



عنوان مقالات

- ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکی شانزده ژنوتیپ زرشک بومی ایران ۵۵۱
مهسا خدابنده- مجید عزیزی- احمد بالندری- حسین آرونی
- تأثیر محلول پاشی پتاسیم بر بوته‌های خیار رقم 'Miran' تحت تنش خشکی ۵۶۵
محیا ساجدی مهر- مریم حقیقی- منیره محنت کش
- تأثیر محلول پاشی برگ‌ی منابع مختلف کلسیم بر کیفیت و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی کلم گل رقم 'رومانسکو' ۵۷۹
رضا نجفی- طاهر برزگر
- تأثیر کاربرد ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد، صفات رویشی و متابولیت‌های ثانویه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) ۵۹۳
سلیمه مختومی- شبنم خوشبخت- عباسعلی نوری نیا
- ارزیابی رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه نعنای (*Mentha* spp.) در سیستم هواکشت تحت شرایط کشت گلخانه‌ای ۶۰۵
مریم یعقوب‌وند- حسن موموند- محمدرضا راجی- اشکان بنان
- اثر سینامیک اسید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نشاء خیار تحت تنش سرما ۶۲۱
زهرا دارابی- فردین قبری- جواد عرفانی مقدم
- بررسی تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری برخی ویژگی‌های گل در ژنوتیپ‌های مختلف داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) ۶۳۳
بهروز مرادی عاشور- خسرو پرویزی- محمد حسین عظیمی
- اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات مورفوفیزیولوژیکی عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) تحت تنش کم آبی ۶۴۵
سارا سیاه منصور- عبدالله احتشام نیا- عبدالحسین رضایی نژاد
- بررسی تغییرات محتوای آتکالونیدها و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی تاتوره (*Datura stramonium* L.) تحت تأثیر تاریخ کاشت و سطوح تراکم بوته ۶۵۹
زهرا ایزدی- عباس بیابانی- حسین صبوری- بابک بحرینی نژاد- زنده یاد عبدلطیف قلی زاده
- تأثیر نوع رنگ و درصد سایه‌دهی سایبان بر برخی از ویژگی‌های رویشی، کمی و کیفی انگور رقم 'ریش‌بابا' ۶۷۳
لیلا جعفری بورکی- بیژن کاووسی- حمید زارع
- تأثیر گاما آمینو بوتیریک اسید بر بهبود تحمل به تنش کم آبی در سبزی خرفه (*Portulaca oleracea*) ۶۸۵
نجمه زینلی‌پور^۱- فاطمه عاقبتی
- بهبودسازی جوانه‌زنی پذر، شاخص‌های رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهچه کرفس کوهی در شرایط آزمایشگاهی ۶۹۵
خدیجه احمدی- حشمت امیدی- الیاس سلطانی
- مقایسه برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میزان پلی فنول‌ها در میوه شش رقم انار ۷۱۱
علیرضا بنیان پور- بابک جمالی
- بررسی تنوع مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی جمعیت‌های مختلف گوش‌بره (*Phlomis olivieri* Benth.) در استان همدان ۷۲۳
مهتاب صالحی- رمضان کلوندی

Contents

- Evaluation of Some Physical Properties of Sixteen Iranian Indigenous Barberry Genotypes..... 549
M. Khodabandeh, M. Azizi, A. Balandari, H. Arouiee
- The Effect of Potassium Foliar Application on Cucumber Plants of 'Miran' Cultivar under Drought Stress..... 563
M. Sajedimehr, M. Haghighi, M. Mehnatkesh
- The Effect of Foliar Spray of different Calcium Sources on Antioxidant Properties and Quality of Cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco')..... 577
R. Najafi, T. Barzegar
- The Effect of Application of Vermi-compost and Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) on Yield, Vegetative Traits and Secondary Metabolites of Basil (*Ocimum basilicum* L.)..... 591
S. Makhtoumi, Sh. Khoshbakht, A.A. Nourinia
- Evaluation of Growth, Yield and Morphological and Physiological Characteristics of Five Mint (*Mentha* spp.) Species in the Aeroponic System under Greenhouse 603
M. Yaghobvand, H. Mumivand, M.R. Raji, A. Banan
- Effect of Cinnamic Acid on Morphophysiological Characteristics of Cucumber Seedling under Chilling Stress..... 619
Z. Darabi, F. Ghanbari, J. Erfani Moghadam
- Study of Genetic Variation and Heritability of some Flower Traits in different *Chrysanthemum* (*Chrysanthemum morifolium*) Genotypes 631
B. Moradi Ashour, K. Parvizi, M.H. Azimi
- Effect of Salicylic acid Application on Morphophysiological Traits of *Physalis peruviana* L. under Deficit Water Stress 643
S. Siahmansour, A. Ehtesham Nia, A. Rezaei Nejad
- Evaluation of Changes in Alkaloid Content and some Physiological Traits of *Datura stramonium* L. under the Influence of Planting Date and Plant Density Levels 657
Z. Izadi, A. Biabani, H. Sabouri, B. Bahreininejad, A.L. Qolizadeh
- Response of some Vegetative, Qualitative and Quantitative Traits of Grape Vine (*Vitis vinifera* L. Cv. Rishbaba) to Type of Color and Percentage of Shading in Netting System..... 671
L. Jafari, B. Kavooosi, H. Zare
- The Effect of Gamma Amino Butyric Acid on Improving Dehydration Stress Tolerance in *Portulaca oleracea* 683
N. Zeinali Pour, F. Aghebbati
- Optimization of Seed Germination, Growth Index and Photosynthetic Pigments Content of *Kelussia odoratissima* Mozaff Seedlings under Laboratory Conditions 693
Kh. Ahmadi, H. Omid, E. Soltani
- Comparison of some Physicochemical Characteristics and Polyphenolic Content in Six Pomegranate (*Punica granatum*) Cultivars..... 709
A.R. Bonyanpour, B. Jamali
- Evaluation of Morphological and Phytochemical Diversity of different Populations of *Phlomis olivieri* Benth. in Hamedan Province..... 721
M. Salehi, R. Kalvandi

نشریه علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)

26524

21/2015

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

جلد 36 شماره 3 پاییز 1401

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)
دانشیار - علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - فیزیولوژی بذر (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)
دانشیار - علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)
دانشیار - علوم باغبانی (دانشگاه صنعتی اصفهان)
پژوهشگر - موسسه کشاورزی و غذا اوتاوا کانادا
استاد - علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - علوم باغبانی (دانشگاه شیراز)
استاد - علوم باغبانی (دانشگاه تهران)
دانشیار - علوم باغبانی (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)
استاد - گیاهان دارویی (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - علوم باغبانی (دانشگاه تهران)
استاد - گروه علوم باغبانی دانشگاه آیداهوی آمریکا
استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - گلکاری و مهندسی فضای سبز (دانشگاه تهران)
استاد - فیزیولوژی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)

آرویی، حسین
توکل افشاری، رضا
تهرانی فر، علی
شور، محمود
حقیقی، مریم
خانی زاده، شاهرخ
داوری نژاد، غلامحسین
راحمی، مجید
زمانی، ذبیح اله
شریفانی، محمد مهدی
عزیزی، مجید
عبادی، علی
فلاحی، اسماعیل
فارسی، محمد
کافی، محسن
لاهوئی، مهرداد

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

- 551 ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکی شانزده ژنوتیپ زرشک بومی ایران
مهسا خداپنده - مجید عزیزی - احمد بالندری - حسین آروئی
- 565 تأثیر محلول پاشی پتاسیم بر بوته‌های خیار رقم 'Miran' تحت تنش خشکی
محیا ساجدی مهر - مریم حقیقی - منیره محنت کش
- 579 تأثیر محلول پاشی برگی منابع مختلف کلسیم بر کیفیت و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی کلم گل رقم 'رومانسکو' (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco')
رضا نجفی - طاهر برزگر
- 593 تأثیر کاربرد ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد، صفات رویشی و متابولیت‌های ثانویه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)
سلیمه مخومی - شبنم خوشبخت - عباسعلی نوری نیا
- 605 ارزیابی رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه نناع (*Mentha* spp.) در سیستم هواکشت تحت شرایط کشت گلخانه‌ای
مریم یعقوب‌وند - حسن مومیوند - محمدرضا راجی - اشکان بنان
- 621 اثر سینامیک اسید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نشاء خیار تحت تنش سرما
زهرا دارابی - فردین قنبری - جواد عرفانی مقدم
- 633 بررسی تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری برخی ویژگی‌های گل در ژنوتیپ‌های مختلف داوودی (*Chrysanthemum morifolium*)
بهروز مرادی عاشور - خسرو پرویزی - محمد حسین عظیمی
- 645 اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات مورفوفیزیولوژیکی عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) تحت تنش کم آبی
سارا سیاه منصور - عبدالله احتشام نیا - عبدالحسین رضایی نژاد
- 659 بررسی تغییرات محتوای آلکالوئیدها و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی تاتوره (*Datura stramonium* L.) تحت تاثیر تاریخ کاشت و سطوح تراکم بوته
زهرا ایزدی - عباس بیابانی - حسین صبوری - بابک بحرینی نژاد - زنده یاد عبدلطیف قلی زاده
- 673 تأثیر نوع رنگ و درصد سایه‌دهی سایبان بر برخی از ویژگی‌های رویشی، کمی و کیفی انگور رقم 'ریش بابا'
لیلا جعفری بورکی - بیژن کاووسی - حمید زارع
- 685 تأثیر گاما آمینو بوتیریک اسید بر بهبود تحمل به تنش کم آبی در سبزی خرفه (*Portulaca oleracea*)
نجمه زینلی پور - فاطمه عاقبتی
- 695 بهینه‌سازی جوانه‌زنی بذر، شاخص‌های رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهچه کرفس کوهی در شرایط آزمایشگاهی
خدیجه احمدی - حشمت امیدی - الیاس سلطانی
- 711 مقایسه برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میزان پلی فنول‌ها در میوه شش رقم انار
علیرضا بنیان پور - بابک جمالی
- 723 بررسی تنوع مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی جمعیت‌های مختلف گوش بره (*Phlomis olivieri* Benth.) در استان همدان
مهتاب صالحی - رمضان کلوندی



Evaluation of Some Physical Properties of Sixteen Iranian Indigenous Barberry Genotypes

M. Khodabandeh¹, M. Azizi^{2*}, A. Balandari³, H. Arouiee⁴

Received: 31-05-2016

Revised: 26-10-2016

Accepted: 21-12-2016

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Khodabandeh, M., Azizi, M., Balandari, A., & Arouiee, H. (2022). Evaluation of Some Physical Properties of Sixteen Iranian Indigenous Barberry Genotypes. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 549-562. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2021.58409.0](https://doi.org/10.22067/jhs.2021.58409.0)

Introduction

Barberries are a broad class of spiny evergreen or deciduous shrubs belonging to the *Berberidaceae* family. They are of great importance due to their different parts' nutritional and medicinal properties and their ornamental applications. Genus *Berberis*, the biggest genus in *Berberidaceae*, includes more than 660 species. Barberry grows in Asia and Europe and has been used extensively as a medicinal plant in traditional medicine. In Iranian traditional medicine, several properties, such as antibacterial, antipyretic, antipruritic and antiarrhythmic, have been reported with unknown mechanisms of action. Incredible structural diversity among barberries' active components makes them a valuable source of novel therapeutic compounds. Seedless barberry (*Berberis integerrima* 'Asperma') is one of Iran's valuable indigenous medicinal plants. Common asexual propagation of this plant over the years and consequently low genetic diversity in populations of the seedless barberry restricts selection outcomes in breeding programs. Utilizing the indigenous wild genotypes of the barberry genus, which are easily able to cross-pollinate, is one of the best methods to increase genetic diversity. Accordingly, several wild seedy barberry genotypes were identified from all over Iran, collected and established in a collection in Mashhad; then, 16 genotypes were selected and their physical properties were studied.

Materials and Methods

In this study, ripe fruits of sixteen unique genotypes (i.e., Iranian seedless barberry and fifteen seedy genotypes) were harvested in October- November 2015 and kept in a refrigerator in order to measure some of their physical properties in fresh fruits (berry dimension, 100-berry weight, juice content and color indices). For other properties, fruits were dried at room temperature. Fruit cluster length was measured by means of a ruler, the number of berries/cluster and the number of set/aborted seeds in berry by counting, berry dimensions by a digital caliper, weight of fresh and dried 100-berry, percentage of pulp and seed as well as fruit juice content by a scale with 0.001 accuracy. Moisture content was determined using an oven with 75 °C temperature for 48 hours. Color indices, including L*, a* and b*, were measured using a portable colorimeter (Konica Minolta Chroma Meters CR-410). This study was performed using a completely randomized design with three replications. Data were analyzed by Minitab software version 16 using analysis of variance (ANOVA), and differences among means were determined for significance at $p < 0.05$ using the Bonferroni test.

Results and Discussion

The results indicated significant differences among genotypes. Based on the results, cluster length ranged between 1.67cm (code 5-3) and 6.29 cm (code 10-1); moisture content was between 8.20% and 11.84% in genotypes 8-3 and 13-2, respectively. The fruit juice content range of the studied genotypes was between 51.22% and 71.87%. Genotype 2-1 had the highest dimension values and the highest 100-berry fresh weight (30.72g) and dry weight (10.00g) fruits. The lowest weights of 100-berry were related to 14-1 and seedless barberry.

1, 2 and 4- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: azizi@um.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Food Safety and Quality Control, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Genotypes 5-2 had the highest pulp percentage (98.17%) and the lowest seed percentage (1.50%) and 10-1 had the lowest pulp percentage (51.93%) and the highest seed percentage (48.07%). The highest number of set seeds (1.73) and the lowest number of aborted seeds (zero) were found in (10-1) and (14-2), respectively. Based on the results, seedless barberry had the lowest number of set seeds (0.00) and the highest number of aborted seeds (3.27). Regarding fruit color indices, genotypes showed significant variability from orange to brown and dark blue. Color indices L^* , a^* and b^* ranged (from 22.83 to 38.13), (2.31 to 37.76) and (1.18 to 2.28), respectively.

Conclusion

In conclusion, it can be said that all genotypes have considerable variability in fruit traits (color, fruit dimensions, pulp/seed percentage, moisture content, etc.). Based on the result of this study, genotype 5-2 was the most similar genotype to seedless barberry. The seedless barberry populations have low genetic diversity due to asexual propagation through suckers over many years. Indigenous genotypes can be a valuable genetic resource for future breeding programs to improve the quantitative and qualitative characteristics of seedless barberry and introduce new cultivars of seedless barberry with different colors and consequently different nutritional-medicinal properties.

Keywords: Barberry diversity, Medicinal shrub, Seedless barberry, Seedy barberry, Small fruit

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۵۴۹-۵۶۲

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکی شانزده ژنوتیپ زرشک بومی ایران

مهسا خدابنده^۱ - مجید عزیزی^{۲*} - احمد بالندری^۳ - حسین آروئی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۱

چکیده

زرشک‌ها (*Berberis spp.*) گروه بزرگی از درختچه‌های خاردار همیشه‌سبز یا خزان‌دار متعلق به خانواده زرشک (*Berberidaceae*) هستند که به دلیل کاربردهای متعدد از قبیل مصارف خوراکی، خواص دارویی اندام‌های مختلف آن‌ها در پزشکی و همچنین به عنوان گیاهان زینتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. گونه‌های زرشک با توجه به تنوع زیادی که دارند، یکی از ذخایر توارثی گیاهی ارزشمند کشورمان محسوب می‌شوند. یکی از اقدامات اولیه در مورد به‌نژادی و بهبود کیفی محصول زرشک بی‌دانه، شناسایی و جمع‌آوری انواع ژنوتیپ‌های وحشی بی‌دانه و دانه‌دار زرشک می‌باشد. در پژوهش حاضر شانزده ژنوتیپ زرشک بومی ایران (زرشک بی‌دانه و پانزده ژنوتیپ دانه‌دار) از لحاظ برخی خصوصیات فیزیکی ارزیابی گردید. دامنه مقادیر این صفات شامل طول خوشه (۶/۲۹ - ۱/۶۷ سانتی‌متر)، تعداد حبه در خوشه (۲۳/۹۰ - ۴/۶۷ عدد)، طول حبه (۱۱/۸۷ - ۷/۶۶ میلی‌متر)، قطر حبه (۷/۳۹ - ۴/۷۴ میلی‌متر)، تعداد بذور سالم (۱/۷۳ - ۰ عدد)، تعداد بذور سقط شده (۳/۲۷ - ۰ عدد) در حبه، وزن صد حبه تازه (۳۰/۷۲ - ۱۰/۸۹ گرم) و خشک (۱۰/۰۰ - ۳/۳۲ گرم)، درصد گوشت (۹۸/۱۷ - ۵۱/۹۳ درصد) و درصد بذور (۴۸/۰۷ - ۱/۵۰ درصد)، درصد آب‌میوه (۷۱/۸۷ - ۵۱/۲۲ درصد)، درصد رطوبت (۱۱/۸۴ - ۸/۲۰ درصد) و شاخص‌های رنگ L (۳۸/۱۳ - ۲۲/۸۳)، a (۳۷/۷۶ - ۲/۳۱) و b (۲۱/۵۲ - ۳/۲۳) تعیین شد. رنگ میوه ژنوتیپ‌های زرشک مورد بررسی بسیار متنوع و از رنگ نارنجی تا قهوه‌ای و آبی تیره متغیر بودند. ژنوتیپ ۵-۲ بیشترین شباهت را از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی به زرشک بی‌دانه داشت. در مجموع می‌توان اظهار نمود که ژنوتیپ‌های زرشک مورد بررسی از نظر خصوصیات میوه (رنگ، ابعاد حبه، درصد گوشت و بذور و غیره) تنوع قابل توجهی داشته و مواد ژنتیکی ارزشمندی جهت پژوهش‌های به‌نژادی آینده در زمینه بهبود خصوصیات کمی و کیفی ریزمیوه زرشک می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تنوع زرشک، درختچه دارویی، ریزمیوه، زرشک بی‌دانه، زرشک دانه‌دار

مقدمه

(Tavakoli et al., 2021). انواع زرشک در اکثر کشورهای جهان بیشتر به عنوان یک گیاه دارویی و زینتی شناخته می‌شود. زرشک‌های دانه‌دار پراکنش وسیعی در سطح کشور دارند و به دلیل مصارف غذایی، دارویی و زینتی از اهمیت زیادی برخوردارند (Balandari, 2002).

تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی ماشین‌های برداشت و تجهیزات انتقال، درجه‌بندی، فرآوری و همچنین جهت برنامه‌های به‌نژادی به منظور دستیابی به ارقام پرمحصول یا دارای خصوصیات ویژه میوه همیشه مورد توجه بوده است (Nazaripur et al., 2011). دسترسی به اطلاعات علمی درباره ویژگی‌های فیزیکی انواع زرشک جهت طراحی بهینه تجهیزات انبارداری، حمل و نقل، فرآوری و بسته‌بندی ضروری به نظر می‌رسد.

جنس زرشک (*Berberis*)، بزرگ‌ترین جنس خانواده زرشک (*Berberidaceae*) است. این تیره گیاهی شامل بیش از ۶۶۰ گونه بوده (Fallahi et al., 2010) و بومی مناطق معتدل و نیمه‌استوایی اروپا، آسیا، آفریقا، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی می‌باشد

۱ و ۲ - به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*) نویسنده مسئول: Email: azizi@um.ac.ir

۳ - استادیار گروه ایمنی و کنترل کیفیت مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی مشهد

رنگ‌گیری و رسیدگی میوه‌ها و در نتیجه میزان مواد موثره آن‌ها موثر می‌باشد، نمونه‌برداری از قسمت‌های بالا و پایین شاخه‌های چهار سمت درختچه، به صورت تصادفی و به روش خوشه‌چینی با دست انجام شد. پس از جمع‌آوری، میوه‌ها به سردخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انتقال یافت.

تعیین رنگ میوه

به منظور تعیین رنگ میوه تازه از مدل رنگی CIE Lab بهره گرفته شد. این مدل استاندارد جهانی برای اندازه‌گیری رنگ بوده و شامل شاخص‌های L^* ، a^* و b^* می‌باشد. برای این منظور سه عدد پتری‌دیش توسط میوه‌های هر ژنوتیپ پر شد به طوری که ته ظرف توسط میوه‌ها کاملاً پوشانده شد. سپس با استفاده از دستگاه کالری‌متر (Konica Minolta Chroma Meters CR-410) ضرایب مورد نظر تعیین شد. از هر ژنوتیپ سه نمونه و در هر نمونه سه قرائت انجام شد.

تعیین طول خوشه، تعداد حبه در خوشه و ابعاد حبه

بدین منظور ده خوشه میوه به صورت تصادفی از هر تکرار انتخاب و طول آن‌ها به وسیله خط‌کش و تعداد حبه در خوشه به وسیله شمارش، تعیین شد. برای تعیین ابعاد حبه، طول و قطر ۱۰ حبه تصادفی در هر تکرار توسط کولیس دیجیتال با دقت (۰/۰۱ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد.

تعیین درصد آب میوه

به منظور تعیین درصد آب میوه ابتدا حدود ۳ گرم میوه تازه (با سه تکرار) با ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.001 گرم وزن شد (W_1) پس از آن، میوه‌ها به خشک‌کن منتقل شده و در شرایط سایه و دمای اتاق هواخشک گردیدند. میوه‌های هواخشک‌شده مجدداً توزین شدند (W_2). سپس با استفاده از فرمول (۱) درصد آب موجود در میوه‌ها تعیین گردید.

$$(1) \quad \text{درصد آب میوه (\% Juice)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

تعیین درصد رطوبت

محتوای رطوبتی نمونه‌های زرشک هواخشک شده با خشک کردن سه گرم از هر تکرار در هر ژنوتیپ، در آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید (Fallahi et al., 2010). بدین صورت که با قرار دادن وزن اولیه نمونه‌ها (سه گرم) (W_1) و وزن آن‌ها پس از خروج از آن (W_2) در فرمول (۲)، درصد رطوبت نمونه‌ها به دست آمد.

$$(2) \quad \text{درصد رطوبت (\% Moisture)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

تاکنون محققان متعددی ویژگی‌های فیزیکی را در انواع محصولات گزارش کرده‌اند (Velayatiet et al., 2011). فتح‌الله‌زاده و همکاران (Fathollahzadeh et al., 2008) خواص فیزیکی زرشک بی‌دانه محصول کرج را در پنج طیف محتوای رطوبتی بررسی و گزارش کردند که با افزایش رطوبت، ضریب کرویت، وزن و چگالی توده زرشک افزایش و تخلخل آن کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر ولایتی و همکاران (Velayatiet et al., 2011) برخی خواص فیزیکی زرشک بی‌دانه شامل ابعاد، قطر متوسط هندسی، جرم هزار دانه و چگالی توده را تحت تاثیر تغییرات محتوای رطوبتی میوه مورد مطالعه قرار دادند. فرهادی چیتگر و همکاران (Farhadi et al., 2014) به بررسی فیزیکوشیمیایی سه گونه زرشک وحشی (زرافشانی، زالزالکی و بی‌دانه) از شهرستان‌های شیروان و بیرجند پرداختند و خصوصیات ماند ابعاد، وزن، حجم، چگالی، نسبت وزن دانه به وزن کل میوه و رنگ را در میوه تازه اندازه‌گیری کردند. این پژوهشگران همچنین برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی زرشک سیاه (Berberis crataegina) را مورد مطالعه قرار دادند و درصد رطوبت میوه را ۷۰/۹۸ درصد گزارش نمودند (Farhadi et al., 2012).

طالبی و همکاران (Talebi et al., 2020) نیز در پژوهشی برخی خصوصیات فیزیکی و ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های زرشک مناطق شمال شرقی ایران را شامل طول خوشه، ابعاد حبه، وزن و حجم خشک و تازه صد حبه مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به این که زرشک بی‌دانه به طریقه غیرجنسی (پاجوش) تکثیر می‌شود، تنوع ژنتیکی جمعیت‌های زرشک پایین بوده و در واقع اکثر آن‌ها کلون هستند (Alemardan et al., 2013). مطالعه تنوع ژنوتیپ‌های بومی هر منطقه یکی از اقدامات اولیه در شناسایی ظرفیت‌های موجود در این گونه گیاهی به منظور بهره‌برداری در راستای انجام عملیات اهلی کردن و به‌نژادی می‌باشد (Pirkhezri et al., 2022). در این راستا پژوهش‌های محدودی در مورد تنوع زرشک در ایران انجام گرفته است؛ لذا در این تحقیق خصوصیات فیزیکی و رنگ میوه شانزده ژنوتیپ زرشک بومی جمع‌آوری شده از استان‌های شرقی ایران مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا شانزده ژنوتیپ شاخص از میان بیش از ۳۰ ژنوتیپ بومی موجود در باغ کلکسیون زرشک واقع در موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی مشهد (ویژگی‌های اقلیمی مشهد در جدول ۱ آورده شده است) انتخاب شد؛ سپس سه درختچه (با سن تقریبی ۱۸ سال) از هر ژنوتیپ به عنوان سه تکرار در نظر گرفته شد. نمونه برداری در مرحله رسیدگی کامل میوه‌ها در آبان‌ماه سال ۱۳۹۴، سال کم‌بار (Off-Year) صورت گرفت. باتوجه به اینکه زاویه و میزان تابش نور خورشید به قسمت‌های مختلف درختچه در سرعت

جدول ۱- مشخصات اقلیمی شهر مشهد
Table 1- Climatic parameters of Mashhad

مقدار Value	شاخص Parameter
59°38'E	طول جغرافیایی Longitude
36°16'N	عرض جغرافیایی Latitude
999.20	ارتفاع از سطح دریا Elevation (meters above mean sea level) (m)
7.10	میانگین حداقل دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) (۱۹۵۱-۲۰۰۵) Average annual minimum temperature (C°) (1951-2005)
21.10	میانگین حداکثر دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) (۱۹۵۱-۲۰۰۵) Average annual maximum temperature (C°) (1951-2005)
14	میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) (۱۹۵۱-۲۰۰۵) Average annual temperature (C°) (1951-2005)
8.27	میانگین فشار بخار سالیانه (درجه سانتی‌گراد) (۱۹۵۱-۲۰۰۵) Average annual vapor pressure (HPA) (1951-2005)
55	میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه (درصد) (۱۹۵۱-۲۰۰۵) Average annual relative humidity (%) (1951-2005)
257.43	میانگین بارش سالیانه (میلی‌متر) (۱۹۵۱-۲۰۰۰) Average annual precipitation (mm) (1951-2005)
غرب به شرق (West to East)	جهت باد غالب Dominant wind direction
2500	مجموع سالانه ساعات آفتابی (ساعت) Total annual sunshine duration (h)

* منبع: منابع ۷ و ۱۰

تعیین درصد وزنی گوشت و بذر

به منظور تعیین درصد گوشت و درصد بذر، میوه‌ها به خشک‌کن منتقل شده و در شرایط سایه و دمای اتاق هواخشک گردیدند. سپس از هر ژنوتیپ سه نمونه ۳ گرمی به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.01 گرم توزین شد (W_1) و پس از خروج بذور، وزن نمونه‌ها مجدداً مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (W_2). درصد وزنی گوشت و بذر طبق فرمول ۳ و ۴ محاسبه گردید:

$$\text{درصد وزنی بذر (Seed \%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{درصد وزنی گوشت (pulp \%)} = 100 - \text{درصد وزنی بذر} \quad (4)$$

تعیین وزن صد حبه تازه و خشک

وزن صد حبه زرشک تازه و خشک در سه تکرار از هر ژنوتیپ، توسط ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.01 گرم اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی، توسط نرم‌افزار مینی‌تب (Minitab) نسخه ۱۶ با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد توسط آزمون Bonferroni انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

تعیین تعداد بذور تشکیل شده و سقط شده

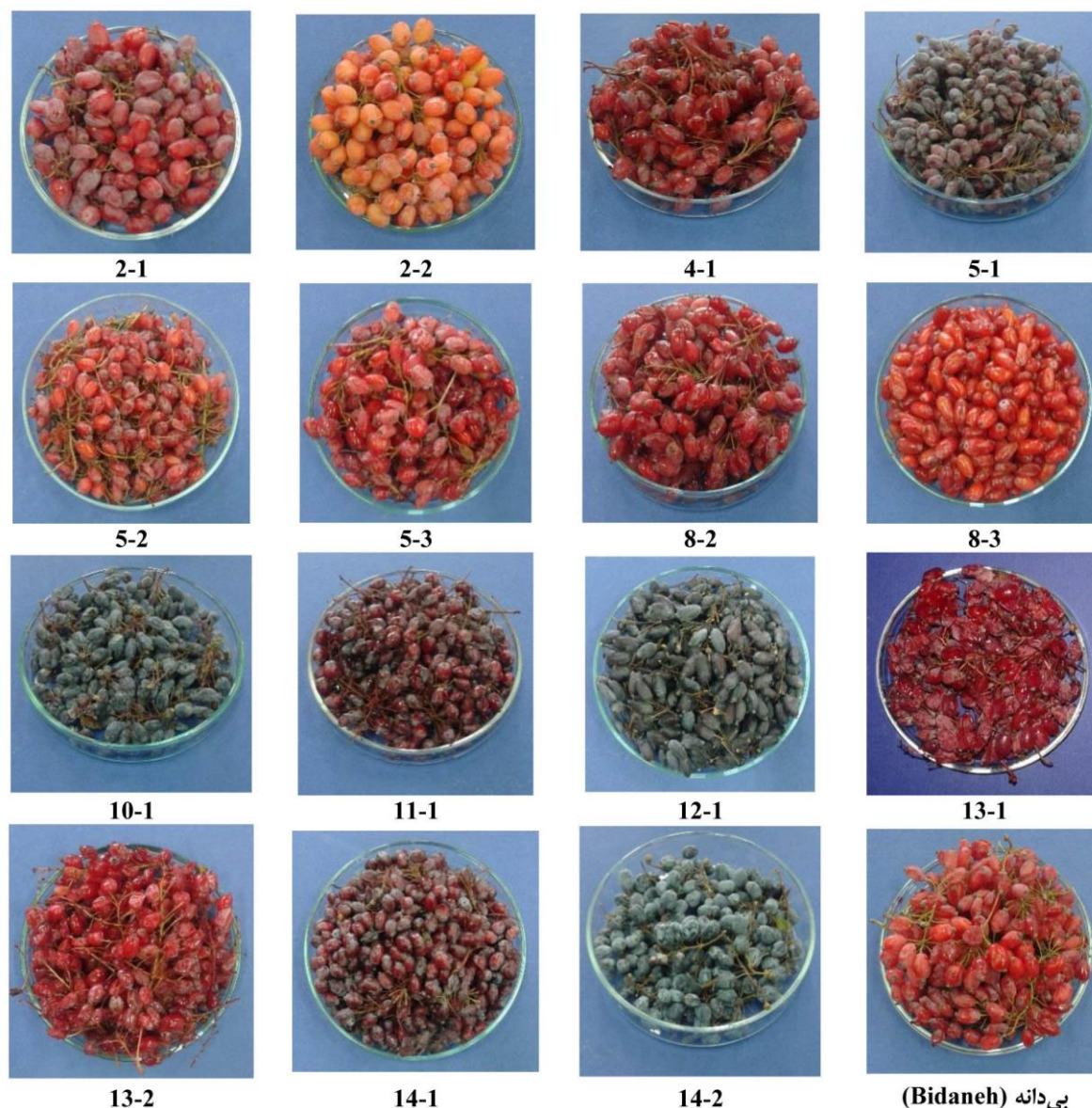
جهت شمارش تعداد بذور تشکیل شده (سالم) و بذور سقط شده در حبه، تعداد ۱۰ حبه زرشک از هر تکرار در هر ژنوتیپ به صورت تصادفی انتخاب شد و تعداد بذور سالم و سقط شده آن‌ها شمارش گردید.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیکی شانزده ژنوتیپ زرشک مورد بررسی

Table 2- Analysis of variance of physical characteristics in the sixteen evaluated barberry genotypes

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	درصد گوشت Pulp percentage	درصد بذر Seed percentage	درصد آبمیوه Fruit juice percentage	درصد رطوبت Moisture percentage	طول خوشه Cluster length	تعداد خوشه در Number of berries/cluster	طول حبه Berry length	قطر حبه Berry diameter	تعداد بذور Number of set seeds	تعداد سقط شده Number of aborted seeds	وزن صد حبه تازه 100- berry fresh weight	وزن صد خشک 100- berry dry weight	L*	a*	b*
ژنوتیپ Genotype	15	552.09**	554.39**	134.50**	3.39 **	6.44**	66.16**	5.81**	1.55**	0.79**	3.18**	112.37**	9.98**	64.68**	328.27**	133.56**
خطا Error	32	4.29	4.36	4.66	0.87	0.18	6.28	0.10	0.10	0.05	0.07	4.35	0.27	2.21	1.76	0.35
کل Total	47															

ns, * and **: به ترتیب غیر معنی دار، و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns, * and **: Non-significant, and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۱- تنوع رنگ میوه در شانزده ژنوتیپ زرشک مورد بررسی

(کدهای اشاره شده، کدهای هرباریومی ثبت شده در موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی مشهد می‌باشند.)

