaf fresh weight) and the lowest amount in Kashmiri 2 variety ( $60.22 \text{ mg.kg}^{-1}$ /leaf fresh weight) was measured. In the present study, the amount of zinc element measured in the first year was higher than the second year and it varied between  $84.80$  and  $25.05 \text{ mg.kg}^{-1}$  in leaf fresh weight among different grape varieties. Fleim and Yaghuti cultivars had the highest and lowest amount of zinc element among the studied cultivars. Boron is one of the elements influencing the quantitative and qualitative characteristics of grapes, and the need for this element in grapes is more than other treasured fruit trees, and the presence of optimal amounts of boron is necessary for the formation of fruit and the growth and development of pods. Although the effect of the year on the boron content was not significant, its measured value was higher in the second year than in the first year. The highest ( $38.22 \text{ mg.kg}^{-1}$  in leaf fresh weight) and the lowest ( $17.62 \text{ mg.kg}^{-1}$  in leaf fresh weight) boron content were recorded in Pearlet and Kashmiri 2 cultivars, respectively. The recorded differences in the concentration of nutrients in the leaves of different grape cultivars can be attributed to several reasons: a) The ability to absorb nutrients may be different in the studied cultivars, so they act differently in the transfer and distribution of nutrients. b) Difference in the amount of active hormones in the root. c) Some nutrients are consumed in a larger amount by the roots, and as a result, the amount transferred to the branches and leaves decreases. The difference in the consumption of nutrients in the roots of different grape cultivars leads to the difference in the measured concentration of these elements in the leaves.

## Conclusion

Significant differences were found among the 12 grape cultivars in terms of morphological, nutrient elements and yield traits. These findings confirmed that growth and berry yield of grape can be affected mainly by the cultivar-based genetic background. The results of this study can be used as a guide for selecting appropriate cultivars for further breeding programs.

**Keywords:** Cluster analysis, Commercial grape cultivars, Correlation analysis, Macronutrients, Vine yield

## ارزیابی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه در بعضی از

ارقام انگور (*Vitis vinifera* L.)عبدالله گودرزی<sup>1</sup> - مهرباب یادگاری<sup>2\*</sup> - سید اصغر موسوی<sup>3</sup> - سید حبیب الله نوربخش<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1403/06/04

تاریخ پذیرش: 1403/11/14

## چکیده

این پژوهش با هدف مطالعه صفات ریخت‌شناختی، عملکردی و غلظت برخی عناصر غذایی در 12 رقم تجاری انگور (*Vitis vinifera* L.) بی‌دانه قرمز، قلم سیدلس، پرت، کاشمری<sup>1</sup>، شاهرودی، یاقوتی، کاشمری<sup>2</sup>، عسگری دابی نصرالله، ریش بابا، سیاه محلی، عسگری و سیاه حسن آباد طی دو فصل رشد 1400-1401 و 1401-1402 در باغ کلکسیون ارقام انگور در ایستگاه تحقیقات باغبانی منطقه سامان در استان چهارمحال و بختیاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. نتایج بیانگر تفاوت معنی‌دار ارقام مورد مطالعه از نظر خصوصیات رشدی (قطر تنه، طول شاخه یک‌ساله، تعداد و فاصله میان‌گره و سطح برگ) می‌باشد. همچنین صفات مربوط به عملکرد بوته شامل طول خوشه، عرض خوشه، وزن خوشه، طول حبه و عرض حبه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع رقم انگور بود و بیشترین عملکرد در رقم قلم سیدلس (7/19 کیلوگرم در بوته تاک) ثبت گردید. براساس نتایج حاصل، ارقام مورد ارزیابی انگور از نظر غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. نتایج همبستگی بیانگر اثر مثبت و معنی‌دار سطح برگ، مشخصات خوشه، و غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم، آهن، منگنز، روی و بور بر عملکرد بوته تاک انگور می‌باشد. نتایج تجزیه خوشه‌ای، ارقام مورد مطالعه انگور را در سه گروه عملکرد بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی کرد. نتیجه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز مطابق با نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای بود. براساس یافته‌های این پژوهش، ارقام پرت، قلم سیدلس، بی‌دانه قرمز، سیاه حسن آباد و ریش بابا از نظر صفات مورد ارزیابی نسبت به سایر ارقام برتر بوده که می‌توان برای مطالعات و برنامه‌های به‌نژادی بیشتر مورد بررسی قرار داد.

واژه‌های کلیدی: ارقام تجاری انگور، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه همبستگی، عملکرد بوته، عناصر غذایی پرمصرف

## مقدمه

بالا بوده و از این لحاظ نقش بسیار مهمی را در اقتصاد کشورهای تولیدکننده این محصول ایفا می‌کند. در بین درختان میوه، انگور از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جایگاه اول در ایران قرار دارد. کشت‌وکار این محصول در ایران قدمت زیادی دارد و به همین دلیل تنوع بالای انگور از لحاظ ارقام محلی در مناطق مختلف کشور گزارش شده است (Rasouli & Kalvandi, 2022; Rasoli et al., 2017). بررسی خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی و همبستگی این صفات با عملکرد میوه در ارقام مختلف انگور می‌تواند امکان انتخاب رقم مناسب با حداکثر میزان کمیت و کیفیت برای شرایط اقلیمی مختلف فراهم آورد. تنوع در رشد و عملکرد ارقام مختلف انگور در مناطق مختلف توسط محققان متعددی گزارش شده است (Abiri et al., 2020; Razi et al., 2021; Kasnazany et al., 2023). میزان عملکرد میوه انگور تحت تأثیر اندام‌های هوایی گیاه (فتوستز و تنفس)، ساختار ریشه (جذب آب و مواد غذایی) و همچنین خصوصیات خاک (بافت خاک، میزان آب و مواد غذایی) می‌باشد (Kazemi et

انگور با نام علمی *Vitis vinifera* L. از محصولات مهم باغی در ایران می‌باشد که ارزش آن به‌دلیل تولید فرآورده‌های متنوع، بسیار

1- گروه زراعت و گیاهان دارویی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

2- مرکز تحقیقات تغذیه و محصولات ارگانیک، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

(\*) - نویسنده مسئول: Email: [mehrabadyadegari@gmail.com](mailto:mehrabadyadegari@gmail.com); [kazemkazem1357@iaau.ac.ir](mailto:kazemkazem1357@iaau.ac.ir)

3- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

4- بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89578.1374>

2022, al.,). تفاوت در خصوصیات ریخت‌شناختی و عملکردی در ارقام مختلف انگور به اثر عوامل ژنتیکی (Villano et al., 2023)، شرایط اقلیمی (Frioni et al., 2020) و شرایط آدافیکی محل رویش (Karimi & Salimi, 2021) نسبت داده می‌شود. خصوصیات ژنتیکی با تحت تأثیر قرار دادن فرآیندهای فیزیولوژیکی هر گونه گیاهی، موجب تنوع در رشد و ساختار اندام‌های مختلف گیاهی به‌ویژه برگ، ساقه و ریشه می‌شود که منجر به تفاوت در میزان و کارایی جذب آب، عناصر غذایی و همچنین جذب نور می‌گردد (Vivin et al., 2017). در نتیجه، تأثیر متفاوت عوامل ژنتیکی بر خصوصیات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در هر گونه گیاهی به صورت تفاوت در کمیت و کیفیت محصول بروز می‌یابد (Doulati Baneh, 2015; Bigard et al., 2018).

امروزه در احداث تاکستان‌های جدید از ارقام قدیمی انگور به دلیل عملکرد پایین و حساسیت بالا به تنش‌های زیستی و غیرزیستی علی‌رغم داشتن طعم و کیفیت مطلوب کمتر استفاده می‌شود. با این وجود، در بین این ارقام ممکن است نمونه‌هایی با صفات مطلوب از جمله قابلیت رشد در شرایط نامناسب اقلیمی و خاکی با توانایی بالای جذب عناصر غذایی باشند که می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی و نیز تولید محصول سالم مورد استفاده قرار گیرند (Antolin et al., 2020). ارزیابی و اندازه‌گیری عناصر غذایی یکی از عوامل مهم در تعیین قابلیت جذب و انتقال عناصر غذایی توسط گیاه می‌باشد که به‌طور مستقیم رشد و عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Leão & Oliveira, 2023). غلظت عناصر غذایی در قسمت‌های مختلف بوته انگور علاوه بر توانایی ریشه در جذب و انتقال عناصر غذایی، به قابلیت استفاده از آن‌ها در اندام‌های هوایی بستگی دارد (da Silva et al., 2018). اگرچه ریخت‌شناسی و ساختار ریشه نقش مهمی در میزان و کارایی جذب عناصر غذایی دارد، اما نتایج تحقیقات نشان دادند که اثر خصوصیات ژنتیکی در این زمینه بارزتر می‌باشد (Villano et al., 2023). برای مثال، توانایی جذب عناصر کلسیم، فسفر و منیزیم در انگورهای هیبرید، بین گونه‌های *Vitis berlandieri* و *Vitis riparia* بالا بوده، در حالی که قابلیت جذب پتاسیم در انگورهای دورگ *V. berlandieri* و *V. rupestris* پایین گزارش شد (Schaller & Löhnertz, 1990). استفاده از ارقام با کارایی بالای جذب عناصر غذایی یکی از راهکارهای مقابله با ناهنجاری‌های تغذیه‌ای و نیز مصرف بهینه کودهای شیمیایی همراه با کاهش هزینه می‌باشد (Zhou et al., 2017). تفاوت در میزان جذب و کارایی انتقال مواد غذایی در بین گونه‌های مختلف انگور ممکن است ناشی از اختلاف در ساختار ریشه و تراکم تارهای کشنده آن باشد که تحت کنترل عوامل ژنتیکی هستند (Jahnke et al., 2021). این تفاوت‌ها

می‌تواند به‌طور غیرمستقیم صفات کمی و کیفی میوه انگور را نیز تحت تأثیر قرار دهند (Karimi & Koulivand, 2019). وجود عناصر غذایی در یک حد بهینه موجب افزایش رشد و تولید در گونه‌های مختلف گیاهی می‌شود. بوته انگور برای تولید حداکثر عملکرد به نیتروژن، پتاسیم، روی و بور به‌میزان بیشتری از سایر عناصر غذایی ضروری نیاز دارد (Doulati Baneh et al., 2015). از این‌رو اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی برای پیشبرد صحیح برنامه‌های تغذیه‌ای و داشتن رشد و عملکرد مطلوب امری ضروری است. نتایج دولتی بانه و همکاران (Doulati Baneh et al., 2015) نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار رقم بر مقدار عناصر غذایی در انگور می‌باشد. حدادی‌نژاد و همکاران (Haddadinejad et al., 2013): اکرم و همکاران (Akram et al., 2021) و میرفتاح و همکاران (Mirfatah et al., 2024) تفاوت معنی‌داری از نظر رشد و عملکرد در بین ارقام مختلف انگور گزارش کردند که به تفاوت در قدرت جذب عناصر مختلف غذایی ژنوتیپ‌های انگور نسبت داده شد.

در حال حاضر، رقم غالب انگور در استان چهارمحال و بختیاری، عسگری می‌باشد که با توجه به مشکلات تولید آن از قبیل نرسیدن کامل به دلیل کوتاه بودن فصل رشد و گرما در تابستان و نیز قدرت حمل‌ونقل پایین میوه آن، رقم چندان مناسبی برای این استان نبوده و لازم است با شناسایی ارقام منطقه و مقایسه آن با رقم عسگری، رقم مناسب و سازگار با منطقه با عملکرد بالا جایگزین رقم عسگری گردد. مطالعه ارقام انگور از نظر خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی و بررسی ارتباط آن با عملکرد میوه از جمله موضوعاتی می‌باشد که برای توسعه و افزایش تولید انگور و محصولات مختلف حاصل از آن باید مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که مطالعه وضعیت عناصر غذایی می‌تواند یک شاخص دقیق برای ارزیابی رشد و عملکرد در گیاه باشد، بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه رشد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ 12 رقم تجاری انگور در شرایط اقلیمی منطقه سامان واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام گردید.

## مواد و روش‌ها

### طرح آزمایش و مواد گیاهی

پژوهش حاضر با هدف بررسی صفات ریخت‌شناختی و پومولوژیکی 12 رقم انگور در باغ کلکسیون انگور استان چهارمحال و بختیاری منطقه سامان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. منطقه سامان با موقعیت جغرافیایی 32/19 درجه عرض جغرافیایی، 50/51 درجه طول جغرافیایی و 2060 متر ارتفاع از سطح دریا در فاصله 22 کیلومتری شمال شرقی شهرکرد و 85 کیلومتری

برای تعیین خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک زمین محل اجرای پروژه، نمونه‌برداری از خاک انجام و مورد آزمایش قرار گرفت (جدول 1). براساس نتایج آنالیز خاک، از کود دامی جهت تقویت و اصلاح خاک استفاده شد (Karami, 2014) و شرایط تغذیه‌ای برای همه بوته‌های مو در محل آزمایش یکسان بود. آبیاری با استفاده از آب چاه با pH برابر با 7/17 و هدایت الکتریکی 695 میکروزیمنس بر سانتی-متر صورت گرفت.

غرب اصفهان قرار دارد. منطقه مورد مطالعه، کوهستانی معتدل متمایل به سرد با متوسط درجه حرارت 12/8 درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه 243 میلی‌متر است. در دو سال 1401 و 1402 در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب حداقل دما در زمستان (17/1- و 11/6- درجه سانتی‌گراد)، حداکثر دما در تابستان (37/9 و 37/1 درجه سانتی‌گراد)، میزان بارندگی (384/6 و 255/6 میلی‌متر) و میانگین رطوبت نسبی در زمستان به‌ترتیب (77 و 56/5 درصد) و میانگین رطوبت نسبی در تابستان به‌ترتیب (24 و 28 درصد) بود.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 1- The soil physico-chemical properties of the studied filed

| هدایت الکتریکی<br>Electric conductivity<br>(dS.m <sup>-1</sup> ) | کل مواد خنثی<br>Total neutralizing value<br>(%) | کربن آلی<br>Organic carbon<br>(%) | کل نیتروژن<br>Total nitrogen<br>(%) | اسیدیته<br>Acidity | پتاسیم<br>Potassium<br>(mg.kg <sup>-1</sup> ) | فسفر<br>Phosphorus<br>(mg.kg <sup>-1</sup> ) | بافت<br>Tissue |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|
| 2.17                                                             | 26.0                                            | 0.293                             | 0.016                               | 7.74               | 164.0                                         | 5.6                                          | لومی<br>Loamy  |

بوته انتخاب و سطح هر برگ با استفاده از دستگاه سطح‌سنج (LI3100CAREA METER) تعیین شد (Karami, 2014).

#### اندازه‌گیری عناصر غذایی

در هر دو سال مورد مطالعه، عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و کم‌مصرف (آهن، مس، منگنز، روی و بور) در برگ بدون دمبرگ ارقام مختلف انگور به‌شرح ذیل اندازه‌گیری گردید.

#### نیتروژن

جهت اندازه‌گیری درصد نیتروژن، برگ خشک آسیاب‌شده در لوله هضم ریخته و کاتالیزور همراه با اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. عصاره حاصل در لوله آزمایش به‌مدت دو ساعت روی دستگاه هضم قرار داده شد و بعد از سرد شدن محتویات لوله، سود 10 نرمال و محلول اسید بوریک اضافه گردید. تیتراسیون با اسید سولفوریک 0/005 نرمال انجام گرفت و براساس میلی‌لیتر اسید سولفوریک مصرف‌شده، میزان نیتروژن به‌صورت درصد نیتروژن موجود در نمونه با ماکروکجلدال اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

#### فسفر

به‌منظور اندازه‌گیری فسفر در نمونه‌های برگ ارقام مختلف انگور، 0/5 گرم از برگ را داخل کروزه چینی قرار داده و به‌مدت چهار ساعت در کوره با دمای 500 درجه سانتی‌گراد گذاشته تا خاکستر گردد. سپس خاکستر حاصل را با 10 میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک یک نرمال

در این پژوهش، تاک‌های چهارساله ارقام بی‌دانه قرمز، فلیم سیدلس، پرلت، کاشمری 1، شاهرودی، یاقوتی، کاشمری 2، عسگری دایی نصرالله، ریش بابا، سیاه محلی، عسگری و سیاه حسن آباد مورد مطالعه قرار گرفتند. در پژوهش حاضر فواصل کاشت 3×2 و سیستم کاشت روسیمی و سیستم تربیت کوردون دوطرفه بود. هرس باردهی با توجه به رقم شامل تعداد شاخه یکسان با شدت هرس در سه گروه بلند، کوتاه و متوسط انجام شد. در ارقام بی‌دانه قرمز، هرس بلند (بیش‌از چهار تا جوانه: پنج تا هفت جوانه)، ارقام فلیم و پرلت هرس کوتاه (تا دو جوانه) و مابقی ارقام هرس متوسط (سه تا چهار جوانه) انجام شد. در مرحله رسیدگی میوه، صفات ریخت‌شناختی، عملکرد میوه و غلظت عناصر غذایی در برگ ارقام مورد مطالعه در دو فصل رشد 1401-1402 و 1400-1401 اندازه‌گیری گردید.

#### صفات مورد ارزیابی

##### صفات رویشی

در پژوهش حاضر در هر دو سال مورد مطالعه، با حذف اثرات حاشیه‌ای در هر تکرار سه بوته انتخاب شد و صفات ریخت‌شناختی شامل قطر تنه، طول شاخه یک‌ساله، تعداد میان‌گره، طول میان‌گره و سطح برگ اندازه‌گیری گردید. طول شاخه‌ها و میان‌گره‌ها به‌وسیله متر و قطر تنه توسط کولیس اندازه‌گیری شد. برای این منظور، در هر تکرار سه بوته انتخاب و اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناختی مزبور در هر بوته در سه شاخه انجام گردید. جهت اندازه‌گیری سطح برگ، تعداد پنج برگ بالغ از قسمت‌های مرکزی شاخه در هر رقم و از هر

اسید هیدروکلریک چهار مول به آن اضافه شد. محلول حاصل حرارت داده شد تا دی‌اکسیدکربن آن متصاعد گردد و سپس غلظت‌های مختلف آن تهیه گردید. میزان جذب کلسیم در هر یک از نمونه‌های عصاره و استاندارد در طول موج 422/7 نانومتر با شعله زرد اندازه‌گیری شد و مقدار کلسیم نمونه‌های مورد مطالعه براساس منحنی استاندارد محاسبه گردید (Lindsay & Norvell, 1978).

### عناصر کم‌مصرف

برای اندازه‌گیری میزان آهن، منگنز، روی و مس در نمونه‌های برگ ارقام مختلف انگور، هشت میلی‌لیتر از محلول 3 به 1 اسید کلریدریک به اسید نیتریک غلیظ، به نمونه‌های برگ اضافه و در دمای اتاق قرار داده شدند. پس از 24 ساعت، به‌منظور خارج شدن بخارات اسیدی از محلول، عصاره حاصل به مدت 10 دقیقه حرارت داده و با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده شد و با استفاده از دستگاه جذب اتمی میزان آهن، منگنز، روی و مس نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید (Emami, 1996; Lindsay & Norvell, 1978). مقدار بور در نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از معرف آزمونین‌اچ و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Lindsay & Norvell, 1978).

### عملکرد میوه

در مرحله رسیدگی کامل میوه‌ها، طول، عرض و وزن خوشه میوه، طول و عرض حبه و عملکرد میوه اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت ترکیبی از تکمیل رنگ زمینه در پوست و گوشت حبه و شاخص بریکس عصاره میوه (بریکس بالای 17) در نظر گرفته شد. طول، عرض و وزن تک خوشه در هر تکرار در چهار خوشه در هر رقم اندازه‌گیری و با میانگین‌گیری به دست آمد. طول و عرض تک خوشه توسط خط‌کش انجام گردید. طول و عرض تک حبه با اندازه‌گیری طول و عرض 20 حبه از هر رقم در هر تکرار به‌وسیله کولیس به دست آمد و میانگین آن‌ها آنالیز شد. عملکرد میوه در هر رقم با توزین خوشه‌های برداشت‌شده از چهار بوته در هر تکرار اندازه‌گیری و سپس میانگین‌گیری شد (Karami, 2014).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همبستگی بین صفات به‌روش پیرسون، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد، براساس فاصله اقلیدوسی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver.16 انجام گرفت.

داخل بشر 50 میلی‌لیتری ریخته و 10 دقیقه روی هیتر با دمای 80 درجه قرار داده شد. سپس محتویات بشر را با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسانیده و 0/5 میلی‌لیتر از عصاره فوق را مجدداً با آب مقطر به حجم 25 میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 660 نانومتر قرائت شد (Emami, 1996).

### پتاسیم

برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم از روش هضم سوزاندن نمونه خشک گیاهی در کوره با دمای 600 درجه سانتی‌گراد به مدت هفت ساعت و واکنش با اسید کلریدریک 1/5 مولار استفاده گردید. مقدار پتاسیم براساس روش فلیم فتومتری تعیین گردید (Emami, 1996).

### منیزیم

برای تهیه عصاره، 0/5 گرم از نمونه برگ خشک را در بوته چینی ریخته و در کوره الکتریکی در دمای 450 درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت قرار داده شد. پس از خنک شدن، 10 میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک اضافه نموده و در حمام آبی در دمای 80 درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد تا اولین بخارات سفید خارج شود. محتویات داخل بوته چینی را از کاغذ صافی عبور داده و به حجم 100 میلی‌لیتر رسانده شد. جهت تهیه محلول استاندارد، 0/4 گرم سولفات منیزیم در 200 میلی‌لیتر آب حل و 10 میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک به آن اضافه و به حجم یک لیتر رسانده شد. سپس 5، 10، 15، 20 و 25 میلی‌لیتر از محلول استاندارد در بالن 100 میلی‌لیتری ریخته و با اسید هیدروکلریک 0/12 مول به حجم رسانده شد و سری محلول‌های استاندارد تهیه شد. برای تهیه محلول لانتوم، 3/12 گرم نمک نیترات لانتوم در کمی آب حل شده و به حجم 1000 میلی‌لیتر رسید. 0/25 میلی‌لیتر از محلول عصاره و سری محلول‌های استاندارد به لوله آزمایش منتقل شدند و 4/75 میلی‌لیتر از محلول لانتوم اضافه و هم زده شد و میزان جذب هر یک در طول موج 285/2 نانومتر با شعله آبی استیلن-هوا اندازه‌گیری گردید. در نهایت مقدار منیزیم نمونه‌ها براساس منحنی تهیه‌شده از محلول‌های استاندارد تعیین گردید (Emami, 1996).

### کلسیم

جهت اندازه‌گیری میزان کلسیم به‌روش جذب اتمی، ابتدا عصاره نمونه‌های برگ ارقام انگور مورد مطالعه، مانند روش ذکرشده برای اندازه‌گیری منیزیم تهیه گردید. برای تهیه محلول استاندارد، 2/5 گرم کلسیم کربنات در 150 میلی‌لیتر آب حل کرده و سپس 13 میلی‌لیتر



## نتایج و بحث

### صفات رویشی

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر رقم بر قطر تنه، طول شاخه یک‌ساله، تعداد میان‌گره، فاصله میان‌گره و سطح برگ در بوته‌های انگور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین صفات رشدی مورد مطالعه به‌جز فاصله میان‌گره در طول دو فصل رشد تغییرات معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. در تمامی ارقام انگور، قطر تنه، طول شاخه یک‌ساله، تعداد میان‌گره، فاصله میان‌گره و سطح برگ در سال دوم بیشتر از سال اول بود (جدول 2). نتایج مقایسه میانگین بیانگر تفاوت معنی‌دار در خصوصیات ریخت‌شناختی ارقام انگور می‌باشد. طول ساقه در ارقام مختلف انگور تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند و بیشترین قطر تنه در ارقام ریش بابا (14/16 سانتی‌متر) و شاه‌رودی (46/5 سانتی‌متر) ثبت گردید. رقم عسگری کمترین قطر تنه (26/3 سانتی‌متر) را داشت. میزان رشد شاخه‌ها در هر دو فصل رشد در ارقام انگور متفاوت بود و در ارقام پُرت (44/176 سانتی‌متر) و کاشمیری 2 (3/87 سانتی‌متر) به‌ترتیب بیشترین و کمترین طول شاخه‌های یک‌ساله ثبت گردید. تعداد و فاصله میان‌گره‌ها نیز در ارقام انگور اختلاف معنی‌داری داشتند. در ارقام ریش بابا و شاه‌رودی بیشترین تعداد میان‌گره و ارقام یاقوتی و عسگری بیشترین فاصله میان‌گره اندازه‌گیری شد. رقم عسگری کمترین تعداد میان‌گره و شاه‌رودی و ریش بابا کمترین فاصله میان‌گره را در شاخه‌های یک‌ساله داشتند. ارقام مورد مطالعه انگور تفاوت معنی‌داری از نظر سطح برگ با یکدیگر نشان دادند. ارقام فلیم سیدلس (59/328 سانتی‌مترمربع) و بی‌دانه قرمز (44/328 سانتی‌مترمربع) بیشترین سطح برگ را داشتند که با مقدار این صفت در ارقام پُرت، عسگری دایب نصرالله و سیاه حسن آباد تفاوت معنی‌داری نداشتند. در مقابل، کمترین سطح برگ در ارقام یاقوتی (63/160 سانتی‌مترمربع) و کاشمیری 2 (97/179 سانتی‌مترمربع) اندازه‌گیری گردید (جدول 2). با توجه به این‌که تمامی ارقام مورد مطالعه در یک شرایط اقلیمی و آدافیکی یکسان قرار دارند، بنابراین تفاوت‌های مشاهده‌شده در خصوصیات رشدی به تفاوت ژنتیکی بین آن‌ها نسبت داده می‌شود (Antolin et al., 2020). صفات ریخت‌شناختی که عمده‌تاً توسط یک ژن کنترل می‌شوند، می‌توانند به عنوان نشانگر دقیق برای بررسی ویژگی‌های ژنتیکی مورد استفاده قرار گیرند (Rasoli et al., 2017). تنوع بالایی در صفات فنوتیپی ارقام مختلف انگور گزارش شده است (Jahnke et al., 2021; Rasouli & Kalvandi, 2022; Kazemi et al., 2022; Haddadinejad et al., 2013). تفاوت‌های مشاهده‌شده در

رشد و خصوصیات ریخت‌شناختی در بین ارقام مورد مطالعه انگور به تفاوت در خصوصیات ریشه از نظر رشد و ساختار (Akram et al., 2021)، راندمان جذب مواد مغذی (Haddadinejad et al., 2013) و کارایی فتوسنتز (Doulati Baneh & Nejatian, 2018) نسبت داده می‌شود. با وجود اینکه ارقام مورد بررسی در این پژوهش از یک گونه می‌باشند، ولی تفاوت‌های ژنتیکی ممکن است از طریق تأثیر بر جذب آب و مواد غذایی و همچنین ساختار فتوسنتسم‌ها در میزان جذب نور منجر به تفاوت در رشد و خصوصیات فنوتیپی در بین ارقام مورد مطالعه انگور گردد (Mirfatah et al., 2024). همچنین، تفاوت در قدرت رشد بین ارقام مختلف به تفاوت در پاسخ این ارقام به شرایط محیطی نسبت داده می‌شود که ناشی از تنوع ژنتیکی موجود در بین آن‌ها می‌باشد (Khandani et al., 2022).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت عناصر غذایی پرمصرف اندازه‌گیری‌شده در برگ ارقام مختلف انگور بیانگر اثر معنی‌دار رقم بر مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ انگور در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. براساس نتایج حاصل، تنها مقدار فسفر و منیزیم در طول دو سال مورد مطالعه تغییر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشتند و اثر متقابل سال و رقم نیز بر مقدار هیچ یک از عناصر اندازه‌گیری‌شده در برگ انگور معنی‌دار نشد. در پژوهش حاضر، غلظت نیتروژن در برگ ارقام ریش بابا (2/78 درصد) و سیاه حسن آباد (2/65 درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ارقام مورد مطالعه انگور بود. کمترین مقدار نیتروژن (1/51 درصد) در برگ رقم عسگری ثبت شد که تفاوت معنی‌داری با ارقام سیاه محلی و عسگری دایب نصرالله نداشت. مقدار فسفر اندازه‌گیری‌شده در برگ ارقام انگور در سال دوم بیشتر از سال اول بود. بیشترین (58/0 درصد) مقدار فسفر به‌ترتیب در رقم فلیم سیدلس ثبت شد و کمترین مقدار آن (19/0 درصد) در رقم عسگری بود که با رقم یاقوتی تفاوت معنی‌داری نداشت. رقم بی‌دانه قرمز، بیشترین (2/02 درصد) و ارقام کاشمیری 2 و یاقوتی کمترین مقدار پتاسیم را در برگ داشتند. در این مطالعه، مقدار کلسیم بین 1/90 و 1/20 گرم در کیلوگرم برگ تازه در بین ارقام مختلف انگور متغیر بود که در ارقام سیاه حسن آباد و عسگری دایب نصرالله بیشترین و در رقم سیاه محلی کمترین مقدار کلسیم ثبت شد. مقدار منیزیم در بین ارقام مورد مطالعه انگور در دو فصل رشد تفاوت قابل توجهی داشتند و بیشترین مقدار آن در سال اول و در برگ رقم پُرت (1/90 گرم در کیلوگرم برگ تازه) مشاهده گردید. رقم شاه‌رودی کمترین مقدار منیزیم برگ (0/62 گرم در کیلوگرم برگ تازه) را داشت که تفاوت معنی‌داری با ارقام کاشمیری 2 و یاقوتی از نظر مقدار منیزیم نشان ندادند (جدول 3). وجود مقدار کافی نیتروژن در انگور باعث بهبود تعداد حبه در خوشه و عملکرد



در راستای نتایج حاصل از پژوهش حاضر، اختلاف در جذب و تجمع عناصر پرمصرف در ژنوتیپ‌های مختلف انگور توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Leão & Kazemi *et al.*, 2022 ; Oliveira, 2023). طبق یافته‌های ویلانو و همکاران (Villano *et al.*, 2023) اگرچه ساختار ریشه نقش مهمی در میزان و کارایی جذب عناصر غذایی دارد، اما اثر عوامل ژنتیکی در قابلیت جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌ها بارزتر می‌باشد. داسیلوا و همکاران (da Silva *et al.*, 2018) مقدار عناصر پرمصرف در برگ‌های بوته انگور را به توانایی ریشه در جذب و انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی نسبت دادند.

می‌شود و همچنین دسترسی به مقادیر کافی منیزیم جهت رشد رویشی و تشکیل خوشه‌های سالم در انگور ضروری می‌باشد. عنصر فسفر در فعل‌وانفعال‌های شیمیایی مانند تشکیل آنتوسیانین در برگ انگور و تبدیل نشاسته به قند در حبه‌های انگور مؤثر است. در میان عناصر پرمصرف، انگور نیاز بیشتری به پتاسیم دارد، چراکه پتاسیم نقش مهمی در اندازه حبه‌ها و همچنین رنگ‌گیری و طعم حبه‌ها دارد. اگر چه وجود کلسیم برای دستیابی به رشد و عملکرد بالا در انگور ضروری است، ولی اثر پتاسیم در خصوصیات کیفی میوه انگور بارزتر می‌باشد (Doulati Baneh, 2015).

جدول 2- صفات رشدی ارقام مختلف انگور در دو سال مورد مطالعه (1401-1402 و 1400-1401)  
Table 2- Growth traits of different grape cultivars in two studied years (2021 and 2022)

| تیمار<br>Treatment                          | قطر تنه<br>Trunk diameter<br>(cm) | طول شاخه یک‌ساله<br>Cane shoot<br>length (cm) | تعداد میان‌گره<br>No. internode of<br>branch current | فاصله میان‌گره<br>Internode length<br>(cm) | سطح برگ<br>Leaf area (cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| سال<br>Year                                 |                                   |                                               |                                                      |                                            |                                         |
| 1401                                        | 3.76±0.83 b*                      | 112.12±23.06 b                                | 18.18±4.69 b                                         | 6.73±0.91 a                                | 191.22±51.64 b                          |
| 2022                                        |                                   |                                               |                                                      |                                            |                                         |
| 1402                                        | 5.07±0.95 a                       | 132.49±23.32 a                                | 21.37±4.24 a                                         | 6.70±0.88 a                                | 301.57±50.23 a                          |
| 2023                                        |                                   |                                               |                                                      |                                            |                                         |
| رقم<br>Cultivar                             |                                   |                                               |                                                      |                                            |                                         |
| بی‌دانه قرمز<br>'Bidaneh-Ghermez'           | 4.77±0.87 bc                      | 141.94±15.56 b                                | 17.37±1.90 de                                        | 7.09±0.04 d                                | 328.44±56.36 a                          |
| فلیم سیدلس<br>Flame seedless                | 4.55±0.79 bc                      | 134.35±15.45 bc                               | 20.76±2.57 bc                                        | 6.18±0.05 f                                | 328.59±66.63 a                          |
| پرلت<br>Perlette                            | 4.34±0.83 cd                      | 176.44±17.77 a                                | 19.78±3.43 cd                                        | 7.06±0.12 d                                | 286.41±60.14 ab                         |
| کاشمیری 1<br>Kashmiri 1                     | 3.35±0.79 de                      | 117.31±14.11 cde                              | 22.24±1.75 bc                                        | 5.72±0.06 h                                | 238.1±62.37 bcd                         |
| شاهرودی<br>Shahrودي                         | 5.46±0.84 ab                      | 120.99±10.00 cd                               | 26.39±1.51 b                                         | 5.45±0.12 i                                | 221.55±64.43 bcd                        |
| یاقوتی<br>Yaghouti                          | 4.31±0.74 cd                      | 117.63±19.31 cde                              | 14.43±1.61 ef                                        | 7.89±0.11 a                                | 160.63±62.32 d                          |
| کاشمیری 2<br>Kashmiri 2                     | 4.47±0.1 bc                       | 87.03±11.89 f                                 | 15.84±1.85 ef                                        | 7.59±0.16 b                                | 179.97±57.98 cd                         |
| عسگری دایی نصرالله<br>Asgari daei Nasrallah | 3.71±0.88 cde                     | 124.83±13.06 bcd                              | 16.12±1.97 eff                                       | 7.43±0.13 c                                | 259.64±64.26 abc                        |
| ریش بابا<br>Rish-baba                       | 6.14±1.19 a                       | 115.49±10.42 cde                              | 26.88±2.21 a                                         | 5.42±0.09 i                                | 243.4±64.35 bc                          |
| سیاه محلی<br>Siahe-Mahali                   | 3.79±0.79 cde                     | 117.51±11.37 cde                              | 20.15±2.87 bcd                                       | 6.85±0.11 e                                | 237.66±60.47 bcd                        |
| عسگری<br>Asgari                             | 3.26±0.71 e                       | 114.32±15.20 de                               | 14.23±3.03 f                                         | 7.84±0.13 a                                | 222.2±63.07 bcd                         |
| سیاه حسن آباد<br>Siahe-Hasnabad             | 4.77±0.62 bc                      | 99.83±17.22 ef                                | 23.13±2.91 b                                         | 6.03±0.05 g                                | 250.18±60.53 abc                        |

\* در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

\* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference base on Duncan's multiple range test ( $p \leq 0.05$ )

جدول 3- غلظت عناصر پرمصرف در برگ ارقام مختلف انگور در دو سال مورد مطالعه

Table 3- The concentration of macro elements in different grape cultivar leaf in two studied years

| تیمار<br>Treatments                         | نیتروژن<br>Nitrogen<br>(%) | فسفر<br>Phosphorus<br>(%) | پتاسیم<br>Potassium<br>(%) | کلسیم<br>Calcium<br>(g.kg <sup>-1</sup> FW) | منیزیم<br>Magnesium<br>(g.kg <sup>-1</sup> FW) |
|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| سال<br>Year                                 |                            |                           |                            |                                             |                                                |
| 1401                                        | 2.04±0.44 a*               | 0.37±0.12 b               | 1.70±0.22 a                | 1.49±0.23 a                                 | 1.07±0.43 a                                    |
| 2022                                        |                            |                           |                            |                                             |                                                |
| 1402                                        | 2.08±0.45 a                | 0.39±0.13 a               | 1.66±0.23 a                | 1.50±0.23 a                                 | 1.03±0.42 b                                    |
| 2023                                        |                            |                           |                            |                                             |                                                |
| رقم<br>Cultivar                             |                            |                           |                            |                                             |                                                |
| بی‌دانه قرمز<br>Bidaneh-Ghermez             | 2.22±0.21 cd               | 0.44±0.07 cd              | 2.02±0.09 a                | 1.37±0.06 ef                                | 1.50±0.06 c                                    |
| قلیم سیدلس<br>Flame seedless                | 2.36±0.09 bc               | 0.58±0.07 a               | 1.85±0.04 bc               | 1.63±0.04 bc                                | 1.62±0.07 b                                    |
| پرلت<br>Perlette                            | 2.43±0.12 b                | 0.5±0.03 b                | 1.84±0.06 bc               | 1.58±0.07 c                                 | 1.90±0.07 a                                    |
| کاشمیری 1<br>Kashmiri 1                     | 2.00±0.06 e                | 0.30±0.03 fg              | 1.44±0.07 fg               | 1.29±0.04 g                                 | 0.82±0.12 fg                                   |
| شاهرودی<br>Shahrودي                         | 2.10±0.09 de               | 0.38±0.02 e               | 1.73±0.07 d                | 1.33±0.05 fg                                | 0.62±0.03 j                                    |
| یاقوتی<br>Yaghouti                          | 1.71±0.11 f                | 0.22±0.02 hi              | 1.38±0.04 gh               | 1.43±0.06 d                                 | 0.70±0.05 hij                                  |
| کاشمیری 2<br>Kashmiri 2                     | 1.70±0.14 f                | 0.25±0.03 gh              | 1.34±0.12 h                | 1.30±0.05 g                                 | 0.67±0.06 ij                                   |
| عسگری دایی نصرالله<br>Asgari daei Nasrallah | 1.65±0.20 fg               | 0.45±0.04 cd              | 1.78±0.05 cd               | 1.85±0.04 a                                 | 0.90±0.10 f                                    |
| ریش بابا<br>Rish-baba                       | 2.78±0.21 a                | 0.49±0.02 bc              | 1.82±0.07 bc               | 1.68±0.04 b                                 | 1.03±0.13 e                                    |
| سیاه محلی<br>Siahe-Mahali                   | 1.59±0.10 fg               | 0.33±0.03 f               | 1.58±0.07 e                | 1.20±0.03 h                                 | 0.78±0.09 gh                                   |
| عسگری<br>Asgari                             | 1.51±0.16 g                | 0.19±0.03 i               | 1.51±0.10 ef               | 1.41±0.03 de                                | 0.73±0.05 hi                                   |
| سیاه حسن آباد<br>Siahe-Hasnabad             | 2.65±0.18 a                | 0.40±0.05 de              | 1.91±0.07 b                | 1.90±0.07 a                                 | 1.35±0.07 d                                    |

\* در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

\* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference base on Duncan's multiple range test ( $p \leq 0.05$ )

بهبود می‌بخشند. برخی دیگر از طریق احیاء آهن  $Fe^{3+}$  به  $Fe^{2+}$  انتقال آهن از ریشه به برگ‌ها را تسهیل می‌نمایند (Karimi & Salimi, 2021). براساس نتایج حاصل، مقدار عنصر آهن در ارقام مختلف انگور بین 268/28 و 97/80 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ متغیر بود و مقدار اندازه‌گیری‌شده آن در سال اول بیشتر از سال دوم بود. رقم 'سیاه حسن آباد' بیشترین مقدار آهن را داشت و کمترین مقدار آن در ارقام 'سیاه محلی' و 'عسگری' ثبت شد که تفاوت معنی‌داری با رقم 'عسگری دایی نصرالله' نداشت. مس و منگنز به‌مقدار کم مورد نیاز گیاه بوده که فعل و انفعالات بیوشیمیایی و فتوسنتز را تنظیم

غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، مس، منگنز، روی و بور) در برگ ارقام انگور نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رقم در سطح احتمال یک درصد قرار داشت. براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سال بر مقدار عناصر آهن، مس، روی در سطح احتمال پنج درصد و عنصر منگنز در سطح احتمال یک درصد نیز معنی‌دار بود. جذب آهن از خاک توسط گیاهان به‌میزان زیادی تحت کنترل ژنتیکی می‌باشد. سازوکارهای متعددی برای جذب و انتقال آهن در ارقام مختلف انگور گزارش شده است. برخی از گونه‌ها و ارقام انگور با تغییر خصوصیات شیمیایی خاک در ناحیه ریزوسفیر، جذب عناصر غذایی از جمله آهن را

غلظت اندازه‌گیری‌شده این عناصر در برگ می‌گردد (da Silva et al., 2018).

### عملکرد میوه

عملکرد یکی از صفات مهم در انگور محسوب می‌شود که مورد توجه تاک‌داران و به‌نژادگران انگور است و صفات مرتبط با عملکرد صفات مطلوبی محسوب می‌شوند (Rasoli, 2023). ارقام مختلف انگور از نظر طول، عرض و وزن خوشه، طول و عرض حبه و همچنین عملکرد میوه بوته در طول دو فصل رشدی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر طول خوشه، وزن خوشه و عملکرد بوته معنی‌دار بود. همچنین صفات مزبور (طول، عرض و وزن خوشه، طول و عرض حبه و همچنین عملکرد میوه بوته) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع رقم نیز بود. رقم 'قلیم سیدلس' بیشترین طول خوشه (28/71 سانتی‌متر) را داشت که با ارقام 'پرلت' و 'سیاه حسن آباد' از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری نداشتند. رقم 'پرلت' (13/10 سانتی‌متر) و به‌دنبال آن ارقام 'ریش بابا' و 'قلیم سیدلس' بزرگ‌ترین عرض خوشه را نشان دادند. کوچک‌ترین اندازه خوشه از نظر طول و عرض در ارقام 'یاقوتی' و 'کاشمری 2' ثبت گردید. بیشترین وزن خوشه در ارقام 'پرلت' (235/23 گرم) و 'قلیم سیدلس' (229/66 گرم) اندازه‌گیری شد و ارقام 'شاهرودی' (131/26 گرم) و 'یاقوتی' (125/85 گرم) کمترین وزن خوشه را داشتند. تفاوت اندازه حبه انگور از نظر طول و عرض نیز در بین ارقام مختلف معنی‌دار بود، ارقام 'ریش بابا' و 'سیاه محلی' به‌ترتیب بیشترین طول و عرض حبه را داشتند. در رقم 'یاقوتی' کمترین طول و در ارقام 'یاقوتی' و 'کاشمری 2' کمترین عرض حبه ثبت گردید (جدول 5).

ارقام مختلف انگور اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد میوه نشان دادند و بیشترین عملکرد بوته (7/19 کیلوگرم) در رقم 'قلیم سیدلس' حاصل شد. رقم 'یاقوتی' کمترین عملکرد را داشت که با ارقام 'عسگری'، 'کاشمری 2'، 'سیاه محلی' و 'کاشمری 1' تفاوت معنی‌داری را از نظر عملکرد بوته نشان ندادند (شکل 1). عملکرد در میوه انگور به میزان جذب آب و نور برای فرآیند فتوسنتز و جذب عناصر غذایی برای تأمین نیاز غذایی بستگی دارد که تحت تأثیر شرایط محیطی، ژنتیکی و اثرات متقابل این عوامل می‌باشد (Razi et al., 2021; Abiri et al., 2020). با توجه به یکسان بودن شرایط محیطی در مطالعه حاضر، تفاوت در خصوصیات عملکردی در ارقام مختلف انگور به اثر عوامل ژنتیکی (Villano et al., 2023) نسبت داده می‌شود. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، کاسنازانی و همکاران (Kasnazany et al., 2023)؛ رسولی (Rasoli, 2023)؛ رازی و همکاران (Razi et al., 2021)؛ ابیری و همکاران (Abiri et al., 2020) تنوع در

می‌کنند و کمبود آن‌ها موجب تشکیل حبه‌های بدشکل و ریزش آن‌ها در انگور می‌گردد (Doulati Baneh et al., 2015). مقدار مس در برگ ارقام انگور در سال اول بیشتر از سال دوم بود و ارقام 'عسگری' دایی نصرالله' و 'سیاه محلی' به‌ترتیب بیشترین (7/60 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ) و کمترین (4/28 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ) مقدار مس را داشتند. مقدار منگنز در سال اول بیشتر از سال دوم بود و ارقام مختلف انگور تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بیشترین مقدار منگنز در ارقام 'سیاه حسن آباد' (95/92 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ) و 'قلیم سیدلس' (93/50 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ) بود و کمترین مقدار در رقم 'کاشمری 2' (60/22 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ) مشاهده گردید. عنصر روی از مهم‌ترین عناصر تأثیرگذار بر سطح هورمون‌های درونی گیاه می‌باشد که برای رشد طبیعی برگ‌ها، طویل شدن شاخه، گرده‌افشانی مؤثر و تراکم حبه‌ها روی خوشه انگور ضروری می‌باشد. در اثر کمبود روی، رشد شاخه‌های فصل جاری و توسعه برگ‌ها کاهش می‌یابد که منجر به کاهش سطح فتوسنتزکننده، تولید خوشه‌های با تراکم پایین حبه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد (Doulati Baneh et al., 2015). در پژوهش حاضر، مقدار عنصر روی اندازه‌گیری‌شده در سال اول بیشتر از سال دوم بود و بین 84/80 و 25/05 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ در بین ارقام مختلف انگور متغیر بود. ارقام 'قلیم سیدلس' و 'یاقوتی' بیشترین و کمترین مقدار عنصر روی را در بین ارقام مورد مطالعه داشتند. بور یکی از عناصر تأثیرگذار روی خصوصیات کمی و کیفی انگور محسوب می‌شود که نیاز انگور به این عنصر بیشتر از سایر درختان میوه خزان‌دار است و وجود مقادیر بهینه بور برای تشکیل میوه و رشد و توسعه حبه‌ها ضروری می‌باشد (Doulati Baneh, 2015). اگرچه اثر سال بر مقدار عنصر بور معنی‌دار نشد، ولی مقدار اندازه‌گیری‌شده آن در سال دوم بیشتر از سال اول بود. بیشترین (38/22 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ) و کمترین (17/62 میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن تر برگ) مقدار بور به ترتیب در ارقام 'پرلت' و 'کاشمری 2' ثبت گردید (جدول 4).

تفاوت‌های ثبت‌شده در غلظت عناصر غذایی در برگ ارقام مختلف انگور را می‌توان به چند علت نسبت داد: الف- ممکن است توانایی جذب عناصر غذایی در ارقام مورد مطالعه متفاوت بوده، بنابراین در انتقال و توزیع مواد غذایی متفاوت عمل می‌کنند (Schaller & Löhnertz, 1990). ب- تفاوت در میزان هورمون‌های فعال در ریشه (Leão & Oliveira, 2023). ج- برخی از عناصر غذایی به‌مقدار بیشتری توسط ریشه مصرف می‌شوند و در نتیجه مقدار انتقال‌یافته آن‌ها به شاخه و برگ کاهش می‌یابد. تفاوت در میزان مصرف عناصر غذایی در ریشه ارقام مختلف انگور منجر به تفاوت در

اندازه خوشه، حبه و عملکرد ارقام مختلف انگور را گزارش کردند. براساس نتایج این محققان، تفاوت در اجزای عملکرد میوه انگور به تفاوت‌های ژنتیکی ارقام مورد مطالعه نسبت داده می‌شود. خصوصیات ژنتیکی با اثر بر رشد و جذب عناصر غذایی و فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز و تنفس، عملکرد محصول را تحت

تأثیر قرار می‌دهد (Vivin et al., 2017). یافته‌های پژوهش حاضر نیز مؤید این نتایج است که تنوع مشاهده شده در خصوصیات ریخت‌شناختی و جذب عناصر غذایی در ارقام مورد مطالعه انگور همراه با تفاوت در عملکرد این ارقام بوده است.

جدول 4- مقایسه میانگین غلظت عناصر کم‌مصرف در برگ ارقام مختلف انگور در دو سال مورد مطالعه  
Table 4- The concentration of leaves micro elements of different grape cultivars in two studied years

| تیمار<br>Treatments                         | آهن<br>Iron<br>(mg.kg <sup>-1</sup> FW) | مس<br>Copper<br>(mg.kg <sup>-1</sup> FW) | منگنز<br>Manganese<br>(mg.kg <sup>-1</sup> FW) | روی<br>Zinc<br>(mg.kg <sup>-1</sup> FW) | بور<br>Boron<br>(mg.kg <sup>-1</sup> FW) |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| سال<br>Year                                 |                                         |                                          |                                                |                                         |                                          |
| 1401                                        | 163.42±61.30 a*                         | 5.78±1.07 a                              | 80.81±11.92 a                                  | 52.82±18.08 a                           | 26.76±5.92 a                             |
| 2022                                        |                                         |                                          |                                                |                                         |                                          |
| 1402                                        | 155.57±57.83 b                          | 5.68±1.06 b                              | 78.13±11.88 b                                  | 51.05±17.65 b                           | 27.46±6.45 a                             |
| 2023                                        |                                         |                                          |                                                |                                         |                                          |
| رقم<br>Cultivar                             |                                         |                                          |                                                |                                         |                                          |
| بی‌دانه قرمز<br>'Bidaneh-Ghermez'           | 192.86±8.13 d                           | 7.23±0.04 b                              | 82.23±2.5 de                                   | 68.45±4.61 b                            | 30.06±0.98 c                             |
| فلیم سیدلس<br>Flame seedless                | 250.12±9.24 b                           | 6.54±0.13 c                              | 93.50±2.50 ab                                  | 84.80±2.30 a                            | 34.01±2.24 b                             |
| پرلت<br>Perlette                            | 153.50±3.83 e                           | 5.25±0.10 f                              | 89.88±1.91 c                                   | 71.80±2.36 b                            | 38.22±3.47 a                             |
| کاشمیری 1<br>Kashmiri 1                     | 125.42±5.24 fg                          | 4.92±0.09 gh                             | 79.06±3.33 e                                   | 51.52±1.53 d                            | 24.83±1.66 d                             |
| شاهرودی<br>Shahrودي                         | 137.57±4.87 f                           | 5.13±0.05 fg                             | 91.27±3.19 bc                                  | 38.96±3.26 e                            | 28.21±1.30 c                             |
| یاقوتی<br>Yaghouti                          | 119.50±1.80 g                           | 5.53±0.33 e                              | 71.11±2.39 f                                   | 25.05±1.11 g                            | 19.91±1.39 e                             |
| کاشمیری 2<br>Kashmiri 2                     | 123.84±4.43 fg                          | 6.19±0.07 d                              | 60.22±2.16 i                                   | 33.07±1.82 f                            | 17.62±0.81 f                             |
| عسگری دایی نصرالله<br>Asgari daei Nasrallah | 112.58±8.41 gh                          | 7.60±0.44 a                              | 73.85±3.36 f                                   | 49.34±4.60 d                            | 25.53±0.83 d                             |
| ریش بابا<br>Rish-baba                       | 229.90±9.49 c                           | 4.75±0.13 hi                             | 84.61±2.83 d                                   | 62.95±4.9 c                             | 32.95±2.20 b                             |
| سیاه محلی<br>Siahe-Mahali                   | 97.80±4.28 h                            | 4.28±0.16 j                              | 64.20±4.33 h                                   | 42.37±2.41 e                            | 20.81±1.47 e                             |
| عسگری<br>Asgari                             | 102.54±6.15 h                           | 4.69±0.22 i                              | 67.74±2.05 g                                   | 33.57±2.89 f                            | 24.24±2.31 d                             |
| سیاه حسن آباد<br>Siahe-Hasnabad             | 268.28±39.68 a                          | 6.70±0.11 c                              | 95.92±2.96 a                                   | 61.36±1.55 c                            | 28.96±1.02 c                             |

\* در هر صفت و گروه مقایسه‌شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

\* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference base on Duncan's multiple range test ( $p \leq 0.05$ )

میوه با سطح برگ ( $r=0/895$ )، طول خوشه ( $r=0/896$ )، عرض خوشه ( $r=0/632$ ) و وزن خوشه ( $r=0/904$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم به‌ترتیب با ضریب 0/706، 0/946، 0/819 و 0/836 با عملکرد بوته همبستگی

#### همبستگی صفات

با توجه به اینکه در محصولی مانند انگور، عملکرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، بنابراین همبستگی عملکرد بوته با سایر صفت مورد ارزیابی بررسی گردید. با توجه به نتایج حاصل، عملکرد

مثبت و معنی‌داری نشان دادند. همچنین نتایج بیانگر همبستگی معنی‌دار و مثبت عملکرد بوته با غلظت عناصر آهن ( $r=0/734$ )، منگنز ( $r=0/735$ )، روی ( $r=0/965$ ) و بور ( $r=0/860$ ) بود (جدول 6). همبستگی عملکرد انگور با سطح برگ و عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، پیش‌تر توسط رسولی و همکاران (Rasoli et al., 2017)؛ ابیری و همکاران (Abiri et al., 2020) نیز گزارش شد. سطح برگ با تعیین میزان سبزی‌نگی گیاه نقش مهمی در میزان فتوسنتز و در

نتیجه رشد و عملکرد دارد (Khandani et al., 2022). از طرف دیگر، عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف علاوه بر تأمین نیاز غذایی گیاه، با حضور در ساختار بسیاری از مولکول‌های زیستی و نقش کاتالیزوری در فرایندهای مختلف بیوشیمیایی از جمله فعالیت آنزیم‌های مختلف، رشد و عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Doulati Baneh et al., 2015).

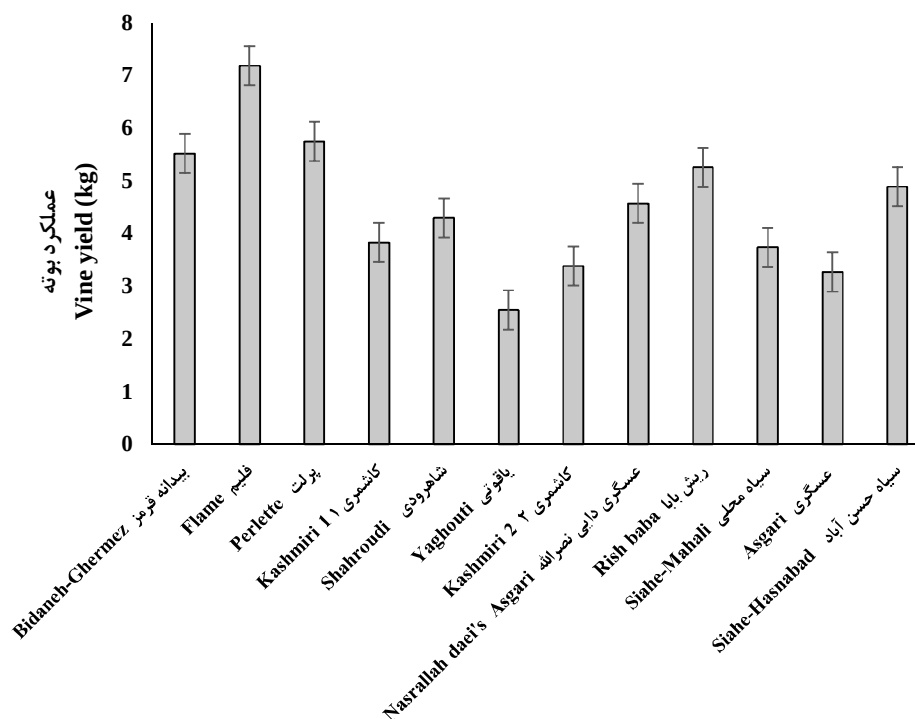
جدول 5- مقایسه میانگین خصوصیات خوشه ارقام مختلف انگور در دو سال مورد مطالعه

Table 5- Cluster traits of different grape cultivars in two studied years

| تیمار<br>Treatments                           | طول خوشه<br>Cluster length<br>(mm) | عرض خوشه<br>Cluster width<br>(mm) | وزن خوشه<br>Cluster weight<br>(g) | طول حبه<br>Berry length<br>(mm) | عرض حبه<br>Berry width<br>(mm) |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| سال<br>Year                                   |                                    |                                   |                                   |                                 |                                |
| 1401                                          | 216.36±49.1 b*                     | 109.8±17.80 a                     | 151.12±40.24 b                    | 18.48±3.99 a                    | 14.49±2.76 a                   |
| 2022                                          |                                    |                                   |                                   |                                 |                                |
| 1402                                          | 228.4±48.63 a                      | 112.99±18.49 a                    | 180.12±35.81 a                    | 18.44±40 a                      | 14.44±2.68 a                   |
| 2023                                          |                                    |                                   |                                   |                                 |                                |
| رقم<br>Cultivar                               |                                    |                                   |                                   |                                 |                                |
| 'بی‌دانه قرمز'<br>'Bidaneh-Ghermez'           | 258.18±9.77 bc                     | 115.39±5.22 bc                    | 186.12±26.31 b                    | 13.5±0.44 h                     | 11.89±0.78 e                   |
| 'قلیم سیدلس'<br>Flame seedless                | 287.06±28.14 a                     | 123.01±7.12 abc                   | 229.66±14.76 a                    | 15.55±0.39 g                    | 15.72±0.22 c                   |
| 'پرلت'<br>Perlette                            | 275.17±16.75 ab                    | 131.03±6.32 a                     | 235.23±23.19 a                    | 14.89±0.77 g                    | 14.89±0.48 d                   |
| 'کاشمیری 1'<br>Kashmiri 1                     | 228.25±11.44 d                     | 103.78±6.94 d                     | 144.52±19.22 cde                  | 19.77±0.40 d                    | 11.99±0.37 e                   |
| 'شاهرودی'<br>Shahrودي                         | 228.66±14.44 d                     | 116.64±10.46                      | 131.26±9.19 e                     | 20.95±0.79 c                    | 17.33±0.22 b                   |
| 'یاقوتی'<br>Yaghouti                          | 130.91±5.64 h                      | 98.54±5.67 d                      | 125.85±23.00 e                    | 11.91±0.26 i                    | 11.10±0.67 f                   |
| 'کاشمیری 2'<br>Kashmiri 2                     | 169.09±14.14 g                     | 64.17±8.19 e                      | 147.61±23.66 cde                  | 20.52±0.42 c                    | 10.87±0.38 f                   |
| 'عسگری دایی نصرالله'<br>Asgari daei Nasrallah | 191.04±10.02 ef                    | 120.15±5.73 bc                    | 161.87±28.41 bcd                  | 18.62±0.29 e                    | 14.12±0.12 d                   |
| 'ریش بابا'<br>Rish baba                       | 249.66±16.28 c                     | 123.74±5.24 ab                    | 178.85±32.10 b                    | 25.87±1.31 a                    | 14.64±1.77 d                   |
| 'سیاه محلی'<br>Siahe-Mahali                   | 200.52±16.63 e                     | 104.5±9.30 d                      | 138.66±16.45 de                   | 23.24±0.26 b                    | 19.70±0.42 a                   |
| 'عسگری'<br>Asgari                             | 178.37±11.51 fg                    | 114.5±3.83 c                      | 136.24±15.01 de                   | 17.01±0.10 f                    | 14.11±0.31 d                   |
| 'سیاه حسن آباد'<br>Siahe-Hasnabad             | 271.64±11.08 ab                    | 121.28±5.68 bc                    | 171.56±18.98 bc                   | 19.69±1.02 d                    | 17.20±0.20 b                   |

\* در هر صفت و گروه مقایسه‌شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

\* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference base on Duncan's multiple range test ( $p \leq 0.05$ )



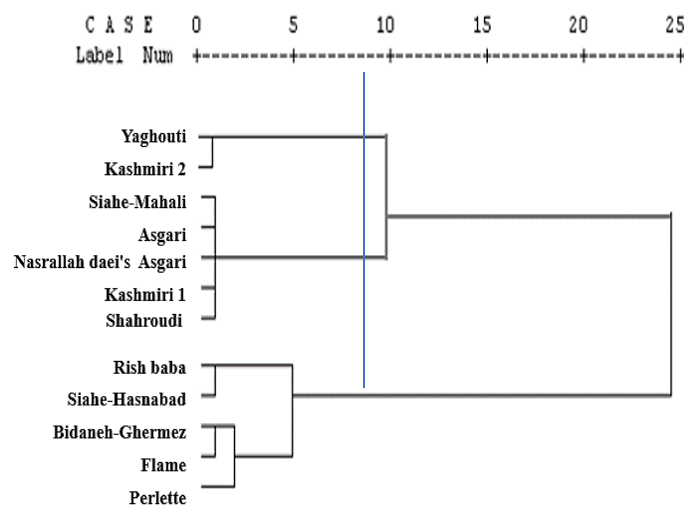
شکل 1- عملکرد بوته ارقام مختلف انگور در دو سال مورد ارزیابی (1401-1402 و 1400-1401)  
Figure 1- The yield of different grape cultivars in two evaluated years 2021 and 2022 (DMRT,  $p \leq 0.05$ )

نتایج PCA، دو مؤلفه اول آزمایش 90/50 درصد از کل واریانس متغیرها را شامل شدند. اولین مؤلفه اصلی (PC1) دربرگیرنده 74/54 درصد از واریانس کل شامل صفات طول شاخه یک‌ساله (0/887 درصد)، سطح برگ (0/873 درصد)، وزن خوشه (0/891 درصد)، عملکرد بوته (0/839 درصد)، غلظت منیزیم (0/917 درصد)، غلظت روی (0/863 درصد) و غلظت بور (0/883) می‌باشد. قطر تنه (0/826 درصد)، تعداد میان‌گره (0/849 درصد) و فاصله میان‌گره (0/833- درصد) در دومین جزء اصلی (PC2) قرار گرفتند که 15/96 درصد از واریانس کل را شامل شد (شکل 3). این نتایج بیانگر تنوع بالا در صفات مزبور می‌باشد که بیشترین اثر را در ایجاد تفاوت در ارقام مورد مطالعه انگور داشتند. مقایسه نتایج تجزیه کلاستر و تجزیه به عامل‌ها بیانگر تطابق بالای نتایج این دو روش می‌باشد، چرا که گروه‌بندی در تجزیه کلاستر نیز بیشتر براساس تفاوت صفاتی بود که بیشترین نقش را در واریانس کل داشتند که در اولین و دومین مؤلفه اصلی قرار گرفتند.

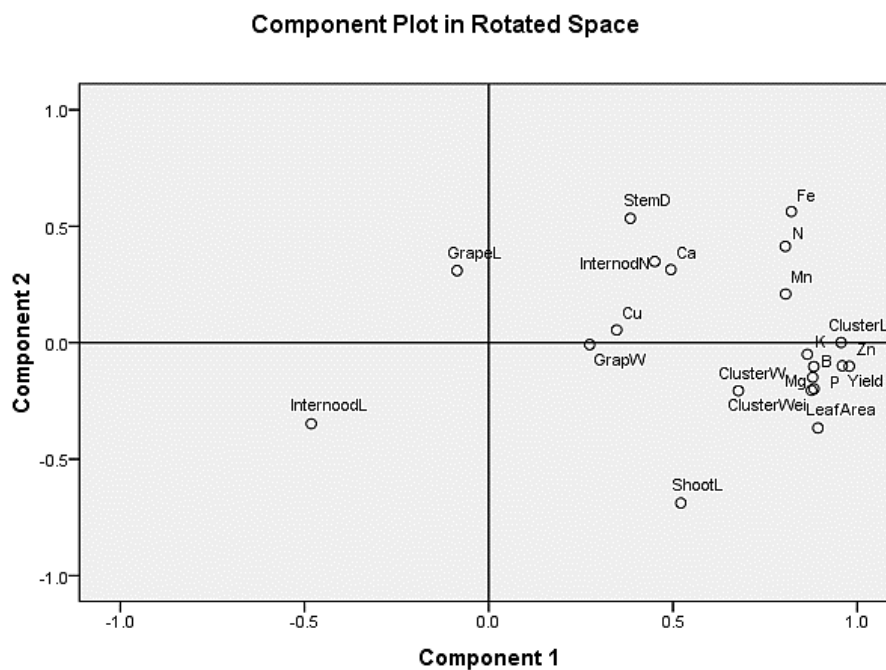
#### تجزیه کلاستر و تجزیه به عامل‌ها

تجزیه کلاستر، ارقام مورد مطالعه انگور را در سه گروه قرار داد. گروه اول شامل ارقام پُرت، فلیم سیدلس، بی‌دانه قرمز، سیاه حسن آباد و ریش بابا می‌باشد که در صفاتی مانند سطح برگ، طول و وزن خوشه، عملکرد و غلظت عناصری مانند منیزیم و روی برتر از سایر ارقام مورد مطالعه بودند. ارقام شاهرودی، کاشمیری 1، عسگری دایی نصرالله، عسگری و سیاه محلی با عملکرد متوسط میوه در گروه دوم قرار گرفتند. گروه سوم شامل ارقام کاشمیری 2 و یاقوتی می‌باشد که در بیشتر صفات مورد مطالعه به‌ویژه عملکرد پایین‌تر از سایر ارقام بودند (شکل 2). تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، برای بررسی تفاوت بین صفات مورد مطالعه استفاده می‌شود و تنوع نسبی هر یک از اجزای تعیین‌شده، اهمیت آن‌ها را در واریانس کل صفات مورد سنجش نشان می‌دهد (Szűgyi-Reiczigel et al., 2022). در پژوهش حاضر، آزمون تجزیه به عامل‌ها جهت بررسی تنوع صفات اندازه‌گیری‌شده در ارقام مورد مطالعه انگور انجام گردید، با توجه به





شکل 2- تجزیه کلاستر ارقام انگور براساس صفات مورد ارزیابی  
Figure 2- Cluster analysis (HCA) of grape cultivars based on evaluated traits



شکل 3- تجزیه به عامل‌ها براساس صفات مورد مطالعه در بین ارقام انگور  
Figure 3- Biplot of the principal component analysis (PCA) based on the assayed traits among the grape cultivars

جدول ۶- همبستگی بین صفات رشدی، عملکردی و غلظت عناصر غذایی در ارقام مختلف انگور  
Table 6- Correlation between growth and yield traits and concentration of nutrients in different grape cultivars

| صفات<br>Characters                           | 1      | 2      | 3       | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     | 10    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15    | 16     | 17     | 18   | 19     | 20     | 21 |
|----------------------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|------|--------|--------|----|
| قطر تنه (۱)<br>Trunk diameter (1)            | 1      |        |         |        |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| طول شاخه یکساله (۲)<br>Cane shoot length (2) | -0.10  | 1      |         |        |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| تعداد میان‌گره (۳)<br>No. internode (3)      | .653*  | .016   | 1       |        |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| فاصله میان‌گره (۴)<br>Internode length (4)   | -.553  | .028   | -.968** | 1      |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| سطح برگ (۵)<br>Leaf area (5)                 | .098   | .629*  | .203    | -.266  | 1      |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| طول خوشه (۶)<br>Cluster length (6)           | .391   | .480   | .621*   | -.642* | .826** | 1      |        |        |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| عرض خوشه (۷)<br>Cluster width (7)            | .204   | .645*  | .407    | -.380  | .645*  | .655*  | 1      |        |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| وزن خوشه (۸)<br>Cluster weight (8)           | .235   | .678*  | .171    | -.166  | .795** | .789** | .540   | 1      |       |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| طول چپه (۹)<br>Berry length (9)              | .317   | -.470  | .627*   | -.566  | -.202  | .080   | -.084  | -.249  | 1     |       |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| عرض چپه (۱۰)<br>Berry width (10)             | .143   | .079   | .522    | -.428  | .232   | .386   | .470   | .090   | .460  | 1     |        |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| عملکرد بوته (۱۱)<br>Vine yield (11)          | .386   | .549   | .406    | -.435  | .895** | .896** | .632*  | .904** | -.071 | .273  | 1      |        |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| نیتروژن (۱۲)<br>Nitrogen (12)                | .717** | .273   | .715**  | -.687* | .487   | .826** | .551   | .642*  | .161  | .190  | .706*  | 1      |        |        |       |        |        |      |        |        |    |
| فسفور (۱۳)<br>Phosphorus (13)                | .475   | .558   | .491    | -.483  | .807** | .825** | .665*  | .838** | .047  | .330  | .946** | .710** | 1      |        |       |        |        |      |        |        |    |
| پتاسیم (۱۴)<br>Potassium (14)                | .465   | .508   | .404    | -.377  | .828** | .811** | .770** | .673*  | -.057 | .374  | .819** | .694*  | .828** | 1      |       |        |        |      |        |        |    |
| کلسیم (۱۵)<br>Calcium (15)                   | .240   | .087   | .155    | -.141  | .305   | .384   | .559   | .459   | -.009 | .144  | .469   | .518   | .545   | .566   | 1     |        |        |      |        |        |    |
| منیزیم (۱۶)<br>Magnesium (16)                | .177   | .717** | .123    | -.115  | .809** | .801** | .592*  | .946** | -.384 | .106  | .836** | .652*  | .753** | .737** | .444  | 1      |        |      |        |        |    |
| آهن (۱۷)<br>Iron (17)                        | .608*  | .053   | .510    | -.538  | .537   | .761** | .446   | .613*  | .043  | .184  | .734** | .880** | .666*  | .691*  | .604* | .629*  | 1      |      |        |        |    |
| مس (۱۸)<br>Copper (18)                       | .041   | .029   | -.286   | .208   | .408   | .182   | .050   | .325   | -.402 | -.280 | .377   | .113   | .374   | .459   | .536  | .354   | .356   | 1    |        |        |    |
| منگنز (۱۹)<br>Manganese (19)                 | .509   | .423   | .656*   | -.671* | .579*  | .837** | .733** | .600*  | -.086 | .329  | .735** | .840** | .720** | .745** | .530  | .647*  | .765** | .218 | 1      |        |    |
| روی (۲۰)<br>Zinc (20)                        | .292   | .565   | .394    | -.438  | .908** | .924** | .632*  | .915** | -.086 | .209  | .965** | .746** | .900** | .796** | .461  | .890** | .748** | .336 | .721** | 1      |    |
| بور (۲۱)<br>Boron (21)                       | .425   | .726** | .492    | -.463  | .752** | .868** | .828** | .845** | -.100 | .257  | .860** | .793** | .837** | .798** | .485  | .829** | .632*  | .111 | .831** | .857** | 1  |

\*: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و \*\*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد  
\*\* and \*: significant at 1% and 5% of probability levels, respectively

## نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، خصوصیات ریخت‌شناختی، عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در 12 رقم انگور (بی‌دانه قرمز، 'قلیم سیدلس'،

'پرلت'، 'کاشمری 1'، 'شاهرودی'، 'یاقوتی'، 'کاشمری 2'، 'عسگری دایی نصرالله'، 'ریش بابا'، 'سیاه محلی'، 'عسگری' و 'سیاه حسن آباد') طی دو فصل رشد مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج بیانگر تفاوت

اول آزمایش 90/50 درصد از کل واریانس متغیرها را شامل شدند که مطابق با نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای بود. براساس یافته‌های این پژوهش، ارقام 'پرلت'، 'قلیم سیدلس'، 'بی‌دانه قرمز'، 'سیاه حسن آباد' و 'ریش بابا' از نظر صفات مورد ارزیابی به‌ویژه عملکرد نسبت به سایر ارقام برتر بود که پیشنهاد می‌شود برای انجام مطالعات و برنامه‌های به‌نژادی بیشتر مورد بررسی قرار گیرند.

معنی‌دار ارقام مورد مطالعه از نظر خصوصیات رشدی، اجرای عملکرد بوته و غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بود. براساس نتایج سطح برگ، مشخصات خوشه و غلظت برخی عناصر غذایی (نیترژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم، آهن، منگنز، روی و بور) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بوته انگور داشتند. ارقام مورد مطالعه انگور براساس تجزیه خوشه‌ای در سه گروه با عملکرد بالا، متوسط و پایین قرار گرفتند. در تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، دو مؤلفه

## References

1. Abiri, K., Rezaei, M., Tahanian, H., Heidari, P., & Khadivi, A. (2020). Morphological and pomological variability of a grape (*Vitis vinifera* L.) germplasm collection, *Scientia Horticulturae*, 266, 109285. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109285>
2. Akram, M.T., Qadri, R., Khan, M.A., Hafiz, I.A., Nisar, N., Khan, M.M., & Hussain, K. (2021). Morpho-phenological characterization of grape (*Vitis vinifera* L.) germplasm grown in northern zones of Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 58(4), 1223-1236. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.91>
3. Antolin, M.C., Toledo, M., Pascual, I., Irigoyen, J.J., & Goicoechea, N. (2020). The exploitation of local *Vitis vinifera* L. biodiversity as a valuable tool to cope with climate change maintaining berry quality. *Plants*, 10(1), 71. <https://doi.org/10.3390/plants10010071>
4. Bigard, A., Berhe, D.T., Maoddi, E., Sire, Y., Boursiquot, J.M., Ojeda, H., Péros, J.P., Doligez, A., Romieu, C., & Torregrosa, L. (2018). *Vitis vinifera* L. fruit diversity to breed varieties anticipating climate changes. *Frontiers in Plant Science*, 9, 455. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00455>
5. Bodor-Pesti, P., Taranyi, D., Deák, T., Nyitrai Sárdy, D.Á., & Varga, Z. (2023). A review of ampelometry: Morphometric characterization of the grape (*Vitis* spp.) leaf. *Plants*, 12(3), 452. <https://doi.org/10.3390/plants12030452>
6. da Silva, M.J.R., Paiva, A.P.M., Junior, A.P., Sánchez, C.A.P.C., Callili, D., Moura, M.F., & Tecchio, M.A. (2018). Yield performance of new juice grape varieties grafted onto different rootstocks under tropical conditions. *Scientia Horticulturae*, 241, 194-200. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.085>
7. Doulati Baneh, H., & Nejatian, M.A. (2018). Adaptability and comparison of bunch and berry characteristic of some commercial foreign and Iranian grape cultivars in Urmia. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(3), 681-692. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.231217.1237>
8. Doulati Baneh, H., Taheri, M., Majidi, A., & Taheri, M. (2015). Amount of macronutrients and micronutrients in petiole of some Iranian and imported grape cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 29(3), 397-405. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.28029>
9. Doulati Baneh, H. (2015). *Grapes (Comprehensive Management of Cultivation, Breeding, Production and Processing)*. Kurdistan University Press, Sanandaj, Iran. 674 p. (in Persian)
10. Emami, A. (1996). Plant decomposition methods. Vol. 1. Technical leaflet No. 982. Soil and Water. Research Institute, Tehran, Iran. (in Persian)
11. Frioni, T., Bertoloni, G., Squeri, C., Garavani, A., Ronney, L., Poni, S., & Gatti, M. (2020). Biodiversity of local *Vitis vinifera* L. germplasm: A powerful tool toward adaptation to global warming and desired grape composition. *Frontiers in Plant Science*, 11, 608. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00608>
12. Haddadinejad, M., Ebadi, A., Moghaddam, M.R.F., & Nejatian, M.A. (2013). Primary morphological screening of 698 grapevine genotypes to select drought tolerant rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 44(2), 193-207. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2013.35052>
13. Jahnke, G., Nagy, Z.A., Koltai, G., Oláh, R., & Májer, J. (2021). Morphological, phenological and molecular diversity of woodland grape (*Vitis sylvestris* Gmel.) genotypes from the Szigetköz, Hungary. *Mitteilungen Klosterneuburg*, 71, 90-98.
14. Karami, R. (2014). Evaluation morphological of turkmenistan and Iran cultivar grapevine and comparison of their vegetative and reproductive traits. M.Sc Thesis in Persian Gulf University. Bushehr, Iran. 77 p.
15. Karimi, R., & Salimi, F. (2021). Iron-chlorosis tolerance screening of 12 commercial grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars based on phytochemical indices. *Scientia Horticulturae*, 283, 110111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110111>
16. Karimi, R., & Koulivand. (2019). Soluble sugars, phenolic acids and antioxidant capacity of grape berries as affected by iron and nitrogen. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(7), 1-11. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-019-2910-1>

17. Kasnazany, S.A.S., Noori Mirza, A., Raouf Mahmood, A.M., Abdul Rahman, S.S., Shamsadden Hameed, J., & Nasrulla, K.B. (2023). A comparison of nine grape *Vitis vinifera* L. cultivars growing in Iraq's Kurdistan region in terms of their vegetative growth and physicochemical traits. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1213, 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1213/1/012044>
18. Kazemi, M., Rasouli, M., Maleki, M., Abdoli, M., & Rostami -Borujeni, M. (2022). Evaluation of phenotypic and genetic diversity of some native and foreign grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars and genotypes based on morphological, phenological, biochemical and fruit characteristics (Case study: Khuzestan province, south-west of Iran). The 22<sup>nd</sup> National and 10th International Congress on Biology, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. 31 August to 2 September 2022.
19. Khandani, Y., Gholami, M., Sarikhani, H., & Chehregani Rad, A. (2022). Response of some vegetative and physiological traits of Iranian and foreign grape cultivars to drought stress. *Plant Process and Function*, 11(51), 10. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.51.10.7>
20. Leão, P.C.D.S., & Oliveira, C.R.S.D. (2023). Agronomic performance of table grape cultivars affected by rootstocks in semi-arid conditions. *Bragantia*, 82, e20220176. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20220176>
21. Lindsay, W.L., & Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
22. Mirfatah, S.M.M., Rasouli, M., Gholami, M., & Mirzakhani, A. (2024). Phenotypic diversity of some Iranian grape cultivars and genotypes (*Vitis vinifera* L.) using morpho-phenological, bunch and berry traits. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7(2), 115-140. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2024.7165.1355>
23. Rasoli, V. (2023). Yield stability of fifteen foreign introduced grapevine varieties in deficit irrigation conditions. *Research in Horticultural Sciences*, 1(2), 241-252. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/rhsj.2023.129172>
24. Rasoli, Y., Ghaderi, N., & Khadivi, A. (2017). Morphological variation and marker-fruit trait associations in a collection of grape (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 225, 771-782. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.007>
25. Rasouli, M., & Kalvandi, Z. (2022). Investigating the morphological and pomological diversity of some grape cultivars and genotypes collected from different regions of Iran. The First National Conference on Production and PostHarvest Technology of Horticultural Plants, Birjand University, Birjand, Iran. <https://civilica.com/doc/1533228>
26. Razi, M., Darvishzadeh, R., Doulati Baneh, H., Amiri, M.E., & Martinez-Gomez, P. (2021). Estimating breeding value of pomological traits in grape cultivars based on REMAP molecular markers. *Plant Productions*, 44(4), 515-530. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.34003.1925>
27. Schaller, K., & Löhnertz, O. (1990). Investigations on the nutrient uptake efficiency of different grape root-stock species and cultivars. In: El Bassam, N., Dambroth, M., & Loughman, B.C. (eds) Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 42. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2053-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2053-8_13)
28. Szűgyi-Reiczigel, Z., Ladányi, M., Bisztray, G.D., Varga, Z., & Bodor-Pesti, P. (2022). Morphological traits evaluated with random forest method explains natural classification of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Plants*, 11, 3428. <https://doi.org/10.3390/plants11243428>
29. Villano, C., Corrado, G., Basile, B., Di Serio, E., Mataffo, A., Ferrara, E., & Aversano, R. (2023). Morphological and genetic clonal diversity within the 'Greco Bianco' grapevine (*Vitis vinifera* L.) variety. *Plants*, 12(3), 515. <http://dx.doi.org/10.3390/plants12030515>
30. Vivin, P., Lebon, E., Dai, Z.W., Duchêne, E., & Marguerit, E. (2017). Combining ecophysiological models and genetic analysis: A promising way to dissect complex adaptive traits in grapevine. *Oeno One*, 51, 181-189. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1588>
31. Zhou, Y., Massonnet, M., Sanjak, J., Cantu, D., & Gaut, B.S. (2017). The evolutionary genomics of grape (*Vitis vinifera* ssp. *vinifera*) domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 11715-11720. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1709257114>

## Comparison of the Effect of *Mentha × piperita* L. Essential Oil in Free and Nanoencapsulated Forms on Some Physicochemical Properties of Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fruit

M. Vakili-Ghartavol<sup>1</sup>, H. Arouiee<sup>1\*</sup>, Sh. Golmohammadzadeh<sup>2</sup>, M. Naseri<sup>3</sup>, L. Bandian<sup>1</sup>

- 1- Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran  
2- Department of Pharmaceutics, School of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran and Nanotechnology Research Center, Pharmaceutical Technology Institute, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran  
3- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran  
(\* - Corresponding author's Email: [arouiee@um.ac.ir](mailto:arouiee@um.ac.ir))

### How to cite this article:

Vakili-Ghartavol, M., Arouiee, H., Golmohammadzadeh, Sh., Naseri, M., & Bandian, L. (2025). Comparison of the Effect of *Mentha × piperita* L. Essential Oil in Free and Nanoencapsulated Forms on Some Physicochemical Properties of Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fruit. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 421-440. (In Persian with English abstract).  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89741.1377>

Received: 09 September 2024  
Revised: 01 January 2025  
Accepted: 07 January 2025  
Available Online: 07 January 2025

### Introduction

Cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.), an annual plant with significant economic value, are a popular and nutritious fruit commonly used in salads. They are rich in essential nutrients such as sugars, acids, vitamins, minerals, phenolic compounds, lycopene, and other carotenoids, making them a vital component of diets worldwide. However, their climacteric nature causes a rapid decline in quality, resulting in physicochemical changes such as softening and alterations in color. Due to their perishable nature, they have a short shelf life of only 2 to 3 weeks. Therefore, it is crucial to explore methods for extending their freshness, for extending their shelf life while maintaining their quality, both for local consumption and exportation.

### Materials and Methods

This study aimed to investigate the impact of varying concentrations (0.025%, 0.05%, 0.075%, 0.1%, and 0.2%) of peppermint essential oil and solid lipid nanoparticles containing peppermint essential oil on the quality of cherry tomato fruit (*Solanum lycopersicum* cv. Santiago F1). The research was conducted using a completely randomized factorial design with three replications and sample of ten fruits per replication during a 28-day storage period at 8 °C at the laboratories of the Faculty of Pharmacy at Mashhad University of Medical Sciences and the Horticulture Science Laboratory at Ferdowsi University of Mashhad. On April 19, 2021, cherry tomatoes were harvested from a greenhouse at commercial maturity when 75% of the fruit surface color had turned red. Then the fruits were transferred to the horticultural science laboratory. The selection process focused on uniformity of shape, size, color, and absence of external damage, pests, and diseases. Then they were immersed in 1% sodium hypochlorite solution for 1 minute to disinfect the surface and afterwards rinsed with distilled water. Finally, the fruits were placed in different coating solutions. Distilled water was used to treat control fruits. The quality parameters studied included fruit juice percentage, juice density, soluble solids, fruit juice



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89741.1377>

acidity, fruit juice pH, total chlorophyll content, carotenoid levels, lycopene levels, anthocyanin content, flavonoid levels, flavonol levels, and electrolyte leakage in the fruits.

## Results and Discussion

The results of this study indicated that fruits treated with solid lipid nanoparticles containing peppermint essential oil, particularly at a concentration of 0.2%, showed significantly higher levels of juice percentage (approximately 85%), acidity (around 51%), total chlorophyll content, as well as anthocyanin, flavonoid and flavonol content compared to those treated with free peppermint essential oil or the control group. However, the amount of soluble solids (approximately 54%), juice density (about 75%), juice pH, and lycopene and carotenoid content were found to be lower in comparison with those treated with free peppermint essential oil or the control group. This indicates that the application of this coating may slow down the ripening process, thereby preserving the fruit's color. This treatment also effectively reduced the amount of electrolyte leakage of fruit cell membranes (about 56%). However, free peppermint essential oil treatment at 0.1% and 0.2% concentrations had higher electrolyte leakage compared to the control group. This suggests that while peppermint essential oil can have a positive effect on preserving fruit quality, using it at higher concentrations may cause tissue damage and accelerate the softening process. These findings suggest that incorporating peppermint essential oil into solid lipid nanoparticles can enhance the overall quality and nutritional value of fruits, making them a healthier option for consumption. Additionally, the use of solid lipid nanoparticles may also help in controlling the release of peppermint essential oil, leading to a more sustained effect on fruit preservation. Therefore, incorporating the essential oil into solid lipid nanoparticles could be a more effective approach as it slows down the ripening process and helps maintain overall fruit quality.

## Conclusions

In conclusion, our study has demonstrated the potential of solid lipid nanoparticles containing peppermint essential oil in preserving the quality and extending the shelf life of fruits. The use of these nanocapsules not only maintained the color, TA, and soluble solids of fruits but also prevented tissue damage and delayed the ripening process. This innovative approach could revolutionize fruit preservation methods and benefit both producers and consumers by reducing food waste and ensuring continuous availability of fresh, high-quality fruits. Further research on development of nanocapsules with different essential oils could open new horizons for enhancing the shelf life of various fruits and other perishable food products.

**Keywords:** Cold storage, Electrolyte leakage, Juice density, Lycopene

## مقایسه اثر اسانس نعناع فلفلی (*Mentha × piperita* L.) به دو صورت آزاد و نانوکپسوله شده بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی میوه گوجه فرنگی گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.)