Figure 1- Color diversity in the sixteen evaluated barberry genotypes

(Figure codes are based on herbarium codes in the Research Institute of Food Science and Technology.)

شاخص‌های رنگ

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر روی خصوصیات فیزیکی میوه ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشخص گردید که تفاوت رنگ میوه تازه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی معنی‌دار بوده و از نارنجی تا قهوه‌ای و آبی تیره متغیر است (شکل ۱).

چنین تنوع رنگی در میوه زرشک حاکی از اختلاف قابل توجه در ترکیبات آنتوسیانین موجود در میوه‌های ژنوتیپ‌های مختلف بوده و در نتیجه از نظر ارزش غذایی و دارویی نیز بین ژنوتیپ‌ها اختلاف قابل

توجهی مورد انتظار است (Alemardan et al., 2013). از طرف دیگر می‌توان امیدوار بود که در آینده با انجام عملیات به‌نژادی زرشک‌هایی بی‌دانه با رنگ‌های مختلف به دست آورد که در صنایع غذایی به عنوان منابع جدید رنگ‌های طبیعی کاربرد داشته باشند (Alizadeh-Sani et al., 2021). همان‌گونه که در جدول ۳ آورده شده است، شاخص L^* بین ۲۲/۸۳ و ۳۸/۱۳، شاخص a^* بین ۲/۳۱ و ۳۷/۷۶ و شاخص b^* بین ۳/۲۳- و ۲۱/۵۲ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی متغیر بود. گرجیان و همکاران (Gorjian et al., 2011) مقادیر L (بین ۲/۰۱ تا ۲/۶۳)، a (بین ۱/۱۸ تا ۲/۲۸) و b (بین ۳/۸۵

(*al.*, 2014) مقادیر L (بین ۹/۷۰ تا ۱۴/۱۰)، a (بین ۳/۱۴ تا ۶/۱۵) و b (بین ۱/۸۵ تا ۴/۴۱) را در ۱۹ ژنوتیپ زرشک (*B. vulgaris*) تعیین کردند.

تا ۹/۷۹) را برای زرشک بی دانه تحت شرایط مختلف خشک کردن گزارش کردند. آکیولوت و همکاران (*Akbulut et al.*, 2009) نیز مقادیر L (۱۷/۰۵)، a (۲/۰۶) و b (۰/۲۰) را در زرشک *B. vulgaris* گزارش نمودند. همچنین ییلدیز و همکاران (*Yildiz et*

جدول ۳- شاخص‌های رنگ میوه تازه در شانزده ژنوتیپ زرشک مورد بررسی
Table 3- The fresh fruit color indices in the sixteen evaluated barberry genotypes

ژنوتیپ Genotype	شاخص‌های رنگ Color indices		
	L*	a*	b*
Bidaneh	30.20 ^b	30.62 ^b	9.14 ^{cd}
2-1	30.74 ^b	27.67 ^{bc}	7.86 ^{c-e}
2-2	38.13 ^a	35.70 ^a	21.52 ^a
4-1	27.45 ^{b-d}	25.98 ^c	7.68 ^{c-e}
5-1	22.83 ^d	16.77 ^d	2.11 ^f
5-2	30.84 ^b	27.56 ^{bc}	9.53 ^c
5-3	30.47 ^b	26.95 ^{bc}	8.22 ^{c-e}
8-2	31.23 ^b	26.49 ^{bc}	7.39 ^{de}
8-3	41.29 ^a	37.76 ^a	17.97 ^b
10-1	27.63 ^{bc}	6.51 ^e	-1.58 ^g
11-1	23.34 ^{cd}	19.29 ^d	2.74 ^f
12-1	26.71 ^{b-d}	4.46 ^e	-2.12 ^g
13-1	31.39 ^b	24.93 ^c	7.04 ^e
13-2	27.59 ^{b-d}	26.10 ^c	7.81 ^{c-e}
14-1	29.80 ^b	18.28 ^d	2.28 ^f
14-2	29.44 ^b	2.31 ^e	-3.23 ^g

میانگین‌های دارای حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون Bonferroni می‌باشند.
The same letters in each column indicate no significant difference based on the Bonferroni test at 5% of probability level.

ژنوتیپ ۲-۱ بیشترین طول حبه (۱۱/۸۷ میلی‌متر) و قطر حبه (۷/۳۹ میلی‌متر)، ژنوتیپ ۱۱-۱ کمترین طول حبه (۷/۶۶ میلی‌متر) و ژنوتیپ ۱۰-۱ کمترین قطر (۴/۷۴ میلی‌متر) را به خود اختصاص دادند. آکیولوت و همکاران (*Akbulut et al.*, 2009) طول (۷/۶۹ mm) و قطر (۳/۵۱ mm) زرشک *B. vulgaris* را گزارش نمودند.

درصد آب‌میوه و محتوای رطوبتی

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، بین برخی ژنوتیپ‌ها از نظر درصد آب میوه و رطوبت اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴). طبق نتایج ژنوتیپ ۸-۳ دارای بیشترین درصد آب‌میوه (۷۱/۸۷ درصد) و ژنوتیپ ۱۰-۱ دارای کمترین درصد آب‌میوه (۵۱/۲۲ درصد) و درصد رطوبت (۸/۲۰ درصد) بودند. همچنین ژنوتیپ‌های ۱۲-۱ بیشترین درصد رطوبت (۱۱/۸۴ درصد) را نشان دادند. تاکنون اثبات شده است که ارتباط تنگاتنگی بین محتوای رطوبتی و نگهداری محصولات وجود دارد و بررسی قابلیت نگهداری ژنوتیپ‌های مختلف در انبار نیاز به ارزیابی‌های دیگر دارد. درصد آب‌میوه نیز در تعیین نوع

خصوصیات فیزیکی

آنالیز خصوصیات فیزیکی شانزده ژنوتیپ زرشک در جداول ۴ و ۵ آمده است.

طول خوشه و تعداد حبه در خوشه

بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر صفات طول خوشه و تعداد حبه در خوشه مشاهده شد (جدول ۴). در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ ۵-۳ دارای بیشترین طول خوشه (۶/۲۹ سانتی‌متر) و ژنوتیپ ۱۱-۱ دارای کمترین طول خوشه (۱/۶۷ سانتی‌متر) بودند. همچنین طبق نتایج این بررسی، ژنوتیپ‌های ۱۴-۱ و ۲-۱ به ترتیب با تعداد ۲۳/۹۰ و ۴/۶۷ عدد دارای بیشترین و کمترین تعداد حبه در خوشه بودند.

ابعاد حبه

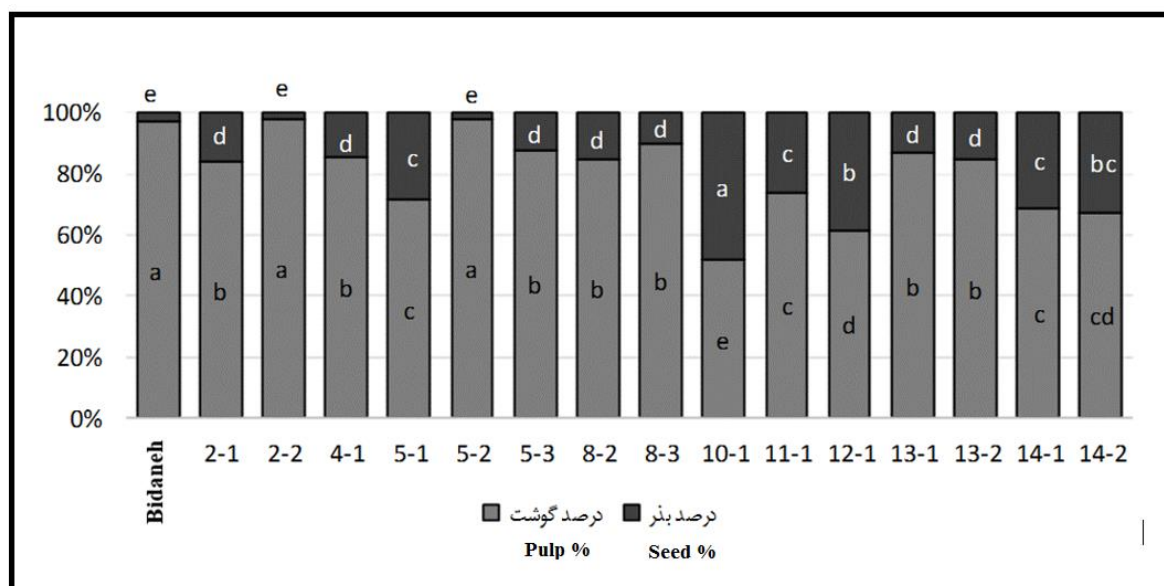
مقایسه اندازه حبه حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که

گرده‌افشانی با آن‌هاست. آکبولوت و همکاران (Akbulut et al., 2009) درصد گوشت زرشک *B. vulgaris* را ۷۵/۵۹ درصد ذکر کردند. زارعی و همکاران (Zarei et al., 2010) گزارش کردند که در ارقام انار مورد مطالعه از نظر درصد بذر به وزن آریل، رقم رباب بیشترین (۱۸/۱۷) درصد و رقم آقایی کمترین (۱۴/۰۷) درصد را دارا بودند. هر چه درصد وزنی دانه در میوه کمتر باشد نشان دهنده پتانسیل رقم مورد نظر به سمت کاهش درصد تشکیل بذر و بی‌دانگی می‌باشد که این موضوع می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی جهت معرفی ارقام بی‌دانه مد نظر قرار گیرد (Gorjian et al., 2011). از طرفی درصد بذر در هر ژنوتیپ، نشان دهنده امکان دورگ‌گیری از آن ژنوتیپ است که می‌توان در تولید ارقام هیبرید از آن‌ها بهره جست.

مصرف میوه موثر می‌باشد. آکبولوت و همکاران (Akbulut et al., 2009) محتوای رطوبتی میوه تازه (درصد آب‌میوه) را در زرشک *B. vulgaris* ۷۱/۴۲ درصد گزارش کردند.

درصد گوشت و بذر

میانگین درصدگوشت یکی از شاخص‌های تعیین نوع کاربرد خوراکی میوه می‌باشد که در میان ژنوتیپ‌های نامبرده دارای گوناگونی بوده و از ۵۱/۹۳ درصد در ژنوتیپ ۱-۱۰ تا ۹۸/۱۷ درصد در ژنوتیپ ۲-۵ متغیر بود (شکل ۲). درصد بذر در ژنوتیپ‌های نامبرده به ترتیب بیشترین (۴۸/۰۷ درصد) و کمترین (۱/۵۰ درصد) میزان بود. قابل ذکر است درصد بذور موجود در زرشک بی‌دانه به دلیل نزدیکی بوته‌های آن با بوته‌های زرشک دانه‌دار و در نتیجه



شکل ۲- درصد وزنی گوشت و بذر شانزده ژنوتیپ زرشک مورد بررسی

Figure 2- The pulp and seed weight percentage of the sixteen evaluated barberry genotypes (Bonferroni test, $p \leq 0.05$).

croatica بین ۱/۲۳ تا ۱/۵۸ عدد و در گونه *B. vulgaris* بین ۱/۳۶ تا ۱/۵۴ عدد گزارش کردند.

موسی‌زاده و همکاران (Moosazadeh et al., 2013) با مطالعه یازده رقم انگور گزارش کردند رقم سمرقندی لطف‌آباد حداکثر تعداد دانه در هر میوه (۳/۳۸ عدد) و رقم پشت‌گل مشهد حداقل تعداد آن (۱/۴۴ عدد) را دارا می‌باشند. ارقامی که توانایی تشکیل بذر کمتری را دارند از جهت بازار پسندی میوه و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی بسیار حائز اهمیت می‌باشند (Nazaripur et al., 2011). ژنوتیپ‌هایی که تعداد بذر سالم بیشتری دارند از سازگاری بالاتری جهت گرده‌افشانی و ترکیب‌پذیری برخوردارند؛ زیرا در این کلکسیون تمامی ژنوتیپ‌ها در نزدیکی یکدیگر قرار داشتند و شرایط گرده‌افشانی آزاد (Open-pollination) برقرار بوده است.

میانگین تعداد بذور تشکیل شده و سقط شده

نتایج بررسی‌ها حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار میان ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد بذور سقط شده بود (جدول ۴). تعداد بذور سقط شده و تشکیل شده به عوامل متعددی مانند عوامل ژنتیکی، میزان گرده‌افشانی و غیره بستگی دارد. بذور سقط شده در زرشک به صورت بذور بسیار ریز سیاه‌رنگ (بقایای بذور) مشاهده شدند (شکل ۲). بر اساس نتایج، ژنوتیپ ۱-۱۰ دارای بیشترین تعداد بذور تشکیل شده (۱/۷۳ عدد) و ژنوتیپ بی‌دانه دارای کمترین تعداد (۰ عدد) بودند. همچنین بیشترین (۳/۲۷ عدد) و کمترین (۰ عدد) تعداد بذور سقط‌شده به ترتیب در ژنوتیپ‌های بی‌دانه و ۱۴-۲ مشاهده شد. کرمر و همکاران (Kremer et al., 2012) تعداد بذر در میوه را در گونه *B.*

جدول ۴- برخی خصوصیات فیزیکی شانزده ژنوتیپ زرشک مورد بررسی

Table 4- Mean comparison of some fruit physical characteristics in the sixteen evaluated barberry genotypes

ژنوتیپ Genotype	آبمیوه Fruit juice (%)	رطوبت Moisture (%)	طول خوشه میوه Fruit cluster length (cm)	تعداد حبه در خوشه Number of berry/cluster	طول حبه Berry length (mm)	قطر حبه Berry diameter (mm)	تعداد بذر Number of set seeds	تعداد بذر سقط شده Number of aborted seeds	وزن صد حبه تازه 100- berry fresh weight (g)	وزن صد حبه خشک 100- berry dry weight (g)
Bidaneh	71.16 ^{ab}	9.44 ^{ab}	3.33 ^c	16.60 ^{a-d}	10.28 ^c	6.41 ^{ab-c}	0.00 ^b	3.27 ^a	16.77 ^{c-e}	3.32 ^g
2-1	66.56 ^{cd-d}	9.12 ^{ab}	3.70 ^c	4.67 ^c	11.87 ^a	7.39 ^a	1.30 ^a	2.57 ^{ab}	30.72 ^a	10.00 ^a
2-2	70.46 ^{bc-c}	10.46 ^{ab}	3.98 ^{bc}	20.63 ^c	9.87 ^c	7.06 ^{ab}	1.57 ^a	1.37 ^{c-e}	23.15 ^{bc}	6.53 ^{c-e}
4-1	54.77 ^{fg}	10.65 ^{ab}	5.70 ^a	18.33 ^{a-d}	10.26 ^c	6.00 ^{c-g}	1.57 ^a	1.37 ^{c-e}	21.58 ^{b-d}	7.60 ^{bc}
5-1	56.43 ^{fg}	10.89 ^{ab}	2.99 ^{c-e}	22.57 ^{ab}	7.93 ^d	5.33 ^{fh}	1.47 ^a	0.33 ^{fg}	11.68 ^e	4.75 ^{fg}
5-2	64.38 ^e	8.42 ^b	4.01 ^{bc}	18.90 ^{a-d}	9.72 ^c	5.70 ^{d-h}	0.03 ^b	3.17 ^a	14.26 ^e	4.54 ^{fg}
5-3	60.67 ^{d-f}	11.00 ^{ab}	6.29 ^a	16.33 ^{a-d}	10.57 ^{bc}	6.03 ^{c-h}	1.17 ^a	2.00 ^{bc}	21.85 ^{b-d}	6.85 ^c
8-2	59.10 ^{ef}	10.12 ^{ab}	6.09 ^a	19.50 ^{a-d}	10.56 ^{bc}	6.08 ^{b-g}	1.35 ^a	1.58 ^{c-e}	23.55 ^b	8.51 ^{ab}
8-3	71.87 ^a	11.15 ^{ab}	3.78 ^c	22.37 ^{ab}	11.72 ^a	6.99 ^{a-c}	1.23 ^a	1.53 ^{c-e}	26.78 ^{ab}	7.82 ^{bc}
10-1	51.22 ^g	8.20 ^b	1.67 ^e	12.33 ^{de}	8.32 ^d	4.74 ^h	1.73 ^a	0.13 ^{fg}	11.50 ^e	4.94 ^{c-g}
11-1	53.92 ^{fg}	10.79 ^{ab}	3.29 ^{cd}	17.80 ^{a-d}	7.66 ^d	5.11 ^{gh}	1.40 ^a	0.77 ^{c-g}	11.16 ^e	4.04 ^{fg}
12-1	64.07 ^{c-e}	11.84 ^a	2.81 ^{c-e}	13.83 ^{cd}	11.31 ^{ab}	6.01 ^{c-g}	1.70 ^a	0.07 ^{fg}	21.01 ^{b-d}	6.72 ^{cd}
13-1	58.11 ^{c-g}	10.23 ^{ab}	5.22 ^{ab}	20.77 ^{a-c}	10.66 ^{bc}	6.16 ^{b-f}	1.33 ^a	1.70 ^{cd}	23.44 ^{bc}	7.04 ^{bc}
13-2	60.44 ^{d-f}	11.80 ^a	6.21 ^a	18.63 ^{a-d}	10.69 ^{bc}	6.52 ^{gh}	1.23 ^a	1.93 ^{bc}	22.70 ^{bc}	7.68 ^{bc}
14-1	51.94 ^g	9.84 ^{ab}	3.53 ^c	23.90 ^a	8.35 ^d	5.48 ^{c-h}	1.27 ^a	0.87 ^{d-f}	10.89 ^e	5.03 ^{ef}
14-2	64.28 ^{b-e}	10.43 ^{ab}	1.95 ^{de}	15.20 ^{b-d}	7.98 ^d	5.72 ^h	1.67 ^a	0.00 ^g	15.88 ^{de}	5.10 ^{e-f}

می‌باشد. میانگین‌های دارای حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون Bonferroni می‌باشد.

The same letters in each column indicate no significant difference based on the Bonferroni test at 5% of probability level.



شکل ۳- بذور سالم (سمت راست) و بذور سقط‌شده (سمت چپ) در یکی از ژنوتیپ‌های زرشک مورد بررسی
Figure 3- Set seeds (right) and aborted seed (left) in one of the evaluated barberry genotypes

اندازه‌گیری غیر مستقیم آن صفت استفاده کرد (Zarei et al., 2010). در این پژوهش ضرایب همبستگی بین ۱۵ صفت در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شده که در جدول ۵ آورده شده است. ضرایب همبستگی ساده بین صفات نشان می‌دهد که بین برخی از صفات اندازه‌گیری شده همبستگی معنی‌داری وجود دارد. برای مثال درصد گوشت با درصد بذور همبستگی منفی بسیار معنی‌داری در سطح ۱ درصد دارد. بنابراین با کاهش تعداد بذور و به بیان دیگر با توسعه پارتوکاری در زرشک می‌توان انتظار داشت که درصد گوشت میوه‌ها افزایش یافته و کیفیت میوه بهبود یابد.

درصد آب‌میوه با درصد گوشت همبستگی مثبت (متوسط) و با درصد بذور همبستگی منفی (متوسط) داشت. این بدان معنی است که با کاهش تعداد بذور می‌توان انتظار داشت که درصد آب‌میوه افزایش پیدا کند و به بیان دیگر عملکرد محصول افزایش یابد.

بین طول حبه با درصد آب‌میوه و تعداد بذور سقط شده همبستگی مثبت (متوسطی) وجود داشت. طبق نتایج این پژوهش، قطر حبه با درصد گوشت، درصد آب‌میوه و وزن صد حبه خشک همبستگی مثبت (نسبتاً بالایی) داشت ولی با درصد بذور همبستگی منفی (نسبتاً بالایی) را نشان داد.

بر اساس بررسی‌ها، وزن صد حبه تازه با ابعاد حبه و وزن صد حبه خشک همبستگی مثبت بالایی دارد. همچنین وزن تر صد حبه همبستگی مثبت (متوسطی) را با درصد آب‌میوه نشان داد. وزن صد حبه خشک نیز با طول حبه همبستگی مثبت نسبتاً بالایی را نشان داد. موسی‌زاده و همکاران (Moosazadeh et al., 2013) همبستگی بین وزن حبه با طول و قطر به ترتیب معادل با ۰/۹۴ و ۰/۹۰ گزارش کردند که در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

بین تعداد بذور تشکیل شده با درصد گوشت همبستگی منفی (متوسط) و بین تعداد بذور تشکیل شده و درصد بذور همبستگی مثبت (متوسط) مشاهده شد. نتایج نشان داد که تعداد بذور سقط‌شده با درصد گوشت همبستگی مثبت بالا و با درصد بذور و تعداد بذور تشکیل شده همبستگی منفی بالایی دارند. همچنین تعداد بذور سقط شده با قطر حبه همبستگی مثبت (متوسطی) داشت.

تعداد بذور اندک تشکیل شده در زرشک بی‌دانه نیز به همین دلیل می‌باشد، که نشان دهنده قابلیت ترکیب‌پذیری و تلاقی زرشک بی‌دانه با سایر ژنوتیپ‌هاست که می‌توان جهت عملیات اصلاحی از آن بهره گرفت. تعداد بذور سقط‌شده همچنین می‌تواند حاکی از ناسازگاری یا سایر عوامل باشد که باید مورد بررسی قرار گیرد.

وزن صد حبه تازه و خشک

در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر وزن صد حبه تازه و خشک، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۴). طبق نتایج ژنوتیپ ۱-۲ با میانگین ۳۰/۷۲ و ۱۰/۰۰ گرم به ترتیب دارای بیشترین وزن صد حبه تازه و خشک بود. کمترین میزان وزن صد حبه تازه (g) ۱۰/۸۹ و خشک (g) ۳/۳۲ نیز به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱-۱۴ و بی‌دانه بود. بیلدیز و همکاران (Yildiz et al., 2014) وزن هر حبه زرشک بی‌دانه را بین ۸/۷۰ تا ۳۶/۱۰ گرم گزارش نمودند. توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2021) نیز با بررسی ژنوتیپ‌های دانه‌دار زرشک از ۵ منطقه استان کرمان، وزن صد میوه تازه را بین ۲/۹۱ تا ۳/۶۶ گرم گزارش کردند. موسی‌زاده و همکاران (Moosazadeh et al., 2013) بیان کردند که وزن حبه یکی از صفات مهم کیفی می‌باشد که در ارتباط با مقاومت به له‌شدگی و اتصال محکم حبه به خوشه قرار داشته و اهمیت زیادی در برنامه به‌نژادی انگور تازه‌خوری دارد. از ارقامی که دارای وزن و حجم بیشتری می‌باشند می‌توان در کارهای دورگ‌گیری به عنوان والد مادری، به منظور به‌نژادی ارقامی با میوه‌های درشت‌تر استفاده کرد.

همبستگی بین صفات

ضریب همبستگی بین دو متغیر، شدت رابطه بین آن دو متغیر را نشان می‌دهد و بین +۱ و -۱ متغیر است. عدم وجود همبستگی دلیل بر عدم وجود رابطه نمی‌باشد. لذا در برخی موارد که اندازه‌گیری یک صفت پرهزینه، پیچیده، زمان‌بر و مشکل است می‌توان از صفات دیگر که همبستگی‌های معنی‌دار بالایی با صفت مزبور دارند برای

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات فیزیکی اندازه‌گیری شده در شانزده ژنوتیپ زرشک مورد بررسی

Table 5- Correlation coefficients between physical characteristics in the sixteen evaluated barberry genotypes.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1- درصد آب میوه Fruit juice %	1														
2- درصد رطوبت Moisture %	0.10 ^{ns}	1													
3- درصد گوشت Pulp %	0.61 ^{**}	-0.01 ^{ns}	1												
4- درصد بذر Seed %	-0.61 ^{**}	0.01 ^{ns}	-1.00 ^{**}	1											
5- خوشه Cluster length	-0.03 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.58 ^{**}	-0.58 ^{**}	1										
6- خوشه Berry/cluster	-0.14 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.23 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	0.25 ^{ns}	1									
7- خوشه Berry length	0.57 ^{**}	0.21 ^{ns}	0.49 ^{ns}	-0.49 ^{ns}	0.50 ^{**}	-0.27 ^{ns}	1								
8- قطر خوشه Berry diameter	0.78 [*]	0.21 ^{ns}	0.65 [*]	-0.65 [*]	0.36 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.80 [*]	1							
9- تعداد بذور تشکیل شده Set seeds No.	-0.39 ^{ns}	0.40 ^{ns}	-0.63 [*]	0.63 [*]	-0.13 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	1						
10- تعداد بذور سقط شده Aborted seeds No.	0.47 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	0.84 [*]	-0.84 [*]	0.48 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.52 ^{**}	0.52 ^{**}	-0.83 [*]	1					
11- وزن صد خوشه تازه 100-berry fresh weight	0.56 ^{**}	0.26 ^{ns}	0.47 ^{ns}	-0.47 ^{ns}	0.51 ^{**}	-0.30 ^{ns}	0.90 [*]	0.88 [*]	0.10 ^{ns}	0.38 ^{ns}	1				
12- وزن صد خوشه خشک 100-berry dry weight	0.18 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.19 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	0.53 ^{**}	-0.30 ^{ns}	0.74 [*]	0.660 [*]	0.36 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.89 [*]	1			
13- L [*]	0.67 [*]	-0.05 ^{ns}	0.54 ^{**}	-0.54 ^{**}	0.15 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.52 ^{**}	0.68 [*]	-0.14 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.57 ^{**}	0.36 ^{ns}	1		
14- a [*]	0.48 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.89 [*]	-0.89 [*]	0.59 ^{**}	0.28 ^{ns}	0.53 ^{**}	0.67 [*]	-0.46 ^{ns}	0.75 [*]	0.53 ^{**}	0.33 ^{ns}	0.62 [*]	1	
15- b [*]	0.61 ^{**}	0.06 ^{ns}	0.84 [*]	-0.84 [*]	0.44 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.50 ^{**}	0.71 [*]	-0.30 ^{ns}	0.58 ^{**}	0.55 ^{**}	0.32 ^{ns}	0.78 [*]	0.93 [*]	1

ns, * and **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: Non-significant, and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

های به‌نژادی زرشک بی‌دانه در آینده می‌باشد. ژنوتیپ ۲-۵ بیشترین شباهت را از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی به زرشک بی‌دانه داشت. با توجه به این‌که زرشک بی‌دانه طی سالیان طولانی به طریقه غیرجنسی (پاجوش) تکثیر شده است تنوع ژنتیکی جمعیت‌های موجود پایین بوده و در واقع اکثر آن‌ها کلون هستند لذا تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این پژوهش می‌تواند زمینه مناسبی را جهت به‌نژادی زرشک بی‌دانه از طریق ایجاد کولتیوارهای جدید با رنگ‌ها و خصوصیات دارویی-غذایی متنوع فراهم کند.

در مورد شاخص‌های رنگ، شاخص L^* با شاخص‌های a^* و b^* همبستگی مثبت نسبتاً بالایی را نشان داد. شاخص b نیز با شاخص a^* همبستگی مثبت بالایی داشت.

نتیجه‌گیری

بر اساس این مطالعه دامنه وسیعی از تغییرات در بین ژنوتیپ‌های زرشک مورد بررسی از نظر صفات اندازه‌گیری شده مشاهده گردید که حاکی از پتانسیل ژنتیکی بالای این ژنوتیپ‌ها برای استفاده در برنامه-

منابع

- 1- Akbulut, M., Coklar, H., Calisir, S., & Marakoglu, T. (2009). Some physico-mechanical and nutritional properties of barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruits. *Journal of Food Process Engineering* 32: 497-511. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00229.x>.
- 2- Talebi, S., Alizade, M., Ramezanzpour, S. S., & Ghasemnejad, A. (2020). Study of morphological characteristics of different *Berberis* spp. genotypes in northeast of Iran. *Journal of Plant Production Research* 27(1): 75-91. (In Persian). <https://dx.doi.org/10.22069/jopp.2020.15524.2396>.
- 3- Alizadeh-Sani, M., Tavassoli, M., Mohammadian, E., Ehsani, A., Khaniki, G. J., Priyadarshi, R., & Rhim, J. W. (2021). pH-responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness. *International Journal of Biological Macromolecules* 166: 741-750. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.231>.
- 4- Alemardan, A., Asadi, W., Rezaei, M., Tabrizi, L., & Mohammadi, S. (2013). Cultivation of Iranian seedless barberry (*Berberis integerrima* 'Bidaneh'): A medicinal shrub. *Industrial Crops and Products* 50: 276-287. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.061>.
- 5- Fallahi, J., Rezvani Moghaddam, P., & Nassiri Mohalati, M. (2010). Effect of harvesting date on quantitative and qualitative characteristics of seedless barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruit. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8(2): 225-234. (In Persian)
- 6- Farhadi, C.M., Varidi, M., Varidi, M.J., & Shahidi, F. (2014). Evaluation of physical and chemical characteristics of three Iranian barberry species. *Journal of Food Research (Agricultural Science)* 24(1): 63-75. (In Persian)
- 7- Farhadi, C.M., & Varidi, M. (2012). *Investigation of some physicochemical properties of black barberry*. National Conference of Natural Products and Medicinal Plants, North Khorasan University of Medical Sciences. 3-4 Oct. 2012. Bojnord, Iran. (In Persian)
- 8- Fathollahzadeh, H., Mobli, H., Jafari, A., Rajabipour, A., Ahmadi, H., & Mohammad Borghei, A. (2008). Effect of moisture content on some physical properties of barberry. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science* 3(5): 789-794.
- 9- Gorjian, Sh., Tavakkoli, T., Khoshtaghaza, M.H., & Nikbakht, A.M. (2011). Drying kinetics and quality of barberry in a thin layer dryer. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 303-314.
- 10- Kremer, D., Jurišić Grubješić, R., Popović, Z., & Karlović, K. (2012). Fruit and seed traits of *Berberis croatica* Horvat and *Berberis vulgaris* L. *Acta Botanica Croatica* 71(1): 115-123.
- 11- Balandari, A. (2002). *The importance and historical background of barberry*. p. 19-35. In M. Kafi et al. (ed.) *Berberis, Production and Processing*. Part 1. 1st ed. Zaban va Adab. Mashhad. (In Persian)
- 12- Meteorological data bank of Iran hydrology website available at <http://www.iranhydrology.net/meteo.asp> (visited 14 November 2016).
- 13- Moosazadeh, R., Shoor, M., Davarinezhad, Gh., & Mokhtaryan, A. (2013). Identity of some grape cultivars based on fruits and their seeds morphological characteristic. *Journal of Plant Environmental Physiology* 7,4(28): 1-9. (In Persian)
- 14- Nazaripur, Z., Haghighi, S., Jalilian tabar, F., & Nejat lorestani, A. (2011). *Investigation of some physical properties of barberry*. 2nd Annual scientific congress of Razi University, 11-14 Dec. 2011. Kermanshah, Iran. (In Persian)
- 15- Pirkhezri, M. (2022). Investigation of Genetic Diversity of Some Wild Barberry Genotypes (*Berberis* spp.) in Alborz and Tehran Provinces Using Morpho-pomological Markers. *Journal of Horticultural Science* 36(1): 177-191. (In Persian)
- 16- Statistical data of the synoptic stations of Iran, *Climatology Research Institute*. Available at <http://cri.ac.ir/files/Data/Synoptic%20Data%20up%20to%202005/MASHHAD> (visited 14 November 2016).

- 17- Tavakoli, K.I., Nakhaei, F., Mosavi, S., & Seghatoleslami, M. (2021). Variations in phytochemical properties of seedy barberry *Berberis integerrima* L. grown in different habitats of Kerman. *Iranian Journal of Plant Physiology* 11(4): 3779-3788.
- 18- Velayati, E., Emadi, B., Khojastehpour, M., & Saidirad, M.H. (2011). The effect of moisture content on physical properties of *Berberis*. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 1(1): 1-9. (In Persian)
- 19- Yildiz, H., Ercisli, S., Sengul, M., Topdas, E.F., Beyhan, O., Cakir, O., Narmanlioglu, H.K., & Orhan, E. (2014). Some physicochemical characteristics, bioactive content and antioxidant characteristics of non-sprayed barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruits from Turkey. *Erwerbs- Obstbau* 56(4): 123-129. <https://doi.org/10.1007/s10341-014-0216-4>.
- 20- Zarei, M., & Azizi, M. (2010). Evaluation of some physicochemical characteristics of six Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars fruit at ripening stage. *Journal of Horticulture* 24(2): 175-183. (In Persian)



The Effect of Potassium Foliar Application on Cucumber Plants of 'Miran' Cultivar under Drought Stress

M. Sajedimehr^{1*}, M. Haghighi², M. Mehnatkesh³

Received: 05-01-2021

Revised: 31-01-2021

Accepted: 05-06-2021

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Sajedimehr, M., Haghighi, M., & Mehnatkesh, M. (2022). The Effect of Potassium Foliar Application on Cucumber Plants of 'Miran' Cultivar under Drought Stress. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 563-576. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2021.67249.0](https://doi.org/10.22067/jhs.2021.67249.0)

Introduction

Drought stress is one of the most important factors limiting plant growth and production and leads to a reduction of more than 50% in the average production of most crops worldwide. Drought stress due to increased soil osmotic potential, especially in greenhouses where fertilizer consumption is high, is one of the greenhouse crop problems.