معصومه وکیلی قرطاول<sup>۱</sup> - حسین آروئی<sup>۱\*</sup> - شیوا گل محمدزاده<sup>۲</sup> - محبوبه ناصری<sup>۳</sup> - لیلا بندیان<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

### چکیده

گوجه فرنگی گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.) به دلیل داشتن مواد مغذی ضروری مانند قندها، اسیدها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترکیبات فنلی، کاروتنوئیدهایی مانند لیکوپن نقش کلیدی در رژیم غذایی انسان دارند. با این حال، این میوه به دلیل خاصیت پسرسی، فسادپذیر بوده و ماندگاری کوتاهی دارد. این مطالعه با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف (۰/۰۵، ۰/۰۷۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد) اسانس نعناع فلفلی و نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی بر خواص فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه گوجه فرنگی گیلاسی رقم سانتیاگوی هلندی به مدت ۲۸ روز نگهداری در سردخانه با دمای هشت درجه سلسیوس انجام شد. نتایج نشان داد که میوه‌های تیمار شده با تیمار نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس به ویژه در غلظت ۰/۲ درصد، میزان آب میوه (حدود ۸۵ درصد)، اسیدیته کل (حدود ۵۱ درصد)، محتوای کلروفیل کل، محتوای آنتوسیانین، فلاونوئید و فلاونول بیشتری در مقایسه با میوه‌های تیمار شده با اسانس آزاد و گروه شاهد داشتند. با این حال، این تیمار میزان مواد جامد محلول (حدود ۵۴ درصد)، چگالی آب میوه (حدود ۷۵ درصد)، محتوای کاروتنوئید، لیکوپن و pH آب میوه کمتری در مقایسه با میوه‌های تیمار شده با اسانس آزاد و گروه شاهد داشتند. این تیمار همچنین به طور مؤثری میزان نشت الکترولیت غشاء سلولی میوه (حدود ۵۶ درصد) را کاهش داد، ولی میزان نشت الکترولیت میوه‌های تیمار شده با اسانس آزاد نعناع فلفلی در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۲ درصد در مقایسه با گروه شاهد بالاتر بود. بنابراین، ترکیب اسانس با نانوذرات لیپیدی جامد می‌تواند کیفیت میوه را حفظ کرده و از آسیب بافتی جلوگیری کرده و فرایند رسیدن را به تأخیر بیندازد.

**واژه‌های کلیدی:** چگالی آب میوه، لیکوپن، نشت الکترولیت، نگهداری سرد

### مقدمه

به عنوان مکمل غذایی مورد مصرف قرار می‌گیرد (Vats et al., 2022). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های گیاهی هستند که به عنوان آنتی-اکسیدان عمل می‌کنند (Park et al., 2018). لیکوپن، کاروتنوئید اصلی موجود در گوجه فرنگی است که حدود ۸۰ درصد از کل کاروتنوئیدهای تولید شده را تشکیل می‌دهد و مؤثرترین آنتی‌اکسیدان برای از بین بردن رادیکال‌ها در بین کاروتنوئیدها محسوب می‌شود (Park et al., 2018). یکی از ویژگی‌های اصلی مرحله رسیدن گوجه فرنگی، تغییر رنگ میوه به وسیله سنتز کاروتنوئیدهایی مانند لیکوپن است که حتی در طول مدت انبارمانی نیز ادامه دارد (Choi & Park, 2023). با این حال، این میوه در طی مدت پس از برداشت عمر کوتاهی از خود نشان می‌دهد. گوجه فرنگی به عنوان میوه‌ای فرازگرا، در طول مدت حمل و نقل و نگهداری دچار تغییرات فیزیولوژیکی قابل

گوجه فرنگی گیلاسی (*Solanum lycopersicum* L.) منبع غنی از مواد مغذی ضروری از جمله ویتامین‌ها، مواد معدنی، کاروتنوئیدها، ترکیبات پلی فنولی و آنتی‌اکسیدان‌ها است که بیشتر در سالاد یا

۱- گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه نانوفناوری دارویی و مرکز تحقیقات نانوفناوری، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

۳- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

(\*)- نویسنده مسئول: Email: aroiee@um.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89741.1377>



توجهی می‌شود. برای کاهش این تغییرات فیزیولوژیکی، از اتمسفر کنترل‌شده، روش‌های شیمیایی و پوشش‌های مختلف استفاده می‌شود (Pérez-Soto et al., 2021). پوشش‌های خوراکی لایه نازکی هستند که روی میوه قرار می‌گیرند و به‌عنوان سد بین میوه و محیط پیرامون عمل می‌کنند (Sharma et al., 2019).

امروزه، استفاده از مواد زیست‌فعال<sup>۱</sup>، که به‌عنوان پوشش برای محصولات استفاده می‌شود، به‌دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن، ایمنی و دوستدار محیط زیست بودن، توجه بسیار زیادی را به خود جلب کردند (Álvarez-Hernández et al., 2021; Vakili-Ghartavol et al., 2024a). در این مطالعه از اسانس نعناع فلفلی *Mentha × piperita* L. (PEO) استفاده شد که دارای خواص ضدعفونی‌کنندگی، اشتهاآوری، محرک معده، ضدتهوع و ضدخارش و همچنین مؤثر علیه بیمارگرهای مختلف گیاهی است (Mahendran & Rahman, 2020). فعالیت ضدقارچی این اسانس ممکن است به‌دلیل اثر هم‌افزایی تمام اجزاء آن، از جمله منتول، منتون، منتوفوران، ۱-۸-سینئول و مشتقات آن‌ها باشد (Oliveira et al., 2020; Passos Braga et al., 2020). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از اسانس به‌عنوان پوشش خوراکی برای میوه‌ها ممکن است اثرات منفی بر یکپارچگی بافت میوه و غشاء سلولی داشته باشد. به‌عنوان مثال، استفاده از اسانس *Thymus kotschymanus* که عمدتاً از کارواکرول تشکیل شده است، روی میوه‌های گلایی و تیمول روی گریپ‌فروت «Ruby Red» منجر به کاهش سفتی و نرم شدن بافت میوه در مقایسه با گروه شاهد شد (Marandi et al., 2011; Yan et al., 2020). علاوه بر این‌ها، استفاده مؤثر از اسانس‌ها به‌دلیل تبخیر و تجزیه در شرایط نامناسب محیطی و شیمیایی (نور، اکسیژن، رطوبت، pH) دشوار است. بنابراین، تنظیم انتشار اسانس‌ها در فضای بسته-بندی برای جلوگیری از آسیب به محصولات باغبانی و تنظیم غلظت اسانس‌ها در بسته‌بندی برای جلوگیری از طعم نامطلوب در میوه‌ها بسیار مهم است (Álvarez-Hernández et al., 2021). برای به حداقل رساندن اثرات منفی احتمالی اسانس‌ها، شیوه نانوذرات لیپیدی جامد (SLN) استفاده شد (Vakili-Ghartavol et al., 2024a)، درحالی‌که برخی مطالعات برای بررسی اثربخشی SLN‌های حاوی اسانس‌ها بر مهار پوسیدگی قارچی انجام شده است، اکثر این مطالعات در شرایط آزمایشگاهی انجام شده است (Svetlichny et al., 2015; Nasser et al., 2016; Fazly Bazzaz et al., 2018). با این حال، مطالعات محدودی با استفاده از SLN‌های حاوی مواد فعال زیستی مختلف به‌طور مستقیم روی میوه انجام شده است (Zambrano-Zaragoza et al., 2013; Laein et al., 2022). مروری بر مقالات

اخیر نشان داده است که شیوه‌های کپسوله‌سازی مختلف و مواد فعال زیستی به‌عنوان پوشش‌های خوراکی بالقوه برای میوه‌ها و سبزیجات مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده ظرفیت آن‌ها در جلوگیری از رشد بیمارگر و حفظ کیفیت محصول است (Mirtalebi et al., 2020; Ansarifard et al., 2021; Locali-Pereira et al., 2020; Moradinezhad, 2022).

این مطالعه برای اولین بار با هدف ارزیابی اثر اسانس نعنای فلفلی آزاد، نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی، و غلظت‌های مختلف آن‌ها و امکان مقایسه آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی گیلاسی برای بررسی چگونگی تأثیر تیمارها در یک دوره ۲۸ روزه ارائه شده است. پیامدهای عملی این پژوهش می‌تواند برای کسانی که در مدیریت پس از برداشت و نگهداری مواد غذایی درگیر هستند، مفید باشد.

## مواد و روش‌ها

### اسانس نعناع فلفلی

مقادیر مختلف اسانس نعناع فلفلی (۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۰۷۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد) و پلی‌سوربات ۸۰ (۲/۵ درصد به‌عنوان سورفکتانت، سیگما، آلمان) مخلوط و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و با استفاده از یک مخلوط‌کن (هدلف رکس تاپ، آلمان) در ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت پنج دقیقه مخلوط شدند و بدین ترتیب محلول‌های پوششی تهیه گردید. گروه شاهد (غلظت صفر) تنها با استفاده از آب مقطر آماده شد. اجزاء موجود در اسانس نعناع فلفلی (*Mentha × piperita* L.) عمدتاً از مونوترپن‌های اکسیژن‌دار مانند منتول، منتون و مشتقات آن‌ها تشکیل شده‌اند که تقریباً ۹۴/۸ درصد از اسانس را تشکیل می‌دهند (Vakili-Ghartavol et al., 2022).

### فرمولاسیون نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی

نانوذرات لیپیدی جامد حاوی/یا بدون اسانس نعناع فلفلی با استفاده از روش همگن‌سازی با برش بالا و روش اولتراسونیک فرموله شدند (Vakili-Ghartavol et al., 2024c). فاز لیپیدی حاوی پرسیرول (Gattefossé، فرانسه) با غلظت ۵ درصد به‌عنوان یک لیپید و پلی‌سوربات ۸۰ با غلظت ۲.۵ درصد به‌عنوان سورفکتانت، و فاز آبی شامل آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. هرکدام به‌طور جداگانه در داخل حمام آب گرم در دمای ۷۰-۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از ذوب شدن فاز لیپید، فوراً اسانس نعناع فلفلی اضافه شد. سپس این ترکیبات به‌سرعت مخلوط شدند و فاز آبی داغ به فاز لیپیدی مذاب در حمام آب گرم با همان دما اضافه شد. این مخلوط با

سلسیوس به مدت ۲۸ روز نگهداری شدند. مشخصه‌های کیفی پس از برداشت میوه‌ها هر هفت روز یک بار در طول دوره نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت.

### مشخصه‌های کیفی میوه در دوره پس از برداشت

#### میزان آب میوه و چگالی آب میوه

مقدار دو گرم بافت میوه پس از خشک شدن در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ توزین شد و میزان درصد آب میوه براساس معادله زیر به دست آمد. سپس حجم دو میلی‌لیتر عصاره میوه با ترازو وزن شد و چگالی آب میوه براساس معادله ۱ و ۲ به دست آمد.

$$\text{درصد آب میوه} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 \quad (۱)$$

$$\text{چگالی آب میوه} = \frac{\text{وزن آب میوه (گرم)}}{\text{حجم آب میوه (میلی‌لیتر)}} \quad (۲)$$

#### میزان مواد جامد محلول، pH آب میوه و اسید آلی غالب آب

##### میوه

برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول و میزان pH آب میوه به ترتیب از رفراکتومتر و دستگاه pH متر استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان اسید آلی غالب آب میوه، حدود ۲/۵ میلی‌لیتر آب میوه با چکاندن یک قطره معرف فنول فتالین یک درصد به آن، به وسیله سود ۰/۲ نرمال تیترا شد تا pH آب میوه به عدد ۸/۲ برسد و میزان سود مصرفی ثبت گردید. میزان اسید آلی غالب آب میوه (اسید سیتریک) برحسب گرم اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه یا درصد محاسبه و گزارش شد.

$$\text{میزان اسید غالب} = \frac{\text{اکی والان اسید غالب} \times \text{نرمالیتة سود} \times \text{حجم مصرفی}}{\text{حجم عصاره}} \times 100 \quad (۳)$$

#### میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید میوه

پس از آسیاب کردن ۰/۱ گرم وزن تر نمونه با ازت مایع در هاون، مجدداً با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد آسیاب شد. سپس عصاره به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۲۷۰۰ سانتریفیوژ و محلول روشن‌آور برداشته و در یخچال نگهداری شد. سپس میزان سه میلی‌لیتر از محلول رویی را در کووت ریخته و میزان جذب آن در طول موج ۴۷۰، ۴۴۷ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتری خوانده شد و غلظت کاروتنوئید و مقدار کلروفیل a, b و کل با فرمول زیر محاسبه گردید (Chen et al., 2018). غلظت رنگیزه‌های گیاهی (میلی گرم بر لیتر) با استفاده از معادله ۴ به دست آمد و نتایج به صورت میلی گرم بر گرم وزن تر میوه بیان شد.

استفاده از هموژنایزر دیاکس ۹۰۰ (هدلف، آلمان) به مدت ۴/۵ دقیقه همگن شد. پس از آن، امولسیون به دست آمده با استفاده از دستگاه پروپ سونیکاتور (Bransonic، ایالات متحده آمریکا) در پنج سیکل، با هر سیکل شامل ۶۰ ثانیه فراصوت با فواصل ۱۵ ثانیه‌ای انجام شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها تا دمای اتاق، محلول‌های نانو ذرات لیپیدی جامد به دست آمد. علاوه بر این، فرمولاسیون نانو ذرات لیپیدی جامد بدون اسانس نعنای فلفلی با استفاده از روش مشابه تهیه شد.

#### آماده‌سازی میوه‌ها، اعمال پوشش‌ها و سردخانه

در روز سیام فروردین ۱۴۰۰، میوه‌های گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم سانتیاگوی هلندی (Solanum lycopersicum cv. Dutch) (Santiago) در زمان بلوغ تجاری که ۷۵ درصد سطح میوه قرمز شده بود، از گلخانه برداشت شد. سپس این میوه‌ها به سرعت به آزمایشگاه علوم باغبانی منتقل شدند. فرآیند انتخاب بر یکنواختی شکل، اندازه، رنگ و عدم وجود آسیب خارجی، آفات و بیماری‌ها متمرکز بود. در مجموع، ۱۴۷۰ میوه انتخاب و به طور کامل شسته شد تا هرگونه آلودگی سطحی از بین برود. سپس جهت ضد عفونی سطحی، میوه‌ها به مدت یک دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد غوطه‌ور و سپس با آب مقطر شست‌وشو شدند. در نهایت، میوه‌ها به سرعت در محلول‌های پوششی مختلف قرار گرفتند. برای تیمار میوه‌های شاهد از آب مقطر استفاده شد.

غلظت‌های مختلفی از فرمولاسیون‌های اسانس نعنای فلفلی به صورت آزاد و کپسوله شده به صورت نانو ذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعنای فلفلی (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۰۷۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد) آماده گردید. این غلظت‌ها براساس مطالعه قبلی نویسندگان و اثرات سمیت سلولی<sup>۱</sup> شناخته شده اسانس‌ها انتخاب شدند. مطالعه قبلی نشان داد که غلظت ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میکرولیتر بر لیتر اسانس نعنای فلفلی به ترتیب رشد سوبه‌های قارچی *Rhizoctonia solani* و *Rhizopus stolonifer* را در شرایط آزمایشگاهی به طور کامل مهار کرد (Vakili-Ghartavol et al., 2022). علاوه بر این، با توجه به خواص سمیت سلولی اسانس‌ها (Yuan et al., 2019; Landi et al., 2021)، غلظت‌های بالاتر و پایین‌تر برای ارزیابی تأثیر آن‌ها بر بافت میوه‌های گوجه‌فرنگی و تعیین مؤثرترین غلظت برای حفظ کیفیت میوه مورد آزمایش قرار گرفت.

میوه‌ها در هر محلول به مدت تقریبی ۹۰ ثانیه غوطه‌ور شدند و سپس اجازه داده شد تا محلول اضافی تخلیه شود. پس از خشک شدن سطح میوه‌ها به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق در هوا، میوه‌ها در ظروف پلی اتیلنی بسته‌بندی شدند و در سردخانه با دمای هشت درجه

### میزان فلاونول میوه

مقدار ۲۰۰ میکرولیتر عصاره متانولی با دو میلی‌لیتر متانول و ۱۰۰ میکرولیتر آلومینیوم کلرید پنج درصد در متانول مخلوط شد و سپس به‌وسیله متانول به حجم پنج میلی‌لیتر رسانده شد و پس از ۳۰ دقیقه میزان جذب در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت گردید (Popova et al., 2004). برای رسم منحنی استاندارد از کوئرتستین با غلظت‌های صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر استفاده شد.

### میزان فلاونوئید میوه

مقدار ۲۵۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با سدیم نیتريت ۵ درصد مخلوط شد، بعد از گذشت پنج دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد و پس از شش دقیقه ۲۰۰۰ میکرولیتر سود یک مولار به مخلوط اضافه شد. بلافاصله پس از اضافه کردن ۲۴۰۰ میکرولیتر آب مقطر، ظرف واکنش به‌خوبی هم زده شد. سپس میزان جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر خوانده شد (Kim et al., 2003). برای رسم منحنی استاندارد از کاتچین با غلظت‌های صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر استفاده شد.

### نشت الکترولیت میوه

برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت، قطعات میوه به‌میزان دو گرم تهیه و در لوله فالكون حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی شیکر به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و در این مرحله هدایت الکتریکی اول (EC1) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری و سپس لوله فالكون جهت کشته شدن سلول‌های میوه به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر به‌مدت ۲۰ دقیقه منتقل شد و هدایت الکتریکی دوم (EC2) پس از سرد شدن محتویات داخل لوله اندازه‌گیری گردید، در نهایت مقدار نشت الکترولیت از طریق معادله ۷ به دست آمد (Zhao et al., 2009).

$$EL = \left( \frac{EC1}{EC2} \right) \times 100 \quad (7)$$

### آنالیز داده‌ها

این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و ۱۰ میوه در هر تکرار انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 24.0 تجزیه و تحلیل گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ استفاده شد. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 رسم شدند.

$$C_a = 12.25 A_{663.2} - 2.79 A_{646.8} \quad (4)$$

$$C_b = 21.21 A_{646.8} - 5.1 A_{663.2}$$

$$C_T = C_a + C_b$$

$$Car = \frac{1000 A_{470} - 1.8 C_a - 85.02 C_b}{198}$$

### میزان لیکوپین میوه

مقدار ۰/۶ گرم نمونه تر با ازت مایع در هاون چینی پودر شده و مقدار پنج میلی‌لیتر استون، پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد و ۱۰ میلی‌لیتر هگزان به فالكون ریخته شد و فالكون حاوی عصاره و مواد الکلی درون ظرف یخ قرار داده شد. فالكون‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه روی شیکر با سرعت ملایم (۱۵۰ دور در دقیقه) قرار گرفتند و آن‌گاه به هر فالكون میزان سه میلی‌لیتر آب مقطر دوبار تقطیر اضافه شد و پس از شیک شدن به مدت پنج دقیقه، فالكون‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در جای ثابت قرار گرفتند تا فازهای محلول جدا شود (دوفاز شود). پس از آن، قسمت روشن‌ر (همان قسمت هگزانی) به سل کوارتز برای قرائت ریخته شد، پس از کالیبره نمودن دستگاه اسپکتوفتومتری با حلال هگزان (به‌عنوان بلانک) مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۰۳ نانومتر خوانده شد و براساس معادله ۵ مقدار لیکوپین برحسب میکروگرم بر گرم بافت تر میوه محاسبه گردید (Wójtowicz et al., 2018).

$$Lycopene \left( \frac{mg}{kgFW} \right) = \frac{A_{503} \times 31.2}{g \text{ tissue}} \quad (5)$$

### میزان آنتوسیانین میوه

میزان ۰/۱ گرم بافت میوه را با دقت وزن شد و در هاون حاوی ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱)، خوب سائیده، سپس در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار داده شد و پس از سانتریفیوژ شدن به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه، محلول رویی برداشته شد و شدت جذب آن در طول موج ۵۵۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای بلانک از متانول اسیدی استفاده شد و غلظت آنتوسیانین از معادله ۶ محاسبه گردید (Nadernejad et al., 2013).

$$A = \varepsilon BC \quad (6)$$

که در آن، A: مقدار عدد جذب خوانده‌شده، B: عرض کووت (یک سانتی‌متر)، ε: ضریب خاموشی (33000 cm<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>) و C: غلظت آنتوسیانین است. عدد به‌دست‌آمده در ۱۰<sup>۶</sup> ضرب شد تا نتایج برحسب میکرومول بر گرم وزن تر (بر حسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) ارائه گردد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از میانگین مربعات (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده فرمولاسیون، غلظت، زمان، اثر متقابل فرمولاسیون در غلظت، اثر متقابل فرمولاسیون در زمان، اثر متقابل غلظت در زمان و اثر متقابل فرمولاسیون و غلظت و زمان بر چگالی آب میوه، مقدار آب میوه، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتر، میزان pH، میزان کلروفیل کل، کاروتنوئید، لیکوپن، آنتوسیانین، فلاونوئید، فلاونول و میزان نشت الکترولیت میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم سانتیاگوی هلندی در سطح اطمینان یک و پنج درصد معنی‌دار بودند.

### میزان آب میوه‌ها و چگالی آب میوه‌ها

نتایج نشان داد که در طول مدت نگهداری میوه‌ها در سردخانه، میزان آب میوه‌ها به تدریج کاهش و میزان چگالی آب میوه‌ها به تدریج افزایش یافت (شکل ۱). با این حال، میوه‌های تیمار شده درصد آب میوه

بیشتر و میزان چگالی آب کمتری نسبت به گروه شاهد داشتند. پس از ۲۸ روز نگهداری، گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی تیمار شده با غلظت ۰/۲ درصد نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی (PEO-SLN-) ۰.۲ دارای بیشترین درصد آب میوه (۷۹/۸۱ درصد، شکل A۱) و کمترین میزان چگالی آب (۰/۹۸ گرم بر میلی‌لیتر، شکل B۱) بودند که به‌طور قابل توجهی ۸۵ درصد آب میوه بیشتر و ۷۵/۱ درصد چگالی آب کمتری نسبت به میوه‌های شاهد داشتند. این تفاوت در میزان درصد آب میوه و میزان چگالی آب میوه را می‌توان به استفاده از تیمارهای پس از برداشت نسبت داد که احتمالاً پوشش‌ها با ایجاد یک مانع فیزیکی روی پوست میوه از تبخیر و تعرق جلوگیری کرده و میزان آب میوه را حفظ کردند و برای همین میزان درصد آب میوه بیشتر و چگالی آب میوه کمتری را در میوه‌های تیمار شده با پوشش‌ها و اسانس‌های مختلف گزارش کردند (Dhital et al., 2018; Locali-Pereira et al., 2021).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم 'سانتیاگوی هلندی' در مدت زمان ۲۸ روز انبارداری در دمای هشت درجه سلسیوس

Table 1- Variance analysis of quantitative and qualitative traits of cherry tomato fruit 'Dutch Santiago' during 28 days of storage at 8°C

| منابع تغییرات<br>S.O.V                                         | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean squares             |                                  |                                            |         |                                | درصد آب<br>میوه<br>Juice<br>percentage |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------------------|
|                                                                |                     | نشت<br>الکترولیت<br>Electrolyte<br>leakage | اسید کل<br>Titratable<br>acidity | مواد جامد محلول<br>Total soluble<br>solids | pH      | چگالی آب میوه<br>Juice density |                                        |
| فرمولاسیون<br>Formulation                                      | 1                   | 4772**                                     | 0.642**                          | 40.6**                                     | 0.074** | 0.358**                        | 2200**                                 |
| غلظت<br>Concentration                                          | 5                   | 299**                                      | 0.157**                          | 4.62**                                     | 0.049** | 0.210**                        | 480**                                  |
| زمان<br>Time                                                   | 4                   | 8225**                                     | 1.83**                           | 51.9**                                     | 0.767** | 0.814**                        | 3748**                                 |
| فرمولاسیون × غلظت<br>Formulation × concentration               | 5                   | 432**                                      | 0.011**                          | 0.330**                                    | 0.003** | 0.007**                        | 53.4**                                 |
| فرمولاسیون × زمان<br>Formulation × time                        | 3                   | 661**                                      | 0.088**                          | 2.70**                                     | 0.006** | 0.024**                        | 340**                                  |
| غلظت × زمان<br>Concentration × time                            | 19                  | 45.1**                                     | 0.016**                          | 0.397**                                    | 0.003** | 0.032**                        | 64.5**                                 |
| فرمولاسیون × غلظت × زمان<br>Formulation × concentration × time | 15                  | 63.9**                                     | 0.005**                          | 0.112*                                     | 0.001*  | 0.002**                        | 15.6**                                 |
| خطا<br>Error                                                   | 106                 | 8.08                                       | 0.003                            | 0.059                                      | 0.001   | 0.001                          | 1.69                                   |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                         |                     | 24.5                                       | 20.8                             | 22.4                                       | 3.1     | 17.6                           | 11                                     |

ns، \* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

ns, \*, and \*\*: significant at the 1% and 5% probability levels, and non-significant, respectively

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم 'سانتی‌آگوی هلندی' در مدت زمان ۲۸ روز انبارداری در دمای هشت درجه سلسیوس

Table 1- Variance analysis of quantitative and qualitative traits of cherry tomato fruit 'Dutch Santiago' during 28 days of storage at 8°C

| منابع تغییرات<br>S.O.V                                         | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean squares |                     |                           |                                 |                          |                    |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------|
|                                                                |                     | فلاونوئید<br>Flavonoid         | فلاونول<br>Flavonol | آنتوسیانین<br>Anthocyanin | کلروفیل کل<br>Total chlorophyll | کاروتنوئید<br>Carotenoid | لیکوپن<br>Lycopene |
| فرمولاسیون<br>Formulation                                      | 1                   | 8.76**                         | 0.593**             | 1.10**                    | 13.3**                          | 23.4**                   | 407**              |
| غلظت<br>Concentration                                          | 5                   | 2.11**                         | 0.564**             | 0.315**                   | 3.61**                          | 2.91**                   | 38.9**             |
| زمان<br>Time                                                   | 4                   | 5.06**                         | 1.10**              | 0.942**                   | 33.9**                          | 43.1**                   | 655**              |
| فرمولاسیون × غلظت<br>Formulation × concentration               | 5                   | 0.329**                        | 0.058**             | 0.035**                   | 1.54**                          | 1.47**                   | 26.3**             |
| فرمولاسیون × زمان<br>Formulation × time                        | 3                   | 2.59**                         | 0.342**             | 0.256**                   | 1.52**                          | 2.89**                   | 47.7**             |
| غلظت × زمان<br>Concentration × time                            | 19                  | 0.144**                        | 0.047**             | 0.021**                   | 0.297**                         | 0.251**                  | 4.70**             |
| فرمولاسیون × غلظت × زمان<br>Formulation × concentration × time | 15                  | 0.115                          | 0.023**             | 0.011**                   | 0.227**                         | 0.302**                  | 5.17**             |
| خطا<br>Error                                                   | 106                 | 0.009                          | 0.008               | 0.006                     | 0.021                           | 0.023                    | 1.12               |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                         |                     | 20.9                           | 13.1                | 27.7                      | 22.2                            | 20.5                     | 19.9               |

ns و \*، \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

ns, \*, and \*\*: significant at the 1% and 5% probability levels, and non-significant, respectively

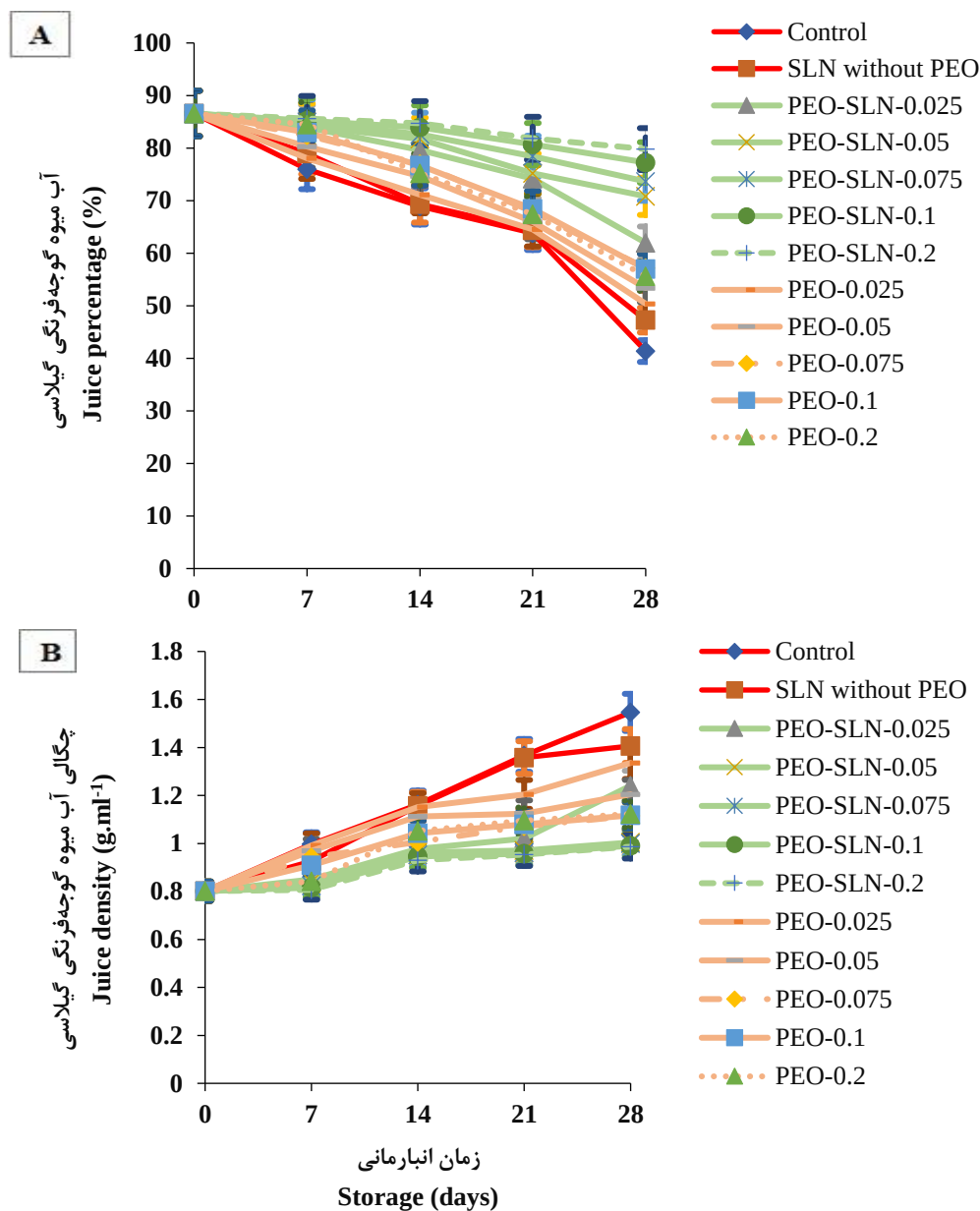
#### مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته آب میوه (TA) و pH آب میوه

مطالعه خواص فیزیکی‌وشیمیایی میوه از جنبه‌های حیاتی در تعیین کیفیت میوه محسوب می‌شود. بررسی محتوای مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و pH آب میوه از شاخص‌های ضروری و رایج برای بررسی خواص فیزیکی‌وشیمیایی میوه می‌باشند (Matabura & Kibazohi, 2021). تغییر در محتوای مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه و pH آب میوه در میوه‌های تیمار شده در شکل ۲ آمده است. نتایج این مطالعه نشان داد که در طول مدت نگهداری، به‌طور کلی میزان مواد جامد محلول میوه و میزان pH آب میوه به‌تدریج افزایش و میزان اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه به‌تدریج کاهش یافت (شکل‌های ۲، A، B و C). با این حال، میوه‌های تیمار شده در مقایسه با گروه شاهد، میزان مواد جامد محلول کل و pH آب میوه کمتر (شکل A۲ و B۲) و میزان اسیدیته قابل تیتراسیون بالاتری (شکل C۲) داشتند. پس از ۲۸ روز نگهداری در

چگالی میوه نه تنها بر کیفیت میوه تازه تأثیر می‌گذارد، بلکه تأثیر بسزایی بر محصولات فرآوری شده آن نیز دارد. چگالی میوه با شیرینی میوه در هنگام برداشت مرتبط است (Wang et al., 2022). وانگ و همکاران (Wang et al., 2022) انگورهای رسیده (*Vitis vinifera* L.) را براساس چگالی آن‌ها در هنگام برداشت جدا کردند و دریافتند که میوه‌های خشک با چگالی بالاتر، طعم و بافت بهتری داشتند. علاوه بر این، در یک تحقیق مشاهده شد که غلظت اکسید رز (یک نوع مونوترپن است که به‌عنوان یک شاخص مفید برای شناسایی و انتخاب ارقام انگور رومیزی براساس عطر کاربرد دارد) در انگور به‌وضوح تحت تأثیر چگالی میوه قرار گرفت و مشخص شد که در حبه‌های انگور با چگالی بالا بیشتر است (Rolle et al., 2015). جرم در واحد حجم (چگالی) آب میوه‌ها به‌طور کلی با افزایش زمان نگهداری افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل اثر از دست دادن رطوبت از طریق تبخیر باشد (Shahkoomahally & Ramezani, 2015).

بریکس، pH برابر با ۴/۵۶ و ۰/۵۶ درصد) و بالاترین میزان مواد جامد محلول کل و pH و پایین‌ترین میزان اسیدیته آب میوه مربوط به گروه شاهد (۸/۳۶ بریکس، pH برابر با ۴/۸۴ و ۰/۱۸ درصد) بودند.

سردخانه، پایین‌ترین میزان مواد جامد محلول کل و pH و بالاترین میزان اسیدیته آب میوه مربوط به غلظت ۰/۲ درصد نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی (PEO-SLN-0.2) (به ترتیب با ۵/۹



شکل ۱- درصد آب میوه (A) و چگالی آب میوه (B) در گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم 'سانتیاگو هلندی' پوشش داده‌شده با اسانس نعناع فلفلی (PEO) و فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی (PEO-SLN) در طول مدت ۲۸ روز نگهداری در سردخانه در دمای هشت درجه سلسیوس

Figure 1- The percentage of fruit juice (A) and the fruit juice density (B) in cherry tomatoes 'Dutch Santiago' coated with peppermint oil (PEO) and formulations of solid lipid nanoparticles containing peppermint oil (PEO-SLN), over a storage period of 28 days in a refrigerator at 8°C



مواد جامد محلول بر کیفیت طعم میوه تأثیر می‌گذارد و به‌عنوان شاخصی از رسیدن و شاخصی از مقدار مواد معدنی محلول و قند موجود در میوه‌ها در نظر گرفته می‌شود (Abiso et al., 2015). پدیده افزایش مواد جامد محلول در طول مدت نگهداری بیشتر به مرحله رسیدن و همچنین تبدیل کربوهیدرات و بیوستتر نسبت داده می‌شود (Al-Dairi et al., 2021). رسیدن در طول مدت نگهداری به تجزیه مواد پکتین به قند ساده (الیگوساکاریدها) کمک می‌کند و در نتیجه مواد جامد محلول در طول زمان افزایش می‌یابد (Munhuwiyi, 2012). قندها اجزای اصلی مواد جامد محلول در میوه گوجه‌فرنگی هستند و مقدار مواد جامد محلول در اثر هیدرولیز کربوهیدرات‌ها به قندها در طول فرآیند رسیدن افزایش می‌یابد (Peralta-Ruiz et al., 2020). نتایج مطالعه حاضر مطابق با یافته‌های تیگست و همکاران (Tigist et al., 2013) بود که تغییرات قابل توجهی در مواد جامد محلول گوجه‌فرنگی در شرایط دمایی اتاق به‌دلیل هیدرولیز کربوهیدرات‌ها به قندهای محلول و از دست دادن شدید آب در طول دوره نگهداری ۳۲ روزه گزارش کردند. در میوه کارامبولا، یک کامپوزیت پوششی مبتنی بر آلژینات با پوشش اسانس زیتون به کاهش تجمع محتوای جامد محلول کمک کرد (Baraiya et al., 2014). تجمع کمتر محتوای مواد جامد محلول در میوه‌ها در طول انبار را می‌توان به کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز، کاهش فعالیت متابولیک، کاهش سرعت تنفس و تبادل گازی نسبت داد که می‌تواند تجزیه مواد مغذی را به تأخیر بیندازد (Dong & Wang, 2018).

علاوه بر این، اسیدیته بیشتر برای ارزیابی ماندگاری محصول و بررسی برخی تغییرات شیمیایی در طول دوره نگهداری استفاده می‌شود (Matabura & Kibazohi, 2021). مقدار اسیدیته آب میوه مربوط به محتویات اسید آلی در میوه گوجه‌فرنگی است که عمدتاً اسید سیتریک و اسید آسکوربیک می‌باشد. اسیدهای غالب میوه‌ها باعث احساس مزه ترشی می‌شوند. اسیدها معمولاً بعد از شروع رسیدن طی تنفس مصرف می‌شوند و غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد (Peralta-Ruiz et al., 2020). در یک مطالعه، نیروپاما و همکاران (Nirupama et al., 2010) بیان کردند که تغییرات اسیدیته آب میوه در طول مدت نگهداری عمدتاً به فعالیت‌های متابولیکی بافت‌های زنده گوجه‌فرنگی که در آن تخلیه اسید آلی اتفاق می‌افتد نسبت داده می‌شود. حاتمی و همکاران (Hatami et al., 2013) همچنین تأکید کردند که کاهش اسیدیته آب میوه می‌تواند به‌میزان رسیدن و تنفس بیشتر مربوط باشد که در آن اسیدهای آلی می‌توانند به‌عنوان یک

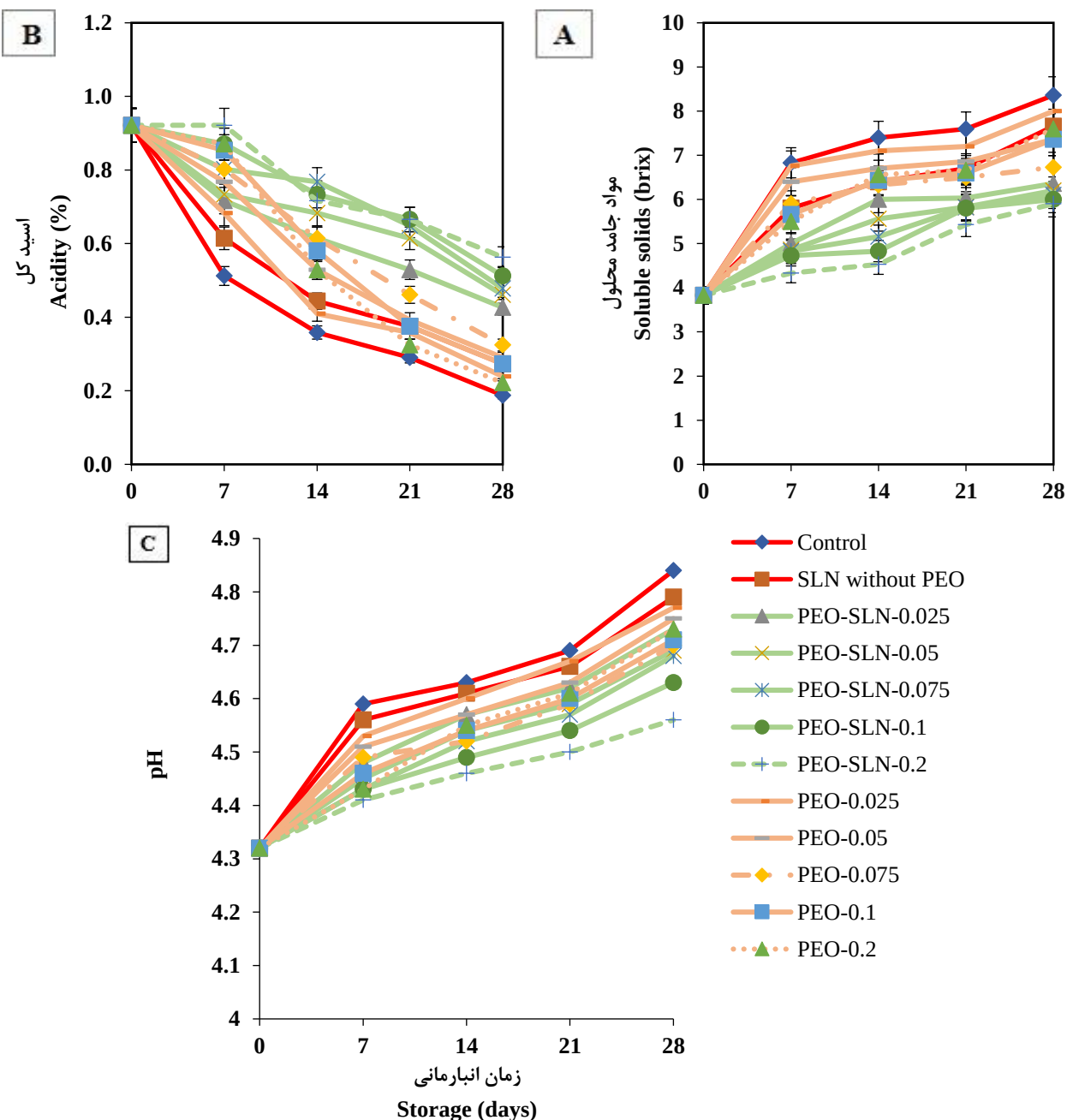
بستر در طول فرآیند تنفس یا به‌دلیل تبدیل به قندهای دیگر مورد استفاده قرار گیرند. کاهش مقدار اسید کل میوه‌ها در طول پس از برداشت مربوط به متابولیسم آن‌ها و استفاده از آن‌ها به‌عنوان سوبسترای تنفسی در طول رسیدن محصول است (Ortiz et al., 2021; Álvarez-Hernández et al., 2013). بنابراین، پوشش‌ها با ایجاد لایه محافظ اطراف میوه مانع ورود اکسیژن به میوه، کاهش میزان تنفس و کاهش تبدیل اسید آلی به قندها می‌شوند (Srinivasa et al., 2002; Jodhani & Nataraj, 2019).

افزایش pH در طول مدت نگهداری مربوط به استفاده از اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترای تنفسی میوه است (Locali-Pereira et al., 2021) و به‌طور کلی با افزایش تعداد روزهای نگهداری میزان pH افزایش می‌یابد (Dhital et al., 2018). همچنین گزارش شده است که مقدار pH گوجه‌فرنگی با افزایش مدت زمان نگهداری، رسیدن و تنفس گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد (Abiso et al., 2015). در مورد مدت زمان نگهداری، نتایج به‌دست‌آمده با نتایج دیتال و همکاران (Dhital et al., 2017) مطابقت داشت که افزایش pH را در طول مدت نگهداری مشاهده کردند که می‌تواند به‌دلیل افزایش اکسیژن بر سرعت تنفس میوه باشد. استفاده از اسانس‌ها در بسته‌بندی می‌تواند با کاهش سرعت تنفس به میوه‌ها برای حفظ pH پایدار در طول ذخیره‌سازی کمک کند (Locali-Pereira et al., 2021). نتایج مغایری در مطالعات سایر محققان نیز مشاهده شد. در یک پژوهش، تیمار میوه‌های گلایی با اسانس‌های *Thymus kotschyanus* (با ترکیب غالب کارواکرول)، *Ocimum basilicum* (با ترکیب غالب لینالول) و *Rosmarinus officinalis* تأثیری بر میزان pH نداشتند (Marandi et al., 2011).

#### محتوای کلروفیل کل، کاروتنوئید و لیکوپین

تغییر در محتوای کلروفیل کل، کاروتنوئید و لیکوپین در میوه‌های تیمار شده در شکل ۳ آمده است. نتایج نشان داد که در طول مدت نگهداری، به‌طور کلی میزان کلروفیل کل به‌تدریج کاهش و میزان کاروتنوئید و لیکوپین به‌تدریج افزایش یافت (شکل‌های ۳، A، B و C). باین‌حال، میوه‌های تیمار شده با فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی کاهش کمتری از نظر محتوای کلروفیل و افزایش کمتری از نظر محتوای کاروتنوئید و لیکوپین نشان دادند که نشان‌دهنده تغییرات رنگ کمتر در میوه‌ها است.





شکل ۲- مواد جامد محلول (A)، اسیدیته (B) و pH آب میوه (C) در گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم 'سانتیاگو هلندی' پوشش داده‌شده با اسانس نعناع فلفلی (PEO) و فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی (PEO-SLN) در طول مدت ۲۸ روز نگهداری در سردخانه در دمای هشت درجه سلسیوس

Figure 2- Soluble solids (A), acidity (B), and fruit juice pH (C) in cherry tomatoes 'Dutch Santiago' coated with peppermint oil (PEO) and formulations of solid lipid nanoparticles containing peppermint oil (PEO-SLN), over a storage period of 28 days in a refrigerator at 8°C

وزن تر میوه) و اسانس نعناع فلفلی به‌صورت آزاد بود (شکل ۳C). این نتایج با یافته‌های اترش و همکاران (Atrash et al., 2018) هم‌خوانی داشت که گزارش کردند، میوه لیمو با پوشش اسانس مرزه (*Satureja hortensis*)، میزان کلروفیل بالاتری در مقایسه با گروه

در این پژوهش، کمترین مقدار لیکوپن (۱۶/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه) مربوط به میوه‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی، به‌ویژه در غلظت ۰/۲ درصد، در مقایسه با گروه شاهد (۲۵/۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم

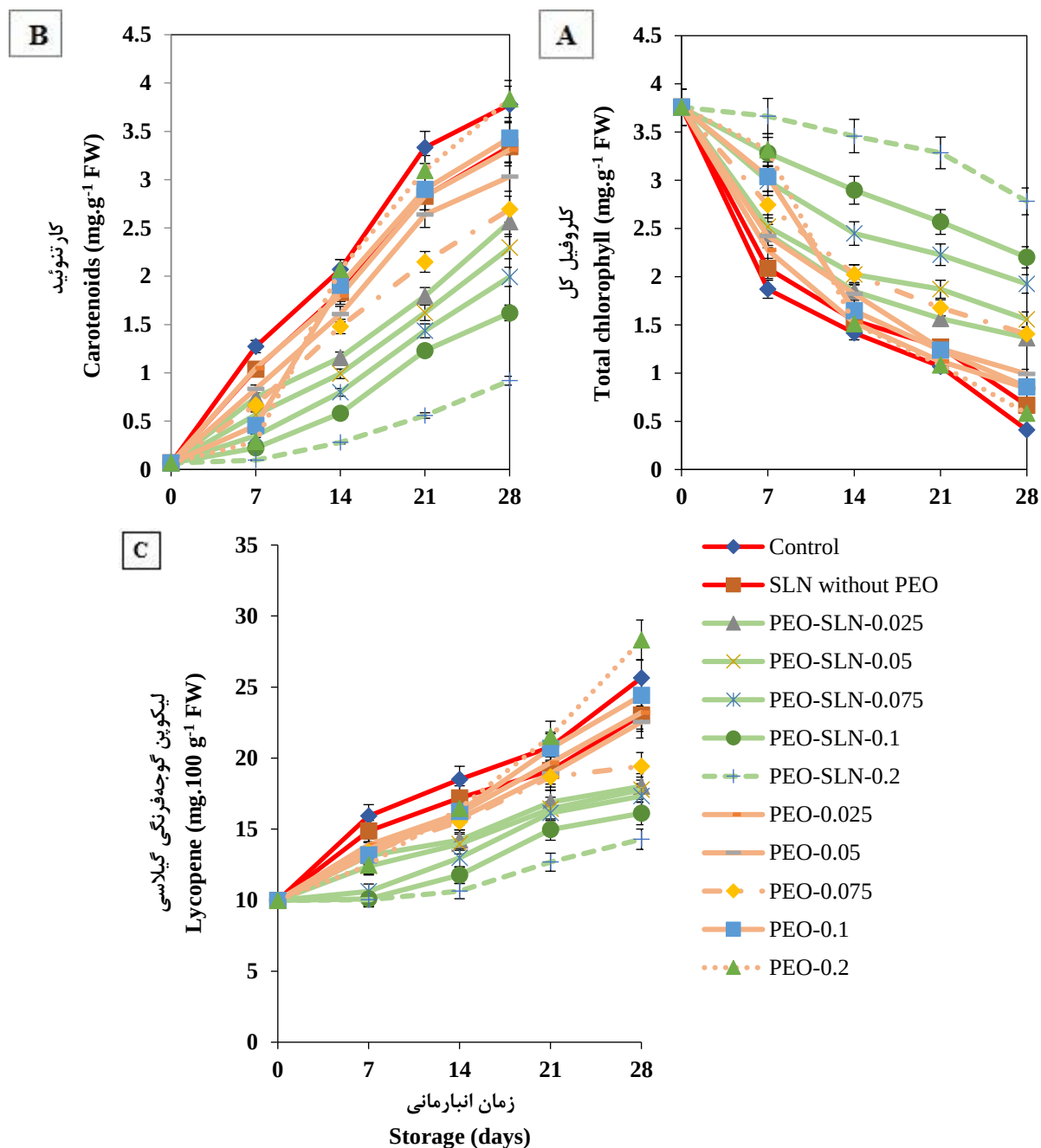
شاهد داشت. همچنین این نتایج با یافته‌های پرومال و همکاران (Perumal et al., 2021) مطابقت داشت که گزارش کردند، رنگ پوست میوه‌های انبه (*Mangifera indica*, L.) در هنگام رسیدن به دلیل تخریب کلروفیل و سنتز کاروتنوئیدهای فیتوشیمیایی از رنگ سبز به رنگ زرد متمایل شد که نشان‌دهنده مرحله رسیدن میوه می‌باشد.

در این پژوهش، میوه‌های گوجه‌فرنگی گیلاسی در زمان بلوغ تجاری که تقریباً ۷۰ درصد سطح میوه رنگ گرفته بود، برداشت شدند. این میوه‌ها جزء میوه‌های فرازگرا هستند که خاصیت پس‌رسی دارند (Quinet et al., 2019). تغییر رنگ از جمله واضح‌ترین تغییرات زمان رسیدن محسوب می‌شود که معمولاً با از دست دادن کلروفیل و رنگ سبز و ظاهر شدن رنگ‌های دیگر مانند زرد، نارنجی، قرمز ناشی از رنگیزه‌هایی مثل کاروتنوئید و آنتوسیانین‌ها همراه است. تغییر رنگ میوه گوجه‌فرنگی در طول رسیدن به دلیل انتقال از کلروپلاست به کروموپلاست است که با تخریب کلروفیل و سنتز کاروتنوئیدها ایجاد می‌شود (Park et al., 2018). تخریب کلروفیل و انباشته شدن کاروتنوئیدها نشانه‌هایی از فرآیند رسیدن و قرمز شدن گوجه‌فرنگی است (Jia et al., 2022). سنتز کاروتنوئید، به‌ویژه تجمع لیکوپن، با رنگ قرمز میوه گوجه‌فرنگی ارتباط دارد (Cox et al., 2003). مطالعات نشان دادند که محتوای کاروتنوئیدها و کلروفیل در میوه‌ها در طول مدت نگهداری به دما، نور، رطوبت، متابولیسم، اعمال پوشش‌های پس از برداشت روی میوه‌ها نیز بستگی دارند (Zambrano-Zaragoza et al., 2013; Park et al., 2018; Choi & Park, 2023). همچنین، محتوای کلروفیل و کیفیت فیزیکی گوجه‌فرنگی در مرحله پس از برداشت به دلیل رطوبت و تنفس بالا با افزایش زمان نگهداری کاهش می‌یابد که منجر به قرمز شدن و نرم شدن گوجه‌فرنگی می‌شود (Jia et al., 2022). رنگ قرمز گوجه‌فرنگی به دلیل غلظت بالای لیکوپن است (Javanmardi & Kubota, 2006; Buendía et al., 2019). افزایش غلظت لیکوپن در گوجه‌فرنگی گیلاسی نیز در طول مدت نگهداری به‌طور مستقیم با مرحله رسیدن میوه و شرایط نگهداری میوه در ارتباط می‌باشد (Fagundes et al., 2015). مقدار رنگیزه لیکوپن در میوه‌های توت‌فرنگی با افزایش زمان نگهداری به‌طور معنی‌دار افزایش یافت و میوه‌های شاهد افزایش بیشتری در مقدار لیکوپن داشتند که نشان‌دهنده سرعت بالاتر در مرحله رسیدن بود (Jodhani & Nataraj, 2019). نتایج این مطالعه با نتایج زامبرانو ساراگوسا (Zambrano-Zaragoza et al., 2013) مطابقت داشت

که گزارش کردند، میوه‌های تیمار شده گواوا (*Psidium guajava* L.) با ۶۰ و ۶۵ گرم در لیتر نانوذرات لیپیدی جامد به دلیل کاهش متابولیسم و متعاقب آن تأخیر در تجزیه کلروفیل منجر به تأخیر در تغییر رنگ میوه شد. حفظ کلروفیل کل احتمالاً به دلیل تأثیر پوشش‌های خوراکی در کاهش سرعت تنفس با ایجاد یک مانع فیزیکی باشد که فعالیت کلروفیل‌از را کاهش می‌دهد (Jodhani & Nataraj, 2019). تأخیر در تغییر رنگ میوه می‌تواند به دلیل استفاده از پوشش باشد که احتمالاً فرآیند رسیدن را به تأخیر انداخته و در نتیجه رنگ میوه حفظ می‌شود (Wani et al., 2021).

### محتوای آنتوسیانین، فلاونوئید و فلاونول

در طول مدت ۲۸ روز نگهداری در سردخانه در دمای هشت درجه سلسیوس، محتوای آنتوسیانین، فلاونوئید و فلاونول در میوه‌های تیمار شده به‌صورت ناهمگن و در میوه‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوذرات لیپیدی جامد فاقد اسانس نعنای فلفلی و همچنین گروه شاهد به‌صورت تدریجی کاهش یافت (شکل ۴). این کاهش احتمالاً به دلیل افزایش فرآیندهای اکسیداتیو بود. با توجه به نتایج، میوه‌های تیمار شده، مقادیر بالاتری از این ترکیبات را در مقایسه با گروه شاهد نشان دادند. با این حال، میوه‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعنای فلفلی محتوای آنتوسیانین، فلاونوئید و فلاونول بالاتری را در مقایسه با میوه‌های تیمار شده با اسانس نعنای فلفلی به‌صورت آزاد نشان دادند که نشان‌دهنده کاهش فرآیندهای اکسیداتیو بود. مقادیر این ترکیبات در میوه‌های تیمار شده با اسانس نعنای فلفلی به‌صورت آزاد و فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعنای فلفلی به‌ترتیب تا روز هفتم و چهاردهم افزایش یافت. سپس مقادیر آن‌ها روند کاهشی داشت. این نتیجه نشان داد که هر دو تیمار در حفظ ترکیبات فنولی مؤثر بودند، تیمار اسانس نعنای فلفلی به‌صورت آزاد در کوتاه‌مدت و فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعنای فلفلی نسبتاً در بلندمدت مؤثر بودند. در روز بیست و هشتم، بیشترین محتوای آنتوسیانین (۰/۸۴ میکرومول بر گرم وزن تر میوه)، فلاونوئید (۳/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر میوه) و فلاونول (۲/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر میوه) مربوط به غلظت ۰/۲ درصد نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعنای فلفلی (PEO-SLN-) (0.2) بود که به‌ترتیب ۲/۸، ۲/۱ و ۱/۵ برابر بیشتر از شاهد (۰/۲۹ میکروگرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر میوه، ۱/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر میوه و ۱/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر میوه) بودند.



شکل ۳- محتوای کلروفیل کل (A)، کاروتنوئید (B) و لیکوپن (C) میوه در گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم 'دutch سانتیاگو' هلندی پوشش داده شده با اسانس نعناع فلفلی (PEO) و فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی (PEO-SLN) در طول مدت ۲۸ روز نگهداری در سردخانه در دمای هشت درجه سلسیوس

Figure 3- Total chlorophyll (A), carotenoids (B), and lycopene (C) content in cherry tomatoes 'Dutch Santiago' coated with peppermint oil (PEO) and formulations of solid lipid nanoparticles containing peppermint oil (PEO-SLN), over a storage period of 28 days in a refrigerator at 8°C

چندین مطالعه یافته‌های مشابهی را گزارش کردند. به‌عنوان مثال، محتوای آنتوسیانین در توت‌فرنگی با پوشش لیپوزوم بیشتر از آلزینات و شاهد و در توت‌فرنگی با پوشش آلزینات بیشتر از شاهد به‌طور قابل توجهی در سطح

بالاتر بودن مقادیر این ترکیبات در مقایسه با گروه شاهد را می‌توان به توانایی این تیمارها در عمل به‌عنوان یک مانع در برابر عوامل مختلف از جمله تبادل گاز، فرآیندهای اکسیداتیو و فعالیت پلی فنول اکسیداز نسبت داد (Wang et al., 2017; Bandian et al., 2024;)

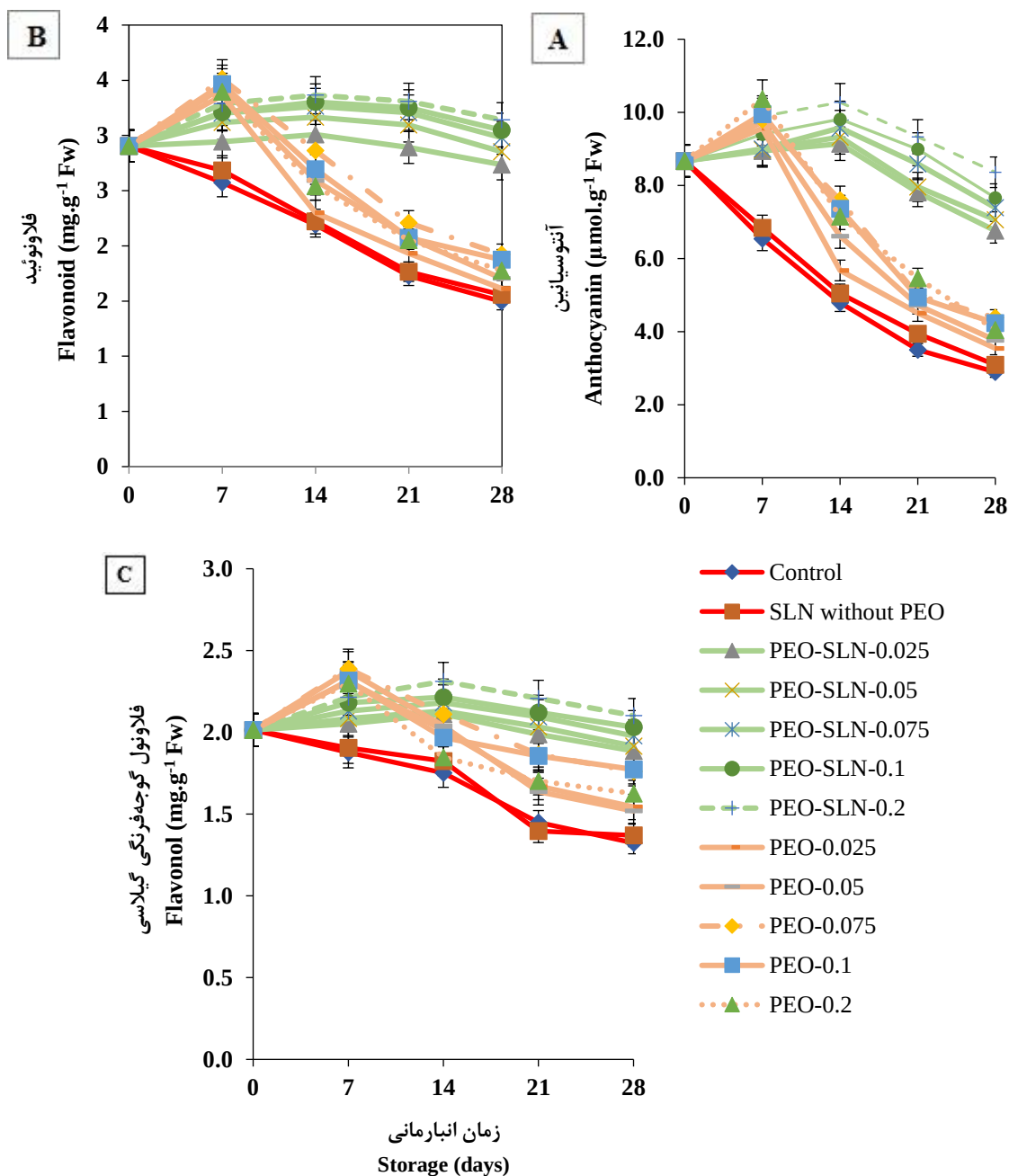
اطمینان پنج درصد بود (Dhital et al., 2018). این مطالعه همچنین نشان داد که میزان این ترکیبات در میوه‌های تیمار شده با فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی بیشتر از میوه‌های تیمار شده با اسانس نعناع فلفلی به صورت آزاد بود. این افزایش را می‌توان به آزادسازی تدریجی اسانس از نانوکپسول‌ها نسبت داد که سدی محافظ در برابر تخریب توسط اکسیژن، نور و دما ایجاد کرد (Taheri et al., 2020). همچنین اعتقاد بر این است که انتشار اسانس موجب اعمال تنش خفیف می‌شود که سازوکارهای دفاعی گیاه را فعال می‌کند و منجر به افزایش محتوای ترکیبات فنولی (فلاونول و فلاونوئید) می‌شود (Mohammadi et al., 2021). ترکیبات فنلی مانند نارینجین کالکون و فلاونول‌های نوع کوئرستین دسته مهم دیگری از ترکیبات فیتوشیمیایی میوه گوجه‌فرنگی هستند (Migliori et al., 2017). در یک آزمایش در بررسی اثر اسانس آویشن شیرازی، کیتوزان و پروپوولیس طی پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی گزارش شد که میزان فلاونول در گروه شاهد در دوره دوم ارزیابی بیشتر از دوره اول ارزیابی بود و سپس مقدار آن کاهش یافت، ولی در میوه‌های تیمار شده مقدار فلاونول تا پایان دوره ارزیابی به تدریج افزایش داشت. حفظ بهتر و قابل توجهی در مقدار فلاونول در تیمار اسانس آویشن نسبت به شاهد و سایر تیمارها مشاهده شد (Migliori et al., 2017). نشان داده شده است که تحت تنش اکسیداتیو، محتوای فلاونوئید کل در طول زمان انبارداری افزایش می‌یابد (Nair et al., 2018). در یک مطالعه گزارش شد که تیمار با اسانس نه تنها باعث کاهش فساد زغال اخته در طول نگهداری شد، بلکه فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها را نیز تحریک کرد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا باعث افزایش ظرفیت حذف رادیکال‌های آزاد و افزایش مقاومت سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو شد. این عامل منجر به حفظ کیفیت میوه برای مدت طولانی‌تری شد (Wang & Chen, 2010).

### نشت الکترولیت

نشت الکترولیت ارتباط نزدیکی با یکپارچگی غشاء بافت دارد. هنگامی که یکپارچگی غشاء سلولی مختل شود، عملکرد نفوذپذیری انتخابی غشاء سلولی ضعیف می‌شود و مواد درون سلولی می‌توانند آزادانه عبور کنند و نشت نسبی الکترولیت بافتی بر این اساس افزایش می‌یابد (Li et al., 2019). در این مطالعه، مقدار نشت الکترولیت با افزایش زمان انبارمانی افزایش یافت (شکل ۵). اما به طور کلی میوه-

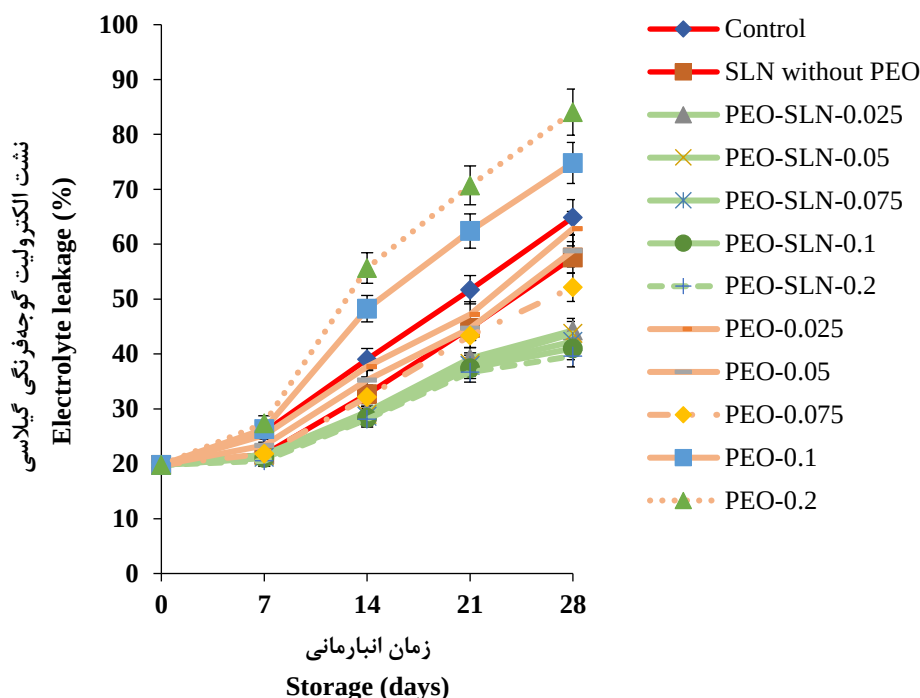
های تیمار شده افزایش کمتری از نظر مقدار نشت الکترولیت در مقایسه با گروه شاهد داشتند. یعنی میوه‌های تیمار شده با فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی، میزان نشت الکترولیت کمتری در مقایسه با گروه شاهد و میوه‌های تیمار شده با اسانس نعناع فلفلی به صورت آزاد داشتند. این امر نشان داد که تیمار با فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی می‌تواند به عنوان یک لایه محافظ در برابر اکسیداسیون عمل کند و به کاهش میزان نشت الکترولیت در طول انبارمانی کمک کند.

کاهش میزان نشت الکترولیت در پایان دوره انبارمانی را می‌توان به عوامل مختلفی مانند القاء تنش خفیف به وسیله اسانس، تحریک سازوکار دفاعی میوه، حفظ آب میوه، کاهش واکنش‌های اکسیداسیون و تأخیر در رسیدن میوه نسبت داد (Jodhani & Nataraj, 2019; Gutierrez-Molina et al., 2021). القاء تنش خفیف به وسیله اسانس‌ها موجب تحریک سازوکار دفاعی گیاه به ویژه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسید دیسموتاز (POD)، کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX) (Veloso et al., 2018) و القاء ژن‌های دخیل در بیوسنتز فنیل پروپانوئید و متابولیسم دیواره سلولی شد (Landi et al., 2021) که متعاقب آن موجب کاهش واکنش‌های اکسیداسیون و تأخیر در رسیدن و پیری میوه‌ها می‌شود (Jodhani & Nataraj, 2019; Gutierrez-Molina et al., 2021). در یک مطالعه، اثر نگهدارندگی پوشش کیتوزان حاوی اسانس سداب به قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد به وسیله اسانس نسبت داده شد (González-Locarno et al., 2020). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تیمار میوه‌ها با اسانس موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، حفظ فنول موجود در میوه‌ها و تأخیر در مرحله رسیدن و پیری میوه‌ها شد (Perumal et al., 2021). علاوه بر این، تحقیقات قبلی نشان دادند که نانوکپسول‌ها می‌توانند تحویل مواد آبریز مانند اسانس‌ها را افزایش دهند که منجر به آزادسازی پایدار، زیست‌فراهمی بهبود یافته و در نهایت فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی بالاتر شود (Taheri et al., 2020; Perumal et al., 2021). بنابراین همه این عوامل موجب می‌شود که میزان نشت الکترولیت کاهش یابد و یکپارچگی غشاء سلولی حفظ شود. علاوه بر این‌ها، استفاده از پوشش‌های خوراکی به طور مؤثری میزان نشت الکترولیت را با کند کردن فرآیند رسیدن کاهش می‌دهند.



شکل ۴- محتوای آنتوسیانین (A)، فلاونوئید (B) و فلاونول (C) آب میوه در گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم 'سانتیاگو هلندی' پوشش داده شده با اسانس نعناع فلفلی (PEO) و فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی (PEO-SLN) در طول مدت ۲۸ روز نگهداری در سردخانه در دمای هشت درجه سلسیوس

Figure 4- Anthocyanin (A), flavonoid (B) and flavonol (C) content in cherry tomatoes 'Dutch Santiago' coated with peppermint oil (PEO) and formulations of solid lipid nanoparticles containing peppermint oil (PEO-SLN), over a storage period of 28 days in a refrigerator at 8°C



شکل ۵- میزان نشت الکترولیت در گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم 'سانتیاگو هلندی' پوشش داده‌شده با اسانس نعناع فلفلی (PEO) و فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی (PEO-SLN) در طول مدت ۲۸ روز نگهداری در سردخانه در دمای هشت درجه سلسیوس  
Figure 5- Electrolyte leakage in cherry tomatoes 'Dutch Santiago' coated with peppermint oil (PEO) and formulations of solid lipid nanoparticles containing peppermint oil (PEO-SLN), over a storage period of 28 days in a refrigerator at 8°C

## نتیجه‌گیری

این یافته‌ها نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی این نانوکپسول تأثیر مثبتی بر کاهش سرعت رسیدن میوه و محافظت در برابر آسیب‌های اکسیداسیون دارد. براساس نتایج این پژوهش، استفاده از سیستم نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی می‌تواند راهی مؤثر برای افزایش کارایی اسانس نعناع فلفلی به‌صورت آزاد و حفظ کیفیت میوه‌های تازه باشد. علاوه بر این، پتانسیل امیدوارکننده-ای را به‌عنوان جایگزینی برای شیوه‌های سنتی نگهداری میوه نشان می‌دهد.

## سپاسگزاری

نویسندگان مایل هستند که مراتب قدردانی خود را از دانشگاه فردوسی مشهد (۳/۴۷۹۰۱) برای مساعدت در امور مالی و تهیه تجهیزات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش اعلام کنند. نتایج این مطالعه حاصل بخش‌هایی از رساله دکتری معصومه وکیلی قرطاول است.

این مطالعه با هدف ارزیابی اثربخشی غلظت‌های مختلف تیمارهای نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی در مقایسه با اسانس نعناع فلفلی به‌صورت آزاد بر میزان خواص فیزیولوژیک (کلروفیل کل)، خواص بیوشیمیایی (محتوای آنتوسیانین، فلاونوئید، فلاونول، کاروتنوئید، لیکوپن) و میزان نشت الکترولیت میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی رقم سانتیاگو هلندی انجام گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی تیمار شده با فرمولاسیون‌های نانوذرات لیپیدی جامد حاوی اسانس نعناع فلفلی، به‌ویژه در غلظت‌های بالاتر، ویژگی‌های کیفی میوه مانند میزان آب میوه، رنگ، محتوای ترکیبات فلاونوئیدی، فلاونول و آنتوسیانین را بهتر از میوه‌های تیمار شده با اسانس نعناع فلفلی به‌صورت آزاد یا گروه شاهد حفظ کردند. با این حال، گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی که با غلظت‌های بالاتر اسانس نعناع فلفلی به‌صورت آزاد تیمار شدند، میزان نشت الکترولیت بالاتری را حتی در مقایسه با گروه شاهد نشان دادند.

## References

- Abiso, E., Satheesh, N., & Hailu, A. (2015). Effect of storage methods and ripening stages on postharvest quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Chali. *Annals: Food Science & Technology*, 16(1), 127-137.



2. Al-Dairi, M., Pathare, P.B., & Al-Yahyai, R. (2021). Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6), 401-408. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.001>
3. Álvarez-Hernández, M.H., Martínez-Hernández, G.B., Castillejo, N., Martínez, J.A., & Artés-Hernández, F. (2021). Development of an antifungal active packaging containing thymol and an ethylene scavenger. Validation during storage of cherry tomatoes. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100734>
4. Ansarifard, E., & Moradinezhad, F. (2022). Encapsulation of thyme essential oil using electrospun zein fiber for strawberry preservation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(2), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00267-y>
5. Atrash, S., Ramezani, A., Rahemi, M., Ghalamfarsa, R.M., & Yahia, E. (2018). Antifungal effects of savory essential oil, gum arabic, and hot water in Mexican lime fruits. *HortScience*, 53(4), 524-530. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12736-17>
6. Bandian, L., Moghaddam, M., Bahreini, M., & Vakili-Ghartavol, M. (2024). Effects of *Thymus vulgaris*, *Zataria multiflora*, *Salvia verticillata*, and ε-polylysine on shelf-life extension of sweet basil leaves. *International Journal of Vegetable Science*, 30(4), 450-469. <https://doi.org/10.1080/19315260.2024.2379575>
7. Baraiya, N.S., Rao, T.V.R., & Thakkar, V.R. (2014). Enhancement of storability and quality maintenance of carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit by using composite edible coating. *Fruits*, 69(3), 195-205. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1051/fruits/2014010>
8. Buendía, L., Soto, S., Ros, M., Antolinos, V., Navarro, L., Sánchez, M. J., Martínez, G.B., & López, A. (2019). Innovative cardboard active packaging with a coating including encapsulated essential oils to extend cherry tomato shelf life. *LWT- Food Science and Technology*, 116, 108584. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108584>
9. Chen, Z., Wang, Z., Yang, Y., Li, M., & Xu, B. (2018). Absciscic acid and brassinolide combined application synergistically enhances drought tolerance and photosynthesis of tall fescue under water stress. *Scientia Horticulturae*, 228, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.004>
10. Choi, H.G., & Park, K.S. (2023). Ripening process of tomato fruits postharvest: Impact of environmental conditions on quality and chlorophyll a fluorescence characteristics. *Horticulturae*, 9(7), 812.
11. Cox, S.E., Stushnoff, C., & Sampson, D.A. (2003). Relationship of fruit color and light exposure to lycopene content and antioxidant properties of tomato. *Canadian Journal of Plant Science*, 83(4), 913-919.
12. Dhital, R., Mora, N.B., Watson, D.G., Kohli, P., & Choudhary, R. (2018). Efficacy of limonene nano coatings on post-harvest shelf life of strawberries. *LWT - Food Science and Technology*, 97, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.038>
13. Dhital, R., Joshi, P., Becerra-Mora, N., Umagiliyage, A., Chai, T., Kohli, P., & Choudhary, R. (2017). Integrity of edible nano-coatings and its effects on quality of strawberries subjected to simulated in-transit vibrations. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.033>
14. Dong, F., & Wang, X. (2018). Guar gum and ginseng extract coatings maintain the quality of sweet cherry. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.035>
15. Fagundes, C., Moraes, K., Pérez-Gago, M.B., Palou, L., Maraschin, M., & Monteiro, A. (2015). Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017>
16. Fazly Bazzaz, B., Khameneh, B., Namazi, N., Iranshahi, M., Davoodi, D., & Golmohammadzadeh, S. (2018). Solid lipid nanoparticles carrying *Eugenia caryophyllata* essential oil: The novel nanoparticulate systems with broad-spectrum antimicrobial activity. *Letters in Applied Microbiology*, 66(6), 506-513. <https://doi.org/10.1111/lam.12886>
17. González-Locarno, M., Maza Pautt, Y., Albis, A., López, E.F., & Grande Tovar, C.D. (2020). Assessment of chitosan-rue (*Ruta graveolens* L.) essential oil-based coatings on refrigerated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) quality. *Applied Sciences*, 10(8), 2684. <https://doi.org/10.3390/app10082684>
18. Gutiérrez-Molina, J., Corona-Rangel, M.L., Ventura-Aguilar, R.I., Barrera-Necha, L.L., Bautista-Baños, S., & Correa-Pacheco, Z.N. (2021). Chitosan and *Byrsonima crassifolia*-based nanostructured coatings: Characterization and effect on tomato preservation during refrigerated storage. *Food Bioscience*, 42, 101212. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101212>
19. Hatami, M., Kalantari, S., & Delshad, M. (2012). Responses of different maturity stages of tomato fruit to different storage conditions. In *VII International Postharvest Symposium*. 1012, 857-864. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1012.116>
20. Javanmardi, J., & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 151-155. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.008>

21. Jia, S., Zhang, N., Ji, H., Zhang, X., Dong, C., Yu, J., Yan, S., Chen, C., & Liang, L. (2022). Effects of atmospheric cold plasma treatment on the storage quality and chlorophyll metabolism of postharvest tomato. *Foods*, 11(24), 4088. <https://doi.org/10.3390/foods11244088>
22. Jodhani, K.A., & Nataraj, M. (2019). Edible coatings from plant-derived gums and clove essential oil improve postharvest strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) shelf life and quality. *Environmental and Experimental Botany*, 17, 123-135.
23. Kim, D.O., Chun, O.K., Kim, Y.J., Moon, H.Y., & Lee, C.Y. (2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6509-6515. <https://doi.org/10.1021/jf0343074>
24. Laein, S.S., Khanzadi, S., Hashemi, M., Gheybi, F., & Azizzadeh, M. (2022). Peppermint essential oil-loaded solid lipid nanoparticle in gelatin coating: Characterization and antibacterial activity against foodborne pathogen inoculated on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet during refrigerated storage. *Journal of Food Science*, 87(7), 2920-2931. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16221>
25. Landi, L., Peralta-Ruiz, Y., Chaves-López, C., & Romanazzi, G. (2021). Chitosan coating enriched with *Ruta graveolens* L. essential oil reduces postharvest anthracnose of papaya (*Carica papaya* L.) and modulates defense-related gene expression. *Frontiers in Plant Science*, 12, 2434. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.765806>
26. Li, B., Ding, Y., Tang, X., Wang, G., Wu, S., Li, X., Huang, X., Qu, T., Chen, J., & Tang, X. (2019). Effect of L-arginine on maintaining storage quality of the white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food and Bioprocess Technology*, 12, 563-574. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2232-0>
27. Locali-Pereira, A.R., Guazi, J.S., Conti-Silva, A.C., & Nicoletti, V.R. (2021). Active packaging for postharvest storage of cherry tomatoes: Different strategies for application of microencapsulated essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100723. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100723>
28. Mahendran, G., & Rahman, L.U. (2020). Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on Peppermint (*Mentha* × *piperita* L.)—A review. *Phytotherapy Research*, 34(9), 2088-2139. <https://doi.org/10.1002/ptr.6664>
29. Marandi, R.J., Hassani, A., Ghosta, Y., Abdollahi, A., Pirzad, A., & Sefidkon, F. (2011). Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on pear with *Thymus kotschyana*, *Ocimum basilicum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(4), 626-634.
30. Matabura, V., & Kibazohi, O. (2021). Physicochemical and sensory evaluation of mixed juices from banana, pineapple and passion fruits during storage. *Tanzania Journal of Science*, 47(1), 332-343.
31. Migliori, C.A., Salvati, L., Di Cesare, L.F., Scalzo, R. L., & Parisi, M. (2017). Effects of preharvest applications of natural antimicrobial products on tomato fruit decay and quality during long-term storage. *Scientia Horticulturae*, 222, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.030>
32. Mirtalebi, M., Rajaei, A., Bahmaei, M., & Yari Khosroushahi, A. (2020). Storage Stability of wheat germ oil encapsulated within nanostructured lipid carriers. *Journal of Nanostructures*, 10(2), 268-278. <https://doi.org/10.22052/JNS.2020.02.007>
33. Mohammadi, L., Khankahdani, H.H., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2021). Postharvest shelf-life extension of button mushroom (*Agaricus bisporus* L.) by *Aloe vera* gel coating enriched with basil essential oil. *Environmental Control in Biology*, 59(2), 87-98. <https://doi.org/10.2525/ecb.59.87>
34. Munhewyi, K. (2012). Postharvest losses and changes in quality of vegetables from retail to consumer: a case study of tomato, cabbage and carrot. Doctoral Dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University. University of Stellenbosch. South Africa. 144 pp.
35. Nadernejad, N., Ahmadimoghdam, A., Hossyinfard, J., & Poorseyedi, S. (2013). Effect of different rootstocks on PAL activity and phenolic compounds in flowers, leaves, hulls and kernels of three pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Trees*, 27, 1681-1689.
36. Nair, M.S., Saxena, A., & Kaur, C. (2018). Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 240, 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.122>
37. Nasser, M., Golmohammadzadeh, S., Arouiee, H., Jaafari, M.R., & Neamati, H. (2016). Antifungal activity of *Zataria multiflora* essential oil-loaded solid lipid nanoparticles in-vitro condition. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 19(11), 1231-1237.
38. Nirupama, Pila, N.P., Gol, N.B., & Rao, T.R. (2010). Effect of post harvest treatments on physicochemical characteristics and shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits during storage. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9(5), 470-479.
39. Oliveira de, K.Á.R., da Conceição, M.L., de Oliveira, S.P.A., Lima M.D.S., de Sousa Galvão, M., Madruga, M.S., Magnani, M., & de Souza, E.L. (2020). Postharvest quality improvements in mango cultivar Tommy Atkins by

- chitosan coating with *Mentha piperita* L. essential oil. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 95(2), 260-272.
40. Ortiz, C.M., Mauri, A.N., & Vicente, A.R. (2013). Use of soy protein based 1-methylcyclopropene-releasing pads to extend the shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.004>
41. Park, M.H., Sangwanangkul, P., & Baek, D.R. (2018). Changes in carotenoid and chlorophyll content of black tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) during storage at various temperatures. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(1), 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.10.002>
42. Passos Braga dos, S., Magnani, M., Madruga, M.S., de Souza Galvão, M., de Medeiros, L.L., Batista A.U.D., Dias, R.T.A., Fernandes, L.R., de Medeiros, E.S., & de Souza E.L. (2020). Characterization of edible coatings formulated with chitosan and *Mentha* essential oils and their use to preserve papaya (*Carica papaya* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65, 102472. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102472>
43. Peralta-Ruiz, Y., Tovar, C.D.G., Sinning-Mangonez, A., Coronell, E.A., Marino, M.F., & Chaves-Lopez, C. (2020). Reduction of postharvest quality loss and microbiological decay of tomato "Chonto" (*Solanum lycopersicum* L.) using chitosan-e essential oil-based edible coatings under low-temperature storage. *Polymers*, 12(8), 1822-1842. <https://doi.org/10.3390/polym12081822>
44. Pérez-Soto, E., Badillo-Solis, K.I., Cenobio-Galindo, A.D.J., Ocampo-López, J., Ludeña-Urquiza, F.E., Reyes-Munguía, A., Pérez-Rios, S.R., & Campos-Montiel, R. (2021). Coating of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) employing nanoemulsions containing the bioactive compounds of cactus acid fruits: Quality and shelf life. *Processes*, 9(12), 2173. <https://doi.org/10.3390/pr9122173>
45. Perumal, A.B., Nambiar, R.B., Sellamuthu, P.S., & Emmanuel, R.S. (2021). Use of modified atmosphere packaging combined with essential oils for prolonging post-harvest shelf life of mango (cv. Banganapalli and cv. Totapuri). *LWT - Food Science and Technology*, 148, 111662. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111662>
46. Popova, M., Bankova, V., Butovska, D., Petkov, V., Nikolova-Damyanova, B., Sabatini, A. G., Marcazzan, G.L., & Bogdanov, S. (2004). Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 15(4), 235-240. <https://doi.org/10.1002/pca.777>
47. Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F.J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J.P., & Lutts, S. (2019). Tomato fruit development and metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
48. Rolle, L., Torchio, F., Giacosa, S., & Segade, S.R. (2015). Berry density and size as factors related to the physicochemical characteristics of Muscat Hamburg table grapes (*Vitis vinifera* L.). *Food Chemistry*, 173, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.033>
49. Shahkoomahally, S., & Ramezani, A. (2015). Changes in physico-chemical properties related to quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) during cold storage. *International Journal of Fruit Science*, 15(2), 187-197. <https://doi.org/10.1080/15538362.2015.1017423>
50. Sharma, P., Shehin, V.P., Kaur, N., & Vyas, P. (2019). Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: A review. *International Journal of Vegetable Science*, 25(3), 295-314. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863>
51. Srinivasa, P., Baskaran, R., Ramesh, M., Harish Prashanth, K., & Tharanathan, R. (2002). Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan film. *European Food Research and Technology*, 215, 504-508. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0591-1>
52. Svetlichny, G., Kulkamp-Guerreiro, I., Cunha, S., Silva, F., Bueno, K., Pohlmann, A., Fuentesfria, A.M., & Guterres, S. (2015). Solid lipid nanoparticles containing copaiba oil and allantoin: development and role of nanoencapsulation on the antifungal activity. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 70(3), 155-164.
53. Taheri, A., Behnamian, M., Dezhsetan, S., & Karimirad, R. (2020). Shelf life extension of bell pepper by application of chitosan nanoparticles containing *Heracleum persicum* fruit essential oil. *Postharvest Biology and Technology*, 170, 111313. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111313>
54. Tigist, M., Workneh, T.S., & Woldetsadik, K. (2013). Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 50, 477-486. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0378-0>
55. Vakili-Ghartavol, M., Arouiee, H., Golmohammadzadeh, S., & Naseri, M. (2022). Antifungal activity of *Mentha × Piperita* L. essential oil. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 21(1), 143-152. <https://doi.org/10.24326/asphc.2022.1.12>

56. Vakili-Ghartavol, M., Arouiee, H., Golmohammadzadeh, S., Naseri, M., & Bandian, L. (2024a). Edible coatings based on solid lipid nanoparticles containing essential oil to improve antimicrobial activity, shelf-life, and quality of strawberries. *Journal of Stored Products Research*, 106, 102262. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102262>
57. Vakili-Ghartavol, M., Arouiee, H., Golmohammadzadeh, S., Naseri, M., & Bandian, L. (2024b). Influence of encapsulated peppermint essential oil on postharvest quality of *Solanum lycopersicum* cv. Santiago F1. *International Journal of Vegetable Science*, 30(3), 311-333. <https://doi.org/10.1080/19315260.2024.2369857>
58. Vakili-Ghartavol, M., Arouiee, H., Golmohammadzadeh, S., & Naseri, M. (2024c). Improving antifungal effect of peppermint essential oil. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 23(2), 29-42. <https://doi.org/10.24326/asphc.2024.5334>
59. Vats, S., Bansal, R., Rana, N., Kumawat, S., Bhatt, V., Jadhav, P., Kale, V., Sathe, A., Sonah, H., Jugdaohsingh, R., Sharma, T.R., & Jugdaohsingh, R. (2022). Unexplored nutritive potential of tomato to combat global malnutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(4), 1003-1034. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1832954>
60. Veloso, R.A., Pereira, T., Ferreira, D.S., Debona, D., Wagner, R., & Aguiar, D.S. (2018). Enzymatic activity in essential oil-treated and pathogen-inoculated corn plants. *Journal of Agricultural Science*, 10(10), 171-177. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p171>
61. Wang, J., Fang, X.M., Mujumdar, A., Qian, J.Y., Zhang, Q., Yang, X.H., Liu, Y.H., Gao, Z.J., & Xiao, H.W. (2017). Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 220, 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.123>
62. Wang, S.Y., & Chen, C.T. (2010). Effect of allyl isothiocyanate on antioxidant enzyme activities, flavonoids and post-harvest fruit quality of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L., cv. Duke). *Food Chemistry*, 122(4), 1153-1158. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.106>
63. Wang, K., Kang, S., Li, F., Wang, X., Xiao, Y., Wang, J., & Xu, H. (2022). Relationship between fruit density and physicochemical properties and bioactive composition of mulberry at harvest. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, 104322. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104322>
64. Wani, S.M., Gull, A., Ahad, T., Malik, A., Ganaie, T.A., Masoodi, F.A., & Gani, A. (2021). Effect of gum Arabic, xanthan and carrageenan coatings containing antimicrobial agent on postharvest quality of strawberry: Assessing the physicochemical, enzyme activity and bioactive properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 2100-2108. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.008>
65. Wójtowicz, A., Zalewska-Korona, M., Jablonska-Rys, E., Skalicka-Wozniak, K., & Oniszczuk, A. (2018). Chemical characteristics and physical properties of functional snacks enriched with powdered tomato. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(3), 251-261.
66. Yan, J., Zhang, J., Hu, C., Deng, L., & Ritenour, M.A. (2020). Use of carvacrol and thymol in shellac coating to control stem-end rot on 'Ruby Red' grapefruit and maintain fruit quality during simulated storage and marketing. *Scientia Horticulturae*, 272, 109606. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109606>
67. Yuan, W., Teo, C.H.M., & Yuk, H.G. (2019). Combined antibacterial activities of essential oil compounds against *Escherichia coli* O157: H7 and their application potential on fresh-cut lettuce. *Food Control*, 96, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.005>
68. Zambrano-Zaragoza, M., Mercado-Silva, E., Ramirez-Zamorano, P., Cornejo-Villegas, M., Gutiérrez-Cortez, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2013). Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. *Food Research International*, 51(2), 946-953. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.012>
69. Zhao, D., Shen, L., Fan, B., Liu, K., Yu, M., Zheng, Y., Ding, Y., & Sheng, J. (2009). Physiological and genetic properties of tomato fruits from 2 cultivars differing in chilling tolerance at cold storage. *Journal of Food Science*, 74(5), 348-352. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01156.x>



## Response of Yield and Yield Components of Table Grape cv. Yaghooti (*Vitis vinifera* L.) to Deficit Irrigation at Different Growth Stages

M. Fazeli Rostampour<sup>id 1\*</sup>

1- Horticultural Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

(\*- Corresponding author's Email: [M.fazeli@areeo.ac.ir](mailto:M.fazeli@areeo.ac.ir))

Received: 11 October 2024

Revised: 26 January 2025

Accepted: 15 February 2025

Available Online: 15 February 2025

### How to cite this article:

Fazeli Rostampour, M. (2025). Response of yield and yield components of table grape cv. Yaghooti (*Vitis vinifera* L.) to deficit irrigation at different growth stages. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 441-454. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90206.1382>

### Introduction

Yaghooti grape is the oldest grape variety in Iran and is the most important horticultural product in the Sistan region, which is cultivated in more than 90% of the vineyards of this region. The issue of water scarcity in Sistan has become a serious threat to grape production in recent years, forcing local grape growers to manage this problem by reducing the volume and frequency of irrigation. Proper irrigation management, which involves determining the optimal timing and the required amount of irrigation for grapevines, is of particular importance. Therefore, the purpose of this research is to investigate the physiological response of Yaghooti grapes to lack of water in different stages of growth in order to achieve the highest yield and also increase the production and income of gardeners in Sistan region.