Material and Methods

In the present study, two concentrations of polyethylene glycol at three levels of 0 (D1), -1.48 (D2), 4-91 (D3) ds/m to create different levels of drought stress due to osmotic changes in culture medium and application of KCl two levels (0 (K1) and 6 (K2) mmol / l) was used to reduce the possible effects. The experiment was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. To apply drought stress, pot water was measured using a tensiometer, and when the drought reached below the field capacity (FC), irrigation with different concentrations of PEG and once a week spraying with KCl at the desired concentrations was done. Cucumber seeds were planted directly in 5 kg plastic pots containing a mixture of potting soil, including soil + sand + animal manure in the ratio of 1 + 2 + 0.5. The number of seedlings in each pot was 2 to 3 kg, which was reduced to one seedling seventeen days after sowing the seeds in the stage of three to four leaves. KCl spraying and spraying began in the three to the four-leaf stage of the seedlings and lasted for about a month. The plants were kept in the greenhouse during the experiment with an average temperature of 25 ° C and relative humidity of 70%. At the end of the experiment, dry weight, fresh weight, chlorophyll, chlorophyll fluorescence, flavonoids, carotenoids, proline, phenol, total protein, abscisic acid, superoxide, and ascorbate peroxidase, antioxidants, and catalase were measured.

Result

The results showed that the effect of foliar application of potassium in all traits except chlorophyll fluorescence and superoxide dismutase was significant ($P < 0.01$). According to the obtained results, control treatment increased the amount of antioxidants and catalase, but the application of K2 on most of the measured parameters, including dry weight, fresh weight, chlorophyll, flavonoids, carotenoids, proline, phenol, total protein, abscisic acid, and superoxide dismutase showed a positive effect. In D3 with the addition of K2 the highest amount of phenol and protein was observed. Also, the content of abscisic acid in all treatments increased with the addition of K2 and the highest amount was observed in D3 which can be concluded that the use of potassium at a concentration of 6 mM Acceptable cut. According to the results obtained in this study, it can be stated that the plant tries to maintain its osmotic pressure in the face of drought stress, and this is done by increasing osmolites such as proline and antioxidant enzymes that help maintain plant cell pressure and torsion. Potassium application can reduce the adverse effects of drought stress by improving the activity of antioxidant enzymes and preserving chlorophyll. Thus, the cell continues its vital activities and ultimately produces more acceptable performance under these conditions. In other words, increasing the antioxidant activity in drought

1, 2 and 3- M.S Student, Associate Professor and M.S Student, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: mahyasajedimehr@ag.iut.ac.ir)

conditions along with the application of potassium leads to a higher inhibitory capacity of reactive oxygen species and production stability in these conditions. Therefore, to compensate for at least some harmful effects of stress and help the plant to return to normal growth conditions after re-irrigation, foliar application of such elements can be effective in drought resistance of the plant and play a role. Based on the findings of this study, it seems that the application of potassium with a concentration of 6 mM is the most effective.

Keywords: Antioxidant enzymes, Foliar application, Osmotic pressure, Polyethylene glycol, Stress

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۵۷۶-۵۶۳

تأثیر محلول پاشی پتاسیم بر بوته‌های خیار رقم 'Miran' تحت تنش خشکی

محیا ساجدی مهر^{۱*} - مریم حقیقی^۲ - منیره محنت کش^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵

چکیده

تنش خشکی ناشی از افزایش پتانسیل اسمزی خاک به ویژه در گلخانه‌ها که مصرف کود زیاد است یکی از مشکلات کشت‌های گلخانه‌ای محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه غلظت پلی‌اتیلن‌گلایکول (صفر، ۱/۴۸- و ۴/۹۱- (دسی‌زیمنس بر متر) و استفاده (۶ میلی‌مولار) و عدم استفاده از کلریدپتاسیم جهت کاهش احتمالی اثر خشکی بر روی گیاه خیار انجام شد. صفات مورد مطالعه شامل وزن خشک، وزن تر، محتوی کلروفیل، کلروفیل فلورسانس، فلاونوئید، کاروتنوئید، پروتئین، فنول، پروتئین کل، اسیدآبسیزیک، سوپراکسید و آسکوربات پراکسیداز، آنتی‌اکسیدان و کاتالاز بودند. نتایج بدست آمده، نشان داد که اثر محلول پاشی پتاسیم در تمام صفات به غیر از میزان کلروفیل فلورسانس و سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. با توجه به نتایج به دست آمده عدم استفاده از کلریدپتاسیم موجب افزایش میزان آنتی‌اکسیدان و کاتالاز گردید اما کاربرد کلریدپتاسیم روی اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده از جمله میزان وزن خشک، وزن تر، کلروفیل، فلاونوئید، کاروتنوئید، پروتئین، فنول، پروتئین کل، اسیدآبسیزیک، سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز تأثیر مثبت نشان داد. در غلظت ۴/۹۱- دسی‌زیمنس بر متر با افزودن کلریدپتاسیم بیشترین میزان فنول و پروتئین مشاهده شد. همچنین محتوای اسیدآبسیزیک در تمام تیمارها با افزودن کلریدپتاسیم افزایش یافت و بیشترین میزان در غلظت ۴/۹۱- دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت کاربرد کلریدپتاسیم می‌تواند آثار سوء تنش خشکی را به میزان قابل توجهی، در شرایط مشابه بر روی خیار کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدانی، اسیدآبسیزیک، پلی‌اتیلن‌گلایکول، فشار اسمزی

مقدمه

تنش خشکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده رشد و تولید گیاهان محسوب شده و منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی میانگین تولید اکثر محصولات در سرتاسر جهان می‌شود (Lata et al., 2011). این یک واقعیت شناخته شده است که فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی در گیاه تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرد. به طور مثال، در تنش خشکی محتوای آب برگ (RWC) کاهش می‌یابد که معمولاً با از دست دادن آماس، پژمردگی و توقف بزرگ شدن سلول همراه می‌باشد. همچنین کاهش پتانسیل آب برگ باعث

کاهش قابل توجه جذب عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود. کمبود عناصر غذایی تحت تنش خشکی باعث نقصان در رشد گندم (*Triticum aestivum* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس (*Lens culinaris* L.) گردید (Ahmad et al., 2018). از سوی دیگر، فرآیندهای فتوسنتزی در گیاهان تا حد زیادی تحت تأثیر خشکسالی است. به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط خشکسالی، مصرف دی‌اکسیدکربن متوقف می‌شود و گیاه قادر به گرفتن دی‌اکسیدکربن نیست. در شرایط تنش خشکی گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) به دلیل افزایش میزان اکسیژن داخل برگ تولید می‌شود و مشکلات جدی در داخل گیاهان ایجاد می‌کند (Ahmad et al., 2018). تنش خشکی تعادل بین دفاع آنتی‌اکسیدانی و میزان ROS را مختل می‌کند. به‌طور کلی یک ابزار مشهور در گیاهان در پاسخ به تنش خشکی ساخت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT)، اسکوربات

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Email: mahyasajedimehr@ag.iut.ac.ir
DOI: 10.22067/jhs.2021.67249.0

پراکسیداز (APX)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و گلوکاتینون پراکسیداز (GPx) است (Ahmad et al., 2018). همچنین کمبود آب بر رشد سلول تأثیر منفی می‌گذارد و باعث جدا شدن پروتئین‌های غشایی (Jaleel et al., 2009) و تغییرات در ساختار فیزیولوژیکی غشا می‌شود. در شرایط تنش خشکی رشد ریشه نسبت به اندام هوایی کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد بنابراین نسبت ریشه به ساقه افزایش می‌یابد (Ahmad et al., 2018). در نتیجه درک واکنش گیاهان گوناگون به تنش آبی بسیار مهم است. اما پی‌بردن به راه‌های موثر افزایش مقاومت به تنش خشکی چندان آسان به نظر نمی‌رسد. پتاسیم از جمله عناصر ضروری برای تغذیه گیاه است که مسئول بسیاری از اقدامات فیزیولوژیکی گیاه از جمله رشد، عملکرد و کیفیت مانند طعم است. بررسی‌ها نشان داده است که پتاسیم با کاهش اتلاف آب از گیاه به صورت تبخیر و تعرق، باعث مقاومت به خشکی شده و موجبات افزایش عملکرد را در شرایط تنش رطوبتی فراهم می‌آورد. تنظیم فشار اسمزی، تنظیم اسیدیته سلول، ساخت پروتئین‌ها و شرکت در فعال کردن بسیاری از آنزیم‌ها از جمله نقش‌های پتاسیم در گیاه می‌باشد (Ahmad et al., 2018).

خیار (*Cucumis sativus* L.) یکی از سبزی‌های محبوب گلخانه‌ای در سراسر جهان است. این گیاه یک محصول فصل گرم بشمار می‌رود و در دمای ۲۴-۲۹ درجه سانتی‌گراد رشد مطلوبی دارد (Mohammadi and Omid, 2010). از آنجا که خیار یکی از محصولات عمده و پرمصرف در کشور است و به شرایط نامساعد، به‌ویژه تنش‌های آبی حساسیت زیادی دارد بنابراین تعیین و تأمین نیاز آبی این گیاه ضروری به نظر می‌رسد (Hasandokht, 2005). در مطالعه‌ای اثر مقادیر مختلف آب آبیاری را روی خیار مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان آب مصرفی میزان محصول تولیدی نیز افزایش ولی کیفیت محصول اندکی کاهش می‌یابد (Wang et al., 1999). مائو و همکاران (Mao et al., 2003) به این نتیجه رسیدند که اجزای عملکرد خیار گلخانه‌ای (وزن میوه، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، قطر میوه و ساقه) تحت تأثیر حجم مصرفی آب است (Mao et al., 2003). ایجاد محیط‌های مناسب و کنترل شده در جهت کاهش تبخیر و تلفات آبی یکی از سامانه‌های مدیریتی در جهت مصرف بهینه آب هست (Harmanto et al., 2005). کشت گلخانه‌ای با کاهش تبخیر و افزایش رطوبت محیط، همچنین کاهش تغییرات دمایی در طول دوره کشت سبب افزایش کیفیت و کمیت محصول به ازای واحد آب مصرفی می‌شود. در شرایط تنش آبی آماس برگ کاهش یافته و کاهش سرعت نمو، رشد، طول ساقه، رشد برگ و قطر منافذ روزنه مشاهده شد. کاهش تورژسانس ممکن است با تقلیل اندازه سلول و کاهش سطح برگ همراه باشد. متعاقب کاهش سطح برگ در اثر تنش، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی

گیاه کاهش می‌یابد (Hassani et al., 2003). به‌طور کلی امروزه ارتباط بین غلظت عناصر غذایی در خاک با کیفیت میوه به خوبی روشن شده است (Barker and Pilbeam, 2007). کایا و همکاران (Kaya et al., 2001) تأثیر تغذیه فسفر و پتاسیم را بر میزان عناصر غذایی و فعالیت‌های فیزیولوژیکی خیار و گوجه‌فرنگی رشد کرده در شرایط شور بررسی کرده و گزارش کردند که در شرایط بسیار شور (غلظت بالای کلرید سدیم)، میزان ماده خشک و کلروفیل در هر دو گیاه کاهش می‌یابد. کاربرد فسفر و پتاسیم در شرایط شور باعث بهبود عملکرد ماده خشک و کلروفیل گیاه می‌شود. این محققان علت آن را تأثیر فسفر و پتاسیم در بهبود نفوذپذیری غشا دانستند (Kaya et al., 2001).

محلول‌پاشی پتاسیم در ذرت، تعداد دانه‌ها و عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید (Shahzad et al., 2017). محتوای آب بافت برگ با استفاده از پتاسیم به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. از مطالعات قبلی مشهود بوده است که کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش آبی توسط برنامه کودی پتاسیم مدیریت می‌شود. غلظت پتاسیم بافت با تولید زیست‌توده، عملکرد دانه و محتوای نسبی آب بسیار ارتباط دارد، غلظت پتاسیم نقش مهمی در تحمل تنش ناشی از آب و تثبیت عملکرد در برگ گیاه دارد. آزمایش‌های کنترل‌شده در هیدروپونیک نقش مثبت پتاسیم را در کاهش تنش خشکی در گندم زمستانه نشان داد. استفاده از کود پتاسیم در مقدار مناسب باعث افزایش اندازه میوه، عملکرد، رنگ میوه، کیفیت حمل و ماندگاری میوه می‌شود (Ahmad et al., 2018).

استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول (PEG) برای ایجاد تنش آبی در گیاهان مختلف زراعی به خوبی اثبات شده است. در بسیاری از گیاهان برای ایجاد تنش خشکی از PEG استفاده شده است و در مقالات متعدد به دلیل عدم تحرک، غیر یونی و غیر سمی بودن و عدم قابلیت نفوذ از آن به عنوان یک اسمولایت مؤثر و مناسب نام برده شده است با توجه به این که PEG توسط گیاه جذب نمی‌شود، غلظت آن در تمام مدت تنش ثابت می‌ماند و به همین جهت به عنوان بهترین تیمار برای تنش‌های اسموتیکی در مقایسه با دیگر اسمولایت‌ها از جمله مانیتول، شکر، نمک شناخته شده است (Rauf et al., 2007).

ایران کشوری است که در منطقه جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. گیاهان موجود در این مناطق، در مراحل مختلف رشد خود در معرض تنش خشکی هستند. با توجه به اینکه خیار، به تنش‌های محیطی، به‌ویژه تنش‌های آبی حساسیت زیادی دارد بنابراین تعیین و تأمین نیاز آبی این گیاه ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی عناصر غذایی می‌توانند در مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی نقش به سزایی داشته باشند. از آنجا که پتاسیم وظایف مهمی

در متابولیسم گیاهان دارد؛ بنابراین این تحقیق جهت تعیین اثرات کاربرد این عنصر بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک مهم خیار در شرایط تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر محلول پاشی عنصر پرمصرف پتاسیم بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک خیار رقم 'Miran' در شرایط تنش خشکی، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. عوامل آزمایشی شامل سه غلظت صفر (D1)، ۱/۴۸- (D2) و ۴/۹۱- (D3) دسی‌زیمنس بر متر پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ که جهت ایجاد تنش خشکی و دو سطح کلرید پتاسیم شامل غلظت‌های صفر (K1) و ۶ میلی‌مولار (K2) با استفاده از نمک کلرید پتاسیم (KCl) بود. برای اعمال تنش خشکی به کمک تانسیموتر میزان آب گلدان اندازه‌گیری می‌شد و هنگامی که خشکی به زیر ظرفیت مزرعه (FC) می‌رسید آبیاری به وسیله پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ در غلظت‌های مشخص شده انجام می‌شد و هفته‌ای یک مرتبه هم محلول پاشی با کلرید پتاسیم در غلظت‌های صفر و ۶ میلی‌مولار انجام می‌گرفت (Anjum et al., 2011).

کاشت بذور خیار در اواسط بهمن‌ماه به صورت مستقیم در درون گلدان‌های پلاستیکی پنج کیلوگرمی حاوی مخلوط خاک گلدان شامل خاک: ماسه: کود حیوانی به نسبت‌های ۵:۲:۱/۰ انجام شد. تعداد بذر در درون هر گلدان ۲ الی ۳ عدد بود که هفته روز پس از کاشت بذور در مرحله سه الی چهار برگی به یک گیاهچه کاهش یافت. اعمال تنش و پاشش کلرید پتاسیم در مرحله سه تا چهار برگی شدن نشاء‌ها آغاز و حدود یک ماه به طول انجامید. گیاهان در طول مدت آزمایش در گلخانه با میانگین دمای روزانه 25 ± 2 و شبانه 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد نگهداری می‌شدند. کلیه مراقبت‌های آبیاری طبق معمول کشت خیار انجام شد.

در پایان آزمایش پس از گذشت یک ماه، سبزی‌نگی برگ توسط دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD-502 plus، ژاپن) از روی برگ‌های بالغ انتهایی بالایی بوته اندازه‌گیری شد. رنگیزه‌ها توسط حلال استون ۱۰۰ درصد استخراج گردید و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A، ژاپن) میزان جذب نور در سه طول‌موج ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به ترتیب برای کلروفیل a و b و کاروتنوئید قرائت گردید (Arnon, 1949). در پایان آزمایش جهت اندازه‌گیری وزن تر و خشک شاخساره، پس از خارج کردن گیاهان از ظروف پلاستیکی ریشه آن‌ها شسته، با کمک چاقوی تیز از محل طوقه بخش هوایی و ریشه از هم جدا، و بخش شاخساره به کمک ترازوی دیجیتال توزین شدند. سپس شاخساره‌ها داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفتند و به مدت ۴۸ ساعت

در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و سپس با ترازوی دیجیتال توزین شدند. کارایی فتوشیمیایی سیستم نوری II (Fv/Fm)، با استفاده از دستگاه آنالیز کارایی گیاه (Plant Efficiency Analyzer) (ELE International، انگلستان) در ساعت ۱۰ تا ۱۳ اندازه‌گیری گردید (Arnon, 1949). برای تهیه محلول‌های پرولین استاندارد از پرولین خالص استفاده گردید. جهت کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A، ژاپن) از غلظت‌های مختلف پرولین و از تولوئن خالص به عنوان شاهد استفاده شد و منحنی استاندارد رسم گردید. میزان جذب در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر پس از تهیه نمونه‌ها انجام شد و غلظت پرولین نمونه‌ها برحسب میکرومول در گرم وزن تر نمونه محاسبه و بیان گردید برای اندازه‌گیری فلاونوئیدها از ترکیبات پایدار اسیدی در اثر واکنش آلومینیوم کلراید اضافه‌شده به عصاره گیاهی با گروه کتون C-4 و تشکیل گروه هیدروکسیل موجود روی C-3 یا C-4 فلاون‌ها یا فلاونول‌ها استفاده شد. جذب نوری ترکیبات حاصل در عصاره میوه و برگ توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد (Askari and Ehsanzadeh, 2015).

اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان به شیوهی DPPH (1,1-diphenyl-2,2-picrylhydrazyl) در طول موج ۵۱۸ نانومتر انجام شد. برای این منظور ابتدا ۰/۱ گرم از بافت برگ‌های جوان در نیتروژن مایع پودر شده و سپس با یک میلی‌لیتر بافر استخراج به طور کامل همگن شد. بافر استخراج حاوی پلی‌ونیل‌پیرولیدین یک درصد، نیم گرم تربیتون X100 و بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار بود. عصاره حاصل با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه، در دمای ۴ درجه‌ی سیلیسیوس و به مدت زمان ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. بخش بالایی عصاره برای اندازه‌گیری آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت (Penrycooke et al., 2005).

جذب کنترلی - جذب نمونه / جذب کنترل = درصد ممانعت کنترلی

برای اندازه‌گیری فنول عصاره برگ به شیوه فولین سیوکالتو با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A، ژاپن) قرائت شد (McAdam and Brodribb, 2016). اندازه‌گیری نشت یونی به روش زائو و همکاران (Zhao et al., 2009) انجام شد. میزان نشت یونی دیسک برگی تهیه و سه بار با آب دیونیزه شستشو شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند و پس از ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی محلول توسط EC متر اندازه‌گیری شد (EC_1)، بعد از آن نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو قرار داده شد و بعد از سرد شدن مجدداً EC محلول اندازه‌گیری شد (EC_2). سپس با استفاده از رابطه زیر میزان نشت یونی به دست آمد.

$$EL = (EC_1 / EC_2) \times 100$$

برای اندازه‌گیری پروتئین از روش بردفورد (۱۰) استفاده شد پس از تهیه نمونه‌ها، میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد و براساس مقایسه با منحنی استاندارد، غلظت پروتئین برحسب میلی گرم بر میلی لیتر به دست آمد (Bradford, 1976). میزان غلظت عنصر پتاسیم از نمونه‌های گیاهی خشک استفاده و در مدت ۲۴ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شدند. برای هضم نمونه‌ها از اسیدکلریدریک دو مولار استفاده شد و در نهایت به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانیده شد. در نهایت با استفاده از دستگاه فلیم-فتومتر اندازه‌گیری شد.

با استفاده از روش احسان‌زاده و طباطبایی (Tabatabaei and Ehsanzadeh, 2016) و با ردیابی تجزیه پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر، فعالیت آنزیم کاتالاز اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۲/۹۵ میلی لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی مولار (pH=7)، ۴/۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن و ۰/۰۵ میلی لیتر از عصاره آنزیم مخلوط گردید (حجم نهایی محلول سه میلی لیتر بود). کاهش جذب نمونه به مدت یک دقیقه در دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-600A، ژاپن) قرائت شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز با اندازه‌گیری افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام شد. بدین منظور سه میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=7) و ۴/۵۱ میکرولیتر از محلول پراکسید هیدروژن و ۳/۳۵ گایاکول و ۰/۰۵ میلی لیتر عصاره درون کووت دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-600A، ژاپن) ریخته و خوب تکان داده شد، سپس در مدت ۲ دقیقه جذب نمونه در طول طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید (Tabatabaei and Ehsanzadeh, 2016).

برای اندازه‌گیری آنزیم آسکوربات پراکسیداز از سه میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم و ۴/۵۱ میکرولیتر محلول H_2O_2 و ۳/۳۵ گایاکول بدون عصاره به عنوان محلول کالیبره کننده دستگاه استفاده شد. فعالیت این آنزیم با استفاده از روش ناکانو و همکاران (Nakano and Asada, 1981) با طیف‌سنجی و با اندازه‌گیری کاهش جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر، در زمان ۳۰ ثانیه، تخمین زده شد. برای شروع واکنش، سه میلی لیتر بافر واکنش شامل فسفات سدیم ۱۰۰ میلی مولار، هیدروژن پراکسید ۰/۵ میلی مولار و محلول آسکوربات ۵ میلی مولار و ۰/۰۵ میلی لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند (Tabatabaei and Ehsanzadeh, 2016).

فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز به این صورت بود که مقدار ۰/۰۵ میلی لیتر از عصاره آنزیمی و سه میلی لیتر بافر واکنش شامل بافر فسفات ۱۰۰ میلی مولار همراه با متیونین ۱۳ میلی مولار، نیتروبلوترازولیوم ۶۳ میکرومولار و ریبوفلاوین ۱/۳ میکرومولار اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در معرض نور لامپ فلورسنت

۳۰ وات قرار گرفت و پس از این مدت، شدت جذب نوری در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج اندازه‌گیری شد. فعالیت این آنزیم و فعالیت ویژه آن مشابه روش گفته شده برای آنزیم کاتالاز اندازه‌گیری شد (Rossi et al., 2015).

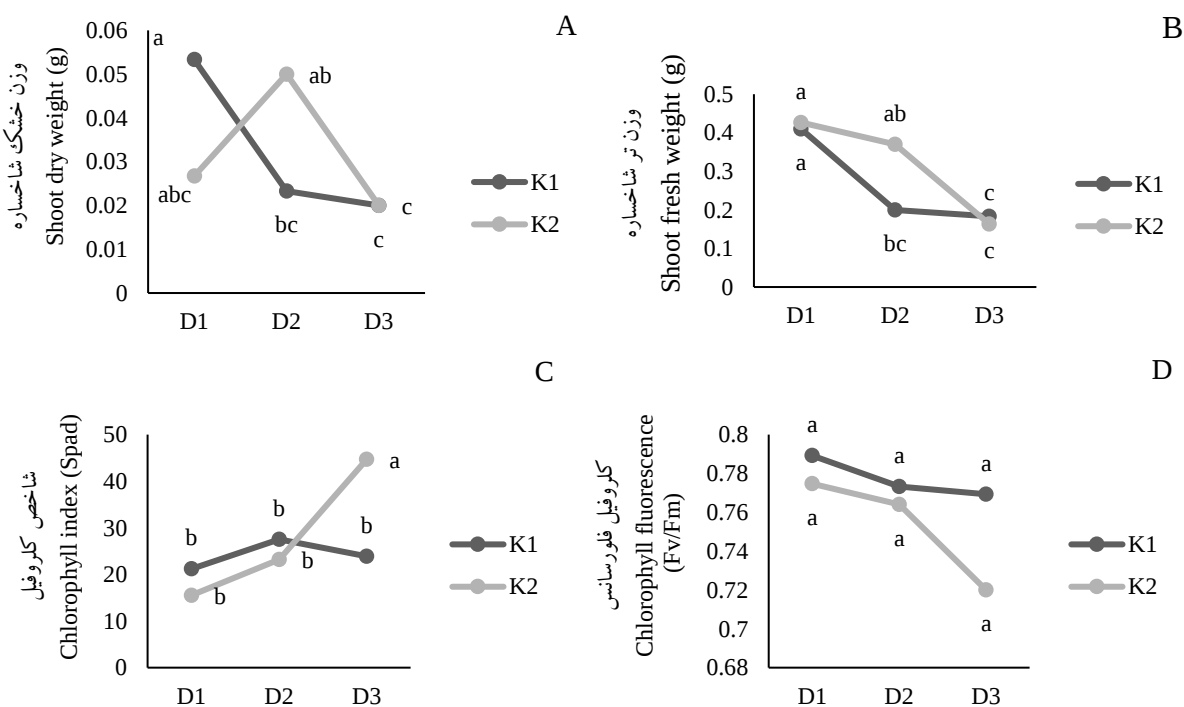
اندازه‌گیری محتوای اسیدآسیزیک یک گرم بافت برگ با متانول ۸۰ درصد و ۰/۱ گرم پلی‌وینیل‌پیرولیدون در دمای چهار درجه سانتی‌گراد کاملاً یکنواخت و در ۴۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ و محلول رویی جدا شد و pH آن به ۸ رسانده شد. متانول توسط خلأ تبخیر و روی باقی‌مانده محلول مقدار ۵ میلی لیتر آب دیونیزه اضافه و حل گردید. این عمل دو بار دیگر تکرار شد. در انتها به آن اتیل استات اضافه گردید و مجدداً تبخیر در خلع صورت گرفت. بر رسوب باقی‌مانده یک میلی لیتر حاوی سه درصد متانول و ۰/۱ مول اسیداستیک اضافه و حل گردید. سپس از صافی ۰/۴۵ میلی متر عبور داده شد و به ستون فاز معکوس Diamonsic, C₁₈, 5µm به طول ۲۵ سانتی متر و قطر ۴/۶ میلی متر در دستگاه HPLC (Unicam-) (Crystal-200, UK) تزریق شد. فاز متحرک گرادیان متانول اسیداستیک با سرعت چهار میلی لیتر محلول در دقیقه به همراه دتکتور استفاده شد. از استاندارد اسیدآسیزیک با خلوص ۹۹/۹۷ درصد ساخت کارخانه Sigma استفاده شد تا پیک خروجی با کالبراسیون برای سنجش نمونه‌ی استخراجی مورد استفاده قرار گرفته. براساس سطح زیر منحنی و موفقیت آن در پیک‌های خروجی مقدار نمونه مجهول استخراجی تعیین شد (Farooq et al., 2009). در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم افزار Excel طبقه‌بندی و با برنامه آماری Statestix 8 آنالیز شد و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی پتاسیم بر وزن خشک شاخساره نشان داد که در D2 و D3 با افزودن K2 ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و با افزودن K1 همواره میزان وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت (شکل ۱- A). همچنین مشاهده شد وزن تر اندام هوایی تحت تأثیر تنش خشکی همواره رو به کاهش بوده ولی میزان کاهش در D2 با افزودن K2 نسبت به سایر تیمارها کمتر بود (شکل ۱- B). یکی از پاسخ‌های اولیه به کمبود آب بسته شدن روزنه‌ها است که منجر به کاهش فتوسنتز و توانایی گیاه برای تولید ماده خشک می شود (Bahrami-Rad and Hajiboland, 2017). همچنین مطالعات نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش RWC می‌شود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد و با افزایش تنش خشکی وزن تر گیاه نیز کاهش یافت. طبق مطالعات ثابت شده که تنش خشکی بر تولید محصول تأثیر منفی می‌گذارد درحالی که محلول پاشی پتاسیم باعث

جلوگیری کند و این امر سبب جلوگیری از کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سبزی‌نگی و در نتیجه رشد گیاه می‌شود و به این طریق به گیاه کمک می‌کند تا ثبات عملکرد خود را حفظ کند. میزان کلروفیل فلورسانس در تمام تیمارهای خشکی تحت تأثیر K2 نسبت به K1 کاهش یافت و کمترین میزان در D3 با افزودن K2 مشاهده شد (شکل ۱- D). هنگام وقوع تنش، تقسیم انرژی بین بخش‌های فلورسانس، فرود فتوشیمیایی و فرود غیرفتوشیمیایی یا اتلاف گرما تغییر می‌کند. در حقیقت هر عاملی که باعث کاهش فتوسنتز شود و یا برای سیستم تنش‌زا باشد، کلروفیل فلورسانس را افزایش می‌دهد. به نظر می‌رسد مقدار کلروفیل فلورسانس، تمامیت غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد (Bilger and Björkman, 1994). رایت و همکاران (Wright et al., 2009) افزایش کلروفیل فلورسانس را تحت تنش خشکی، نتیجه‌ی کاهش یکپارچگی غشاء تیلاکوئید عنوان کردند. همچنین در تحقیقی افزایش فلورسانس کلروفیل را تحت تنش خشکی در ارقامی از لوبیا گزارش کردند (Soheili Movahed et al., 2017).

کاهش خسارات ناشی از تنش خشک‌سالی می‌شود همان‌طور که در آزمایشی نشان داده شد که محلول پاشی اکسیدپتاسیم موجب افزایش رشد گیاه (طول بوته، تعداد برگ در بوته و وزن تازه برگ) همچنین افزایش عملکرد و کیفیت تحت تنش خشکی شد (Ahmad et al., 2018). براساس نتایج آزمایشی دیگر تنش خشکی بر صفات رشد گندم اثر می‌گذارد درحالی‌که کاربرد خارجی پتاسیم باعث افزایش رشد و عملکرد گندم در شرایط خشکی شد (Shah et al., 2017). براساس اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی پتاسیم بیشترین میزان کلروفیل در D3 و با افزودن K2 مشاهده شد (شکل ۱- C). این احتمال وجود دارد که خشکی با کاهش سطح برگ، باعث تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها و بنابراین افزایش غلظت آن شده باشد. افزایش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی در گل‌رنگ را گزارش شد (Movahhedi Dehnavi et al., 2004). در سیب‌زمینی نیز افزایش فاصله بین دوره‌های آبیاری باعث افزایش محتوای کلروفیل شد (Khosravi-Far et al., 2008). در کل می‌توان گفت زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار گیرد، محلول پاشی پتاسیم می‌تواند موجب افزایش کلروفیل شود یا به عبارتی از کاهش شدید کلروفیل