### Materials and Methods

This experiment was conducted as strip-split plot design based on randomized complete block design with three replications at the Zahak Research Station from 2019 to 2023. The experimental treatments included an irrigation regime of control (full irrigation), irrigation after 35% soil moisture deficiency, and irrigation after 70% soil moisture deficiency. These treatments were applied to horizontal plots and while the irrigation stages including from bud burst to flowering, from flowering to fruit color change, from berry color variation to harvest, and from harvest to leaf fall, were assigned to vertical plots. The traits including the relative leaf water content, leaf area, proline, soluble sugars, relative permeability of leaf cell membrane, canopy temperature and chlorophyll index were measured one week before flowering, cluster color change, fruit harvest and leaf color change. The row spacing was three meters, and the vine spacing within rows was two meters. Irrigation scheduling was determined based on the treatments using a TDR moisture meter. After full maturity (uniform ruby color of the cluster with a Brix above 17), the trait of cluster length was measured using a ruler and the cluster width and berry diameter were measured using a caliper. The traits of cluster number and number of berries per cluster were counted and cluster axis weight (average weight of three cluster axes per plant), fresh berry weight (average weight of 10 berries per cluster), cluster weight (average weight of four clusters per plant) and yield (average yield of three plants per plot) were measured using an OHAUS digital scale with an accuracy of 0.01 g (Gatti *et al.*, 2012). For statistical analysis, after ensuring the normality of the data, analysis of variance was performed using SAS software version 9.4 and using the GLM procedure. Composite variance analysis related to the three years was performed when the Bartlett test confirmed the homogeneity of variances.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90206.1382>

## Results and Discussion

Deficit irrigation resulted in a reduction in cluster rachis weight, cluster length, cluster width, number of berries per cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, number of clusters per vine, and fruit yield, along with an increased rate of yield reduction. Reducing the water availability for grapevines led to a decrease in the traits affecting fruit yield. This reduction varied for each trait depending on the specific stage of deficit irrigation. For all traits, deficit irrigation applied during the flowering to veraison stage was the most sensitive to irrigation reduction. The highest (6500 kg) and lowest (1111 kg) fruit yields were obtained under full irrigation and irrigation after 70% depletion of available water during the flowering to veraison stage, respectively. The highest fruit yield under deficit irrigation was observed during the fruit harvest to leaf fall stage. Across all deficit irrigation regimes, the lowest fruit yield was associated with the flowering to veraison stage. Irrigation after 35% depletion of available water during the stages of bud break to flowering, flowering to veraison, veraison to fruit harvest, and fruit harvest to leaf fall resulted in yield reductions of 32.8%, 43.2%, 8.8%, and 5.6%, respectively, compared to full irrigation at the corresponding stages. Irrigation after 70% depletion of available water during the same stages caused yield reductions of 73.7%, 82.8%, 36%, and 24.5%, respectively, compared to full irrigation (Table 3). Although the effect of year on fruit yield was not significant, there was a reduction of 7.3% and 12% in the second and third years compared to the first year, respectively (Table 4). A multiple linear regression analysis was performed for the fruit yield of Yaghooti grape. The traits influencing the predictive equation for yield (Yield) included cluster length (CL), cluster width (CWi), cluster weight (CWe), and the number of clusters per vine (C/V), as shown in Model 1.

$$\text{Model 1) Yield} = 3481 + 126 \text{ CL} - 68 \text{ CWi} + 14 \text{ CWe} + 185 \text{ C/V}$$

The highest (82.7%) and lowest (4.8%) fruit yield reduction rates were observed under irrigation after 35% depletion of available water during the flowering to veraison stage and irrigation after 70% depletion of available water during the fruit harvest to leaf fall stage, respectively. The highest rate of fruit yield reduction occurred when deficit irrigation was applied during the flowering to veraison stage. Conversely, the lowest rate of fruit yield reduction was observed when deficit irrigation was applied during the fruit harvest to leaf fall stage.

## Discussion

The results showed that fruit yield responded differently to deficit irrigation. Deficit irrigation during the bud break to flowering and flowering to veraison stages had the greatest impact on reducing fruit yield, with the effect being more pronounced during the flowering to veraison stage. However, the impact of deficit irrigation during the veraison to fruit harvest and fruit harvest to leaf fall stages on yield was less compared to the bud break to flowering and flowering to veraison stages. The lowest fruit yield and the highest rate of yield reduction were observed under irrigation after 70% depletion of available water during the flowering to veraison stage, amounting to 1111 kg.ha<sup>-1</sup> and a yield reduction rate of 82.7%, respectively. The results showed that irrigation after 35% soil moisture deficiency during the stages of bud burst to flowering, from flowering to fruit color change, from berry color variation to harvest and from harvest to leaf fall reduced fruit yield by 27.9, 38, 7.1, and 4.1 percent compared to full irrigation in the corresponding stages, respectively. In general, by reducing the irrigation rate in the stages from berry color variation to harvest by 35% soil moisture deficiency, water consumption can be saved and yield is not significantly reduced.

**Keywords:** Cluster length, Cluster/vine, Cluster weight, Cluster width

## پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد انگور رقم 'یاقوتی' (*Vitis vinifera* L.) در مراحل رشد به کم آبیاری

منصور فاضلی رستم پور<sup>۱\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

### چکیده

تنش کم آبی یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد کمی و کیفی انگور در منطقه سیستان است که سالانه منجر به از بین رفتن حداقل بیش از نیمی از محصول می‌شود. با هدف افزایش بهره‌وری منابع آب در تاکستان‌های سیستان، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده نواری در ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان زهک طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری شاهد (آبیاری کامل)، آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده تاک به کرت‌های افقی و مرحله آبیاری شامل مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ به کرت‌های عمودی اختصاص یافت. کم آبیاری باعث کاهش صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد جبه در خوشه، قطر جبه، وزن جبه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک، عملکرد میوه و افزایش نرخ کاهش عملکرد میوه گردید. آنالیز رگرسیون چندگانه خطی نشان داد که صفات اثرگذار بر عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی' شامل طول خوشه، عرض خوشه، وزن خوشه و تعداد خوشه در تاک بود. کم‌ترین عملکرد میوه و همچنین افزایش نرخ کاهش عملکرد در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه مشاهده شد که به ترتیب به میزان ۱۱۱۱ کیلوگرم در هکتار و ۸۲/۷ بود. نتایج نشان داد که آبیاری پس از ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک در مراحل تورم جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ جبه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش میزان عملکرد میوه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۷/۹، ۳۸، ۷/۱ و ۴/۱ درصد گردید. به طور کلی، با کاهش میزان آبیاری در مراحل تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه به میزان ۳۵ درصد کمبود رطوبت خاک، می‌توان باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و عدم کاهش معنی‌دار عملکرد گردید.

**واژه‌های کلیدی:** تعداد خوشه در تاک، طول خوشه، عرض خوشه، وزن خوشه

### مقدمه

انگور رقم 'یاقوتی' یکی از مهم‌ترین ارقام انگور کشور است که بیش از ۹۰ درصد تاکستان‌های منطقه سیستان را به خود اختصاص داده است و به دلیل زودرسی و نوبرانه بودن آن، ارزش اقتصادی بالایی برای باغداران این منطقه دارد (Fazeli Rostampour & Mahmoudzadeh, 2023). این رقم علاوه بر توسعه کاشت در مناطق سردسیر و معتدل، در مناطق گرم و نیمه‌گرم نیز کاشته می‌شود و تنش کم آبی، شدت تشعشع بالا، تنش گرمایی و طوفان‌های شن منطقه سیستان را تحمل نموده و به دلیل نوبرانه بودن، محصول

اقتصادی مناسبی نصیب باغداران این منطقه می‌نماید (Shahrokhnya & Karami, 2016; Fazeli Rostampour, 2020).

آب عنصری حیاتی است که کمبود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گسترش کشت در اراضی مستعد را با محدودیت مواجه ساخته و محدودیت منابع آبی کشور ضرورت صرفه‌جویی در مصرف آن را روشن می‌سازد (Zokaee Khosroshahi & Parvizi, 2024). تنش کمبود آب نه تنها در ایران، حتی در کشورهای نسبتاً سردتر و مرطوب‌تر اروپایی مانند فرانسه، آلمان، ایتالیا، پرتغال و اسپانیا به یک مشکل تبدیل شده است (Santos et al., 2020). افزایش درجه حرارت در دهه‌های گذشته، همراه با رویدادهای آب‌وهوایی شدیدتر باعث افزایش تبخیر و تعرق گیاه و خاک شده و به طور فزاینده منجر به منفی شدن بیلان آب خاک شده است (Fraga et al., 2020).

۱- بخش باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، زاهدان، ایران

(\*)- نویسنده مسئول: (Email: M.fazeli@areeo.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90206.1382>



آب ضروری‌ترین نهاده کشاورزی و دلیل تمام مشکلات اساسی و پایه‌ای منطقه سیستان است. دشت سیستان به مساحت ۲۰۳ هزار هکتار اراضی قابل کشت در بخش سفالی حوضه آبریز هیرمند قرار دارد. مهم‌ترین منبع تأمین آب در این حوضه، رودخانه هیرمند به طول ۱۰۵۰ کیلومتر است که برای کشاورزی، حفظ محیط زیست و شرب استفاده می‌شود. در سال‌های گذشته، کشور افغانستان با احداث سدهای مخزنی و انحراف مسیر آب، آورده این رودخانه به منطقه سیستان را کاهش داده و به دنبال آن مساحت دریاچه هامون، حجم آب در چاه نیمه‌ها به شدت کم شده که این پدیده منجر به بیکاری، مهاجرت، مشکلات زیست‌محیطی و کاهش سطح زیر کشت تک محصول باغی منطقه سیستان یعنی انگور و همچنین کاهش عملکرد در واحد سطح شده است. به همین دلیل، طرح ۴۶ هزار هکتاری پروژه انتقال آب سیستان اجرا گردید تا با تأمین آب مطمئن برای کشاورزان و باغداران این منطقه باعث اشتغال پایدار و افزایش درآمد گردد. اما ناپایداری آب در دسترس کشاورزان و باغداران این منطقه هنوز به قوت خود باقی است. در چنین شرایطی، وجود اطلاعات کامل از واکنش رقم 'یاقوتی' به شرایط اقلیمی و مدیریت بهینه آب ضروری به نظر می‌رسد، چرا که تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد کمی و کیفی انگور در منطقه سیستان است که سالانه منجر به از بین رفتن حداقل بیش از نیمی از محصول می‌شود. کاربرد مدیریت صحیح و به‌کارگیری فنون کم‌آبایی، از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب می‌باشد (Sun et al., 2023). کم‌آبایی به‌طور آگاهانه و با هدف آبیاری کمتر از نیاز تاک اعمال می‌گردد (Alatzas et al., 2023)، به‌طوری‌که میزان کاهش محصول نسبت به شاهد معنی‌دار نباشد (Tong et al., 2021). بنابراین آبیاری تاکستان انگور بر این اساس و با در نظر گرفتن مراحل فنولوژیکی، از جمله راهکارهای مهم مدیریتی تاکستان‌های انگور است (Zokaee Khosroshahi & Parvizi, 2024). بررسی‌ها نشان می‌دهد که آبیاری نامتناسب در مراحل مختلف رشد انگور، علاوه‌بر اینکه باعث عدم استفاده اثربخش از منابع آب می‌گردد، کاهش کمیت و کیفیت محصول انگور را نیز به دنبال دارد. کمبود آب همراه با درجه حرارت بالا در طول دوره رسیدن خوشه انگور رقم 'یاقوتی'، یک عامل محدودکننده اصلی برای تاکستان است (Chacon-Vozmediano et al., 2020). به‌طور کلی تخمین زده می‌شود که انگور برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک به ۲۸۰ تا ۵۰۰ لیتر آب نیاز دارد و اگر یک تاکستان بین ۱۳۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ماده تر تولید کند، به عبارتی بین ۳۰۰۰ تا ۹۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ماده خشک تولید نموده است. از این مقدار ماده خشک، ۲۰-۱۵

درصد به برگ‌ها، ۲۰-۱۵ درصد به شاخه‌ها، ۱۰-۵ درصد به تنه و ۳۵-۵۰ درصد به خوشه اختصاص می‌یابد (Chacon-Vozmediano et al., 2020).

تنش خشکی باعث کندی رشد، تأخیر در رسیدگی میوه، کاهش کیفیت میوه، به هم خوردن تناسب تعداد برگ و میوه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (Du et al., 2008). در پژوهشی، اثر مقادیر آبیاری در مراحل مختلف فنولوژیکی روی صفات کمی و کیفی انگور رقم 'پیکانی' بررسی گردید. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد میوه در تیمار آبیاری با فواصل منظم ۲۰ روز از زمان قبل از گل‌دهی تا پس از برداشت و کمترین عملکرد میوه در شرایط تنش آبی قبل و بعد از گل‌دهی بود (Zabihi & Azarpajouh, 2004). تنش‌های شدید کمبود آب می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد انگور شود (Van Leeuwen et al., 2004).

اثر تنش خشکی بر شش رقم انگور نشان داد که بیشترین عملکرد میوه در تیمار آبیاری کامل و بیشترین وزن خوشه در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده گردید (Doulati Baneh & Nourjou, 2012). گزارش شده است که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، وزن حبه، وزن خوشه و عملکرد میوه انگور در دو سال آزمایش کاهش یافت و این کاهش برای عملکرد میوه انگور نسبت به شاهد در سال اول و دوم به‌ترتیب ۴۲ و ۶۱ درصد بود (Chacon-Vozmediano et al., 2020). نتایج تحقیقات دیگری نشان داد که اعمال کم‌آبایی بعد از تشکیل میوه و بعد از تغییر رنگ حبه‌ها در انگور رقم 'تمپرانیلو'<sup>۱</sup> اگرچه باعث کاهش تعداد خوشه شد، اما تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (Santesteban et al., 2011). نتایج یک تحقیق نشان داد که آبیاری هفتگی براساس ۳۵ درصد تبخیر و تعرق انگور باعث کاهش قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه و عملکرد به‌ترتیب به‌میزان ۲۱، ۴۰، ۲۸ و ۳۸ درصد نسبت به شاهد گردید (Shellie, 2006). نتایج پژوهشی روی رقم 'کابرینت ساویگنون'<sup>۲</sup> نشان داد که کم‌آبایی باعث کاهش معنی‌دار وزن حبه و خوشه به‌ترتیب به‌میزان ۱۰ و ۱۹ درصد نسبت به شاهد گردید (Edwards & Clingeffer, 2013). همچنین گزارش شد که کمبود آب قبل از تغییر رنگ خوشه اثرات منفی قوی بر توسعه سطح برگ، رشد حبه و خوشه، وزن حبه و عملکرد میوه انگور دارد (Gambetta et al., 2012). مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، یک دوره حیاتی برای عملکرد انگور است که بیشترین پاسخ منفی را به تنش آبی نشان داده (Chacon-Vozmediano et al., 2020) و بیشترین نرخ کاهش وزن خوشه در همین مرحله رخ می‌دهد (Yang et al., 2022).

1- Tempranillo

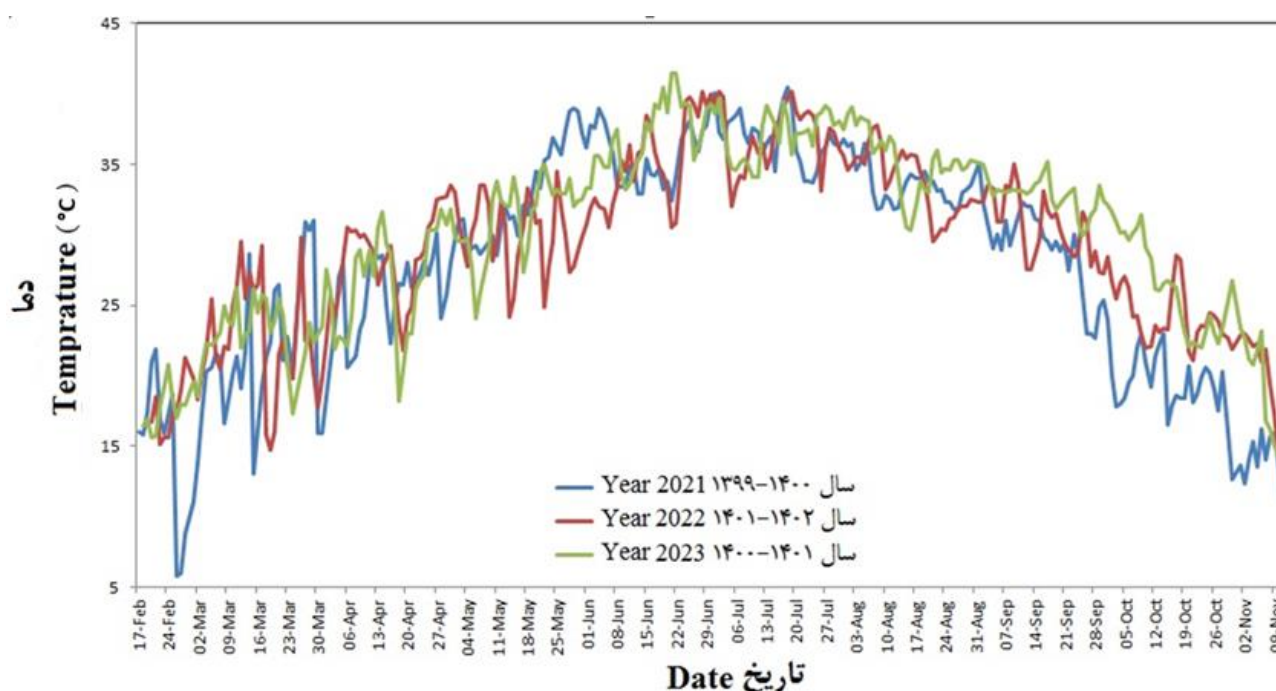
2- Cabernet Sauvignon

از سطح دریا طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انجام شد. شهرستان زهک دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد که براساس طبقه‌بندی کوپن، جزء آب‌وهوای بیابانی خشک بسیار گرم است (Karimi et al., 2013). آمار ایستگاه سینوپتیک شهرستان زهک بیانگر آن است که گرم‌ترین ماه‌های سال، خردادماه و تیرماه با بیشینه دمای ۴۷/۴ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی ۵۷ میلی‌متر و بیشترین سرعت باد در مردادماه با ۵۹/۸۵ کیلومتر بر ساعت می‌باشد (Danesh Shahraki et al., 2017). حداکثر درجه حرارت روزانه طی مراحل شکفتن جوانه تا ریزش برگ طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین آزمون خاک به شرح جدول ۱ بود. کود پایه در همه تیمارها براساس آزمایش خاک و به‌روش چالکود (حفر دو چاله به قطر ۳۰ و عمق ۴۰ سانتی‌متر در قسمت انتهایی سایه‌انداز درخت و در مسیر عبور آب و کاربرد سه کیلوگرم کود حیوانی پوسیده، ۱۰۰ گرم آمونیوم سولفات، ۲۵۰ گرم پتاسیم سولفات، ۵۰ گرم سوپر فسفات تریپل، ۱۵ گرم مس سولفات، ۱۰۰ گرم منیزیم سولفات به‌ازای هر تاک) داده شد. مهار آفات و علف‌های هرز براساس عرف منطقه انجام گردید.

محدودیت‌های آبی منطقه سیستان و بارش‌های ناچیز در کنار گرمای شدید و تبخیر و تعرق بالا، باعث شده که سطح زیر کشت تاکستان‌ها طی سال‌های گذشته به‌شدت کاهش یابد. مساحت تاکستان‌های بارور منطقه سیستان در حال حاضر حدود ۱۱۰۰ هکتار است که از سال ۱۳۹۷ تاکنون به‌دلیل خشکسالی حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است. ضمن آنکه همان مقدار آب در دسترس نیز با کارآیی بالا استفاده نمی‌شود. بنابراین یکی از مهم‌ترین اهدافی که باید دنبال نمود، افزایش بهره‌وری منابع به‌ویژه آب با استفاده از روش‌ها و فنون مدیریتی است. با این هدف، پژوهشی جهت بررسی رفتار صفات عملکردی انگور رقم 'یاقوتی' در شرایط کم‌آبایی در مراحل مختلف رشد اجرا شد تا ضمن دستیابی به عملکرد بیشتر، استفاده بهینه از آب را به دنبال داشته باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان زهک با عرض جغرافیایی ۳۸° ۵۳' ۳۰" درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹° ۴۰' ۶۱" درجه شرقی و ارتفاع ۴۹۵ متر



شکل ۱- حداکثر درجه حرارت روزانه طی مراحل شکفتن جوانه تا ریزش برگ طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲  
Figure 1 – Maximum daily temperature during the stages from bud burst to leaf fall over the years 2020 to 2023

افقی و مرحله آبیاری شامل ۱- مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی ۲- گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه ۳- تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و ۴- مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ به کرت‌های عمودی اختصاص یافت. این پژوهش در ایستگاه تحقیقات زهک روی تاک‌های ۱۵ ساله

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری شاهد (آبیاری کامل)، آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده تاک به کرت‌های

میزان آب آبیاری با استفاده از معادله ۱ محاسبه و از طریق کنترل حجمی برای هر یک از تیمارها اعمال گردید (Molavi et al., 2012).

انگور رقم 'یاقوتی' انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها سه متر و فاصله روی ردیف‌ها دو متر بود. تاک‌ها به شکل خزنده و کوتاه تربیت شده بودند. آبیاری با توجه به تیمارها، با استفاده از روش نقصان رطوبتی خاک به طریق وزنی تعیین شد (Myburgh, 2003). در این روش،

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تاکستان محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the soil

| عمق<br>Depth<br>(cm) | بافت<br>Texture                | هدایت الکتریکی<br>EC<br>(dS.cm <sup>-3</sup> ) | اسیدیته<br>pH | کربن آلی<br>Organic C<br>(%) | نیترژن<br>Total N<br>(%) | فسفر<br>P | پتاسیم<br>K | روی<br>Zn | آهن<br>Fe |
|----------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|---------------|------------------------------|--------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| 0-30                 | لوم-شنی<br>Sandy-loam          | 3.17                                           | 7.74          | 0.25                         | 0.07                     | 6.4       | 120         | 0.78      | 3.5       |
| 30-60                | لوم-رسی-شنی<br>Sandy-clay-loam | 3.65                                           | 7.87          | 0.26                         | 0.05                     | 6.2       | 115         | 0.56      | 3.2       |

مربوط به سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار نگرفت. مقایسه‌های میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. تجزیه رگرسیون چندگانه خطی براساس مدل زیر (معادله ۳) و با هدف بررسی میزان اثرگذاری صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه و تعداد خوشه در تاک بر عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی' صورت گرفت.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_kx_k + e \quad (3)$$

که در آن،  $y$ : متغیر وابسته،  $b$ : متغیرهای مستقل از ۱ تا  $k$  و  $e$ : خطا یا باقی‌مانده است.

## نتایج

**وزن محور خوشه:** اثر رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر وزن محور خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۷/۵۰ گرم) و کم‌ترین (۳/۵۴ گرم) وزن محور خوشه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود که باعث کاهش ۵۲/۸ درصدی وزن محور خوشه گردید. بیش‌ترین وزن محور خوشه در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. همچنین کم‌ترین وزن محور خوشه در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن محور خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۷، ۳۴، ۱۵ و ۹ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی،

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_{v0}) pb \times D / 100 \quad (1)$$

که در آن، SMD: کمبود رطوبت خاک (میلی‌متر)،  $\theta_{FC}$ :

رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)،  $\theta_{v0}$ : رطوبت حجمی خاک یک روز قبل از آبیاری (درصد)،  $bp$ : وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و  $D$ : عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) است. راندمان آبیاری برای جویچه‌ها ۵۰ درصد و عمق توسعه ریشه برای انگور یک متر در نظر گرفته شد.

پس از رسیدگی کامل (رنگ یاقوتی یکنواخت خوشه همراه با بریکس بالای ۱۷)، صفت طول خوشه با استفاده از خط‌کش و عرض خوشه و قطر حبه توسط کولیس اندازه‌گیری گردید. صفات تعداد خوشه و تعداد حبه در خوشه شمارش شده و وزن محور خوشه (میانگین وزن سه محور خوشه در هر بوته)، وزن تازه حبه‌ها (میانگین وزن ۱۰ حبه در هر خوشه)، وزن خوشه‌ها (میانگین وزن چهار خوشه از هر بوته) و عملکرد (میانگین عملکرد سه بوته در هر کرت) به وسیله ترازوی دیجیتالی OHAUS با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (Gatti et al., 2012). نرخ کاهش عملکرد با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$(2)$$

$$100 \times (\text{عملکرد شاهد} / \text{عملکرد تنش} - 1) = \text{نرخ کاهش عملکرد}$$

جهت واکاوی آماری، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و با استفاده از رویه GLM انجام شد. تجزیه واریانس مرکب مربوط به سه سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰، ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ وقتی انجام شد که آزمون بارتلت، همگنی واریانس‌ها را تأیید نمود. با توجه به اینکه اثر تیمار رژیم آبیاری در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بر برخی صفات مانند عملکرد، در سال بعد مشخص می‌شود، بنابراین نتایج

گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش وزن محور خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به‌میزان ۴۶، ۵۲، ۲۹ و ۲۶ درصد گردید (جدول ۳).

**طول خوشه:** اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر طول خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۱۸/۶۳ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۹/۳۳ سانتی‌متر) طول خوشه به‌ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین طول خوشه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله شکفتن جوانه تا گل‌دهی بود. همچنین

کم‌ترین طول خوشه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش طول خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به‌میزان ۱۹، ۲۳، ۱۱ و ۷ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به‌ترتیب باعث کاهش طول خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به‌میزان ۴۳، ۵۰، ۲۳ و ۱۷ درصد گردید (جدول ۳). طول خوشه در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به‌ترتیب ۴ و ۷/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک و عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی' تحت تاثیر کم آبیاری در مراحل مختلف رشدی

Table 2- ANOVA for the cluster axes weight, cluster length, cluster width, berry number in cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, cluster number per vine, fruit yield and yield lose rate of grapevine cv. Yaghooti affected by deficit irrigation in different growth stages

| منابع تغییرات<br>S.O.V        | درجه آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean squares       |                            |                           |                                            |                           |                         |                            |                                           | عملکرد میوه<br>Fruit yield |
|-------------------------------|------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|
|                               |                  | وزن محور خوشه<br>Cluster axes weight | طول خوشه<br>Cluster length | عرض خوشه<br>Cluster width | تعداد حبه در خوشه<br>Berry No. per cluster | قطر حبه<br>Berry diameter | وزن حبه<br>Berry weight | وزن خوشه<br>Cluster weight | تعداد خوشه در تاک<br>Cluster No. per vine |                            |
| سال<br>Year (Y)               | 2                | 0.41 <sup>ns</sup>                   | 13.26 <sup>**</sup>        | 80.51 <sup>**</sup>       | 29078 <sup>*</sup>                         | 0.61 <sup>ns</sup>        | 0.005 <sup>ns</sup>     | 18785 <sup>*</sup>         | 13.78 <sup>ns</sup>                       | 3481955 <sup>ns</sup>      |
| سال×تکرار<br>Y×R              | 6                | 1.49                                 | 0.78                       | 2.37                      | 5162                                       | 2.62                      | 0.03                    | 3212                       | 20.547                                    | 1453066                    |
| آبیاری<br>Irrigation (I)      | 2                | 72.72 <sup>**</sup>                  | 340.59 <sup>**</sup>       | 46.41 <sup>**</sup>       | 143215 <sup>**</sup>                       | 23.98 <sup>**</sup>       | 0.24 <sup>**</sup>      | 156968 <sup>**</sup>       | 250.65 <sup>**</sup>                      | 112454340 <sup>**</sup>    |
| Y×I                           | 4                | 0.41 <sup>ns</sup>                   | 2.11 <sup>ns</sup>         | 0.91 <sup>ns</sup>        | 10887 <sup>ns</sup>                        | 0.57 <sup>ns</sup>        | 0.03 <sup>ns</sup>      | 3551 <sup>ns</sup>         | 45.97 <sup>*</sup>                        | 2849726 <sup>ns</sup>      |
| Y×I(r)                        | 12               | 0.65                                 | 1.81                       | 1.00                      | 3807                                       | 1.50                      | 0.02                    | 1137                       | 12.72                                     | 956465                     |
| مرحله<br>Stage (S)            | 3                | 10.67 <sup>**</sup>                  | 57.58 <sup>**</sup>        | 11.58 <sup>**</sup>       | 38677 <sup>**</sup>                        | 3.13 <sup>**</sup>        | 0.05 <sup>**</sup>      | 45790 <sup>**</sup>        | 73.74 <sup>**</sup>                       | 27619913 <sup>**</sup>     |
| Y×S                           | 6                | 0.75 <sup>ns</sup>                   | 1.06 <sup>ns</sup>         | 1.17 <sup>ns</sup>        | 2458 <sup>**</sup>                         | 0.05 <sup>ns</sup>        | 0.004 <sup>ns</sup>     | 796 <sup>ns</sup>          | 21.64 <sup>*</sup>                        | 673774 <sup>ns</sup>       |
| Y×S(r)                        | 18               | 0.30                                 | 1.43                       | 0.59                      | 860                                        | 0.25                      | 0.003                   | 179                        | 8.91                                      | 270314                     |
| I×S                           | 6                | 2.46 <sup>**</sup>                   | 19.56 <sup>**</sup>        | 2.90 <sup>**</sup>        | 9550 <sup>**</sup>                         | 0.81 <sup>**</sup>        | 0.01 <sup>**</sup>      | 15160 <sup>**</sup>        | 26.80 <sup>*</sup>                        | 7875704 <sup>**</sup>      |
| Y×I×S                         | 12               | 0.71 <sup>ns</sup>                   | 0.65 <sup>ns</sup>         | 2.04 <sup>**</sup>        | 682 <sup>ns</sup>                          | 0.10 <sup>ns</sup>        | 0.002 <sup>ns</sup>     | 650 <sup>ns</sup>          | 11.28 <sup>ns</sup>                       | 517360 <sup>ns</sup>       |
| Y×I×S(r)                      | 36               | 0.43                                 | 1.37                       | 0.66                      | 574                                        | 0.19                      | 0.003                   | 497                        | 8.29                                      | 286212                     |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)        | -                | 10.91                                | 7.49                       | 9.92                      | 9.29                                       | 5.34                      | 5.47                    | 9.49                       | 14.55                                     | 11.09                      |
| آزمون بارتلت<br>Bartlett test |                  | 0.84                                 | 0.38                       | 0.07                      | 0.09                                       | 0.29                      | 0.42                    | 0.25                       | 0.54                                      | 0.77                       |

<sup>ns</sup>، \* و \*\*: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

<sup>ns</sup>, \* and \*\*: non-significant, and significant at 0.05 and 0.01 of probability levels; respectively

جدول ۳- برهم کنش رژیم کم آبیاری × مراحل اعمال رژیم آبیاری بر صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک و عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی'

Table 3- The interaction effect of deficit irrigation regime × application stages on the cluster axes weight, cluster length, cluster width, berry number in cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, cluster per vine, fruit yield and yield lose rate of grapevine cv. Yaghootti

| رژیم آبیاری<br>Irrigation regime | مرحله<br>Stage | وزن محور خوشه<br>Cluster axes weight (g) | طول خوشه<br>Cluster length (cm) | عرض خوشه<br>Cluster width (cm) | تعداد حبه در خوشه<br>Berry No. per cluster | قطر حبه<br>Berry diameter (mm) | وزن حبه<br>Berry weight (g) | وزن خوشه<br>Cluster weight (g) | تعداد خوشه در تاک<br>Cluster No. per vine | عملکرد میوه<br>Fruit yield (kg.ha <sup>-1</sup> ) | نرخ کاهش عملکرد میوه<br>Fruit yield lose rate |
|----------------------------------|----------------|------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| I <sub>1</sub>                   | S <sub>1</sub> | 7.44 <sup>a*</sup>                       | 18.61 <sup>a</sup>              | 9.31 <sup>a</sup>              | 325.23 <sup>a</sup>                        | 8.92 <sup>a</sup>              | 1.08 <sup>a</sup>           | 295.91 <sup>a</sup>            | 22.25 <sup>a</sup>                        | 6500 <sup>a</sup>                                 | -                                             |
|                                  | S <sub>2</sub> | 7.43 <sup>a</sup>                        | 18.57 <sup>a</sup>              | 9.31 <sup>a</sup>              | 301.50 <sup>a</sup>                        | 8.89 <sup>a</sup>              | 1.07 <sup>a</sup>           | 294.75 <sup>a</sup>            | 22.16 <sup>a</sup>                        | 6467 <sup>a</sup>                                 | -                                             |
|                                  | S <sub>3</sub> | 7.49 <sup>a</sup>                        | 18.59 <sup>a</sup>              | 9.40 <sup>a</sup>              | 307.35 <sup>a</sup>                        | 8.90 <sup>a</sup>              | 1.06 <sup>a</sup>           | 295.31 <sup>a</sup>            | 22.25 <sup>a</sup>                        | 6486 <sup>a</sup>                                 | -                                             |
|                                  | S <sub>4</sub> | 7.50 <sup>a</sup>                        | 18.63 <sup>a</sup>              | 9.38 <sup>a</sup>              | 323.23 <sup>a</sup>                        | 8.93 <sup>a</sup>              | 1.07 <sup>a</sup>           | 296.07 <sup>a</sup>            | 22.26 <sup>a</sup>                        | 6492 <sup>a</sup>                                 | -                                             |
| I <sub>2</sub>                   | S <sub>1</sub> | 5.42 <sup>c</sup>                        | 15.06 <sup>c</sup>              | 7.84 <sup>bc</sup>             | 233.08 <sup>b</sup>                        | 7.89 <sup>c</sup>              | 0.93 <sup>c</sup>           | 221.71 <sup>c</sup>            | 19.05 <sup>b</sup>                        | 4371 <sup>d</sup>                                 | 32.47 <sup>d</sup>                            |
|                                  | S <sub>2</sub> | 4.93 <sup>c</sup>                        | 14.25 <sup>c</sup>              | 7.30 <sup>cd</sup>             | 224.83 <sup>b</sup>                        | 7.49 <sup>cd</sup>             | 0.88 <sup>c</sup>           | 196.88 <sup>d</sup>            | 18.60 <sup>bc</sup>                       | 3670 <sup>e</sup>                                 | 43.46 <sup>c</sup>                            |
|                                  | S <sub>3</sub> | 6.34 <sup>b</sup>                        | 16.58 <sup>b</sup>              | 8.67 <sup>ab</sup>             | 302.92 <sup>a</sup>                        | 8.38 <sup>b</sup>              | 0.99 <sup>b</sup>           | 274.49 <sup>ab</sup>           | 21.62 <sup>ab</sup>                       | 5915 <sup>b</sup>                                 | 8.86 <sup>f</sup>                             |
|                                  | S <sub>4</sub> | 6.83 <sup>ab</sup>                       | 17.36 <sup>b</sup>              | 9.03 <sup>a</sup>              | 316.51 <sup>a</sup>                        | 8.78 <sup>ab</sup>             | 1.04 <sup>ab</sup>          | 285.46 <sup>a</sup>            | 21.36 <sup>ab</sup>                       | 6127 <sup>ab</sup>                                | 4.85 <sup>f</sup>                             |
| I <sub>3</sub>                   | S <sub>1</sub> | 4.03 <sup>d</sup>                        | 10.58 <sup>d</sup>              | 6.54 <sup>d</sup>              | 141.21 <sup>c</sup>                        | 6.99 <sup>e</sup>              | 0.89 <sup>c</sup>           | 100.61 <sup>e</sup>            | 16.15 <sup>c</sup>                        | 1706 <sup>f</sup>                                 | 73.45 <sup>b</sup>                            |
|                                  | S <sub>2</sub> | 3.54 <sup>d</sup>                        | 9.33 <sup>e</sup>               | 5.23 <sup>e</sup>              | 128.28 <sup>c</sup>                        | 6.89 <sup>e</sup>              | 0.85 <sup>c</sup>           | 90.86 <sup>e</sup>             | 12.49 <sup>d</sup>                        | 1111 <sup>g</sup>                                 | 82.66 <sup>a</sup>                            |
|                                  | S <sub>3</sub> | 5.35 <sup>c</sup>                        | 14.52 <sup>c</sup>              | 8.06 <sup>bc</sup>             | 243.42 <sup>b</sup>                        | 7.31 <sup>de</sup>             | 0.93 <sup>c</sup>           | 210.66 <sup>cd</sup>           | 19.72 <sup>ab</sup>                       | 4152 <sup>de</sup>                                | 35.35 <sup>cd</sup>                           |
|                                  | S <sub>4</sub> | 5.58 <sup>c</sup>                        | 15.40 <sup>c</sup>              | 8.00 <sup>bc</sup>             | 246.17 <sup>b</sup>                        | 7.91 <sup>c</sup>              | 1.01 <sup>b</sup>           | 255.99 <sup>b</sup>            | 19.60 <sup>ab</sup>                       | 4903 <sup>c</sup>                                 | 23.56 <sup>c</sup>                            |

\* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند

\* Means composed of same letters in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ )

I<sub>1</sub>: شاهد یا تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی انگور، I<sub>2</sub>: آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب و I<sub>3</sub>: آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب

I<sub>1</sub>: Control or full irrigation, I<sub>2</sub>: Irrigation after 35% depletion of available water, and I<sub>3</sub>: Irrigation after 70% depletion of available water

S<sub>1</sub>: شکفتن جوانه تا گل‌دهی، S<sub>2</sub>: گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، S<sub>3</sub>: تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و S<sub>4</sub>: برداشت میوه تا ریزش برگ

S<sub>1</sub>: Bud break to flowering, S<sub>2</sub>: Flowering to fruit color change, S<sub>3</sub>: Fruit color change to harvest, and S<sub>4</sub>: Harvest to leaf fall

#### جدول ۴- اثر سال بر برخی صفات و عملکرد انگور رقم 'یاقوتی'

Table 4- Effect of year on some traits and yield of grapevine cv. Yaghootti

| سال<br>Year   | صفات<br>Traits                  |                                |                                            |                                |                                                     | نرخ کاهش عملکرد میوه<br>Fruit yield lose rate |
|---------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|               | طول خوشه<br>Cluster length (cm) | عرض خوشه<br>Cluster width (cm) | تعداد حبه در خوشه<br>Berry No. per cluster | وزن خوشه<br>Cluster weight (g) | عملکرد میوه<br>Fruit yield (kg.vine <sup>-1</sup> ) |                                               |
| اول<br>First  | 16.25 <sup>a*</sup>             | 9.81 <sup>a</sup>              | 280.35 <sup>a</sup>                        | 259.02 <sup>a</sup>            | 5155.6 <sup>a</sup>                                 | 26.68 <sup>b</sup>                            |
| دوم<br>Second | 15.58 <sup>b</sup>              | 7.98 <sup>b</sup>              | 267.20 <sup>ab</sup>                       | 232.06 <sup>ab</sup>           | 4780.7 <sup>a</sup>                                 | 38.809 <sup>ab</sup>                          |
| سوم<br>Third  | 15.04 <sup>c</sup>              | 6.85 <sup>c</sup>              | 225.89 <sup>b</sup>                        | 213.59 <sup>b</sup>            | 4538.3 <sup>a</sup>                                 | 48.76 <sup>a</sup>                            |

\* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشابه می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند

\* In each column means with same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ )

رنگ خوشه بود. کم‌ترین عرض خوشه در سطوح کم آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش عرض خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۵/۷، ۲۱/۵۹، ۷/۸ و ۳/۷ درصد

عرض خوشه: اثر رژیم کم آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم آبیاری، برهم کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم آبیاری و سال در کم آبیاری در مراحل اعمال رژیم کم آبیاری بر عرض خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۹/۴۰ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۵/۲۳ سانتی‌متر) عرض خوشه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر



گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش عرض خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۲۹/۸، ۴۳/۸، ۱۴/۲ و ۱۴/۷ درصد گردید (جدول ۳). عرض خوشه در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به ترتیب ۱۸/۶ و ۳۰/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

**تعداد حبه در خوشه:** اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و همچنین برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر تعداد حبه در خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۱/۰۸ گرم) و کم‌ترین (۰/۸۰ گرم) وزن حبه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین وزن حبه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. کم‌ترین وزن حبه در تمام سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن حبه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۳/۹، ۱۷/۸، ۶/۶ و ۲/۸ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن حبه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۷/۶، ۱۷/۸، ۱۲/۳ و ۵/۶ درصد گردید (جدول ۳).

**وزن خوشه:** اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر وزن خوشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۲۹۶/۰۷ گرم) و کم‌ترین (۹۰/۸۶ گرم) وزن خوشه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین وزن خوشه در سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. کم‌ترین وزن خوشه در سطوح کم‌آبیاری، مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۳۳/۲، ۲۵ و ۳/۶ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش وزن خوشه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان

۴/۷ و ۱۹/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

**قطر حبه:** اثر رژیم کم‌آبیاری، سال، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر قطر حبه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۸/۹۳ میلی‌متر) و کم‌ترین (۶/۸۹ میلی‌متر) قطر حبه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. کم‌ترین قطر حبه در تمام سطوح کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکفتن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش قطر حبه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۱/۵، ۱۵/۷، ۵/۸ و ۱/۷ درصد گردید.

در مراحل متناظر به میزان ۱۱/۵، ۱۵/۷، ۵/۸ و ۱/۷ درصد گردید.



باعث کاهش میزان عملکرد میوه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۷۳/۷، ۸۲/۸، ۳۶ و ۲۴/۵ درصد گردید (جدول ۳). اگرچه اثر سال بر عملکرد میوه معنی‌دار نبود، اما در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به ترتیب ۷/۳ و ۱۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴). آنالیز رگرسیون چندگانه خطی برای عملکرد انگور رقم 'یاقوتی' انجام شد. صفات اثرگذار بر معادله پیش‌بینی‌کننده عملکرد میوه (Yield) عبارت بودند از طول خوشه (CL)، عرض خوشه (CW<sub>i</sub>)، وزن خوشه (CW<sub>e</sub>) و تعداد خوشه در تاک (C/V) به صورت مدل زیر (معادله ۴) بود.

$$\text{Yield} = \quad (4)$$

$$3481 + 126 \text{ CL} - 68 \text{ CW}_i + 14 \text{ CW}_e + 185 \text{ C/V}$$

**نرخ کاهش عملکرد میوه:** اثر رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر نرخ کاهش عملکرد میوه معنی‌دار بود (جدول ۵). بیش‌ترین (۸۲/۷) و کم‌ترین (۴/۸) نرخ کاهش عملکرد میوه به ترتیب در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه و همچنین در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. بیش‌ترین نرخ کاهش عملکرد میوه در شرایط اعمال کم‌آبیاری در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه مشاهده شد. همچنین کم‌ترین نرخ کاهش عملکرد میوه در شرایط اعمال کم‌آبیاری در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ به دست آمد (جدول ۳).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش کم‌آبیاری باعث کاهش صفات وزن محور خوشه، طول خوشه، عرض خوشه، تعداد حبه در خوشه، قطر حبه، وزن حبه، وزن خوشه، تعداد خوشه در تاک، عملکرد میوه و افزایش نرخ کاهش عملکرد میوه گردید. کاهش آب مورد نیاز تاک انگور باعث کاهش صفات مؤثر بر عملکرد میوه شد. این کاهش برای هر صفت، در هر یک از مراحل اعمال کم‌آبیاری کاملاً متفاوت بود. برای تمامی صفات، اعمال کم‌آبیاری در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه حساس‌ترین مرحله به کاهش میزان آبیاری بود. به عبارت دیگر، بیش‌ترین تأثیر اعمال کم‌آبیاری به ترتیب در مراحل گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، شکستن جوانه تا گل‌دهی، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ بود.

۶۶، ۶۹/۱، ۲۸/۷ و ۱۳/۵ درصد گردید (جدول ۳). وزن خوشه در سال دوم و سوم نسبت به سال اول به ترتیب ۱۰/۴ و ۱۷/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

**تعداد خوشه در تاک:** اثر رژیم کم‌آبیاری، سال در رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری، برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و سال در مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر تعداد خوشه در تاک معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۲۲/۲۶) و کم‌ترین (۱۲/۴۹) تعداد خوشه در تاک به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. کم‌ترین تعداد خوشه در تاک در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش تعداد خوشه در تاک نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۴/۴، ۱۶/۱، ۲/۸ و ۴ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش تعداد خوشه در تاک نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۱۱/۹، ۴۳/۶، ۱۱/۴ و ۱۱/۹ درصد گردید (جدول ۳).

**عملکرد میوه:** اثر رژیم کم‌آبیاری، مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری و برهم‌کنش رژیم آبیاری و مراحل اعمال رژیم کم‌آبیاری بر عملکرد میوه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین (۶۵۰۰ کیلوگرم) و کم‌ترین (۱۱۱۱ کیلوگرم) میزان عملکرد میوه به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. بیش‌ترین میزان عملکرد میوه در شرایط کم‌آبیاری مربوط به مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ بود. همچنین در تمام سطوح رژیم کم‌آبیاری، کم‌ترین میزان عملکرد میوه مربوط به مرحله گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه بود. آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب باعث کاهش میزان عملکرد میوه نسبت به آبیاری کامل در مراحل متناظر به میزان ۳۲/۸، ۴۳/۲، ۸/۸ و ۵/۶ درصد گردید. آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مراحل شکستن جوانه تا گل‌دهی، گل‌دهی تا تغییر رنگ خوشه، تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و برداشت میوه تا ریزش برگ به ترتیب

جدول ۵ - تجزیه واریانس نرخ کاهش عملکرد میوه انگور رقم 'یاقوتی'،  
Table 2- ANOVA for the cluster axes weight, cluster length, cluster width, berry No. per cluster, berry diameter, berry weight, cluster weight, cluster No. per vine, fruit yield, and yield lose rate of grapevine cv. Yaghooti

| منابع تغییرات<br>S.O.V                              | سال<br>Year (Y) | سال × تکرار<br>Y×R | آبیاری<br>Irrigation (I) | Y×I               | Y×I(r) | مرحله (S)<br>Stage (S) | Y×S   | Y×S(r) | I×S   | Y×I×S             | Y×I×S(r) | ضریب<br>تغییرات<br>CV (%) | آزمون بارتلت<br>Bartlett<br>test |
|-----------------------------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------|-------------------|--------|------------------------|-------|--------|-------|-------------------|----------|---------------------------|----------------------------------|
| نرخ کاهش<br>عملکرد میوه<br>Fruit yield<br>lose rate | 2935*           | 350                | 17686**                  | 129 <sup>ns</sup> | 310    | 10025**                | 407** | 124    | 506** | 110 <sup>ns</sup> | 80       | 23.54                     | 0.06                             |

ns, \*, \*\* and \*\*\*: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 of probability levels, respectively  
و : به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

در این آزمایش از مرحله شکفتن جوانه، به تدریج دما افزایش یافته و حداکثر دما در نیمه اول تیرماه، تقریباً یک ماه پس از رسیدگی میوه انگور رقم 'یاقوتی' مشاهده گردید (شکل ۱). به عبارت دیگر، شرایط دمایی مناسب در مراحل اولیه رشد باعث کاهش اثرات منفی تنش کم آبی گردید. شاید یکی از دلایل تأثیر کمتر کاهش میزان آبیاری بر صفات اندازه گیری شده در مرحله شکفتن جوانه تا گل دهی نسبت به گل دهی تا تغییر رنگ خوشه همین عامل بود. اگرچه نباید از نظر دور داشت که اعمال کم آبیاری در مرحله شکفتن جوانه تا گل دهی از طریق کاهش رشد رویشی و گسترش سطح فتوسنتز کننده باعث کاهش عملکرد میوه انگور گردید. محققان دیگری نیز چنین نتایجی را گزارش کردند (Doulati Baneh & Noorjo, 2012). اعمال کم آبیاری در مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه که مقارن با افزایش دما نیز بود (شکل ۱) بر صفات زایشی و اجزای عملکرد انگور بیشترین تأثیر منفی را داشت و به همین دلیل نیز باعث کاهش بیشترین عملکرد شد. گزارش شده است که یکی از مهم ترین و حساس ترین مراحل رشد انگور به کم آبی، مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه بوده و بیشترین اثر کم آبیاری بر وزن خوشه و عملکرد میوه نیز مربوط به همین مرحله است (Ramos & Martinez de Toda, 2020). همچنین گزارش شد که قطع آبیاری از زمان گل دهی تا تغییر رنگ حبه ها موجب کاهش شدید عملکرد شده و مرحله رشد حبه حساس ترین مرحله به تنش آبی است (Coombe & McCarthy, 2000). کم آبیاری طی مرحله تغییر رنگ خوشه تا رسیدگی میوه، از طریق کاهش وزن و قطر حبه باعث کاهش عملکرد میوه گردید. نتایج یک تحقیق نشان داد که اگر محدودیت آب قبل از تغییر رنگ خوشه اتفاق بیفتد، عملکرد ۱۰ درصد بیشتر از زمانی که این کاهش بعد از تغییر رنگ خوشه رخ دهد، کاهش می یابد (Buesa et al., 2020). کم آبیاری در مرحله رسیدگی میوه تا ریزش برگ، کمترین اثر را بر عملکرد میوه و سایر صفات مؤثر بر آن داشت. احتمالاً کاهش

طول روز و همچنین دما باعث کاهش جذب و نیاز تاک به آب در راستای آماده شدن آن برای مرحله خواب زمستانه<sup>۱</sup> شده که به همین دلیل نیز کمترین تأثیر را بر عملکرد میوه داشت. محققان دیگری نیز چنین نتایجی را گزارش کردند (Gomez-Del-Campo et al., 2005). تمامی صفات مورد اندازه گیری در سال های دوم و سوم آزمایش کاهش یافت، به طوری که صفات اندازه گیری شده در سال دوم نسبت به سال اول و در سال سوم نسبت به سال دوم کمتر بود. میانگین حداکثر دما در طی مراحل شکفتن جوانه تا ریزش برگ در سال اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۳/۱۴، ۳۴/۶۰ و ۳۵/۳۶ بود. بنابراین یکی از دلایل کاهش صفات اندازه گیری شده، افزایش دما طی سال های اول تا سوم آزمایش بود. دلیل دیگر این کاهش را نیز می توان به کاهش بنیه تاک و ضعیف شدن آن، در اثر اعمال تنش کم آبیاری طی سال های دوم و سوم دانست.

در مجموع، نتایج نشان داد که عملکرد میوه واکنش متفاوتی به کم آبیاری داشت. کم آبیاری در مراحل شکفتن جوانه تا گل دهی و گل دهی تا تغییر رنگ خوشه بیشترین تأثیر را بر کاهش عملکرد میوه داشت که در این میان، تأثیر مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه بیشتر بود. اما تأثیر رژیم کم آبیاری در مراحل تغییر رنگ خوشه تا برداشت میوه و همچنین برداشت میوه تا ریزش برگ بر عملکرد نسبت به دو مرحله شکفتن جوانه تا گل دهی و گل دهی تا تغییر رنگ خوشه کمتر بود. کمترین عملکرد میوه و همچنین افزایش نرخ کاهش عملکرد در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل استفاده در مرحله گل دهی تا تغییر رنگ خوشه مشاهده شد که به ترتیب به میزان ۱۱۱۱ کیلوگرم در هکتار و ۸۲/۷ بود. به طور کلی نتایج نشان داد که عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۵ درصد آب قابل استفاده تاک در مرحله برداشت میوه تا ریزش برگ مشابه آبیاری کامل بود و برای منطقه سیستان قابل توصیه است.

## References

1. Alatzas, A., Theocharis, S., Miliordos, D.E., Kotseridis, Y., Koundouras, S., & Hatzopoulos, P. (2023). Leaf removal and deficit irrigation have diverse outcomes on composition and gene expression during berry development of *Vitis vinifera* L. cultivar Xinomavro. *Oeno One*, 57(1), 289-305. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.1.7191>
2. Buesa I., Ballester, C., Jose Manuel, M.A., & Intrigliolo, S. (2020). Effects of leaning grapevine canopy to the West on water use efficiency and yield under Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 1-38. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108166>
3. Chacon-Vozmediano, J.L., Martinez-Gascuena, J., Francisco, J., Garcia-Navarro, J., & Jimenez-Ballesta, R. (2020). Effects of water stress on vegetative growth and 'Merlot' grapevine yield in a semi-arid mediterranean climate. *Horticulturae*, 6(95), 1-16. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040095>

4. Coombe, B.G., & McCarthy, E.M.G. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 131-135. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x>
5. Danesh Shahraki, M., Shahriari, A., Gangali, M., & Bameri, A. (2017). Seasonal and spatial variability of airborne dust loading rate over the Sistan plain cities and its relationship with some climatic parameters. *Journal of Water and Soil Conservatio*, 23(6), 199-215. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.11530.2595>
6. Doulati Baneh, H., & Nourjou, A. (2012). Effect of deficit irrigation on quantitative and quality traits of fruit and water productivity of three grapevine cultivars. *Seed and Plant Production*, 2-27(4), 435-450. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110447>
7. Du, T.S., Kang, S.Z., Zhang, J.H., Li, F.S., & Yan, B.U. (2008). Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zo ne drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 95, 659-668. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.017>
8. Edwards, E.J., & Clingeleffer, P.R. (2013). Interseasonal effects of regulated deficit irrigation on growth, yield, water use, berry composition and wine attributes of Cabernet Sauvignon grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19, 261-276. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12027>
9. Fazeli Rostampour, M. (2020). The effect of irrigation regime and green pruning on some physiologic traits and yield of Yaghooti grape. *Journal of Horticultural Science*, 34(1), 185-196. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i1.83688>
10. Fazeli Rostampour, M., & Mahmoudzadeh, H. (2023). Estimation of balance pruning and green pruning on quantitative tratis in table grape (*Vitis vinifera* L. cv. Yaghooti) in Sistan region. *Journal of Horticultural Science*, 37(1), 181-191. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.74552.1122>
11. Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L., & Santos, J.A. (2020). What is the impact of heat waves on European viticulture? A modelling assessment. *Applied Sciences*, 10(9), 3030. <https://doi.org/10.3390/app10093030>
12. Gambetta, G.A., Manuck, C.M., Drucker, S.T., Shaghasi, T., Fort, K., Matthews, M.A., & McElrone, A.J. (2012). The relationship between root hydraulics and scion vigour across *Vitis* rootstocks: What role do root aquaporins play?. *Journal of Experimental Botany*, 63(18), 6445-6455. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers312>
13. Gatti, M., Bernizzoni, F., Civardi, S., & Poni, S. (2012). Effects of cluster thinning and preflowering leaf removal on growth and grape composition in cv. Sangiovese. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(3), 325-332. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.11118>
14. Gomez-Del-Campo, M., Baeza, P., Ruiz C., & Lissarrague, J.R. ( 2005). Effects of water stress on dry matter content and partitioning in for grapevine cultivars (*Vitis Vinifera* L.). *Journal International des Sciences*, 39(1), 1–10. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2005.39.1.905>
15. Karimi, M., Yazdani, M.H., & Naderi, A. (2013). The effect of 120-day winds on the safety of Sistan region. *Geography and Environmental Planning Journal*, 50(2), 111-128. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1392.24.2.9.6>
16. Molavi, H., Mohammadi, M., & Liaghat, A.M. (2012). Effect of full irrigation and alternative furrow irrigation on yield, yield components and water use efficiency of tomato (Super Strain B). *Journal of Water and Soil Science*, 21(3), 115-126. (in Persian with English abstract).
17. Myburgh, P.A. (2003). Responses of *Vilis vinifera* L. cv. Sultanina to level of soil water depletion under semi-arid conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 24, 16-24. <https://doi.org/10.21548/24-1-2146>
18. Ramos, M.C., & Martinez de Toda, F. (2020). Projecting changes in phenology and grape composition of “Tempranillo” and “Grenache” varieties under climate warming in Rioja DOCa. *Vitis Geilweilerhof*, 59, 181–190. <https://doi.org/10.5073/vitis.2020.59.181-190>
19. Santesteban, L.G., Miranda, C., & Royo, J.B. (2011). Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. ‘Tempranillo’. *Agricultural Water Management*, 98(7), 1171-1179. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.011>
20. Santos, J.A., Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H.R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Science*, 10, 1-28. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
21. Shahrokhnya, M.A., & Karami, M.J. (2016). Investigation of the effect of different amounts of irrigation water on the yield of Yaghouti grape. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 28(7), 122-108. (in Persian with English abstract).
22. Shellie, K.C. (2006). Vine and berry response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to differential water stress. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4), 514-518. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.4.514>

23. Sun, R., Ma, J., Sun, X., Zheng, L., & Guo, J. (2023). Responses of the leaf water physiology and yield of grapevine via different irrigation strategies in extremely arid areas. *Sustainability*, 15, 1-15. <https://doi.org/10.3390/su15042887>
24. Tong, X., Wu, P., Liu, X., Zhang, L., Zhou, W., & Wang, Z. (2021). A global meta-analysis of fruit tree yield and water use efficiency under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 260, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107321>
25. Van Leeuwen, C., Friant, P., Jaeck, M.E., Kuhn, S., & Lavialle, O. (2004). *Hierarchy of the role of climate, soil and cultivar in terroir effect can largely be explained by vine water status*. Joint International Conference on Viticultural Zoning, Gradignan, France, 433-439.
26. Yang C., Menz, C., Fraga, H., Costafreda-Aumedes, S., Leolini, L., Ramos, M.C., Molitor, D., Leeuwen, & C., Santos, J.A. (2022). Assessing the grapevine crop water stress indicator over the flowering-veraison phase and the potential yield lose rate in important European wine regions. *Agricultural Water Management*, 261, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107349>
27. Zabihi, H.R., & Azarpajouh, E. (2004). Grape response to different soil moisture regimes. *Journal of Soil and Water Science*, 18(10), 34-39. (in Persian with English abstract).
28. Zokaee Khosroshahi, M., & Parvizi, K. (2024). Effect of deficit irrigation on yield, fruit quality and water use efficiency of grapes cv. Turkmen-4. *Journal of Water and Soil*, 38(1-93), 37-49. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86374.1369>

## Effect of 24-Epibrassinolide on Nutritional Value and Marketability of Strawberry Fruit (*Fragaria* × *ananasa* cv. Monterey)

S.M.A. Kadhimi Al-Janabi<sup>1</sup>, M.R. Asghari<sup>1</sup>, P. Zahedipour Sheshglani<sup>1\*</sup>

1- Department of Horticulture, Agriculture Faculty, Urmia University, Urmia, Iran

(\* - Corresponding author's Email: [p.zahedipour@urmia.ac.ir](mailto:p.zahedipour@urmia.ac.ir))

Received: 15 October 2024  
Revised: 09 January 2025  
Accepted: 29 January 2025  
Available Online: 29 January 2025

### How to cite this article:

Kadhimi Al-Janabi, S.M.A., Asghari, M.R., & Zahedipour Sheshglani, P. (2025). Effect of 24-epibrassinolide on nutritional value and marketability of strawberry fruit (*Fragaria* × *ananasa* cv. Monterey). *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 455-470. (In Persian with English abstract).  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90277.1383>

### Introduction

Strawberry is a widely consumed fruit with high nutritional value, which the consumption plays an effective role in reducing human chronic diseases. Strawberry fruit is a source of secondary metabolites with antioxidant activity which influence nutritional value and quality attributes of this fruit. However, strawberry is a perishable fruit with a short shelf-life and high amount of this fruit is wasted during post-harvest periods which leads to economic, food and nutritional losses. In the last decade, the use of safe and natural elicitors in order to extend the shelf-life and improve the marketability of strawberry fruit has been increasing. Brassinosteroids (BRs) are plant growth regulators that modulate molecular, physiological, and biochemical responses in plant organs. Exogenous 24- Epibrassinolide (24-EBL) as a natural analog of BRs, has multiple effects on horticultural crops. Exogenous application of 24-EBL improves postharvest quality, antioxidant compounds and extends the shelf life of fruits and vegetables. Furthermore, 24-EBL has a significant effect on improving the sensory properties and marketability of stored crops. Therefore, this study was conducted to determine the effect of postharvest application of 24-EBL on bioactive compounds concentrations, antioxidant capacity and marketability of strawberry fruits.

### Material and Methods

Strawberry fruits (*Fragaria* × *ananasa* cv. Monterey) were harvested from a commercial greenhouse in the fully red color stage and immediately transferred to the laboratory. Healthy and uniform strawberries were selected and divided in three groups. Strawberry fruits were immersed in the 24-EBL solutions for 3 minutes. Strawberry fruits were dried completely at room condition and then were packed in polyethylene boxes (20×15×12 cm) and stored for 10 days at 1±1 °C. Control samples were treated with distilled water for same duration. After 10 d storage at low temperature, strawberry fruits were kept at room temperature for 24 hours to simulate the commercial situations, and then sampling was done to evaluate quality traits and marketability, biochemical compounds, phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase enzymes activity and total antioxidant activity. In this study, the experiment was conducted as completely randomized design with three replications.

### Results and Discussion

Due to the high perishability and short shelf life of harvested strawberry fruits, it is necessary to investigate new methods. The use of safe and natural elicitors in order to improve the quality and marketability of the fruit may also result in an increase in the fruit nutritional value. The results showed that postharvest application of 24-EBL (1 and 3 µM) increased total phenolic content (16.5 % and 19.5 %), total flavonoids (5.5 % and 9 %) and



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90277.1383>



total anthocyanins (12 % and 17 %) compared to control, respectively. Moreover, the activities of phenylalanine ammonialyase (PAL) and tyrosine ammonialyase (TAL), as important enzymes of the phenylpropanoid pathway increased in response to 24-EBL treatment. According to correlation coefficient analysis, there was a significant correlation among the phenolic compounds concentrations, PAL and TAL enzymes activity. Increasing the phenolic compounds, flavonoids and total anthocyanins content in response to 24-EBL treatment improved total antioxidant activity of strawberry fruits. Phenolics and flavonoids play important roles in increasing stress tolerance in crops and show a remarkably high scavenging activity toward reactive oxygen species. In addition to the positive effect of 24-EBL in enhancing secondary metabolites and antioxidant activity, which leads to improve the nutritional value of strawberry fruit, it also improved the sensory properties and marketability of the fruit. Treated berries with different concentrations of 24-EBL had lower titratable acidity, more total soluble solid, better taste and firmness compared to the control ones. These indices influenced the sensory properties and marketability of strawberries. These findings suggest that postharvest application of 24-EBL, especially at 3  $\mu\text{M}$ , most effective to improve the postharvest quality and extend the shelf life of strawberry fruits. This research provided a new understanding regarding the impact of 24-EBL on increasing bioactive compounds and improving antioxidant activity of strawberry fruit and elucidated the effect of BRs on improving marketability of strawberry fruit.

## Conclusion

The findings of this study indicate that postharvest application of 24- Epibrassinolide increase secondary metabolite content and nutritional value of stored strawberry fruits. Increasing the secondary metabolite by antioxidant activity can also influence the sensory properties and marketability of strawberries. The mentioned results could be clear signs that 24- Epibrassinolide is a promising agent for extend the shelf life of strawberry fruits, as well as for improving their nutritional value.

## Acknowledgement

The authors wish to thank Urmia University vice chancellor for research for supporting this work.

**Keywords:** Anthocyanins, Correlation coefficient, Marketability, Phenylalanine ammonia-lyase, Total antioxidant activity

## تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر ارزش غذایی و بازارپسندی میوه توت فرنگی رقم 'مونتری'

*(Fragaria × ananasa cv. Monterey)*صفا محمد علی کاظم الجنابی<sup>۱</sup>، محمدرضا اصغری<sup>۱</sup>، پری زاهدی پور ششگلانی<sup>۱\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

## چکیده

توت فرنگی، میوه‌ای پرمصرف با ارزش تغذیه‌ای بالا می‌باشد که مصرف آن نقش مؤثری در کاهش بیماری‌های مزمن انسان دارد. استفاده از محرک‌های سالم به منظور بهبود کیفیت و بازارپسندی این محصول می‌تواند در عین حال ارزش تغذیه‌ای این محصول را نیز بهبود ببخشد. در این آزمایش تیمار پس از برداشت میوه‌های توت فرنگی رقم 'مونتری' توسط ۲۴- اپی براسینولید در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. - ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های یک و سه میکرومولار تأثیر مثبت در افزایش غلظت ترکیبات زیست فعال میوه‌های توت فرنگی تیمار شده از جمله فنل کل به میزان ۱۶/۵ درصد و ۱۹/۵ درصد، فلاونوئید کل به میزان ۵/۵ درصد و ۹ درصد و آنتوسیانین کل به میزان ۱۲ درصد و ۱۷ درصد در پایان دوره نگهداری (۱۰ روز در دمای  $1 \pm 1$  درجه سانتی گراد و سپس ۲۴ ساعت در دمای اتاق) نسبت به شاهد داشت که این افزایش همبستگی مثبت و معنی- داری با افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی کل میوه‌های توت فرنگی نشان داد. فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیا لایز و تیروزین آمونیا لایز به عنوان آنزیم‌های مهم مسیر فنیل پروپانویید در پاسخ به تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید نیز افزایش پیدا کردند. ۲۴- اپی براسینولید علاوه بر تأثیر مثبت در افزایش متابولیت‌های ثانویه و ترکیبات آنتی اکسیدانی که موجب بهبود ارزش تغذیه‌ای میوه توت فرنگی شد، بهبود خواص حسی و بازارپسندی محصول را نیز به همراه داشت. به طوری که توت فرنگی‌های تیمار شده با ۲۴- اپی براسینولید، اسیدیته کم، مواد جامد محلول بیشتر، طعم و سفتی بهتری در مقایسه با نمونه شاهد داشتند. تأثیر مثبت ۲۴- اپی براسینولید در افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه با فعالیت آنتی اکسیدانی موجب شد که میوه‌های تیمار شده کیفیت، ماندگاری و بازارپسندی بهتری در مقایسه با میوه‌های شاهد در پایان دوره نگهداری داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، بازارپسندی، ضریب همبستگی، فعالیت آنتی اکسیدانی کل، فنیل آلانین آمونیا لایز

## مقدمه

میوه‌ها منشأ تولید متابولیت‌های ثانویه با عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مهم هستند. متابولیت‌های ثانویه، نقش مهمی در تقابل گیاه با محیط پیرامون در شرایط رشدی نرمال و همچنین در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کنند. همچنین متابولیت‌های ثانویه تأثیر مستقیم بر کیفیت خواص حسی محصول از نظر رنگ، عطر و طعم و کیفیت ظاهری داشته و ارزش تغذیه‌ای محصول را در دوره برداشت و پس از برداشت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sanchez-Ballesta et al., 2022).

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد طبیعی به عنوان محرک‌های خارجی در جهت افزایش غلظت متابولیت‌های ثانویه به منظور ارتقاء سیستم دفاعی گیاه، روشی کارآمد و سالم می‌باشد که مورد پذیرش مصرف‌کنندگانی قرار گرفته است که اهمیت ویژه‌ای نسبت به مصرف محصولات سالم دارند. این ترکیبات علاوه بر آنکه موجب تحریک سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند، همچنین بهبود کیفیت و ارزش تغذیه‌ای محصولات کشاورزی را نیز به دنبال دارند (Carlos et al., 2021). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تحولی بزرگ در بخش کشاورزی پدید آورده است. این مواد از طریق تغییر و تعدیل در واکنش‌های بیوشیمیایی و ساختاری گیاهان موجب افزایش در کمیت و کیفیت محصول تولیدی می‌شود (Rademacher, 2015). مطابق قوانین حفاظت محیط زیست ایالات متحده، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در غلظت‌های بهینه

۱- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(\*) نویسنده مسئول: (Email: [p.zahedipour@urmia.ac.ir](mailto:p.zahedipour@urmia.ac.ir))<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90277.1383>

## مواد و روش‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی رقم 'مونتری' (*Fragaria × ananassa* cv. Monterey) در مرحله رنگ‌گیری کامل از گلخانه‌ای تجاری واقع در شهر ارومیه برداشت شده و بلافاصله به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. توت‌فرنگی‌های سالم و یکسان از نظر اندازه و رنگ انتخاب و جهت تیمار با ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های صفر، یک و سه میکرومولار به‌صورت کاملاً تصافی تقسیم شدند. جهت تهیه غلظت‌های مورد نظر، ابتدا پودر ۲۴- اپی براسینولید در متانول خالص حل شده و سپس با اضافه کردن آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شدند. میوه‌های توت‌فرنگی به‌مدت سه دقیقه در داخل محلول‌های تهیه‌شده غوطه‌ور شدند و پس از خشک شدن کامل میوه‌ها در شرایط دمای اتاق در جعبه‌های پلی اتیلنی (۱۲×۱۵×۲۰ سانتی‌متر) بسته‌بندی و به‌مدت ۱۰ روز در دمای ۱±۱ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های شاهد توسط آب مقطر تیمار شدند. میوه‌ها پس از ۱۰ روز نگهداری در شرایط دمای پایین، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند و در ادامه نمونه‌برداری برای ارزیابی شاخص‌های کیفی و بیوشیمیایی مورد نظر انجام گرفت.

## اندازه‌گیری فنل کل

برای استخراج عصاره میوه جهت سنجش فنل کل از خلال متانول/اسید کلریک به نسبت ۲:۹۸ استفاده شد. محلول روشناور برای سنجش فنل کل با استفاده از معرف فولین- سیوکالتو مورد استفاده قرار گرفت. محلول واکنش حاوی هفت میلی‌لیتر آب مقطر، ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین- سیوکالتو و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره استخراج‌شده بود. پس از دو دقیقه یک میلی‌لیتر سدیم کربنات اشباع به محلول فوق افزوده شد. بعد از دو ساعت، جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Lester et al., 2012).

## اندازه‌گیری فلاونوئید کل

جهت اندازه‌گیری فلاونوئید کل، یک میلی‌لیتر عصاره استخراج‌شده توسط متانول ۸۰ درصد با ۰/۵ میلی‌لیتر  $\text{NaNO}_2$  پنج درصد مخلوط شد. بعد از شش دقیقه، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ۱۰ درصد به مخلوط اضافه شده و بعد از شش دقیقه، دو میلی‌لیتر  $\text{NaOH}$  یک مولار به مخلوط اضافه شد و بعد از ۱۵ دقیقه، جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید و نتایج براساس میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد. جهت تهیه محلول‌های استاندارد از کوئرستین (۱۶-۰ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شد (Chun et al., 2003).

در صورتی که سمیت و آسیبی برای گیاه، محیط زیست و انسان نداشته باشند، مجاز می‌باشد (Ferguson & Lessenger, 2006). براسینواستروئیدها به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد طبیعی در غلظت‌های بسیار پایین واکنش‌های گسترده‌ای را در سطح سلول و در کل گیاه موجب می‌شوند و تقریباً در تنظیم تمامی جنبه‌های رشدنموی گیاه نقش دارند (Tang et al., 2016). براسینواستروئیدها از طریق مسیرهای انتقال علائم و تعامل با فاکتورهای رونویسی متعدد از طریق آبشارهای فسفوریلاسیون موجب تنظیم بیان ژن در گیاهان می‌شوند و به‌این طریق موجب تنظیم فرایندهای رشدنموی در گیاهان می‌شوند (Nolan et al., 2020). براسینواستروئیدها به‌عنوان ترکیبات سالم و سازگار با محیط زیست، کاربرد گسترده‌ای در بخش کشاورزی دارند. تأثیر این هورمون در بهبود رشد گیاه، کوتاه‌سازی دوره رشد رویشی، تسریع فرایند زایشی گیاه، افزایش عملکرد، بهبود کیفیت و افزایش ارزش تغذیه‌ای محصول، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی و آلودگی‌های پاتوژنی، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی توسط محققان گزارش شده است (Li et al., 2021; Yadav et al., 2023).

طبق آزمایشات بیولوژی پیچیده، ایمنی ژنتیکی و عدم سمیت ۲۴- اپی براسینولید بر انسان تأیید شده است (Khripach et al., 2000) و بسیاری از مطالعات نشان دادند که براسینواستروئیدها دارای فعالیت ضدسرطانی، ضدویروسی و ضدالتهابی می‌باشند (Pereira Netto, 2012). براسینواستروئیدها از طریق القاء آپوپتوز یا مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی، توانایی بالایی در درمان سلول‌های سرطانی دارند (Ma et al., 2022).

توت فرنگی منبع غنی از ریزمغذی‌ها، ویتامین‌ها و متابولیت‌های ثانویه با خاصیت آنتی‌اکسیدانی هست. از سوی دیگر به‌دلیل عطر و طعم خاص، جایگاه ویژه‌ای در بین مصرف‌کنندگان دارد و به‌صورت گسترده در بیش از ۷۶ کشور جهان به‌صورت تجاری تولید می‌شود (Simpson, 2018). تکنیک‌های تولیدی مختلفی در جهت بهبود کمیت و کیفیت محصولات باغی از جمله توت‌فرنگی استانداردسازی شده‌اند و در این راستا استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جایگاه ویژه‌ای برای دستیابی به این اهداف دارند.

امروزه مفهوم "مدیریت پس از برداشت" تنها به حفظ کیفیت و کاهش میزان ضایعات محصولات کشاورزی محدود نبوده و افزایش کیفیت و بهبود ارزش تغذیه‌ای محصولات برداشت‌شده در دوره پس از برداشت یکی دیگر از اهداف مهم این دانش می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید بر متابولیسم متابولیت‌های ثانویه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی و همچنین بررسی شاخص‌های کیفی و خواص حسی میوه توت‌فرنگی در پاسخ به این تیمار می‌باشد.

## اندازه‌گیری آنتوسیانین کل

میزان آنتوسیانین کل میوه‌های توت‌فرنگی براساس روش چنگ و برین (Cheng & Breen, 1991) و براساس جذب عصاره‌های استخراج‌شده در (hydrochloric acid-potassium chloride, 0.2) pH: ۴/۵ (acetate acid- sodium acetate, 1 M) و pH: ۱ (M) در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین با استفاده از ضریب خاموشی سیانیدین-۳- گلوکوزاید (۲۹۶۰۰) و معادله  $A = [(A_{510} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH\ 4.5}]$  محاسبه و نتایج به‌صورت میلی‌گرم سیانیدین-۳- گلوکوزاید در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد.

## سنجش فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالایز (PAL) و تیروزین آمونیالایز (TAL)

برای سنجش فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالایز و تیروزین آمونیالایز، ۰/۵ گرم بافت میوه توت‌فرنگی در چهار میلی‌لیتر بافر استخراج حاوی بافر Tris-HCl ۰/۰۵ مولار (pH: ۸/۴)، بتا- مرکاپتواتانول ۱۵ میلی‌مولار و پلی وینیل پیرولیدون یک درصد هموژنیزه شد. بافر سنجش حاوی شش میکرومول ال- فنیل آلانین برای سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز و ۵/۵ میکرومول ال- تیروزین برای سنجش فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالایز، ۵۰۰ میکرومول بافر Tris- HCl (pH: ۸/۰۱) و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. برای سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز و در نتیجه تشکیل ترانس- سینامیک اسید نمونه‌های تهیه‌شده به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند و برای سنجش فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالایز و در نتیجه تشکیل پی- کومارات نمونه‌های تهیه‌شده به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. واکنش هر دو آنزیم با اضافه کردن ۰/۰۵ میلی‌لیتر HCl پنج نرمال متوقف شد. فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز در طول موج ۲۹۰ نانومتر و فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالایز در طول موج ۳۳۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد (Beaudoin-Eagan & Thorpe, 1985).

## سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل براساس DPPH•

برای ارزیابی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد، ماده 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•) مورد استفاده قرار گرفت. محلول واکنش حاوی ۲۸ میکرولیتر عصاره استخراج‌شده توسط متانول ۸۰ درصد، ۲۸ میکرولیتر محلول DPPH سه میلی‌مولار و ۹۴۴ میکرولیتر اتانول خالص بود.

محلول بلانک حاوی ۹۷۲ میکرولیتر اتانول خالص و ۲۸ میکرو- لیتر DPPH• سه میلی‌مولار تهیه گردید

$$\text{درصد ممانعت رادیکال DPPH} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100 \quad (۱)$$

که در آن،  $A_0$ : میزان جذب محلول بلانک و  $A_1$ : میزان جذب عصاره است (Cao et al., 2011).

## اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون و محاسبه شاخص طعم

میزان مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دستی و pH آب میوه توت فرنگی توسط دستگاه pH متر دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، آب میوه‌های توت- فرنگی به نسبت ۱:۱ با آب مقطر رقیق شده و عمل تیتراسیون با محلول سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۲ انجام گرفت. میزان اسید آلی برحسب میلی‌گرم اسید سیتریک در میلی‌لیتر عصاره محاسبه و گزارش شد (Bellincontro et al., 2004). شاخص طعم میوه- های توت‌فرنگی از طریق تقسیم میزان مواد جامد محلول به میزان اسیدیته کل میوه‌ها محاسبه شد.

## اندازه‌گیری سفتی

برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه‌های توت فرنگی از دستگاه سفتی سنج (Model Fruit Texture Analyzer, USA) مجهز به پروب دو میلی‌متری استفاده و نتایج به‌صورت کیلوگرم بر میلی- مترمربع بیان شدند.

## ارزیابی بازارپسندی میوه توت فرنگی

بازارپسندی میوه‌های توت‌فرنگی براساس کیفیت ظاهری و نمره‌دهی مطابق جدول ۱ ارزیابی شد و نمره‌دهی ۵- ۱ برای هر بسته توت‌فرنگی به‌صورت ۱: خیلی ضعیف (غیر قبل خوردن)، ۲: ضعیف (کیفیت خوراکی بسیار ضعیف)، ۳: قابل قبول، ۴: خوب و ۵: بسیار خوب انجام پذیرفت (Kelly et al., 2016).

## تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS (Version 9.1) استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام گرفت.