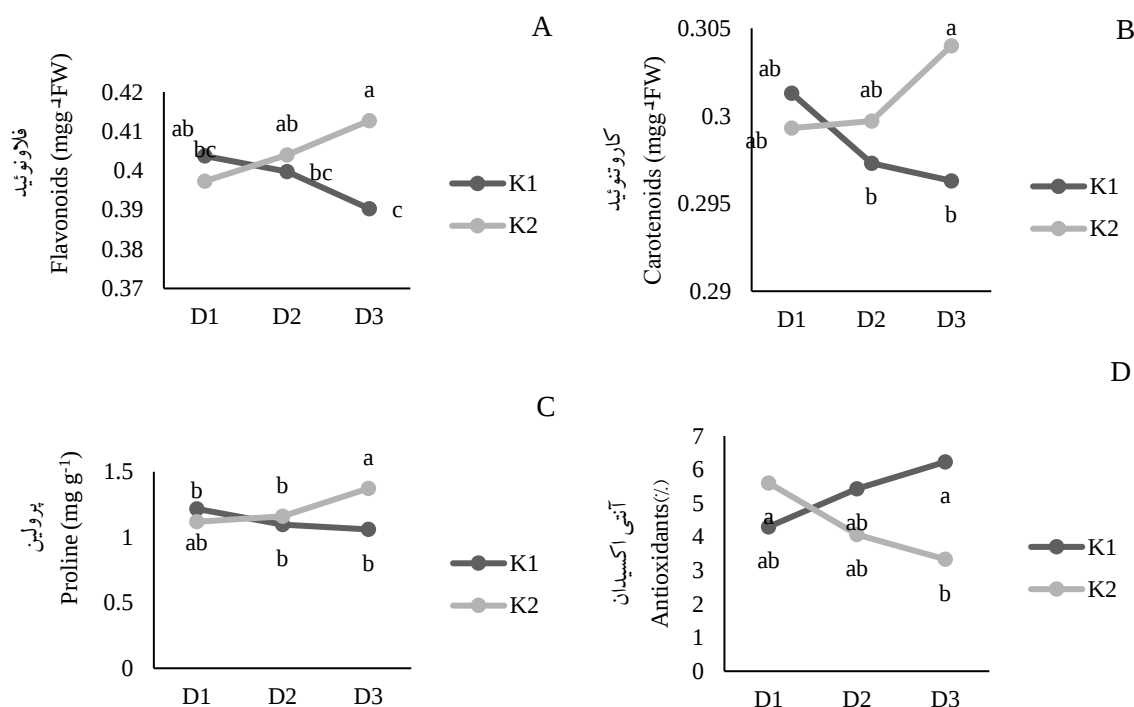
شکل ۱- اثر متقابل تنش اسمزی × میزان پتاسیم بر وزن خشک شاخساره (A)، وزن تر شاخساره (B)، شاخص کلروفیل (C)، کلروفیل فلورسانس (D) خیار رقم 'Miran'. صفر (D1)، -۱/۴۸ (D2) و -۴/۹۱ (D3) دسی‌زیمنس بر متر پلی‌اتیلن گلیکول؛ صفر (K1) و ۶ (K2) میلی‌مولار کلرید پتاسیم

Figure 1- The interaction effect of osmotic stress × potassium content on shoot dry weight (A), shoot fresh weight (B), chlorophyll index (C), fluorescence chlorophyll (D) of cucumber cv. 'Miran'. 0 (D1), -1.48 (D2), and -4.91 (D3) ds·m⁻¹ polyethylene glycol; 0 (K1) and 6 (K2) mM KCl. (LSD, $p \leq 0.05$)

برهمکنش محلول پاشی پتاسیم و تنش در مورد فلاونوئیدها نشان داد در تمام سطوح خشکی فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها با افزودن K1 کاهش و با افزودن K2 افزایش می یابد (شکل ۲-A و B). رنگ دانه های فتوسنتزی عمل جذب و انتقال انرژی نور را به سامانه فتوسنتزی انجام می دهند. بنابراین جزء عوامل مؤثر متابولیک در فتوسنتز به شمار می روند (Anjum et al., 2011). مشخص شده که رادیکال های آزاد تولید شده در شرایط تنش خشکی نقش به سزایی در تخریب و کاهش مقدار کلروفیل در برگ دارند (Smirnov, 1993). به نظر می رسد که افزایش کلروفیل و کاروتنوئیدها یک روش حفاظتی برای مقابله گیاه در برابر تنش خشکی باشد. فلاونوئیدها می توانند از تنش های اکسیداتیو جلوگیری کنند، به این معنا که توان پاک سازی گونه های فعال اکسیژن را دارند بررسی میزان فلاونوئید در *Brassica napus* در شرایط تنش آبی نشان داد که این ماده به عنوان متابولیت ثانویه در گیاه افزایش می یابد (Sangtarash et al., 2009). به نظر می رسد در این آزمایش افزودن غلظت پتاسیم تأثیر مثبتی برافزایش فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها طی تنش خشکی داشته است. اثر متقابل تنش خشکی و میزان پتاسیم نشان داد در D2 و D3 با افزودن K2 میزان پرولین افزایش ولی با افزودن K1 کاهش یافت (شکل ۲-C). خشکی نه تنها رشد و نمو گیاهان را کاهش می دهد، بلکه موجب تغییر در مسیر برخی فرایندهای متابولیکی نیز می گردد. در طی تنش خشکی دراز مدت، انتقال مواد به علت کاهش آب قابل دسترس، منجر به تغییر غلظت برخی متابولیت ها می شود. از سوی دیگر میزان مواد محلول سازگار به خشکی مانند قندها، قندهای الکلی، آمینواسیدهای ویژه نظیر پرولین، گلیسین و بتائین افزایش می یابد (Wu and Garg, 2003). قندهای محلول و پرولین نیز اسمولیت هایی هستند که با افزایش فشار اسمزی و نگهداری تورژسانس و نیز پایداری غشاها و پروتئین ها به گیاه در مقاومت به تنش خشکی کمک می کند (Sánchez et al., 1998). همچنین مطالعات نشان داده که محلول پاشی پتاسیم به طور معنی داری محتوای پرولین گیاه ماش را افزایش داد (Thalooth et al., 2006) و تنش باعث افزایش معنی دار مقادیر پرولین و قندهای آزاد محلول در گندم گردید (Dehqanzadeh et al., 2008) که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد. براساس نتایج در D2 و D3 با افزودن K1 میزان آنتی اکسیدان افزایش ولی با افزودن K2 کاهش یافت (شکل ۲-D). گیاهان به منظور مقابله با خسارات گونه های فعال اکسیژن در شرایط تنش خشکی، نیاز به یک سیستم آنتی اکسیدان فعال دارند (Stepien and Klobus, 2005). بسیاری از مطالعات نشان داده است که یک سیستم آنتی اکسیداتیو کارآمد به همراه افزایش تجمع پرولین در گیاه

می تواند نقش مهمی در تحمل به خشکی ایفا کند (Xiao et al., 2008). فعالیت بسیاری از آنزیم های آنتی اکسیدان در واکنش به تنش خشکی افزایش می یابد (Guo et al., 2006). طبق نتایج حاصل از این آزمایش افزودن استفاده از کلرید پتاسیم تأثیر منفی و عدم استفاده از کلرید پتاسیم (تیمار شاهد) تأثیر مثبت روی میزان آنتی اکسیدان ها داشته است که شاید مرتبط با این است که واکنش آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی متغیر بوده و می تواند افزایشی، کاهشی یا بدون تغییر باشد (Zhang and Kirkham, 1996).

براساس نتایج اثر متقابل خشکی و محلول پاشی پتاسیم، در D3 با افزودن K2 بیشترین میزان فنول مشاهده شد اما در D1 و D2 تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳-A). بسیاری از ترکیبات فنلی به عنوان آنتی اکسیدان عمل می کنند و می توانند به طور مؤثری رادیکال های گروه هیدروکسیل و پروکسیل را حذف کنند و از اکسید شدن چربی ها ممانعت به عمل آورند (Boscaiu et al., 2010). در سبزمینی شیرین نیز کاهش ترکیبات فنلی در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Lin et al., 2006). در تربیتکاله، تنش خشکی باعث افزایش مقدار تولید ترکیبات فنلی در ارقام حساس شد، اما در ارقام مقاوم این تغییرات ناچیز بود (Hura et al., 2007). به نظر می رسد در این پژوهش اثر متقابل خشکی و کاربرد پتاسیم تأثیری اندکی بر میزان فنول داشته است. ترکیبات فنلی همچون پالایندهای گونه های واکنشگر اکسیژن عمل می کنند و در نتیجه سبب ثبات غشاهای سلولی و مانع پراکسیداسیون لیپیدها می شود. از سوی دیگر، با افزایش فعالیت و میزان آنزیم بیوسنتزکننده فنل ها موجب افزایش ترکیبات فنلی در گیاه می گردد (Hura et al., 2007). همچنین نتایج نشان داد تیمار شاهد در مقابل تیمار استفاده از کلرید پتاسیم موجب کاهش پروتئین کل می شود یعنی پروتئین کل با استفاده از کلرید پتاسیم و در D3 بیشترین میزان را دارا بود (شکل ۳-B). کاهش میزان پروتئین در گیاه تحت تنش خشکی را می توان به افت شدید فرآیند فتوسنتز و متعاقب آن کاهش پیش ماده های تولیدکننده پروتئین نسبت داد. تنش خشکی بیان ژن های کدکننده پروتئین های درون سلولی را القاء می کند و سبب تجزیه پروتئین ها و تحرک مجدد نیتروژن و متعاقب آن سنتز مواد محلول سازگار از جمله پرولین می شود. به همین دلیل به نظر می رسد کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئین مرتبط باشد. بنابراین با تخریب پروتئین ها، انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد در جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول در شرایط تنش خشکی مشاهده شده است (Moran et al., 1994). پتاسیم نقش اساسی در فعال سازی آنزیمی، سنتز پروتئین، تنظیم اسمزی، تعادل کاتیونی-آنیونی و تحمل تنش دارد.



شکل ۲- اثر متقابل تنش اسمزی × میزان پتاسیم بر محتوی فلاونوئید (A)، کاروتنوئید (B)، پرولین (C)، آنتی‌اکسیدان (D) خیار رقم 'Miran'.

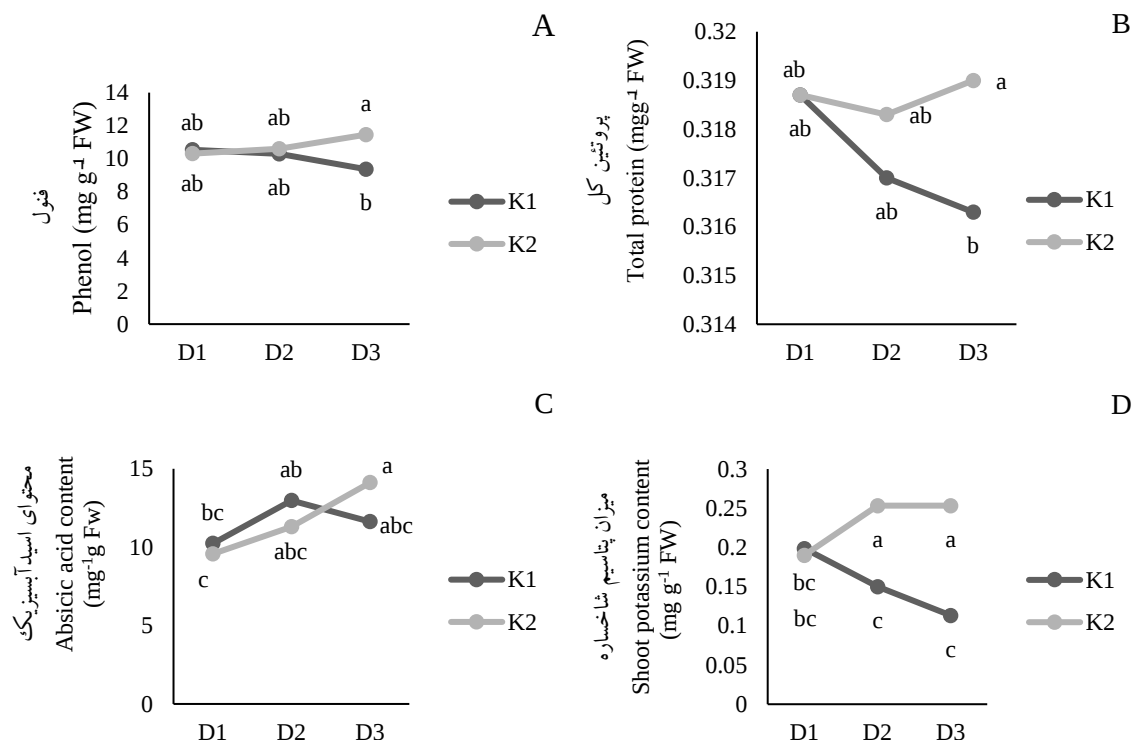
صفر (D1)، ۱/۴۸ (D2) و ۴/۹۱ (D3) دسی‌زیمنس بر متر پلی‌اتیلن‌گلیکول؛ صفر (K1) و ۶ (K2) میلی‌مولار کلریدپتاسیم

Figure 2- The interaction effect of osmotic stress × potassium content on flavonoids (A), carotenoids (B), proline (C), antioxidants (D) contents of cucumber cv. 'Miran'. 0 (D1), -1.48 (D2), and -4.91 (D3) ds.m⁻¹ polyethylene glycol; 0 (K1) and 6 (K2) mM KCl. (LSD, $p \leq 0.05$)

دنبال دارد. از طرفی روزنه‌ها نیز قادر به ساخت اسیدآبسیزیک مورد نیاز خود هستند. مطالعات گسترده نشان داده است که کاهش در هدایت روزنه‌ای برگ تا حد زیادی به افزایش سطح اسیدآبسیزیک در آوند چوبی بستگی دارد. بنابراین اسیدآبسیزیک می‌تواند به عنوان یک علامت تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای را تنظیم کند (Zhang and Davies, 1991). نقش پتاسیم می‌تواند در کمک به تنظیم اسمزی در شرایط تنش رطوبتی دانست که با دخالت در سنتز اسمولیت‌ها برای سازگاری با تنش و حفظ فشار تورژسانس، نقش خود را اجرا می‌کنند که به نظر می‌رسد با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

براساس نتایج بدست آمده در این پژوهش در D2 و D3 و عدم استفاده از کلریدپتاسیم میزان پتاسیم شاخساره روند کاهشی داشت و در همین دو تنش با استفاده از کلریدپتاسیم میزان پتاسیم شاخساره افزایش یافت (شکل ۳-D). میزان پتاسیم با افزایش خشکی در K2 افزایش و در K1 در شاخساره کاهش یافت (شکل ۳-D).

در هنگام پروتئین‌سازی، دخالت پتاسیم در فرآیندهایی مانند جابجایی اسیدهای آمینه و اتصال tRNA به ریبوزوم دلیلی افزایش پروتئین تحت تنش بیان شده است. بنابراین وجود پتاسیم کافی نیز با توجه به نقشی که در حفظ پتانسیل آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفتن آب دارد، در شرایط تنش آبی، سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد (Daneshian et al., 2002) که با نتایج حاصل از این آزمایش هم مطابقت دارد. محتوای اسیدآبسیزیک در تمام تیمارها با افزودن K2 افزایش یافت و بیشترین میزان در D3 مشاهده شد (شکل ۳-C). یکی از مهم‌ترین وظایف اسیدآبسیزیک القاء بسته شدن روزنه‌ها در مواجهه با کمبود آب است. تحت شرایط کمبود آب، سطح اسیدآبسیزیک در ریشه‌ها افزایش می‌یابد و از ریشه‌ها به برگ‌ها جایی که بسته شدن روزنه را القاء می‌کند، انتقال می‌یابد. در نتیجه با بسته شدن روزنه‌ها تعرق کم می‌شود. علاوه بر این کمبود آب افزایش تولید اسیدآبسیزیک در برگ‌ها و توزیع مجدد آن از مزوفیل به اپیدرم و بسته شدن روزنه‌ها را به



شکل ۳- اثر متقابل تنش اسمزی × میزان پتاسیم بر محتوی فنول (A)، پروتئین کل (B)، اسیدآبسیزیک (C)، پتاسیم شاخساره (D) خیار رقم 'Miran'. صفر (D1)، ۱/۴۸- (D2) و ۴/۹۱- (D3) دسی‌زیمنس بر متر پلی اتیلن گلیکول؛ صفر (K1) و ۶ (K2) میلی‌مولار کلرید پتاسیم