جدول ۱- ارزیابی میزان بازارپسندی میوه توت‌فرنگی براساس شاخص‌های کیفی نظیر رنگ، میزان پژمردگی، پوسیدگی، سفتی، طعم و عطر (Kelly *et al.*, 2016)

Table 1- Evaluation the marketability of strawberry fruit based on quality indicators such as color, shriving intensity, decay, firmness, taste and aroma (Kelly *et al.*, 2016)

| نمره‌دهی و توضیح هر یک از شاخص‌های کیفی |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                     |                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         | ۵: عالی<br>Excellent                                                                                                                            | ۴: خوب<br>Good                                                                                                                                | ۳: قابل قبول*<br>*Acceptable                                                                                                                       | ۲: ضعیف<br>Poor                                                                                                                     | ۱: بسیار ضعیف<br>Very poor                                                                                                                                   |
| رنگ<br>Color                            | ۳/۴ تا رنگ‌گیری کامل،<br>قرمز روشن<br>Three-quarter to<br>fully light red                                                                       | قرمز کامل و روشن<br>Fully light red                                                                                                           | قرمز کامل<br>Fully red                                                                                                                             | بسیار رسیده: قرمز تیره<br>Overripe; very<br>dark red                                                                                | بسیار تیره: به رنگ قرمز-<br>بنفش،<br>میوه‌هایی با رسیدگی بسیار<br>شدید و یا پیر<br>Very dark purplish-<br>red; extremely<br>overripe or senescent            |
| پژمردگی<br>Shriving                     | میوه‌ها کاملاً تازه و آبدار؛<br>کالیکس با ظاهری تازه و با<br>تورژانس کامل<br>Field-fresh fruit,<br>and calyx appear<br>very fresh and<br>turgid | علائم بسیار مختصر از<br>پژمردگی و کاهش رطوبت<br>در کالیکس<br>Minor signs of<br>shriving, calyx<br>slightly wilted                             | ظهور علائم پژمردگی: شروع<br>علائم کاهش رطوبت در میوه<br>و کالیکس<br>Shriving evident,<br>fruit and calyx<br>show evident signs<br>of moisture loss | پژمردگی شدید: میوه‌ها<br>پژمرده و کالیکس کم‌آب و<br>خشک<br>Severe shriving,<br>fruit is shriveled<br>and calyx is<br>wilted and dry | شدیداً کم‌آب و خشک<br>Extremely wilted and<br>dry                                                                                                            |
| پوسیدگی<br>Decay                        | صفر٪، بدون تغییرات قابل<br>مشاهده در بافت<br>0%, no visible<br>changes in the<br>tissues                                                        | ۲۵٪، ظهور رنگ قهوه‌ای<br>مختصر (نشانه‌ای از آغاز<br>علائم پوسیدگی)<br>25%, slight brown<br>discoloration of<br>the tissues,<br>probable decay | ۵۰٪، ظهور لکه‌هایی با<br>پوسیدگی و با رشد<br>علائم<br>مختصر مسیلیوم<br>50%, spots with<br>decay and some<br>mycelium growth                        | ۷۵٪، رشد متوسط تا زیاد<br>مسیلیوم‌ها<br>75%, moderate to<br>heavy mycelium<br>growth                                                | ۱۰۰٪، ظهور علائم هاگ‌زایی،<br>پوسیدگی کامل یا بخشی از<br>میوه<br>100%, characteristic<br>sporulation, the fruit<br>is either partial or<br>completely rotten |
| سفتی<br>Firmness                        | بسیار سفت با تورژانس<br>بالا<br>Very firm and<br>turgid                                                                                         | بافتی سفت اما با<br>تورژانس کم<br>Firm but less<br>turgid                                                                                     | نرم‌شدگی مختصر در بافت<br>Minor signs of<br>softness                                                                                               | نرم و آبیکی<br>Soft and leaky                                                                                                       | به‌شدت نرم با بافتی<br>تخریب‌شده<br>Extremely soft and<br>deteriorated                                                                                       |
| طعم<br>Taste                            | عالی با طعم مطبوع و<br>خوشایند میوه توت‌فرنگی<br>Excellent,<br>pleasant<br>strawberry taste                                                     | طعمی خوب، تازه و شیرین<br>Good fresh and<br>sweet taste                                                                                       | قابل قبول منتهی با کاهش<br>مختصر در طعم مطلوب<br>توت‌فرنگی<br>Acceptable but<br>slightly less intense<br>strawberry taste                          | ضعیف، میوه‌ها با طعم<br>تخمیری و ناخوشایند<br>Poor (the fruit has<br>a fermented,<br>unpleasant taste)                              | بسیار ضعیف، طعم ناخوشایند،<br>غیرقابل خوردن<br>Very poor,<br>unpleasant taste,<br>inedible                                                                   |
| عطر<br>Aroma                            | عالی، سرشار از عطر<br>مخصوص میوه توت‌فرنگی<br>Excellent,<br>characteristic<br>strawberry odor                                                   | خوب<br>Good                                                                                                                                   | قابل قبول<br>Acceptable                                                                                                                            | ضعیف<br>Poor                                                                                                                        | بسیار ضعیف، عطر ناخوشایند<br>Very poor,<br>unpleasant aroma                                                                                                  |

## نتایج و بحث

تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فنل کل، فلاونوئید کل و آنتوسیانین کل

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید (24-EBL) تأثیر معنی‌داری بر میزان فنل کل و

فلاونوئید کل میوه توت‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد داشت. در پاسخ به ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های یک و سه میکرولیتر، افزایش تقریباً ۱۶/۵ درصد و ۱۹/۵ درصد در میزان فنل کل میوه توت‌فرنگی در پایان دوره نگهداری مشاهده شد (شکل ۱ a).

فلاونوئیدها یکی از ترکیبات مهم فنیل پروپانوییدی در میوه توت-فرنگی می‌باشند که با توجه به افزایش معنی‌داری در میزان فلاونوئید کل میوه توت فرنگی در پاسخ به تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید مشاهده شد و کاربرد یک و سه میکرومولار ۲۴- اپی براسینولید به ترتیب موجب افزایش ۵/۵ درصد و ۹ درصد فلاونوئید کل میوه توت‌فرنگی در مقایسه با نمونه شاهد شد. ترکیبات فنلی، متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که از نظر تغذیه‌ای ارزشمند بوده و نقش مؤثری بر سلامت مصرف‌کنندگان دارد. میوه‌ها و سبزیجات منبع غنی از ترکیبات فنلی می‌باشند و اهمیت ترکیبات فنلی بر سلامتی انسان ناشی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات می‌باشد و در پیشگیری و درمان برخی از بیماری‌های مزمن از جمله بیماری‌های عصبی، دیابت، سرطان و بیماری‌های قلبی و عروقی مؤثر می‌باشند (Singh et al., 2020). بنابراین تیمار گیاهان با الیستورها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند به عنوان محرکی برای فعال‌تر کردن مسیرهای بیوسنتزی ترکیبات فنلی در محصولات باشد (Hu et al., 2022). تأثیر مثبت کاربرد پس از برداشت براسینواستروئید و آنالوگ‌های آن در افزایش بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در محصولاتی مانند ماندارین (*Gutierrez- (Citrus reticulata Blanco 'Arrayana')* Villamil et al., 2023)، بلوبری (*Vaccinium corymbosum* (Min et al., 2022) L. 'Bluerain')، انار (*Punica granatum* (Islam et al., 2022) L. 'Kamdhari Red') و انبه (*Mangifera indica* L. 'Tainong') گزارش شده است. میوه توت‌فرنگی به عنوان منبع مهمی از ترکیبات فنلی شناخته می‌شود که تغییر در میزان این ترکیبات به طور مستقیم ارزش تغذیه‌ای و همچنین کیفیت خواص حسی این محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tulipani et al., 2008; Simkova et al., 2024). مطابق جدول ۲، تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان آنتوسیانین کل میوه توت‌فرنگی داشت ( $p < 0.05$ ) و بیشترین میزان آنتوسیانین در میوه‌های تیمار شده با ۲۴- اپی براسینولید سه میکرومولار اندازه‌گیری شد (شکل ۱ c). آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های طبیعی میوه توت‌فرنگی و متعلق به خانواده فلاونوئیدها می‌باشند که از دو جنبه دارای اهمیت می‌باشند. نخست، عامل ایجاد رنگ قرمز در میوه توت فرنگی بوده و تأثیر مستقیم بر کیفیت ظاهری و بازارپسندی محصول دارند. دوم به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ارزش تغذیه‌ای بسیار بالایی داشته و از آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال بر مولکول‌های DNA، لیپیدها و پروتئین‌ها جلوگیری می‌کنند (de Pascual-Teresa & Sanchez-Ballesta, 2008). بیشتر از ۲۵ نوع متفاوت از رنگدانه‌های آنتوسیانین در میوه توت‌فرنگی شناسایی شده است که

پلارگونیدین-۳- گلوکوزاید (به میزان ۸۹-۹۵ درصد از آنتوسیانین کل) و سیانیدین-۳- گلوکوزاید (به میزان ۱۰/۶-۳/۹ درصد از آنتوسیانین کل) مهم‌ترین و بیشترین آنتوسیانین‌های موجود در میوه توت‌فرنگی می‌باشند (Tulipani et al., 2008). پژوهش‌های پیشین، تأثیر کاربرد براسینواستروئیدها را در افزایش میزان آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی در دوره برداشت و پس از برداشت تأیید می‌کنند (Zahedipour-Sheshglani & Asghari, 2020; Khatoon et al., 2023). در حقیقت، براسینواستروئیدها از طریق تأثیری که بر بیان ژن‌ها (ژن‌های ساختاری و ژن‌های تنظیمی) و همچنین فعالیت آنزیم‌های مسیر بیوسنتز آنتوسیانین‌ها دارند موجب تنظیم بیوسنتز و افزایش تجمع این متابولیت‌ها در گیاهان می‌شوند (Chai et al., 2013; Luan et al., 2013; Yang et al., 2023; Zhang et al., 2023).

#### تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیز و تیروزین آمونیالیز

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های مسیر فنیل پروپانویید در گیاهان می‌باشد که نقشی کلیدی در تنظیم بیوسنتز ترکیبات فنیل پروپانوییدی دارد و با انجام عمل دامیناسیون، اسید آمینه آل-فنیل آلانین را به ترانس-سینامیک اسید تبدیل می‌کند. همچنین آنزیم تیروزین آمونیالیز یکی از آنزیم‌های مسیر بیوسنتزی ترکیبات فنلی می‌باشد که تیروزین را به *p*-کوماریک اسید تبدیل می‌کند. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار ۲۴- اپی براسینولید تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (PAL) و آنزیم تیروزین آمونیالیز (TAL) در سطح احتمال یک درصد داشت و تیمار ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های یک و سه میکرومولار به ترتیب موجب افزایش ۲۹ درصد و ۳۱ درصد فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (شکل ۲ a) و افزایش ۱۱/۵ درصد و ۱۴/۵ درصد فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالیز (شکل ۲ b) در مقایسه با نمونه شاهد شدند.

مطابق تحقیقات انجام‌گرفته، ارتباط مستقیم و مثبتی میان افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و افزایش بیوسنتز ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین در پاسخ به تیمار براسینواستروئیدها وجود دارد (Ahmed et al., 2013). به گزارش کو و همکاران (Kou et al., 2023) تیمار براسینولید از طریق تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و افزایش در بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنلی و آنتوسیانین میوه هلو (*Prunus persica* L. Batsch) ارقام 'Baifeng' و 'Weiduanmihong' موجب بهبود کیفیت ظاهری محصول شد. نتایج جی و همکاران (Ge et al., 2015) نشان داد که افزایش در فعالیت آنزیم‌های مسیر بیوسنتز ترکیبات فنلی از جمله



## تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنتی اکسیدانی کل

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی کل میوه توت فرنگی در پایان دوره نگهداری (۱۰ روز در دمای  $1 \pm 1$  درجه سانتی گراد و ۲۴ ساعت در شرایط دمای اتاق) داشت و مطابق شکل ۳، بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی کل در نمونه های تیمار شده با ۲۴- اپی براسینولید سه میکرومولار مشاهده شد. تأثیر براسینوآستروئیدها و آنالوگ های آن در افزایش میزان متابولیت های ثانویه و فعالیت آنتی اکسیدانی کل میوه های ماندارین (Gutierrez-Villamil et al., 2023)، پرتقال خونی (Habibi et al., 2021) کلم بروکلی (Brassica oleracea L. var. italica) (Fang et al., 2021) میوه کارامبولا (Averrhoa carambola) (Min et al., 2022) و انار (Islam et al., 2022) در دوره پس از برداشت توسط محققان گزارش شده است.

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و افزایش میزان فنل کل و فلاونوئید کل میوه های هلو در پاسخ به تیمار پس از برداشت براسینولید موجب حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه هلو شد. بیوسنتز و تجمع متابولیت های ثانویه در پاسخ به تنظیم کننده های رشد گیاهی منجر به افزایش ترکیبات زیست فعال در محصولات باغی می شود که افزایش این ترکیبات علاوه بر تأثیر مثبتی که بر کیفیت محصولات باغی دارند، همچنین ارزش تغذیه ای و آنتی اکسیدانی محصول را نیز بهبود می بخشد، چرا که محصولات باغی غنی از ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی، آنتوسیانین ها و سایر ترکیبات با خاصیت آنتی اکسیدانی هستند. براساس نتایج به دست آمده از این آزمایش می توان نتیجه گرفت که کاربرد پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید به عنوان محرک خارجی تأثیر مثبت بر افزایش فعالیت آنزیم های فنیل آلانین آمونیالیز و تیروزین آمونیالیز به عنوان آنزیم های مؤثر در مسیر بیوسنتزی ترکیبات فنلی داشت که همین امر منجر به افزایش در بیوسنتز و تجمع ترکیباتی از جمله فنل کل (شکل a ۱)، فلاونوئید کل (شکل b ۱) و آنتوسیانین کل (شکل c ۱) میوه های توت فرنگی در پایان دوره نگهداری نسبت به نمونه شاهد شد.

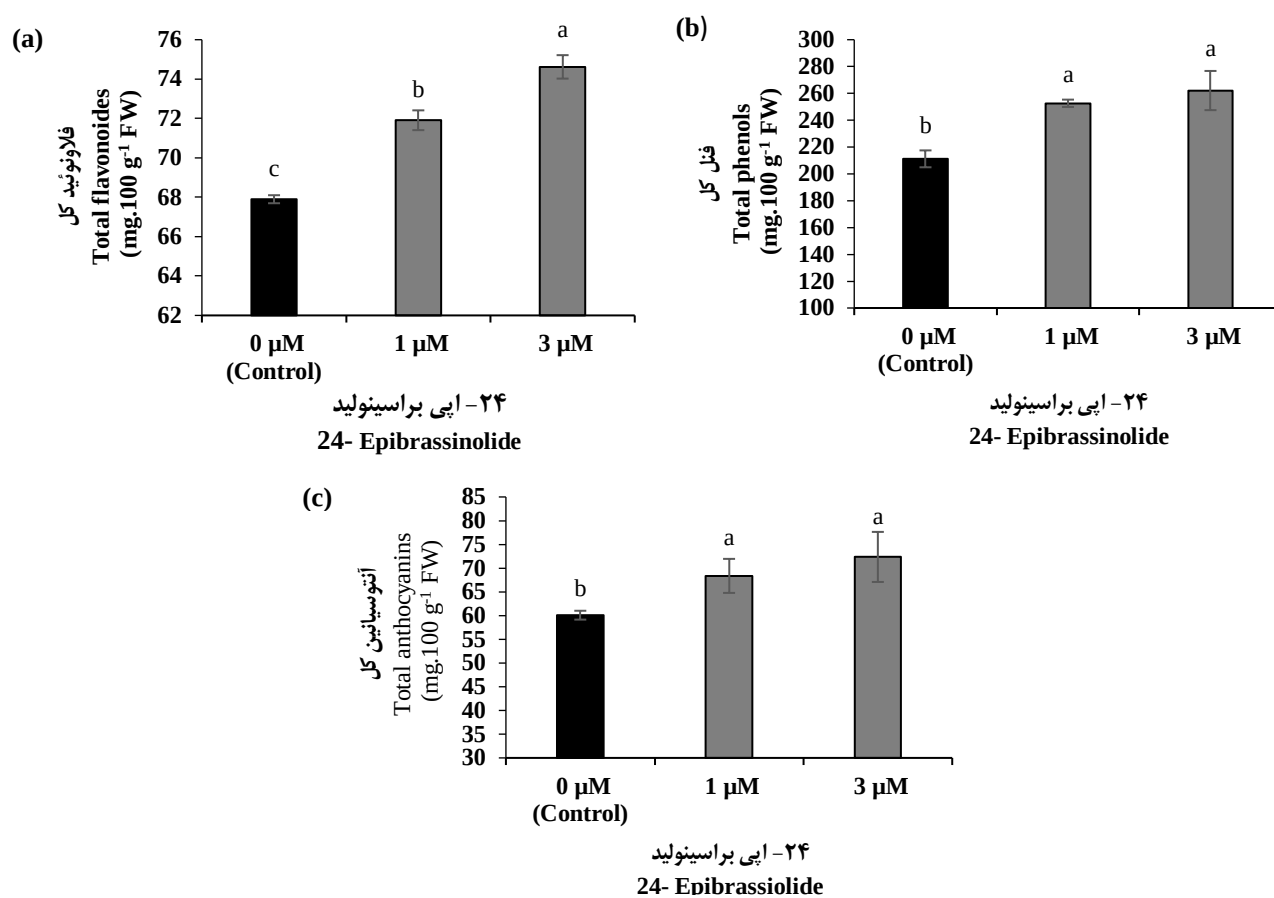
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد ۲۴- اپی براسینولید بر صفات مورد ارزیابی میوه توت فرنگی رقم 'مونتری'

Table 2- ANOVA for the effect of 24- Epibrassinolide application on the evaluated traits of strawberry cv. Monterey fruit

| منابع تغییرات<br>S.O.V                    | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean squares                   |                                                             |                                                                   |                                                         |                                        |                                      |
|-------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
|                                           |                     | فعالیت<br>کل<br>Total<br>antioxidant<br>activity | آنزیم تیروزین<br>آمونیا لیز<br>Tyrosine<br>ammonia<br>lyase | آنزیم فنیل آلانین<br>آمونیا لیز<br>Phenylalanine<br>ammonia-lyase | آنتی اکسیدانی<br>کل<br>Total<br>antioxidant<br>activity | آنتوسیانین کل<br>Total<br>anthocyanins | فلاونوئید کل<br>Total<br>flavonoides |
| ۲۴- اپی براسینولید<br>24- Epibrassinolide | 2                   | 101.9**                                          | 942478**                                                    | 32484156**                                                        | 240.2**                                                 | 2201.8**                               | 34.30**                              |
| خطا<br>Error                              | 6                   | 2.41                                             | 12191                                                       | 1111100                                                           | 17.0                                                    | 86.8                                   | 0.21                                 |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                    |                     | 2.80                                             | 1.58                                                        | 5.89                                                              | 6.31                                                    | 3.85                                   | 0.65                                 |
| منابع تغییرات<br>S.O.V                    | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean squares                   |                                                             |                                                                   |                                                         |                                        |                                      |
|                                           |                     | شاخص طعم<br>Taste                                | بازارپسندی<br>Marketability                                 | سفتی<br>Firmness                                                  | مواد جامد محلول<br>TSS                                  | اسیدیته قابل<br>تیتراسیون<br>TA        | pH                                   |
| ۲۴- اپی براسینولید<br>24- Epibrassinolide | 2                   | 24.09**                                          | 0.194**                                                     | 0.0017**                                                          | 0.820**                                                 | 0.0012*                                | 0.0053*                              |
| خطا (Error)<br>(Error)                    | 6                   | 0.27                                             | 0.0                                                         | 0.0001                                                            | 0.009                                                   | 0.0002                                 | 0.0005                               |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                    |                     | 3.08                                             | 0.0                                                         | 8.51                                                              | 2.11                                                    | 4.98                                   | 0.72                                 |

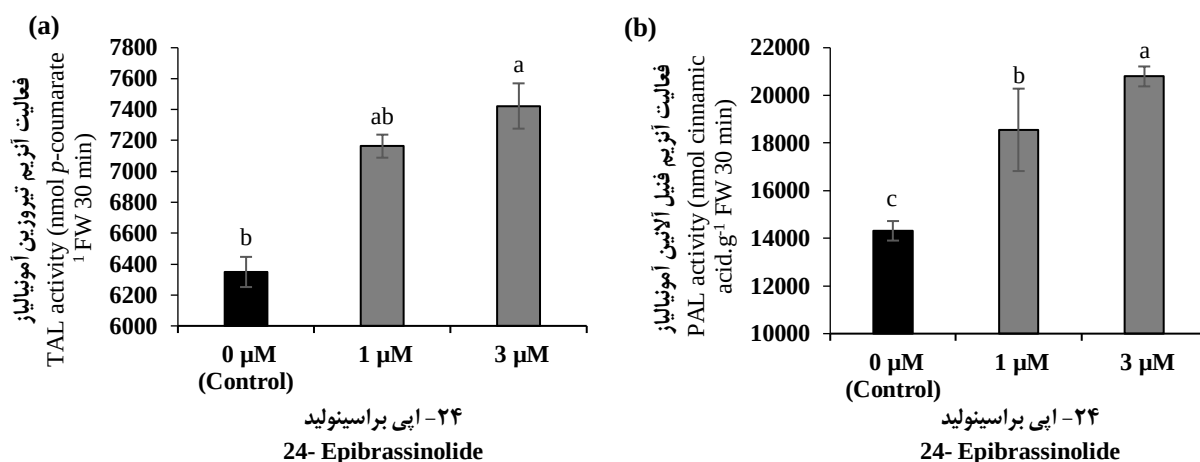
\*\* و \*: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

\*\* and \*: significant at  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$ , respectively



شکل ۱- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر میزان فنل کل (a)، فلاونوئید کل (b) و آنتوسیانین کل (c) میوه توت فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 1- Effect of 24- Epibrassinolide on total phenols (a), total flavonoids (b) and total anthocyanins (c) of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT,  $p \leq 0.01$ )

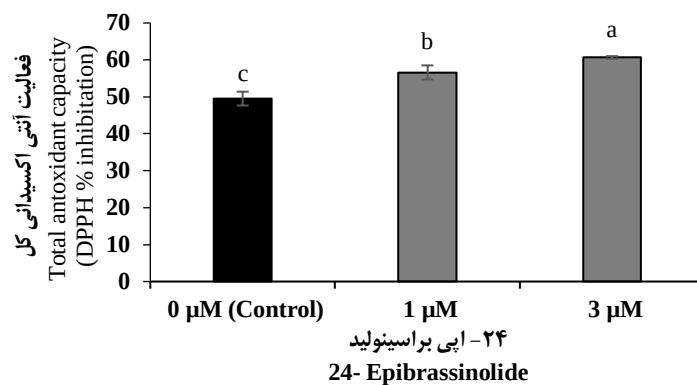


شکل ۲- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) (a) و آنزیم تیروزین آمونیا لیاز (TAL) (b) میوه توت فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 2- Effect of 24- Epibrassinolide on the phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and tyrosine ammonia-lyase (TAL) activities of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT,  $p \leq 0.01$ )

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متابولیت‌های ثانویه نظیر فنل کل ( $r=0.89$ )، فلاونوئید ( $r=0.947$ ) و آنتوسیانین کل ( $r=0.85$ ) با فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه توت‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد وجود دارد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌ها و سبزیجات به‌طور کلی بیان‌کننده غلظت ترکیبات زیست‌فعال نظیر اسید آسکوربیک، توکوفرول، کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی می‌باشد (Pennington & Fisher, 2009). مطابق نتایج جدول ضریب همبستگی (جدول ۳)،



شکل ۳- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 3- Effect of 24- Epibrassinolide on total antioxidant activity of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT,  $p \leq 0.01$ )

جدول ۳- جدول ضریب همبستگی بین بازارپسندی (Mark)، فنل کل (TPs)، فلاونوئید کل (TFs)، آنتوسیانین کل (TAs)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAA)، آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز (PAL)، تیروزین آمونیا لایاز (TAL)، pH، اسیدیته کل (TA)، مواد جامد محلول (TSS)، طعم (Taste) و سفتی (Firmness) در میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری'

Table 3- Correlation coefficient among marketability (Mark), total phenols (TPs), total flavonoids (TFs), total anthocyanin (TAs), total antioxidant activity (TAA), phenylalanine ammonia-lyase (PAL), tyrosine ammonia-lyase (TAL), pH, total acidity (TA), total soluble solids (TSS), taste index and firmness of strawberry cv. Monterey fruit

|          | Mark    | TPs                 | TFs     | TAs                | TAA                | PAL     | TAL                | pH                 | TA                  | TSS                | Taste  | Firmness |
|----------|---------|---------------------|---------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------|----------|
| Mark     | 1       |                     |         |                    |                    |         |                    |                    |                     |                    |        |          |
| TPs      | 0.93**  | 1                   |         |                    |                    |         |                    |                    |                     |                    |        |          |
| TFs      | 0.98**  | 0.91**              | 1       |                    |                    |         |                    |                    |                     |                    |        |          |
| TAs      | 0.90**  | 0.87**              | 0.84**  | 1                  |                    |         |                    |                    |                     |                    |        |          |
| TAA      | 0.96**  | 0.89**              | 0.97**  | 0.85**             | 1                  |         |                    |                    |                     |                    |        |          |
| PAL      | 0.95**  | 0.85**              | 0.91**  | 0.84**             | 0.89**             | 1       |                    |                    |                     |                    |        |          |
| TAL      | 0.92**  | 0.83**              | 0.89**  | 0.85**             | 0.90**             | 0.93**  | 1                  |                    |                     |                    |        |          |
| pH       | 0.75*   | 0.76*               | 0.67*   | 0.78**             | 0.62 <sup>ns</sup> | 0.76*   | 0.59 <sup>ns</sup> | 1                  |                     |                    |        |          |
| TA       | -0.80** | -0.59 <sup>ns</sup> | -0.79** | -0.70*             | -0.74*             | -0.81** | -0.74*             | -0.65*             | 1                   |                    |        |          |
| TSS      | 0.85**  | 0.92**              | 0.80**  | 0.84**             | 0.80**             | 0.81**  | 0.74*              | 0.87**             | -0.53 <sup>ns</sup> | 1                  |        |          |
| Taste    | 0.96**  | 0.89**              | 0.92**  | 0.89**             | 0.89**             | 0.94**  | 0.86**             | 0.87**             | -0.83**             | 0.90**             | 1      |          |
| Firmness | 0.86**  | 0.75*               | 0.90**  | 0.64 <sup>ns</sup> | 0.88**             | 0.84**  | 0.76*              | 0.53 <sup>ns</sup> | -0.81**             | 0.58 <sup>ns</sup> | 0.79** | 1        |

<sup>ns</sup>، \*\* و \* : به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

<sup>ns</sup>، \*\* and \*: non-significant, significant at  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$ , respectively

۴b) در دوره پس از برداشت داشت. اسید سیتریک، اسید غالب میوه توت‌فرنگی بوده و حدود ۹۰ درصد از محتوای اسیدیته کل میوه توت‌فرنگی مربوط به اسید سیتریک می‌باشد. اسیدهای آلی تأثیر مستقیمی بر طعم محصول باغی دارند. در عین حال موجب تنظیم pH سلولی شده و می‌توانند نمود رنگدانه‌ها در بافت گیاهی را تحت تأثیر قرار

#### تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر شاخص‌های کیفی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید نقش مؤثری در افزایش pH (شکل ۴a) و میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی (شکل ۴c) و کاهش میزان اسیدیته کل (اسیدیته قابل تیتراسیون) میوه‌ها (شکل

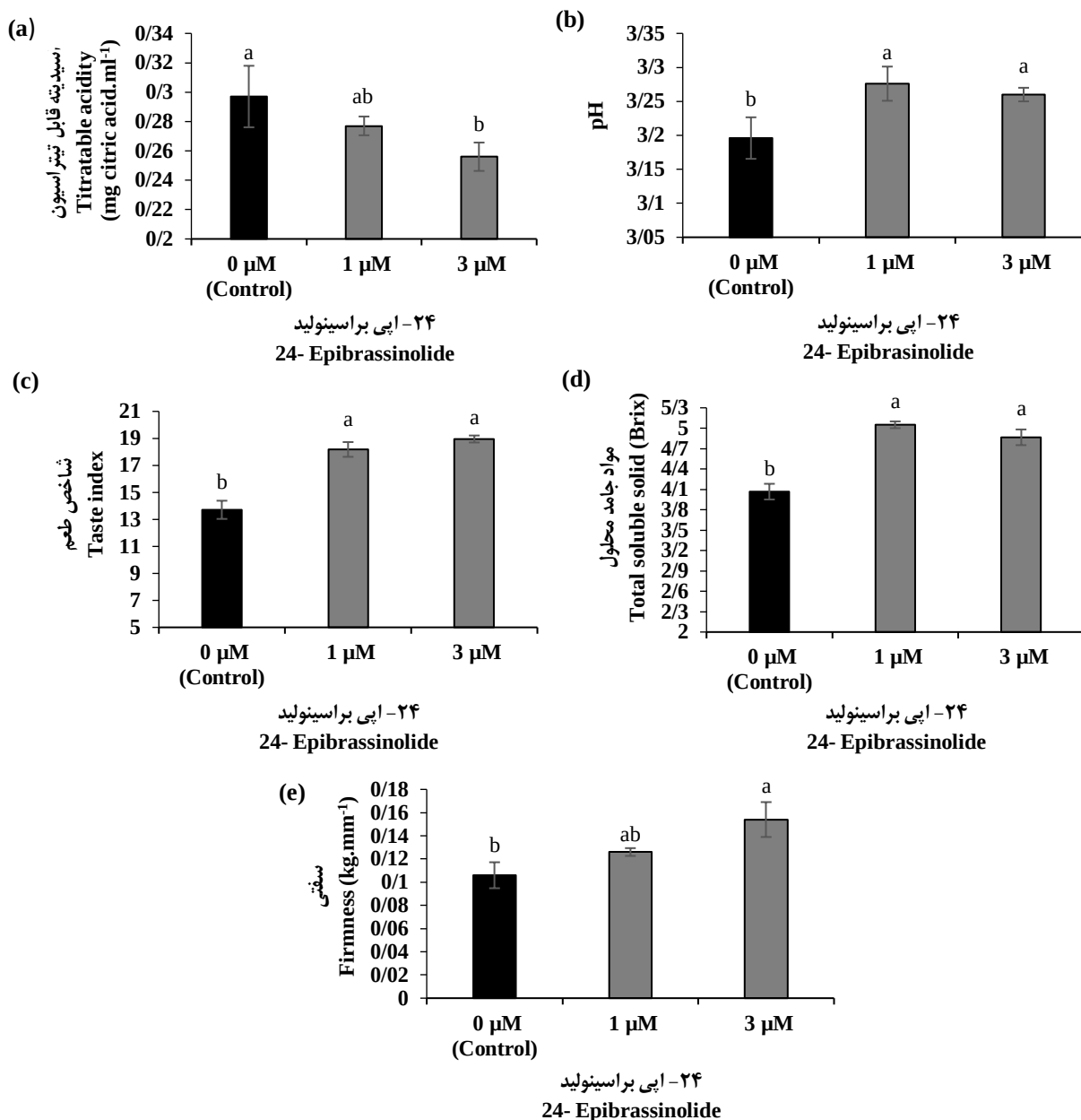
دهند (Montero et al., 1996). براسینوئیدها از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیوشیمیایی از قبیل رنگ، طعم و میزان ترکیبات زیست‌فعال، کیفیت و ماندگاری محصولات باغی را در دوره پس از برداشت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Gutierrez-Villamil et al., 2023). همچنین مطابق نتایج علی و همکاران (Ali et al., 2022)، کاربرد براسینوئید در غلظت‌های یک، دو و سه میکرومولار موجب افزایش pH و کاهش اسیدیته کل میوه توت‌فرنگی شد. همچنین براسینوئید در غلظت‌های یک و سه میکرومولار موجب افزایش میزان مواد جامد محلول و در غلظت دو میکرومولار موجب کاهش میزان مواد جامد محلول شد (Ali et al., 2022). کاربرد خارجی براسینوئیدها می‌تواند فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی محصولات باغی را در دوره پس از برداشت تحت تأثیر قرار دهد و به دلیلی نقشی که در تنظیم بیان ژن، مهار حساسیت به هورمون‌های پیری، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی، تحریک بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه و حفظ تمامیت غشاء سلولی دارد، موجب حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی در دوره پس از برداشت شود که از آن جمله می‌توان به بهبود متابولیسم رنگدانه‌ها، ممانعت از فعالیت آنزیم‌های قهوه‌ای شدن نظیر پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز، به تأخیر انداختن نرم شدن بافت میوه به دلیل جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده دیواره سلولی، تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و تنظیم انرژی در سلول‌ها، مهار فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز و فسفالیپاز D، مهار نشت الکترولیتی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی که حفظ یکپارچگی غشا سلولی را به همراه دارد، اشاره کرد. مجموع این عوامل موجب مهار تنش اکسیداتیو در محصولات باغی برداشت‌شده می‌شود که از توسعه علائم مربوط به پیری و زوال محصول باغی جلوگیری کرده و در نتیجه حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی را به همراه دارد (Ali et al., 2019; Xiang et al., 2021).

نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته کل به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی طعم (شیرینی-ترشی) در محصولاتی نظیر پرتقال و توت-فرنگی لحاظ می‌شود (Ikegaya et al., 2019; Zhou et al., 2018). که این شاخص به‌عنوان یک شاخص کیفی مهم در جهت ارتقاء خواص حسی محصول و جلب رضایت مصرف‌کنندگان مورد توجه می‌باشد. در این پژوهش به دلیل تأثیری که ۲۴- اپی براسینوئید در کاهش میزان اسیدیته و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی در پایان دوره نگهداری داشته است موجب شده است که میوه‌های تیمار شده طعم (TSS/TA) بهتری نسبت به نمونه شاهد داشته باشند (شکل ۲ d).

سفتی یکی از ویژگی‌های مکانیکی محصولات باغی می‌باشد که تأثیر مستقیم بر کیفیت خوراکی و در نتیجه پذیرش محصول از طرف مصرف‌کنندگان دارد. همچنین حساسیت محصول به پوسیدگی‌ها و آلودگی‌های میکروبی، سائیدگی‌ها و سایر آسیب‌های مکانیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Diarte et al., 2022). سفتی بافت میوه توت-فرنگی در طی دوره نگهداری کاهش پیدا می‌کند و استفاده از روش‌های مختلف نگهداری، پوشش‌های خوراکی و الیستورها می‌توانند تأثیر معنی‌داری در حفظ سفتی بافت میوه توت‌فرنگی در دوره پس از برداشت داشته باشند (Doving et al., 2005). در این پژوهش، ۲۴- اپی براسینوئید سه میکرومولار تأثیر مثبت و معنی‌داری بر حفظ سفتی بافت میوه توت‌فرنگی داشت ( $p < 0.01$ ). طبق گزارش Ahamad و همکاران (Ahamad et al., 2024) تیمار پس از برداشت براسینوئید با غلظت ۱۰ میکرومولار موجب حفظ کیفیت، کاهش شدت تنفس و حفظ سفتی بافت میوه فلفل دلمه‌ای شد. همچنین تأثیر تیمار براسینوئید در حفظ سفتی و افزایش ماندگاری میوه لیمو لایم *Citrus latifolia* ارقام 'Tahiti' و 'Persian lime' (Tavallali, 2018) و انگور *Vitis vinifera* cv. Rish Baba (Pakkish et al., 2019) توسط محققان گزارش شده است. از طرف دیگر، کاربرد براسینوئید در برخی از محصولات تأثیر متفاوتی نشان داده است، به‌طوری‌که موجب تسریع فرآیند رسیدن و نرم شدن بافت میوه در برخی محصولات فرازگرا نظیر خرمالو (*Diospyros kaki* L.) (He et al., 2018) و انبه (*Magnifera indica* L.) (Zaharah et al., 2012) شده است. فرآیند کاهش سفتی و یا نرم شدن بافت میوه، پروسه‌ای بسیار پیچیده و دقیق می‌باشد که توسط مجموعه‌ای از واکنش‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، مولکولی و تغییرات متابولیکی کنترل می‌شوند و تمامی این فعالیت‌ها در ارتباط کامل با هم بوده و از طرفی تحت تأثیر عوامل خارجی از جمله شرایط محیطی (دما، نور و رطوبت) قرار می‌گیرند. بنابراین هرگونه تغییر در متابولیسم دیواره سلولی (به دلیل فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی و تغییر در ساختار دیواره سلولی)، هورمون‌های گیاهی (نظیر اتیلن، اسید آسبیزیک، اکسین، براسینوئیدها و ...)، فاکتورهای رونویسی (MADS-Box, AP2/ERF, NAC, MYB, BZR, ...) و تغییرات اپی ژنتیک (متیلاسیون DNA، دمتیلاسیون هیستون‌ها و استیلاسیون هیستون‌ها) می‌تواند موجب تغییر در میزان سفتی بافت میوه شود (Peng et al., 2022). تحقیقات انجام‌گرفته نشان می‌دهد که براسینوئیدها پتانسیل خوبی در ممانعت از فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده دیواره سلولی نظیر پکتین متیل استراز، پلی گالاکتوناز،  $\beta$ -گالاکتوزیداز و پکتین لیاز دارند. از طرف دیگر، افزایش میزان پروتوپکتین، یون کلسیم و پکتین

افزایش پکتین محلول در آب و پکتین محلول-یونی و با جلوگیری از تضعیف پیوند کووالانسی پکتین از فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده دیوار سلولی جلوگیری کرده و در عین حال مانع بیان ژن‌های آنزیم‌های هضم‌کننده دیواره سلولی شده است (Li et al., 2023).

دیواره سلولی در پاسخ به تیمار براسینواستروئیدها در طی دوره رشدونمو محصول از دلایل دیگر نقش براسینواستروئیدها در افزایش سفتی بافت محصولات باغی گزارش شده است (Peng et al., 2004). در دوره پس از برداشت، تیمار براسینواستروئید با ممانعت از

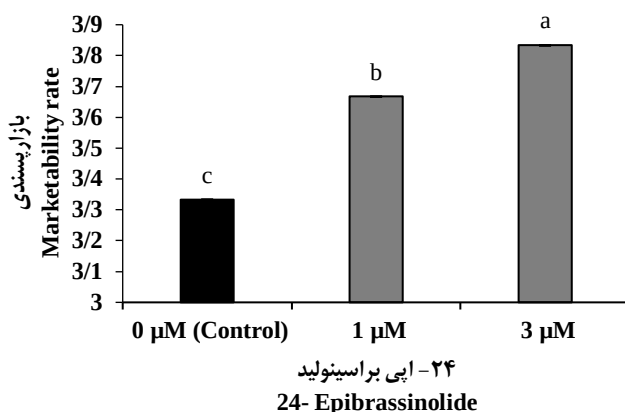


شکل ۴- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر pH (a) و اسیدیته قابل تیتراسیون (b) ( $p \leq 0.05$ ) و میزان مواد جامد محلول (c)، شاخص طعم (d) و سفتی (e) ( $p \leq 0.01$ ) میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 4- Effect of 24- Epibrassinolide on pH (a) and titratable acidity (b) ( $p \leq 0.05$ ), and total soluble solid (c), taste index (d) and firmness (e) ( $p \leq 0.01$ ) of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT)

## تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر بازارپسندی

مطابق جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت 24-EBL تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در پایان دوره نگهداری داشت (جدول ۲). رنگ، سفتی و انسجام ساختاری محصول، عاری بودن از علائم پوسیدگی، عدم پژمردگی، عطر و طعم مطلوب محصول عواملی هستند که بر بازارپسندی محصول و در نتیجه بر تصمیم مصرف‌کنندگان برای خرید یک محصول با کیفیت تأثیر مستقیم دارند. افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در خصوص استفاده از ترکیبات سالم و دوستدار



شکل ۵- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر میزان بازارپسندی میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 5- Effect of 24- Epibrassinolide on the marketability of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT,  $p \leq 0.01$ )

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید موجب افزایش غلظت ترکیبات فنلی میوه توت‌فرنگی شد که این افزایش هم‌راستا با افزایش فعالیت آنزیم‌های مهم در مسیر بیوسنتز ترکیبات فنلی بود. افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه همبستگی مثبت با افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی داشت. همچنین بازارپسندی میوه توت فرنگی در پایان دوره نگهداری متأثر از شاخص‌های کیفی و متابولیت‌های ثانویه بود.

بنابراین استفاده از ۲۴- اپی براسینولید روشی مؤثر در جهت بهبود کیفیت خواص حسی و بهبود ارزش تغذیه‌ای میوه توت‌فرنگی به‌عنوان محصولی پرمصرف و با ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای بالا می‌باشد.

## سپاسگزاری

از حمایت مالی و معنوی دانشگاه ارومیه در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## References

1. Aghdam, M.S., Palma, J.M., & Corpas, F.J. (2020). NADPH as a quality footprinting in horticultural crops marketability. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.002>
2. Ahamad, S., Asrey, R., Vinod, B.R., Meena, N.K., Menaka, M., Prajapati, U., & Saurabh, V. (2024). Maintaining postharvest quality and enhancing shelf-life of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) using brassinosteroids: A novel approach. *South African Journal of Botany*, 169, 402-412. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.049>
3. Ahammed, G.J., Zhou, Y.H., Xia, X.J., Mao, W.H., Shi, K., & Yu, J.Q. (2013). Brassinosteroid regulates secondary metabolism in tomato towards enhanced tolerance to phenanthrene. *Biologia Plantarum*, 57(1), 154-158. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0128-9>



4. Ali, M.M., Anwar, R., Malik, A.U., Khan, A.S., Ahmad, S., Hussain, Z., Hasan, M.U., Nasir, M., & Chen, F. (2022). Plant growth and fruit quality response of strawberry is improved after exogenous application of 24-epibrassinolide. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4), 1786-1799. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10422-2>
5. Ali, S., Anjum, M.A., Nawaz, A., Naz, S., Hussain, S., & Ejaz, S. (2019). Effects of brassinosteroids on postharvest physiology of horticultural crops: A concise review. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(3), 62-68.
6. Beaudoin-Eagan, L.D., & Thorpe, T.A. (1985). Tyrosine and phenylalanine ammonia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, 78(3), 438-441. <https://doi.org/10.1104/pp.78.3.438>
7. Bellincontro, A., De Santis, D., Botondi, R., Villa, I., & Mencarelli, F. (2004). Different postharvest dehydration rates affect quality characteristics and volatile compounds of Malvasia, Trebbiano and Sangiovese grapes for wine production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 1791-1800. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1889>
8. Cao, S., Hu, Z., Zheng, Y., Yang, Z., & Lu, B. (2011). Effect of BTH on antioxidant enzymes, radical-scavenging activity and decay in strawberry fruit. *Food Chemistry*, 125(1), 145-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.051>
9. Carlos, E., Lerma, T.A., & Martínez, J. M. (2021). Phytohormones and plant growth regulators—a review. *Journal of Science with Technological Applications*, 10, 27-65. <https://doi.org/10.34294/j.jsta.21.10.66>
10. Chai, Y.M., Zhang, Q., Tian, L., Li, C.L., Xing, Y., Qin, L., & Shen, Y.Y. (2013). Brassinosteroid is involved in strawberry fruit ripening. *Plant Growth Regulation*, 69, 63–69. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9747-6>
11. Cheng, G.W., & Breen, P.J. (1991). Activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(5), 865-869. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.5.865>
12. Chun, O.K., Kim, D.O., Moon, H.Y., Kang, H.G., & Lee, C.Y. (2003). Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(25), 7240-7245. <https://doi.org/10.1021/jf0343579>
13. de Pascual-Teresa, S., & Sanchez-Ballesta, M.T. (2008). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry reviews*, 7, 281-299. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9074-0>
14. Diarte, C., Iglesias, A., Graell, J., & Lara, I. (2022). Firmness and cell wall changes during maturation of 'Arbequina' olive fruit: The impact of irrigation. *Horticulturae*, 8(10), 872. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100872>
15. Doving, A., Mage, F., & Vestrheim, S. (2005). Methods for testing strawberry fruit firmness: a review. *Small Fruits Review*, 4(2): 11-34. [https://doi.org/10.1300/J301v04n02\\_03](https://doi.org/10.1300/J301v04n02_03)
16. Fang, H., Zhou, Q., Cheng, S., Zhou, X., Wei, B., Zhao, Y., & Ji, S. (2021). 24-epibrassinolide alleviates postharvest yellowing of broccoli via improving its antioxidant capacity. *Food chemistry*, 365, 130529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130529>
17. Ferguson, L., & Lessenger, J.E. (2006). Plant growth regulators. *Agricultural Medicine: A Practical Guide*, 156-166. [https://doi.org/10.1007/0-387-30105-4\\_15](https://doi.org/10.1007/0-387-30105-4_15)
18. Ge, Y.H., Li, C.Y., Tang, R.X., Sun, R.H., & Li, J.R. (2015). Effects of postharvest brassinolide dipping on quality parameters and antioxidant activity in peach fruit. In *III International Symposium on Postharvest Pathology: Using Science to Increase Food Availability*, 1144, 377-384. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1144.56>
19. Gutierrez-Villamil, D.A., Balaguera-López, H.E., & Alvarez-Herrera, J.G. (2023). Brassinosteroids improve postharvest quality, antioxidant compounds, and reduce chilling injury in 'Arrayana' mandarin fruits under cold storage. *Horticulturae*, 9(6), 622. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060622>
20. Habibi, F., Serrano, M., Zacarias, L., Valero, D., & Guillen, F. (2021). Postharvest application of 24-epibrassinolide reduces chilling injury symptoms and enhances bioactive compounds content and antioxidant activity of blood orange fruit. *Frontiers in Plant Science*, 12, 629733. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.629733>
21. He, Y., Li, J., Ban, Q., Han, S., & Rao, J. (2018). Role of brassinosteroids in persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 2637-2644.
22. Hu, W., Sarengaowa, Guan, Y., & Feng, K. (2022). Biosynthesis of phenolic compounds and antioxidant activity in fresh-cut fruits and vegetables. *Frontiers in Microbiology*, 13, 906069. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.906069>
23. Ikegaya, A., Toyozumi, T., Ohba, S., Nakajima, T., Kawata, T., Ito, S., & Arai, E. (2019). Effects of distribution of sugars and organic acids on the taste of strawberries. *Food Science & Nutrition*, 7(7), 2419-2426. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1109>
24. Islam, M., Ali, S., Nawaz, A., Naz, S., Ejaz, S., Shah, A.A., & Razzaq, K. (2022). Postharvest 24-epibrassinolide treatment alleviates pomegranate fruit chilling injury by regulating proline metabolism and antioxidant activities. *Postharvest Biology and Technology*, 188, 111906. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111906>

25. Kelly, K., Whitaker, V.M., & do Nascimento Nunes, M.C. (2016). Physicochemical characterization and postharvest performance of the new Sensation®'Florida127' strawberry compared to commercial standards. *Scientia Horticulturae*, 211, 283-2. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.012>
26. Khatoon, F., Kundu, M., Mir, H., & Nandita, K. (2023). Exogenous Brassinolide Application Improves Growth, Yield and Quality of Strawberry Grown in the Subtropics. *Erwerbs-Obstbau*, 65(6), 2271-2279. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00981-x>
27. Khripach, V., Zhabinskii, V., & de Groot, A. (2000). Twenty years of brassinosteroids: steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of botany*, 86(3), 441-447. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1227>
28. Kou, Y., Ren, J., Ma, Y., Guo, R., Shang, J., Qiu, D., & Ma, C. (2023). Effects of Exogenous Substances Treatment on Fruit Quality and Pericarp Anthocyanin Metabolism of Peach. *Agronomy*, 13(6), 1489. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061489>
29. Lester, G.E., Lewers, K.S., Medina, M.B., & Saftner, R.A. (2012). Comparative analysis of strawberry total phenolics via Fast Blue BB vs. Folin-Ciocalteu: Assay interference by ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.003>
30. Li, J., Guo, T., Guo, M., Dai, X., Xu, X., Li, Y., Song, Z., & Liang, M., (2023). Exogenous BR delayed peach fruit softening by inhibiting pectin degradation enzyme genes. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1226921. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1226921>
31. Li, S., Zheng, H., Lin, L., Wang, F., & Sui, N. (2021). Roles of brassinosteroids in plant growth and abiotic stress response. *Plant Growth Regulation*, 93, 29-38. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00672-7>
32. Luan, L.Y., Zhang, Z.W., Xi, Z.M., Huo, S.S., & Ma, L.N. (2013). Brassinosteroids regulate anthocyanin biosynthesis in the ripening of grape berries. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 34(2), 196-203.
33. Ma, F., An, Z., Yue, Q., Zhao, C., Zhang, S., Sun, X., Li, K., Zhao, L., & Su, L. (2022). Effects of brassinosteroids on cancer cells: A review. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 36(6), e23026. <https://doi.org/10.1002/jbt.23026>
34. Min, Z., Jiang, L., Zhao, Y., Wang, X., Liu, Q., & Zhang, Y. (2022). Effects of 24-epibrassinolide on the postharvest quality and antioxidant activities of blueberry fruits. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/01140671.2022.2128828>
35. Montero, T.M., Molla, E.M., Esteban, R.M., & Lopez-Andreu, F.J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(96\)00892-8](https://doi.org/10.1016/0304-4238(96)00892-8)
36. Nolan, T.M., Vukašinović, N., Liu, D., Russinova, E., & Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *The Plant Cell*, 32(2), 295-318. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00335>
37. Pakkish, Z., Ghorbani, B., & Najafzadeh, R. (2019). Fruit quality and shelf life improvement of grape cv. Rish Baba using Brassinosteroid during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 967-975. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-0011-2>
38. Peng, Z., Liu, G., Li, H., Wang, Y., Gao, H., Jemrić, T., & Fu, D. (2022). Molecular and genetic events determining the softening of fleshy fruits: a comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20), 12482. <https://doi.org/10.3390/ijms232012482>
39. Peng, J., Tang, X., & Feng, H. (2004). Effects of brassinolide on the physiological properties of litchi pericarp (Litchi chinensis cv. nuomoci). *Scientia Horticulturae*, 101(4), 407-416. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.11.012>
40. Pennington, J.A., & Fisher, R.A. (2009). Classification of fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, S23-S31. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.11.012>
41. Pereira-Netto, A. B. (Ed.). (2012). *Brassinosteroids: practical applications in agriculture and human health*. ebook, Curitiba- PR, Brazil, Bentham Science Publishers.
42. Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of plant growth regulation*, 34, 845-872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
43. Sanchez-Ballesta, M.T., Maoz, I., & Figueroa, C.R. (2022). Secondary metabolism and fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1072193. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1072193>
44. Simkova, K., Veberic, R., Grohar, M.C., Pelacci, M., Smrke, T., Ivancic, T., Medic, A., Cvelbar Weber, N., & Jakopic, J. (2024). Changes in the Aroma Profile and Phenolic Compound Contents of Different Strawberry Cultivars during Ripening. *Plants*, 13(10), 1419. <https://doi.org/10.3390/plants13101419>
45. Simpson, D. (2018). The economic importance of strawberry crops. *The genomes of rosaceous berries and their wild relatives*, 1-7. Compendium of plant genomes. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76020-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76020-9_1)
46. Singh, B., Singh, J.P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109114>

47. Song, Y., Hu, C., Xue, Y., Gu, J., He, J., & Ren, Y. (2022). 24-epibrassinolide enhances mango resistance to *Colletotrichum gloeosporioides* via activating multiple defense response. *Scientia Horticulturae*, 303, 111249. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111249>
48. Tang, J., Han, Z., & Chai, J. (2016). Q&A: what are brassinosteroids and how do they act in plants? *BMC biology*, 14, 1-5. <https://doi.org/10.1186/s12915-016-0340-8>
49. Tavallali, V. (2018). Vacuum infiltration of 24-epibrassinolide delays chlorophyll degradation and maintains quality of lime during cold storage. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 17: 35-48. <https://doi.org/10.24326/asphc.2018.1.4>
50. Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., De Vos, C.R., Capanoglu, E., Bovy, A. & Battino, M. (2008). Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 56(3), 696-704. <https://doi.org/10.1021/jf0719959>
51. Xiang, W., Wang, H.W., & Sun, D.W. (2021). Phytohormones in postharvest storage of fruit and vegetables: mechanisms and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(18), 2969-2983. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1864280>
52. Yadav, R.K., Devi, L.L., & Singh, A.P. (2023). Brassinosteroids in plant growth and development. In *Plant Hormones in Crop Improvement*, pp. 185-203. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91886-2.00004-5>
53. Yang, N., Zhou, Y., Wang, Z., Zhang, Z., Xi, Z., & Wang, X. (2023). Emerging roles of brassinosteroids and light in anthocyanin biosynthesis and ripeness of climacteric and non-climacteric fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(20), 4541-4553. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2004579>
54. Zhang, S.R., Li, C.Y., Xu, H.P., Liu, J.Q., & Ge, Y.H. (2023). Effect of postharvest brassinolide treatment on phenylpropanoid pathway and cell wall degradation in peach fruits. *Food Science*, 44(21), 175-179. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20230203-031>
55. Zaharah, S.S., Singh, Z., Symons, G.M., & Reid, J.B. (2012). Role of brassinosteroids, ethylene, abscisic acid, and indole-3- acetic acid in mango fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31, 363-372. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9245-5>
56. Zahedipour-Sheshglani, P., & Asghari, M. (2020). Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. *Scientia Horticulturae*, 268, 109376. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109376>
57. Zhou, Y., He, W., Zheng, W., Tan, Q., Xie, Z., Zheng, C., & Hu, C. (2018). Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars. *Food Chemistry*, 259, 278-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.102>
58. Zhu, X., Chen, Y., Li, J., Ding, X., Xiao, S., Fan, S., Song, Z., Chen, W., & Li, X. (2021). Exogenous 2, 4-epibrassinolide treatment maintains the quality of carambola fruit associated with enhanced antioxidant capacity and alternative respiratory metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 12, 678295. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.678295>

Research Article

Vol. 39, No. 3, Fall 2025, p. 471-487

## Evaluation of the Effectiveness of Iceberg Lettuce (*Lactuca sativa* var. Bruma Rz) Yield from Interaction of Cover Crops and Hand-Weeding

F. Ahmadnia<sup>1</sup>, A. Ebadi<sup>1\*</sup>, M. Hashemi<sup>2</sup>

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Stockbridge School of Agriculture, Soil Sciences, University of Massachusetts Amherst, Massachusetts, USA

(\*- Corresponding author's Email: [ebadi@uma.ac.ir](mailto:ebadi@uma.ac.ir))

Received: 21 October 2024

Revised: 16 February 2025

Accepted: 17 March 2025

Available Online: 17 March 2025

### How to cite this article:

Ahmadnia, F., Ebadi, A., & Hashemi, M. (2025). Evaluation of the effectiveness of Iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. Bruma Rz) yield from interaction of cover crops and hand-weeding. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 471-487. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90386.1386>

### Introduction

The most significant reduction of the commercial value and quality of leafy crops, such as lettuce, is primarily caused by weeds. The most common weeds in lettuce fields include Lambs quarters (*Chenopodium album* L.), Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). Although using chemical inputs is considered a successful method in weed control, the risk of accumulating chemical contamination in plants and reducing human health by using these products increased the idea of using safe and environmentally friendly methods. Cover crops are an environmentally friendly strategy for controlling weeds in agricultural fields, offering numerous environmental benefits. Rye (*Secale cereale* L.) and chickling pea (*Lathyrus sativus*) are well-known worldwide cover crops. Many studies have mentioned them for their ability to control weeds, improve soil conditions, and release nutrients. Also, hand-weeding is known as one of the simple but expensive weed control methods. In our study, we aimed to explore how rye and chickling pea cover crop residues, when used in monoculture and intercropping systems, can help reduce the need for hand-weeding and improve the yield of Iceberg lettuce, considering the importance of weed control in leafy products.

### Materials and Methods

In the spring of 2020, an experiment was conducted using a factorial design base of RCBD with three replications. The experimental treatments included monoculture and intercropping of rye (*Secale cereal* L.), and chickling pea (*Lathyrus sativus*) cover crops, control (without cover crops), and additionally, different levels of hand-weeding were implemented (once, twice, and no hand-weeding). The amount of seed used for the rye and chickling pea monoculture was 100 and 25 kg.ha<sup>-1</sup>, respectively. For intercropping, 50% of the recommended seed was used. F1 Iceberg lettuce (Bruma Rz.) seeds were planted in a mixture of peat moss and perlite in a 1:5 ratio. Due to the short growing season in Ardabil (20°48' E and 19°38' N), the growth of cover crops was terminated 67 days after the sowing date using paraquat. Then, lettuce seedlings were transplanted manually by 25 × 25 cm inter-row spacing. Hand weeding was conducted at three different stages: once 15 days after transplanting, twice at 15 and 30 days after transplanting, and not at all at the time of lettuce harvest. In this experiment, in addition to investigating the dry weight of cover crops and weeds, weed control efficiency index and fresh yield and lettuce yield components such as number of leaves, plant height, crown diameter, and head diameter were measured.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90386.1386>

## Results and Discussion

The results indicated that the highest dry weight of cover crops was obtained from the rye monoculture ( $530.59 \pm 30.15 \text{ g.m}^{-2}$ ), followed by intercropping ( $400.21.43 \pm 10.37 \text{ g.m}^{-2}$ ). The lowest dry weight of *Chenopodium album* L. and *Anchusa italica* Retz. weeds ( $0 \text{ g.m}^{-2}$ ) were recorded in intercropping with one- and two-times hand-weeding. The dry weight of *Sinapis arvensis* L. in intercropping once, twice, and without hand-weeding, rye and chickling pea monoculture without hand-weeding was  $0 \text{ g.m}^{-2}$ . The lowest total weed dry weight was found in the intercropping of cover crops with once hand-weeding. The highest weed control efficiency indexes (100, 86.95, and 87.72) were observed with intercropping by once and twice hand-weeding, and chickling pea monoculture without hand-weeding. The highest yield of Iceberg lettuce ( $3.70 \pm 0.82 \text{ kg.m}^{-2}$ ) was achieved by intercropped cover crops without hand-weeding. The maximum number of leaves ( $21.55 \pm 2.69$  and  $21.44 \pm 1.01$ ), crown diameter ( $4.15 \pm 0.13$  and  $4.18 \pm 0.23 \text{ cm}$ ), and head diameter ( $20.22.12 \pm 2$  and  $22.65 \pm 2.22 \text{ cm}$ , respectively) were obtained from the chickling pea monoculture and intercropping.

## Conclusion

The effectiveness of using cover crop residues for weed control depends largely on the quantity of their dry weight. In the treatments without hand weeding, the rye monoculture and intercropping reduced the dry weight of weeds. The presence of cover crop residues reduced weed growth, although hand-weeding was still a more effective method of weed control in vegetables. However, the results highlighted the impact of cover crop dry weight on reducing hand-weeding for lettuce. In terms of increasing the yield of iceberg lettuce, rye intercropping, and chickling pea were favorable for the Ardabil region's climatic conditions.

## Acknowledgment

The authors would like to express their gratitude to the Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources at the University of Mohaghegh Ardabili, Iran, for their financial support.

**Keywords:** Biomass, Density, Fresh weight, Intercropping, Weed control efficiency

ارزیابی تأثیرپذیری عملکرد کاهوی آیسبرگ (*Lactuca sativa* var. *Bruma* Rz) از برهم کنش

## بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی

فاطمه احمدنیا<sup>1</sup> - علی عبادی<sup>1\*</sup> - مسعود هاشمی<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 1403/07/30

تاریخ پذیرش: 1403/12/27

## چکیده

بیشترین کاهش ارزش تجاری و کیفیت محصولات برگی از جمله کاهو (*Lactuca sativa* L.) ناشی از حضور علف‌های هرز در مزارع است. استفاده از نهاده‌های شیمیایی یک روش موفق در مهار علف‌های هرز محسوب می‌گردد، اما خطر تجمع نهاده‌های شیمیایی در بافت‌های گیاهی و کاهش سلامت انسان موجب افزایش استفاده از روش‌های ایمن و سازگار با محیط زیست شده است. گیاهان پوششی یکی از راهبردهای سازگار با محیط زیست برای مهار علف‌های هرز در مزارع هستند. این آزمایش در بهار سال 1398 به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت خالص و مخلوط گیاهان پوششی چاودار (*Secale cereal* L.)، خلر (*Lathyrus sativus*)، شاهد (بدون کشت گیاهان پوششی) و سطوح وجین دستی علف‌های هرز (یک بار، دو بار و بدون وجین دستی) بود. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک گیاهان پوششی (530/59 گرم در مترمربع) از کشت خالص چاودار حاصل شد. کمترین وزن خشک کل علف‌های هرز متعلق به کشت مخلوط گیاهان پوششی با یک بار وجین دستی بود. بیشترین عملکرد کاهوی آیسبرگ (3/70 کیلوگرم در مترمربع) در کشت مخلوط بدون وجین دستی و بیشترین تعداد برگ (21/55 و 21/44)، قطر طوقه (4/15 و 4/18 سانتی‌متر) و قطر تاج (به ترتیب 22/12 و 22/65 سانتی‌متر) از کشت خالص خلر و کشت مخلوط به دست آمد. نتایج این آزمایش بر تأثیر میزان وزن خشک گیاهان پوششی بر کاهش تعداد دفعات وجین دستی علف‌های هرز و بهبود عملکرد در محصولات برگی تأکید داشت.

واژه‌های کلیدی: تراکم، زیست‌توده، کارایی کنترل علف‌های هرز، کشت مخلوط، وزن تر

## مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa* L.) گیاهی متعلق به خانواده Asteraceae است که به دلیل ارزش غذایی بالا یک سبزی بسیار مهم در رژیم غذایی انسان در سراسر جهان محسوب می‌گردد (Santos-Naressi et al., 2022). این گیاه سرشار از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بوده و به عنوان پرمصرف‌ترین سبزی برگ‌دار در جهان شناخته شده است (Urbano et al., Baudoin et al., 2017). رقم آیسبرگ از انواع کاهوهای تولیدشده در جهان به دلیل خوش‌خوراکی و ماندگاری بالا پس از برداشت تا زمان عرضه به بازار فروش در بین انواع کاهوهای بازارپسند دنیا در رتبه دوم قرار دارد (Kist et al., 2020). عوامل بسیاری بر عملکرد کاهو مؤثر هستند که مهم‌ترین آن‌ها شامل اثر تداخل علف‌های هرز و رقابت برای نور، عناصر غذایی و آزادسازی ترکیبات دگرآسیب از علف‌های هرز است (Riva et al., 2021; Casadei et al., 2020). علف‌های هرز و آثار رقابتی آن‌ها می‌تواند بر استحکام برگ، محتوای نیترات و کاروتن در کاهو تأثیرگذار باشد (Riva et al., Giannopolitis et al., 1989).

استاندارد بالای کیفیت در محصولات کشاورزی از جمله سبزی‌ها یکی از مهم‌ترین تقاضاهای روز جامعه است و علف‌های هرز یکی از عوامل کاهنده عملکرد کمی و کیفی اغلب محصولات کشاورزی هستند. توسعه بوم‌نظام‌های زراعی امروزه متکی بر مصرف علف‌کش‌های شیمیایی است که موجب ایجاد مقاومت در علف‌های هرز و کاهش سلامت انسان و محیط زیست می‌گردد (Ghorbani et al., 2025; Parven et al., 2025).

1- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
2- گروه علوم خاک، استاک بریج، دانشگاه ماساچوست، ماساچوست، آمریکا  
(Email: ebadi@uma.ac.ir)  
(\*) نویسنده مسئول:  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90386.1386>



(2023).

مدیریت علف‌های هرز همیشه یکی از دغدغه‌های کشاورزان تولیدکننده کاهو بوده است (Fennimore et al., 2014). شایع‌ترین علف‌های هرز در مزارع کاهو شامل سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)، تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) و خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) است (Shem-Tov et al., 2020). پژوهشگران گزارش کردند که تداخل علف‌های هرز می‌توانند باعث کاهش 30 الی 40 درصدی عملکرد کاهو شوند (Casadei et al., Giancotti et al., 2010). روش‌های مختلفی از جمله روش‌های مکانیکی، فیزیکی، زراعی، زیستی و شیمیایی برای مهار علف‌های هرز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Azadbakht & Alebrahim, 2017). با این حال با توجه به محدودیت علف‌کش‌های ثبت‌شده برای کاهو و خطر تجمع سموم در بافت‌های گیاهی، بیشترین میزان مهار علف‌های هرز وابسته به نیروی انسانی است (Riva et al., 2023). وجین دستی یکی از روش‌های مهار فیزیکی است که از دیرباز مورد استفاده کشاورزان خرده‌پا بوده که منجر به مهار درصد بالایی از علف‌های هرز می‌گردد (Tiwari et al., 2022). این در حالی است که این روش مهار اغلب افزایش هزینه‌های تولید را برای کشاورز در پی دارد و به همین دلیل رغبت افزایش سطح تولید این محصول در میان کشاورزان کاهش یافته است. با این حال در بسیاری از مطالعات گزارش شده است که وجین دستی علف‌های هرز ابزار قدرتمندی برای کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز است (Kumar et al., 2017; Dutta et al., 2016; Gidesa & Kebede, 2018). برای مثال، پژوهشگران گزارش کردند که تراکم کاشت مناسب و یک بار وجین دستی در مرحله سه الی چهار برگی ذرت<sup>1</sup> منجر به افزایش عملکرد 2/01 تنی ذرت می‌شود (Thiem et al., 2020). در بررسی دیگری، پژوهشگران گزارش کردند که کشت خالص یولاف زراعی (*Avena sativa* L.) به همراه وجین دستی علف‌های هرز منجر به افزایش عملکرد اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) در دو مرحله برداشت اسفناج ریز<sup>2</sup> و برداشت نهایی شد (Ahmadnia et al., 2024a).

اثربخشی گیاهان پوششی بر سیستم‌های کشاورزی اهمیت بسیاری در گسترش نظام‌های کشاورزی پایدار دارد و اثر آن بر اقتصاد مزرعه یکی از مهم‌ترین انگیزه‌های استفاده از گیاهان پوششی در سیستم‌های کشاورزی پایدار است (Bergtold et al., 2017). به‌طور کلی، مزیت‌های استفاده از گیاهان پوششی در مقابل هزینه‌های اولیه تهیه بذر، کاشت و مدیریت‌های زراعی شامل افزایش عملکرد

محصولات کشاورزی (Blanco-Canqui et al., 2012)، فرصت‌های چرا و تأمین علوفه برای دام (Planisich et al., 2021)، مهار علف‌های هرز و کاهش هزینه علف‌کش‌ها (Plastina et al., 2020) می‌باشد. بقایای حاصل از گیاهان پوششی علاوه بر بهبود بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، استقرار و جوانه‌زنی علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پژوهشگران اظهار داشتند که حضور بقایای گیاهی در سطح خاک با کاهش نوسانات دمایی و جلوگیری از نفوذ نور (Sias et al., 2021)، خاصیت دگرآسیبی (Sturm et al., 2018)، رقابت بین‌گونه‌ای برای جذب منابع غذایی (Lemessa & Wakjira, 2015) و ایجاد لایه خفه‌کننده از طریق تسریع فرآیند بسته‌شدن تاج‌پوشش گیاهی (Osipitan et al., 2018) موجب کاهش جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز می‌گردد. پژوهشگران در بررسی اثر گیاهان پوششی تابستانه و تاریخ کاشت کاهو گزارش کردند که تمام گیاهان پوششی مورد آزمایش منجر به سرکوب علف‌های هرز و افزایش عملکرد کاهو رقم آدریانا<sup>3</sup> شدند (Kruse & Nair, 2016). در بررسی دیگر پژوهشگران گزارش کردند که گیاهان پوششی در کشت‌های مخلوط و کشت خالص در مقایسه با شاهد منجر به افزایش عملکرد کاهو از طریق بهبود ویژگی‌های خاک و مهار علف‌های هرز شد (Ghahremani et al., 2020). همچنین در این پژوهش گزارش شد که گیاهان پوششی خلر (*Lathyrus sativus* L.) و گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* L.) عملکرد کاهو را 17/8 درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند (Ghahremani et al., 2020).

گسترش روز افزون استفاده از سموم و علف‌کش‌های شیمیایی و اثرات جبران‌ناپذیر آن بر سلامت انسان و محیط زیست، تفکر بهره‌گیری از گیاهان پوششی در مهار علف‌های هرز را در پی داشت که منجر به انجام پژوهشی با عنوان ارزیابی تأثیرپذیری عملکرد کاهوی آیسبرگ از برهم‌کنش بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی شد. فرضیه اولیه بر این اساس بود که گیاهان پوششی با تولید وزن خشک بیشتر، مهار مؤثرتری از علف‌های هرز را خواهند داشت و منجر به کاهش تعداد دفعات وجین دستی و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کاهوی آیسبرگ خواهند شد.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثربخشی بقایای گیاهان پوششی و سطوح وجین دستی علف‌های هرز بر عملکرد کاهوی آیسبرگ (*Lactuca sativa* var. Bruma Rz) آزمایشی در بهار و تابستان سال 1398 (10

1- Vegetable corn

2- Baby spinach

3- Adriana

اردیبهشت الی سه شهریور 1398) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با ارتفاع 1350 متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی 20° 48' طول شرقی و 19° 38' عرض شمالی با شرایط آب‌وهوایی سرد و نیمه‌خشک اجرا شد. برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی و شرایط اقلیمی در سال زراعی در **جدول‌های 1 و 2** ارائه شده است. آزمایش به صورت طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در کرت‌های به ابعاد 3×9 متر اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل حفظ بقایای گیاهان پوششی چاودار (*Secale cereal* L.)، خلر (*Lathyrus sativus* L.)، کشت مخلوط آن‌ها و شاهد و سطوح مختلف وجین دستی علف‌های هرز به صورت یک بار وجین دستی، دو بار وجین دستی و بدون وجین دستی بود. گیاهان پوششی در 10 اردیبهشت 1398 با فواصل بین ردیف 20 سانتی‌متر به صورت دستی کشت شدند. بذر گیاهان پوششی از موسسه پاکان بذر اصفهان تهیه شد. میزان بذر مصرفی برای کشت خالص چاودار و خلر به ترتیب 100 و 25 کیلوگرم در هکتار و برای کشت مخلوط 50 درصد بذر توصیه شده در نظر گرفته شد (Ahmadnia et al., 2020a). کشت مخلوط گیاهان پوششی به صورت کشت مخلوط ردیفی بود. بلافاصله پس از کاشت گیاهان پوششی آبیاری انجام شد. هیچ نوع کوددهی در طول دوران رشد رویشی گیاهان پوششی صورت نگرفت. وزن خشک گیاهان پوششی و علف‌های هرز با رعایت اثر حاشیه‌ای با استفاده از کودارات 50×50 سانتی‌متری در تاریخ 15 تیر 1398 انجام شد. نمونه‌های علف‌های هرز پس از تفکیک گونه‌ای و نمونه‌های گیاهان پوششی در آن آزمایشگاهی به مدت 48 ساعت در دمای 75 درجه سانتی‌گراد خشک و سپس با استفاده از ترازوی با دقت 0/01 توزین شدند. به دلیل کوتاهی فصل رشد در شهرستان اردبیل و ایجاد فرصت کافی برای رشد محصول اصلی (کاهوی آیسبرگ) با استفاده از علف‌کش پاراکوات به میزان سه لیتر در هکتار به رشد گیاهان پوششی در 16 تیر 1398 خاتمه داده شد و بقایای حاصل از آن‌ها در سطح خاک رها شدند (Ahmadnia et al., 2021a). بذر کاهوی آیسبرگ F<sub>1</sub> رقم (Bruma Rz.) از شرکت سپاهان رویش تهیه گردید. همزمان با دوران رشد رویشی گیاهان پوششی، نشاء کاهوی آیسبرگ در بستری از پیت‌ماس و پرلیت به نسبت 1:5 در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد. پس از خاتمه دادن به

رشد گیاهان پوششی، نشاء کاهو در مرحله چهار الی شش برگی در تاریخ 30 تیر 1398 پس از گذشت دوره کارنس علف‌کش پاراکوات (هفت الی 10 روز) به زمین اصلی منتقل و در بین بقایای گیاهان پوششی کشت گردید. تراکم کاشت نشاء کاهوی آیسبرگ براساس 16 بوته در مترمربع با فواصل 25×25 سانتی‌متر در بین بقایای گیاهان پوششی در نظر گرفته شد. وجین دستی علف‌های هرز به صورت یک بار وجین دستی (15 روز پس از انتقال نشاء)، دو بار وجین دستی (15 و 30 روز پس از انتقال نشاء) و بدون وجین دستی (تا زمان برداشت عملکرد کاهو) صورت گرفت. نمونه‌برداری از محصول کاهو با احتساب اثر حاشیه‌ای به صورت برداشت چهار بوته به صورت تصادفی از کرت‌های آزمایشی انجام شد و میانگین آن‌ها مبنای محاسبات عملکرد و اجزای عملکرد کاهوی آیسبرگ در نظر گرفته شد. ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش، قطر طوقه و تاج‌پوشش به وسیله قطرسنج معمولی و تعداد برگ کاهو به روش تخریبی اندازه‌گیری شدند.

شاخص کارایی مهار علف‌های هرز با استفاده از معادله (1) محاسبه شد (Rajput & Kasana, 2019).

$$\text{Weed control efficiency} = \frac{(DWC - DWT)}{DWC} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، DWC: بیانگر وزن خشک علف‌های هرز در شاهد و DWT: وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای گیاهان پوششی است.

**تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:** تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS v.9.4، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد و ترسیم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Excel 2019 انجام شد.

## نتایج و بحث

### وزن خشک گیاهان پوششی و علف‌های هرز: نتایج

تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک گیاهان پوششی و علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (**جدول 3**). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک گیاهان پوششی از تیمار کشت خالص چاودار (530/59 ± 30/15 گرم در مترمربع) و کشت مخلوط آن با خلر (400/21/43 ± 10/37 گرم در مترمربع) حاصل شد (**جدول 3**). کشت خالص خلر (251/76/21 ± 17/48 گرم در مترمربع) کمترین وزن خشک را داشت (**شکل 1**).

جدول 1- برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی

Table1- Some soil characteristics of the experimental field

| پتاسیم<br>قابل جذب<br>Potassium | فسفر قابل<br>جذب<br>Phosphorus | نیتروژن<br>Nitrogen | کربن آلی<br>Organic C | کلسیم کربنات<br>Calcium carbonate | بافت<br>Texture | رس<br>Clay | سیلت<br>Silt | شن<br>Sand | هدایت<br>الکتریکی<br>EC<br>(dS.m <sup>-1</sup> ) | pH  |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------|------------|--------------|------------|--------------------------------------------------|-----|
| (mg.kg <sup>-1</sup> )          |                                |                     | (%)                   |                                   |                 |            | (%)          |            |                                                  |     |
| 202                             | 8.2                            | 0.06                | 0.6                   | 14.5                              | Loam            | 23         | 42           | 35         | 2.6                                              | 7.8 |

جدول 2- اطلاعات هواشناسی محل آزمایش در سال 1398

Table 2- Climatic information of the experimental site in year 2020 .

|                                  | بارش<br>Precipitation<br>(mm) | میانگین درجه حرارت<br>Temperature means<br>(°C) |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| اردیبهشت<br>21 April-21 May      | 29.5                          | 12.4                                            |
| خرداد<br>22 May-21 June          | 13.0                          | 17.6                                            |
| تیر<br>22 June-22 July           | 0.1                           | 18.8                                            |
| مرداد<br>23 July-22 August       | 0.0                           | 19.7                                            |
| شهریور<br>23 August-22 September | 18.8                          | 16.3                                            |

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس وزن خشک گیاهان پوششی و علف‌های هرز در مزرعه کاهوی آیسبرگ

Table 3- ANOVA results for dry weight of cover crops and weeds in the Iceberg lettuce field

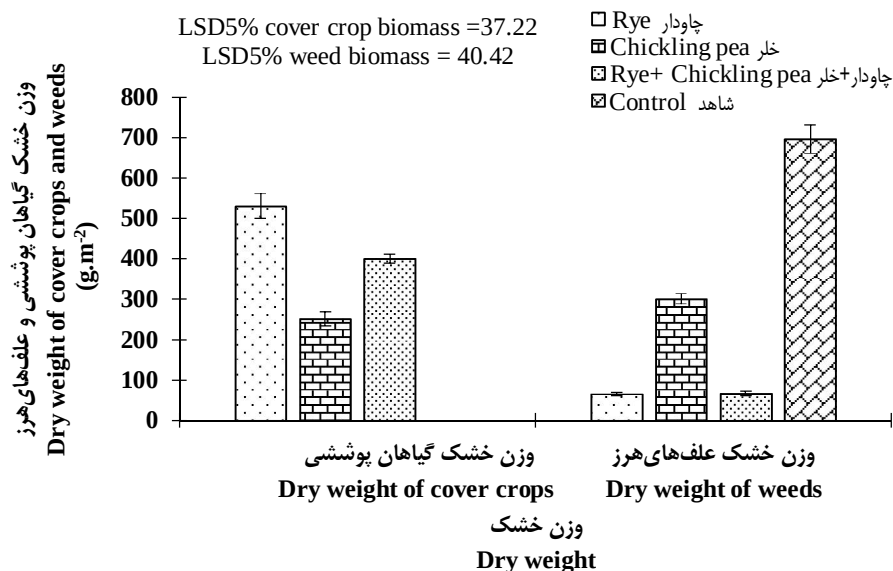
| منابع تغییرات<br>S.O.V      | درجه آزادی<br>df | وزن خشک علف‌های هرز<br>Dry weight of weeds | وزن خشک گیاهان پوششی<br>Dry weight of cover crops |
|-----------------------------|------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| بلوک<br>Block               | 2                | 226.04 <sup>ns</sup>                       | 281.17 <sup>ns</sup>                              |
| گیاهان پوششی<br>Cover crops | 3                | 265426.02 <sup>**</sup>                    | 155464.55 <sup>**</sup>                           |
| خطای آزمایشی<br>Error       | 6                | 409.46                                     | 347.09                                            |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)      | -                | 7.16                                       | 6.30                                              |

\*\* و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری.

\*\* and ns: significant at 1% of probability level, and non-significant, respectively.

به‌دست آمد (شکل 1). کشت خالص چاودار و کشت مخلوط آن با خلر دارای کمترین وزن خشک علف‌های هرز ( $4/34 \pm 65/05$  و  $5/83 \pm 66/60$  گرم در مترمربع) بودند (شکل 1). نتایج ارزیابی کاشت گیاهان پوششی در مقابل عدم کاشت آن‌ها نیز نشان داد که کشت خالص چاودار، کشت خالص خلر و کشت مخلوط آن‌ها در مقایسه با شاهد سبب کاهش به ترتیب 90/65، 56/72 و 90/43 درصدی وزن خشک علف‌های هرز شد (شکل 1). مجیدی و همکاران (Majidi et al., 2018) گزارش کردند که کشت گیاهان پوششی علف‌پشمکی (*Bromus tomentellus* L.) و علف‌بره (*Festuca arundinacea*) علاوه بر تولید زیست‌توده بیشتر نسبت به سایر تیمارها، موجب کاهش معنی‌دار تراکم و وزن خشک مجموع علف‌های هرز شد، به‌طوری‌که گیاهان پوششی توانستند جمعیت علف‌های هرز را از نظر تنوع و فراوانی کاهش دهند. پژوهشگران گزارش کردند که کشت خالص چاودار باعث کاهش 44، 60 و 52 درصدی علف‌های هرز سلمه‌تره، تاج‌خروس و خردل وحشی می‌شود (Ahmadnia et al., 2020b).

کاهش وزن خشک در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص چاودار می‌تواند ناشی از کاهش مقدار بذر مصرفی باشد، به‌طوری‌که میزان بذر مصرفی خلر در مقابل چاودار برابر با نسبت 1:4 است و کاهش این مقدار به 50 درصد در کشت مخلوط از عوامل اصلی کاهش وزن خشک در کشت مخلوط است. برای مثال احمدنیا و همکاران (Ahmadnia et al., 2021a) در ارزیابی کشت گیاهان پوششی یولاف و خلر گزارش کردند که بیشترین وزن خشک گیاهان پوششی از کشت خالص یولاف و پس از آن از کشت مخلوط یولاف و خلر حاصل شد. در بررسی دیگر، پژوهشگران گزارش کردند که بیشترین زیست‌توده گیاهان پوششی در دو سال زراعی از تک‌کشتی چاودار (397 و 473 گرم در مترمربع) حاصل شد (Ahmadnia et al., 2020b). آن‌ها دلیل عدم زیست‌توده بالا در کشت مخلوط را عدم استفاده مطلوب از سودمندی‌های کشت مخلوط توسط دو گونه مورد بررسی دانستند (Ahmadnia et al., 2020b). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک علف‌های هرز در حضور سبز گیاهان پوششی از شاهد  $35/33 \pm 696/23$  گرم در مترمربع



شکل 1- تغییرات وزن خشک گیاهان پوششی و علف‌های هرز در مزرعه کاهوی آیسبرگ  
Figure 1- Dry weight variations of cover crops and weeds in the Iceberg lettuce field

درصد کاهش یافت (جدول 5). اگرچه وجین دستی علف‌های هرز اثر قابل توجهی در کاهش وزن خشک علف‌های هرز داشت؛ اما با توجه به وزن خشک حاصل از گیاه پوششی چاودار در کشت خالص و کشت مخلوط آن با خلر احتمال می‌رود که بقایای گیاهان پوششی در سطح خاک از طریق کاهش نفوذ نور، افزایش نوسانات رطوبتی و همچنین رهاسازی ترکیبات دگرآسیب (Jabran, 2017) سبب کاهش جوانه‌زنی علف‌هرز سلمه‌تره شده باشند. کاهش زیست‌توده سلمه‌تره در اثر تک-کشتی چاودار با یک و دو بار وجین دستی و کشت مخلوط آن با ماشک‌گل خوشه‌ای پیش‌تر نیز گزارش شده است (Ahmadnia et al., 2021b). علاوه بر این گزارش شده است که ترکیباتی مانند  $BOA^2$  و  $DIBOA^1$  از ساقه چاودار استخراج شدند، که اثر سمیت بیشتری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در مقایسه با ترکیبات  $MBOA^3$  جداسازی‌شده از ریشه چاودار داشتند (Clifford et al., 2005).

**وزن خشک علف‌هرز گاوزبان بدل:** بیشترین وزن خشک علف‌هرز گاوزبان بدل از شاهد بدون وجین دستی ( $155/2 \pm 4/57$  گرم در مترمربع) و کمترین وزن خشک آن از کشت مخلوط چاودار و خلر با یک و دو بار وجین دستی (صفر گرم در مترمربع)، شاهد با یک بار وجین دستی ( $13/3 \pm 0/88$  گرم در مترمربع) و کشت خالص چاودار با دو بار و بدون وجین دستی (به‌ترتیب  $13/9 \pm 0/37$  و  $1/72$  گرم در مترمربع) و کمترین و بیشترین وزن خشک

همچنین پژوهشگران در بررسی دیگر گزارش کردند که کشت مخلوط چاودار و خلر باعث کاهش 90 درصدی زیست‌توده خردل وحشی در گیاه کلم قمری (*Brassica oleracea Gongylodes*) شد (Ahmadnia et al., 2019). در بررسی دیگر، پژوهشگران گزارش کردند که کشت مخلوط چاودار و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) باعث کاهش 83/24 درصدی زیست‌توده کل علف‌های هرز گردید (Ahmadnia et al., 2021b).

**اثر بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی بر وزن خشک علف‌های هرز در کاهو:** علف‌های هرز غالب شناسایی‌شده در مزرعه شامل سلمه‌تره، گاوزبان‌بدل (*Anchusa italic* Retz) و خردل وحشی بودند. همچنین سایر علف‌های هرز شامل تاج‌خروس ریشه‌قرمز، کنگر وحشی (*Cirsium arvense* L.) و پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.) بودند. نتایج نشان داد که برهم‌کنش بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی علف‌های هرز بر وزن خشک علف‌های هرز در مقایسه با شاهد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 4).

**وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره:** بیشترین و کمترین وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره به‌ترتیب از تیمار شاهد بدون وجین دستی ( $329/7 \pm 25/23$  گرم در مترمربع) و کشت مخلوط چاودار و خلر با یک بار وجین دستی (صفر گرم در مترمربع) به دست آمد (جدول 5). همچنین نتایج نشان داد که وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره در کشت خالص چاودار با یک بار وجین دستی و کشت مخلوط چاودار و خلر بدون وجین دستی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب 89/44 و 88/20

1 2,4-dihydroxy-1,4(2H)-benzoxazin-3-one  
2- 2(3H)-benzoxazolinone  
3- 6-Methoxy-2-benzoxazolinone

$\pm 17/7$  گرم در مترمربع) به دست آمد (جدول 5).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس وزن خشک علف‌های هرز تحت تأثیر برهم کنش گیاهان پوششی و وجین دستی در مزرعه پرورش کاهوی آیسبرگ  
Table 4- ANOVA results for the percentage of weed dry weight reduction as affected by cover crops and hand weeding of the Iceberg lettuce field

| منابع تغییرات<br>S.O.V                                   | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>Mean squares            |                                             |                                           |                                    | وزن خشک کل علف‌های هرز<br>Total dry weight of<br>weeds | کارایی مهار علف‌های هرز<br>Weed control<br>efficiency |
|----------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                          |                     | سلمه‌تره<br><i>Chenopodium album</i><br>L | گاوزبان بدل<br><i>Achusa italic</i><br>Retz | خردل وحشی<br><i>Sinapis arvensis</i><br>L | سایر<br>علف‌های هرز<br>Other weeds |                                                        |                                                       |
| بلوک<br>Block                                            | 2                   | 95.79 <sup>ns</sup>                       | 2.24 <sup>ns</sup>                          | 6.61 <sup>ns</sup>                        | 1.80 <sup>ns</sup>                 | 147.36 <sup>ns</sup>                                   | 69.72 <sup>ns</sup>                                   |
| گیاهان پوششی<br>Cover crops                              | 2                   | 22653.09 <sup>**</sup>                    | 3351.71 <sup>**</sup>                       | 4888.90 <sup>**</sup>                     | 776.85 <sup>**</sup>               | 71345.89 <sup>**</sup>                                 | 5500.34 <sup>**</sup>                                 |
| وجین دستی<br>Hand weeding                                | 2                   | 61925.65 <sup>**</sup>                    | 12054.51 <sup>**</sup>                      | 2716.14 <sup>**</sup>                     | 1850.01 <sup>**</sup>              | 125734.63 <sup>**</sup>                                | 4981.65 <sup>**</sup>                                 |
| گیاهان پوششی × وجین دستی<br>Cover crops× hand<br>weeding | 4                   | 18071.12 <sup>**</sup>                    | 4387.03 <sup>**</sup>                       | 1107.59 <sup>**</sup>                     | 1195.94 <sup>**</sup>              | 40340.38 <sup>**</sup>                                 | 3341.54 <sup>**</sup>                                 |
| خطای آزمایشی<br>Error                                    | 16                  | 54.62                                     | 5.36                                        | 15.67                                     | 4.07                               | 115.85                                                 | 50.93                                                 |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                   | -                   | 13.81                                     | 6.47                                        | 13.08                                     | 14.37                              | 8.05                                                   | 13.16                                                 |

بیشترین درصد کاهش (91/39 درصد) در اثر بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی در مقایسه با شاهد از کشت مخلوط چاودار و خلر بدون وجین دستی حاصل شد (جدول 5)؛ که نشان می‌دهد در شاهد انجام یک بار وجین دستی علف‌های هرز سبب کاهش قابل توجه وزن خشک علف‌هرز گاوزبان بدل در مقایسه با شرایط بدون وجین در همان تیمار شد. کمترین درصد کاهش وزن خشک علف‌هرز گاوزبان بدل (50/33 درصد) نیز در کشت مخلوط چاودار و خلر بدون وجین دستی در مقایسه با شاهد بدون وجین دستی ثبت شد (جدول 5). این در حالی است که کشت خالص خلر با یک بار و دو بار وجین دستی علف‌های هرز در مقایسه با بدون وجین دستی در همان تیمار، به ترتیب 11/85 و 26/81 درصد وزن خشک گاوزبان بدل را کاهش داد (جدول 5). کشت خالص خلر بدون وجین دستی در مقایسه با شاهد بدون وجین دستی موجب 74/67 درصد کاهش وزن خشک علف‌هرز گاوزبان بدل شد (جدول 5). اگرچه وجین دستی علف‌های هرز یکی از مؤثرترین روش‌های مهار علف‌های هرز است؛ اما حضور بقایای گیاهان پوششی نیز در شرایط بدون وجین دستی علف‌های هرز حتی با وجود زیست‌توده اندک، اثر معنی‌داری بر کاهش علف‌هرز گاوزبان بدل داشت. شاید یکی از دلایل این امر، وجود خاصیت دگرآسیبی در گیاه پوششی خلر باشد (Khan et al., 2015). برای مثال، در بررسی اثر آللوپاتیک عصاره ریشه خلر بر جوانه‌زنی عدس (*Lens culinaris* L.)، پژوهشگران گزارش کردند که افزایش غلظت عصاره ریشه خلر بر طول ساقه و ریشه عدس معنی‌دار بود. در این پژوهش، نتایج تجزیه و تحلیل LCMS/MS عصاره متانولی، بیانگر بازدارندگی ترکیبات فنولی عصاره ریشه خلر بر شاخص‌های طولی رشد گیاهچه عدس تأکید داشت (Akmal et al., 2023).

**وزن خشک خردل وحشی:** نتایج نشان داد که وزن خشک خردل وحشی در تیمارهای کشت مخلوط با یک بار، دو بار و بدون وجین دستی علف‌های هرز، کشت خالص چاودار و کشت خالص خلر بدون وجین دستی (صفر گرم در مترمربع) بود (جدول 5). مقایسه گیاهان پوششی با تیمارهای شاهد در سطوح مختلف وجین دستی علف‌های هرز نشان داد که بیشترین درصد کاهش وزن خشک خردل وحشی مربوط به کشت مخلوط با یک بار، دو بار و بدون وجین دستی علف‌های هرز، کشت خالص چاودار و کشت خالص خلر بدون وجین دستی (100 درصد) بود (جدول 5). ارزیابی اثر برهم کنش بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی علف‌های هرز نشان داد که بقایای گیاهان پوششی در کشت مخلوط، کشت خالص چاودار باعث کاهش معنی‌دار علف‌هرز خردل وحشی شدند. کشت خالص خلر نیز اگرچه دارای وزن خشک پوششی اندکی در مقایسه با سایر ترکیب‌های گیاهان پوششی بود، اما در مقایسه با عدم کاشت گیاهان پوششی باعث کاهش وزن خشک خردل وحشی شد. این احتمال وجود دارد

که ترشح ترکیبات دگرآسیب (Akmal et al., 2023) از بقایای چاودار و خلر سبب کاهش علف‌هرز خردل وحشی در شرایط بدون وجین دستی شده است. چاودار به دلیل تولید زیست‌توده متراکم و خاصیت دگرآسیبی یکی از مناسب‌ترین گیاهان پوششی شناخته شده برای مهار علف‌های هرز معرفی شده است (Silva & Bagavathiannan, 2023). در بسیاری از مطالعات به تأثیر بقایای حاصل از گیاه چاودار بر مهار علف‌های هرز اشاره شده است (Bolandi Amughin et al., 2015; Mohammadi, 2010). طبق گزارشی، گیاهان پوششی چاودار و ماشک گل‌خوشه‌ای، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز را 70 درصد کاهش داد (Uchino et al., 2012).

**وزن خشک سایر علف‌های هرز:** کمترین وزن خشک سایر علف‌های هرز و بیشترین درصد کاهش وزن خشک سایر علف‌های هرز مربوط به تیمارهای کشت خالص چاودار با دو بار وجین دستی و کشت مخلوط با یک بار وجین دستی (صفر گرم در مترمربع) بود (جدول 5). به نظر می‌رسد که در کاهش وزن خشک سایر علف‌های هرز، وجین دستی علف‌های هرز سهم قابل توجهی از کاهش را داشته است، به طوری که کشت مخلوط گیاهان پوششی در مقایسه با کشت خالص چاودار توانست با یک بار وجین دستی علف‌های هرز سبب کاهش بدون اختلاف آماری معنی‌دار با کشت خالص چاودار شود. شاید یکی از دلایل این امر، ترشح ترکیبات دگرآسیب حاصل از دو گیاه پوششی چاودار (Godar et al., 2024) و خلر (Khan et al., 2015) باشد که همسو با یک بار وجین دستی علف‌های هرز موجب کاهش هرچه بیشتر سایر علف‌های هرز شده است. کشت خالص خلر بدون وجین دستی و کشت خالص چاودار با یک بار وجین دستی از جمله برهم کنش‌های مناسب کاهش‌دهنده سایر علف‌های هرز بودند؛ به طوری که کشت خالص خلر با دو بار وجین دستی در مقایسه با شاهد با دو بار وجین دستی توانست 90 درصد وزن خشک علف‌های هرز را کاهش دهد (جدول 5).

**وزن خشک کل علف‌های هرز:** کمترین وزن خشک کل علف‌های هرز در اثر برهم کنش بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی علف‌های هرز از کشت مخلوط با یک بار وجین دستی حاصل شد (جدول 5). همچنین کشت مخلوط با دو بار وجین دستی ( $1/3 \pm$  10/10 گرم در مترمربع) دومین ترکیب مناسب از نظر مهار علف‌های هرز بود (جدول 5). بیشترین وزن خشک کل علف‌های هرز نیز در شاهد بدون وجین دستی ( $57/31 \pm 554/04$  گرم در مترمربع) ثبت شد (جدول 5). نتایج مقایسه شاهد بدون وجین دستی با شاهد با یک و دو بار وجین دستی علف‌های هرز نشان داد که وجین دستی علف‌های هرز اثر قابل توجهی بر کاهش 70/09 و 85/91 درصدی وزن



خشک کل علف‌های هرز داشت (جدول 5). نتایج ارزیابی وزن خشک کل علف‌های هرز بیانگر آن است که در مجموع پایش اثر وزن خشک گیاهان پوششی، کشت مخلوط چاودار با خلر در مقایسه با کشت‌های خالص گیاهان پوششی اثر قابل توجهی بر کاهش وزن خشک علف‌های هرز داشت. همچنین حضور بقایای گیاهان پوششی توانست در کشت مخلوط، دفعات وجین دستی علف‌های هرز را یک بار کاهش دهد، این نکته مؤید آن است که علی‌رغم کاهش قابل توجه علف‌های هرز در وجین دستی، حضور بقایای گیاهان پوششی حتی به صورت اندک می‌تواند نتایج دست کم برابر با انجام وجین دستی علف‌های هرز داشته باشد. در این پژوهش اگرچه مفاهیم اقتصادی مورد ارزیابی قرار نگرفت، اما می‌توان بیان نمود که کشت مخلوط چاودار با خلر ترکیب مناسبی برای کاهش هزینه‌های مربوط به وجین دستی، حداقل برای یک بار بود.

**شاخص کارایی مهار علف‌های هرز:** بیشترین شاخص کارایی مهار علف‌های هرز (100، 86/95 و 87/72) از کشت مخلوط چاودار و خلر در یک و دو بار وجین دستی علف‌های هرز و کشت خالص خلر بدون وجین دستی علف‌های هرز به دست آمد (جدول 5). همچنین کمترین شاخص کارایی علف‌های هرز از کشت خالص خلر با دو بار وجین دستی علف‌های هرز (10/54) حاصل شد (جدول 5). نتایج حاصل از شاخص کارایی تیمارها براساس وزن خشک علف‌های هرز در کشت خالص و مخلوط گیاهان پوششی و شاهد بدون گیاه پوششی حاصل شد. این نتایج نیز بیانگر تأثیر مطلوب کشت گیاهان پوششی بر کاهش وزن خشک و تراکم علف‌های هرز است. استقرار، رشد سریع و بسته شدن تاج‌پوش چاودار در مقایسه با خلر و تولید زیست‌توده بالا و خاصیت دگرآسیبی خلر و تلفیق آن‌ها با وجین دستی علف‌های هرز از مهم‌ترین دلایل بهبود شاخص کارایی مهار علف‌های هرز است.

**عملکرد کاهوی آیسبرگ:** نتایج نشان داد که اثر برهم‌کنش بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی علف‌های هرز بر عملکرد کاهوی آیسبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 6). بیشترین عملکرد کاهو ( $3/70 \pm 0/82$  کیلوگرم در مترمربع) در کشت مخلوط بدون وجین دستی علف‌های هرز ثبت شد (شکل 2). همچنین تیمارهای کشت مخلوط با یک بار وجین دستی علف‌های هرز ( $0/45 \pm 2/71$  کیلوگرم در مترمربع)، کشت خالص خلر با دو بار و بدون وجین دستی علف‌های هرز ( $2/65 \pm 0/37$  و  $2/66 \pm 0/92$  کیلوگرم در مترمربع)، کشت مخلوط با دو بار وجین دستی ( $2/60 \pm 0/35$  کیلوگرم در مترمربع) از نظر عملکرد کاهوی آیسبرگ اختلاف آماری

معنی‌دار نداشتند (شکل 2). علاوه بر خاصیت دگرآسیبی در تیمارهای با وزن خشک اندک بقایای گیاهان پوششی، وجین دستی علف‌های هرز نقش بسیاری در کاهش علف‌های هرز و بهبود عملکرد کاهوی آیسبرگ داشت؛ به‌طوری که شاهد با یک بار وجین دستی علف‌های هرز در مقایسه با سایر تیمارها ( $1/14 \pm 0/71$  کیلوگرم در مترمربع عملکرد تر کاهو داشت (شکل 2). این مهم بیانگر آن است که در شرایط عدم حضور بقایای گیاهان پوششی، یک بار وجین دستی علف‌های هرز قادر به مهار مناسبی نبوده و تأثیر قابل توجهی در بهبود عملکرد کاهو نداشت.

**قطر طوقه:** نتایج نشان داد که اثر اصلی گیاهان پوششی بر قطر طوقه کاهوی آیسبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 6). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین قطر طوقه از تیمار کشت مخلوط و کشت خالص خلر (به‌ترتیب  $4/18 \pm 0/23$  و  $4/15 \pm 0/13$  سانتی‌متر) حاصل شد (جدول 7). ارزیابی درصد افزایش قطر طوقه در گیاهان پوششی در مقایسه با شاهد نشان داد که کشت مخلوط و کشت خالص خلر سبب افزایش  $12/44$  و  $11/80$  درصد قطر طوقه شدند.

**قطر تاج کاهو:** نتایج نشان داد که اثر بقایای گیاهان پوششی بر قطر تاج بوته کاهو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 6). بیشترین قطر تاج کاهو از کشت مخلوط و کشت خالص خلر به ترتیب  $22/65 \pm 2/22$  و  $22/12 \pm 2/20$  سانتی‌متر به دست آمد (جدول 7). بقایای گیاهان پوششی سبب افزایش  $45/09$  و  $43/75$  درصدی تاج بوته کاهو در کشت مخلوط و کشت خالص خلر در مقایسه با شاهد شدند.

**ارتفاع بوته:** ارتفاع بوته کاهو در اثر بقایای گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 6). در راستای نتایج حاصل از قطر طوقه و تاج بوته، اگرچه انتظار می‌رفت که ارتفاع بوته نیز در کشت خالص خلر مانند قطر طوقه و تاج بوته بیشترین باشد؛ اما ارتفاع بوته نیز در کشت مخلوط و کشت خالص چاودار (به‌ترتیب  $19/93 \pm 1/51$  و  $19/81 \pm 1/21$  سانتی‌متر) بیشتر بود (جدول 7).

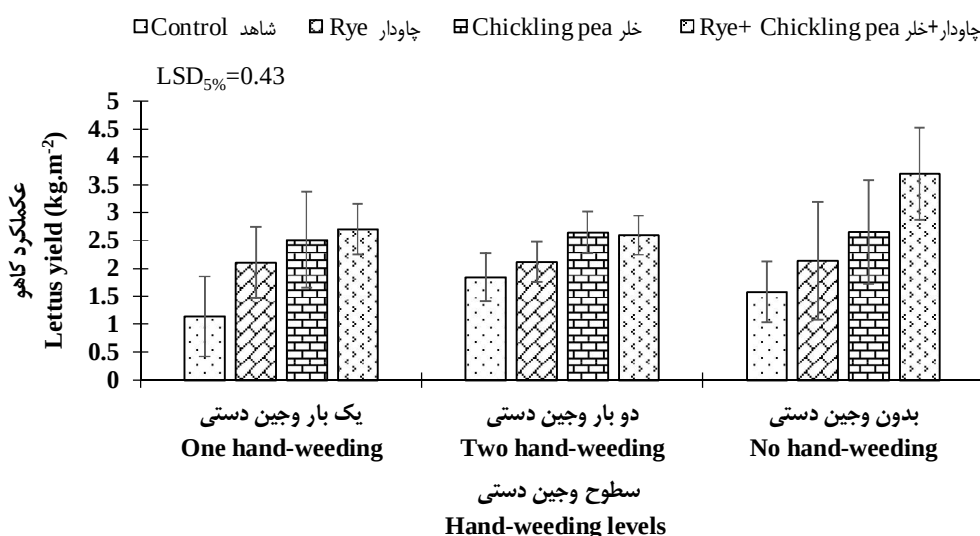
**تعداد برگ:** تعداد برگ کاهوی آیسبرگ در اثر بقایای گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 6). نتایج نشان داد که کشت خالص خلر و کشت مخلوط دارای بیشترین تعداد برگ کاهو (به‌ترتیب  $21/55 \pm 2/69$  و  $21/44 \pm 1/01$ ) بودند (جدول 7). تعداد برگ در کشت خالص خلر و کشت مخلوط آن با چاودار در مقایسه با شاهد  $24/22$  و  $23/83$  افزایش یافت (جدول 7).

جدول ۵- تغییرات وزن خشک علفهای هرز در طی رشد رویشی کاهوی آیسبرگ  
Table 5- The weed dry weight variation during vegetative growth of Iceberg lettuce

| ترکیب‌های گیاهان پوششی<br>Cover crop mixtures | دست‌بندی<br>Hand weeding | سلمه‌تره<br><i>Chenopodium album</i><br>L <sub>s</sub><br>(g.m <sup>-2</sup> ) | گاوزبان بدلی<br><i>Anchusa italica</i><br>Retz<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | خردل وحشی<br><i>Sinapis arvensis</i><br>L <sub>s</sub><br>(g.m <sup>-2</sup> ) | سایر علفهای هرز<br>Other weeds<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | وزن خشک کل علفهای هرز<br>Total dry weight of weeds<br>(g.m <sup>-2</sup> ) | کارایی مهار علفهای هرز<br>Weed control efficiency |
|-----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| شاهد<br>Control                               | یک بار وچین<br>One       | 43.48±2.56                                                                     | 13.35±0.88                                                             | 78.30±8.25                                                                     | 30.54±6.37                                             | 165.67±13.65                                                               | -                                                 |
|                                               | دو بار وچین<br>Two       | 3.27±0.03                                                                      | 21.44±1.09                                                             | 36.43±2.68                                                                     | 16.86±1.73                                             | 78.02±5.08                                                                 | -                                                 |
|                                               | بدون وچین<br>No          | 329.7±25.23                                                                    | 155.24±5.7                                                             | 55.81±2.38                                                                     | 13.24±0.61                                             | 554.04±31.57                                                               | -                                                 |
| چاودار<br>Rye                                 | یک بار وچین<br>One       | 4.56±1.08                                                                      | 27.82±1.81                                                             | 43.32±4.17                                                                     | 3.47±1.22                                              | 79.17±3.02                                                                 | 51.90±5.65                                        |
|                                               | دو بار وچین<br>Two       | 7.0±0.88                                                                       | 13.96±0.37                                                             | 51.2±4.81                                                                      | 0.00±0.00                                              | 72.21±3.76                                                                 | 6.98±10.71                                        |
|                                               | بدون وچین<br>No          | 134.4±5.86                                                                     | 17.7±1.72                                                              | 0.00±0.00                                                                      | 11.35±0.93                                             | 163.59±4.58                                                                | 70.43±1.06                                        |
| خلر<br>Chickling pea                          | یک بار وچین<br>One       | 19.1±1.42                                                                      | 34.6±3.93                                                              | 52.83±4.35                                                                     | 2.23±0.13                                              | 108.86±8.99                                                                | 33.75±14.21                                       |
|                                               | دو بار وچین<br>Two       | 10.4±0.97                                                                      | 28.77±0.99                                                             | 45.00±6.21                                                                     | 1.63±0.31                                              | 85.85±6.95                                                                 | 10.54±0.47                                        |
|                                               | بدون وچین<br>No          | 10.5±0.42                                                                      | 39.31±2.11                                                             | 0.00±0.00                                                                      | 18.13±0.31                                             | 67.94±2.15                                                                 | 87.72±0.47                                        |
| چاودار + خلر<br>Rye + chickling pea           | یک بار وچین<br>One       | 0.00±0.00                                                                      | 0.00±0.00                                                              | 0.00±0.00                                                                      | 0.00±0.00                                              | 0.00±0.00                                                                  | 100.00±0.00                                       |
|                                               | دو بار وچین<br>Two       | 9.03±1.30                                                                      | 0.00±0.00                                                              | 0.00±0.00                                                                      | 1.07±0.01                                              | 10.10±1.3                                                                  | 86.95±3.13                                        |
|                                               | بدون وچین<br>No          | 70.35±3.51                                                                     | 77.08±3.31                                                             | 0.00±0.00                                                                      | 69.98±0.23                                             | 217.41±5.70                                                                | 60.64±36.83                                       |
| LSD <sub>5%</sub>                             |                          | 12.51                                                                          | 3.92                                                                   | 6.70                                                                           | 3.41                                                   | 18.22                                                                      | 12.35                                             |

به طوری که پژوهش‌های بسیاری بر تأثیر این گیاهان بر بهبود عملکرد محصولات کشاورزی از طریق مهار علف‌های هرز اشاره کردند (Vaezi et al., 2020; Ghahremani et al., 2020). گیاهان پوششی و بقایای آن‌ها در سطح خاک از طریق ایجاد یک مانع فیزیکی از نفوذ نور به سطح خاک جلوگیری کرده و با افزایش درصد رطوبت خاک و کاهش دمای خاک مانع از تأمین شرایط لازم برای جوانه‌زنی و استقرار علف‌های هرز می‌شوند (Nabati Souha et al., 2021). گیاهان پوششی مورد استفاده در این آزمایش که شامل چاودار و خلر بودند براساس مستندات علمی دارای خاصیت دگرآسیبی بوده و علاوه بر تولید زیست‌توده توان رقابت شیمیایی را با علف‌های هرز دارند (Bolandi Amughin Akmal et al., 2023). این گیاهان غالباً از طریق کاهش رقابت‌های بین‌گونه‌ای برای جذب منابع (Lemessa & Sturm et al., 2015; Khan et al., 2015; Wakjira, 2015)، رهاسازی ترکیبات دگرآسیب (Wakjira, 2015)، جذب مواد محرک رشد و تغییر در جمعیت میکروبی خاک به نفع گیاهان زراعی (Campiglia et Olsen & Sommers, 1982; al., 2010)، کاهش دمای خاک (Azad Shahraki et al., 2010)، افزایش رطوبت (Mohammadi et al., 2009) و کاهش میزان نفوذ نور (Doane et al., 2009) به ایجاد محیط مناسبی برای رشد محصول تجاری کمک می‌کنند. در این مطالعه نیز حضور بقایای گیاهان پوششی در کشت خالص و مخلوط همراه با وجین دستی علف‌های هرز، کنترل بالایی از وزن خشک علف‌های هرز را نشان داد که منجر به افزایش عملکرد کاهو در مقایسه با شاهد شد.

علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل کاهنده عملکرد محصولات برگی از جمله کاهو هستند. عوامل بسیاری بر میزان کاهش عملکرد این محصول و آسیب‌های ناشی از علف‌های هرز تأثیرگذار است. مهم‌ترین این عوامل شامل رقابت بین محصولات کشاورزی با علف‌های هرز، تراکم نسبی علف‌های هرز در مزارع، زمان ظهور آن‌ها و مدت زمان رقابت می‌باشد (Mennan et al., 2020). سبزیجات برگی مانند کاهو که با استفاده از بذر و یا نشاء کشت می‌گردند غالباً دارای ریشه کم‌عمق و ضعیفی بوده و توان رقابتی اندکی در برابر علف‌های هرز دارند (Obopile et al., Mennan et al., 2020). بنابراین می‌توان بیان کرد که سبزیجات نسبت به رقابت با علف‌های هرز بسیار حساس هستند و در دوره رشد اولیه باید مزارع آن‌ها عاری از علف‌های هرز باشد (Pannacci et al., 2017; Osipitan et al., 2018). مطالعات بسیاری بر اثر علف‌های هرز بر عملکرد کاهو اشاره کردند. برای مثال در مطالعه‌ای در انگلستان پژوهشگران گزارش کردند که تراکم 65 بوته علف‌هرز (مخلوطی از علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ) در مترمربع می‌تواند منجر به از بین رفتن کامل عملکرد کاهو شود (Roberts et al., 1997). در مطالعه دیگری، رقابت علف‌های هرز با کاهو برای یک فصل زراعی منجر به کاهش 50 درصدی عملکرد کاهو شد (Lanini & Le, 1991; Strange, 1991). در مطالعه‌ای دیگر، عدم مهار علف‌های هرز منجر به کاهش عملکرد کاهو تا 56 درصد شدند (Dusky & Stall, 1995). یکی از روش‌های محافظت گیاهان بسیار حساس به علف‌های هرز، استفاده از بقایای گیاهان پوششی در سطح خاک است،



شکل 2- اثر برهم‌کنش بقایای گیاهان پوششی × وجین دستی علف‌های هرز بر عملکرد کاهوی آبسبزرگ  
Figure 2-The interaction effect of the cover crops residues × hand-weeding on the iceberg lettuce yield

جدول 6- نتایج تجزیه واریانس عملکرد تر کاهوی آیسبرگ تحت تأثیر کاربرد بقایای گیاهان پوششی و وجین دستی علف‌های هرز

Table 6- ANOVA results for the Iceberg lettuce fresh yield by using cover crops residues and hand-weeding

| منابع تغییرات<br>S.O.V                                 | درجه آزادی<br>df | عملکرد کاهو<br>Lettuce yield | قطر طوقه<br>Crown diameter | قطر تاج<br>Head diameter | تعداد برگ‌ها<br>Number of leaves | ارتفاع بوته<br>Plant height |
|--------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| بلوک<br>Block                                          | 2                | 0.020 <sup>ns</sup>          | 0.011 <sup>ns</sup>        | 21.20 <sup>ns</sup>      | 1.51 <sup>ns</sup>               | 4.08 <sup>ns</sup>          |
| گیاهان پوششی<br>Cover crops                            | 3                | 3.676 <sup>**</sup>          | 0.54 <sup>**</sup>         | 220.20 <sup>**</sup>     | 40.87 <sup>**</sup>              | 60.51 <sup>**</sup>         |
| وجین دستی<br>Hand weeding                              | 2                | 0.468 <sup>**</sup>          | 0.073 <sup>ns</sup>        | 6.49 <sup>ns</sup>       | 0.208 <sup>ns</sup>              | 7.58 <sup>ns</sup>          |
| گیاهان پوششی × وجین دستی<br>Cover crops × hand weeding | 6                | 0.340 <sup>**</sup>          | 0.062 <sup>ns</sup>        | 8.25 <sup>ns</sup>       | 3.46 <sup>ns</sup>               | 5.87 <sup>ns</sup>          |
| خطای آزمایشی<br>Error                                  | 22               | 0.065                        | 0.045                      | 8.79                     | 3.57                             | 6.62                        |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                 | -                | 11.02                        | 5.34                       | 16.22                    | 10.39                            | 13.31                       |

\*\*\* و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری.

\*\* and ns: significant at 1% of probability level, and non- significant, respectively.

جدول 7- تأثیر گیاهان پوششی بر برخی از صفات کاهو آیسبرگ

Table 7- The effect of cover crops on some traits of Iceberg lettuce

| ترکیب‌های گیاهان پوششی<br>Cover crop mixtures | قطر طوقه<br>Crown diameter (cm) | قطر تاج<br>Head diameter (cm) | تعداد برگ‌ها<br>Number of leaves | ارتفاع بوته<br>Plant height (cm) |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| شاهد<br>Control                               | 3.68±0.32                       | 12.43±4.89                    | 16.33±3.90                       | 15.43±2.68                       |
| چاودار<br>Rye                                 | 3.88±0.13                       | 15.92±1.86                    | 18.00±1.41                       | 19.81±1.21                       |
| خلر<br>Chickling pea                          | 4.15±0.13                       | 22.12±2.20                    | 21.44±1.01                       | 17.59±1.37                       |
| چاودار+خلر<br>Rye + chickling pea             | 4.18±0.23                       | 22.65±2.22                    | 21.55±2.69                       | 19.93±1.51                       |
| LSD <sub>5%</sub>                             | 0.20                            | 2.89                          | 2.51                             | 1.84                             |

باین حال در شرایط بدون وجین دستی، حضور بقایای گیاهان پوششی نیز اثر قابل توجهی بر افزایش عملکرد کاهو داشت. این احتمال وجود دارد که افزایش سرعت رشد نشاء کاهو در شرایط مطلوب محیطی بدون رقابت با علف‌های هرز سبب افزایش عملکرد شده باشد. علاوه بر این، رهاسازی عناصر غذایی از بقایای گیاهان پوششی نیز می‌تواند منجر به افزایش عملکرد در کشت مخلوط شده باشد، زیرا یکی از دلایل مهم کاربرد گیاهان پوششی، تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز محصول اصلی است (Jahanzad et al., 2016).

بهبود در رشد و اجزای عملکرد کاهو از جمله افزایش قطر طوقه می‌تواند ناشی از اثر گیاهان پوششی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نیز باشد (Ahmadnia et al., 2021b)، زیرا حضور ریشه گیاهان پوششی منجر به افزایش کربن آلی خاک و تخلخل و کاهش فشردگی و جرم مخصوص ظاهری خاک (Ahmadnia et

### نتیجه‌گیری

آنچه در این آزمایش علاوه بر حضور بقایای گیاهان پوششی سبب کاهش قابل توجه علف‌های هرز در تیمارهای دارای بقایای گیاهان پوششی شد، استفاده از وجین دستی علف‌های هرز بود. استفاده از بقایای گیاهان پوششی به منظور مهار علف‌های هرز در این آزمایش بیشتر به میزان وزن خشک گیاهان پوششی بستگی داشت، به‌طوری‌که

خشک تولید شده توسط گیاهان پوششی می‌تواند تعداد دفعات اجرای وجین دستی علف‌های هرز را در محصولات سبزی کاهش دهد. در این آزمایش، کشت مخلوط گیاهان پوششی چاودار و خلر از نظر افزایش عملکرد کاهوی آیسبرگ مناسب با شرایط اقلیمی شهرستان اردبیل بود.

### سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولین محترم مزعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی که در اجرای این پژوهش ما را یاری نمودند، ابراز نمایند.

در تیمارهای بدون وجین دستی، کشت خالص چاودار و کشت مخلوط آن با خلر وزن خشک گیاهان پوششی باعث کاهش وزن خشک علف‌های هرز شد. اگرچه در بررسی جداگانه علف‌های هرز در شرایط بدون وجین دستی، کاهش وزن خشک علف‌های هرز می‌تواند ناشی از خاصیت دگرآسیبی در کشت خالص خلر باشد، اما در زیست‌توده کل علف‌های هرز، یک و یا دو بار وجین دستی اثر بیشتری بر مهار علف‌های هرز داشتند. در راستای کاهش وزن خشک علف‌های هرز علاوه بر احتمال تأمین عناصر غذایی رهاسازی شده از بقایای گیاهی، تلفیق وجین دستی و بقایای گیاهان پوششی بر عملکرد تر کاهوی آیسبرگ مؤثر بود. این در حالی است که در بررسی اجزای عملکرد کاهوی آیسبرگ مانند ارتفاع بوته، تعداد برگ، قطر تاج پوشش و قطر طوقه، وجین دستی علف‌های هرز و برهم‌کنش آن با گیاهان پوششی تأثیر معنی‌داری نداشت. از نتایج چنین استنباط می‌گردد که میزان وزن

### References

- Ahmadnia, F., Ebadi, A., & Gudarzi, M. (2021b). Interaction effect of cover crop residues and hand weeding of weeds on Iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. Iceberg) yield. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(4), 555-574. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.30495/jcep.2022.689806>
- Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., & Ghavidel, A. (2020a). Investigating the short time effect of cover crops on biophysical properties of soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(6), 277-290. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.16172.3145>
- Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., & Nabati, L. (2020b). Investigating the effectiveness of Sunn Hemp (*Crotalaria juncea*) and Rye (*Secale cereal* L.) in weed suppression and yield of Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *Gongyloides*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 43-56. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.13090>
- Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., Ghavidel, A., & Alebrahim M.T. (2024b). Impact of oat (*Avena sativa* L.) and Daikon radish (*Raphanus sativus* var. *Longipinnatus*) cover crops on some soil properties. *Applied Soil Research*, 12(2), 1-17. (in Persian with English Abstract).
- Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., Ghavidel, A., & Alebrahim, M.T. (2024a). Impact of some cover crops and hand-weeding on the yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 15(1), 109-134. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/JUVS.2023.2002290.1286>
- Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., Ghavidel, A., & Ghahremani, S. (2021a). Evaluation of short-term effect of oat and chickling pea cover crops in improving selected soil properties. *Applied Soil Research*, 9(1), 72-87. (in Persian with English Abstract). [https://asr.urmia.ac.ir/article\\_121035.html](https://asr.urmia.ac.ir/article_121035.html)
- Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., Ghavidel, A., Godarzi, M., & Ghahremani, S. (2019). Effect of cover crops on weed control of Kohlrabi (*Brassica oleracea*). *Journal of Agroecology*, 9(2), 151-166. (in Persian with English Abstract)
- Akmal, M., Gupta, A.K., Shukla, D.N., & Shareef, M. (2023). Allelopathic effect of *Lathyrus sativus* L. on seed germination and seedling growth of *Lens culinaris* L. *Agriculture Research Journal*, 60(6), 882-887. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2023.00128.X>
- Azad Shahraki, F., Naghavi, H., & Najafi Nejad, H. (2010). Effects of tillage systems and wheat residue management on soil characteristics and yield of maize in Kerman. *Journal of Modern Agriculture*, 8(19), 2-9. (in Persian with English Abstract)
- Azadbakht, A., & Alebrahim, M.T. (2017). *Potato Production (Emphasizing the weed, diseases and pest's management aspects)*. University Jihad Publications, Ardabil, Iran. 216 pp.
- Baudoin, W., Nersisyan, A., Shamilov, A., Hodder, A., Gutierrez, D., Pascale, S., Nicola, S., Gruda, N., Urban, L., & Tanny, J. (2017). Good agricultural practices for greenhouse vegetable production in the South East European Countries: Principles for sustainable intensification of smallholder farms. *Rome: FAO*, 428 p.
- Bergtold, J.S., Ramsey, S., Maddy, L., & Williams, J.R. (2017). A review of economic considerations for cover crops as a conservation practice. *Renewable Agriculture and Food Systems*, Cambridge University Press, 1-15 p. <https://doi.org/10.1017/S1742170517000278>
- Blanco-Canqui, H., Claassen, M.M., & Presley, D.R. (2012). Summer cover crops fix nitrogen, increase crop yield, and improve soil-crop relationships. *Agronomy Journal*, 104(1), 137-147. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0240>

14. Bolandi Amughin, M., Tobeh, A., & Alebrahim, M.T. (2015). The effect of species, planting date, and management of cover crops on weed community in hybrid sunflower (*Helianthus annuus*). *Journal of Plant Protection*, 29(3), 337-348. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.v29i3.28939>
15. Campiglia, A., Mancinelli, R., Radicetti, E., & Caporali, F. (2010). Effect of cover crop and mulches on weed control and nitrogen fertilization on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Crop Protection*, 29, 354-363. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.001>
16. Casadei, E., Bacha, A.L., Rodrigues, J.S., Santos, R.T.S., Alves, P.L.C.A., & Arthur, B.C.F. (2020). Redroot pigweed interference with lettuce crop. *Planta Daninha*, 38(e020222945), 1-8.
17. Clifford, P., Rice, Y., Aref, A., & John, R.T. (2005). Hydroxamic acid content and toxicity of rye at selected growth stage. *Journal of Chemical Ecology*, 31(8), 1887-1905. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-5933-6>
18. Doane, T.A., Horwath, W.R., Mitchell, J.P., Jackson, J., Miyao G., & Brittan, K. (2009). Nitrogen supply from fertilizer and legume cover crop in the transition to no-tillage for irrigated row crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 85(3), 253-262. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9264-9>
19. Dusky, J.A., & Stall, W.M. (1995). *Weed management practices for lettuce production using imazethapyr*. In Proceedings of the 108th Florida State Horticultural Society, Lake Alfred, FL, USA, 22-24 October 1995. pp. 204-207.
20. Dutta, D., Thentu, T.L., & Duttamudi, D. (2016). Effect of weed- management practices on weed flora, soil micro-flora and yield of baby corn (*Zea mays*). *Indian Journal of Agronomy*, 61(2), 210-216. <https://doi.org/10.59797/ija.v6i12.4350>
21. Fennimore, S.A., Smith, R.F., Tourte, L., Lestrangle, M., & Rachuy, J.S. (2014). Evaluation and economics of a rotating cultivator in Bok choy, Celery, Lettuce, and Radicchio. *Weed Technological*, 28, 176-188. <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00051.1>
22. Ghahremani, S., Ebadi, A., Tobeh, A., Hashemi, M., Sedghi, M., & Gholipuri, A. (2020). The effect of cover crops on yield and weeds control of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(1), 119-134. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.30495/jcep.2020.671644>
23. Ghorbani, R., Khoramdel, S., Asadi, G.H., & Afrikan, R. (2015). Evaluation the effect of weed management strategies on weed seed bank and spinach yield (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Plant Protection*, 29(4), 400-411. <https://doi.org/10.22067/JPP.V29I3.34878>
24. Giancotti, P.R.F., Machado, M.H., & Yamauti, M.S. (2010). Total period of weed interference prevention in Lettuce cv. Solaris. *Ciências Agrárias*, 31, 1299-1304.
25. Giannopolitis, C.N., Vassiliou, G., & Vizantinopoulos, S. (1989). Effects of weed interference and herbicides on nitrate and carotene accumulation in lettuce. *Journal Agricultural Food & Chemistry*, 37, 312-315. <https://doi.org/10.1021/jf00086a008>
26. Gidesa, A., & Kebede, M. (2018). Integration effects of herbicide and hand weeding on grain yield of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in Assosa, Western Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 6(5), 1-5.
27. Godar, A.S., Norsworthy, J. N., & Barber, T. (2024). Effect of cereal rye cover crop termination timings on weed control and corn yield under a two-pass herbicide program. *Frontiers in Agronomy*, 6(1419228), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1419228>
28. Jabran, K. (2017). *Manipulation of Allelopathic Crops for Weed Control*. Springer Briefs in plant Science, Springer Nature International Publishing, AG, Switzerland, p. 87. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1>
29. Jahanzad, E., Barker, A.V., Hashemi, M., Eaton, T., Sadeghpour, A., & Eeis, A. (2016). Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residues. *Soil Fertility and Crop nutrition Agronomy Journal*, 108(4), 1735-1741. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.01.0001>
30. Khan, H., Adil, B., Gul, A.K.M., & Marwat, K.B. (2015). Efficacy of aqueous extracts of different allelopathic plants on germination and growth of wheat and wild oat. *Pakistan Journal of Botany*, 47(SI), 181-185.
31. Kist, B.B., Santos, C.E., De Carvalho, C., & Beling, R.R. (2020). Anuário Brasileiro de Horti & Fruti. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 98 p.
32. Kruse, R., & Nair, A. (2016). Summer cover crops and lettuce planting time influence weed population, soil nitrogen concentration, and lettuce yields. *HortTechnology*, 26(4), 409-416. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.4.409>
33. Kumar, B., Prasad, S., Mandal, D., & Kumar, R. (2017). Influence of integrated weed management practices on weed dynamics, productivity and nutrient uptake of Rabi maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 1431-1440. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.175>
34. Kumar, V., Obour, A., Jha, P., Liu, R., Manuchehri, M.R., Dille, J.A., Holman, J., & Stahlman, P.W. (2020). Integrating cover crops for weed management in the semiarid U.S. Great Plains: Opportunities and challenges. *Weed Science*, 68, 311-323. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.29>
35. Lanini, W.T., & Le Strange, M. (1991). Low-input management of weeds in vegetable fields. *California Agriculture*, 45(1991), 11-13.
36. Lemessa, F., & Wakjira, M. (2015). Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems.



- Journal of Crop Science and Biotechnology*, 18(2), 123-135. <https://doi.org/10.1007/s12892-014-0085-2>
37. Majidi, M.R., Mirshekari, B., Samedani, B., Hajinajari, H., & Frahvash, F. (2018). Effect of four cover crop species on weed control and population changes in Karaj region. *Iranian Journal of Weed Science*, 14(1), 11-22. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJWS.2018.1401.02>
  38. Mennan, H., Jabran, K., Zandstra, B.H., & Pala, F. (2020). Non-chemical weed management in vegetables by using cover crops: A review. *Agronomy*, 10, 257. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020257>
  39. Mohammadi, G.R. (2010). Weed control in irrigated corn by hairy vetch inter seeded at different rates and times. *Weed Biology and Management*, 10, 25-32. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2010.00363.x>
  40. Mohammadi, K.H., Nabilolahi, K., Alikhani, M., & Kharmali, F. (2009). Effects of tillage systems on soil physical properties and yield and yield components of wheat. *Journal of Plant Production*, 16(4), 77-91.
  41. Nabati Souha, L., Alebrahim, M.T., Ahmadnia, F., & Rostami Yangjeh, M. (2021). Investigating of the ability of some cover crops to weeds control. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(2), 281-298. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.30495/jcep.2021.683387>
  42. Obopile, M., Munthali, D.C., Matilo, B. (2008). Farmers' knowledge, perceptions and management of vegetable pests and diseases in Botswana. *Crop Protection*, 27, 1220-1224. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.03.003>
  43. Olsen, S.R., & Sommers, L.E. (1982). *Phosphorus*. In: Page AL. (ed), *Methods of Soil Analysis*, Agronomy. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties, 2<sup>nd</sup> ed., American Society Agronomy, Madison, 403-430 p.
  44. Osipitan, O.A., Dille, J.A., Assefa, Y., & Knezevic, S.Z. (2018). Cover crop for early season weed suppression in crops: Systematic review and meta-analysis. *Agronomy Journal*, 110, 2211-2221. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0752>
  45. Pannacci, E., Lattanzi, B., & Tei, F. (2017). Non-chemical weed management strategies in minor crops: A review. *Crop protection*, 96(2017), 44-58. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.012>
  46. Parven, A., Meftaul, I.M., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2025). Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(2025), 1181-1202. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y>
  47. Pereira, L., Tejada, J.L., Cecilio Filho, A.B., Alves, P.L.D.C.A. (2023). Lettuce weed control with prior soil solarization. *Comunicata Scientiae Horticultural Journal*, 7(14), 1-7. <https://doi.org/10.14295/CS.v14.3906>
  48. Planisich, A., Utsumi, S.A., Larrip, M., & Galli, J.R. (2021). Grazing of cover crops in integrated crop-livestock systems. *Animal, The international Journal of Animal Bioscience*, 15(1), 100054, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100054>
  49. Plastina, A., Liu, F., Miguez, F., & Carlson, S. (2020). Cover crops use in Midwestern US agriculture: Perceived benefits and net returns. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35, 38-48. <https://doi.org/10.1017/S1742170518000194>
  50. Rajput, R.L., & Kasana, B.S. (2019). Integration of chemical and cultural methods for weed control management in soybean (*Glycin max* L.). *Legume Research*, 3944, 1-4. <https://doi.org/10.18805/LR-3944>
  51. Riva, N.B., Biffe, D.F., Nalin, D., Mendes, R.R., Silva, V.F.V., Ferreira, L.A.I., & Constantin, J. (2021). Sensitivity of lettuce cultivar Lucy Brown to pre-planting herbicide application. *Horticultura Brasileira*, 39, 305-311.
  52. Riva, N.B.D., Biffe, D.F., Nalin, D., Mendes, R.R., Ferreira, L.A. I., Silva, V.F.V., & Constantin, J. (2023). Weed interference periods in lettuce crop. *Horticultura Brasileira*, 41, 2566, 1-9.
  53. Roberts, H.A., Hewson, R.T., & Ricketts, M.A. (1997). Weed competition in drilled summer lettuce. *Horticulture Research*, 17(1997), 39-45.
  54. Santos-Naressi, R., Santos-Pimentel-Oliveira, L., Santos, E.H., Francisco, J.P., & Lopes, A.D. (2022). Iceberg lettuce cultivated in different systems of planting and sources of fertilizer. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e255421, 1-8.
  55. Shem-Tov, S.H., Fennimore, S.A., & Thomas Lanini, W. (2006). Weed management in lettuce (*Lactuca sativa*) with preplan irrigation. *Weed Technology*, 20(4), 1058-1065. <https://doi.org/10.1614/WT-05-085.1>
  56. Sias, C., Wolters, B.R., Reiter, M.S., & Flessner, M.L. (2021). Cover crops as a weed seed bank management tool: A soil down review. *Italian Journal of Agronomy*, 16, 1852, 1-9. <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1852>
  57. Silva, G.C., & Bagavathiannan, M. (2023). Mechanisms of weed suppression by cereal rye cover crop: A review. *Crop Ecology and Physiology*, 115(2023), 1571-1585. <https://doi.org/10.1002/agj2.21347>
  58. Sturm, D.J., Peteinatos, G., & Gerhards, R. (2018). Contribution of allelopathic effects to the overall weed suppression by different cover crops. *Weed Research*, 58(5), 331-337. <https://doi.org/10.1111/wre.12316>
  59. Thiem, T.T., Thu, T.T.P., & Loan, N.T. (2020). Effect of plant density and hand weeding on weed control and yield of the vegetable corn. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 3(4), 784-797. <https://doi.org/10.31817/vjas.2020.3.4.02>
  60. Tiwari, S., Sindel, B.M., Smart, N., Coleman, M.J., Fyfe, C., Lawlor, C., Vo, B., & Kristiansen, P. (2022). Hand weeding tools in vegetable production systems: An agronomic, ergonomic and economic evaluation. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 20(4), 659-674. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1964789>

61. Uchino, H., Iwama, K., Jitsuyama, Y., Ichiyama, K., Sugiura, E.R.I., Yudate, T., Nakamura, S., & Gopal, J.A.I. (2012). Effect of inter seeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system 1. Stability of weed suppression over years and main crops of potato, maize and soybean. *Field Crops Research*, 127, 9-16. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.10.007>
62. Urbano, V.R., Mendonça, T.G., Bastos, R.G., & Souza, C.F. (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181, 108-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>
63. Vaezi Rad, S., Valadabadi, S.A., Pourousef, M., Seifzadeh, S., & Zakerin, H.R. (2020). Evaluating of forage yield increase of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and weed control by its intercropping with forage legumes. *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(1), 101-118. <https://doi.org/10.30495/jcep.2020.671643>

## Evaluating of Morphological and Phenological Diversity of Some Promising Genotypes of Pistachio (*Pistacia vera* L.) in Traditional Orchard of Qazvin

P. Kakvand<sup>1</sup>, A. Soleimani<sup>1\*</sup>, F. Razavi<sup>1</sup>, G. Brar<sup>2</sup>

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Plant Science Faculty, Jordan College of Agricultural Sciences and Technology, Jordan

(\* - Corresponding author's Email: [asoleimani@znu.ac.ir](mailto:asoleimani@znu.ac.ir))

Received: 02 November 2024

Revised: 24 December 2024

Accepted: 15 February 2025

Available Online: 15 February 2025

### How to cite this article:

Kakvand, P., Soleimani, A., Razavi, F., & Brar, G. (2025). Evaluating of morphological and phenological diversity of some promising genotypes of pistachio (*Pistacia vera* L.) in traditional orchard of Qazvin. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 489-503. (In Persian with English abstract).  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90560.1388>

### Introduction

Pistachio is one of Iran's main horticultural products, known for its high nutritional and economic value. The evaluation and identification of genetic diversity are crucial for breeding programs and the introduction of promising pistachio cultivars. Selecting seedlings obtained from pistachio tree crossings based on desirable traits can significantly impact the pistachio production industry. Evaluating genetic diversity based on pomological and morphological characteristics is a fast and effective method for identifying suitable pistachio genotypes. The traditional orchard of Qazvin, with a history spanning over a thousand years and covering an area of 2,780 hectares, now extends across the southern, western, and eastern halves of the city. In recent years, pistachio planting in the Qazvin orchard has commonly been done through seeds, leading to the development of diverse, and sometimes highly valuable, mother genotypes in this ancient orchard. Identifying and evaluating suitable maternal genotypes for cultivation expansion or the replacement of unsuitable trees is one of the goals of sustainable orchard development in the Baghestan region. The aim of this research is to identify and evaluate the morphological and pomological characteristics of 24 promising maternal pistachio genotypes for the first time in a section of the Qazvin traditional orchard.

### Materials and Methods

This research was conducted with the aim of identifying and coding 24 promising maternal pistachio genotypes in an area of approximately 20 hectares of the traditional orchard in Qazvin during the years 1401 and 1402. From each tree, three branches on the southern side were selected as replicates, and three samples from each branch were used as observations for data collection. Several phenological and morphological characteristics, including both fruit-related and vegetative traits, were measured in the studied trees based on the International Pistachio Descriptor (IPGRI, 1997). The research followed a nested experimental design with three replications per nest, and the comparison of mean data was performed using Duncan's multiple range test at a 5% significance level, with the assistance of SAS 9.2 software. Multivariate analyses, including correlation, cluster analysis, and principal component analysis, were carried out using Statistica 18.8 software.

### Results and Discussion

Based on the results of the mean comparison, the SiC genotype had the longest total leaf length, including the petiole, while the TaD genotype had the shortest. Regarding total leaf width with petiole, the largest and smallest values were observed in the SiC and AbC genotypes, respectively. Additionally, the SiC genotype showed the



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90560.1388>

largest length and width of the terminal leaflet, while the smallest values for these traits were observed in the TaD genotype. Among the studied genotypes, the BrA genotype had the highest ratio of terminal leaflet length to width, and the SiC genotype had the lowest. Previous reports indicate that leaf dimensions have a direct correlation with traits such as kernel weight. Leaves are the most important organs for light absorption and photosynthesis, and an increase in leaf area enhances the production of photosynthetic products, which ultimately supports fruit growth. The SiA1 genotype had the largest nut length, while the AbC genotype had the smallest. The largest nut width was found in the SiB genotype, and the smallest in the TaG genotype, with a difference of about 28.81%. For nut thickness, the SiB genotype had the largest, and the AbD genotype had the smallest, with a difference of approximately 30.17%. In terms of the kernel, the SiA1 genotype had the largest length and width, while the AbC genotype had the smallest. The SiC1 genotype had the largest kernel thickness, while the smallest was observed in the TaC genotype. Previous research on promising Iranian pistachio genotypes reported nut lengths ranging from 16.6 to 23.68 mm and nut widths from 10.46 to 13.7 mm. For blank nut percentage, the TaC genotype had the highest, and the SiA6 genotype had the lowest. The highest splitting percentage was observed in the SiC genotype, while the AbD genotype had the lowest. Based on the quantitative traits studied, the genotypes were clustered into three groups at a distance of 150 units, with each group containing two subgroups. Plot analysis using the two main components of quantitative traits divided the genotypes into four categories with similar components. The first principal component accounted for 40.26% of the total variance, while the second component explained 18.85%. One of the most important qualitative traits in pistachio research is flowering time, as pistachios are dioecious plants, and female flowers can only receive pollen for four days. Breeding programs must identify male genotypes with an extended flowering period to increase production and reduce the percentage of blank nuts.

## Conclusion

In our recent evaluation of 24 maternal pistachio genotypes from the traditional orchard in Qazvin, we found some promising results that can benefit for orchard growers. The SiA1 genotype stood out for having the largest kernel length, width, and thickness, making it a great choice for maximizing nut size. It also has a high splitting percentage of 70% or more, which means growers can expect better harvests with less labor. Another genotype to consider is the SiC, which features large, three-lobed leaves and the biggest leaf surface area among the studied genotypes. This can enhance photosynthesis, potentially leading to healthier trees and better yields. Plus, SiC ranks high for splitting percentage and kernel quality. These two genotypes-SiA1 and SiC-are recommended as excellent options for breeding programs and boosting orchard's productivity

**Keywords:** Cluster analysis, Genetic diversity, Quantitative and qualitative traits, Principal components analysis

## ارزیابی تنوع ریخت‌شناختی و فنولوژیکی برخی ژنوتیپ‌های امیدبخش پسته

*(Pistacia vera L.)* در باغستان سنتی قزوینپوریا کاکوند<sup>۱</sup> - علی سلیمانی<sup>۱\*</sup> - فرهنگ رضوی<sup>۱</sup> - گارت برار<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

## چکیده

پسته (*Pistacia vera L.*) یکی از محصولات مهم باغبانی ایران است و شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به شرایط نامساعد محیطی، خاک و بیماری‌ها، نقش بسزایی در افزایش عملکرد و گسترش سطح زیر کشت این محصول ارزشمند دارد. هدف این پژوهش، شناسایی و ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های امیدبخش پسته مادری براساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی و فنولوژیکی در محدوده ۲۰ هکتاری باغستان سنتی قزوین است. در این پژوهش، ۲۵ ویژگی ریخت‌شناختی، ۱۵ ویژگی کمی و پنج ویژگی کیفی در ۲۴ ژنوتیپ مادری پسته براساس توصیف‌نامه بین‌المللی پسته (IPGRI) مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها بر پایه طرح آشیانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SAS9.2 انجام شد و آنالیزهای چندمتغیره همبستگی، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار Statistica 18.8 صورت گرفت. نتایج تجزیه خوشه‌ای براساس ویژگی‌های کمی، ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه مجزا دسته‌بندی کرد. همچنین، نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم به ترتیب ۲۴/۶۴ و ۱۵/۸۵ درصد از واریانس کل مشاهده‌شده در جمعیت پسته را تبیین می‌کنند. بیشترین طول، عرض و ضخامت مغز در ژنوتیپ 'SiA1' مشاهده شد. علاوه بر این، برگ‌های سه برگچه‌ای با بزرگ‌ترین سطح برگ و همچنین کیفیت بالای مغز و درصد خندانی بالا نیز در ژنوتیپ 'SiC' مشاهده گردید. خوشه‌بندی براساس ویژگی‌های کیفی، ژنوتیپ‌های پسته را در فاصله همبستگی هشت، به چهار دسته با زیرگروه‌های مختلف تقسیم کرد و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس ویژگی‌های کیفی نیز ژنوتیپ‌ها را به چهار دسته تقسیم نمود که اجزای هر دسته از لحاظ ویژگی‌های کیفی به یکدیگر شباهت داشتند. در مجموع با توجه به بسیاری از صفات ارزشمند مرتبط با مغز پسته می‌توان ژنوتیپ‌های 'SiA1' و 'SiC' را به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی و مطالعاتی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تنوع ژنتیکی، صفات کمی و کیفی

## مقدمه

پسته (*Pistacia vera L.*) یکی از محصولات مهم و کهن باغبانی بومی ایران است که از ارزش غذایی و اقتصادی بسیار بالایی برخوردار است. علاوه بر این، ارقام مختلف پسته به دلیل داشتن توانایی بالای سازگاری با شرایط نامساعد محیطی مانند شوری و خشکی آب و خاک، به‌عنوان گزینه‌های مناسبی برای کشت در مناطق کویری و تحت شرایط سخت محیطی محسوب می‌شوند (Karimi, 2012). انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به شرایط نامساعد محیطی، خاک و

بیماری‌ها، برای افزایش بهره‌وری این محصول اهمیت زیادی دارد. ارقام بومی پسته از هندوستان تا مناطق مدیترانه‌ای گسترش یافته‌اند و مناطق شمال افغانستان، شمال شرقی ایران و آسیای مرکزی به‌عنوان مراکز اصلی تنوع ژنتیکی پسته شناخته شده‌اند (Rezaei et al., 2006; Kafkas et al., 2019). تنوع ژنتیکی پسته بالا بوده و این تنوع به‌راحتی در درختان بذری قابل مشاهده است.

از آنجاکه ارزیابی و شناسایی تنوع ژنتیکی برای برنامه‌های اصلاحی و معرفی ارقام امیدبخش پسته بسیار حیاتی و مؤثر است، انتخاب دانه‌های حاصل از تلاقی درختان پسته براساس ویژگی‌های مطلوب می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر صنعت تولید پسته تأثیر بگذارد (Kallsen et al., 2009). بسیاری از ارقام تجاری برجسته، به‌ویژه از طریق انتخاب تصادفی دانه‌ها شکل گرفته‌اند؛ به‌عنوان نمونه، رقم

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشکده علوم گیاهی، کالج علوم و فناوری کشاورزی اردن، اردن

\*) نویسنده مسئول: (Email: asoleimani@znu.ac.ir)

«کرمان» که به عنوان مهم ترین رقم پسته در کالیفرنیا شناخته می شود، از بین دانه های حاصل از بذور منطقه کرمان در ایران انتخاب شده است (Parfitt et al., 1995). ارزیابی تنوع ژنتیکی بر مبنای ویژگی های پومولوژیکی و ریخت شناسی، روشی سریع و مؤثر برای شناسایی ژنوتیپ های مناسب پسته به شمار می رود (Abidi, 2016; Rezaei et al., 2019). ویژگی های مرتبط با میوه، مانند درصد پوکی مغز، خندانی و وزن مغز، از اهمیت بالایی در بازاریابی و فروش پسته برخوردارند (Rezaei et al., 2019).

ایران یکی از مهم ترین منابع ژنتیکی پسته در جهان به شمار می آید و ارقام تجاری ارزشمند این کشور شامل «اکبری»، «کله قوچی»، «احمدآقایی» و «اوحدی» است (Khadivi, 2018; Pazouki et al., 2010). توانایی پسته در سازگاری با خاک های شور و مقاومت در برابر کم آبی، باعث شده است که در سال های اخیر توجه بیشتری به کاشت این محصول در نقاط مختلف کشور معطوف شود. با این حال، بسیاری از باغات پسته به دلیل عدم انتخاب ارقام مناسب و سازگار با شرایط محلی، هر ساله با مشکلات فراوانی مواجه می شوند. بنابراین، پیش از ایجاد باغات پسته، انتخاب رقم مناسب به عنوان پایه و پیوندک باید با توجه به شرایط آب و هوایی و خاک منطقه مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد (Shrafati, 2015).

باغستان سنتی قزوین با قدمتی هزار ساله و مساحتی بالغ بر ۲۷۸۰ هکتار، در گذشته تمام شهر قزوین را احاطه کرده بود، اما امروزه نیمه جنوبی، غرب و شرق شهر را در بر می گیرد. ناصر خسرو قبادیانی نیز در قرن چهارم هجری قمری در سفرنامه خود به این باغستان اشاره کرده است (Mirhosseini, 2022). طی این قرون، کاشت پسته در باغستان قزوین به صورت بذری رایج بوده و این امر

منجر به ایجاد ژنوتیپ های مادری متنوع و گاه بسیار ارزشمند در این باغستان کهن شده است. ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ های مادری مناسب به منظور توسعه کشت و کار یا جایگزینی درختان نامناسب، از اهداف توسعه پایدار باغات در منطقه باغستان به شمار می آید. هدف پژوهش حاضر، شناسایی و ارزیابی ویژگی های ریخت شناسی و پومولوژیکی ۲۴ ژنوتیپ امیدبخش پسته مادری برای نخستین بار در بخشی از باغستان سنتی قزوین است.

## مواد و روش ها

### مواد گیاهی

این پژوهش با هدف شناسایی و کدگذاری ۲۴ ژنوتیپ امیدبخش پسته مادری در محدوده ای به وسعت حدود ۲۰ هکتار از باغستان سنتی قزوین در سال های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. اسامی و مشخصات درختان مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. باغستان سنتی قزوین در موقعیت جغرافیایی ۳۶.۲۶۹۳۵ شمالی و ۵۰.۰۰۲۹۰ شرقی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۷ متر است. این منطقه دارای میانگین دمای سالیانه ۱۳ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالیانه ۳۰۲ میلی متر است (جدول ۲). روش آبیاری در باغستان سنتی قزوین به صورت غرقابی است (Shahbazi et al., 2020). همه درختان مورد مطالعه، سالم و بالغ بوده و هیچ گونه عملیات هرس و تربیتی روی آن ها انجام نشده بود. از هر درخت، سه شاخه در سمت جغرافیایی جنوبی به عنوان سه تکرار انتخاب و از هر شاخه سه نمونه به عنوان سه مشاهده برای داده برداری استفاده گردید.

جدول ۱- کدهای شناسایی درختان پسته مورد مطالعه در باغستان سنتی قزوین

Table 1- Identification codes of the studied pistachio trees in the traditional orchard of Qazvin

| شماره درخت<br>Number of tree | کد شناسایی<br>Identification code | مختصات جغرافیایی محل استقرار درخت<br>Geographic coordinates of the location of the tree | شماره درخت<br>Number of tree | کد شناسایی<br>Identification code | مختصات جغرافیایی محل استقرار درخت<br>Geographic coordinates of the location of the tree |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                            | 'SiA1'                            | (36.238705, 49.993998)                                                                  | 13                           | 'TaE'                             | (36.249776, 50.032356)                                                                  |
| 2                            | 'SiA2'                            | (36.238773, 49.993831)                                                                  | 14                           | 'TaF'                             | (36.251958, 50.033624)                                                                  |
| 3                            | 'SiA3'                            | (36.238755, 49.993694)                                                                  | 15                           | 'TaG'                             | (36.252472, 50.032689)                                                                  |
| 4                            | 'SiA4'                            | (36.238757, 49.993729)                                                                  | 16                           | 'AbA'                             | (36.242203, 49.980606)                                                                  |
| 5                            | 'SiA5'                            | (36.23869, 49.993674)                                                                   | 17                           | 'AbB'                             | (36.242928, 49.980013)                                                                  |
| 6                            | 'SiA6'                            | (36.238643, 49.993668)                                                                  | 18                           | 'AbC'                             | (36.244546, 49.979738)                                                                  |
| 7                            | 'SiB'                             | (36.239329, 49.994815)                                                                  | 19                           | 'AbD'                             | (36.243393, 49.980534)                                                                  |
| 8                            | 'SiC'                             | (36.240373, 49.995957)                                                                  | 20                           | 'AbE'                             | (36.242328, 49.98035)                                                                   |
| 9                            | 'TaA'                             | (36.24692, 50.032936)                                                                   | 21                           | 'OaA'                             | (36.238062, 50.001235)                                                                  |
| 10                           | 'TaB'                             | (36.246539, 50.032924)                                                                  | 22                           | 'KaA'                             | (36.247414, 49.995037)                                                                  |
| 11                           | 'TaC'                             | (36.246547, 50.034252)                                                                  | 23                           | 'BaA'                             | (36.247636, 49.969554)                                                                  |
| 12                           | 'TaD'                             | (36.24709, 50.033859)                                                                   | 24                           | 'BrA'                             | (36.239569, 49.993922)                                                                  |



جدول ۲- اطلاعات مربوط به دمای هوا و میزان بارندگی در استان قزوین طی دو سال متوالی ۱۴۰۱-۱۴۰۲  
Table 2- Information about temperature and rainfall in Qazvin province during two consecutive years 1401-1402.

| اطلاعات ایستگاه هواشناسی قزوین<br>Information of Qazvin Weather Station |                                |              |                   |              |              |                |                                |              |                   |              |                |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------------|--------------|-------------------|--------------|----------------|
|                                                                         | سال ۱۴۰۱<br>Year 1401          |              |                   |              |              |                | سال ۱۴۰۲<br>Year 1402          |              |                   |              |                |
|                                                                         | درجه حرارت<br>Temperature (°C) |              |                   |              |              |                | درجه حرارت<br>Temperature (°C) |              |                   |              |                |
|                                                                         | حداقل<br>Minimum               | معدل<br>Mean | حداکثر<br>Maximum | معدل<br>Mean | معدل<br>Mean | مجموع<br>Total | حداقل<br>Minimum               | معدل<br>Mean | حداکثر<br>Maximum | معدل<br>Mean | مجموع<br>Total |
| فروردین<br>March/April                                                  | 6.1                            | 13.7         | 21.3              | 5.8          | 19.9         | 16             | -1.5                           | 12.9         | 26.5              | 18           | 28.3           |
| اردیبهشت<br>April/May                                                   | 9.6                            | 17.8         | 26                | 9.5          | 26.5         | 19.6           | 4.4                            | 18           | 32                | 36.3         | 8.4            |
| خرداد<br>May/June                                                       | 14.3                           | 23.8         | 33.3              | 14.9         | 33           | 0.5            | 3.3                            | 24           | 36.3              | 11           | 9              |
| تیر<br>June/July                                                        | 17.5                           | 27.1         | 36.7              | 17.4         | 36.3         | 0              | 13.5                           | 26.8         | 40.1              | 12.8         | 0              |
| مرداد<br>July/August                                                    | 17.2                           | 26.8         | 36.4              | 19.1         | 37.1         | 3.9            | 13.4                           | 28.1         | 40                | 15.1         | 0              |
| شهریور<br>August/September                                              | 14.6                           | 24.1         | 33.5              | 15.2         | 33.6         | 0              | 11.5                           | 24.4         | 39.6              | 9.4          | 0              |
| مهر<br>September/October                                                | 11.7                           | 20.3         | 28.9              | 10.6         | 25.6         | 0              | 7.5                            | 18.1         | 29.7              | 5.9          | 8.4            |
| آبان<br>October/November                                                | 4.2                            | 11.3         | 18.5              | 7.3          | 20.9         | 10.8           | -0.6                           | 14.1         | 25.8              | 4.1          | 20.8           |
| آذر<br>November/December                                                | 1.4                            | 6.4          | 11.4              | 1.8          | 14.9         | 12.2           | -3.6                           | 8.3          | 18.6              | -3           | 5.2            |
| دی<br>December/January                                                  | -4                             | 0.8          | 5.6               | 0.6          | 12.6         | 28.3           | -14                            | 6.6          | 15.9              | -4.3         | 10.1           |
| بهمن<br>January/February                                                | -4.1                           | 0.8          | 5.8               | 0.5          | 10.5         | 42.4           | -9.6                           | 5.5          | 19.5              | -5.2         | 47.8           |
| اسفند<br>February/March                                                 | 3.6                            | 10.3         | 17                | 0            | 11.8         | 42.3           | -7.1                           | 5.9          | 18.7              | -6.8         | 19.9           |

زمان انجام نمونه برداری نیز براساس اندام مورد ارزیابی متفاوت بود، برای مثال نمونه برداری جهت ارزیابی صفات مربوط به برگ و برگچه در اواخر خرداد همزمان با بلوغ برگ‌ها و ارزیابی صفات مربوط به میوه نیز در زمان بلوغ میوه یعنی اواخر شهریور انجام گردید.

### اندازه‌گیری صفات کمی

در این پژوهش، ۴۰ ویژگی فنولوژیکی و ریخت‌شناختی شامل ۲۵ صفت مرتبط با میوه و ۱۵ صفت رویشی، براساس توصیف‌نامه بین‌المللی پسته (IPGRI 1997) در درختان مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. ابعاد میوه و مغز (طول، عرض و ضخامت) و قطر شاخه‌های سال جاری با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری گردید. وزن تر و خشک مغز، میوه و پوست میوه با دقت ۰/۰۱ گرم توسط ترازوی دیجیتال تعیین شد. طول و عرض برگ، برگچه‌های انتهایی و جانبی، و طول شاخه‌های سال جاری با خط‌کش معمولی اندازه‌گیری گردید. برای تخمین درصد خندانی، غیرخندانی و پوکی میوه‌ها، تعداد میوه‌های شکاف‌خورده طبیعی، بدون شکاف و فاقد مغز به‌طور تصادفی در ۱۰ نمونه ۱۰ تایی از هر ژنوتیپ شمارش شد. همچنین، تاریخ شروع، اوج و پایان گل‌دهی به‌ترتیب هنگام باز شدن پنج، ۵۰ و ۹۵ درصد جوانه‌های گل هر درخت ثبت گردید.

### اندازه‌گیری صفات کیفی

صفات کیفی مورد نظر مانند عادت رشد درخت، عادت شاخه‌دهی، زمان گل‌دهی، شکل برگچه انتهایی و اندازه برگچه انتهایی، به‌صورت کددهی منطبق بر توصیف‌نامه، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### نوع طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش براساس طرح آزمایشی آشیانه‌ای با سه تکرار در هر آشیانه انجام شده و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری یک درصد به کمک نرم-افزار SAS 9.2 صورت گرفت. آنالیزهای چندمتغیره همبستگی، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار Statistica 18.8 انجام شد.

### نتایج و بحث

#### صفات کمی

#### صفات مربوط به برگ

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها که در شکل ۱ (a) ارائه شده است، بزرگ‌ترین طول برگ به همراه دم‌برگ مربوط به ژنوتیپ 'SiC'

و کوچک‌ترین آن مربوط به ژنوتیپ 'TaD' می‌باشد. در خصوص عرض برگ با دم‌برگ، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مقادیر به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های 'SiC' و 'AbC' مشاهده شد (شکل ۱(b)). علاوه بر این، ژنوتیپ 'SiC' دارای بزرگ‌ترین طول و عرض برگچه انتهایی بوده و کوچک‌ترین مقادیر این صفات به ژنوتیپ 'TaD' اختصاص یافت. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ 'BrA' بیشترین و ژنوتیپ 'SiC' کمترین نسبت طول به عرض برگچه انتهایی را نشان دادند که اختلاف آن‌ها به ۳۴/۷۷ درصد می‌رسد (جدول ۳).

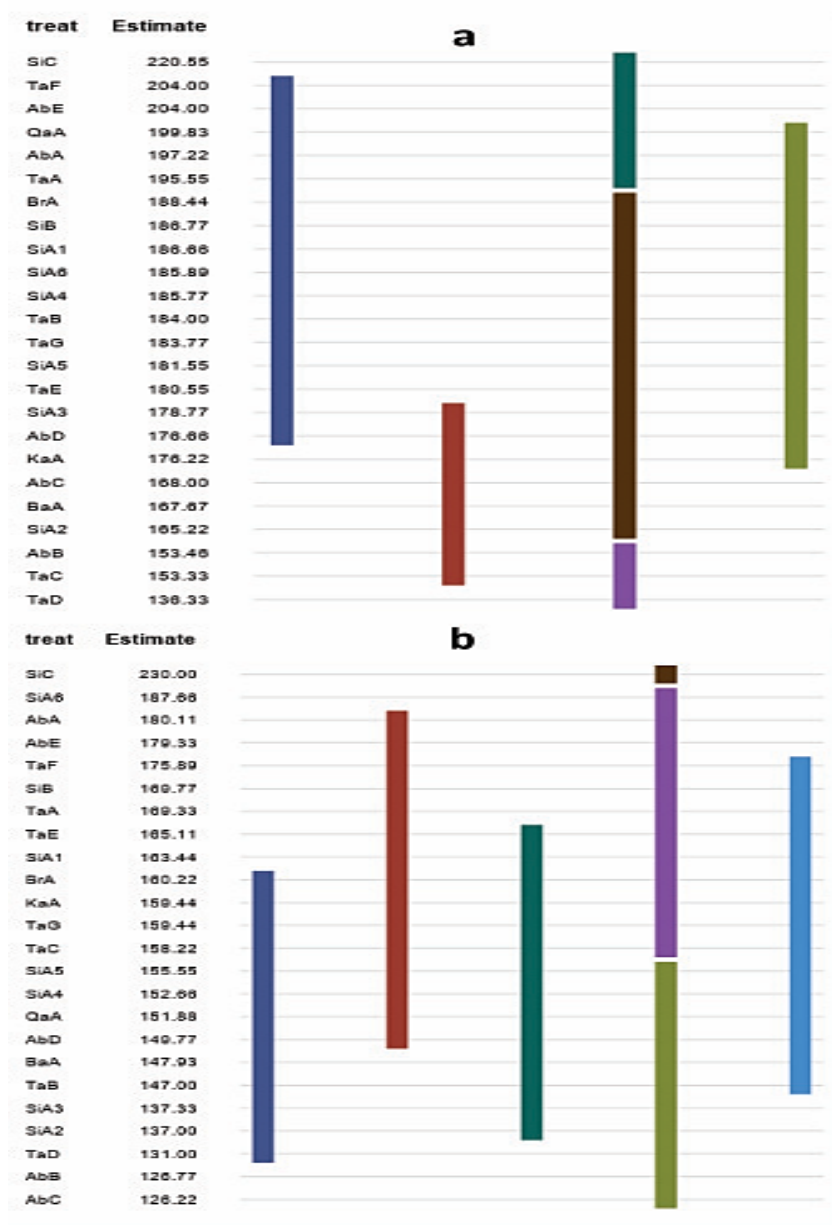
رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019) گزارش کردند که در برخی ژنوتیپ‌های ایرانی، طول برگ‌ها در محدوده ۱۰/۷۷ تا ۵۰/۶۳ سانتی‌متر و عرض آن‌ها بین ۸/۳۷ تا ۲۴/۲۵ سانتی‌متر قرار دارد. همچنین، در برخی ژنوتیپ‌های پرورش‌یافته در الجزایر، طول و عرض برگ‌ها به‌ترتیب بین ۱۶/۰۲ تا ۱۹/۹۵ سانتی‌متر و ۱۶/۹۸ تا ۱۸/۴۶ سانتی‌متر گزارش شد (Boualem et al., 2015). در گزارش دیگری، محدوده طول و عرض برگ‌های برخی از ژنوتیپ‌های امیدبخش پسته ایرانی به‌ترتیب ۱۳/۰۸ تا ۱۹/۹۹ و ۱۲/۴۸ تا ۱۸/۳۰ سانتی‌متر تخمین زده شد و محدوده طول و عرض برگچه انتهایی نیز به‌ترتیب بین ۷ تا ۱۱/۴ و ۳/۸۲ تا ۱۱/۱۶ سانتی‌متر بود (Neyshaburi et al., 2021). در مطالعه دیگری با ارزیابی نمونه-های مختلف پسته مشخص شد که بین وزن میوه با طول برگچه و همچنین ابعاد برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (Kafkas & Perl-Treves, 2001). نتایج برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که ابعاد برگ همبستگی مستقیمی با صفاتی مانند وزن مغز داشت. برگ‌ها مهم‌ترین اندام برای جذب نور و فتوسنتز هستند و با افزایش سطح برگ، محصولات فتوسنتزی افزایش می‌یابد که به مصرف میوه می‌رسد (Mashmoul et al., 2013).

#### صفات مربوط به میوه و مغز

شکل ۲ (a) نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین طول دانه به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ 'SiA<sub>1</sub>' و ژنوتیپ 'AbC' بود. بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عرض دانه نیز به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های 'SiB' و 'TaG' مشاهده شد و اختلافی در حدود ۲۸/۸۱ درصد داشتند (شکل ۲(b)). علاوه بر این بیشترین و کمترین ضخامت میوه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ 'SiB' و ژنوتیپ 'AbD' بود و اختلافی حدود ۳۰/۱۷ درصد داشتند (جدول ۳). از نظر وزن ۱۰۰ دانه نیز ژنوتیپ‌های 'TaF' و 'AbC' به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار بودند. در مورد مغز میوه، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین طول و عرض به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های 'SiA<sub>1</sub>' و 'AbC' بود،

طول مغز میوه بین ۱۵/۰۴ تا ۱۹/۳۲ میلی‌متر و عرض مغز ۸/۳۷ تا ۱۱/۴۷ میلی‌متر گزارش شد (Neyshaburi et al., 2021). در مطالعه دیگری محدوده طول و عرض دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، به‌ترتیب بین ۱۵/۱۹ تا ۲۱/۰۴ و ۸/۵۹ تا ۸/۸۸ میلی‌متر گزارش شد (Yarilgac & Yalcin., 2007). در دو پژوهش انجام‌گرفته روی ژنوتیپ‌های پسته در ایران و ترکیه، به‌ترتیب وزن دانه بین ۰/۶۰ تا ۱/۸۰ و ۰/۸۴ تا ۱/۵۳ گرم گزارش شد (Rezaei et al., 2019; Kazankaya et al., 2008).

همچنین ژنوتیپ 'SiC1' بزرگ‌ترین ضخامت مغز را داشت و کوچک‌ترین ضخامت مغز نیز در ژنوتیپ 'TaC' مشاهده شد. از طرف دیگر، بیشترین و کم‌ترین وزن ۱۰۰ مغز نیز به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های 'SiA1' و 'AbC' بود. علاوه‌بر این، ژنوتیپ‌های 'SiA5' و 'TaF' به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین نسبت وزن ۱۰۰ عدد مغز خشک به دانه خشک را نشان دادند (جدول ۳). در پژوهشی که روی ژنوتیپ‌های امیدبخش پسته ایران انجام گرفت، محدوده طول دانه از ۱۶/۶ تا ۲۳/۶۸ میلی‌متر و محدوده عرض دانه بین ۱۰/۴۶ تا ۱۳/۷ میلی‌متر مشخص شد، علاوه‌بر این در این پژوهش



شکل ۱- صفات طول (a) و عرض (b) برگ در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه پسته

Figure 1- The leaf length (a) and width (b) traits in the studied pistachio genotypes (DMRT,  $p \leq 0.01$ )

جدول ۳- میانگین  $\pm$  خطای استاندارد (SD) صفات کمی اندازه‌گیری شده براساس توصیف‌نامه بین‌المللی در ژنوتیپ‌های مختلف پسته باغستان سنتی قزوین

Table 3- Mean  $\pm$  standard error (SD) of quantitative traits measured according to the international description in different genotypes of Qazvin traditional orchard of pistachio

| کد ژنوتیپ<br>Genotype code | عرض برگ<br>LW      | طول برگ<br>LL      | عرض برگچه انتهایی<br>TLW | طول برگچه انتهایی<br>TLL | نسبت طول به عرض برگچه انتهایی<br>TLL/W | طول دانه<br>NL   |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------|------------------|
| 'AbA'                      | 180.10 $\pm$ 5.39  | 197.21 $\pm$ 1.23  | 61.17 $\pm$ 2.97         | 99.10 $\pm$ 2.94         | 1.61 $\pm$ 0.04                        | 16.93 $\pm$ 0.23 |
| 'AbB'                      | 126.77 $\pm$ 3.88  | 153.45 $\pm$ 10.27 | 50.26 $\pm$ 2.72         | 74.86 $\pm$ 2.68         | 1.48 $\pm$ 0.04                        | 17.59 $\pm$ 0.20 |
| 'AbC'                      | 126.22 $\pm$ 4.89  | 167.99 $\pm$ 9.88  | 56.69 $\pm$ 2.04         | 76.17 $\pm$ 2.04         | 1.34 $\pm$ 0.8                         | 12.73 $\pm$ 0.23 |
| 'AbD'                      | 149.77 $\pm$ 4.56  | 176.66 $\pm$ 3.89  | 54.83 $\pm$ 1.22         | 85.24 $\pm$ 3.63         | 1.54 $\pm$ 0.06                        | 16.69 $\pm$ 0.14 |
| 'AbE'                      | 179.32 $\pm$ 2.90  | 203.99 $\pm$ 4.00  | 57.97 $\pm$ 0.93         | 105.98 $\pm$ 0.98        | 1.82 $\pm$ 0.04                        | 15.49 $\pm$ 0.20 |
| 'BaA'                      | 147.93 $\pm$ 4.97  | 167.66 $\pm$ 9.05  | 54.97 $\pm$ 4.01         | 80.23 $\pm$ 2.16         | 1.46 $\pm$ 0.07                        | 16.45 $\pm$ 0.15 |
| 'BrA'                      | 160.22 $\pm$ 8.19  | 188.44 $\pm$ 4.53  | 48.41 $\pm$ 1.84         | 97.07 $\pm$ 2.42         | 2.00 $\pm$ 0.08                        | 17.07 $\pm$ 0.24 |
| 'KaA'                      | 159.44 $\pm$ 4.64  | 176.22 $\pm$ 4.22  | 50.59 $\pm$ 0.09         | 85.40 $\pm$ 1.64         | 1.68 $\pm$ 0.03                        | 17.07 $\pm$ 0.53 |
| 'QaA'                      | 151.88 $\pm$ 1.69  | 199.83 $\pm$ 8.63  | 56.62 $\pm$ 2.06         | 88.27 $\pm$ 1.66         | 1.55 $\pm$ 0.03                        | 17.53 $\pm$ 0.36 |
| 'SiA1'                     | 163.44 $\pm$ 3.72  | 186.66 $\pm$ 5.79  | 55.86 $\pm$ 0.87         | 98.87 $\pm$ 4.55         | 1.76 $\pm$ 0.10                        | 21.48 $\pm$ 0.08 |
| 'SiA2'                     | 137.00 $\pm$ 2.64  | 165.22 $\pm$ 5.38  | 51.77 $\pm$ 0.61         | 82.23 $\pm$ 1.32         | 1.58 $\pm$ 0.03                        | 16.37 $\pm$ 0.19 |
| 'SiA3'                     | 137.33 $\pm$ 7.34  | 178.77 $\pm$ 6.23  | 49.49 $\pm$ 1.90         | 80.66 $\pm$ 4.55         | 1.62 $\pm$ 0.04                        | 16.44 $\pm$ 0.11 |
| 'SiA4'                     | 152.66 $\pm$ 5.21  | 185.77 $\pm$ 3.97  | 49.20 $\pm$ 1.63         | 86.28 $\pm$ 3.33         | 1.75 $\pm$ 0.06                        | 17.52 $\pm$ 0.35 |
| 'SiA5'                     | 155.55 $\pm$ 18.23 | 181.55 $\pm$ 10.11 | 62.87 $\pm$ 7.64         | 93.63 $\pm$ 12.10        | 1.48 $\pm$ 0.01                        | 18.14 $\pm$ 0.11 |
| 'SiA6'                     | 187.66 $\pm$ 12.99 | 185.88 $\pm$ 3.72  | 69.31 $\pm$ 2.70         | 97.99 $\pm$ 8.88         | 1.41 $\pm$ 0.10                        | 18.04 $\pm$ 0.08 |
| 'SiB'                      | 169.77 $\pm$ 2.51  | 186.77 $\pm$ 6.15  | 59.31 $\pm$ 3.23         | 112.04 $\pm$ 9.93        | 1.91 $\pm$ 0.26                        | 19.29 $\pm$ 0.13 |
| 'SiC'                      | 229.99 $\pm$ 11.78 | 220.55 $\pm$ 2.70  | 99.87 $\pm$ 5.10         | 130.77 $\pm$ 4.79        | 1.30 $\pm$ 0.03                        | 19.36 $\pm$ 0.14 |
| 'TaA'                      | 169.33 $\pm$ 3.67  | 195.55 $\pm$ 6.72  | 63.90 $\pm$ 0.14         | 95.95 $\pm$ 2.28         | 1.49 $\pm$ 0.03                        | 19.34 $\pm$ 0.08 |
| 'TaB'                      | 146.99 $\pm$ 0.69  | 183.99 $\pm$ 4.84  | 51.24 $\pm$ 0.93         | 87.91 $\pm$ 1.68         | 1.71 $\pm$ 0.02                        | 16.46 $\pm$ 0.09 |
| 'TaC'                      | 158.21 $\pm$ 4.14  | 153.33 $\pm$ 3.28  | 63.31 $\pm$ 2.89         | 90.16 $\pm$ 3.58         | 1.42 $\pm$ 0.04                        | 15.65 $\pm$ 0.44 |
| 'TaD'                      | 131.00 $\pm$ 2.30  | 136.00 $\pm$ 2.30  | 45.51 $\pm$ 1.96         | 72.09 $\pm$ 1.01         | 1.58 $\pm$ 0.08                        | 15.59 $\pm$ 0.07 |
| 'TaE'                      | 165.11 $\pm$ 8.45  | 180.55 $\pm$ 4.18  | 55.80 $\pm$ 1.81         | 97.83 $\pm$ 0.69         | 1.75 $\pm$ 0.04                        | 18.15 $\pm$ 0.05 |
| 'TaF'                      | 175.88 $\pm$ 6.73  | 203.99 $\pm$ 7.57  | 55.64 $\pm$ 2.78         | 103.41 $\pm$ 3.09        | 1.86 $\pm$ 0.10                        | 19.23 $\pm$ 0.19 |
| 'TaG'                      | 159.44 $\pm$ 1.54  | 183.77 $\pm$ 3.63  | 55.63 $\pm$ 1.09         | 98.64 $\pm$ 3.44         | 1.77 $\pm$ 0.02                        | 14.75 $\pm$ 0.12 |

LW: عرض برگ با دم‌برگ، LL: طول برگ با دم‌برگ، TLW: عرض برگچه انتهایی، TLL/W: طول برگچه انتهایی/عرض برگچه انتهایی، NL: طول دانه

LW: leaf width (mm), LL: leaf length (mm), TLW: terminal leaflet width (mm), TLL: terminal leaflet length (mm), TLL/W: terminal leaflet length/width ratio, NL: nut length (mm)

ادامه جدول ۳- میانگین  $\pm$  خطای استاندارد (SD) صفات کمی اندازه‌گیری شده براساس توصیف‌نامه بین المللی در ژنوتیپ‌های مختلف پسته باغستان سنتی قزوین

Continued table 3- Mean  $\pm$  standard error (SD) of quantitative traits measured according to the international description in different genotypes of Qazvin traditional orchard of pistachio

| کد ژنوتیپ<br>Genotype Code | عرض دانه<br>NWi  | ضخامت دانه<br>NT | وزن ۱۰۰ دانه<br>NW | وزن ۱۰۰ مغز<br>KW | نسبت وزن ۱۰۰ دانه خشک به ۱۰۰ عدد مغز خشک<br>K/N |
|----------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------------------|
| 'AbA'                      | 10.18 $\pm$ 0.19 | 8.95 $\pm$ 0.19  | 70.52 $\pm$ 1.70   | 34.55 $\pm$ 1.12  | 48.93 $\pm$ 0.74                                |
| 'AbB'                      | 10.50 $\pm$ 0.20 | 9.18 $\pm$ 0.06  | 72.88 $\pm$ 2.23   | 39.55 $\pm$ 0.90  | 54.28 $\pm$ 0.44                                |
| 'AbC'                      | 9.66 $\pm$ 0.31  | 8.34 $\pm$ 0.16  | 51.19 $\pm$ 3.00   | 23.69 $\pm$ 1.85  | 46.17 $\pm$ 1.12                                |
| 'AbD'                      | 9.69 $\pm$ 0.22  | 8.10 $\pm$ 0.08  | 62.75 $\pm$ 0.25   | 30.75 $\pm$ 0.52  | 48.18 $\pm$ 0.11                                |
| 'AbE'                      | 9.88 $\pm$ 0.20  | 9.61 $\pm$ 0.06  | 67.88 $\pm$ 0.88   | 35.11 $\pm$ 0.58  | 51.71 $\pm$ 0.57                                |
| 'BaA'                      | 10.16 $\pm$ 0.11 | 9.87 $\pm$ 0.12  | 73.99 $\pm$ 1.02   | 36.99 $\pm$ 0.33  | 49.99 $\pm$ 0.25                                |
| 'BrA'                      | 10.83 $\pm$ 0.17 | 10.54 $\pm$ 0.04 | 88.51 $\pm$ 1.68   | 43.44 $\pm$ 0.78  | 49.07 $\pm$ 0.39                                |
| 'KaA'                      | 10.84 $\pm$ 0.23 | 9.57 $\pm$ 0.12  | 76.77 $\pm$ 2.12   | 42.13 $\pm$ 0.41  | 54.97 $\pm$ 1.97                                |
| 'QaA'                      | 10.54 $\pm$ 0.08 | 10.37 $\pm$ 0.12 | 78.63 $\pm$ 1.37   | 44.25 $\pm$ 0.90  | 56.27 $\pm$ 0.82                                |
| 'SiA1'                     | 13.04 $\pm$ 0.08 | 11.51 $\pm$ 0.38 | 128.16 $\pm$ 1.44  | 68.88 $\pm$ 2.12  | 53.72 $\pm$ 1.17                                |
| 'SiA2'                     | 10.30 $\pm$ 0.08 | 9.55 $\pm$ 0.17  | 75.87 $\pm$ 2.19   | 38.11 $\pm$ 1.06  | 50.24 $\pm$ 0.89                                |
| 'SiA3'                     | 10.39 $\pm$ 0.05 | 8.91 $\pm$ 0.12  | 67.74 $\pm$ 1.87   | 34.47 $\pm$ 0.46  | 50.94 $\pm$ 0.75                                |
| 'SiA4'                     | 10.54 $\pm$ 0.23 | 9.97 $\pm$ 0.09  | 81.38 $\pm$ 3.90   | 40.00 $\pm$ 2.08  | 49.15 $\pm$ 1.02                                |
| 'SiA5'                     | 11.36 $\pm$ 0.12 | 10.11 $\pm$ 0.09 | 68.76 $\pm$ 7.99   | 44.77 $\pm$ 0.94  | 66.91 $\pm$ 8.01                                |
| 'SiA6'                     | 11.15 $\pm$ 0.03 | 10.96 $\pm$ 0.09 | 94.66 $\pm$ 1.64   | 49.61 $\pm$ 0.38  | 52.42 $\pm$ 0.61                                |
| 'SiB'                      | 13.04 $\pm$ 0.13 | 11.61 $\pm$ 0.55 | 119.77 $\pm$ 3.37  | 66.91 $\pm$ 2.14  | 55.85 $\pm$ 0.37                                |
| 'SiC'                      | 10.28 $\pm$ 0.18 | 9.58 $\pm$ 0.23  | 84.33 $\pm$ 3.17   | 48.33 $\pm$ 3.17  | 57.30 $\pm$ 0.30                                |
| 'TaA'                      | 10.09 $\pm$ 0.08 | 8.94 $\pm$ 0.02  | 78.60 $\pm$ 1.97   | 40.69 $\pm$ 1.40  | 51.74 $\pm$ 0.63                                |
| 'TaB'                      | 9.90 $\pm$ 0.10  | 9.86 $\pm$ 0.18  | 76.30 $\pm$ 1.35   | 37.80 $\pm$ 0.65  | 49.54 $\pm$ 0.47                                |
| 'TaC'                      | 9.66 $\pm$ 0.07  | 8.31 $\pm$ 0.09  | 59.52 $\pm$ 2.64   | 31.44 $\pm$ 2.35  | 52.68 $\pm$ 1.86                                |
| 'TaD'                      | 10.09 $\pm$ 0.21 | 8.34 $\pm$ 0.10  | 65.19 $\pm$ 0.90   | 31.19 $\pm$ 1.25  | 47.81 $\pm$ 1.40                                |
| 'TaE'                      | 10.77 $\pm$ 0.14 | 9.23 $\pm$ 0.10  | 77.08 $\pm$ 2.62   | 41.27 $\pm$ 0.14  | 53.67 $\pm$ 1.94                                |
| 'TaF'                      | 11.29 $\pm$ 0.15 | 10.42 $\pm$ 0.08 | 135.06 $\pm$ 2.40  | 51.10 $\pm$ 0.72  | 37.87 $\pm$ 1.11                                |
| 'TaG'                      | 9.28 $\pm$ 0.05  | 9.26 $\pm$ 0.15  | 57.86 $\pm$ 0.27   | 31.22 $\pm$ 0.40  | 53.95 $\pm$ 0.60                                |

NWi: عرض دانه، NT: ضخامت دانه، NW: وزن ۱۰۰ دانه، KW: وزن ۱۰۰ مغز، KN: نسبت وزن ۱۰۰ عدد دانه خشک به ۱۰۰ عدد مغز

NWi: nut width (mm), NT: nut thickness (mm), NW: 100 nut weight (g), KW: 100 kernel weight (g), K/N: kernel/nut DW (%)

می‌باشد که ارزش اقتصادی و بازاریابی این محصول را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مطالعات انجام‌شده روی ژنوتیپ‌های ایرانی درصد خندانی ۵۸ تا ۹۵ درصد و ۰ تا ۹۷/۳۷ درصد گزارش شد (Neyshaburi et al., 2021; Rezaei et al., 2019)، علاوه بر این، درصد خندانی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در الجزیره بین ۹/۶۲ تا ۸۵/۷۵ درصد تخمین زده شد (Boualem et al., 2015). درصد خندانی و وزن مغز بیشتر به همراه درصد پوکی پایین، صفات مهم و تأثیرگذار در برنامه‌های اصلاحی پسته می‌باشد (Chao et al., 1997; Rezaei et al., 2019). از این رو، با در نظر گرفتن این صفات، می‌توان ژنوتیپ‌های 'SiC'، 'SiA<sub>6</sub>' و 'SiA<sub>1</sub>' را به‌عنوان ارقام برتر پسته معرفی نمود و به‌عنوان والد در برنامه‌های اصلاحی پسته مورد استفاده قرار داد.

از نظر درصد پوکی، ژنوتیپ‌های 'TaC' و 'SiA<sub>6</sub>' به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین درصد این صفت را دارا می‌باشند (جدول ۳). در پژوهش انجام‌شده روی ارقام بومی تونس، درصد پوکی بین ۲ تا ۶۲ درصد گزارش شد (Ghrab et al., 2012)، درحالی‌که درصد این صفت در ژنوتیپ‌های ایرانی بین ۲/۶۳ تا ۹۸/۴۶ درصد گزارش شد (Rezaei et al., 2019). در مطالعه اخیر، درصد پوکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کمتر از درصد این صفت در ژنوتیپ‌های بررسی‌شده توسط رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019) بود. تغذیه ضعیف، عدم گرده‌افشانی و کمبود آب طی گل‌انگیزی و رشد مغز، وقوع سقط جنین را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Abidi, 2016).

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، بالاترین درصد خندانی مربوط به ژنوتیپ SiC و پایین‌ترین درصد نیز متعلق به ژنوتیپ 'AbD' بود (جدول ۳)، درصد خندانی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌ها در تولید پسته

## خوشه‌بندی براساس صفات کمی

خوشه‌بندی براساس صفات کمی مورد مطالعه، در فاصله ۱۵۰ واحد، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را به سه دسته تقسیم نمود. هر دسته دارای دو زیردسته بودند (شکل ۳). طبق این شکل، ژنوتیپ 'SiC' با دارا بودن بالاترین اندازه طول و عرض برگ و دانه به‌صورت جداگانه در گروه چهارم قرار گرفت.

## پراکنش ژنوتیپ‌ها براساس صفات کمی

تجزیه پلات با استفاده از دو مؤلفه اصلی صفات کمی، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را به چهار دسته که اجزاء نزدیک هم دارند، تقسیم نمود. براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اول ۴۰/۲۶ درصد واریانس کل را پوشش داد، درحالی‌که مؤلفه دوم ۱۸/۸۵ درصد واریانس کل را شامل شد (شکل ۴).

نتایج مربوط به سهم صفات کمی مورد استفاده در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در شکل‌گیری مؤلفه اول، صفات پومولوژیکی میوه از قبیل وزن ۱۰۰ مغز (KW) (۰/۹۶)، طول مغز (KL) (۰/۹۲)، طول دانه (NL) (۰/۸۸) و وزن ۱۰۰ دانه (NW)

(۰/۸۷)، ضخامت دانه (NT) (۰/۸۶)، عرض دانه (NWi) (۰/۸۵)، ضخامت دانه (KT) (۰/۷۸) و عرض مغز (KWi) (۰/۷۵) بیشترین نقش را داشتند. همچنین در مؤلفه دوم، صفات ریخت‌شناختی مربوط به برگ شامل عرض برگچه انتهایی (TLW) (۰/۷۷)، فاصله به روز براساس باز شدن ۵۰ درصد گل‌ها (PBD) (۰/۷۱) و عرض کل برگ (LW) (۰/۶۹) داده‌های معنی‌داری را نشان دادند. نتایج حاصل صحت گروه‌بندی از طریق تجزیه خوشه‌ای را بیان می‌کند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در تجزیه خوشه‌ای در یک گروه واقع شدند، در شکل مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز نزدیک یکدیگر قرار گرفتند. به‌طور مشابه در پژوهشی گزارش شد که مؤلفه اول به‌طور مثبت با صفات مرتبط با میوه مانند وزن دانه و مغز، طول و عرض دانه و مغز ارتباط دارد (Rezaei et al., 2019). علاوه‌بر این، نتایج پژوهش دیگری نشان می‌دهد که صفات مرتبط با دانه، برگ و برگچه در ژنوتیپ‌های پسته دارای داده‌های با معنی در مؤلفه اول بود و مؤلفه دوم به‌صورت معنی‌دار با صفات مرتبط با طول و عرض دانه و طول و عرض مغز در ارتباط بود (Karimi et al., 2009).

ادامه جدول ۳- میانگین  $\pm$  خطای استاندارد (SD) صفات کمی اندازه‌گیری شده براساس توصیف‌نامه بین‌المللی در ژنوتیپ‌های مختلف پسته باغستان سنتی قزوین

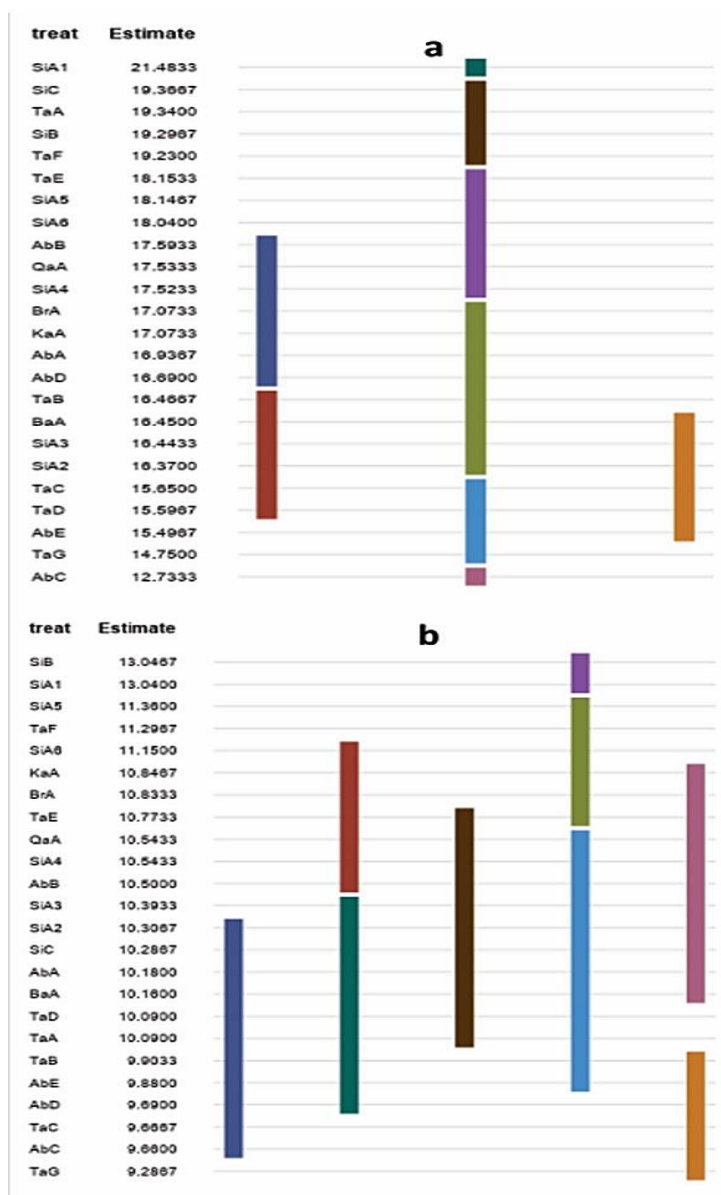
Continued table 3- Mean  $\pm$  standard error (SD) of quantitative traits measured according to the international description in different genotypes of Qazvin traditional orchard of pistachio

| کد ژنوتیپ<br>Genotype code | طول مغز<br>KL    | عرض مغز<br>Kwi   | ضخامت مغز<br>KT | درصد خندانی<br>SN | درصد پوکی<br>BN  |
|----------------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| 'AbA'                      | 14.36 $\pm$ 0.08 | 8.08 $\pm$ 0.41  | 6.74 $\pm$ 0.06 | 44.50 $\pm$ 3.78  | 20.00 $\pm$ 0.76 |
| 'AbB'                      | 14.45 $\pm$ 0.24 | 8.60 $\pm$ 0.17  | 7.28 $\pm$ 0.09 | 64.50 $\pm$ 3.32  | 12.00 $\pm$ 1.32 |
| 'AbC'                      | 10.70 $\pm$ 0.29 | 7.14 $\pm$ 0.39  | 6.65 $\pm$ 0.17 | 47.00 $\pm$ 2.92  | 12.50 $\pm$ 1.15 |
| 'AbD'                      | 14.18 $\pm$ 0.11 | 8.00 $\pm$ 0.04  | 6.27 $\pm$ 0.18 | 26.00 $\pm$ 2.02  | 15.50 $\pm$ 2.56 |
| 'AbE'                      | 13.86 $\pm$ 0.31 | 8.07 $\pm$ 0.13  | 6.91 $\pm$ 0.09 | 53.50 $\pm$ 3.05  | 14.50 $\pm$ 2.51 |
| 'BaA'                      | 14.30 $\pm$ 0.11 | 8.11 $\pm$ 0.16  | 7.58 $\pm$ 0.04 | 60.50 $\pm$ 3.51  | 17.50 $\pm$ 5.13 |
| 'BrA'                      | 14.63 $\pm$ 0.39 | 8.06 $\pm$ 0.08  | 8.16 $\pm$ 0.11 | 60.50 $\pm$ 1.32  | 19.00 $\pm$ 4.64 |
| 'KaA'                      | 15.16 $\pm$ 0.50 | 8.03 $\pm$ 0.15  | 7.36 $\pm$ 0.16 | 76.50 $\pm$ 3.32  | 9.50 $\pm$ 2.02  |
| 'QaA'                      | 15.10 $\pm$ 0.23 | 8.72 $\pm$ 0.18  | 8.18 $\pm$ 0.11 | 61.50 $\pm$ 2.29  | 12.00 $\pm$ 1.80 |
| 'SiA1'                     | 18.97 $\pm$ 0.15 | 10.25 $\pm$ 0.22 | 8.56 $\pm$ 0.14 | 75.50 $\pm$ 5.00  | 14.50 $\pm$ 2.56 |
| 'SiA2'                     | 14.11 $\pm$ 0.10 | 8.30 $\pm$ 0.11  | 7.43 $\pm$ 0.14 | 77.50 $\pm$ 3.12  | 11.50 $\pm$ 1.32 |
| 'SiA3'                     | 14.20 $\pm$ 0.07 | 8.39 $\pm$ 0.02  | 7.21 $\pm$ 0.20 | 73.50 $\pm$ 1.80  | 14.00 $\pm$ 2.17 |
| 'SiA4'                     | 14.88 $\pm$ 0.24 | 8.23 $\pm$ 0.17  | 7.89 $\pm$ 0.15 | 71.00 $\pm$ 1.80  | 13.00 $\pm$ 1.04 |
| 'SiA5'                     | 15.33 $\pm$ 0.06 | 8.26 $\pm$ 0.16  | 7.54 $\pm$ 0.17 | 46.00 $\pm$ 3.40  | 19.00 $\pm$ 1.80 |
| 'SiA6'                     | 15.79 $\pm$ 0.13 | 8.48 $\pm$ 0.23  | 8.47 $\pm$ 0.25 | 78.00 $\pm$ 5.22  | 8.50 $\pm$ 1.52  |
| 'SiB'                      | 16.73 $\pm$ 0.31 | 9.75 $\pm$ 0.13  | 8.55 $\pm$ 0.33 | 54.50 $\pm$ 3.21  | 14.50 $\pm$ 1.15 |
| 'SiC'                      | 16.37 $\pm$ 0.09 | 7.62 $\pm$ 0.21  | 7.55 $\pm$ 0.19 | 81.00 $\pm$ 3.50  | 13.00 $\pm$ 1.32 |
| 'TaA'                      | 16.02 $\pm$ 0.05 | 7.86 $\pm$ 0.11  | 6.85 $\pm$ 0.04 | 76.00 $\pm$ 1.60  | 12.50 $\pm$ 2.46 |
| 'TaB'                      | 14.10 $\pm$ 0.18 | 8.05 $\pm$ 0.19  | 7.86 $\pm$ 0.17 | 66.00 $\pm$ 1.80  | 13.50 $\pm$ 2.17 |
| 'TaC'                      | 13.23 $\pm$ 0.41 | 7.63 $\pm$ 0.11  | 6.39 $\pm$ 0.25 | 64.50 $\pm$ 3.96  | 21.00 $\pm$ 3.01 |
| 'TaD'                      | 13.20 $\pm$ 0.09 | 7.90 $\pm$ 0.18  | 6.79 $\pm$ 0.09 | 59.00 $\pm$ 2.78  | 10.00 $\pm$ 1.04 |
| 'TaE'                      | 14.97 $\pm$ 0.15 | 7.94 $\pm$ 0.05  | 7.37 $\pm$ 0.10 | 80.50 $\pm$ 1.80  | 11.00 $\pm$ 1.32 |
| 'TaF'                      | 16.34 $\pm$ 0.26 | 8.41 $\pm$ 0.24  | 7.94 $\pm$ 0.15 | 52.50 $\pm$ 2.51  | 16.50 $\pm$ 2.56 |
| 'TaG'                      | 12.40 $\pm$ 0.17 | 7.40 $\pm$ 0.11  | 7.26 $\pm$ 0.11 | 59.50 $\pm$ 6.60  | 14.50 $\pm$ 1.80 |

KL: طول مغز، KWi: عرض مغز، KT: ضخامت مغز، SN: درصد خندانی، BN: درصد پوکی

KL: Kernel Length (mm), KWi: Kernel Width (mm), KT: Kernel Thickness (mm), SN: Split nuts (%), BN: Blank nuts (%)



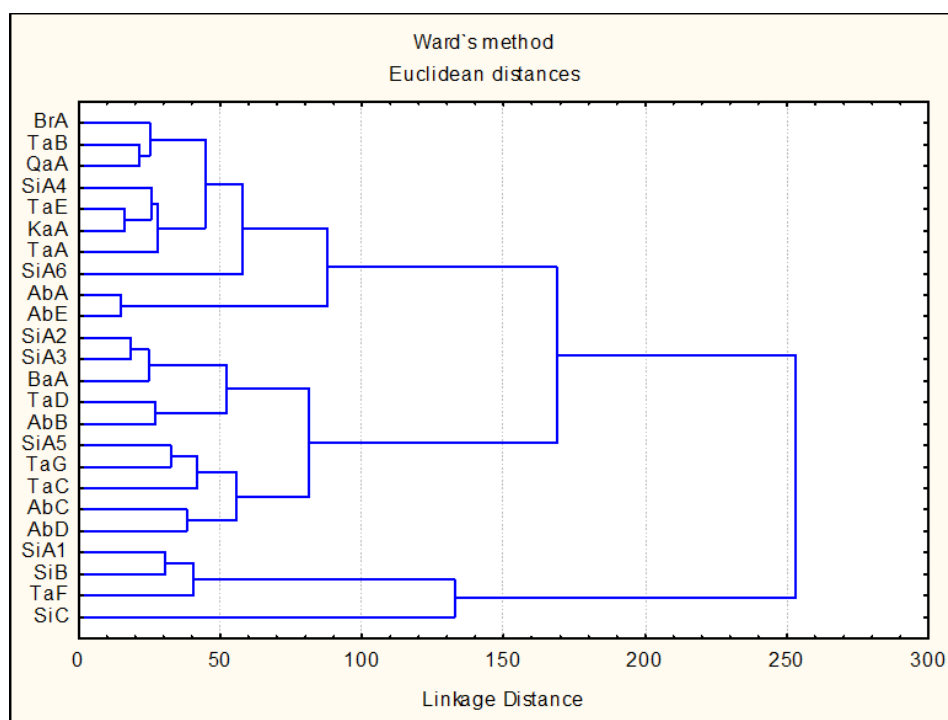


شکل ۲- صفات طول (a) و عرض (b) دانه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه پسته  
 Figure 2- The nut length (a) and width (b) in the studied pistachio genotypes (DMRT,  $p \leq 0.01$ )

#### صفات کیفی

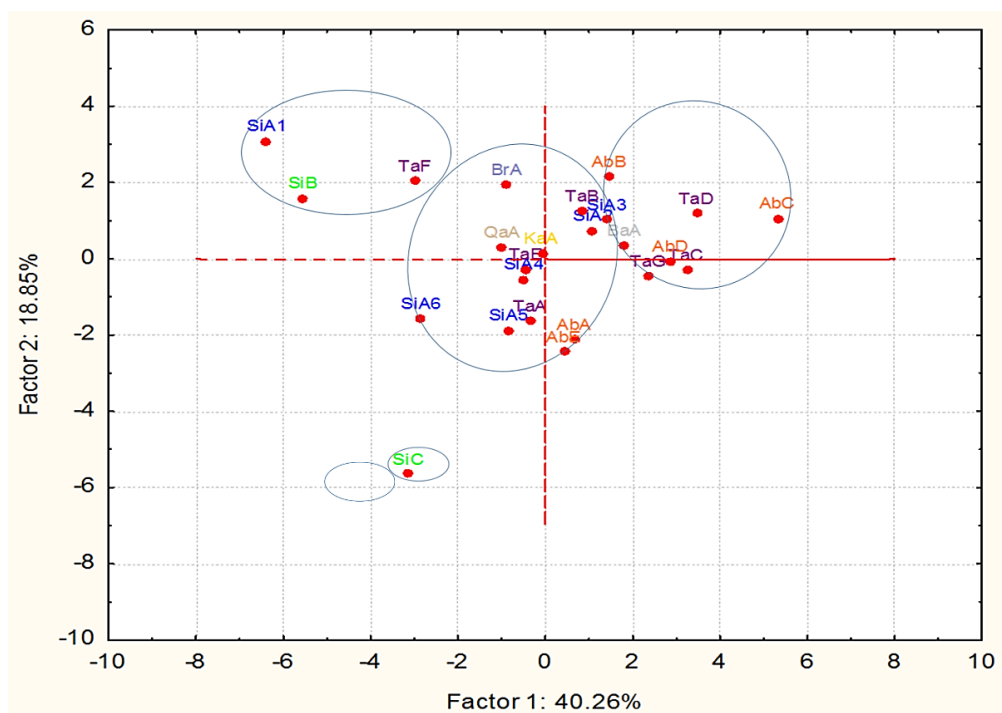
در مطالعه حاضر، براساس داده‌های شکل ۵ (a)، در اکثر ژنوتیپ‌های بررسی‌شده، شکل برگچه انتهایی به‌صورت نیزه‌ای پهن بود و این ویژگی در ۳۳/۳ درصد از ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. همچنین، اندازه برگچه انتهایی در ۷۵ درصد از ژنوتیپ‌ها مشابه اندازه برگچه‌های جانبی بود (شکل ۵ (b)). در تحقیقی که روی ژنوتیپ‌های امیدبخش پسته انجام گردید، مشخص شد که در ۴۷ درصد از ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی، شکل برگچه انتهایی نیزه‌ای پهن است، اما اندازه آن بزرگ‌تر از برگچه‌های جانبی بود (Neyshaburi et al., 2021). در خصوص ویژگی عادت شاخه‌دهی، شکل ۶ (a) نشان

می‌دهد که ۴۵/۸ درصد از ژنوتیپ‌ها دارای عادت شاخه‌دهی متراکم و ۳۳/۳ درصد دارای عادت شاخه‌دهی متوسط هستند. این نتایج با تحقیق نیشابوری و همکاران (Neyshaburi et al., 2021) تفاوت دارد، چرا که در مطالعه آن‌ها، بیشتر ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی دارای عادت شاخه‌دهی متوسط بودند. در زمینه عادت رشد نیز شکل ۶ (b) نشان می‌دهد که شکل تاج ۴۵/۸ درصد از ژنوتیپ‌ها (۱۱ ژنوتیپ) به‌صورت نیمه‌عمودی و ۳۷/۵ درصد (۹ ژنوتیپ) به‌صورت گسترده است. در مطالعه‌ای مشابه روی ژنوتیپ‌های امیدبخش پسته، عادت رشد ۱۱ ژنوتیپ به‌صورت گسترده و سایر ژنوتیپ‌ها به‌صورت نیمه‌عمودی و عمودی گزارش شده است.



شکل ۳- خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های پسته مورد مطالعه در باغستان سنتی قزوین براساس صفات کمی مطالعه‌شده

Figure 3- Clustering of pistachio genotypes studied in Qazvin traditional orchard based on quantitative traits studied

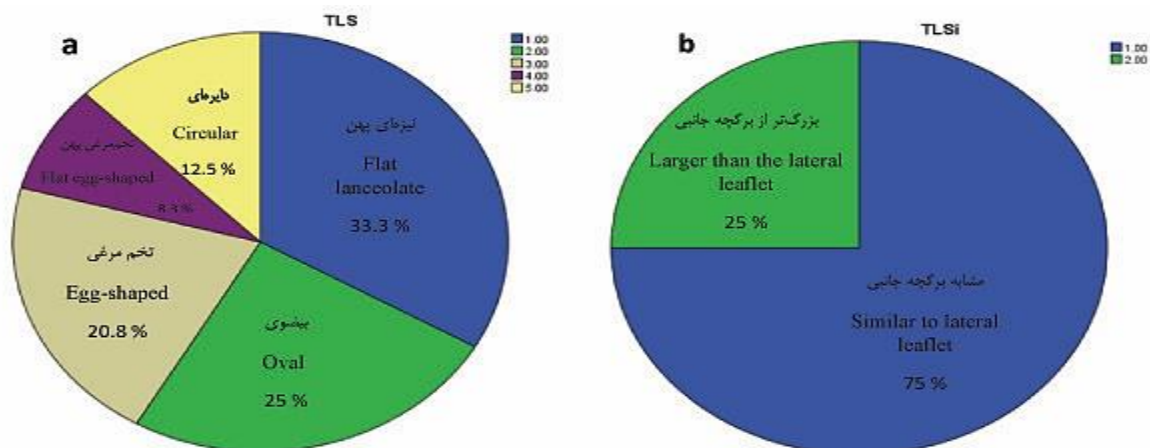


شکل ۴- پراکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه پسته براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کمی

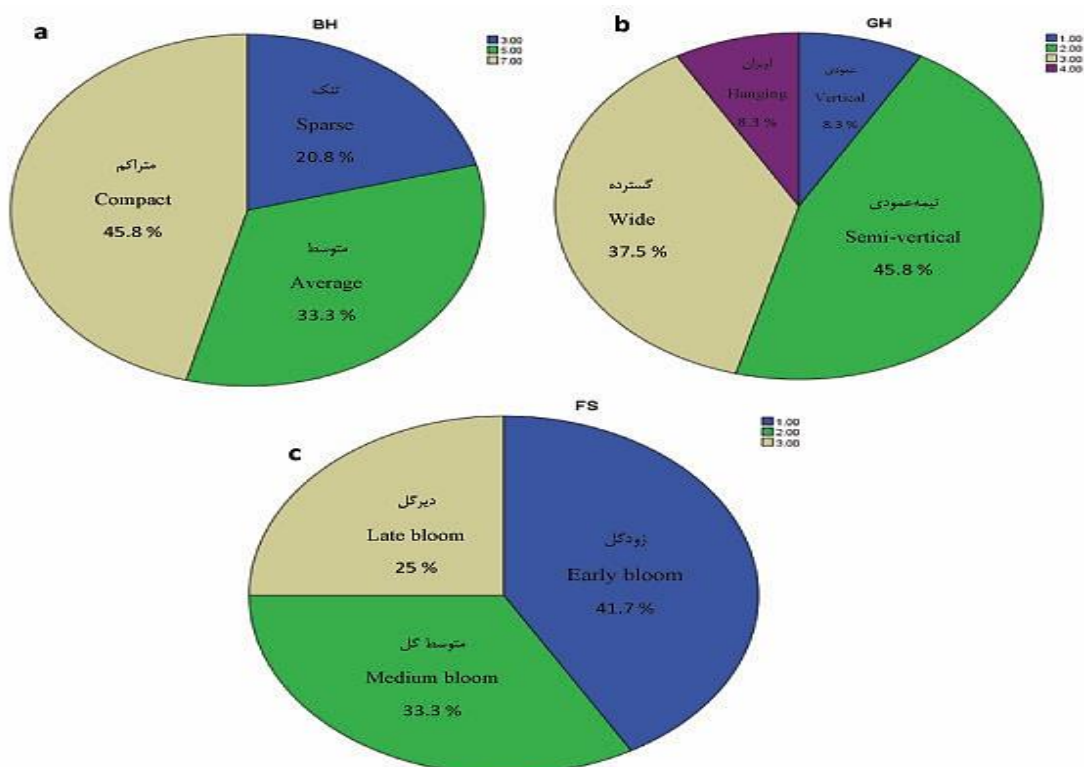
Figure 4- Distribution of the studied genotypes of pistachio based on principal component analysis of quantitative traits

اسامی ژنوتیپ‌های با رنگ‌های مشابه نشان‌دهنده جمع‌آوری آن‌ها از یک باغ با فاصله جغرافیایی نزدیک است.

The names of the genotypes with similar colors indicate that they were collected from an orchard with a close geographical distance.



شکل ۵- فراوانی صفات کیفی شکل (TLS) (a) و اندازه (TLSi) (b) برگچه انتهایی در ژنوتیپ‌های پسته مورد مطالعه در باغستان سنتی قزوین  
Figure 5- Frequency of qualitative traits of terminal leaflet shape (TLS) (a) and size (TLSi) (b) in the studied pistachio genotypes in Qazvin Traditional Orchard



شکل ۶- فراوانی صفات کیفی، شامل عادت شاخه‌دهی (a)، عادت رشد (b) و زمان گل‌دهی (c) در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه پسته در باغستان سنتی قزوین

Figure 6- Frequency of qualitative traits, including branching habit (a), growth habit (b), and flowering time (c) in the studied pistachio genotypes in Qazvin traditional orchard

هستند تا موجب افزایش تولید و کاهش درصد پوکی مغز شوند (Chao *et al.*, 2003). براساس شکل ۶ (c)، ۴۱/۷ درصد از ژنوتیپ‌های بررسی‌شده زودگل، ۳۳/۳ درصد متوسط‌گل و ۲۵ درصد دیرگل هستند. زمان گل‌دهی در درختان پسته دارای نوسانات جزئی از

یکی از مهم‌ترین صفات کیفی در بررسی پسته، زمان گل‌دهی است، زیرا پسته گیاهی دوپایه است و گل‌های ماده تنها برای مدت چهار روز قابلیت پذیرش دانه گرده را دارند. بنابراین، برنامه‌های اصلاحی نیازمند شناسایی ژنوتیپ‌های نر با دوره گل‌دهی طولانی

قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از ارزیابی صفات مرتبط با میوه و مغز نشان داد که ژنوتیپ 'SiA1' دارای بیشترین طول، عرض و ضخامت مغز بود و در ردیف ژنوتیپ‌های با درصد خندانی ۷۰ درصد به بالا قرار داشت، علاوه بر این، ژنوتیپ 'SiC' نیز تنها ژنوتیپ مورد مطالعه با برگ‌های سه برگچه‌ای خیلی بزرگ بود و بزرگ‌ترین سطح برگ را دارا بود و از لحاظ درصد خندانی و کیفیت مغز جزء ژنوتیپ‌های برتر به حساب می‌آمد، از این رو می‌توان این دو ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی و مطالعاتی در نظر گرفت.

سالی به سال دیگر است و عوامل متعددی از جمله نیاز سرمایی، زمان گل‌دهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند که این عامل مهم‌ترین عامل در تعیین زمان گل‌دهی در پسته است (Elloumi et al., 2013). از این رو، با بررسی شرایط آب‌وهوایی مناطق مختلف و تطبیق آن با زمان گل‌دهی ژنوتیپ‌های مختلف، می‌توان ژنوتیپ‌های مناسبی را برای پرورش در نواحی مختلف پیشنهاد کرد.

## نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، ۲۴ ژنوتیپ پسته مادری پرورش یافته در باغستان سنتی قزوین براساس صفات ریخت‌شناختی مورد ارزیابی

## References

- Abidi, W. (2016). Pomological and physical attributes of pistachio (*Pistacia vera* L.) varieties grown in west-central Tunisia. *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, 28(4), 1582-1588.
- Boualem, S.A., Benabdeli, K., & Elouissi, A. (2015). Biochemical and biometrics characterization of five varieties of *Pistacia vera* L. grown in Maoussa experimental station (northwest of Algeria). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(4), 1120-1130.
- Chao, C.T., Parfitt, D.E., Ferguson, L., Kallsen, C., & Maranto, J. (1997, August). *Breeding and genetics of pistachio: The California program*. In II International Symposium on Pistachios and Almonds 470. pp. 152-161. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.470.21>
- Chao, C.T., Parfitt, D.E., Ferguson, L., Kallsen, C., & Maranto, J. (2003). Genetic analyses of phenological traits of pistachio (*Pistacia vera* L.). *Euphytica*, 129, 345-349. <https://doi.org/10.1023/A:1022206911350>
- Elloumi, O., Ghrab, M., Kessentini, H., & Mimoun, M.B. (2013). Chilling accumulation effects on performance of pistachio trees cv. Mateur in dry and warm area climate. *Scientia Horticulturae*, 159, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.004>
- Ghrab, M., Zribi, F., Mimoun, M.B., & Rhouma, A. (2012). Morphological investigation of genetic diversity of pistachio (*Pistacia vera*) germplasm in arid land of Tunisia. *Plant Ecology and Evolution*, 145(3), 363-372. <http://dx.doi.org/10.5091/plecevo.2012.614>
- Kafkas, S.A.L.I.H., & Perl-Treves, R. (2001). Morphological and molecular phylogeny of *Pistacia* species in Turkey. *Theoretical and Applied Genetics*, 102, 908-915. <https://doi.org/10.1007/s001220000526>
- Kafkas, S., Ozkan, H., Ak, B., Acar, I., Atli, H., & Koyuncu, S. (2006). Detecting DNA polymorphism and genetic diversity in a wide pistachio germplasm: Comparison of AFLP, ISSR, and RAPD markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131(4). <https://doi.org/10.21273/jashs.131.4.522>
- Kallsen, C.E., Parfitt, D.E., Maranto, J., & Holtz, B.A. (2009). New pistachio varieties show promise for California cultivation. *California Agriculture*, 63(1), 18-23.
- Karimi, H.R. (2012). Evaluation of the behavior of native Iranian pistachio species as rootstocks. *Journal of Nuts*, 4, 41-46. <https://doi.org/10.22034/JON.2013.515713>
- Karimi, H.R., Zamani, Z., Ebadi, A., & Fatahi, M.R. (2009). Morphological diversity of *Pistachio* species in Iran. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, 561-571. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-008-9386-y>
- Kazankaya, A., Tufenkci, S., Balta, M.F., & Karadag, S. (2008). Nutrient contents and nut properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) varieties. *Asian Journal of Chemistry*, 20(3), 2344.
- Khadiji, A. (2018). Assessment of genetic variability in pistachio (*Pistacia vera* L.) with nuclear SSR molecular markers. *Erwerbs-Obstbau*, 60(4), 289-294. <https://doi.org/10.1007/s10341-018-0372-z>
- Mashmoul, A., Hassani, A., Pirzad, A., & Azimi, J. (2013). Effect of chemical and biological phosphorus on some morphological characters of summer savory (*Satureja hortensis*). *International Journal of Plant Production*, 4, 184-188.
- Mirhosseini, B. (2022). The Sociology of the green wealth of the thousand-year-old traditional garden and the social life of Qazvin, Shama Avid Publishing House, Qazvin, Iran. 278 pp. (In persion)
- Neyshaburi, S., Rezaei, M., Movahednejad, M.H., Hokmabadi, H., & Heidari, P. (2021). Morphological and phenological characterizations of some male and female promising pistachio genotypes from an open-pollinated population. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 456-467. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1896982>

17. Parfitt, D., Kallsen, C., & Maranto, J. (1995). Pistachio cultivars. Center for Fruit and Nut Crop Research and Information, Pomology Department, University of California, Davis CA, 43-46.
18. Pazouki, L., Mardi, M., Shanjani, P.S., Hagidimitriou, M., Pirseyedi, S.M., Naghavi, M.R., Avanzato, D., Vendramin, E., Kafkas, S., Ghareyazie, B., Ghaffari, M.R., & Khayam Nekoui, S.M. (2010). Genetic diversity and relationships among *Pistacia* species and cultivars. *Conservation Genetics*, 11, 311-318. <https://doi.org/10.1007/s10592-009-9812-5>
19. Rezaei, M., Hokmabadi, H., Khadivi, A., Safari-Khuzani, A., & Heidari, P. (2019). The selection of superior pistachio (*Pistacia vera* L.) genotypes among seedling trees originated from open-pollination. *Scientia Horticulturae*, 251, 88-100. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.083>
20. Shahbazi, M., Kermanshahani, S., Ahmadi, H., Jamshidi, M., Kakvand, P., & Rezaei, H. (2020). Indigenous knowledge of flood management and floodwater spreading in Qazvin traditional garden; deserves a new look at conservation and restoration. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8(1), 1-12. (In Persian with English abstract)
21. Shrafati, A. (2015). *Applied Pistachios*, Agricultural Education Research Publications, Tehran, Iran. 123 pp. (In persian)
22. Yarılgac, T., & Yalcin, M. (2007, November). *Pomological characteristics of pistachio (Pistacia vera L.) varieties grown in Gaziantep province*. In I Balkan Symposium on Fruit Growing 825 (pp. 207-212). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.825.32>

Research Article

Vol. 39, No. 3, Fall 2025, p. 505-523

## Breeding of Nutty Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum and Nakai) Evaluation and Selection from among the Populations of some Landraces

K. Hokmabadi<sup>1</sup>, S.H. Nemati<sup>1\*</sup>, R. Tavakkol Afshari<sup>2</sup>

1- Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(\*- Corresponding author's Email: [nemati@um.ac.ir](mailto:nemati@um.ac.ir))

Received: 11 November 2024  
Revised: 27 January 2025  
Accepted: 29 January 2025  
Available Online: 29 January 2025

### How to cite this article:

Hokmabadi, K., Nemati, S.H., & Tavakkol Afshari, R. (2025). Breeding of nutty watermelon (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum and Nakai) evaluation and selection from among the populations of some landraces. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 505-523. (In Persian with English abstract).  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90646.1390>

### Introduction

The success of breeding programs depends on the existence of diversity in germplasms in terms of the desired trait or traits. Collecting superior watermelons and examining their characteristics provides valuable resources to researchers for breeding programs. Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum and Nakai) (*Citrullus lanatus*) has great diversity in terms of shape, fruit size, fruit skin pattern, fruit flesh color, seed length and width, and number, the seed in the fruit as well as the quality of the fruit is among its cultivars and varieties, therefore it seems that by examining the native cultivars it is possible to find desirable traits and use them in future commercial cultivars for breeding processes. Iran is the most important producer of watermelon seeds. These nuts not only meet the needs of the domestic market, but are also one of the export items, especially to Arab countries. Limited breeding efforts have been made globally on nutty watermelons. However, developing high-yielding and high-quality cultivars can improve water use efficiency and enhance export potential and foreign exchange earnings. In many central and eastern provinces of the country, nutty watermelons are commonly cultivated as a second or dry-season crop. Unlike edible watermelons, the yield in nutty watermelon cultivation is measured by the quantity of dry seeds produced, rather than the fresh weight of the fruit, as the seeds are harvested for use as snacks. The primary breeding objective for nutty watermelons is seed yield. Other key traits targeted for improvement include larger seed size, a higher kernel-to-hull ratio, and softer seed texture. Therefore, due to the fact that it is necessary to investigate the cultivated landraces in each region, the genetic diversity and capabilities of each for genetic modification and improvement should be determined. This research investigates the genetic diversity of the indigenous s of Iran through the investigation of morpho-physiological traits.

### Materials and Methods

In order to evaluate genetic diversity and eliminate weak and low-quality landraces in the first generation and to investigate genetic improvement in the second generation of 10 Iranian watermelon (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum and Nakai) landraces by examining growth and seed-related traits, a two-year study was conducted in Farouj County. Seeds of the landraces Jabani (4 lanrace), Sanbak (4 landrace), and Kalaleh (2 landrace) from Jovin, Kashan, and Gorgan were separated and collected based on fruit skin color and seed-related traits. Direct seed sowing was carried out in Farouj County lands using drip irrigation with a tape. Evaluation of 10 local breeds was carried out in the first year (first generation) in a randomized complete block design with 3 replications and 10 samples per experimental unit. Then, inter-cultivar and intra-cultivar selection was carried



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90646.1390>



out among the 10 local breeds with regard to uniformity and especially data on key seed-related traits, including seed yield and kernel-to-seed percentage. The 4 selected landraces from the first year were evaluated again in the second year (second generation) in a randomized complete block design with 3 replications and 10 samples in the experimental unit.

## Results and Discussion

Data analysis of the selected landraces in the first and second years was performed as a split plot analysis of variance. The study of morpho-physiological and functional changes of different watermelon s in the first generation showed that the s of Stigma 1 and 2 and Jabani 1 and 3 were superior to the other landraces in terms of growth traits and fruit yield, but in the second generation, Jabani 1 had the best fruit yield in terms of weight and fruit flesh percentage and can be used as mother s for the improvement of nut watermelon. Also, in the first generation, the study of traits determining seed quality and quantity such as thousand-seed weight, percentage of kernel weight to seed, length, width and diameter, and seed coat thickness showed that Jabani 1 and 3 were the most desirable landraces. In the second year, the Jabani 1 and 3 landraces had the highest seed quantity and quality and were suitable for cultivation as nut watermelons. Comparison of the two generations of each of the selected landraces showed that most of the fruit and seed traits improved under the influence of generation, and the second generation produced heavier fruits with higher seed yield. Also, this improvement in fruit traits in Jabani 1 and improvement in seed traits in Kalaleh 1 was more significant than in others.

## Conclusion

The evaluation of morpho-physiological and functional traits in the first generation of various watermelon cultivars revealed that Kalaleh 1 and 2, along with Jabani 1 and 3, outperformed the others in terms of growth performance and fruit yield. However, in the second generation, Jabani 1 demonstrated the highest fruit yield, particularly in terms of fruit weight and flesh percentage, making it a strong candidate for use as a maternal parent in nutty watermelon breeding programs. Additionally, the assessment of seed quality and quantity traits—such as thousand-seed weight, kernel-to-seed ratio, seed length, width, diameter, and shell thickness—in the first generation indicated that Jabani 1 and 3 were the most desirable cultivars. In the second year, Jabani 1 and 3 exhibited the highest seed quantity and quality, making them well-suited for cultivation as nutty watermelons. A comparison between the two generations of each selected cultivar revealed that most fruit and seed traits improved in the second generation, which produced heavier fruits with enhanced seed yield. Notably, improvements in fruit-related traits were most significant in Jabani 1, while enhancements in seed-related traits were more pronounced in Kalaleh 1 compared to the other cultivars.

**Keywords:** Fruit, Genetic diversity, Genetic improvement, Seed, Yield

اصلاح هندوانه (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum and Nakai) آجیلی: ارزیابی و

## گزینش از بین جمعیت‌های برخی نژادهای بومی

کاظم حکم آبادی<sup>1</sup> - سید حسین نعمتی<sup>1\*</sup> - رضا توکل افشاری<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 1403/08/21

تاریخ پذیرش: 1403/11/10

## چکیده

جهت ارزیابی تنوع ژنتیکی و حذف نژادهای محلی ضعیف و کم کیفیت در نسل اول و بررسی بهبود ژنتیکی در نسل دوم 10 نژاد محلی هندوانه ایران از طریق بررسی صفات رشدی و مرتبط با بذر، پژوهشی طی دو سال در شهرستان فاروج اجرا شد. بذر نژادهای محلی 'جانبانی' (چهار نژاد محلی)، 'سنبک' (چهار نژاد محلی) و 'گلاله' (دو نژاد محلی) از جوین، کاشان و گرگان، براساس رنگ پوست میوه و صفات مرتبط با بذر تفکیک و جمع‌آوری شدند. کشت مستقیم بذر در اراضی شهرستان فاروج صورت گرفت. ارزیابی 10 نژاد محلی در سال اول (نسل اول) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و 10 نمونه در واحد آزمایشی اجرا شد. سپس گزینش بین توده‌ای و گزینش دورن توده‌ای از بین 10 نژاد محلی با توجه به یکنواختی و به‌ویژه داده‌های صفات کلیدی مرتبط با بذر از جمله عملکرد بذر و درصد مغز به دانه انجام گردید. چهار نژاد محلی گزینش شده از سال اول مجدداً در سال دوم (نسل دوم) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و 10 نمونه در واحد آزمایشی ارزیابی شدند. در نهایت، آنالیز داده‌های نژادهای محلی گزینش شده در سال اول و دوم به‌صورت آزمایش اسپیلت پلات تجزیه واریانس گردید. بررسی تغییرات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی نژادهای محلی مختلف هندوانه در نسل اول نشان داد که نژادهای محلی 'گلاله' 1 و 'گلاله' 2 و 'جانبانی' 1 و 'جانبانی' 3 از نظر صفات رشدی و عملکرد میوه دارای برتری نسبت به سایر نژادهای محلی می‌باشند، اما در نسل دوم، 'جانبانی' 1 بهترین عملکرد میوه را از نظر وزنی و درصد گوشت میوه داشت و این نژادها می‌توانند به‌عنوان نژادهای محلی مادری جهت اصلاح هندوانه آجیلی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین در نسل اول بررسی صفات تعیین‌کننده کیفیت و کمیت دانه مانند وزن هزاردانه، درصد وزن مغز به دانه، طول، عرض و ضخامت بذر، و ضخامت پوست بذر نشان داد که نژاد محلی 'جانبانی' 1 و 'جانبانی' 3 مطلوب‌ترین می‌باشند. در سال دوم نیز نژاد محلی 'جانبانی' 1 و 'جانبانی' 3 بالاترین کمیت و کیفیت دانه را به خود اختصاص داد و جهت کشت به‌عنوان هندوانه آجیلی مطلوب می‌باشند. مقایسه دو نسل هرکدام از نژادهای محلی برگزیده نشان داد که اکثر صفات میوه و دانه تحت تأثیر نسل بهبود می‌یابند و نسل دوم میوه‌های سنگین‌تر با عملکرد دانه بیشتری ایجاد کرد. همچنین این بهبود صفات مربوط به میوه در نژاد محلی 'جانبانی' 1 و بهبود صفات دانه در نژاد محلی 'گلاله' 1 نسبت به سایر نژادهای محلی چشمگیرتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهبود ژنتیکی، تنوع ژنتیکی، دانه، عملکرد، میوه

## مقدمه

انسان ضروری است (Kannenberg & Falk, 1995). تنوع ژنتیکی گیاهان به‌طور معمول با گذشت زمان و در مکان‌های مختلف تغییر می‌کند. توسعه تنوع ژنتیکی در گونه‌های گیاهی بستگی به تکامل و سیستم اصلاحی گونه، عوامل بوم‌شناختی، جغرافیایی و برخی از عوامل انسانی دارد (Rao & Hodgkin, 2002). تنوع ژنتیکی یک صفت، ارزش متفاوت افراد یا ژنوتیپ‌ها برای آن صفت می‌باشد. تنوع، اساس کارهای اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی و ماده خام ضروری برای آن است. ارزیابی تنوع ژنتیکی بر مبنای صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و زراعی می‌تواند برای سازماندهی ژرمپلاسما، گزینش والدین مناسب برای دوررنگ‌گیری و تولید جمعیت‌های در حال تفرق سودمند باشد (Abiri, 2018). با افزایش تنوع ژنتیکی در یک جامعه،

انتخاب خصوصیات مطلوب در گیاهان و بهبود آن‌ها برای صفات مورد نظر مستلزم وجود تنوع ژنتیکی کافی در درون جمعیت و یا بین آن‌ها است و استفاده از تنوع ژنتیکی درون یک جمعیت می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب برای مقابله با آسیب‌پذیری ژنتیکی در گیاهان به کار رود. بنابراین، حفظ و ایجاد تنوع ژنتیکی برای رفاه حال و آینده

1- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

مشهد، ایران

2- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(\*) - نویسنده مسئول: Email: nemati@um.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90646.1390>

دامنه انتخاب گسترش پیدا می‌کند و رسیدن به صفت مورد نظر آسان تر است (Henareh et al., 2023). به‌طور معمول در برنامه اصلاحی کلاسیک، شناسایی ارقام برپایه خصوصیات ریخت‌شناختی برگ، گل و میوه انجام می‌شود. اگرچه، بیشتر ارقام برپایه این صفات قابل شناسایی نیستند، به‌ویژه اگر آن‌ها ارتباط نزدیکی با هم داشته باشند. به‌علاوه، شناسایی فنوتیپی برپایه ریخت‌شناختی تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار می‌گیرد. موفقیت برنامه‌های اصلاحی مشروط به وجود تنوع در ژرم‌پلاسم‌ها از لحاظ صفت یا صفات مورد نظر می‌باشد. جمع‌آوری نژادهای محلی برتر و بررسی خصوصیات آن‌ها، منابع بسیار ارزشمندی در اختیار پژوهشگران برای برنامه‌های اصلاحی قرار می‌دهد (Kayani & Jahanbin, 2006).

هندوانه (*Citrullus lanatus*) متعلق به خانواده کدوئیان (Cucurbitaceae) بوده و یکی از سبزی‌های جالیزی به شمار می‌آید (Pyvast, 2018). این محصول در مناطق دارای روزهای گرم طولانی و بدون یخبندان به‌صورت تجاری تولید می‌گردد. بیشترین تنوع ژنتیکی هندوانه در غرب آفریقا، چین و مناطقی از هند مشاهده شده است. همچنین کشورهای شرق آسیا و مدیترانه نیز از مکان‌های خوبی برای یافتن اقوام و اجداد هندوانه به شمار می‌آیند (Pyvast, 2018). هندوانه یک‌پایه است و گل نر با تعداد بیشتر و گل ماده با تعداد کمتر روی یک بوته قرار گرفته است. گل‌های نر و ماده تقریباً همزمان شکوفا می‌شوند و از نظر گل‌دهی روزخشی است. هندوانه تنوع زیادی از نظر شکل، اندازه میوه، شاخص‌های رنگ پوست میوه، رنگ گوشت میوه، طول و عرض بذر و تعداد بذر در میوه و نیز کیفیت میوه در بین ارقام و نژادهای محلی خود دارد (Pyvast, 2018). هندوانه‌های وحشی و اولیه بسیار تلخ بوده و ارقام مناسب از نظر طعم و بذر بر اثر انتخاب بذر و گرده‌افشانی از طریق فرآیندهای اصلاح نژادی متداول، تولید شده است. امروزه تحقیقات نشان داده است که ارقام وحشی، نژادهای محلی و ارقام تجاری هندوانه از نظر ریخت‌شناختی تنوع بالایی دارند، اما در ارقام تجاری این تنوع کمتر نمود می‌یابد (Gichimu et al., 2009). از این رو به نظر می‌رسد که با بررسی ارقام و نژادهای محلی، امکان یافتن صفات مطلوب و استفاده از آن در ارقام تجاری آتی فرآیندهای اصلاحی میسر باشد. در هندوانه‌های خوراکی با مصارف تازه‌خوری، عملکرد بالای میوه، میوه بازارپسند، تعداد میوه در بوته، ترد بودن گوشت میوه، کم بودن تعداد بذر در میوه و اندازه کوچک بذر حائز اهمیت است. همچنین زودرسی و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده از دیگر اهداف اصلاحی در هندوانه‌های تازه‌خوری می‌باشد، اما در هندوانه‌های آجیلی صفات دیگری از جمله عملکرد بالای بذر، زیاد بودن تعداد بذر در میوه، ریزی و درشتی بذر و بالا بودن درصد مغز دانه مهم است.

شهرهای شمالی ایران، فارس، بوشهر، هرمزگان، چابهار، منطقه جیرفت و کهنوج از مناطق عمده تولید هندوانه در ایران هستند (Ghorbani Chaffee, 2022). این محصول به‌دلیل قابل کشت بودن در اراضی سبک و نسبتاً فقیر و به‌صورت دیم جهت تازه‌خوری و استحصال دانه مورد توجه قرار دارد. هندوانه دارای ارقام و انواع بسیار مختلفی است و از نظر اندازه، شکل، رنگ پوست، رنگ گوشت و اندازه بذر و نیز طعم و مزه قابل تشخیص و تفکیک می‌باشد. تعداد دانه در ارقام مختلف هندوانه بسیار متغیر بوده و بین 30 الی 1000 عدد گزارش شده است (Pyvast, 2018).

حاجی علی و همکاران (Haji Ali et al., 2016) در بررسی 16 نژاد محلی به همراه دو رقم تجاری هندوانه دریافتند که بین ارقام هندوانه از نظر طول کوتیلدون، طول میوه، وزن میوه، وزن گوشت، عملکرد، طول و عرض بذر، وزن بذر، ویتامین C و مواد جامد محلول تفاوت معنی‌داری وجود داشت. ناتومه و همکاران (Nantoumé et al., 2013) در پژوهشی که روی 134 نژاد محلی هندوانه در کشور مالی اجرا نمودند، دریافتند که براساس واریانس مولکولی بین نژادهای محلی مورد بررسی، 51 درصد تنوع وجود داشته که از این میزان، 14 درصد آن متعلق به مناطق جمع‌آوری نژادهای محلی بوده است. در پژوهشی که توسط و ناروئی‌راد و همکاران (NaroueiRad et al., 2010) به‌منظور حفاظت از ذخایر ژنتیکی و شناسایی نقاط قوت و ضعف نژادهای محلی سیستان و مقایسه آن با ارقام اصلاح‌شده صورت گرفت، 53 نژاد محلی به همراه سه رقم فرافاکس، شوگر بی بی و جانسون‌گری مورد آزمایش قرار گرفت، نتایج نشان داد که ارقام و نژادهای محلی از نظر طول میوه، عرض میوه، درصد قند و عملکرد اختلاف معنی‌داری داشتند. در مورد همه صفات، ضریب تنوع فنوتیپی از ضریب تنوع ژنتیکی بیشتر بود که نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی بر صفات مورد بررسی بود.

کیانی و جهانبین (Keyani & Jahanbin, 2006) به‌منظور مطالعه تنوع ژنتیکی هندوانه بومی موجود در کلکسیون بانک ژن گیاهی ملی ایران، تعداد 120 نمونه از استان‌های مختلف را جهت بررسی صفات ریخت‌شناختی در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان در قالب طرح آماری آگمنت کشت نمودند. چهار رقم تجاری به‌نام‌های چارلسون‌گری، کریمسون سویت، پانونیا و شوگر بی بی به عنوان شاهد در آزمایش قرار داده شد. نتایج آزمایش حاکی از آن بود که صفات ریخت‌شناختی کمی، دارای تنوع کافی در جامعه مورد مطالعه بود. صفات عملکرد، طول دوره برداشت، مدت زمان گل‌دهی تا رسیدن، طول میوه، عرض میوه، ضخامت پوست، نسبت وزن گوشت به وزن میوه، نسبت وزن پوست به وزن میوه، وزن 100 دانه، طول بذر، ضخامت بذر، عرض بذر صفات عمده تنوع‌پذیری برای

تشخیص نژادهای محلی نسبت به هم بودند. صفات درصد قند، اسیدیته میوه تنوع کمتری داشتند. همچنین، مطالعه همبستگی بین زوج صفات، رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد با طول میوه، عرض میوه، ضخامت پوست، نسبت وزن پوست به وزن میوه، وزن 100 دانه، طول بذر، ضخامت بذر و عرض بذر را در کلیه جوامع نشان داد، اما بین عملکرد با نسبت وزن بذر به وزن میوه و درصد قند رابطه منفی و معنی‌داری وجود داشت.

ایران مهم‌ترین کشور تولیدکننده دانه آجیلی هندوانه محسوب می‌شود. این آجیل نه تنها نیاز بازار داخلی را تأمین می‌کند، بلکه یکی از اقلام صادراتی به خصوص به کشورهای عربی است. در دنیا بر روی هندوانه‌های آجیلی کار اصلاحی زیادی انجام نشده است. با اصلاح ارقام پرمحصول و با کیفیت می‌توان کارایی مصرف آب و همچنین صادرات و ارزآوری آن را افزایش داد.

هندوانه‌های آجیلی جزء گیاهانی هستند که به صورت گسترده در استان‌های مرکزی و شرقی کشور به عنوان کشت دوم و یا دیم کشت می‌گردند و در زراعت هندوانه آجیلی، منظور از عملکرد محصول برخلاف هندوانه خوراکی به جای وزن تر میوه هندوانه، مقدار دانه خشک به دست آمده جهت مصارف آجیلی است که مهمترین ویژگی در اهداف اصلاحی هندوانه‌های آجیلی می‌باشد. همچنین درشتی دانه و درصد بالای مغز نسبت به پوست دانه و نرم بودن بافت دانه نیز از سایر اهداف اصلاحی در این هندوانه‌ها به شمار می‌رود. لذا بررسی نژادهای محلی که در هر منطقه کشت می‌شوند جهت اصلاح و بهبود ژنتیکی این نژادها دارای اهمیت می‌باشد. این پژوهش به بررسی تنوع ژنتیکی نژادهای محلی ایران از طریق بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک می‌پردازد.

## مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی و بهبود ژنتیکی برخی نژادهای محلی هندوانه آجیلی بومی ایران از طریق بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد، پژوهشی در سال 1399 در اراضی مؤسسه بذر و نهال رضوی واقع در شهرستان فاروج اجرا شد. از منطقه جوین چهار نژاد محلی با نام‌های 'جابانی 1'، 'جابانی 2'، 'جابانی 3' و 'جابانی 4'، از منطقه کاشان چهار نژاد محلی با نام‌های 'سنبک 1'، 'سنبک 2'، 'سنبک 3' و 'سنبک 4' و از منطقه گرگان دو نژاد محلی با نام‌های 'گلاله 1' و 'گلاله 2' جمع‌آوری شدند (جدول 1). شاخص جمع‌آوری علاوه بر فاصله جغرافیایی، تفاوت از نظر رنگ پوست میوه، رنگ بذر و شاخص‌های مرتبط با بذر بود.

ارزیابی 10 نژاد محلی در سال اول (نسل اول) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و 10 نمونه در واحد آزمایشی

اجرا شد. سپس گزینش بین توده‌ای و گزینش دورن توده‌ای از بین 10 نژاد محلی با توجه به یکنواختی و به‌ویژه داده‌های صفات کلیدی مرتبط با بذر از جمله عملکرد بذر و درصد مغز به دانه انجام گردید. چهار نژاد محلی گزینش‌شده از سال اول مجدداً در سال دوم (نسل دوم) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و 10 نمونه در واحد آزمایشی ارزیابی شدند. در نهایت، آنالیز داده‌های نژادهای محلی گزینش‌شده در سال اول و دوم به صورت آزمایش اسپلوت پلات تجزیه واریانس شد. کاشت گیاهان به صورت کشت مستقیم بذر در زمین اصلی در دوم تیر ماه 1399 صورت گرفت. فاصله برای کنترل گرده‌افشانی و ایزولاسیون حداقل 1000 متر برای هر یک از نژادهای محلی رعایت شد. کشت بذور نژادهای محلی مورد بررسی به صورت خشکه‌کاری بود. در هر چاله، سه عدد بذر قرار گرفت و سپس آبیاری به صورت قطره‌ای توسط نوار تیپ انجام شد. فاصله کاشت به صورت فاصله ردیف سه متر و فاصله بوته‌ها نیز 50 سانتی‌متر بود. آبیاری با آب چاه با شوری 800 میکرو زیمنس بر متر و با دور آبیاری پنج روز در طی فصل رشد انجام شد. در مرحله رشد رویشی کود 20-20-20 و 10-52-10 NPK به میزان 20 کیلوگرم در هکتار و در مرحله زایشی کود پتاسیم سولفات به میزان 10 کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در طی فصل رشد برای مبارزه با آفات از سموم استامی پراید و آبامکتین به میزان نیم در هزار طی دو مرحله استفاده شد.

صفات مورد بررسی عبارت بودند از: تعداد میوه در بوته، متوسط وزن میوه، وزن هزاردانه، وزن پوست و گوشت میوه (اندازه‌گیری توسط ترازوی دیجیتالی)، طول و عرض میوه (اندازه‌گیری توسط متر پارچه‌ای)، طول، عرض، ضخامت بذر و ضخامت پوست بذر (اندازه‌گیری توسط کولیس دیجیتالی). برای اندازه‌گیری درصد وزن مغز به دانه ابتدا 100 گرم بذر تفکیک شد و بعد از جدا کردن پوست دانه از مغز مجدداً وزن مغز دانه با ترازوی دیجیتال توزین و درصد مغز به دانه محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری درصد گوشت میوه، وزن دو عدد میوه با ترازوی دیجیتال توزین و بعد از جدا کردن بذرها و گوشت میوه از پوست، گوشت میوه مجدداً وزن شد و درصد گوشت میوه محاسبه گردید. عملکرد بذر از حاصل ضرب متوسط تعداد بذر در میوه، متوسط تعداد میوه در بوته، وزن هزاردانه و تعداد بوته در واحد سطح محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها در هر دو سال آزمایش به وسیله نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد و مقایسات میانگین صفات در سطح احتمال پنج درصد با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) صورت گرفت. همچنین همبستگی بین برخی از صفات بررسی گردید. رسم شکل‌ها نیز توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

## نتایج و بحث

## صفات مرتبط با خصوصیات بذر در سال اول آزمایش اول

در ارتباط با تجزیه واریانس (جدول 2) نژادهای محلی در صفات وزن هزاردانه، درصد وزن مغز به دانه، طول و عرض بذر و ضخامت پوست بذر در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند.

براساس جدول 3، بالاترین وزن هزاردانه مربوط به 'جابانی 1' و 'جابانی 3' (به ترتیب 328/6 و 310/4 گرم) بوده و کمترین وزن هزاردانه در نژادهای محلی 'سنیک' و 'کلاله' (میانگین 160 گرم) مشهود است. در مورد درصد وزن مغز به دانه، نژاد محلی 'جابانی 3' با میانگین 39/6 درصد پایین‌ترین درصد وزن مغز به دانه را داشت، اما

بذور نژاد محلی 'سنیک 1' بالاترین درصد وزن مغز به دانه را دارا بود (50 درصد). از نظر آماری نژادهای محلی 'جابانی 1' و 'جابانی 3' (میانگین طول 20 میلی‌متر و عرض 11/50 میلی‌متر) بزرگ‌ترین دانه‌ها را دارند، در صورتی که 'سنیک 4' با بذوری به طول 13/55 میلی‌متر و عرض 8/13 میلی‌متر کوچک‌ترین دانه‌ها را داشت. تمامی نژادهای محلی از نظر ضخامت بذر، نسبت طول به عرض و نسبت عرض به ضخامت بذر یکسان بودند. در ارتباط با شاخص ضخامت پوست دانه، تمامی نژادهای محلی 'سنیک' و نژاد محلی کلاله 2 نازک‌ترین پوست دانه (میانگین حدود 0/39 میلی‌متر) را داشتند، در مقابل ضخیم‌ترین پوست دانه در 'جابانی 4' مشاهده شد.

جدول 1- مشخصات توده‌های انتخابی  
Table1- Characteristics of selected populations

| ردیف<br>Row | نام نژاد محلی<br>Landrace Name | خصوصیات نژاد محلی<br>Characteristics Landrace                                                      | مکان جمع‌آوری<br>Place of collection |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1           | 'جابانی 1'                     | رنگ زمینه میوه سبز پررنگ با خطوط نواری سبز کم‌رنگ، رنگ بذر قرمز                                    | جوین                                 |
| 1           | 'Jabani1'                      | Fruit background color is dark green with pale green stripes, seed color is red                    | Juvin                                |
| 2           | 'جابانی 2'                     | رنگ زمینه میوه پررنگ با هاله‌ای از خطوط نواری پررنگ، رنگ بذر قرمز                                  | جوین                                 |
| 2           | 'Jabani2'                      | Fruit background color is bold with a halo of bold stripes, seed color is red                      | Juvin                                |
| 3           | 'جابانی 3'                     | رنگ زمینه میوه سبز کم‌رنگ بدون خطوط نواری، رنگ بذر قرمز                                            | جوین                                 |
| 3           | 'Jabani3'                      | Fruit background color is pale green without stripes, seed color is red                            | Juvin                                |
| 4           | 'جابانی 4'                     | رنگ زمینه میوه سبز کم‌رنگ با خطوط نواری سبز پررنگ، رنگ بذر قرمز                                    | جوین                                 |
| 4           | 'Jabani4'                      | Fruit background color is pale green with dark green stripes, seed color is red                    | Juvin                                |
| 5           | 'سنیک 1'                       | رنگ زمینه میوه سبز کم‌رنگ با خطوط نواری سبز پررنگ، رنگ بذر مشکی                                    | کاشان                                |
| 5           | 'Sonbak1'                      | Fruit background color is pale green with dark green stripes, seed color is black                  | Kashan                               |
| 6           | 'سنیک 2'                       | رنگ زمینه میوه سبز با خطوط نواری سبز پررنگ و باریک، رنگ بذر مشکی                                   | کاشان                                |
| 6           | 'Sonbak2'                      | Green fruit background color with dark and thin green stripes, black seed color                    | Kashan                               |
| 7           | 'سنیک 3'                       | رنگ زمینه میوه سبز کم‌رنگ با رگه‌های سبز، رنگ بذر مشکی                                             | کاشان                                |
| 7           | 'Sonbak3'                      | Fruit background color is pale green with green veins, seed color is black                         | Kashan                               |
| 8           | 'سنیک 4'                       | رنگ زمینه میوه سبز پررنگ بدون خطوط نواری و بدون رگه، رنگ بذر مشکی                                  | کاشان                                |
| 8           | 'Sonbak4'                      | The background color of the fruit is dark green, without stripes or veins, the seed color is black | Kashan                               |
| 9           | 'کلاله 1'                      | رنگ زمینه میوه سبز کم‌رنگ با هاله‌ای از خطوط باریک سبز کم‌رنگ، رنگ بذر سفید                        | گرگان                                |
| 9           | 'Kalaleh1'                     | Fruit background color is pale green with a halo of thin pale green lines, seed color is white     | Gorgan                               |
| 10          | 'کلاله 2'                      | رنگ زمینه سبز زیتونی با خطوط نواری باریک سبز پررنگ، رنگ بذر سفید                                   | گرگان                                |
| 10          | 'Kalaleh2'                     | Olive green background with narrow dark green stripes, white seed color                            | Gorgan                               |

جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرتبط با خصوصیات بذر نژادهای محلی هندوانه

Table 1- ANOVA (mean squares) for the characteristics of the watermelon landraces seeds

| منابع تغییر<br>S.O.V    | درجه آزادی<br>df | وزن هزاردانه<br>The weight of one<br>thousand seeds | درصد وزن مغز به دانه<br>The percentage of kernel<br>weight to the whole seed | طول بذر<br>Seed<br>length | عرض بذر<br>Seed<br>width | ضخامت پوست بذر<br>The thickness of<br>the seed coat |
|-------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| بلوک<br>Block           | 2                | 0.83 <sup>ns</sup>                                  | 0.13 <sup>ns</sup>                                                           | 0.60 <sup>ns</sup>        | 0.15 <sup>ns</sup>       | 0.00004 <sup>ns</sup>                               |
| نژاد محلی<br>Landrace   | 9                | 14709.66**                                          | 31.25**                                                                      | 19.60**                   | 7.53**                   | 0.013**                                             |
| خطا<br>Error            | 18               | 394.7                                               | 0.15                                                                         | 0.23                      | 0.32                     | 0.00007                                             |
| ضریب تغییرات<br>C.V (%) |                  | 9.12                                                | 0.86                                                                         | 2.95                      | 5.94                     | 1.90                                                |

<sup>ns</sup> و \*\*: به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی داری، و معنی داری در سطح احتمال یک درصد می باشد.

<sup>ns</sup> and \*\*: non- significant, and significant at the 1% of probability level, respectively



شکل 1- مقایسه خصوصیات ظاهری بذر نژادهای محلی برگزیده هندوانه

Figure 1- Comparison of seed appearance characteristics of selected watermelon landraces

کالاله 1<sup>۱</sup> مشهود است. نژاد محلی سُنیک 2<sup>۲</sup> (2/19 کیلوگرم) بیشترین وزن گوشت و درصد گوشت میوه و کالاله 2<sup>۲</sup> (0/7 کیلوگرم) کمترین وزن گوشت میوه را نشان داد، در صورتی که کمترین درصد گوشت میوه در کالاله 1<sup>۱</sup> و کالاله 4<sup>۴</sup> و جابانی 1 و 2 مشاهده شد. بالاترین عملکرد میوه یعنی 57/6 تن در هکتار مربوط به نژاد محلی جابانی 1<sup>۱</sup> بود، در صورتی که کمترین مقدار این شاخص در کالاله 2<sup>۲</sup> با 26 تن در هکتار به دست آمد. در مورد شاخص عملکرد بذر نیز جابانی 1<sup>۱</sup> با 1/41 تن در هکتار بالاترین عملکرد و سُنیک 2<sup>۲</sup> با میانگین 0/55 تن در هکتار پایین ترین عملکرد بذر را داشتند.

### صفات مرتبط با عملکرد میوه سال اول آزمایش اول

در مورد صفات عملکردی میوه، نژادهای محلی مختلف هندوانه برای متوسط وزن میوه، متوسط وزن پوست و گوشت میوه، درصد گوشت میوه و عملکرد بذر و میوه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری داشتند (جدول 4).

متوسط تعداد میوه در بوته در نژادهای محلی مختلف تفاوت معنی داری نشان نداد (جدول 4). سنگین ترین میوه (3/14 کیلوگرم) در سُنیک 1<sup>۱</sup> و سُنیک 2<sup>۲</sup> مشهود است، در مقابل اینکه کالاله 1<sup>۱</sup> (1/36 کیلوگرم) سبک ترین میوه را دارد. سنگین ترین پوست میوه در نژاد محلی جابانی 1<sup>۱</sup> و جابانی 3<sup>۳</sup> و سبک ترین پوست میوه در سُنیک 4<sup>۴</sup> و



جدول 3- خصوصیات بذر نژادهای محلی هندوانه

Table 2- The seed characteristics of the watermelon landraces

| نژاد محلی<br>Landrace   | وزن هزاردانه<br>The weight of one<br>thousand seeds<br>(g) | درصد وزن مغز به دانه<br>The percentage of kernel<br>weight to the whole seed<br>(%) | طول بذر<br>Seed length<br>(mm) | عرض بذر<br>Seed<br>width<br>(mm) | ضخامت پوست بذر<br>The thickness of<br>the seed coat<br>(mm) |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| سُنَبک 1<br>'Sonbak 1'  | 179.5 <sup>c*</sup>                                        | 50.0 <sup>a</sup>                                                                   | 14.56 <sup>cd</sup>            | 8.63 <sup>cd</sup>               | 0.40 <sup>de</sup>                                          |
| سُنَبک 2<br>'Sonbak 2'  | 157.9 <sup>c</sup>                                         | 48.9 <sup>ab</sup>                                                                  | 13.86 <sup>cd</sup>            | 7.09 <sup>d</sup>                | 0.38 <sup>e</sup>                                           |
| سُنَبک 3<br>'Sonbak 3'  | 171.6 <sup>c</sup>                                         | 48/3 <sup>b</sup>                                                                   | 15.12 <sup>c</sup>             | 8.13 <sup>dcd</sup>              | 0.37 <sup>e</sup>                                           |
| سُنَبک 4<br>'Sonbak 4'  | 149.3 <sup>c</sup>                                         | 46.6 <sup>c</sup>                                                                   | 13.55 <sup>d</sup>             | 8.35 <sup>cd</sup>               | 0.39 <sup>e</sup>                                           |
| جَبانی 1<br>'Jabani 1'  | 328.6 <sup>a</sup>                                         | 45.2 <sup>c</sup>                                                                   | 20.13 <sup>a</sup>             | 11.73 <sup>a</sup>               | 0.51 <sup>b</sup>                                           |
| جَبانی 2<br>'Jabani 2'  | 270.6 <sup>b</sup>                                         | 41.6 <sup>e</sup>                                                                   | 18.34 <sup>b</sup>             | 11.17 <sup>a</sup>               | 0.46 <sup>c</sup>                                           |
| جَبانی 3<br>'Jabani 3'  | 310.4 <sup>a</sup>                                         | 39.6 <sup>f</sup>                                                                   | 19.99 <sup>a</sup>             | 11.50 <sup>a</sup>               | 0.50 <sup>b</sup>                                           |
| جَبانی 4<br>'Jabani 4'  | 275.2 <sup>b</sup>                                         | 44.5 <sup>d</sup>                                                                   | 18.38 <sup>b</sup>             | 10.47 <sup>ab</sup>              | 0.57 <sup>a</sup>                                           |
| کَلاله 1<br>'Kalaleh 1' | 158.2 <sup>c</sup>                                         | 44.6 <sup>d</sup>                                                                   | 15.01 <sup>c</sup>             | 8.61 <sup>bc</sup>               | 0.42 <sup>d</sup>                                           |
| کَلاله 2<br>'Kalaleh 2' | 161.5 <sup>c</sup>                                         | 45.6 <sup>cd</sup>                                                                  | 14.70 <sup>cd</sup>            | 9.30 <sup>bc</sup>               | 0.39 <sup>e</sup>                                           |

\* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (LSD,  $p \leq 0.05$ ).

\* In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different based on the LSD test at the five percent probability level. (LSD,  $p \leq 0.05$ ).

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد میوه نژادهای محلی هندوانه

Table 3- ANOVA (mean squares) for the fruit yield traits of watermelon landraces

| منابع تغییر<br>S.O.V       | درجه<br>آزادی<br>df | متوسط تعداد<br>میوه در بوته<br>Average<br>number of<br>fruits per plant | متوسط<br>وزن میوه<br>Average<br>fruit<br>weight | متوسط وزن<br>پوست میوه<br>Average<br>weight of<br>fruit peel | متوسط وزن<br>گوشت میوه<br>Average<br>fruit flesh<br>weight | درصد<br>گوشت میوه<br>Fruit flesh<br>percentage | عملکرد<br>میوه<br>Fruit<br>yield | عملکرد بذر<br>Seed yield |
|----------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| بلوک<br>Block              | 2                   | 0.9*                                                                    | 0.34 <sup>ns</sup>                              | 0.15 <sup>ns</sup>                                           | 0.09 <sup>ns</sup>                                         | 55.90*                                         | 0.024 <sup>ns</sup>              | 0.000009 <sup>ns</sup>   |
| نژاد محلی<br>Landrace      | 9                   | 0.2 <sup>ns</sup>                                                       | 13.1**                                          | 0.18**                                                       | 0.70**                                                     | 196.24**                                       | 371.27**                         | 0.22**                   |
| خطا<br>Error               | 18                  | 0.19                                                                    | 0.27                                            | 0.05                                                         | 0.01                                                       | 10.23                                          | 0.38                             | 0.001                    |
| ضریب<br>تغییرات<br>C.V (%) |                     | 36.32                                                                   | 21.84                                           | 21.58                                                        | 7.40                                                       | 5.73                                           | 1.66                             | 3.1                      |

ns و \*\*: به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

<sup>ns</sup> and \*\*: non- significant, and significant at the 1% of probability level, respectively

جدول 5- مقایسه میانگین صفات مرتبط با عملکرد میوه نژادهای محلی هندوانه

Table 4- Comparison of the average traits related to the fruit yield of watermelon landraces

| نژاد محلی<br>Landrace       | متوسط تعداد<br>میوه در بوته<br>Average number of<br>fruits per<br>plant | متوسط وزن میوه<br>Average fruit<br>weight (kg) | متوسط وزن<br>پوست میوه<br>Average weight of<br>fruit peel<br>(kg) | متوسط وزن<br>گوشت میوه<br>Average<br>fruit flesh<br>weight<br>(kg) | درصد گوشت<br>میوه<br>Fruit flesh<br>(percentage) | عملکرد<br>میوه<br>Fruit<br>yield<br>(ton.ha <sup>-1</sup> ) | عملکرد بذر<br>Seed yield<br>ratio<br>(ton.ha <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1 'سنیک 1'<br>'Sonbak1'     | 1.66 <sup>a*</sup>                                                      | 3.15 <sup>a</sup>                              | 1.13 <sup>ab</sup>                                                | 2.02 <sup>ab</sup>                                                 | 63.93 <sup>a</sup>                               | 52.8 <sup>b</sup>                                           | 0.75 <sup>d</sup>                                            |
| 2 'سنیک 2'<br>'Sonbak2'     | 1.33 <sup>a</sup>                                                       | 3.14 <sup>a</sup>                              | 0.95 <sup>ab</sup>                                                | 2.19 <sup>a</sup>                                                  | 69.94 <sup>a</sup>                               | 42.33 <sup>c</sup>                                          | 0.55 <sup>e</sup>                                            |
| 3 'سنیک 3'<br>'Sonbak3'     | 1.33 <sup>a</sup>                                                       | 2.3 <sup>ab</sup>                              | 0.87 <sup>ab</sup>                                                | 1.49 <sup>abc</sup>                                                | 63.3 <sup>a</sup>                                | 31.60 <sup>e</sup>                                          | 0.715 <sup>d</sup>                                           |
| 4 'سنیک 4'<br>'Sonbak4'     | 1.66 <sup>a</sup>                                                       | 1.73 <sup>ab</sup>                             | 0.68 <sup>b</sup>                                                 | 1.05 <sup>c</sup>                                                  | 61.00 <sup>ab</sup>                              | 28.80 <sup>fg</sup>                                         | 0.53 <sup>e</sup>                                            |
| 5 'جابانی 1'<br>'Jabani1'   | 2 <sup>a</sup>                                                          | 2.88 <sup>ab</sup>                             | 1.35 <sup>a</sup>                                                 | 1.53 <sup>abc</sup>                                                | 53.3b <sup>c</sup>                               | 57.60 <sup>a</sup>                                          | 1.41 <sup>a</sup>                                            |
| 6 'جابانی 2'<br>'Jabani2'   | 1.33 <sup>a</sup>                                                       | 2.31 <sup>ab</sup>                             | 1.17 <sup>ab</sup>                                                | 1.14 <sup>bc</sup>                                                 | 49.9 <sup>c</sup>                                | 31.70 <sup>e</sup>                                          | 1.03 <sup>c</sup>                                            |
| 7 'جابانی 3'<br>'Jabani3'   | 1.66 <sup>a</sup>                                                       | 2.77 <sup>ab</sup>                             | 1.42 <sup>a</sup>                                                 | 1.35 <sup>abc</sup>                                                | 49.25 <sup>c</sup>                               | 41.51 <sup>d</sup>                                          | 1.15 <sup>b</sup>                                            |
| 8 'جابانی 4'<br>'Jabani4'   | 1.33 <sup>a</sup>                                                       | 2.35 <sup>ab</sup>                             | 1.13 <sup>ab</sup>                                                | 1.23 <sup>bc</sup>                                                 | 52.00 <sup>bc</sup>                              | 30.53 <sup>ef</sup>                                         | 0.97 <sup>c</sup>                                            |
| 9 'کالاله 1'<br>'Kolaleh1'  | 2 <sup>a</sup>                                                          | 1.36 <sup>b</sup>                              | 0.69 <sup>b</sup>                                                 | 0.67 <sup>c</sup>                                                  | 49.40 <sup>c</sup>                               | 29.42 <sup>gh</sup>                                         | 0.95 <sup>c</sup>                                            |
| 10 'کالاله 2'<br>'Kolaleh2' | 1.66 <sup>a</sup>                                                       | 1.79 <sup>ab</sup>                             | 0.97 <sup>ab</sup>                                                | 0.82 <sup>c</sup>                                                  | 45.80 <sup>c</sup>                               | 26.00 <sup>h</sup>                                          | 0.93 <sup>c</sup>                                            |

\* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (LSD,  $p \leq 0.05$ ).

\* In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different based on the LSD test at the five percent probability level. (LSD,  $p \leq 0.05$ ).

جدول 6- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات بذر نژادهای محلی برگزیده هندوانه در آزمایش سال دوم (1400)

Table 5- ANOVA (mean squares) for the seed characteristics of selected watermelon landraces in the second year experiment (2022)

| منابع تغییر<br>S.O.V    | درجه<br>آزادی<br>df | وزن هزاردانه<br>The weight of<br>one thousand<br>seeds | درصد وزن مغز به دانه<br>Kernel to seed<br>weight percentage | طول<br>بذر<br>Seed<br>length | عرض<br>بذر<br>Seed<br>width | ضخامت<br>بذر<br>Seed<br>diameter | ضخامت پوست<br>بذر<br>The thickness of<br>the seed coat |
|-------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| بلوک<br>Block           | 2                   | 11.22 <sup>ns</sup>                                    | 0.09 <sup>ns</sup>                                          | 0.16 <sup>ns</sup>           | 0.003 <sup>ns</sup>         | 0.01 <sup>ns</sup>               | 0.0001 <sup>ns</sup>                                   |
| نژاد محلی<br>Landrace   | 3                   | 26655.23 <sup>**</sup>                                 | 26.28 <sup>**</sup>                                         | 23.20 <sup>**</sup>          | 8.37 <sup>**</sup>          | 0.67 <sup>**</sup>               | 0.08 <sup>**</sup>                                     |
| خطا<br>Error            | 6                   | 6.1                                                    | 0.50                                                        | 0.11                         | 0.18                        | 0.01                             | 0.0002                                                 |
| ضریب تغییرات<br>C.V (%) |                     | 0.98                                                   | 1.51                                                        | 1.89                         | 3.96                        | 3.61                             | 0.12                                                   |

ns و \*\*: به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌داری، و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

ns and \*\*: non- significant and significant at the 1% of probability level, respectively

### صفات مرتبط با خصوصیات بذر در سال دوم آزمایش اول

جدول تجزیه واریانس داده‌های خصوصیات مربوط به بذر در سال دوم آزمایش اول نشان می‌دهد که نژاد محلی در سطح اطمینان 99 درصد بر تمامی این صفات تأثیر معنی‌دار داشت. در تمامی صفات مورد بررسی در نسل دوم به‌جز متوسط وزن گوشت میوه و درصد گوشت میوه، درصد ضریب تغییرات نسبت به نسل اول کاهش چشمگیری داشت که نشان می‌دهد می‌تواند به دلیل کاهش واریانس درون توده‌ها تحت تأثیر گزینش و یکنواختی بیشتر باشد.

مطابق جدول 7، بالاترین وزن هزاردانه مربوط به 'جابانی 1' (به ترتیب 345 گرم) بوده و کمترین وزن هزاردانه در 'کالاله 2' (162/1 گرم) مشهود است. در مورد درصد وزن مغز به دانه نژادهای محلی 'جابانی 1' و 'جابانی 3' و 'کالاله 2' از نظر آماری یکسان و با میانگین 45 درصد پایین‌ترین درصد وزن مغز به دانه را داشتند، اما بذور نژاد محلی 'کالاله 1' بالاترین درصد وزن مغز به دانه (51/03 درصد) را به خود اختصاص داد. از نظر آماری 'جابانی 1' (میانگین طول 20/35 میلی‌متر و عرض 12/44 میلی‌متر) بزرگ‌ترین بذور را داشت، در صورتی که 'کالاله 2' با بذوری به میانگین طول 14/40 میلی‌متر و میانگین عرض 9/38 میلی‌متر کوچک‌ترین بذور را ایجاد کردند. نژادهای محلی 'جابانی 1' و 'کالاله 2' به ترتیب ضخیم‌ترین و کم ضخامت‌ترین بذور را به خود اختصاص دادند. به نظر می‌رسد که ضخیم‌ترین پوست بذر (0/98 میلی‌متر) در نژاد محلی 'جابانی 3' مشهود است.

### صفات مرتبط با عملکرد میوه سال دوم آزمایش اول

بررسی صفات مرتبط با عملکرد میوه سال دوم در آزمایش اول نشان داد که در صفات عملکردی میوه شامل متوسط وزن میوه، متوسط وزن پوست میوه، متوسط وزن گوشت میوه، درصد گوشت میوه، عملکرد میوه و بذر نژادهای محلی مختلف هندوانه در سطح احتمال خطای یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول 8).

مطابق نتایج سال قبل بین نژادهای محلی از نظر تعداد میوه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. سنگین‌ترین میوه (3/14 کیلوگرم) در 'جابانی 1' مشاهده شد، در مقابل 'کالاله 2' (1/5 کیلوگرم) سبک‌ترین میوه را داشت. سنگین‌ترین پوست میوه در نژادهای محلی 'جابانی 1' و 'جابانی 2' و سبک‌ترین پوست میوه در 'کالاله 1' و 'کالاله 2' به دست آمد. 'جابانی 1' (1/80 کیلوگرم) بیشترین وزن گوشت و درصد گوشت میوه و 'کالاله 2' (0/80 کیلوگرم) کمترین وزن گوشت میوه را نشان داد، در صورتی که کمترین درصد گوشت میوه در 'جابانی 3' مشاهده شد. بالاترین عملکرد میوه یعنی میانگین 62/8 تن در هکتار مربوط به نژاد محلی 'جابانی 1' بود، در صورتی که پایین‌ترین مقدار این شاخص در 'کالاله 2' با 20/60 تن در هکتار حاصل شد. در مورد شاخص عملکرد بذر نیز 'جابانی 1' با 1/39 تن در هکتار بیشترین و 'کالاله 2' با 0/90 تن در هکتار کمترین عملکرد بذر را داشتند.

جدول 7- صفات مرتبط با خصوصیات دانه نژادهای محلی هندوانه در آزمایش سال دوم (1400)  
(2022) Table 6- The seed characteristics of watermelon landraces in the second year experiment

| نژاد محلی<br>Landrace    | متوسط تعداد<br>میوه در بوته<br>Average number of<br>fruits per<br>plant | وزن<br>هزاردانه<br>The weight<br>of one<br>thousand<br>seeds (g) | درصد وزن مغز<br>به دانه<br>Kernel to<br>seed weight<br>percentage<br>(%) | طول بذر<br>Seed<br>length<br>(mm) | عرض بذر<br>Seed<br>width<br>(mm) | ضخامت بذر<br>Seed<br>diameter<br>(mm) | ضخامت پوست بذر<br>The thickness of<br>the seed coat<br>(mm) |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 'جابانی 1'<br>'Jabani1'  | 2 <sup>a</sup>                                                          | 345.70 <sup>a</sup>                                              | 45.43 <sup>b</sup>                                                       | 20.35 <sup>a</sup>                | 12.44 <sup>a</sup>               | 3.39 <sup>a</sup>                     | 0.86 <sup>b</sup>                                           |
| 'جابانی 3'<br>'Jabani3'  | 1.66 <sup>a</sup>                                                       | 320.18 <sup>b</sup>                                              | 45.13 <sup>b</sup>                                                       | 19.22 <sup>b</sup>                | 11.81 <sup>b</sup>               | 2.80 <sup>b</sup>                     | 0.98 <sup>a</sup>                                           |
| 'کالاله 1'<br>'Kolaleh1' | 2 <sup>a</sup>                                                          | 180.20 <sup>c</sup>                                              | 51.03 <sup>a</sup>                                                       | 15.93 <sup>c</sup>                | 9.17 <sup>c</sup>                | 2.68 <sup>b</sup>                     | 0.6 <sup>d</sup>                                            |
| 'کالاله 2'<br>'Kolaleh2' | 1.33 <sup>a</sup>                                                       | 162.18 <sup>d</sup>                                              | 44.83 <sup>b</sup>                                                       | 14.40 <sup>d</sup>                | 9.38 <sup>c</sup>                | 2.23 <sup>c</sup>                     | 0.80 <sup>c</sup>                                           |

در هر ستون میانگین‌هایی که حناقل در یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

\* In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different based on the LSD test at the five percent probability level. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

جدول 8- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد میوه نژادهای محلی برگزیده هندوانه در آزمایش سال دوم (1400)  
Table 7- ANOVA (mean squares) for the fruit yield traits of selected watermelon landraces in the second year experiment (2022)

| منابع تغییر<br>S.O.V    | درجه<br>آزادی<br>df | متوسط تعداد<br>میوه در بوته<br>Average<br>number of<br>fruits per plant | متوسط وزن<br>میوه<br>Average<br>fruit<br>weight | متوسط وزن<br>پوست میوه<br>Average<br>weight of<br>fruit peel | متوسط وزن<br>گوشت میوه<br>Average<br>fruit flesh<br>weight | درصد<br>گوشت میوه<br>Fruit flesh<br>percentage | عملکرد میوه<br>Fruit yield | عملکرد<br>بذر<br>Seed<br>yield |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| بلوک<br>Block           | 2                   | 0.25 <sup>ns</sup>                                                      | 0.004 <sup>ns</sup>                             | 0.02 <sup>ns</sup>                                           | 0.03 <sup>ns</sup>                                         | 58.19 <sup>ns</sup>                            | 0.10 <sup>ns</sup>         | 0.001 <sup>ns</sup>            |
| نژاد محلی<br>Landrace   | 3                   | 0.30 <sup>ns</sup>                                                      | 1.34**                                          | 0.33**                                                       | 0.52**                                                     | 120.97*                                        | 980.50**                   | 0.13**                         |
| خطا<br>Error            | 6                   | 0.13 <sup>ns</sup>                                                      | 0.05                                            | 0.02                                                         | 0.01                                                       | 14.40                                          | 0.16                       | 0.001                          |
| ضریب تغییرات<br>C.V (%) |                     | 15.88                                                                   | 9.85                                            | 14.00                                                        | 7.93                                                       | 6.86                                           | 0.91                       | 2.87                           |

ns, \* و \*\*: به ترتیب نشان دهنده غیر معنی داری، معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.  
ns, \* and \*\*: non- significant, and significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول 9- صفات عملکرد میوه در نژادهای محلی برگزیده هندوانه در آزمایش سال دوم (1400)  
(2022) Table 8- The fruit yield traits of selected watermelon landraces in the second year experiment

| نژاد محلی<br>Landrace  | متوسط تعداد<br>میوه در بوته<br>Average<br>number of<br>fruits per<br>plant | متوسط وزن<br>میوه<br>Average<br>fruit<br>weight<br>(kg) | متوسط وزن<br>پوست میوه<br>Average<br>weight of fruit<br>peel (kg) | متوسط وزن<br>گوشت میوه<br>Average<br>fruit flesh<br>weight (kg) | درصد گوشت<br>میوه<br>Fruit flesh<br>percentage<br>(%) | عملکرد میوه<br>Fruit yield<br>(ton.ha <sup>-1</sup> ) | عملکرد بذر<br>Seed yield<br>(ton.ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| جابانی 1'<br>'Jabani1' | 2 <sup>a*</sup>                                                            | 3.14 <sup>a</sup>                                       | 1.34 <sup>a</sup>                                                 | 1.80 <sup>a</sup>                                               | 57.47 <sup>ab</sup>                                   | 62.8 <sup>a</sup>                                     | 1.39 <sup>a</sup>                                   |
| جابانی 3'<br>'Jabani3' | 1.66 <sup>a</sup>                                                          | 2.43 <sup>b</sup>                                       | 1.27 <sup>a</sup>                                                 | 1.16 <sup>b</sup>                                               | 47.75 <sup>b</sup>                                    | 44.40 <sup>c</sup>                                    | 1.11 <sup>b</sup>                                   |
| کاله 1'<br>'Kolaleh1'  | 2 <sup>a</sup>                                                             | 2.04 <sup>bc</sup>                                      | 0.76 <sup>b</sup>                                                 | 1.28 <sup>b</sup>                                               | 62.72 <sup>a</sup>                                    | 46.80                                                 | 1.01 <sup>c</sup>                                   |
| کاله 2'<br>'Kolaleh2'  | 1.33 <sup>a</sup>                                                          | 1.50 <sup>c</sup>                                       | 0.70 <sup>b</sup>                                                 | 0.80 <sup>c</sup>                                               | 53.24 <sup>ab</sup>                                   | 20.60 <sup>d</sup>                                    | 0.90 <sup>d</sup>                                   |

\*در هر ستون میانگین هایی که حداقل در یک حرف مشترک می باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند. (LSD, p≤0.05)

\*In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different based on the LSD test at the five percent probability level. (LSD, p≤0.05)

که نشان می دهد نژادهای محلی برای گزینش درون توده ای واکنش یکسانی نداشتند و بعضی از آن ها نسبت به گزینش، پاسخ بهتری دادند.

در بین تمامی نژادهای محلی مورد بررسی، نژادهای محلی 'جابانی' و 'کاله' به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزاردانه و عرض بذر را به خود اختصاص دادند (شکل 2). بیشترین ضخامت پوست بذر نیز در تیمارهای 'جابانی 1' و 'جابانی 3' مشاهده گردید، همچنین تیمار 'کاله 1' و 'کاله 2' نازک ترین پوست بذر را داشت (شکل 2).

#### صفات مرتبط با خصوصیات بذر در آزمایش دوم

تجزیه واریانس داده های مرتبط با خصوصیات بذر در آزمایش دوم در جدول 10 بیانگر این موضوع می باشد که اثر ساده نسل بر درصد وزن مغز به دانه و عرض بذر تأثیر معنی دار داشت که در بهبود کیفیت دانه تأثیر زیادی دارد، در صورتی که اثر ساده نوع نژاد محلی برای تمامی صفات در سطح احتمال خطای یک درصد تأثیر معنی دار داشت. همچنین اثر متقابل نسل و نژاد محلی بر درصد مغز به دانه، طول، عرض و ضخامت دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود

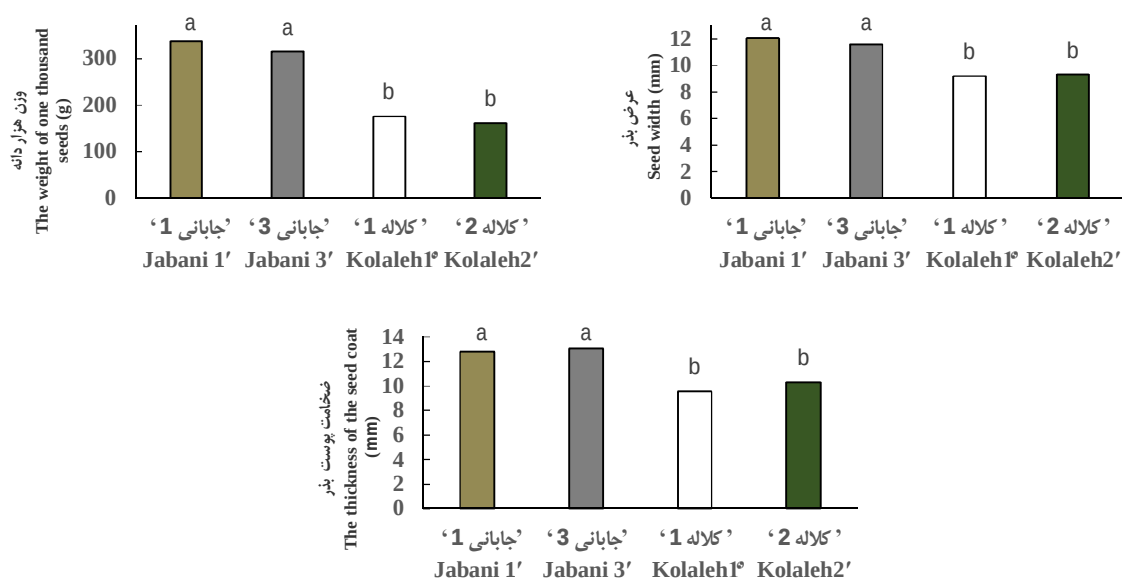
جدول 10- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرتبط با خصوصیات بذر نسل‌های نژادهای محلی هندوانه

Table 9- Analysis of variance (mean squares) of traits related to seed characteristics of generations of watermelon landraces

| منابع تغییر<br>S.O.V                        | درجه<br>آزادی<br>df | وزن هزاردانه<br>The weight of<br>one thousand<br>seeds | درصد وزن مغز به دانه<br>Kernel to seed<br>weight percentage | طول بذر<br>Seed<br>length | عرض بذر<br>Seed<br>width | ضخامت بذر<br>Seed<br>diameter | ضخامت پوست بذر<br>The thickness of<br>the seed coat |
|---------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|
| نسل<br>Generation                           | 1                   | 492.23 <sup>ns</sup>                                   | 41.63**                                                     | 0.002 <sup>ns</sup>       | 0.36*                    | 0.009 <sup>ns</sup>           | 0.26 <sup>ns</sup>                                  |
| خطای کرت اصلی<br>Main plot error            | 2                   | 93.12                                                  | 0.05                                                        | 0.26                      | 0.008                    | 0.009                         | 0.66                                                |
| نژاد محلی<br>Landrace                       | 3                   | 50211.6**                                              | 30.50**                                                     | 49.56**                   | 13.7**                   | 0.94**                        | 18.60**                                             |
| نسل × نژاد محلی<br>Generation ×<br>Landrace | 3                   | 67.30 <sup>ns</sup>                                    | 22.76**                                                     | 0.77*                     | 0.17 <sup>ns</sup>       | 0.05**                        | 0.76 <sup>ns</sup>                                  |
| خطای فرعی<br>Minor error                    | 14                  | 290.8                                                  | 0.33                                                        | 0.19                      | 0.10                     | 0.008                         | 0.32                                                |
| ضریب تغییرات<br>C.V (%)                     |                     | 6.88                                                   | 1.2                                                         | 2.49                      | 2.98                     | 3.20                          | 4.94                                                |

ns، \* و \*\*: به ترتیب به مفهومی غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

ns, \* and \*\*: non-significant and significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively



شکل 2- خصوصیات بذر در نژادهای محلی هندوانه

Figure 2- The seed characteristics in watermelon landraces (LSD,  $p \leq 0.05$ )

نیز در تیمار نسل دوم نژادهای محلی 'کالاله' (میانگین 15 میلی‌متر) مشاهده شد. نژادهای محلی 'جابانی' در نسل دوم آزمایش توانستند نسبت به سایر تیمارها پهن‌ترین و قطورترین بذور را ایجاد کنند و باریک‌ترین بذور نیز مربوط به رقم 'کالاله 2' در هر دو نسل آزمایش بود (جدول 11).

در بررسی دو سال آزمایش، بیشترین درصد وزن مغز به وزن دانه مربوط به تیمار نسل دوم حاصل از گزینش 'کالاله 1' (51/03 درصد) بود، درحالی‌که کمترین میزان این شاخص در تیمار 'جابانی 3' و نسل 1 (39%/58) آزمایش بود. نژادهای محلی 'جابانی' در هر دو نسل آزمایش طولی‌ترین بذرها را داشتند (میانگین 20 میلی‌متر) و کوتاه‌ترین بذور

جدول 11- اثرات متقابل نسل × نژاد محلی بر خصوصیات بذر هندوانه

Table 10- The interaction effects of generation × landrace on the seed characteristics of watermelon

| نسل<br>Generation     | نژاد محلی<br>Landrace  | درصد وزن مغز به دانه<br>Kernel to seed weight percentage (%) | طول بذر<br>Seed length (mm) | ضخامت بذر<br>Seed diameter (mm) |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| نسل 1<br>Generation 1 | 'جبابی 1'<br>'Jabani1' | 46.15 <sup>b*</sup>                                          | 20.13 <sup>a</sup>          | 3.21 <sup>ab</sup>              |
|                       | 'جبابی 3'<br>'Jabani3' | 39.58 <sup>c</sup>                                           | 19.99 <sup>a</sup>          | 2.95 <sup>bc</sup>              |
|                       | 'کاله 1'<br>'Kolaleh1' | 44.60 <sup>b</sup>                                           | 15.01 <sup>bc</sup>         | 2.63 <sup>de</sup>              |
|                       | 'کاله 2'<br>'Kolaleh2' | 45.56 <sup>b</sup>                                           | 14.70 <sup>bc</sup>         | 2.47 <sup>ef</sup>              |
|                       | 'جبابی 1'<br>'Jabani1' | 45.43 <sup>b</sup>                                           | 20.53 <sup>a</sup>          | 3.39 <sup>a</sup>               |
|                       | 'جبابی 3'<br>'Jabani3' | 45.13 <sup>b</sup>                                           | 19.23 <sup>b</sup>          | 2.8 <sup>cd</sup>               |
| نسل 2<br>Generation 2 | 'کاله 1'<br>'Kolaleh1' | 51.03 <sup>a</sup>                                           | 15.93 <sup>c</sup>          | 2.68 <sup>cde</sup>             |
|                       | 'کاله 2'<br>'Kolaleh2' | 44.83 <sup>b</sup>                                           | 14.40 <sup>c</sup>          | 2.3 <sup>f</sup>                |

\* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

\* In each column, the means that have at least one letter in common are not significantly different based on the LSD test at the five percent probability level. (LSD,  $p \leq 0.05$ )

#### صفات مرتبط با عملکرد میوه در آزمایش دوم

در بین صفات مرتبط با عملکرد میوه در این آزمایش، اثر ساده نسل بر درصد گوشت میوه و عملکرد میوه معنی‌دار بود و نشان داد که گزینش باعث بهبود عملکرد برای نسل بعد شد. همچنین اثر ساده نژاد محلی بر متوسط وزن میوه، متوسط وزن پوست میوه، متوسط وزن گوشت میوه، درصد گوشت میوه، عملکرد بذر و میوه معنی‌دار بود. اثر متقابل نسل و نژاد محلی نیز بر صفات متوسط وزن میوه، متوسط گوشت میوه، درصد گوشت میوه و عملکرد میوه معنی‌دار گردید که نشان‌دهنده واکنش متفاوت نژادهای محلی به گزینش برای این صفات است (جدول 12).

نتایج نشان داد که نژاد محلی 'جبابی 1' با میانگین سه کیلوگرم سنگین‌ترین میوه‌ها را داشتند. در مقایسه نژادهای محلی مختلف مورد آزمایش در دو نسل مختلف مشخص شد که 'جبابی 1' و 'جبابی 3' در هر دو سال نسبت به تیمار 'کاله 1' و 'کاله 2' در نسل اول، وزن پوست میوه بالاتری داشتند (شکل 3). اثر نسل تنها در تیمار 'کاله 1' توانست متوسط وزن میوه را تا 40 درصد افزایش دهد. همچنین 'جبابی 1' در هر دو نسل بیشترین وزن گوشت میوه را به خود

اختصاص داد (شکل 3). تیمار 'کاله 1' در نسل اول نیز سبک‌ترین وزن گوشت میوه را داشت و نسبت به نسل دوم بیش از 50 درصد وزن گوشت میوه کمتری داشت. تیمار 'کاله 1' در نسل دوم با میانگین 70 درصد، رتبه آماری a را برای درصد گوشت میوه به خود اختصاص داد، درحالی‌که پایین‌ترین مقدار این شاخص (4/44 درصد) مربوط به تیمار 'کاله 2' در نسل دوم بود. تفاوت آماری در درصد گوشت میوه تنها در تیمار 'کاله 1' مشهود بود و نسل دوم تا حدود 30 درصد این شاخص را افزایش داد (شکل 3 D). تیمار 'جبابی 1' در نسل دوم بیشترین میزان عملکرد میوه در هکتار را به خود اختصاص داد، اما بیشترین پیشرفت ژنتیکی در مورد این شاخص در نسل دوم 'کاله 1' مشاهده شد (میانگین 65 تن در هکتار) (شکل 3 E). 'جبابی 1' و 'جبابی 3' در با میزان 1/5 تن در هکتار بالاترین میزان عملکرد بذر را داشت (شکل 4). گزینش برای افزایش وزن گوشت میوه در 'کاله 1' موفقیت‌آمیز بود، اما در سایر نژادهای محلی هنوز برای دو نسل اختلاف معنی‌دار نبود (شکل 3 C). از نظر عملکرد میوه، گزینش برای 'جبابی 1' و 'جبابی 3' و 'کاله 1' بسیار موفقیت‌آمیز بود، ولی برای 'کاله 2' موفقیت‌آمیز نبود (شکل 3 E).



جدول 12- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد میوه نسل‌های نژادهای محلی هندوانه  
Table 11- ANOVA (mean squares) for the fruit yield traits of generations of watermelon landraces

| منابع تغییر<br>S.O.V                        | درجه<br>آزادی<br>df | تعداد میوه در<br>بوته<br>The number<br>of fruit per<br>plant | متوسط وزن<br>میوه<br>The fruit<br>weight | وزن پوست<br>میوه<br>The weight<br>of fruit peel | وزن گوشت<br>میوه<br>The fruit<br>flesh weight | درصد<br>گوشت میوه<br>Fruit flesh<br>percentage | عملکرد<br>میوه<br>Fruit<br>yield | عملکرد<br>بذر<br>Seed<br>yield |
|---------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| نسل<br>Generation                           | 1                   | 0.04 <sup>ns</sup>                                           | 0.03 <sup>ns</sup>                       | 0.04 <sup>ns</sup>                              | 0.016 <sup>ns</sup>                           | 205.33*                                        | 182.93**                         | 0.4 <sup>ns</sup>              |
| خطای کرت اصلی<br>Main plot error            | 4                   | 0.29 <sup>ns</sup>                                           | 0.06                                     | 0.02                                            | 0.02                                          | 7.98                                           | 0.05                             | 0.3                            |
| نژاد محلی<br>Landrace                       | 12                  | 0.37 <sup>ns</sup>                                           | 2.75**                                   | 0.64**                                          | 0.84**                                        | 91.78*                                         | 1402.34**                        | 0.32**                         |
| نسل × نژاد محلی<br>Generation ×<br>Landrace | 13                  | 0.04 <sup>ns</sup>                                           | 0.35*                                    | 0.03 <sup>ns</sup>                              | 0.18**                                        | 57.35*                                         | 158.36**                         | 0.6 <sup>ns</sup>              |
| خطای فرعی<br>Minor error                    | 52                  | 0.14 <sup>ns</sup>                                           | 0.07                                     | 0.03                                            | 0.01                                          | 17.60                                          | 0.16                             | 0.02                           |
| ضریب تغییرات<br>C.V (%)                     |                     | 20.9                                                         | 11.80                                    | 16.34                                           | 8.54                                          | 8.01                                           | 0.97                             | 12.30                          |

ns، \* و \*\*: به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.  
ns, \* and \*\*: non-significant and significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

#### همبستگی بین صفات

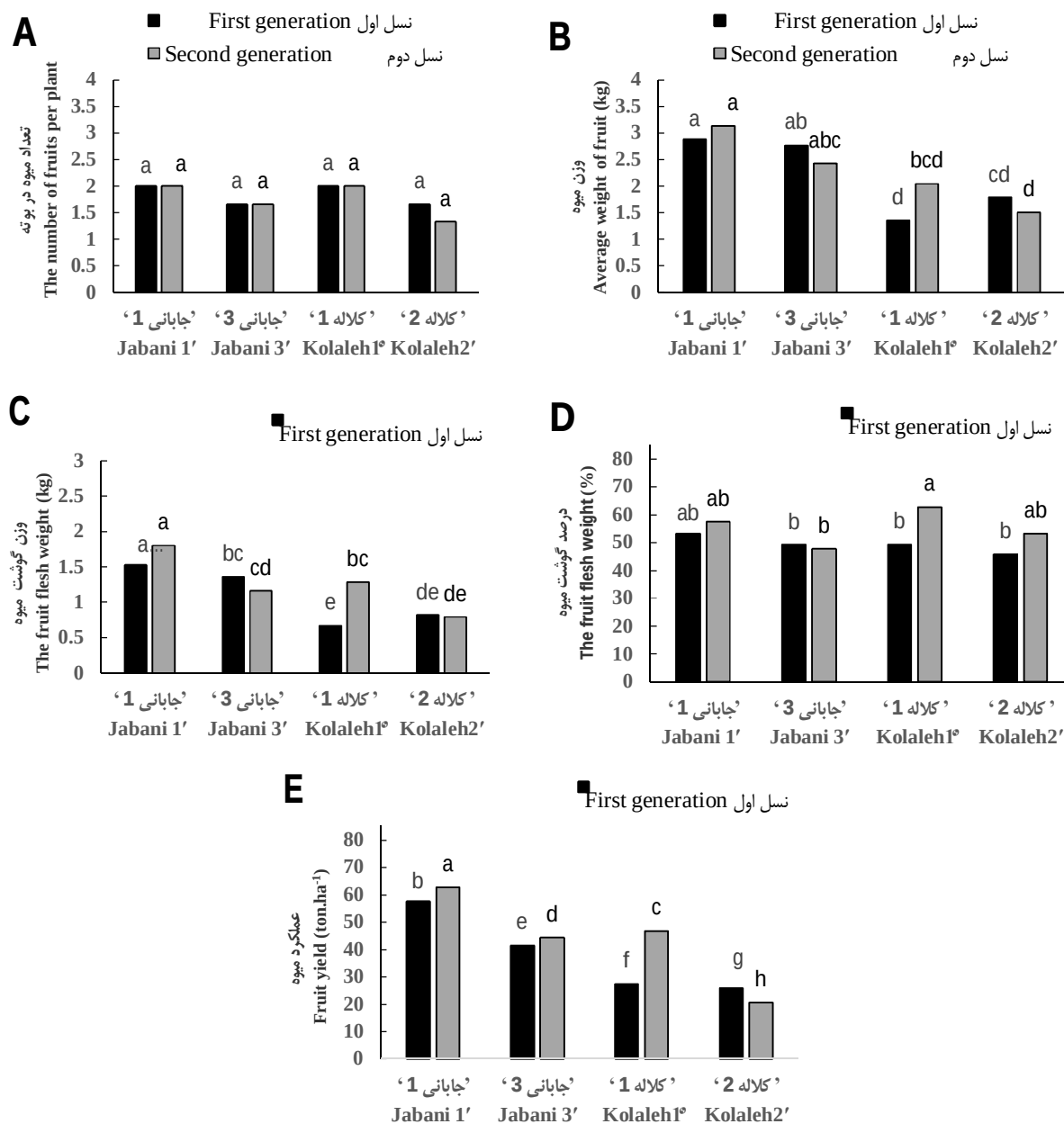
نتایج همبستگی بین صفات مختلف اندازه‌گیری شده نشان داد که عملکرد بذر همبستگی مثبتی با ویژگی‌هایی مانند وزن هزاردانه ( $r = 0/79$ )، طول بذر ( $r = 0/83$ ) و عرض بذر ( $r = 0/72$ ) داشت (جدول 1) که این صفات به‌طور قابل‌توجهی با افزایش عملکرد میوه مرتبط هستند. این نتایج بیانگر اهمیت اندازه بذر و ویژگی‌های مرتبط با آن در بهبود عملکرد میوه‌ها است. از سوی دیگر، وزن هزاردانه همبستگی بالایی با طول بذر ( $r = 0/98$ ) و عرض بذر ( $r = 0/98$ ) داشت. همچنین، همبستگی مثبت بین وزن هزاردانه و عملکرد میوه ( $r = 0/81$ ) معنی‌دار بود که اهمیت این ویژگی‌ها در بهبود عملکرد کلی محصول را تأیید می‌کند.

طول بذر نیز با عرض بذر ( $r = 0/94$ ) همبستگی بالایی داشت و همچنین با عملکرد میوه ( $r = 0/84$ ) ارتباط مثبتی را نشان داد. در ارتباط با عرض بذر، این ویژگی با طول بذر ( $r = 0/94$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و همچنین با عملکرد میوه ( $r = 0/77$ ) نیز همبستگی قابل توجهی نشان داد. این داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر مهم ابعاد بذر بر عملکرد میوه هستند.

تعداد میوه همبستگی ضعیفی با ویژگی‌هایی مانند عملکرد میوه ( $r = 0/37$ ) داشت که نشان می‌دهد تأثیر تعداد میوه‌ها بر ویژگی‌های دیگر محدودتر است. متوسط وزن میوه همبستگی قوی با ویژگی‌هایی همچون عملکرد میوه ( $r = 0/85$ ) نشان داد. این ویژگی همچنین با وزن هزاردانه ( $r = 0/90$ ) و طول بذر ( $r = 0/91$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که نشان‌دهنده نقش کلیدی وزن میوه در تعیین عملکرد محصول است.

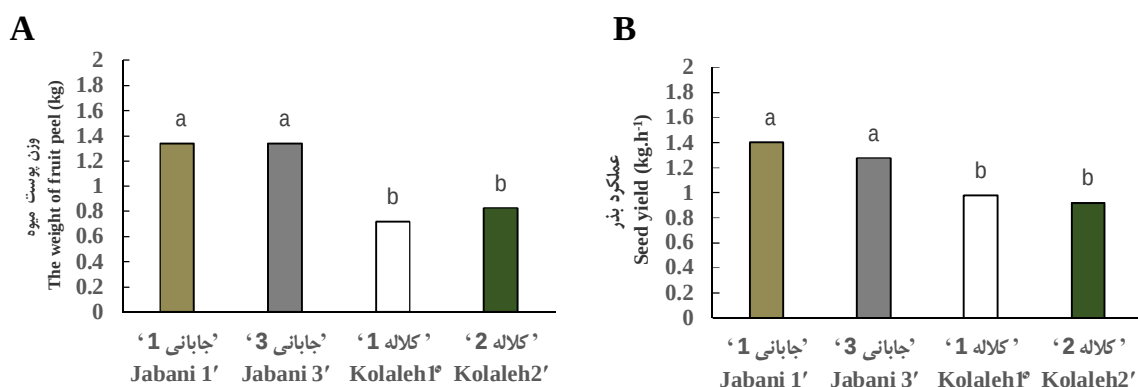
درصد گوشت میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد میوه ( $r = 0/41$ ) داشت. این امر نشان‌دهنده اهمیت درصد گوشت میوه در عملکرد آن است. به‌علاوه، این صفت همبستگی ضعیف‌تری با سایر صفات نظیر طول بذر ( $r = 0/07$ ) و عرض بذر ( $r = -0/01$ ) نشان داد. در نهایت، درصد وزن مغز به وزن دانه با عملکرد میوه ( $r = -0/18$ ) همبستگی منفی داشت که ممکن است این ویژگی‌ها تأثیر منفی عملکرد میوه‌ها داشته باشند.

در مجموع، این تحلیل‌ها تأکید می‌کنند که ویژگی‌هایی نظیر اندازه بذر، درصد گوشت میوه و وزن پوست میوه نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد و ویژگی‌های کلی محصول دارند. همچنین، ویژگی‌هایی همچون درصد وزن مغز به وزن دانه ممکن است تأثیرات منفی بر عملکرد میوه‌ها داشته باشند.



شکل 3- اثر متقابل نسل × نژاد محلی بر تعداد میوه در بوته (A)، وزن میوه (B)، وزن گوشت میوه (C)، درصد گوشت میوه (D)، و عملکرد میوه (E) در نژادهای محلی برگزیده هندوانه

Figure 3- The interaction effect of generation × landrace on the number of fruit per plant (A), the fruit weight (B), the fruit flesh weight (C), fruit flesh percentage (D), and fruit yield (E) of the selected watermelon landraces (LSD,  $p \leq 0.05$ )



شکل 4- اثر نژاد محلی بر متوسط وزن پوست میوه (A) و عملکرد بذر (B) نژادهای محلی هندوانه  
Figure 4- The effect of landrace on the weight of fruit peel (A) and seed yield (B) of watermelon landraces (LSD,  $p \leq 0.05$ )

جدول 13- ضرایب همبستگی بین برخی صفات مورد مطالعه در نژادهای محلی هندوانه  
Table 12- The correlation coefficients between some studied traits for watermelon landraces

| صفت<br>Adjective                                             | عملکرد بذر<br>Seed yield | وزن هزار دانه<br>The weight of one thousand seeds | طول بذر<br>Seed length | عرض بذر<br>Seed width | متوسط تعداد میوه<br>Average nNumber of fruits | متوسط وزن میوه<br>Average fFruit weight | درصد گوشت میوه<br>Fruit flesh percentage | درصد وزن مغز به وزن دانه<br>Kernel to seed weight percentage | عملکرد میوه<br>Fruit yield |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------|
| عملکرد بذر<br>Seed yield                                     | 1                        |                                                   |                        |                       |                                               |                                         |                                          |                                                              |                            |
| وزن هزار دانه<br>The weight of one thousand seeds            | 0.79**                   | 1                                                 |                        |                       |                                               |                                         |                                          |                                                              |                            |
| طول بذر<br>Seed length                                       | 0.83**                   | 0.98**                                            | 1                      |                       |                                               |                                         |                                          |                                                              |                            |
| عرض بذر<br>Seed width                                        | 0.72**                   | 0.98**                                            | 0.94**                 | 1                     |                                               |                                         |                                          |                                                              |                            |
| متوسط تعداد میوه<br>Average nNumber of fruits                | 0.30                     | 0.22                                              | 0.24                   | 0.16                  | 1                                             |                                         |                                          |                                                              |                            |
| متوسط وزن میوه<br>Average fFruit weight                      | 0.80**                   | 0.90**                                            | 0.91**                 | 0.85**                | 0.27                                          | 1                                       |                                          |                                                              |                            |
| درصد گوشت میوه<br>Fruit flesh percentage                     | 0.11                     | 0.03                                              | 0.07                   | -0.01                 | -0.03                                         | 0.11                                    | 1                                        |                                                              |                            |
| درصد وزن مغز به وزن دانه<br>Kernel to seed weight percentage | -0.36                    | -0.32                                             | -0.31                  | -0.35                 | 0.20                                          | -0.20                                   | 0.58**                                   | 1                                                            |                            |
| عملکرد میوه<br>Fruit yield                                   | 0.67**                   | 0.81**                                            | 0.84**                 | 0.77**                | 0.37                                          | 0.85**                                  | 0.41*                                    | -0.18                                                        | 1                          |

\* و \*\*: به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

\* and \*\*: significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

## بحث

در این تحقیق مشخص شد که نوع نژاد محلی و گزینش نسل بر عملکرد محصول تأثیر معنی‌داری داشتند. بالاترین عملکرد میوه یعنی 65 تن در هکتار مربوط به نژاد محلی 'جابانی' 1 بود. بعد از 'جابانی' 1، نژاد محلی 'کالاله' 1 با عملکرد 45 تن در هکتار بیشترین عملکرد را داشت که به نظر می‌رسد ارتباط مستقیم با وزن میوه در بوته دارد که با نتایج پاندیتا و همکاران (Pandita et al., 1990) و اردینک و همکاران (Erdinc et al., 2008) مطابقت دارد. میانگین وزن میوه در این آزمایش 2/5 کیلوگرم بود. همچنین در مطالعه دیگری که توسط حاجی علی و همکاران (Haji Ali et al., 2016) روی 16 نژاد هندوانه بومی ایران انجام شد، مشاهده شد که بیشترین همبستگی مثبت (0/968) بین دو صفت وزن گوشت و وزن میوه وجود دارد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد، زیرا نژاد محلی 'جابانی' 1 (2/80 کیلوگرم) بیشترین وزن گوشت و 'کالاله' 1 بیشترین درصد گوشت میوه (62 درصد) را داشت، به همین علت نیز عملکرد بالاتری را نسبت به سایر نژادهای محلی دارا بودند. همچنین روین و همکاران (Rouin et al., 2023) اظهار داشتند که توده هندوانه سیستمی نسبت به دو توده علی‌آباد و تربت در شرایط تنش خشکی عملکرد بالاتری دارد. علاوه بر موارد ذکر شده، بین عملکرد نژادهای محلی از نظر خصوصیات و عملکرد بذر، عملکرد گوشت و پوست میوه، طول و عرض میوه، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مهمترین صفت در اهداف اصلاحی هندوانه‌های آجیلی خصوصیات دانه می‌باشد. درشتی دانه و درصد بالای مغز نسبت به پوست دانه و نرم بودن بافت دانه نیز از سایر اهداف اصلاحی در این هندوانه‌ها به شمار می‌رود. در آزمایش سال اول نیز از بین این صفات تعیین‌کننده کیفیت و کمیت دانه، بالاترین وزن هزاردانه (326/6 گرم) در نژاد محلی 'جابانی' 1، بالاترین درصد وزن مغز به دانه (50 درصد) در سنبل 1، طولی‌ترین بذر (میانگین 20 میلی‌متر) و عریض‌ترین میوه (میانگین 11/7 میلی‌متر) مربوط به 'جابانی' 1 بود، در صورتی که کمترین ضخامت پوست بذر (0/37 میلی‌متر) در 'سنبل 3' مشاهده شد. گزینش در سال اول براساس عملکرد بذر انجام شد که از بین هندوانه‌های آجیلی که از نظر ظاهری بذر درشت‌تری داشتند، نژادهای محلی 'جابانی' 1 و 'جابانی' 3 و از بین هندوانه آجیلی با بذر کوچک‌تر نژادهای محلی 'کالاله' 1 و 'کالاله' 2 انتخاب شدند. نژادهای محلی 'کالاله' 1 و 'کالاله' 2 از نظر ضخامت پوست بذر (شکل 1) و درصد مغز به دانه (جدول 11) کیفیت بهتری داشتند. بنابراین نژاد محلی 'جابانی' به دلیل عملکرد بذر بالاتر و نژاد محلی 'کالاله' به دلیل کیفیت دانه بالاتر جهت کشت به عنوان هندوانه آجیلی مطلوب می‌باشند. در نسل دوم آزمایش اول، نژاد محلی 'جابانی' 1 با متوسط وزن هزاردانه 350 گرم، طول بذر 20/35

میلی‌متر، عرض بذر 12/44 میلی‌متر، ضخامت بذر 3/39 میلی‌متر و ضخامت پوست بذر 0/86 میلی‌متر و عملکرد بذر 1/39 تن در هکتار بهترین نژاد در بین نژادهای محلی مورد آزمایش بود. در مورد صفات میوه نیز جابانی 1 با سنگین‌ترین وزن میوه (3/14 کیلوگرم) و سنگین ترین وزن گوشت میوه (1/80 کیلوگرم) بالاترین عملکرد میوه در هکتار (62/80 تن در هکتار) را داشت.

در بررسی که در شمال نامیبیا واقع در جنوب آفریقا روی نژادهای بومی هندوانه انجام شد، محققان دریافتند که وزن بذر، مواد محلول جامد، وزن میوه، زودرسی، تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و نوع مصرف (آجیلی و خوراکی) در بین نژادهای بومی دارای تنوع بود (Magss-Kolling, 2003). حاجی علی و همکاران (Haji Ali et al., 2016) در بررسی 16 نژاد محلی به همراه دو رقم تجاری هندوانه دریافتند که بین ارقام هندوانه از نظر طول کوتیلیدون، طول میوه، وزن میوه، وزن گوشت، عملکرد، طول و عرض بذر، وزن بذر، ویتامین C و مواد جامد محلول تفاوت معنی‌داری وجود داشت. جیبوتو و همکاران (Gbotto et al 2016) در بررسی تعداد 171 هندوانه بذری براساس 11 صفت مورفولوژیک کمی، اظهار داشتند که تنوع قابل توجهی بین نمونه‌ها به خصوص از نظر صفات اندازه و وزن میوه مشاهده گردید. بنابراین به نظر می‌رسد که صفات سطح برگ، طول و عرض میوه، وزن میوه، وزن گوشت و پوست میوه، خصوصیات مربوط به بذر، درصد قند و اسیدیته میوه نقش مهمی در ایجاد تنوع بین نژادهای محلی داشتند و با بررسی این موارد می‌توان به وجود تنوع موجود بین نژادهای بومی و غیر بومی پی برد و این موارد را برای اصلاح نژادهای محلی به کار گرفت. شیخ و همکاران (Sheikh et al., 2013) اظهار داشتند که در هندوانه‌های تتراپلوئید، بین وزن میوه و صفات طول و عرض میوه همبستگی مثبت مشاهده شد و همچنین بین دو صفت طول و عرض میوه همبستگی مثبت وجود داشت که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت ندارد، اما به نظر می‌رسد که در این آزمایش، بین وزن گوشت میوه و وزن متوسط میوه ارتباط مستقیم وجود دارد که با نتایج حاجی علی و همکاران (Haji Ali et al., 2016) همخوانی دارد. نسل هر کدام از نژادهای محلی نشان داد که وزن هزاردانه، نسبت طول به ضخامت بذر، ضخامت پوست بذر، عملکرد بذر، متوسط وزن پوست میوه و متوسط تعداد میوه تحت تأثیر نسل تغییر نکرد. گزینش، عملکرد میوه را در نسل دوم تا 10 درصد افزایش داد و افزایش گوشت میوه نیز در نسل دوم بهبود یافت و در نسل دوم نسبت نسل اول در نژادهای محلی 'کالاله' 1 و 2 مشهود بود. همچنین افزایش وزن گوشت میوه در جابانی 1 و 'کالاله' 1 در نسل دوم مشاهده شد. مطلوب‌ترین صفات میوه شامل بالاترین متوسط وزن میوه (3/2 کیلوگرم)، بالاترین عملکرد میوه (65 تن در هکتار) و

بالاترین وزن گوشت (1/7 کیلوگرم) در نسل دوم جابانی 1 مشاهده گردید. در مورد صفات مرتبط با دانه، بالاترین درصد وزن مغز به دانه (51/3 درصد) مربوط به کالاه 1 و نسل دوم بود، درحالی که طولی‌ترین بذر (20/13 میلی‌متر) و بیشترین ضخامت بذر (3/2 میلی‌متر) مربوط به نسل دوم جابانی 1 بود. افزایش درصد مغز به دانه در نسل دوم نژاد محلی کالاه نشان‌دهنده واکنش مثبت این نژاد محلی به گزینش برای این صفات است. همچنین جابانی 1 واکنش مثبتی به درشت شدن بذر در طی گزینش نشان داد.

### نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی نژادهای محلی مختلف هندوانه در نسل اول نشان داد که نژادهای محلی کالاه 1 و کالاه 2 و جابانی 1 و جابانی 3 از نظر صفات عملکرد رشدی و عملکرد میوه دارای برتری نسبت به سایر نژادها می‌باشند، اما در نسل دوم نژاد محلی جابانی 1 بهترین عملکرد میوه را از نظر وزنی و درصد

گوشت میوه داشت و این نژادها می‌توانند به‌عنوان نژادهای محلی مادری جهت اصلاح هندوانه آجیلی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین در نسل اول، بررسی صفات تعیین‌کننده کیفیت و کمیت بذر مانند وزن هزاردانه، درصد وزن مغز به دانه طول، عرض و ضخامت بذر، ضخامت پوست بذر نشان داد که جابانی 1 و جابانی 3 مطلوب‌ترین نژاد محلی می‌باشند. در سال دوم نیز جابانی 1 و جابانی 3 بالاترین کمیت و کیفیت بذر را به خود اختصاص دادند بنابراین جهت کشت به عنوان هندوانه آجیلی مطلوب می‌باشند. مقایسه دو نسل هرکدام از نژادهای محلی برگزیده نشان داد که اکثر صفات میوه و بذر تحت تأثیر گزینش در هر نسل بهبود می‌یابند و نسل دوم میوه‌های سنگین‌تر با عملکرد بذر بهتری ایجاد می‌کنند. همچنین این بهبود صفات مربوط به میوه در نژاد محلی جابانی 1 و بهبود صفات بذر در نژاد محلی کالاه 1 نسبت به سایر نژادهای محلی چشمگیرتر می‌باشد.

### References

- Abiri, K. (2018). *Investigating the genetic and morphological diversity of some genotypes in the grape collection of Shahrood region*. M.Sc. Thesis. Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
- Erdinc, C., Turkmen, O., & Sensoy, S. (2008). Comparison of some local melon genotypes selected from Lake Van Basin with some commercial melon cultivars for some yield and quality related traits observed in field and high tunnel conditions. *African Journal of Biotechnology*, 7(22), 4105-4110.
- Gbotto, A.A., Koffi, K.K., Fouha Bi, N.D., Doubi Bi, S.T., Tro, H.H., Baudoin, J.P., & Zoro Bi, I.A. (2016). Morphological diversity in oleaginous watermelon (*Citrullus mucosospermus*) from the Nangui Abrogoua University germplasm collection. *African Journal of Biotechnology*, 15(21), 917-922. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14701>
- Ghorbani Chaffee, S. (2022). *Evaluation of some watermelon lines and hybrids in Gilan province*. M.Sc. Thesis. Gilan University, Rasht, Iran.
- Haji Ali, A., Darvishzadeh, R., Zahedi, B., & Abbas Kohpaigani, J. (2016). Evaluation of the genetic diversity of some native Iranian watermelon stands (*Citrullus vulgaris*) in the climatic conditions of Urmia. *Plant Product*, 40(1), 29-40. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2017.12555>
- Henareh, M., Eivazi, A., Rafezi, R., & Emami, A. (2023). Genetic diversity of selected genotypes from West Azerbaijan province squash s based on morphologica traits. *Reserch in Horticultural Science*, 2(1), 73-86. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/RHSJ.2023.361430.1049>
- Gichimu, B.M., Owuor, B.O., Mwai, G.N., & Dida, M.M. (2009). Morphological characterization of some wild and cultivated watermelon (*Citrullus sp*) accessions in Kenya. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(2), 10-18.
- Kannenber, L.W., & Falk, D.E. (1995). Models for activation of plant genetic resources for crop breeding programs. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 75, 45-53. <https://doi.org/10.4141/cjps95-008>
- Keyani, M.R., & Jahanbin, G. (2006). Investigation of the genetic diversity of native Iranian watermelon stands. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 4(2), 1-17. (In Persian with English abstract)
- Rao, R., & Hodgkin, T. (2002). Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 68(1), 1-19. <https://doi.org/10.1023/A:1013359015812>
- Rouin, A., Baghizadeh, A., Roghami, M., & Mousavi, A. (2023). Evaluation of some physiological responses of three indigenous watermelon (*Citrullus lanatus* L.) accessions to drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 70(2), 99-111. (In Persian).
- Pandita, M.L., Dahiya, M.S., & Vashistha, R.N. (1990). Correlation and path coefficients in round melon. *Research & Development Resources*, 7(1-2), 106-110.
- Pyvast, G. (2018). *Planting vegetables*. Scientific Publications. Fifth Edition.
- Magss-Kolling, G.L. (2003). Variability in namibian landraces of watermelon (*Citrullus lanatus*). *Euphytica*. 132(3), 251-258. <https://doi.org/10.1023/A:1025053331528>

15. NaroueiRad, M.R., Alah Dou, M., Ghasemi, A., & Fanaei, H.R. (2010). Investigation of genetic diversity and broad sense heritability in watermelon accessions of Sistan. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 40(4), 95-103. (In Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008482.1388.40.4.10.3>
16. Nantoumé, A.D., Andersen, S., & Jensen, B, (2013). Genetic differentiation of watermelon landrace types in Mali revealed by microsatellite markers. *Genet Resour Crop Evol*, 2129–2141. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-013-9980-5>
17. Sheikh, S., Noh, J., Seong, M., Jung, G., Kim, J., Ju, H., & Huh, Y. (2013). Phenotypic markers for tetraploid watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) following parental exposure to colchicine in to generation. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(6), 524-530. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0072-4>



Research Article

Vol. 39, No. 3, Fall 2025, p. 525-548

## Effect of Levels of Biochar on Growth and some Qualitative Characteristics of *Satureja hortensis* L. in Conditions of Sulfur Nutrition

M.B. Amiri<sup>1,2\*</sup>, V. Mohammadzadeh Kakhki<sup>3</sup>, M.H. Aminifard<sup>3</sup>

1- Department of Agrotechnology, University of Gonabad, Gonabad, Iran

2- Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

(\*- Corresponding author's Email: [amiri@gonabad.ac.ir](mailto:amiri@gonabad.ac.ir), [mb.amiri@um.ac.ir](mailto:mb.amiri@um.ac.ir))

Received: 16 December 2024

Revised: 25 January 2025

Accepted: 29 January 2025

Available Online: 29 January 2025

### How to cite this article:

Amiri, M.B., Mohammadzadeh Kakhki, V., & Aminifard, M.H. (2025). Effect of levels of biochar on growth and some qualitative characteristics of *Satureja hortensis* L. in conditions of sulfur nutrition. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 525-548. (in Persian with English abstract).  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91238.1400>

### Introduction

Soil amendment materials exhibit a wide range of properties and influence soil physicochemical characteristics in various ways. Among these, biochar has attracted significant attention for its potential to improve acid soils, remediate pollutants, enhance soil fertility, sequester carbon, and contribute to climate change mitigation. Biochar is a porous carbon-rich material comprised chiefly of aromatic carbons and/or heteroatoms. Biochar is a product obtained from biological waste, particularly agricultural biomass waste which is thermally degraded using a process called pyrolysis, in the absence of oxygen. Biochar is useful as 1) a fuel source (charcoal) for renewable energy and 2) for carbon sequestering to the soil preventing the release of carbon dioxide to the atmosphere, 3) as a waste recycling method, 4) as a soil amendment to improve the soil structure, texture, water holding capacity and other physicochemical properties thus improving the soil fertility, 5) plant growth promotion due to the nutrients supplied by biochar when used as manure and 6) plant disease management by either directly (antagonism) or indirectly (induced systemic resistance) in plants. Sulfur (S) is an important component of many amino acids such as methionine and cysteine in plants. The balance uptake of sulfur decreases the speed of oxidative processes with an improvement reduction mechanism. It also plays a critical role in the improvement of wheat productivity through better grain production. Sulfur is very important for the efficacious use of nitrogen especially in the formation of protein contents. Without sulfur, the optimum activity of nitrogen regarding protein content biosynthesis cannot be achieved in terms of yield. Application of nano fertilizers and reduction of the size of the material to the nanoscale leads to an increase in the surface mass ratio of the particles, and as a result, an abundant amount of nutrient ions is absorbed slowly and steadily for a long period. *Satureja hortensis* L. which is a medicinal plant of the Lamiaceae (Labiatae) family is widely grown in France, Hungary, Spain and Iran. The essential oil of *Satureja hortensis* L. finds application in food products due to its antimicrobial and antioxidant properties. Traditionally, it was utilized as a stomachic, stimulant, expectorant, aphrodisiac and carminative treatment of various kinds of infectious illnesses.

### Material and Methods

In order to investigate the effects of different levels of biochar and common sulfur and non-fertilizer of sulfur on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis* L., an experiment was done at the Research Field of University of Gonabad during the years 2020-2021 and 2021-2022. A split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted. Biochar at



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91238.1400>

three levels (5, 10 and 20 t.ha<sup>-1</sup> and control) and two sulfur nutritional treatments (common sulfur, nano-fertilizer of sulfur and control) were used as main and subplots, respectively. Plant height, lateral branch number, leaf area, stem diameter, dry shoot weight, dry matter yield, carbohydrate content, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll were recorded.

## Results and Discussion

The results showed that in both of two cropping years, the highest plant height (with 41 and 39 cm in the first and second cropping year, respectively) and lateral branch number (with 28 and 30 in the first and second cropping year, respectively) obtained in combined application treatment of 20 t.ha<sup>-1</sup> biochar and spraying of nano-fertilizer of sulfur and in both two cropping years, use of common sulfur and spraying nano-fertilizer of sulfur at higher levels of biochar (10 and 20 t.ha<sup>-1</sup>) resulted in the production of more leaf area and stem diameter than the application of these sulfur nutritional inputs at lower levels of biochar. The results of the interaction effects of biochar application and nutritional treatment in the 2018-2019 crop year showed that with increasing biochar amounts to 10 t.ha<sup>-1</sup>, the positive effects of common sulfur and nanosulfur on improving essential oil content were more noticeable, so the highest amount of essential oil (2.40%) was obtained in the treatment of simultaneous application of 10 t.ha<sup>-1</sup> of biochar and soil application of common sulfur. In both years, the highest amount of essential oil (2.10 and 2.13% in the first and second year, respectively) was obtained in 10 t.ha<sup>-1</sup> biochar. The highest influence of sulfur nutritional treatments on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll appeared when they were used simultaneously with biochar, for example, chlorophyll a content in conditions of spraying of nano-fertilizer of sulfur with the application of 5, 10 and 20 t.ha<sup>-1</sup> biochar was 42, 54 and 72% in the first cropping year, respectively and 43, 54 and 73% in the second cropping year, respectively, more than amount of these traits in conditions of separate spraying of nano-fertilizer of sulfur.

## Conclusion

In general, based on the results of this research, it seems that the combined consumption of biochar with common sulfur and nano-fertilizer of sulfur, while improving the quantitative characteristics of *Satureja hortensis* L. can lead to the improvement of its physiological characteristics and the production of free of chemical substances in this valuable medicinal plant.

## Acknowledgements

This study was financially supported by the University of Birjand and University of Gonabad, Iran.

**Keywords:** Biochar, Chlorophyll a, Leaf area, Nano-fertilizer of sulfur, Sustainable agriculture

## تأثیر سطوح زغال زیستی بر رشد و برخی خصوصیات کیفی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تغذیه گوگردی

محمد بهزاد امیری<sup>۱\*</sup> - وحید محمدزاده کاخکی<sup>۲</sup> - محمد حسین امینی فرد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: 1403/09/26

تاریخ پذیرش: 1403/11/10

### چکیده

امروزه تولید محصولات کشاورزی سالم به‌ویژه در حوزه گیاهان دارویی بسیار مورد تأکید بوده و در راستای نیل به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار جایگزین نهاده‌های مخرب شیمیایی امری اجتناب‌ناپذیر است. به‌منظور بررسی اثر مقادیر مختلف بیوچار و گوگرد معمولی و نانوکود گوگرد در مرزه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی (1399-1401) در مجتمع آموزش عالی گناباد با سه تکرار انجام شد. مقادیر مختلف زغال زیستی (شامل مقادیر صفر، 5، 10 و 20 تن در هکتار) به‌عنوان عامل اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی (شامل کاربرد خاکی گوگرد، محلول‌پاشی نانوکود گوگرد و شاهد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد که در هر دو سال زراعی بیشترین ارتفاع بوته (به‌ترتیب با 41 و 39 سانتی‌متر ارتفاع بوته در سال زراعی اول و دوم) و تعداد شاخه فرعی (به‌ترتیب با 28 و 30 شاخه فرعی در سال زراعی اول و دوم) در تیمار کاربرد تلفیقی 20 تن در هکتار زغال زیستی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد به دست آمد و در هر دو سال زراعی، استفاده از گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد در سطوح بالاتر زغال زیستی (10 و 20 تن در هکتار) منجر به تولید سطح برگ و قطر ساقه بیشتری نسبت به کاربرد این نهاده‌های تغذیه‌ای گوگردی در سطوح پایین‌تر زغال زیستی شد. نتایج اثرات متقابل مقادیر مصرفی زغال زیستی و تیمار تغذیه‌ای در سال زراعی 1399-1400 نشان داد که با افزایش مقادیر زغال زیستی تا سطح 10 تن در هکتار، اثرات مثبت گوگرد معمولی و نانوکود گوگرد در بهبود میزان اسانس محسوس‌تر بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان اسانس (2/40 درصد) در تیمار کاربرد همزمان 10 تن در هکتار زغال زیستی و مصرف خاکی گوگرد معمولی به دست آمد. در هر دو سال زراعی، بیشترین میزان اسانس (به‌ترتیب با 2/10 و 2/13 درصد اسانس در سال‌های زراعی اول و دوم) در تیمار 10 تن در هکتار بیوچار حاصل شد. بیشترین تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل زمانی مشاهده شد که از آن‌ها همزمان با زغال زیستی استفاده گردید، بدین صورت که میزان کلروفیل a در شرایط محلول‌پاشی نانوکود گوگرد همزمان با کاربرد 5، 10 و 20 تن در هکتار زغال زیستی به‌ترتیب 42، 54 و 72 درصد در سال زراعی اول و به‌ترتیب 43، 54 و 73 درصد در سال زراعی دوم بیشتر از مقدار این صفت در شرایط محلول‌پاشی جداگانه نانوکود گوگرد بود. به‌طور کلی، براساس نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد که مصرف تلفیقی زغال زیستی با گوگرد معمولی و یا نانوکود گوگرد ضمن بهبود خصوصیات کمی مرزه می‌تواند منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی آن شده و تولید محصول عاری از مواد شیمیایی را در این گیاه دارویی ارزشمند تضمین کند.

**واژه‌های کلیدی:** بیوچار، سطح برگ، کشاورزی پایدار، کلروفیل a، نانوکود گوگرد

### مقدمه

خاک نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی و کاهش تغییرات آب‌وهوا ایفا می‌کند و سلامت خاک در چگونگی رشد گیاه بسیار مؤثر است. در سال‌های اخیر، مسائل زیست‌محیطی نظیر تخریب خاک، آلودگی خاک، کمبود آب، تغییرات اقلیمی و از دست دادن باروری خاک و افزایش تنش‌های زنده و غیرزنده باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و ایجاد خطرات جدی برای امنیت غذایی شده است (Javeed et al., 2023). ازاین‌رو استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگاری که بتواند ضمن افزایش عملکرد کمی و کیفی

- 1- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران
  - 2- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
  - 3- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
- (\*) - نویسنده مسئول:

(Email: , [mb.amiri@um.ac.ir](mailto:mb.amiri@um.ac.ir), [irami@gonabad.ac.ir](mailto:irami@gonabad.ac.ir))  
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91238.1400>

(Emami, 2022). کاربرد بیوچار در مزرعه گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.) در شرایطی که گیاه در معرض تنش شوری قرار داشت، افزایش مقدار لیمون، کارون، آپول و دیلاپول و همچنین بهبود میزان فعالیت آنتی اکسیدانی را سبب شد (Ghassemi-Golezani & Rahimzadeh, 2022).

گوگرد یکی از عناصر اصلی و ضروری برای رشد و توسعه گیاهان است و کمبود آن منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصول و حساس شدن گیاه نسبت به برخی از بیماری‌ها می‌شود و فراهمی میزان کافی گوگرد، بهبود مقاومت گیاه به انواع تنش‌های زنده و غیرزنده را به همراه دارد (Yuan et al., 2021) و به‌ویژه از گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند (Narayan et al., 2022). گوگرد در تشکیل بسیاری از اسید آمینه‌های ضروری در ساخت پروتئین‌ها نظیر سیستمین، سیستین و متیونین نقش ایفا کرده و منجر به تحریک فرآیندهای متابولیسمی می‌شود (Al-Obeidi & Al-Obeidi, 2023) و همچنین وجود آن برای ساخت کلروفیل و بسیاری از ویتامین‌ها ضروری است (Narayan et al., 2022) و وجود این ترکیب در ساختمان بسیاری از متابولیت‌های ثانویه گیاهی به اثبات رسیده است (Borpatragohain et al., 2019). این عنصر نه تنها به عنوان کاهش‌دهنده اسیدیته خاک در خاک‌های قلیایی بلکه به عنوان تنظیم‌کننده خاک شناخته می‌شود (Essa et al., 2019) و دسترسی به مواد غذایی به‌ویژه در خاک‌های آهکی را افزایش می‌دهد و کاربرد آن در تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر است (Holatko et al., 2023). نانوکود گوگرد به دلیل ویژگی‌های خاص اندازه ذرات کوانتومی و سطح ویژه بالا، نسبت به گوگرد معمولی مزیت‌های بیشتری دارد (Turganbay et al., 2019). استفاده از گوگرد به شکل نانوکود، برای رشد گیاه و کیفیت محصولات کشاورزی بسیار مفید است و در عین حال از اثرات سمی آفت‌کش‌ها و هورمون‌ها و افزودنی‌های رشد در بدن انسان جلوگیری می‌کند (Shankar et al., 2020). نکته حائز اهمیت اینکه نانوکود گوگرد برخلاف بسیاری از فلزات و نانوذرات دیگر، موادی بوم‌سازگار، ایمن و غیرسمی برای محیط‌زیست هستند (Ragab & Saad-Allah, 2020). در یک پژوهش، کاربرد 20 کیلوگرم در هکتار گوگرد منجر به افزایش قابل توجه ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن 100 دانه و عملکرد دانه ماش (*Vigna radiate* L.) در مقایسه با شاهد شد (Murshed et al., 2021). در پژوهشی دیگر، بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد گل در بوته و عملکرد گل گیاه دارویی آرنیکا (*Arnica chamissonis* Less. ssp. *foliosa*) در تیمار 250 کیلوگرم در هکتار کود گوگردی بنتونیتی به دست آمد (Asadi et al., 2019). کاربرد همزمان کودهای گوگردی و کودهای حاوی

محصولات، تولید پایدار آن‌ها در طولانی‌مدت را تضمین کند، ضروری به نظر می‌رسد. از جمله این نهادهای اکولوژیک می‌توان به زغال زیستی (Lin et al., 2023) و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی (Dawar et al., 2023) و نانوکودها (Almousswi & Jameel, 2022) اشاره کرد. زغال زیستی نوعی اصلاح‌کننده خاک است که از مواد زائد آلی غنی از کربن در شرایط محدودیت اکسیژن به‌روش پیرولیز به دست می‌آید (Hassan et al., 2023) و در دهه‌های اخیر به دلیل استفاده پایدار از آن در شیوه‌های مدیریت خاک و مسائل جهانی تغییرات آب‌وهوا اهمیت یافته است (Ng et al., 2023). این نهاده بوم‌سازگار به دلیل تخلخل بالا و سطح ویژه زیاد منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب (Al Baquy et al., 2023) و کاهش چگالی ظاهری خاک (Javeed et al., 2023) شده و همچنین از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تأمین مواد غذایی قابل جذب (Gaudutis et al., 2023)، مصرف کود و آب را به حداقل رسانده و اثرات مخرب تنش خشکی را برطرف می‌سازد. بیوچار، محیط مطلوبی برای فعالیت‌های میکروبی فراهم کرده (Javeed et al., 2023) و در عین حال به عنوان یکی از روش‌های کاهش ترسیب کربن در خاک‌های کشاورزی شهرت یافته است (Ng et al., 2023). تحقیقات نشان داده است که افزون بر کاربردهای این نهاده در کشاورزی و ترسیب کربن، از آن برای احیای جنگل، تصفیه فاضلاب و حذف آلاینده‌ها و تثبیت فلزات سنگین (Hassan et al., 2023) استفاده می‌شود. همچنین گزارش شده است که بیوچار از طریق جذب نمک به اصلاح خاک‌های شور کمک می‌کند (Tang et al., 2023). در یک پژوهش پس از بررسی برهم‌کنش بیوچار و سوپرجاذب بر ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad.) در شرایط تنش خشکی گزارش شد که بیشترین مقدار کارواکرول در تیمار کاربرد همزمان بیوچار و 60 میلی‌گرم سوپرجاذب در شرایط تنش شدید رطوبتی به دست آمد (Beiranvandi et al., 2020). تأثیر کاربرد بیوچار و سطوح مختلف مدیریت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) نشان داد که بیشترین مقدار ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، وزن 100 دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در شرایط کاربرد 45 تن در هکتار بیوچار به دست آمد (Khasheisiuki et al., 2019). مطالعه اثر بیوچار و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در شرایط تنش خشکی حاکی از آن بود که کاربرد 40 تن در هکتار بیوچار زمانی که از اسید سالیسیلیک استفاده نشد منجر به تولید بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی 75 درصد و بیشترین میزان کارتنوئید در شرایط تنش خشکی 50 درصد گردید

عناصر روی و بور، بیشترین عملکرد اقتصادی و بهترین کیفیت از نظر مقدار آلومین در گیاه دارویی سیر (*Allium sativum* L.) را سبب شد (Zare Pak Ziaberi & Majidian, 2022). بهبود ویژگی‌های کمی و عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.) نیز تحت تأثیر کودهای گوگردی گزارش شده است (Hameed & Hasan, 2022).

مرزه گیاهی دارویی و متعلق به خانواده نعنائیان است و بومی مناطق مدیترانه‌ای بوده که در بسیاری از کشورها از جمله فرانسه، مجارستان و ایران به‌صورت گسترده کشت و کار می‌شود (Tekin et al., 2022). مواد مؤثره این گیاه دارای خاصیت ضد میکروبی و ضد قارچی بوده و به‌طور گسترده در پزشکی و در صنایع آرایشی بهداشتی و صنایع غذایی کاربرد دارد (Heidarpour et al., 2019). امروزه از این گیاه به‌شکل چای و دمنوش و در درمان بیماری‌های مختلف از جمله اسهال، آسم، سرماخوردگی، سرفه و برونشیت استفاده می‌شود و همچنین برگ‌های تازه گیاه به‌عنوان طعم‌دهنده در سالاد کاربرد دارند (Piryaei & Behrooz, 2022). با توجه به ماهیت دارویی بودن گیاه مرزه و کاربردهای متعدد آن در پزشکی و صنایع دارویی (Heidarpour et al., 2019)، مصرف نهاده‌های شیمیایی در کشت و تولید این محصول با محدودیت‌هایی همراه بوده و استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار جایگزین کودهای شیمیایی نظیر زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی همواره مورد تأکید بوده است و از آنجایی که مطالعات چندانی در خصوص مصرف همزمان این نهاده‌های اکولوژیک صورت نپذیرفته است، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف زغال زیستی روی برخی خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی مرزه در شرایط کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی در یک نظام زراعی اکولوژیک انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد با عرض جغرافیایی 34 درجه و 20 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 58 درجه و 45 دقیقه شرقی و ارتفاع 1060 متر از سطح دریا، طی دو سال زراعی 1399-1400 و 1400-1401 با سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف زغال زیستی (صفر، 5، 10 و 20 تن در هکتار) به‌عنوان عامل اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی (کاربرد خاکی گوگرد، محلول‌پاشی نانوکود گوگرد و عدم استفاده از کود) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش به تفکیک سال‌های زراعی در جدول 1 آورده شده است.

قبل از شروع آزمایشات مزرعه‌ای، به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری خاک نمونه

برداری انجام گرفت. نتایج مربوط به خصوصیات خاک و همچنین زغال زیستی استفاده شده در جدول 2 آورده شده است. زغال زیستی مورد استفاده از بقایای گیاهی حاصل از هرس چوب درختان توت (*Morus alba* L.) و در کوره صنعتی شهرستان تربت حیدریه به دست آمد. بدین منظور، پس از جمع‌آوری بقایای گیاهی حاصل از هرس چوب درختان توت، گل و برگ‌ها به قطعات کوچک‌تر (حدود 5 الی 10 سانتی‌متر) تقسیم شده و با استفاده از دستگاه خشک‌کن، رطوبت آن‌ها به کمتر از 20 درصد رسید. سپس فرآیند پیرولیز با استفاده از کوره صنعتی انجام شد و بقایای گیاهی در کوره با دمای 700 درجه سانتی‌گراد حرارت دید. پس از پایان پیرولیز، مواد در دمای محیط خنک شده و زغال زیستی در ظروف غیرقابل نفوذ ذخیره شد (O'Laughlin & McElligott, 2009).

به‌منظور حفظ پایداری خاک، جهت آماده‌سازی زمین تنها عملیات دیسک‌زنی با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل در نظر گرفته شد و کلیه مراحل بعدی توسط کارگر و با بیل دستی انجام شد. ابعاد کرت‌های اصلی 6×2 متر و ابعاد کرت‌های فرعی 2×2 متر در نظر گرفته شد. با توجه به کودی بودن ماهیت تیمارها و جلوگیری از اختلاط تیمارها با هم، برای هر بلوک آزمایشی یک لوله آبیاری و پساب جداگانه در نظر گرفته شد.

بذرهای مرزه با منشأ توده گناباد از مزارع شهرستان گناباد تهیه و نیمه اردیبهشت‌ماه سال 1400 و 1401 در ردیف‌هایی به فاصله 35 سانتی‌متر و با فاصله روی ردیف 35 سانتی متر از یکدیگر (Mohammadpour et al., 2013) کشت شدند. مقادیر مختلف کود آلی زغال زیستی بسته به تیمار مورد نظر قبل از کاشت به خاک کرت‌های مربوطه اضافه گردید. برای اعمال خاکی گوگرد، میزان 250 کیلوگرم در هکتار (Shahrusvand et al., 2019) گوگرد به خاک کرت‌های مربوطه افزوده شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت به‌روش نشتی انجام شد و آبیاری‌های بعدی به‌فاصله هر هفت روز یک‌بار اعمال گردید. محلول‌پاشی نانوکود گوگرد براساس توصیه شرکت سازنده<sup>1</sup> طی دو مرحله و در مرحله چهار تا شش برگی و مرحله قبل از گل‌دهی انجام شد. برای رسیدن به تراکم مطلوب (هشت بوته در مترمربع) (Mohammadpour et al., 2013)، پس از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی، عملیات تنک انجام گرفت. به‌منظور مهار علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی به‌ترتیب 30، 45 و 60 روز پس از کاشت انجام شد. برای آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد. برخی مراحل انجام پژوهش در شکل 1 نشان داده شده است.

1- شرکت نانوکود گوگرد پسته رفسنجان (<https://pesterafsanjan.com>)

جدول 1- اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش

Table 1- Meteorological information of research area

|                                                   | بارندگی<br>Rainfall<br>(mm) | متوسط دما ماهیانه<br>Mean temperature in<br>month<br>(°C) | حداکثر دمای ماهیانه<br>Maximum temperature<br>in month<br>(°C) | حداقل دمای ماهیانه<br>Minimum temperature<br>in month<br>(°C) | میزان تبخیر و تعرق<br>Evaporation and<br>transpiration<br>(mm) |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| سال زراعی 1399-1400<br>Cropping year of 2020-2021 |                             |                                                           |                                                                |                                                               |                                                                |
| فروردین<br>April                                  | 0                           | 19.2                                                      | 26.4                                                           | 3.3                                                           | 259.4                                                          |
| اردیبهشت<br>May                                   | 49.5                        | 23.5                                                      | 36.5                                                           | 13                                                            | 282.1                                                          |
| خرداد<br>June                                     | 0.5                         | 30.5                                                      | 42.4                                                           | 18.9                                                          | 460.3                                                          |
| تیر<br>July                                       | 0.5                         | 30.9                                                      | 42.8                                                           | 17.2                                                          | 434.2                                                          |
| مرداد<br>August                                   | 0                           | 29.7                                                      | 39.7                                                           | 16.7                                                          | 404.2                                                          |
| شهریور<br>September                               | 0                           | 26.8                                                      | 38.8                                                           | 15.4                                                          | 348.1                                                          |
| سال زراعی 1400-1401<br>Cropping year of 2021-2022 |                             |                                                           |                                                                |                                                               |                                                                |
| فروردین<br>April                                  | 1.1                         | 19.1                                                      | 34.1                                                           | 3                                                             | 233.2                                                          |
| اردیبهشت<br>May                                   | 22.7                        | 24                                                        | 36.3                                                           | 11.4                                                          | 313.2                                                          |
| خرداد<br>June                                     | 0                           | 27.1                                                      | 40.9                                                           | 13.6                                                          | 409.6                                                          |
| تیر<br>July                                       | 0                           | 23.6                                                      | 42.2                                                           | 19.7                                                          | 479.3                                                          |
| مرداد<br>August                                   | 0                           | 29.5                                                      | 42.1                                                           | 16.6                                                          | 429.1                                                          |
| شهریور<br>September                               | 0                           | 24.5                                                      | 37                                                             | 13.6                                                          | 327.3                                                          |

(Zenk, 1978) اندازه‌گیری شد و برای سنجش محتوای کلروفیل a و b و کل، از بافت تازه برگ‌های نمونه‌برداری انجام و به‌ترتیب از معادله‌های 1، 2 و 3 استفاده گردید (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a} = \frac{19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}}{V/1000W} \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = \frac{19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}}{V/1000W} \quad (2)$$

$$\text{Total chlorophyll} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b} \quad (3)$$

که در آن، V: حجم عصاره مصرف شده و W: وزن نمونه مصرفی می‌باشد.

به‌منظور تجزیه واریانس و تحلیل آماری داده‌های آزمایش از نرم افزار Excel Ver. 14 SAS Ver. 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

در هر دو سال زراعی، در مرحله 50 درصد گل‌دهی، تعداد پنج بوته از هر کرت آزمایشی (سطح 0/625 مترمربع) به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ، قطر ساقه و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی، بوته‌ها سایه خشک شد و سپس وزن آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت 0/01 گرم برآورد گردید. در پایان فصل رشد و با زرد شدن بوته‌ها، به‌منظور تعیین عملکرد ماده خشک، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌های کل کرت‌های آزمایشی برداشت و وزن کل اندام هوایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که در پایان برداشت، مقدار 100 گرم از بوته‌های هر کرت آزمایشی برای تعیین ویژگی‌های کیفی و فیزیولوژیکی (میزان کربوهیدرات، مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) به آزمایشگاه ارسال شد. میزان کربوهیدرات‌ها با استفاده از روش کوچرت (Kochert &



جدول 2- خصوصیات خاک محل آزمایش و زغال زیستی مورد استفاده  
 Table 2- Soil characteristics of experimental farm and used biochar

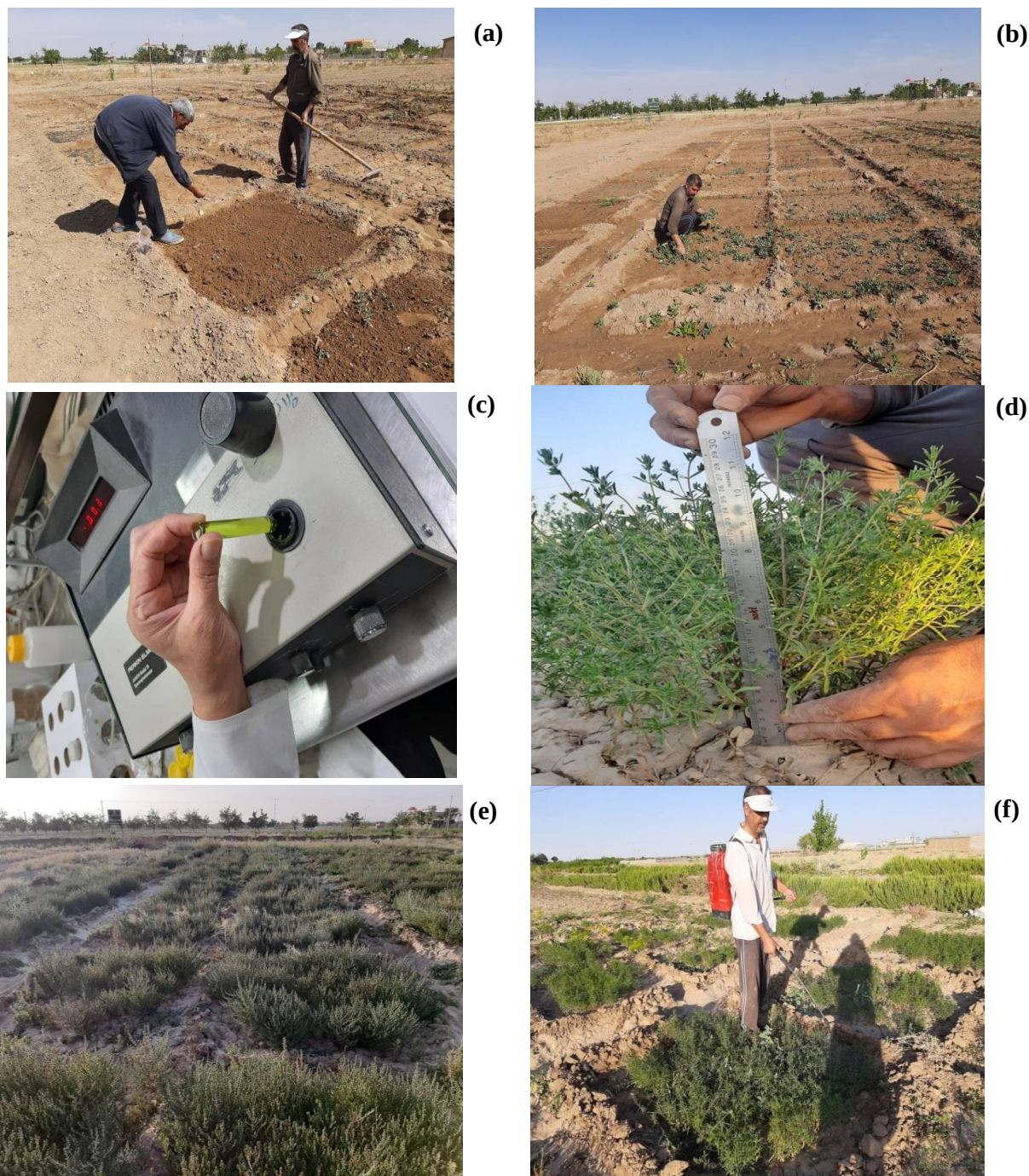
| خصوصیات خاک محل آزمایش<br>Soil characteristics of experimental farm |                         | خصوصیات زغال زیستی مورد استفاده<br>Characteristics of used biochar |       |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|
| بافت<br>Texture                                                     | لومی-شنی<br>Loamy-sandy | اسیدیته<br>pH                                                      | 7.7   |
|                                                                     |                         | ظرفیت تبادل کاتیونی<br>CEC (cmol.kg <sup>-1</sup> )                | 19.5  |
| پتاسیم<br>K (mg.kg <sup>-1</sup> )                                  | 103                     | رطوبت<br>Moisture (%)                                              | <1    |
|                                                                     |                         | نیتروژن<br>N (%)                                                   | 0.41  |
| فسفر<br>P (mg.kg <sup>-1</sup> )                                    | 8                       | فسفر<br>P (mg.kg <sup>-1</sup> )                                   | 5380  |
|                                                                     |                         | پتاسیم<br>K (mg.kg <sup>-1</sup> )                                 | 2360  |
| نیتروژن<br>N (%)                                                    | 0.019                   | آهن<br>Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )                                   | 230   |
|                                                                     |                         | روی<br>Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )                                   | 580   |
| کربن آلی<br>Organic C (%)                                           | 0.19                    | منیزیم<br>Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )                                | 210   |
|                                                                     |                         | کلسیم<br>Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )                                 | 4300  |
| اسیدیته<br>pH                                                       | 8.2                     | منگنز<br>Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )                                 | 106   |
|                                                                     |                         | گوگرد<br>S (mg.kg <sup>-1</sup> )                                  | 2670  |
| هدایت الکتریکی<br>EC (dS.m <sup>-1</sup> )                          | 4.3                     | سدیم<br>Na (mg.kg <sup>-1</sup> )                                  | 4.7   |
|                                                                     |                         | کربن<br>C (%)                                                      | 54    |
|                                                                     |                         | هیدروژن<br>H (%)                                                   | 1.98  |
|                                                                     |                         | اکسیژن<br>O (%)                                                    | 21.43 |
|                                                                     |                         | ثبات<br>Stability (°c)                                             | 540   |
|                                                                     |                         | ظرفیت جذب سدیم<br>Na-SC (mg.g <sup>-1</sup> )                      | 38    |

## نتایج و بحث

### خصوصیات رشدی

35 درصد نسبت به شاهد در سال زراعی اول و ارتفاع بوته را به ترتیب 15، 31 و 43 درصد و تعداد شاخه فرعی را به ترتیب 10، 17 و 41 درصد نسبت به شاهد در سال زراعی دوم افزایش دادند. بیشترین و کمترین مقدار ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در هر دو سال زراعی به ترتیب متعلق به تیمارهای محلول پاشی نانوکود گوگرد (به ترتیب با 38 و 36 سانتی متر ارتفاع بوته در سال زراعی اول و دوم و به ترتیب با 22 و 20 شاخه فرعی در سال زراعی اول و دوم) و شاهد (به ترتیب با 27 و 26 سانتی متر ارتفاع بوته در سال زراعی اول و دوم و به ترتیب با 19 و 17 شاخه فرعی در سال زراعی اول و دوم) بود (جدول 4).

اثر مقادیر مختلف زغال زیستی و تیمارهای تغذیه ای گوگردی و برهم کنش آن ها در هر دو سال زراعی بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی معنی دار بود (جدول 3). همان طور که در جدول 4 مشاهده می شود، در هر دو سال زراعی با افزایش مقادیر مصرفی زغال زیستی، بر میزان ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی افزوده شد، به طوری که هر یک از سطوح 5، 10 و 20 تن در هکتار زغال زیستی، ارتفاع بوته را به ترتیب 15، 30 و 42 درصد و تعداد شاخه فرعی را به ترتیب 8، 14 و



شکل 1- برخی مراحل پژوهش «اثر مقادیر مختلف زغال زیستی بر صفات کمی و کیفی مرزه در شرایط کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد». (a): عملیات کاشت، (b): عملیات وجین علف‌های هرز، (c): اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی، (d): اندازه‌گیری شاخص‌های کمی، (e): مزرعه قبل از برداشت، (f): محلول‌پاشی نانوکود گوگرد.

Figure 1- Some stages of the research "The effect of different amounts of biochar on the quantitative and qualitative traits of *Satureja hortensis* L. under the conditions of sulfur and sulfur nanofertilizer application". (a): Planting stage, (b): Weeding stage, (c): Measurement of qualitative characteristics, (d): Measurement of quantitative characteristics, (e): Farm before harvest, (f): Spraying of nano-sulfur fertilizer.

کاربرد گوگرد معمولی نیز منجر به افزایش شش درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد در سال زراعی اول و دوم شد و تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر کاربرد گوگرد معمولی به ترتیب پنج و شش درصد نسبت به شاهد در سال زراعی اول و دوم افزایش یافت (جدول 4). براساس نتایج اثرات متقابل مقادیر مختلف زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی، در هر دو سال زراعی بیشترین ارتفاع بوته (به ترتیب با 41 و 39 سانتی‌متر ارتفاع بوته در سال زراعی اول و دوم) و تعداد شاخه فرعی (به ترتیب با 28 و 30 شاخه فرعی در سال زراعی اول و دوم) در تیمار کاربرد تلفیقی 20 تن در هکتار زغال زیستی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد مشاهده شد (جدول 5 و 6). همچنین اثرات مثبت گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی زمانی بیشتر بروز یافت که در بستر کاشت 20 تن در هکتار زغال زیستی از آن‌ها استفاده شد، به عنوان مثال مقدار ارتفاع بوته در هر دو سال زراعی در شرایط محلول‌پاشی نانوکود گوگرد در بستر کاشت 20 تن در هکتار زغال زیستی نسبت به ارتفاع بوته در شرایط استفاده از این نهاده در بستر کاشت‌های 5 و 10 تن در هکتار زغال زیستی بیشتر بود (جدول 5 و 6). براساس نتایج تجزیه واریانس، بین مقادیر مختلف زغال زیستی از نظر سطح برگ و قطر ساقه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول 3)، به طوری که بیشترین و کمترین میزان سطح برگ و قطر ساقه در هر دو سال زراعی به ترتیب در تیمارهای 20 تن در هکتار زغال زیستی (به ترتیب با 291 و 288 سانتی‌مترمربع سطح برگ در سال زراعی اول و دوم و 0/49 و 0/50 سانتی‌متر قطر ساقه در سال زراعی اول و دوم) و شاهد (به ترتیب با 256 و 253 سانتی‌مترمربع سطح برگ در سال زراعی اول و دوم و به ترتیب با 0/30 و 0/31 سانتی‌متر قطر ساقه در سال زراعی اول و دوم) به دست آمد (جدول 4). کاربرد 5 و 10 تن در هکتار زغال زیستی نیز میزان سطح برگ را به ترتیب چهار و هشت درصد در سال زراعی اول و به ترتیب پنج و هفت درصد در سال زراعی دوم و قطر

ساقه را به ترتیب 30 و 30 درصد در سال زراعی اول و به ترتیب 28 و 33 درصد در سال زراعی دوم نسبت به شاهد بهبود بخشیدند (جدول 4). سطح برگ و قطر ساقه در هر دو سال زراعی به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی قرار گرفتند (جدول 3)، به طوری که مصرف گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد، میزان سطح برگ را به ترتیب یک و دو درصد در سال زراعی اول و به ترتیب دو و سه درصد در سال زراعی دوم نسبت به شاهد افزایش دادند و قطر ساقه نیز در اثر استفاده از گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد به ترتیب 28 و 34 درصد در سال زراعی اول و به ترتیب 27 و 33 درصد در سال زراعی دوم در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول 4). همان‌طور که در جدول‌های 5 و 6 مشاهده می‌شود، در هر دو سال زراعی، استفاده از گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد در سطوح بالاتر زغال زیستی (10 و 20 تن در هکتار) منجر به تولید سطح برگ و قطر ساقه بیشتری نسبت به کاربرد این نهاده‌های تغذیه‌ای گوگردی در سطوح پایین‌تر زغال زیستی شد، به عنوان مثال استفاده از گوگرد معمولی در کرت‌های حاوی 20 تن در هکتار زغال زیستی در مقایسه با کاربرد این کود در بستر کاشت پنج تن در هکتار زغال زیستی، به ترتیب 8 و 15 درصد سطح برگ و قطر ساقه بیشتری را سبب شد (جدول 5). براساس نتایج به دست آمده، بیشترین میزان قطر ساقه در سال زراعی اول در تیمار کاربرد همزمان 20 تن در هکتار زغال زیستی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد (0/60 سانتی‌متر) به دست آمد (جدول 5)، ولی در سال زراعی دوم در حالی بین تیمار محلول‌پاشی نانوکود گوگرد و شاهد در بستر کاشت 20 تن در هکتار زغال زیستی از نظر قطر ساقه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، که محلول‌پاشی نانوکود گوگرد در همین سال زراعی منجر به افزایش معنی‌دار و سه درصدی سطح برگ نسبت به شاهد در بستر کاشت 20 تن در هکتار زغال زیستی شد (جدول 6).



جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات ریخت‌شناسی و عملکرد مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف زغال زیستی و در شرایط کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد

Table 3- ANOVA (mean of squares) for some morphological and yield characteristics of *Satureja hortensis* L. affected by different amounts of biochar and application of sulfur and nano-sulfur

| منبع تغییرات<br>S.O.V                                       | درجه آزادی<br>df | ارتفاع بوته<br>Plant height | تعداد شاخه فرعی<br>Lateral branch<br>number | سطح برگ<br>Leaf area | قطر ساقه<br>Stem diameter | وزن خشک اندام<br>هوایی<br>Dry shoot weight | عملکرد ماده خشک<br>Dry matter yield |
|-------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹                                         |                  |                             |                                             |                      |                           |                                            |                                     |
| Cropping year of 2020-2021                                  |                  |                             |                                             |                      |                           |                                            |                                     |
| بلوک<br>Block                                               | 2                | 2.92*                       | 0.41 <sup>ns</sup>                          | 2.83 <sup>ns</sup>   | 0.00005 <sup>ns</sup>     | 0.02 <sup>ns</sup>                         | 132.42 <sup>ns</sup>                |
| زغال زیستی<br>Biochar                                       | 3                | 427.27**                    | 152.69**                                    | 2000.58**            | 0.06**                    | 20.67**                                    | 132312**                            |
| خطای<br>a<br>Error a                                        | 6                | 1.32                        | 0.42                                        | 4.02                 | 0.00005                   | 0.01                                       | 88.47                               |
| تیمار تغذیه‌ای<br>Nutrient treatment                        | 2                | 34.71**                     | 17.13**                                     | 137.80**             | 0.08**                    | 1.09**                                     | 6979**                              |
| زغال زیستی × تیمار تغذیه‌ای<br>Biochar × nutrient treatment | 6                | 3.72**                      | 4.72**                                      | 6.34*                | 0.0030**                  | 0.08**                                     | 553.97**                            |
| خطای<br>b<br>Error b                                        | 16               | 0.59                        | 0.43                                        | 1.76                 | 0.00008                   | 0.01                                       | 89.07                               |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                      | -                | 2.65                        | 3.20                                        | 0.48                 | 2.25                      | 3.08                                       | 3.08                                |
| سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰                                         |                  |                             |                                             |                      |                           |                                            |                                     |
| Cropping year of 2021-2022                                  |                  |                             |                                             |                      |                           |                                            |                                     |
| بلوک<br>Block                                               | 2                | 47.04**                     | 35.04**                                     | 55.19*               | 0.19**                    | 0.38**                                     | 7103 <sup>ns</sup>                  |
| زغال زیستی<br>Biochar                                       | 3                | 419.32**                    | 193.20**                                    | 1946**               | 0.06**                    | 19.91**                                    | 153789**                            |
| خطای<br>a<br>Error a                                        | 6                | 0.02                        | 1.55                                        | 10.85                | 0.001                     | 0.002                                      | 1999                                |
| تیمار تغذیه‌ای<br>Nutrient treatment                        | 2                | 36.14**                     | 29.02**                                     | 192.25**             | 0.08**                    | 1.36**                                     | 18680**                             |
| زغال زیستی × تیمار تغذیه‌ای<br>Biochar × nutrient treatment | 6                | 3.60**                      | 11.38**                                     | 5.99 <sup>ns</sup>   | 0.003*                    | 0.05**                                     | 3322 <sup>ns</sup>                  |
| خطای<br>b<br>Error b                                        | 16               | 0.01                        | 1.28                                        | 9.76                 | 0.001                     | 0.004                                      | 2024                                |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                      | -                | 0.45                        | 6.03                                        | 1.15                 | 7.60                      | 1.69                                       | 14.59                               |

\*\*\* و \*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار.  
 \*\*, \* and ns: significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, and non-significant, respectively.

جدول ۴- برخی خصوصیات ریخت‌شناختی و عملکرد مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف زغال زیستی و در شرایط کاربرد نانوکود گوگرد

| Table 4- Some morphological and yield characteristics of <i>Satureja hortensis</i> L. affected by different amounts of biochar and application of sulfur and nano-sulfur |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                          | ارتفاع بوته<br>Plant height<br>(cm) | تعداد شاخه فرعی<br>Lateral branch<br>number | سطح برگ<br>Leaf area<br>(cm <sup>2</sup> ) | قطر ساقه<br>Stem diameter<br>(cm) | وزن خشک اندام<br>هوایی<br>Dry shoot weight<br>(g) | عملکرد ماده خشک<br>Dry matter yield<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) |
| مقادیر زغال زیستی                                                                                                                                                        |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| Amounts of biochar (t.ha <sup>-1</sup> )                                                                                                                                 |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| 0                                                                                                                                                                        | 21.86 <sup>d*</sup>                 | 17.05 <sup>d</sup>                          | 255.59 <sup>d</sup>                        | 0.30 <sup>d</sup>                 | 1.90 <sup>d</sup>                                 | 152.50 <sup>d</sup>                                           |
| 5                                                                                                                                                                        | 25.62 <sup>c</sup>                  | 18.58 <sup>c</sup>                          | 267.49 <sup>c</sup>                        | 0.43 <sup>c</sup>                 | 3.41 <sup>c</sup>                                 | 273.33 <sup>c</sup>                                           |
| 10                                                                                                                                                                       | 31.10 <sup>b</sup>                  | 19.94 <sup>b</sup>                          | 276.78 <sup>b</sup>                        | 0.43 <sup>b</sup>                 | 4.60 <sup>b</sup>                                 | 368.71 <sup>b</sup>                                           |
| 20                                                                                                                                                                       | 37.70 <sup>a</sup>                  | 26.42 <sup>a</sup>                          | 290.88 <sup>a</sup>                        | 0.49 <sup>a</sup>                 | 5.38 <sup>a</sup>                                 | 430.67 <sup>a</sup>                                           |
| تیمار تغذیه‌ای                                                                                                                                                           |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| Nutrient treatment                                                                                                                                                       |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                                                                                                                                            | 28.99 <sup>b</sup>                  | 20.35 <sup>b</sup>                          | 273.05 <sup>b</sup>                        | 0.43 <sup>b</sup>                 | 3.85 <sup>b</sup>                                 | 308.32 <sup>b</sup>                                           |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                                                                                                                                             | 30.81 <sup>a</sup>                  | 21.76 <sup>a</sup>                          | 275.87 <sup>a</sup>                        | 0.47 <sup>a</sup>                 | 4.11 <sup>a</sup>                                 | 329.35 <sup>a</sup>                                           |
| شاهد<br>Control                                                                                                                                                          | 27.14 <sup>c</sup>                  | 19.39 <sup>c</sup>                          | 269.13 <sup>c</sup>                        | 0.31 <sup>c</sup>                 | 3.51 <sup>c</sup>                                 | 281.24 <sup>c</sup>                                           |
| مقادیر زغال زیستی                                                                                                                                                        |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| Amounts of biochar (t.ha <sup>-1</sup> )                                                                                                                                 |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| 0                                                                                                                                                                        | 20.52 <sup>d</sup>                  | 14.99 <sup>d</sup>                          | 252.74 <sup>d</sup>                        | 0.31 <sup>c</sup>                 | 1.87 <sup>d</sup>                                 | 144.40 <sup>d</sup>                                           |
| 5                                                                                                                                                                        | 24.17 <sup>c</sup>                  | 16.63 <sup>c</sup>                          | 264.92 <sup>c</sup>                        | 0.43 <sup>b</sup>                 | 3.46 <sup>c</sup>                                 | 275.61 <sup>c</sup>                                           |
| 10                                                                                                                                                                       | 29.79 <sup>b</sup>                  | 18.00 <sup>b</sup>                          | 273.15 <sup>b</sup>                        | 0.46 <sup>b</sup>                 | 4.53 <sup>b</sup>                                 | 361.28 <sup>b</sup>                                           |
| 20                                                                                                                                                                       | 36.15 <sup>a</sup>                  | 25.47 <sup>a</sup>                          | 287.77 <sup>a</sup>                        | 0.50 <sup>a</sup>                 | 5.31 <sup>a</sup>                                 | 451.57 <sup>a</sup>                                           |
| تیمار تغذیه‌ای                                                                                                                                                           |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| Nutrient treatment                                                                                                                                                       |                                     |                                             |                                            |                                   |                                                   |                                                               |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                                                                                                                                            | 27.55 <sup>b</sup>                  | 18.45 <sup>b</sup>                          | 271.10 <sup>a</sup>                        | 0.45 <sup>b</sup>                 | 3.78 <sup>b</sup>                                 | 299.04 <sup>b</sup>                                           |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                                                                                                                                             | 29.44 <sup>a</sup>                  | 20.46 <sup>a</sup>                          | 272.71 <sup>a</sup>                        | 0.49 <sup>a</sup>                 | 4.13 <sup>a</sup>                                 | 351.45 <sup>a</sup>                                           |
| شاهد<br>Control                                                                                                                                                          | 25.98 <sup>c</sup>                  | 17.40 <sup>c</sup>                          | 265.12 <sup>b</sup>                        | 0.33 <sup>c</sup>                 | 3.46 <sup>c</sup>                                 | 274.16 <sup>b</sup>                                           |

\* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.  
 \* In each column, means followed by the same letters are not significantly different ( $p \leq 0.05$ ) based on Duncan's multiple range test.

جدول ۵- اثرات متقابل مقادیر مختلف زغال زیستی × کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد مرزه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 5- The interaction effects of different amounts of biochar × application of sulfur and nano-sulfur on some morphological and yield characteristics of *Satureja hortensis* L. in cropping year of 2020-2021

| عملکرد ماده خشک<br>Dry matter yield<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | وزن خشک اندام هوایی<br>Dry shoot weight (g) | قطر ساقه<br>Stem diameter<br>(cm) | سطح برگ<br>Leaf area<br>(cm <sup>2</sup> ) | تعداد شاخه فرعی<br>Lateral branch<br>number | ارتفاع بوته<br>Plant height<br>(cm) |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|
| عدم کاربرد زغال زیستی<br>Non-Application of biochar           |                                             |                                   |                                            |                                             |                                     |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                                 | 1.96 <sup>k</sup>                           | 0.30 <sup>g</sup>                 | 257.65 <sup>ef</sup>                       | 17.00 <sup>de</sup>                         | 22.30 <sup>a</sup>                  |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                                  | 2.04 <sup>j</sup>                           | 0.41 <sup>e</sup>                 | 259.68 <sup>e</sup>                        | 17.55 <sup>de</sup>                         | 23.25 <sup>ef</sup>                 |
| شاهد<br>Control                                               | 1.70 <sup>l</sup>                           | 0.19 <sup>h</sup>                 | 251.03 <sup>f</sup>                        | 16.25 <sup>e</sup>                          | 20.85 <sup>f</sup>                  |
| ۵ تن در هکتار زغال زیستی<br>5 t.ha <sup>-1</sup> biochar      |                                             |                                   |                                            |                                             |                                     |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                                 | 3.56 <sup>h</sup>                           | 0.44 <sup>d</sup>                 | 267.25 <sup>cd</sup>                       | 18.80 <sup>cde</sup>                        | 25.50 <sup>e</sup>                  |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                                  | 3.70 <sup>g</sup>                           | 0.46 <sup>cd</sup>                | 272.50 <sup>bc</sup>                       | 19.10 <sup>cd</sup>                         | 28.60 <sup>d</sup>                  |
| شاهد<br>Control                                               | 3.12 <sup>i</sup>                           | 0.32 <sup>g</sup>                 | 262.70 <sup>de</sup>                       | 17.90 <sup>de</sup>                         | 23.00 <sup>ef</sup>                 |
| ۱۰ تن در هکتار زغال زیستی<br>10 t.ha <sup>-1</sup> biochar    |                                             |                                   |                                            |                                             |                                     |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                                 | 4.68 <sup>e</sup>                           | 0.45 <sup>cd</sup>                | 275.50 <sup>b</sup>                        | 19.25 <sup>cd</sup>                         | 30.80 <sup>cd</sup>                 |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                                  | 4.99 <sup>d</sup>                           | 0.47 <sup>c</sup>                 | 279.28 <sup>b</sup>                        | 20.95 <sup>c</sup>                          | 31.80 <sup>c</sup>                  |
| شاهد<br>Control                                               | 4.16 <sup>f</sup>                           | 0.37 <sup>f</sup>                 | 275.15 <sup>b</sup>                        | 19.60 <sup>cd</sup>                         | 30.40 <sup>cd</sup>                 |
| ۲۰ تن در هکتار زغال زیستی<br>20 t.ha <sup>-1</sup> biochar    |                                             |                                   |                                            |                                             |                                     |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                                 | 5.20 <sup>b</sup>                           | 0.52 <sup>b</sup>                 | 291.47 <sup>a</sup>                        | 26.25 <sup>ab</sup>                         | 37.31 <sup>b</sup>                  |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                                  | 5.90 <sup>a</sup>                           | 0.60 <sup>a</sup>                 | 292.00 <sup>a</sup>                        | 28.40 <sup>a</sup>                          | 40.72 <sup>a</sup>                  |
| شاهد<br>Control                                               | 5.10 <sup>c</sup>                           | 0.37 <sup>f</sup>                 | 287.45 <sup>a</sup>                        | 24.50 <sup>b</sup>                          | 36.20 <sup>b</sup>                  |

\* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی داری ندارند.  
\* In each column, means followed by the same letters are not significantly different ( $p \leq 0.05$ ) based on Duncan's multiple range test.



جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقادیر مختلف زغال زیستی و کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد مرزه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱  
 Table 6- Mean comparison of interaction effects of different amounts of biochar and application of sulfur and nano-sulfur on some morphological characteristics and yield of *Satureja hortensis* L. in cropping year of 2021-2022

|                                                            | ارتفاع بوته<br>Plant height<br>(cm) | تعداد شاخه فرعی<br>Lateral branch<br>number | سطح برگ<br>Leaf area (cm <sup>2</sup> ) | قطر ساقه<br>Stem diameter (cm) | وزن خشک اندام هوایی<br>Dry shoot weight (g) | عملکرد ماده خشک<br>Dry matter yield<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| عدم کاربرد زغال زیستی<br>Non-application of biochar        |                                     |                                             |                                         |                                |                                             |                                                               |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                              | 20.51 <sup>fa</sup>                 | 15.26 <sup>de</sup>                         | 254.69 <sup>ef</sup>                    | 0.32 <sup>bc</sup>             | 1.96 <sup>g</sup>                           | 147.33 <sup>f</sup>                                           |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                               | 21.71 <sup>fa</sup>                 | 15.70 <sup>de</sup>                         | 254.80 <sup>ef</sup>                    | 0.39 <sup>abc</sup>            | 2.03 <sup>g</sup>                           | 158.64 <sup>f</sup>                                           |
| شاهد<br>Control                                            | 19.34 <sup>g</sup>                  | 14.00 <sup>e</sup>                          | 248.73 <sup>f</sup>                     | 0.20 <sup>c</sup>              | 1.63 <sup>h</sup>                           | 127.23 <sup>f</sup>                                           |
| ۵ تن در هکتار زغال زیستی<br>5 t.ha <sup>-1</sup> biochar   |                                     |                                             |                                         |                                |                                             |                                                               |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                              | 23.69 <sup>ef</sup>                 | 16.77 <sup>de</sup>                         | 266.67 <sup>d</sup>                     | 0.47 <sup>ab</sup>             | 3.45 <sup>e</sup>                           | 276.82 <sup>de</sup>                                          |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                               | 26.88 <sup>de</sup>                 | 16.89 <sup>de</sup>                         | 269.33 <sup>cd</sup>                    | 0.51 <sup>ab</sup>             | 3.86 <sup>d</sup>                           | 307.61 <sup>cde</sup>                                         |
| شاهد<br>Control                                            | 21.94 <sup>fa</sup>                 | 16.22 <sup>de</sup>                         | 258.76 <sup>e</sup>                     | 0.31 <sup>bc</sup>             | 3.06 <sup>f</sup>                           | 242.41 <sup>e</sup>                                           |
| ۱۰ تن در هکتار زغال زیستی<br>10 t.ha <sup>-1</sup> biochar |                                     |                                             |                                         |                                |                                             |                                                               |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                              | 29.59 <sup>d</sup>                  | 17.52 <sup>de</sup>                         | 273.84 <sup>c</sup>                     | 0.50 <sup>ab</sup>             | 4.58 <sup>c</sup>                           | 363.29 <sup>bcd</sup>                                         |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                               | 30.40 <sup>cd</sup>                 | 18.88 <sup>cd</sup>                         | 275.17 <sup>c</sup>                     | 0.48 <sup>ab</sup>             | 4.90 <sup>b</sup>                           | 388.88 <sup>bc</sup>                                          |
| شاهد<br>Control                                            | 29.38 <sup>d</sup>                  | 17.59 <sup>de</sup>                         | 270.43 <sup>cd</sup>                    | 0.39 <sup>abc</sup>            | 4.11 <sup>d</sup>                           | 331.67 <sup>bcd</sup>                                         |
| ۲۰ تن در هکتار زغال زیستی<br>20 t.ha <sup>-1</sup> biochar |                                     |                                             |                                         |                                |                                             |                                                               |
| گوگرد معمولی<br>Common sulfur                              | 36.40 <sup>ab</sup>                 | 24.24 <sup>b</sup>                          | 289.21 <sup>a</sup>                     | 0.50 <sup>ab</sup>             | 5.14 <sup>b</sup>                           | 408.72 <sup>b</sup>                                           |
| نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur                               | 38.78 <sup>a</sup>                  | 30.38 <sup>a</sup>                          | 291.54 <sup>a</sup>                     | 0.59 <sup>a</sup>              | 5.74 <sup>a</sup>                           | 550.67 <sup>a</sup>                                           |
| شاهد<br>Control                                            | 33.26 <sup>bc</sup>                 | 21.79 <sup>bc</sup>                         | 282.54 <sup>b</sup>                     | 0.41 <sup>abc</sup>            | 5.04 <sup>b</sup>                           | 395.31 <sup>bc</sup>                                          |

\* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

\* In each column, means followed by the same letters are not significantly different ( $p \leq 0.05$ ) based on Duncan's multiple range test.

زراعی اول و دوم) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت، لذا با توجه به اثر مثبت زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی بر خصوصیات کمی مرزه (جدول 4، 5 و 6)، بهبود عملکرد ماده خشک در شرایط استفاده از این نهاده‌های اکولوژیک منطقی به نظر می‌رسد. به نظر می‌رسد که زغال زیستی به دلیل تخلخل زیاد و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (Gauditis et al., 2023) و احتمالاً از طریق بهبود وضعیت ساختمان خاک و کاهش سمیت نمک (Ghassemi-Golezani & Rahimzadeh, 2022) و همچنین کاهش ترسیب کربن خاک (Ng et al., 2023) و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی احتمالاً از طریق بهبود فعالیت‌های متابولیکی و میزان فتوسنتز گیاه (Shankar et al., 2020) و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده (Yuan et al., 2021) توانسته است که نقش مؤثری در بهبود خصوصیات ریخت‌شناختی مرزه ایفا کند. تأثیر کاربرد بیوپار و سطوح مختلف مدیریت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زنیان نشان داد که بیشترین مقدار ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، وزن 100 دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در شرایط کاربرد 45 تن در هکتار بیوپار به دست آمد (Khasheisiuki et al., 2019). بیشترین عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) در تیمار آبیاری پس از تخلیه 40 درصد ظرفیت زراعی و کاربرد چهار تن در هکتار بیوپار مشاهده شد (Charkhab et al., 2021). عملکرد خشک، وزن خشک ریشه، نیکوتین و قند احیاء گیاه دارویی توتون (*Nicotiana tabacum* L.) در شرایط کاربرد چهار تن در هکتار بیوپار، به ترتیب از افزایش 26، 44، 3 و 24 درصدی در مقایسه با شاهد بهره‌مند شد (Mesbah et al., 2021). فیضی و همکاران (Feizi et al., 2021) پس از بررسی اثر کاربرد همزمان بیوپار و اسید سالیسیلیک در زراعت گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به این نتیجه رسیدند که بیشترین ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و سطح برگ در تیمار سه درصد بیوپار و 200 میکرومولار اسید سالیسیلیک به دست آمد. کاربرد زغال زیستی در سطح سه درصد وزنی در مقایسه با تیمارهای استفاده از سه درصد وزنی کمپوست و شاهد نتیجه بهتری در افزایش مؤلفه‌های رشدی و جذب عناصر غذایی گیاه دارویی جعفری (*Petroselinum crispum* Mill.) نشان داد و کاهش اثرات تنش شوری را به همراه داشت (Karaminiya et al., 2019). کاربرد 20 کیلوگرم در هکتار گوگرد منجر به افزایش قابل توجه ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن 100 دانه و عملکرد دانه ماش در مقایسه با شاهد شد (Murshed et al., 2022). در پژوهشی دیگر، بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد گل در بوته و عملکرد گل گیاه دارویی آرنیکای چامیسو در تیمار 250 کیلوگرم در هکتار کود گوگردی بنتونیتی به دست آمد (Asadi et

مقادیر مختلف زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی، در هر دو سال زراعی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی و عملکرد ماده خشک داشت (جدول 3). در هر دو سال زراعی افزایش مقادیر مصرفی زغال زیستی بهبود وزن خشک اندام هوایی و عملکرد ماده خشک را نسبت به شاهد در پی داشت (جدول 4)، به طوری که در هر دو سال زراعی بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی (به ترتیب با 5/38 و 5/31 گرم وزن خشک اندام هوایی در سال زراعی اول و دوم) و عملکرد ماده خشک (به ترتیب با 430/67 و 451/57 کیلوگرم در هکتار عملکرد ماده خشک در سال زراعی اول و دوم) در تیمار 20 تن در هکتار زغال زیستی به دست آمد. کاربرد مقادیر 5 و 10 تن در هکتار زغال زیستی نیز وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب 44 و 59 درصد در سال زراعی اول و به ترتیب 46 و 59 درصد در سال زراعی دوم نسبت به شاهد افزایش دادند و عملکرد ماده خشک نیز تحت تأثیر مقادیر 5 و 10 تن در هکتار زغال زیستی به ترتیب از افزایش 44 و 59 درصدی در سال زراعی اول و افزایش 48 و 60 درصدی در سال زراعی دوم بهره‌مند شد (جدول 4). در هر دو سال زراعی، مقدار وزن خشک اندام هوایی و عملکرد ماده خشک تحت تأثیر کاربرد گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد به مراتب بیشتر از شاهد بود، ولی بیشترین میزان صفات یادشده (به ترتیب با 4/11 و 4/13 گرم وزن خشک اندام هوایی در سال زراعی اول و دوم و به ترتیب با 329/35 و 351/45 کیلوگرم در هکتار عملکرد ماده خشک در سال زراعی اول و دوم) در شرایط محلول‌پاشی نانوکود گوگرد حاصل شد (جدول 4). با توجه به نتایج جدول 5 و 6، بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در هر دو سال زراعی (به ترتیب با 5/90 و 5/74 گرم وزن خشک اندام هوایی در سال زراعی اول و دوم) در تیمار کاربرد تلفیقی 20 تن در هکتار زغال زیستی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد حاصل شد، ولی اثر برهم‌کنش زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی در هیچ یک از سال‌های زراعی مورد مطالعه بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار نبود (جدول 3). بررسی تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی در مقادیر مختلف زغال زیستی نشان داد که در هر دو سال زراعی در کلیه سطوح بیوپار مورد مطالعه، محلول‌پاشی نانوکود گوگرد بیشترین وزن خشک اندام هوایی نسبت به سایر تیمارها را ایجاد کرد (جدول 5 و 6). با توجه به نتایج همبستگی صفات مورد مطالعه (جدول 7 و 8)، در هر دو سال زراعی بین عملکرد ماده خشک و ارتفاع بوته (به ترتیب با  $r = 0/94^{**}$  و  $r = 0/91^{**}$  در سال زراعی اول و دوم)، تعداد شاخه فرعی (به ترتیب با  $r = 0/83^{**}$  و  $r = 0/80^{**}$  در سال زراعی اول و دوم)، سطح برگ (به ترتیب با  $r = 0/96^{**}$  و  $r = 0/91^{**}$  در سال زراعی اول و دوم)، قطر ساقه (به ترتیب با  $r = 0/79^{**}$  و  $r = 0/64^{**}$  در سال زراعی اول و دوم) و وزن خشک اندام هوایی (به ترتیب با  $r = 0/98^{**}$  و  $r = 0/93^{**}$  در سال

al., 2019). بهبود ویژگی‌های کمی و عملکرد باقلا نیز تحت تأثیر کودهای گوگردی گزارش شده است (Hameed & Hasan, 2022). در یک پژوهش، الموسوی و جمیل (Almousswi & Jameel, 2022) گزارش کردند که استفاده از گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد کلیه صفات مورد مطالعه (نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک) در گیاه دارویی تره کوهی (*Allium ampeloprasum* L.) را نسبت به شاهد افزایش داد که البته از این نظر کاربرد نانوگوگرد نسبت به گوگرد معمولی نقش مؤثرتری در بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه ایفا کرد.

### خصوصیات کیفی و فیزیولوژیکی

در سال زراعی 1399-1400، اثر مقادیر مختلف زغال زیستی و تیمار تغذیه‌ای و برهم‌کنش آن‌ها به‌طور معنی‌داری بر میزان اسانس تأثیر داشت و در سال زراعی 1400-1401 نیز میزان اسانس تحت تأثیر مقادیر مختلف زغال زیستی و کاربرد همزمان مقادیر زغال زیستی و تیمار تغذیه‌ای قرار گرفت، ولی اثر ساده تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی تأثیر چندانی بر میزان اسانس نداشت (جدول 9). در هر دو سال زراعی، بیشترین میزان اسانس (به‌ترتیب با 2/10 و 2/13 درصد اسانس در سال‌های زراعی اول و دوم) در تیمار 10 تن در هکتار بیوجار به دست آمد (جدول 10). کاربرد پنج تن در هکتار زغال زیستی به‌ترتیب افزایش سه و شش درصدی میزان اسانس نسبت به شاهد را در سال زراعی اول و دوم سبب شد (جدول 10). میزان اسانس در سال زراعی اول تحت تأثیر کاربرد 20 تن در هکتار زغال زیستی از افزایش 10 درصدی در مقایسه با شاهد برخوردار شد، ولی از این نظر بین این سطح زغال زیستی و شاهد در سال زراعی دوم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول 10). نتایج آزمایش نشان داد که در هر دو سال زراعی با افزایش مقادیر مصرفی زغال زیستی از میزان فنل کل کاسته شد، به‌طوری‌که هر یک از سطوح 5، 10 و 20 تن در هکتار زغال زیستی، میزان فنل کل را به‌ترتیب 7، 13 و 29 درصد در سال زراعی اول در مقایسه با شاهد کاهش دادند و در سال زراعی دوم نیز وضعیت مشابهی مشاهده شد (جدول 10). در هر دو سال زراعی، بیشترین میزان فنل کل (به‌ترتیب با 11/04 و 11/81 درصد در سال‌های زراعی اول و دوم) به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی نانوگوگرد و کاربرد گوگرد معمولی مشاهده شد (جدول 10). نتایج اثرات متقابل مقادیر مصرفی زغال زیستی و تیمار تغذیه‌ای در سال زراعی 1399-1400 نشان داد که با افزایش مقادیر زغال زیستی تا سطح 10 تن در هکتار، اثرات مثبت گوگرد معمولی و نانوگوگرد در بهبود میزان اسانس محسوس‌تر بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان

اسانس در تیمار کاربرد همزمان 10 تن در هکتار زغال زیستی و مصرف خاکی گوگرد معمولی به دست آمد و افزایش بیشتر مقدار زغال زیستی (تا سطح 20 تن در هکتار) کاهش میزان اسانس در تیمارهای تغذیه‌ای مذکور را به همراه داشت (جدول 11). در سال زراعی 1400-1401، اثر برهم‌کنش مقادیر مختلف زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگرد بر میزان اسانس معنی‌دار نبود (جدول 11). میزان فنل کل در هر دو سال زراعی تحت تأثیر استفاده همزمان مقادیر زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان این صفت زمانی حاصل شد که از هیچ مقدار زغال زیستی به‌صورت توأم با تیمارهای تغذیه‌ای استفاده نگردید (جدول 11).

اثر مقادیر مختلف زغال زیستی، تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی و برهم‌کنش آن‌ها در سال زراعی اول بر میزان کربوهیدرات معنی‌دار بود، ولی اثرات ساده و متقابل این عوامل تأثیر معنی‌داری بر میزان کربوهیدرات در سال زراعی دوم نداشت (جدول 9). در سال زراعی 1399-1400، میزان کربوهیدرات در کرت‌های حاوی زغال زیستی به مراتب بیشتر از کرت‌های عاری از این کود بود، به‌طوری‌که هر یک از مقادیر 5، 10 و 20 تن در هکتار زغال زیستی به‌ترتیب متعرج به افزایش 4، 9 و 10 درصدی میزان کربوهیدرات در مقایسه با شاهد شدند (جدول 10). کاربرد گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد گوگرد میزان کربوهیدرات را به‌ترتیب دو و شش درصد در سال زراعی 1399-1400 نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 10). همان‌طور که در جدول 11 مشاهده می‌شود، بیشترین میزان کربوهیدرات در سال زراعی اول زمانی به دست آمد که در کرت‌های حاوی 10 و 20 تن در هکتار زغال زیستی از محلول‌پاشی نانوگوگرد (به‌ترتیب با 0/1255 و 0/1270 میلی‌گرم بر گرم وزن تر) استفاده شد.

اثر مقادیر مختلف زغال زیستی، تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی و برهم‌کنش آن‌ها در هر دو سال زراعی، میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول 9). در هر دو سال زراعی، با افزایش مقادیر مصرفی زغال زیستی، بر میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل افزوده شد، به‌طوری‌که کاربرد 5، 10 و 20 تن در هکتار زغال زیستی، میزان کلروفیل a را به‌ترتیب 34، 56 و 69 درصد، میزان کلروفیل b را به‌ترتیب 17، 22 و 32 درصد و میزان کلروفیل کل را به‌ترتیب 27، 44 و 58 درصد نسبت به شاهد در سال زراعی اول و میزان کلروفیل a را به‌ترتیب 38، 58 و 71 درصد، میزان کلروفیل b را به‌ترتیب 16، 20 و 31 درصد و میزان کلروفیل کل را به‌ترتیب 28، 44 و 58 درصد نسبت به شاهد در سال زراعی دوم بهبود بخشیدند (جدول 10).

جدول ۷- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف زغال زیستی و در شرایط کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹  
Table 7- The correlation coefficients of studied traits in *Satureja hortensis* L. affected by different amounts of biochar and application of sulfur and nano-sulfur in cropping year of 2020-2021

|                                                  | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7     | 8       | 9      | 10     | 11     | 12 |
|--------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|--------|--------|--------|----|
| ارتفاع بوته (۱)<br>Plant height (1)              | 1       |         |         |         |         |         |       |         |        |        |        |    |
| تعداد شاخه فرعی (۲)<br>Lateral branch number (2) | 0.91**  | 1       |         |         |         |         |       |         |        |        |        |    |
| سطح برگ (۳)<br>Leaf area (3)                     | 0.98**  | 0.90**  | 1       |         |         |         |       |         |        |        |        |    |
| قطر ساقه (۴)<br>Stem diameter (4)                | 0.79**  | 0.75**  | 0.80**  | 1       |         |         |       |         |        |        |        |    |
| وزن خشک اندام هوایی (۵)<br>Dry shoot weight (5)  | 0.94**  | 0.89**  | 0.96**  | 0.79**  | 1       |         |       |         |        |        |        |    |
| عملکرد ماده خشک (۶)<br>Dry matter yield (6)      | 0.94**  | 0.83**  | 0.96**  | 0.79**  | 0.98**  | 1       |       |         |        |        |        |    |
| اسانس (۷)<br>Essential oil (7)                   | 0.10    | -0.13   | 0.14    | 0.09    | 0.32*   | 0.32*   | 1     |         |        |        |        |    |
| فیل کل (۸)<br>Total phenol (8)                   | -0.89** | -0.84** | -0.91** | -0.59** | -0.85** | -0.85** | -0.03 | 1       |        |        |        |    |
| میزان کربوهیدرات (۹)<br>Carbohydrate content (9) | 0.79**  | 0.74**  | 0.80**  | 0.81**  | 0.85**  | 0.85**  | 0.31  | -0.56** | 1      |        |        |    |
| کلروفیل a (۱۰)<br>Chlorophyll a (10)             | 0.97**  | 0.94**  | 0.96**  | 0.81**  | 0.93**  | 0.93**  | 0.08  | -0.85** | 0.82** | 1      |        |    |
| کلروفیل b (۱۱)<br>Chlorophyll b (11)             | 0.83**  | 0.79**  | 0.85**  | 0.82**  | 0.88**  | 0.88**  | 0.15  | -0.75** | 0.78** | 0.84** | 1      |    |
| کلروفیل کل (۱۲)<br>Total chlorophyll (12)        | 0.97**  | 0.93**  | 0.96**  | 0.83**  | 0.95**  | 0.95**  | 0.09  | -0.85** | 0.84** | 0.99** | 0.89** | 1  |

\*\*\* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.  
\*\* and \*: are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level, respectively.

جدول ۸- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف زغال زیستی و در شرایط کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱  
 Table 8- The correlation coefficients of studied traits in *Satureja hortensis* L. affected by different amounts of biochar and application of sulfur and nano-sulfur in cropping year of 2021-2022

|                                                  | 1       | 2       | 3       | 4      | 5       | 6       | 7      | 8       | 9     | 10     | 11     | 12 |
|--------------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|-------|--------|--------|----|
| ارتفاع بوته (۱)<br>Plant height (1)              | 1       |         |         |        |         |         |        |         |       |        |        |    |
| تعداد شاخه فرعی (۲)<br>Lateral branch number (2) | 0.89**  | 1       |         |        |         |         |        |         |       |        |        |    |
| سطح برگ (۳)<br>Leaf area (3)                     | 0.96**  | 0.84**  | 1       |        |         |         |        |         |       |        |        |    |
| قطر ساقه (۴)<br>Stem diameter (4)                | 0.69**  | 0.65**  | 0.63**  | 1      |         |         |        |         |       |        |        |    |
| وزن خشک انام هوایی (۵)<br>Dry shoot weight (5)   | 0.94**  | 0.78**  | 0.95**  | 0.62** | 1       |         |        |         |       |        |        |    |
| عملکرد ماده خشک (۶)<br>Dry matter yield (6)      | 0.91**  | 0.80**  | 0.91**  | 0.64** | 0.93**  | 1       |        |         |       |        |        |    |
| اسانس (۷)<br>Essential oil (7)                   | 0.30    | 0.18    | 0.22    | 0.64** | 0.32*   | 0.29    | 1      |         |       |        |        |    |
| فلفل کل (۸)<br>Total phenol (8)                  | -0.73** | -0.61** | -0.78** | -0.13  | -0.76** | -0.68** | 0.13   | 1       |       |        |        |    |
| میزان کربوهیدرات (۹)<br>Carbohydrate content (9) | 0.45**  | 0.42*   | 0.37*   | 0.52** | 0.36*   | 0.36*   | 0.47** | -0.06   | 1     |        |        |    |
| کلروفیل a (۱۰)<br>Chlorophyll a (10)             | 0.97**  | 0.89**  | 0.95**  | 0.60** | 0.94**  | 0.92**  | 0.17   | -0.77** | 0.39* | 1      |        |    |
| کلروفیل b (۱۱)<br>Chlorophyll b (11)             | 0.81**  | 0.78**  | 0.80**  | 0.79** | 0.80**  | 0.78**  | 0.46** | -0.46** | 0.37* | 0.77** | 1      |    |
| کلروفیل کل (۱۲)<br>Total chlorophyll (12)        | 0.97**  | 0.90**  | 0.96**  | 0.66** | 0.94**  | 0.92**  | 0.24   | -0.74** | 0.40* | 0.99** | 0.84** | 1  |

\*\*\* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.  
 \*\* and \*: are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level, respectively.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی خصوصیات فیزیولوژیکی مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف زغال زیستی، کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد  
Table 9- ANOVA (mean of squares) for some physiological characteristics of *Satureja hortensis* L. affected by different amounts of biochar and application of sulfur and of nano-sulfur

| منبع تغییرات<br>S.O.V                                       | درجه<br>آزادی<br>df | اسانس<br>Essential<br>oil | فنل کل<br>Total<br>phenol | میزان کربوهیدرات<br>Carbohydrate<br>content | کلروفیل a<br>Chlorophyll a | کلروفیل b<br>Chlorophyll b | کلروفیل کل<br>Total chlorophyll |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹<br>Cropping year of 2020-2021           |                     |                           |                           |                                             |                            |                            |                                 |
| بلوک<br>Block                                               | 2                   | 0.0005*                   | 0.03 <sup>ns</sup>        | 0.000001 <sup>ns</sup>                      | 0.0011 <sup>ns</sup>       | 0.0017 <sup>ns</sup>       | 0.0019 <sup>ns</sup>            |
| زغال زیستی<br>Biochar                                       | 3                   | 0.09**                    | 20.007**                  | 0.0002**                                    | 32.45**                    | 1.23**                     | 46.02**                         |
| خطای a<br>Error a                                           | 6                   | 0.0001                    | 0.02                      | 0.000002                                    | 0.0018                     | 0.0004                     | 0.0030                          |
| تیمار تغذیه‌ای<br>Nutrient treatment                        | 2                   | 0.005**                   | 1.02**                    | 0.0001**                                    | 4.14**                     | 0.40**                     | 6.78**                          |
| زغال زیستی × تیمار تغذیه‌ای<br>Biochar × nutrient treatment | 6                   | 0.007**                   | 0.23**                    | 0.00002**                                   | 0.8367**                   | 0.12**                     | 0.87**                          |
| خطای b<br>Error b                                           | 16                  | 0.0001                    | 0.02                      | 0.000002                                    | 0.0014                     | 0.0007                     | 0.0037                          |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                      | -                   | 0.59                      | 1.57                      | 1.29                                        | 0.94                       | 1.10                       | 0.96                            |
| سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰<br>Cropping year of 2021-2022           |                     |                           |                           |                                             |                            |                            |                                 |
| بلوک<br>Block                                               | 2                   | 0.28**                    | 2.99**                    | 0.002**                                     | 0.34**                     | 0.75**                     | 2.11**                          |
| زغال زیستی<br>Biochar                                       | 3                   | 0.09**                    | 19.30**                   | 0.0007 <sup>ns</sup>                        | 32.61**                    | 1.28**                     | 46.58**                         |
| خطای a<br>Error a                                           | 6                   | 0.003                     | 0.02                      | 0.0003                                      | 0.03                       | 0.006                      | 0.05                            |
| تیمار تغذیه‌ای<br>Nutrient treatment                        | 2                   | 0.001 <sup>ns</sup>       | 1.46**                    | 0.0004 <sup>ns</sup>                        | 3.85**                     | 0.32**                     | 6.25**                          |
| زغال زیستی × تیمار تغذیه‌ای<br>Biochar × nutrient treatment | 6                   | 0.013**                   | 0.21**                    | 0.0003 <sup>ns</sup>                        | 0.68**                     | 0.15**                     | 0.61**                          |
| خطای b<br>Error b                                           | 16                  | 0.003                     | 0.01                      | 0.0002                                      | 0.05                       | 0.008                      | 0.08                            |
| ضریب تغییرات<br>CV (%)                                      | -                   | 2.83                      | 1.21                      | 15.08                                       | 6.06                       | 3.68                       | 4.59                            |

\*\*\*، \* و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی دار. ns: not significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, and non-significant, respectively.



جدول ۱۰- برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف زغال زیستی و در شرایط کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد

| Table 10- Some physiological characteristics of <i>Satureja hortensis</i> L. affected by different amounts of biochar and application of sulfur and nano-sulfur |                                                                |                                                                |                                                                               |                                                             |                               |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| کرونیل کل<br>Total chlorophyll<br>(mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)                                                                                             | کرونیل b<br>Chlorophyll b<br>(mg.g <sup>-1</sup> fresh weight) | کرونیل a<br>Chlorophyll a<br>(mg.g <sup>-1</sup> fresh weight) | میزان کربوهیدرات<br>Carbohydrate content<br>(mg.g <sup>-1</sup> fresh weight) | فنل کل<br>Total phenol<br>(mg.g <sup>-1</sup> fresh weight) | اسانس<br>Essential oil<br>(%) |                               |
| مقادیر زغال زیستی<br>Amounts of biochar (t.ha <sup>-1</sup> )                                                                                                   |                                                                |                                                                |                                                                               |                                                             |                               |                               |
| 3.90 <sup>d</sup>                                                                                                                                               | 1.93 <sup>d</sup>                                              | 1.97 <sup>d</sup>                                              | 0.1084 <sup>c</sup>                                                           | 12.24 <sup>a</sup>                                          | 1.88 <sup>d*</sup>            | 0                             |
| 5.34 <sup>c</sup>                                                                                                                                               | 2.33 <sup>c</sup>                                              | 3.00 <sup>c</sup>                                              | 0.1126 <sup>b</sup>                                                           | 11.34 <sup>b</sup>                                          | 1.94 <sup>b</sup>             | 5                             |
| 6.94 <sup>b</sup>                                                                                                                                               | 2.46 <sup>b</sup>                                              | 4.47 <sup>b</sup>                                              | 0.1187 <sup>a</sup>                                                           | 10.70 <sup>c</sup>                                          | 2.10 <sup>a</sup>             | 10                            |
| 9.18 <sup>a</sup>                                                                                                                                               | 2.83 <sup>a</sup>                                              | 6.34 <sup>a</sup>                                              | 0.1198 <sup>a</sup>                                                           | 8.73 <sup>d</sup>                                           | 1.90 <sup>c</sup>             | 20                            |
| تیمار تغذیه‌ای<br>Nutrient treatment                                                                                                                            |                                                                |                                                                |                                                                               |                                                             |                               |                               |
| 6.39 <sup>b</sup>                                                                                                                                               | 2.48 <sup>a</sup>                                              | 3.90 <sup>b</sup>                                              | 0.1141 <sup>b</sup>                                                           | 10.45 <sup>c</sup>                                          | 1.95 <sup>b</sup>             | گوگرد معمولی<br>Common sulfur |
| 7.06 <sup>a</sup>                                                                                                                                               | 2.50 <sup>a</sup>                                              | 4.55 <sup>a</sup>                                              | 0.1189 <sup>a</sup>                                                           | 11.04 <sup>a</sup>                                          | 1.94 <sup>c</sup>             | نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur  |
| 5.56 <sup>c</sup>                                                                                                                                               | 2.18 <sup>b</sup>                                              | 3.38 <sup>c</sup>                                              | 0.1116 <sup>c</sup>                                                           | 10.76 <sup>b</sup>                                          | 1.98 <sup>a</sup>             | شاهد<br>Control               |
| مقادیر زغال زیستی<br>Amounts of biochar (t.ha <sup>-1</sup> )                                                                                                   |                                                                |                                                                |                                                                               |                                                             |                               |                               |
| 3.87 <sup>d</sup>                                                                                                                                               | 2.06 <sup>d</sup>                                              | 1.81 <sup>d</sup>                                              | 0.1066 <sup>a</sup>                                                           | 12.94 <sup>a</sup>                                          | 1.88 <sup>c</sup>             | 0                             |
| 5.34 <sup>c</sup>                                                                                                                                               | 2.44 <sup>c</sup>                                              | 2.90 <sup>c</sup>                                              | 0.1018 <sup>b</sup>                                                           | 11.91 <sup>b</sup>                                          | 2.00 <sup>b</sup>             | 5                             |
| 6.93 <sup>b</sup>                                                                                                                                               | 2.58 <sup>b</sup>                                              | 4.35 <sup>b</sup>                                              | 0.1207 <sup>c</sup>                                                           | 11.35 <sup>c</sup>                                          | 2.13 <sup>a</sup>             | 10                            |
| 9.19 <sup>a</sup>                                                                                                                                               | 2.98 <sup>a</sup>                                              | 6.20 <sup>a</sup>                                              | 0.1196 <sup>d</sup>                                                           | 9.45 <sup>d</sup>                                           | 1.94 <sup>bc</sup>            | 20                            |
| تیمار تغذیه‌ای<br>Nutrient treatment                                                                                                                            |                                                                |                                                                |                                                                               |                                                             |                               |                               |
| 6.40 <sup>b</sup>                                                                                                                                               | 2.58 <sup>a</sup>                                              | 3.81 <sup>b</sup>                                              | 0.1062 <sup>a</sup>                                                           | 11.18 <sup>b</sup>                                          | 1.99 <sup>a</sup>             | گوگرد معمولی<br>Common sulfur |
| 7.02 <sup>a</sup>                                                                                                                                               | 2.63 <sup>a</sup>                                              | 4.38 <sup>a</sup>                                              | 0.1186 <sup>a</sup>                                                           | 11.81 <sup>a</sup>                                          | 1.98 <sup>a</sup>             | نانوکود گوگرد<br>Nano-sulfur  |
| 5.58 <sup>c</sup>                                                                                                                                               | 2.33 <sup>b</sup>                                              | 3.25 <sup>c</sup>                                              | 0.1117 <sup>a</sup>                                                           | 11.25 <sup>b</sup>                                          | 2.00 <sup>a</sup>             | شاهد<br>Control               |

\* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

\* In each column, means followed by the same letters are not significantly different ( $p \leq 0.05$ ) based on Duncan's multiple range test.

جدول ۱۱- اثرات متقابل مقادیر مختلف زغال زیستی × کاربرد گوگرد و نانوکود گوگرد بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی مرزه  
Table 11- The interaction effects of different amounts of biochar × application of sulfur and nano-sulfur on some physiological characteristics of *Satureja hortensis* L.

|                                                                            | عدم کاربرد زغال زیستی<br>Non-application of biochar |                        |                      |                               | ۵ تن در هکتار زغال زیستی<br>5 t.ha <sup>-1</sup> biochar |                      |                               |                        | ۱۰ تن در هکتار زغال زیستی<br>10 t.ha <sup>-1</sup> biochar |                               |                        |                      | ۲۰ تن در هکتار زغال زیستی<br>20 t.ha <sup>-1</sup> biochar |                        |                      |                               |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
|                                                                            | گوگرد معمولی<br>Common sulfur                       | نانوکود<br>Nano-sulfur | شاهد<br>Control      | گوگرد معمولی<br>Common sulfur | نانوکود<br>Nano-sulfur                                   | شاهد<br>Control      | گوگرد معمولی<br>Common sulfur | نانوکود<br>Nano-sulfur | شاهد<br>Control                                            | گوگرد معمولی<br>Common sulfur | نانوکود<br>Nano-sulfur | شاهد<br>Control      | گوگرد معمولی<br>Common sulfur                              | نانوکود<br>Nano-sulfur | شاهد<br>Control      | گوگرد معمولی<br>Common sulfur |
| اسانس<br>Essential oil (%)                                                 | 1.86 <sup>g*</sup>                                  | 1.91 <sup>c</sup>      | 1.88 <sup>f</sup>    | 1.96 <sup>d</sup>             | 1.84 <sup>g</sup>                                        | 2.03 <sup>c</sup>    | 2.40 <sup>a</sup>             | 2.10 <sup>b</sup>      | 2.09 <sup>b</sup>                                          | 1.88 <sup>f</sup>             | 1.89 <sup>ef</sup>     | 1.96 <sup>d</sup>    | 1.89 <sup>ef</sup>                                         | 1.92 <sup>ab</sup>     | 1.96 <sup>d</sup>    | 1.96 <sup>d</sup>             |
| فلفل کل<br>Total phenol (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)                  | 11.80 <sup>b</sup>                                  | 12.25 <sup>a</sup>     | 12.60 <sup>a</sup>   | 11.25 <sup>c</sup>            | 11.30 <sup>c</sup>                                       | 11.50 <sup>bc</sup>  | 10.15 <sup>c</sup>            | 11.10 <sup>c</sup>     | 10.63 <sup>d</sup>                                         | 8.41 <sup>g</sup>             | 9.10 <sup>f</sup>      | 8.50 <sup>g</sup>    | 9.10 <sup>f</sup>                                          | 10.01 <sup>e</sup>     | 9.27 <sup>ef</sup>   | 9.27 <sup>ef</sup>            |
| میزان کربوهیدرات<br>Carbohydrate content (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight) | 0.1090 <sup>d</sup>                                 | 0.1110 <sup>c</sup>    | 0.1050 <sup>d</sup>  | 0.1130 <sup>bc</sup>          | 0.1130 <sup>bc</sup>                                     | 0.1120 <sup>bc</sup> | 0.1170 <sup>b</sup>           | 0.1255 <sup>a</sup>    | 0.1155 <sup>bc</sup>                                       | 0.1165 <sup>bc</sup>          | 0.1270 <sup>a</sup>    | 0.1160 <sup>bc</sup> | 0.1270 <sup>a</sup>                                        | 0.1270 <sup>a</sup>    | 0.1150 <sup>ab</sup> | 0.1150 <sup>ab</sup>          |
| کلروفیل a (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)                                | 2.01 <sup>j</sup>                                   | 2.17 <sup>i</sup>      | 1.80 <sup>k</sup>    | 2.78 <sup>g</sup>             | 3.75 <sup>f</sup>                                        | 2.55 <sup>h</sup>    | 4.65 <sup>d</sup>             | 4.68 <sup>d</sup>      | 4.10 <sup>e</sup>                                          | 6.25 <sup>b</sup>             | 7.68 <sup>a</sup>      | 5.09 <sup>e</sup>    | 7.68 <sup>a</sup>                                          | 7.45 <sup>a</sup>      | 5.05 <sup>e</sup>    | 5.05 <sup>e</sup>             |
| کلروفیل b (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)                                | 1.86 <sup>j</sup>                                   | 2.06 <sup>g</sup>      | 1.92 <sup>i</sup>    | 2.61 <sup>d</sup>             | 2.35 <sup>e</sup>                                        | 2.15 <sup>f</sup>    | 2.68 <sup>c</sup>             | 2.72 <sup>c</sup>      | 1.98 <sup>h</sup>                                          | 2.82 <sup>b</sup>             | 2.98 <sup>a</sup>      | 2.72 <sup>c</sup>    | 2.98 <sup>a</sup>                                          | 10.66 <sup>a</sup>     | 7.81 <sup>e</sup>    | 7.81 <sup>e</sup>             |
| کلروفیل کل<br>Total chlorophyll (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)          | 3.87 <sup>i</sup>                                   | 4.23 <sup>b</sup>      | 3.73 <sup>j</sup>    | 5.40 <sup>f</sup>             | 6.10 <sup>e</sup>                                        | 4.70 <sup>g</sup>    | 7.33 <sup>d</sup>             | 7.40 <sup>d</sup>      | 6.08 <sup>e</sup>                                          | 9.07 <sup>b</sup>             | 10.66 <sup>a</sup>     | 7.81 <sup>e</sup>    | 10.66 <sup>a</sup>                                         | 10.66 <sup>a</sup>     | 7.81 <sup>e</sup>    | 7.81 <sup>e</sup>             |
| اسانس<br>Essential oil (%)                                                 | 1.89 <sup>ab</sup>                                  | 1.95 <sup>ab</sup>     | 1.81 <sup>b</sup>    | 2.01 <sup>ab</sup>            | 1.93 <sup>ab</sup>                                       | 2.07 <sup>ab</sup>   | 2.17 <sup>a</sup>             | 2.11 <sup>ab</sup>     | 2.11 <sup>ab</sup>                                         | 1.90 <sup>ab</sup>            | 1.92 <sup>ab</sup>     | 2.01 <sup>ab</sup>   | 1.92 <sup>ab</sup>                                         | 1.92 <sup>ab</sup>     | 2.01 <sup>ab</sup>   | 2.01 <sup>ab</sup>            |
| فلفل کل<br>Total phenol (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)                  | 12.60 <sup>ab</sup>                                 | 13.13 <sup>a</sup>     | 13.10 <sup>a</sup>   | 11.90 <sup>bc</sup>           | 12.12 <sup>b</sup>                                       | 11.72 <sup>bcd</sup> | 11.13 <sup>cd</sup>           | 12.00 <sup>bc</sup>    | 10.92 <sup>d</sup>                                         | 9.08 <sup>f</sup>             | 10.01 <sup>e</sup>     | 9.27 <sup>ef</sup>   | 10.01 <sup>e</sup>                                         | 10.01 <sup>e</sup>     | 9.27 <sup>ef</sup>   | 9.27 <sup>ef</sup>            |
| میزان کربوهیدرات<br>Carbohydrate content (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight) | 0.1097 <sup>ab</sup>                                | 0.1090 <sup>ab</sup>   | 0.1010 <sup>ab</sup> | 0.0790 <sup>b</sup>           | 0.1157 <sup>ab</sup>                                     | 0.1107 <sup>ab</sup> | 0.1193 <sup>ab</sup>          | 0.1227 <sup>a</sup>    | 0.1200 <sup>ab</sup>                                       | 0.1167 <sup>ab</sup>          | 0.1270 <sup>a</sup>    | 0.1150 <sup>ab</sup> | 0.1270 <sup>a</sup>                                        | 0.1270 <sup>a</sup>    | 0.1150 <sup>ab</sup> | 0.1150 <sup>ab</sup>          |
| کلروفیل a (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)                                | 1.89 <sup>ij</sup>                                  | 2.04 <sup>hi</sup>     | 1.49 <sup>j</sup>    | 2.70 <sup>g</sup>             | 3.58 <sup>f</sup>                                        | 2.42 <sup>gh</sup>   | 4.55 <sup>d</sup>             | 4.46 <sup>d</sup>      | 4.04 <sup>e</sup>                                          | 6.11 <sup>b</sup>             | 7.45 <sup>a</sup>      | 5.05 <sup>e</sup>    | 7.45 <sup>a</sup>                                          | 7.45 <sup>a</sup>      | 5.05 <sup>e</sup>    | 5.05 <sup>e</sup>             |
| کلروفیل b (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)                                | 1.92 <sup>d</sup>                                   | 2.21 <sup>cd</sup>     | 2.06 <sup>d</sup>    | 2.68 <sup>bc</sup>            | 2.34 <sup>abc</sup>                                      | 2.30 <sup>abc</sup>  | 2.75 <sup>ab</sup>            | 2.89 <sup>a</sup>      | 2.09 <sup>d</sup>                                          | 2.98 <sup>a</sup>             | 3.09 <sup>a</sup>      | 2.86 <sup>a</sup>    | 3.09 <sup>a</sup>                                          | 3.09 <sup>a</sup>      | 2.86 <sup>a</sup>    | 2.86 <sup>a</sup>             |
| کلروفیل کل<br>Total chlorophyll (mg.g <sup>-1</sup> fresh weight)          | 3.82 <sup>g</sup>                                   | 4.26 <sup>g</sup>      | 3.55 <sup>g</sup>    | 5.38 <sup>de</sup>            | 5.92 <sup>d</sup>                                        | 4.72 <sup>ef</sup>   | 7.30 <sup>c</sup>             | 7.36 <sup>c</sup>      | 6.14 <sup>d</sup>                                          | 9.09 <sup>b</sup>             | 10.55 <sup>a</sup>     | 7.92 <sup>c</sup>    | 10.55 <sup>a</sup>                                         | 10.55 <sup>a</sup>     | 7.92 <sup>c</sup>    | 7.92 <sup>c</sup>             |

\* In each row, means followed by the same letters are not significantly different (p≤0.05) based on Duncan's multiple range test.

به نظر می‌رسد که زغال زیستی احتمالاً از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب (Al Baquy et al., 2023) و بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک (Javeed et al., 2023) و تأمین مواد غذایی قابل جذب (Gaudutis et al., 2023) و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی احتمالاً از طریق نقش آفرینی در ساختمان پروتئین‌ها، آنزیم‌ها (Al-Obeidi & Al-Obeidi, 2023)، کلروفیل و برخی از ویتامین‌ها (Narayan et al., 2022) و بهبود مقاومت گیاه به انواع تنش‌های زنده و غیرزنده (Yuan et al., 2021) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی مرزه شده‌اند و از طرفی وجود گوگرد در ساختمان بسیاری از متابولیت‌های ثانویه به اثبات رسیده است (Borpatragohain et al., 2019). در یک پژوهش، کاربرد پنج تن در هکتار بیوجار در مزرعه گیاه دارویی گلرنگ (*Carthamus tinctorium* L.) میزان نشت یونی سلول را نسبت به شاهد 15 درصد کاهش و عملکرد روغن را در مقایسه با شاهد 20 درصد افزایش داد و مصرف همزمان 10 تن در هکتار از این کود و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، افزایش 43/4 درصدی محتوای کلروفیل a نسبت به شاهد را در پی داشت (Sajedi & Sajedi, 2020). کاربرد همزمان بیوجار و سوپرچادز بر خصوصیات کیفی مرزه رشینگری بررسی و بیشترین میزان کارواکرول، گاما-تریپنین و لینالول در تیمار کاربرد بیوجار و 60 میلی‌گرم سوپرچادز مشاهده شد (Beiranvandi et al., 2020). در پژوهشی دیگر، اثر مقادیر مختلف بیوجار بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که کاربرد بیوجار منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و میزان کلروفیل a نسبت به شاهد شد و به‌طور کلی استفاده از این نهاده آلی در بهبود اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی مفید بود (Emami, 2022). کاربرد بیوجار در مزرعه گیاه دارویی شوید در شرایطی که گیاه در معرض تنش شوری قرار داشت، افزایش مقدار لیمونن، کارون، آپپول و دیلاپیول و همچنین بهبود میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را سبب شد (Ghassemi-Golezani & Rahimzadeh, 2022). کاربرد همزمان کودهای گوگردی و کودهای حاوی عناصر روی و بور، بیشترین عملکرد اقتصادی و بهترین کیفیت از نظر مقدار آلپسین در گیاه دارویی سیر را در پی داشت (Zare Pak & Ziaberi & Majidian, 2022). کاربرد 1000 کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلیوس، منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه، درصد روغن، وزن هزار دانه و غلظت عناصر غذایی دانه کلزا (*Brassica napus* L.) شد (Ghaderi et al., 2021). بیشترین میزان روغن، پروتئین و عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط کاربرد همزمان گوگرد (هشت

در هر دو سال زراعی، بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a، b و کل به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی نانوکود گوگرد (به‌ترتیب با 4/55، 2/50 و 7/06 میلی‌گرم بر وزن تر کلروفیل a، b و کل در سال زراعی اول و به‌ترتیب با 4/38، 2/63 و 7/02 میلی‌گرم بر وزن تر کلروفیل a، b و کل در سال زراعی دوم) و شاهد (به‌ترتیب با 3/38، 2/18 و 5/56 میلی‌گرم بر وزن تر کلروفیل a، b و کل در سال زراعی اول و به‌ترتیب با 3/25، 2/33 و 5/58 میلی‌گرم بر وزن تر کلروفیل a، b و کل در سال زراعی دوم) به دست آمد (جدول 10). کاربرد گوگرد معمولی نیز میزان کلروفیل a، b و کل را به‌ترتیب 13، 12 و 13 درصد در سال زراعی اول و به‌ترتیب 15، 11 و 21 درصد در سال زراعی دوم در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول 10). نتایج اثرات متقابل مقادیر مختلف زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل در هر دو سال زراعی در تیمار کاربرد همزمان 20 تن در هکتار زغال زیستی و محلول‌پاشی نانوکود گوگرد (به‌ترتیب با 7/68، 2/98 و 10/66 میلی‌گرم بر گرم وزن تر کلروفیل a، b و کل در سال زراعی اول و به‌ترتیب با 7/45، 3/09 و 10/55 میلی‌گرم بر گرم وزن تر کلروفیل a، b و کل در سال زراعی دوم) حاصل شد (جدول 11). براساس نتایج جدول 11، بیشترین تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی بر میزان کلروفیل a، b و کل زمانی بروز یافت که از آن‌ها همزمان با زغال زیستی استفاده شد، به‌عنوان مثال میزان کلروفیل a در شرایط محلول‌پاشی نانوکود گوگرد همزمان با کاربرد 5، 10 و 20 تن در هکتار زغال زیستی به‌ترتیب 42، 54 و 72 درصد در سال زراعی اول و به‌ترتیب 43، 54 و 73 درصد در سال زراعی دوم بیشتر از مقدار این صفت در شرایط محلول‌پاشی جداگانه نانوکودگوگرد بود (جدول 11). شرایط اقلیمی متفاوت دو سال زراعی مورد مطالعه (جدول 1) و متوسط بارندگی بیشتر و دمای پایین‌تر طی فصل رشد سال اول نسبت به سال دوم احتمالاً بر روی نتایج آزمایش و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان دارویی مرزه اثر گذاشته است. میزان بارندگی بیشتر در سال اول ممکن است به تأمین آب مورد نیاز گیاه کمک کرده و رشد بهتر و باردهی بالاتری را به دنبال داشته است. دمای پایین‌تر ممکن است باعث کاهش تنش گرما و تأمین شرایط بهینه برای رشد و توسعه گیاه شده است. تغییرات دما و رطوبت می‌توانند اثربخشی زغال زیستی و گوگرد را در خاک تحت تأثیر قرار دهند. در سال اول، ممکن است این ترکیبات به‌طور مؤثرتری به جذب و نگهداری آب و مواد مغذی کمک کرده باشند و به‌طور کلی شرایط اقلیمی (به‌ویژه بارندگی و دما) می‌تواند بر رشد و عملکرد مرزه تأثیر مستقیم و غیرمستقیم داشته باشد.

تن در هکتار) و کود گاوی (20 تن در هکتار) به دست آمد (Saeidinezhad et al., 2019). محلول پاشی نانو گوگرد در مزرعه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، منجر به تولید بیشترین ماده خشک، عملکرد دانه و میزان روغن شد و میزان گوگرد خاک را نیز به میزان قابل توجهی افزایش داد (Subramanian et al., 2022). در پژوهشی دیگر، بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کُنجد در شرایط استفاده از 100 کیلوگرم در هکتار گوگرد حاصل شد (Gilani et al., 2020).

## نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این پژوهش حاکی از نقش آفرینی مثبت کاربرد جداگانه و همزمان زغال زیستی و تیمارهای تغذیه ای گوگردی در هر دو سال زراعی بر اکثر صفات کمی و کیفی مورد مطالعه بود، به عنوان مثال در هر دو سال زراعی، در کلیه مقادیر مصرفی زغال زیستی، میزان صفات ریخت شناسی همچون ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد ماده خشک و همچنین میزان صفات کیفی و فیزیولوژیکی نظیر میزان کربوهیدرات و میزان کلروفیل a، b و کل بیشتر از شاهد بود که البته

از این نظر کاربرد 20 تن در هکتار زغال زیستی در مقایسه با سایر مقادیر مصرفی این کود، اثرات مثبت بیشتری بر صفات یاد شده بر جای گذاشت و کاربرد گوگرد معمولی و محلول پاشی نانو کود گوگرد نیز کلیه خصوصیات ریخت شناسی و فیزیولوژیکی مورد مطالعه و عملکرد مرزه را به میزان قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش دادند. اگر چه کاربرد جداگانه گوگرد معمولی یا نانو کود گوگرد در هر دو سال زراعی دارای اثر مثبت بر اکثر خصوصیات ریخت شناسی، فیزیولوژیکی و عملکرد مرزه بود، ولی نقش مؤثر تیمارهای تغذیه ای گوگردی در بهبود ویژگی های گیاه زمانی بیشتر بروز یافت که از این نهادهای گوگردی همزمان با بیوجار و به ویژه مقادیر بالاتر زغال زیستی (سطوح 10 و 20 تن در هکتار) استفاده شد. به طور کلی، کاربرد جداگانه و همزمان مقادیر بهینه نهادهای بوم سازگار زغال زیستی و تیمارهای تغذیه ای گوگردی به ویژه نانو کود گوگرد ضمن بهبود خصوصیات ریخت شناسی گیاه منجر به بهبود ویژگی های فیزیولوژیکی و عملکرد آن شد و براساس نتایج این پژوهش، کاربرد همزمان 20 تن در هکتار زغال زیستی و محلول پاشی نانو کود گوگرد جهت دستیابی به حداکثر عملکرد کمی و کیفی مرزه توصیه می گردد.

## References

- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(4), 112-121.
- Al Baquy, M.A., Nkon, J.N., Alam, M., & Masud, M.M. (2023). Biochar Application to Soils to Improve the Management of Irrigation Water. *Sustainable Agriculture Reviews Book Series*, 61, 273-291. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26983-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26983-7_12)
- Almousswi, Z., & Jameel, D.A. (2022). The effect of foliar fertilization with normal and nano sulfur and the interaction between them in some vegetative characteristics, plant pigments content and dry weight of the shoot system of two varieties of leek plans *Allium ampeloprasum* L. *Iranian Journal of Ichthyology*, 1, 397-405.
- Al-Obeidi, M.M.H., & Al-Obeidi, H.S.H. (2023). *Effect of organic fertilizer spraying from various sources and agricultural sulfur in the growth and harvest of garlic*. Fifth International Conference for Agricultural and Environments Sciences. 1158, 042067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/4/042067>
- Asadi, M., Hadian, J., Ebrahimi, S., & Karimzadeh, G. (2019). Effect of different levels of sulfur on growth, quality characteristics and yield of *Arnica chamissonis* Less. ssp. *foliosa*. *Journal of Horticultural Science*, 33(2), 219-232. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.71858>
- Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Mumivand, H., & Nazarian, F. (2020). Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of *Satureja rechingeri* Jamzad essential oil under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Research*, 36(5), 780-793. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342067.2732>
- Borpatragohain, P., Rose, T.J., Liu, L., Barkla, B.J., Raymond, C.A., & King, G.J. (2019). Remobilization and fate of Sulphur in mustard. *Annals of Botany*, 124(3), 471-480. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz101>
- Charkhab, A., Mojaddam, M., Lack, Sh., Sakinejad, T., & Dadnia, M.R. (2021). The effect of biochar and humic acid rates on some phophysiological characteristics and grain yield SC704 corn hybrid under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(2), 171-192. (in Persian). <https://doi.org/10.30495/jcep.2021.683381>
- Dawar, Kh., Khan, A.A., Jahangir, M.M.R., Mian, I.A., Khan, B., Ahmad, B., Fahad, Sh., Moustafa, M., Al-Shehri, M., Mubashir, M., Datta, R., & Danish, S. (2023). Effect of nitrogen in combination with different levels of sulfur on wheat growth and yield. *ACS Omega*, 8, 279-288. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04054>
- Emami, T. (2022). Effect of biochar and salicylic acid on physiological traits and yield of echinacea (*Echinacea purpurea* L.) under non-stress and drought stress conditions. *Journal of Crop Research in Arid Regions*, 4(1), 229-243. (in Persian). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.320762.1172>

11. Essa, E.M., Abd El-Rheem, Kh.M., Yassen, A.A., & Elsayy, A.M. (2019). Effect of vermicompost and sulfur on growth, yield and nutritional status of tomato plants grown on calcareous soil. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 5(2), 46-50.
12. Feizi, Kh., Amirinejad, A., & Ghobadi, M. (2021). The effects of biochar and salicylic acid on reducing pb-induced stress in basil crop (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(2), 539-547. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.313282.668795>
13. Gaudutis, A., Jotautiene, E., Mieldazys, R., Bivainis, V., & Jasinskas, A. (2023). Sustainable use of biochar, poultry and cattle manure for the production of organic granular fertilizers. *Agronomy*, 13, 1426. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051426>
14. Ghaderi, J., Davoodi, M.H., & Khavazi, K. (2021). Effect of elemental sulfur and *Thiobacillus* bacteria on yield and some quality characteristics of canola. *Iranian Journal of Soil Research*, 35(3), 235-252. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2021.354082.595>
15. Ghassemi-Golezani, K., & Rahimzadeh, S. (2022). The biochar-based nanocomposites influence the quantity, quality and antioxidant activity of essential oil in dill seeds under salt stress. *Scientific Reports*, 12, 21903. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26578-0>
16. Gilani, A., Abbasdokht, H., & Gholami, A. (2020). Morphophysiological and growth responses of sesame plant to combined use of sulfur and *Thiobacillus*. *Journal of Horticultural Plant Nutrition*, 3(1), 131-144. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5469.1097>
17. Hameed, D.B., & Hasan, A.E. (2022). Effect of sulfur and *rhizobium leguminosarum* on available of some nutrients and the growth of broad bean plants. *Annals of Forest Research*, 65(1), 4827-4834.
18. Hassan, S.H., Chafik, Y., Sena-Velez, M., Lebrun, M., Scippa, G.S., Bourgerie, S., Trupiano, D., & Morabito, D. (2023). Importance of application rates of compost and biochar on soil metal (loid) immobilization and plant growth. *Plants*, 12, 2077. <https://doi.org/10.3390/plants12112077>
19. Heidarpour, O., Esmailpour, B., Soltani, A.A., & Khorramdel, S. (2019). Effect of vermicompost on essential oil composition of (*Satureja hortensis* L.) under water stress condition. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 22(2), 484-492. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1618204>
20. Holatko, J., Hammerschmidt, T., Mustafa, A., Kintl, A., Skarpa, P., Ryant, P., Baltazar, T., Malicek, O., Latal, O., & Brtnicky, M. (2023). Time-dependent impact of co-matured manure with elemental sulfur and biochar on the soil agro-ecological properties and plant biomass. *Scientific Reports*, 13, 4327. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31348-7>
21. Javeed, H.M.R., Ali, M., Zamir, M.S.I., Qamar, R., Kanwal, S., Andleeb, H., Qammar, N., Jhangir, K., Elkelish, A., Mubeen, M., Sarwar, M.A., Khalid, S., Zain, M., Nawaz, F., Mubeen, Kh., Bukhari, M.A., Zakir, A., Farooq, M.A., & Masood, N. (2023). *Biochar and Arbuscular Mycorrhizae Fungi to Improve Soil Organic Matter and Fertility*. pp 331-354 in E. Lichfous. Sustainable Agriculture Reviews Book Series. Springer Press.
22. Karaminiya, F., Rangzan, N., Nadian, H., & Lotfi Jalal-Abadi, A. (2019). The effect of spent mushroom compost and its biochar on parsley yield under salinity stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), 1453-1465. (in Persian).
23. KhasheiSiuki, A., Shahidi, A., Yaghoubzadeh, M., & Dastorani, M. (2019). Effect of biochar application and irrigation management on yield and yield components medicinal plant (*Trachyspermum ammi* L.). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(2), 319-328. (in Persian).
24. Kochert, G., & Zenk, M.H. (1978). *Carbohydrate Determination by the Phenolsulfuric Acid Method in Helebus Cambridge University*. Press Cambridge, 231, 44-52.
25. Lin, X., Xie, Z., Hu, T., Wang, H., Chen, Z., Zhou, R., & Jin, P. (2023). Biochar application increases biological nitrogen fixation in soybean with improved soil properties in a Ultisol. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Published Online, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01286-4>
26. Mesbah, R., Ardakani, M.R., Moghaddam, A., & Rafiei, F. (2021). Effect of biofertilizer and biochar application on quantitative, qualitative yield and root characteristics of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under dryland farming conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(2), 229-250.
27. Mohammadpour, M., Ghasemnejad, A., Lebaschy, M.H., Abbaszadeh, B., & Azadbakht, M. (2013). Effects of sowing date and plant density on morphological characteristics and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(3), 621-634. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.4046>
28. Murshed, M.D.F., Syfullah, Kh., Zonayet, M.D., Bashar, M.D.A., Jahan, A., & Sayeed, K.A. (2021). Effect of nitrogen and sulfur on the growth and yield of mungbean. *Asian Journal of Plant and Soil Sciences*, 6(1), 187-194.
29. Narayan, O.P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M., & Johri, A.K. (2022). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling and Behavior*, 7, 2030082. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>

30. Ng, Ch.W.W., Touyon, L., & Bordoloi, S. (2023). Influence of biochar on improving hydrological and nutrient status of two decomposed soils for yield of medicinal plant-*Pinellia ternate*. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 71(2), 156-168. <https://doi.org/10.2478/johh-2023-0008>
31. O'Laughlin, J., & McElligott, K. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Johannes Lehmann, Stephen M. Joseph (Eds.), Earthscan, London UK (2009), 448 p. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.07.001>
32. Piryaee, M., & Behrooz, M. (2022). Deep eutectic solvent as a green solvent for fast analysis of the volatile components of *Satureja hortensis* L. *Physical Chemistry Research*, 10(3), 421-428. <https://doi.org/10.22036/PCR.2022.312969.1979>
33. Ragab, G.A., & Saad-Allah, K.M. (2020). Green synthesis of sulfur nanoparticles using *Ocimum basilicum* leaves and its prospective effect on manganese-stressed *Helianthus annuus* (L.) seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191, 110242. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110242>
34. Saeidinezhad, M., Behdani, M.A., Sayyari, M.H., & Mahmoudi, S. (2019). The effect of sulfur and manure on quantitative and qualitative characteristics of sesame varieties (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agroecology*, 11(3), 845-857. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.71128>
35. Sajedi, A., & Sajedi, N.A. (2020). Effect of application biochar and priming and foliar application with water and salicylic acid on physiological traits of dry land safflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(1), 155-169. (in Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1823.1426>
36. Shahrusvand, S., Eisvand, H.R., Firozabadi, F.N., & Feizian, M. (2019). Effect of sulphur and vermicompost application on agronomic traits of hubbit cultivar of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 51(3), 447-460. (in Persian).
37. Shankar, S., Jaiswal, L., & Rhim, J.W. (2020). New insight into sulfur nanoparticles: Synthesis and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(20), 2329-2356.
38. Subramanian, K.S., Rajeswari, R., Yuvaraj, M., Pradeep, D., Guna, M., & Yoganathan, G. (2022). Synthesis and characterization of nano-sulfur and its impact on growth, yield, and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21 January 2022.
39. Tang, E., Liao, W., & Thomas, S.C. (2023). Optimizing biochar particle size for plant growth and mitigation of soil salinization. *Agronomy*, 13, 1394. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051394>
40. Tekin, G.K., Akalp, E., Pirinc, V., & Toncer, O. (2022). *The effect of various fertilizer forms on the essential oil composition of the summer savory (Satureja hortensis L.)*. 7<sup>th</sup> International Mediterranean Science and Engineering Congress, Bildirini. 107, 246-251.
41. Turganbay, S., Aidarova, S.B., Turganbay, G., Tileuberdi, Y., & Chen, S.L. (2019). Synthesis and characterization of sulfur nanoparticles with WSP/surfactants mixtures. *International Journal of Biological Chemistry*, 12, 146-152. <https://doi.org/10.26577/ijbch-2019-1-i19>
42. Yuan, H., Liu, Q., Guo, Zh., Fu, J., Sun, Y., Gu, Ch., Xing, B., & Dhankher, O.P. (2021). Sulfur nanoparticles improved plant growth and reduced mercury toxicity via mitigating the oxidative stress in *Brassica napus* L. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128589. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128589>
43. Zare ak Ziaberi, S.S., & Majidian, M. (2022). Effects of zinc, boron, and sulfur on quantitative and qualitative characteristic of *Allium sativum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(4), 592-607. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.358786.3174>



## Contents

|                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Investigation of Genotype Variation of Damask Rose (<i>Rosa damascena</i> Mill.) in Iran Based on the Rate of Essence and some Morphologic and Physiologic Traits</b>                                          | 359 |
| B. Kaviani, R. Mohammadipour, D. Hashemabadi, M.H. Ansari, R. Onsinejad, A.R. Berimavandi                                                                                                                         |     |
| <b>Effect of Iron Fertilizers and Tuber Size on the Quality of Potato Tuber (<i>Solanum tubersum</i> L.)</b>                                                                                                      | 373 |
| M. Pourahmadi, R. Zargami, M. Diyanat, A. Mohammadi Torkashvand                                                                                                                                                   |     |
| <b>Improving the Quality and Shelf life of Kinnow Mandarin (<i>Citrus reticulata</i> L.) Fruits using Pre- and Post-Harvest Melatonin Treatments</b>                                                              | 387 |
| S. Molaei Mohammad Abadi, S. Rastegar                                                                                                                                                                             |     |
| <b>Evaluation of Physiological and Biochemical Properties in some Grape (<i>Vitis vinifera</i> L.) Cultivars</b>                                                                                                  | 403 |
| A. Goodarzi, M. Yadegari, S.A. Mousavi, S.H. Nourbakhsh                                                                                                                                                           |     |
| <b>Comparison of the Effect of <i>Mentha</i> × <i>piperita</i> L. Essential Oil in Free and Nanoencapsulated Forms on Some Physicochemical Properties of Cherry Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Fruit</b> | 421 |
| M. Vakili-Ghartavol, H. Arouiee, Sh. Golmohammadzadeh, M. Naseri, L. Bandian                                                                                                                                      |     |
| <b>Response of Yield and Yield Components of Table Grape cv. Yaghooti (<i>Vitis vinifera</i> L.) to Deficit Irrigation at Different Growth Stages</b>                                                             | 441 |
| M. Fazeli Rostampour                                                                                                                                                                                              |     |
| <b>Effect of 24-Epibrassinolide on Nutritional Value and Marketability of Strawberry Fruit (<i>Fragaria</i> × <i>ananasa</i> cv. Monterey)</b>                                                                    | 455 |
| S.M.A. Kadhim Al-Janabi, M.R. Asghari, P. Zahedipour Sheshglani                                                                                                                                                   |     |
| <b>Evaluation of the Effectiveness of Iceberg Lettuce (<i>Lactuca sativa</i> var. Bruma Rz) Yield from Interaction of Cover Crops and Hand-Weeding</b>                                                            | 471 |
| F. Ahmadnia, A. Ebadi, M. Hashemi                                                                                                                                                                                 |     |
| <b>Evaluating of Morphological and Phenological Diversity of Some Promising Genotypes of Pistachio (<i>Pistacia vera</i> L.) in Traditional Orchard of Qazvin</b>                                                 | 489 |
| P. Kakvand, A. Soleimani, F. Razavi, G. Brar                                                                                                                                                                      |     |
| <b>Breeding of Nutty Watermelon (<i>Citrullus lanatus</i> (Thund) Matsum and Nakai) Evaluation and Selection from among the Populations of some Landraces</b>                                                     | 505 |
| K. Hokmabadi, S.H. Nemati, R. Tavakkol Afshari                                                                                                                                                                    |     |
| <b>Effect of Levels of Biochar on Growth and some Qualitative Characteristics of <i>Satureja hortensis</i> L. in Conditions of Sulfur Nutrition</b>                                                               | 525 |
| M.B. Amiri, V. Mohammadzadeh Kakhki, M.H. Aminifard                                                                                                                                                               |     |

# HORTICULTURAL SCIENCES

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

**Vol. 39**

**No. 3**

**2025**

**Published by:** College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

**Editor in charge:** Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

**General Chief Editor:** Tehranifar, A. (Horticultural Sciences) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

**Editorial Board:**

|                       |                              |                                                                                                       |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arouiee, H.           | Horticultural Sciences       | Ferdowsi University of Mashhad                                                                        |
| Abedi, B.             | Horticultural Sciences       | Ferdowsi University of Mashhad                                                                        |
| Tehraniifar, A.       | Horticultural Sciences       | Ferdowsi University of Mashhad                                                                        |
| Shoor, M.             | Horticultural Sciences       | Prof. Ferdowsi University of Mashhad                                                                  |
| Haghighi, M.          | Horticultural Sciences       | Prof. Isfahan University of Technology                                                                |
| Hassanzadeh Mobini, S | Phytotron Facility Manager   | Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Queen's University, Kingston, Canada              |
| Khanizadeh, S.H.      | Research Scientist           | Bioproducts and Bioprocesses, Agriculture and Agri-Food Canada                                        |
| Khazaei, H            | Plant Breeding               | Plant Breeding, AVRDC - The World Vegetable Center                                                    |
| Davarynejad, G.H.     | Horticultural Sciences       | Ferdowsi University of Mashhad                                                                        |
| M. Rahemi             | Horticultural Sciences       | Shiraz University                                                                                     |
| Zamani, Z.            | Horticultural Sciences       | University of Tehran, Iran                                                                            |
| Sharifani, M.M.       | Horticultural Sciences       | Gorgan University of Agricultural Science & Natural Resources                                         |
| Azizi, M.             | Medicinal Plants             | Ferdowsi University of Mashhad                                                                        |
| Ebadi, A.             | Horticultural Sciences       | Tehran University                                                                                     |
| Fallahi, E.           | Horticultural Sciences       | Department of Plant Sciences, University of Idaho                                                     |
| Farsi, M.             | Plant Breeding and Genetics  | Ferdowsi University of Mashhad                                                                        |
| Kafi, M.              | Floriculture and landscaping | Tehran University                                                                                     |
| Lahouti, M.           | Plant Physiology             | Ferdowsi University of Mashhad                                                                        |
| Fujii, Y.             | Agricultural                 | Tokyo University of Agriculture and Technology, International Environmental and Agricultural Sciences |

**Publisher:** Ferdowsi University of Mashhad

**Address:** College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

**P.O.BOX:** 91775- 1163

**Tel:** +98-0511- 38804621

**Fax:** +98-0511- 8787430

**E-Mail:** Jhorts4@um.ac.ir

**Web Site:** <https://jhs.um.ac.ir>



Ferdowsi University  
of Mashhad

Vol. 39

No. 3

2025

# Journal of Horticultural Science

( Agricultural Science and Technology )



ISSN:2008-4730

## Contents

|                                                                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Investigation of Genotype Variation of Damask Rose ( <i>Rosa damascena</i> Mill.) in Iran Based on the Rate of Essence and some Morphologic and Physiologic Traits .....                                  | 359 |
| B. Kaviani, R. Mohammadipour, D. Hashemabadi, M.H. Ansari, R. Onsinejad, A.R. Berimavandi                                                                                                                 |     |
| Effect of Iron Fertilizers and Tuber Size on the Quality of Potato Tuber ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....                                                                                             | 373 |
| M. Pourahmadi, R. Zargami, M. Diyanat, A. Mohammadi Torkashvand                                                                                                                                           |     |
| Improving the Quality and Shelf life of Kinnow Mandarin ( <i>Citrus reticulata</i> L.) Fruits using Pre- and Post-Harvest Melatonin Treatments.....                                                       | 387 |
| S. Molaei Mohammad Abadi, S. Rastegar                                                                                                                                                                     |     |
| Evaluation of Physiological and Biochemical Properties in some Grape ( <i>Vitis vinifera</i> L.) Cultivars .....                                                                                          | 403 |
| A. Goodarzi, M. Yadegari, S.A. Mousavi, S.H. Nourbakhsh                                                                                                                                                   |     |
| Comparison of the Effect of <i>Mentha × piperita</i> L. Essential Oil in Free and Nanoencapsulated Forms on Some Physicochemical Properties of Cherry Tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) Fruit..... | 421 |
| M. Vakili-Ghartavol, H. Arouiee, Sh. Golmohammadzadeh, M. Naseri, L. Bandian                                                                                                                              |     |
| Response of Yield and Yield Components of Table Grape cv. Yaghooti ( <i>Vitis vinifera</i> L.) to Deficit Irrigation at Different Growth Stages .....                                                     | 441 |
| M. Fazeli Rostampour                                                                                                                                                                                      |     |
| Effect of 24-Epibrassinolide on Nutritional Value and Marketability of Strawberry Fruit ( <i>Fragaria × ananasa</i> cv. Monterey).....                                                                    | 455 |
| S.M.A. Kadhim Al-Janabi, M.R. Asghari, P. Zahedipour Sheshglani                                                                                                                                           |     |
| Evaluation of the Effectiveness of Iceberg Lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> var. Bruma Rz) Yield from Interaction of Cover Crops and Hand-Weeding.....                                                     | 471 |
| F. Ahmadnia, A. Ebadi, M. Hashemi                                                                                                                                                                         |     |
| Evaluating of Morphological and Phenological Diversity of Some Promising Genotypes of Pistachio ( <i>Pistacia vera</i> L.) in Traditional Orchard of Qazvin.....                                          | 489 |
| P. Kakvand, A. Soleimani, F. Razavi, G. Brar                                                                                                                                                              |     |
| Breeding of Nutty Watermelon ( <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb) Matsum and Nakai) Evaluation and Selection from among the Populations of some Landraces .....                                             | 505 |
| K. Hokmabadi, S.H. Nemati, R. Tavakkol Afshari                                                                                                                                                            |     |
| Effect of Levels of Biochar on Growth and some Qualitative Characteristics of <i>Satureja hortensis</i> L. in Conditions of Sulfur Nutrition .....                                                        | 525 |
| M.B. Amiri, V. Mohammadzadeh Kakhki, M.H. Aminifard                                                                                                                                                       |     |