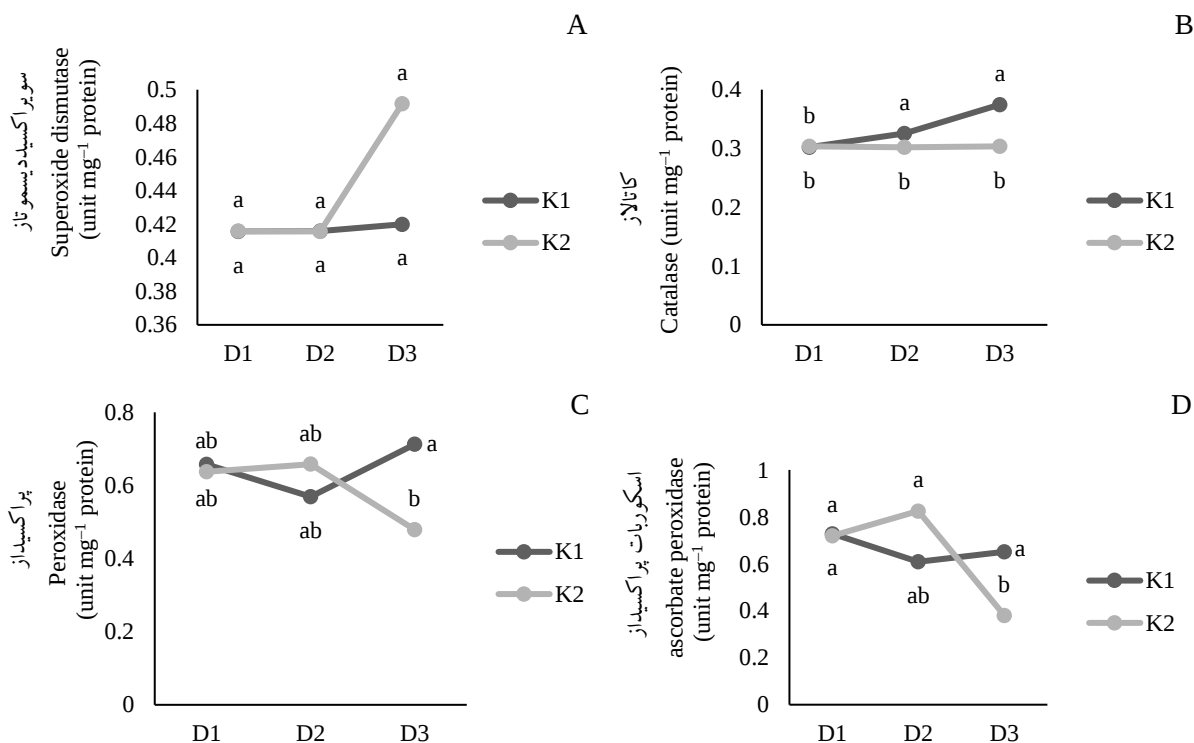
Figure 3- The interaction effect of osmotic stress × potassium content on phenol (A), total protein (B), abscisic acid (C), shoot potassium (D) contents of cucumber cv. 'Miran'. 0 (D1), -1.48 (D2), and -4.91 (D3) ds.m⁻¹ polyethylene glycol; 0 (K1), 6 (K2) mM KCl. (LSD, $p \leq 0.05$)

پاسخ به تنش خشکی ساخت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD، APX، POD، CAT، آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش خشکی با حذف پراکسید هیدروژن و حذف مالون‌دی‌آلدئید که باعث پراکسیداسیون غشاء می‌شود نقش مهم و کلیدی را در شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند. از طرفی APX در پاسخ به تعدادی از تنش‌های محیطی از قبیل شوری، خشکی و سرما فعال می‌شود. همچنین، ممکن است تحت شرایط تنش فعالیت برخی از آنزیم‌ها افزایش و فعالیت برخی دیگر کاهش یابد. به عبارتی بهتر افزایش تنش لزوماً به منزله افزایش تمام ظرفیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه نیست (Ahmad et al., 2018). به نظر می‌رسد اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی پتاسیم بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در این مطالعه با مطالعات قبلی مطابقت دارد. محققان در طی پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند که تنش خشکی از طریق اختلال در جذب پتاسیم و کاهش مقدار آن در سطح سلول سبب القای تنش اکسیداتیو می‌شود و کاربرد پتاسیم در چنین شرایطی تا حد زیادی تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر را کاهش می‌دهد (Ahmad et al., 2018). به عبارتی

براساس نتایج اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی پتاسیم، افزودن K1 اثر معنی‌داری بر میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نداشت اما افزودن K2 در D3 به‌طور معنی‌داری باعث افزایش این آنزیم شد (شکل ۴-A). در مطالعات قبلی افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌های سیب تحت تنش خشکی اثبات شده است (Ahmad et al., 2018). بررسی اثر متقابل K2 بر آنزیم کاتالاز در هیچ یک از تیمارهای خشکی تأثیر چندانی نداشت ولی افزودن K1 در D3 موجب افزایش آنزیم کاتالاز شد (شکل ۴-B). طبق نتایج حاصل از اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی پتاسیم، در تیمار شاهد (عدم استفاده از کلرید پتاسیم) به ترتیب در D2 و D3 میزان آنزیم پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت اما با افزودن K2 ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۴-C و D). آنزیم آسکوربات پراکسیداز سبب احیای پراکسید هیدروژن به آب می‌شود. شواهدی نیز مبنی بر افزایش (Moradi and Abdelbdghi, 2007) و کاهش (Demiral and Turkan, 2005) فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش وجود دارد. به طور کلی یک ابزار مشهور در گیاهان در

آنتی‌اکسیدانی قادر به حفظ پایداری غشا، کاهش نشت یونی و تجزیه‌ی کلروفیل ناشی از تنش بود (Ahmad et al., 2018).

کاربرد پتاسیم برای گیاهان رشد یافته در تنش خشکی، از طریق افزایش محتوای پتاسیم و کلروفیل و بهبود فعالیت آنزیم‌های



شکل ۴- اثر متقابل تنش اسمزی × میزان پتاسیم بر محتوای سوپراکسید دیسموتاز (A)، کاتالاز (B)، پراکسیداز (C)، اسکوربات پراکسیداز (D) خیار رقم 'Miran'. صفر (D1)، ۱/۴۸ (D2) و ۴/۹۱ (D3) دسی‌زیمنس بر متر پلی‌اتیلن گلیکول؛ صفر (K1) و ۶ (K2) میلی‌مولار کلرید پتاسیم. Figure 4- The interaction effect of osmotic stress × potassium content on superoxide dismutase (A), catalase (B), peroxidase (C), ascorbate peroxidase (D) contents of cucumber cv. 'Miran'. 0 (D1), -1.48 (D2), and -4.91 (D3) ds.m⁻¹ polyethylene glycol; 0 (K1) and 6 (K2) mM KCl. (LSD, $p \leq 0.05$)

نتیجه‌گیری

و ثبات عملکرد در این شرایط می‌شود. کاربرد کلرید پتاسیم ۶ میلی-مولار روی اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده از جمله میزان وزن خشک، وزن تر، کلروفیل، فلاونوئید، کاروتنوئید، پروتئین، فنول، پروتئین کل، اسیدآبسیزیک، سوپراکسید دیسموتاز و اسکوربات پراکسیداز تأثیر مثبت نشان داد. در غلظت ۴/۹۱- دسی‌زیمنس بر متر با افزودن کلرید پتاسیم ۶ میلی‌مولار بیشترین میزان فنول و پروتئین مشاهده شد. همچنین استفاده از کلرید پتاسیم در تمام تیمارها محتوای اسیدآبسیزیک را افزایش داد و بیشترین میزان آن در غلظت ۴/۹۱- دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که می‌توان نتیجه گرفت آثار سوء تنش خشکی در خیار با استفاده از پتاسیم به میزان قابل توجهی، کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این بررسی، می‌توان اظهار داشت که گیاه در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی خود دارد و این کار را با افزایش اسمولیت‌هایی از جمله پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی که به حفظ فشار و تورژسانس سلول‌های گیاه کمک می‌کنند، کاربرد پتاسیم می‌تواند با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و حفظ کلروفیل آثار سوء تنش خشکی را کاهش دهد بدین ترتیب سلول به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه می‌دهد و در نهایت عملکرد قابل قبول‌تری در این شرایط تولید می‌کند. به عبارتی در شرایط تنش خشکی با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاربرد پتاسیم منجر به مهار بیشتر گونه‌های فعال اکسیژن واکنش‌گر

منابع

- 1- Ahmad, Z., Anjum, S., Waraich, E.A., Ayub, M.A., Ahmad, T., Tariq, R.M.S., Ahmad, R., & Iqbal, M.A. (2018). Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress—a review. *Journal of Plant Nutrition* 41(13): 1734-1743. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1459688>.
- 2- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* 6(9): 2026-2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>.
- 3- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
- 4- Askari, E., & Ehsanzadeh, P. (2015). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 37-4(2): 6. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1762-y>.
- 5- Barker, A.V., & Pilbeam, D.J. (2007). *Handbook of plant nutrition*. CRS Press, Taylor and Francis Group. Boca Raton.
- 6- Bates, L.S., Waldren R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39(1): 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.
- 7- Bilger, W., & Björkman, O. (1994). Relationships among violaxanthin deepoxidation, thylakoid membrane onformation, and nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching in leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Planta* 193(2): 238-246. <https://doi.org/10.1007/BF00192536>.
- 8- Bahrami-Rad, S., & Hajiboland, R. (2017). Effect of potassium application in drought-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants. Comparison of root with foliar application. *Annals of Agricultural Sciences* 62(2): 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2017.08.001>.
- 9- Boscaiu, M., Sánchez, M., Bautista, I., Donat, P., Lidón, A., Llinares, J., Llul C., Mayoral, O., & Vicentem O. (2010). Phenolic compounds as stress markers in plants from gypsum habitats. *Horticulture* 67(1): 44-49.
- 10- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72(1-2): 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
- 11- Daneshian, J., Hrvan, A. M., & Jonoubi, P. (2002). The effect of drought stress and different amounts of potassium on quantitative and qualitative characteristics of soybean. *Journal of Agriculture Science* 8(1): 95-108.
- 12- Dehqanzadeh, H., Khajepour, M.R., Heidari Sharif Abad, H., & Soleimani, A.S. (2008). *Effect of limited irrigation on the accumulation of proline, free soluble sugars and potassium in bread wheat cultivars*. In 10th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding Sciences.
- 13- Demiral T., & Turkan, I. (2005). Comparative peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 53: 247-257. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.03.017>.
- 14- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D.B., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12.
- 15- Guo, Z., Ou, W., Lu, S., & Zhong, Q. (2006). Differential responses of Antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry* 44: 828-836. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2006.10.024>.
- 16- Harmanto V.M., Salokhe M.S., and Babel H.J. (2005). Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management* 71: 225-242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.003>.
- 17- Hamada, A.M., & EL-enany, A.E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum* 36: 75-81. <https://doi.org/10.1007/BF02921273>.
- 18- Hasandokht, M. (2005). (*Greenhouse Management*) *Greenhouse production technology*. Knowledge Boundary Publications. Tehran. (In Persian)
- 19- Hassani, A., Omid Beigi, R., & Heidari Sharifabad, H. (2003). The effect of different levels of soil moisture on growth, yield and accumulation compatibility metabolites in basil. *Journal of Soil and Water Sciences* 17(2): 210-219.
- 20- Hura, T., Grzesiak, S., Hura, K., Thiemt, E., Tokarz, K., & Wędzony, M. (2007). Physiological and biochemical tools useful in drought-tolerance detection in genotypes of winter triticale: accumulation of ferulic acid correlates with drought tolerance. *Annals of Botany* 100(4): 767-775. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm162>.
- 21- Jaleel, C.A., Paramasivam, A., Wahid, M. Farooq, H.J., Al-Juburi, F., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigment compositions. *International Journal of Agriculture and Biology* 11: 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijagb.2009.11.100>.
- 22- Kaya, C., Kirnak, H., & Higgs, D. (2001). Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological

- development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). *Journal of Plant Nutrition* 24(9): 1457-1471. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106995>.
- 23- Khosravi-Far, S., Yarnia, M., Khorshidi Benam, M.B., & Hossein-Zade Moghbeli, A.H. (2008). *Effect of potassium on drought tolerance in potato variety Agria*. In: Proc 10th Ir. Agron and Plants Breed Cong, 358p. (In Persian)
- 24- Lata, C., Jha, S., Dixit, V., Sreenivasulu, N., & Prasad, M. (2011). Differential antioxidative responses to dehydration-induced oxidative stress in core set of foxtail millet cultivars (*Setaria italica* L.). *Protoplasma* 248(4): 817-828. <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0257-y>.
- 25- Lin, K.H., Chao, P.Y., Yang, C.M., Cheng, W.C., Lo, H.F., & Chang, T.R. (2006). The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Botanical Studies* 47(4): 417-426.
- 26- Mao, X., Liu, M., Wang, X., Liu, C., Hou, Z., & Shi, J. (2003). Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 61: 219-228. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00022-2).
- 27- McAdam, S.A., & Brodribb, T.J. (2016). Linking turgor with ABA biosynthesis: implications for stomatal responses to vapor pressure deficit across land plants. *Plant Physiology* 171(3): 2008-2016. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00380>.
- 28- Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy* 87(1): 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.021>.
- 29- Moradi, F., & Abdelbdghi, M.I. (2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of Botany* 99: 1161-1173. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm052>.
- 30- Moran, J.F., Becana, M., Ormaetxe, I.I., Frechilla, S.L., Klucasc, R.V., & Tejo, D.A. (1994). Drought induces oxidative stress in pea plants. *Planta* 194: 346-352. <https://doi.org/10.1007/BF00197534>.
- 31- Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A.M., Soroush-Zade, A., & Jalali, M. (2004). Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. *Biaban* 9(1): 93-110.
- 32- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology* 22: 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>.
- 33- Pennycooke, J.C., Cox, S., & Stushnoff, C. (2005). Relationship of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerance in petunia (*Petunia* × *hybrida*). *Journal of Experimental Botany* 53: 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.04.002>.
- 34- Rauf, M., Munir, M., Hassan, M., Ahmad, M., & Afzal, M. (2007). Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Biotechnology* 6(8): 68-73.
- 35- Rossi, L., Francini, A., Minnocci, A., & Sebastiani, L. (2015). Salt stress modifies apoplastic barriers in olive (*Olea europaea* L.): a comparison between a salt-tolerant and a salt-sensitive cultivar. *Scientia Horticulturae* 192: 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.023>.
- 36- Sánchez, F.J., Manzanares, M., de Andres, E.F., Tenorio, J.L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research* 59(3): 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7).
- 37- Sangtarash, M.H., Qaderi, M.M., Chinnappa, C.C., & Reid, D.M. (2009). Carotenoid differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. *Environmental and Experimental Botany* 66(2): 212-219. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.004>.
- 38- Shah, T., Khan, A.Z., Numan, M., Ahmad, W., Zahoor, M., Ullah, M., & Jalal, A., (2017). Nutrient uptake and yield of wheat varieties as influenced by foliar potassium under drought condition. *Cercetari Agronomice in Moldova* 50(2): 5-20. <https://doi.org/10.1515/cerce-2017-0011>.
- 39- Shahzad, A.N., Fatima, N., Sarwar, S., Bashir, M., Rizwan, M.F., Qayyum, M.K., Qureshi, M., Javaid, H., & Ahmad, S. (2017). Foliar application of potassium sulfate partially alleviates pre-anthesis drought-onduced kernel abortion in maize. *International Journal of Agriculture and Biology* 19(3):495–501.
- 40- Smirnov, N. (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist* 27-58-62. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x>.
- 41- Soheili Movahed, S., Esmaeeli, A., Jabari, F., & Fooladi, A. (2017). Evaluation of yield and yield Components of some pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under late season water deficit conditions, *Journal of Agroecology* 9(2): 433-444. (In Persian with English abstract)
- 42- Stepien, P., & Klobus, G. (2005). Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stress. *Plant Physiology* 125: 31-40. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00534.x>.
- 43- Tabatabaei, S., & Ehsanzadeh, P. (2016). Photosynthetic pigments, ionic and antioxidative behaviour of hulled tetraploid wheat in response to NaCl. *Photosynthetica* 54: 340-350. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0083-3>.
- 44- Thalooth, A.T., Tawfik, M.M., & Mohamed, H.M. (2006). A comparative study on the effect of foliar application

- of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences* 2(1): 37-46.
- 45- Wang, X., Li, D., & Zahang, X. (1999). Relationship between irrigation amount and yield of cucumber in Solor greenhouse. *China Vegetables Journal* 1: 1-6.
- 46- Wright, H., Delong, J., Lada, R. & Prange, R. 2009. The relationship between water status and chlorophyll a fluorescence in grapes (*Vitis* spp.). *Postharvest Biology and Technology* 51: 193-199. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.07.004>.
- 47- Wu, R., & Garg, A. (2003). Engineering rice plants with trehalose-producing genes improves tolerance to drought, salt, and low temperature. *ISB news report* 3-7.
- 48- Xiao, X., Xu, X., & Yang, F. (2008). Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cathayana* populations. *Silva Fennica* 42(5): 705-719.
- 49- Zhang, J., & Kirkham, M.B. (1996). Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings. *New Phytologist* 132: 361-373. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01856.x>.
- 50- Zhang1991, J., & Davies, W.J. (1991). Antitranspirant activity in xylem sap of maize plants. *Journal of Experimental Botany* 42(3): 317-321. <https://doi.org/10.1093/jxb/42.3.317>.
- 51- Zhao, D. Y., Shen, L., Fan, B., Liu, K.L., Yu, M.M., Zheng, Y., Ding, Y., & Sheng, J.P. (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>.



The Effect of Foliar Spray of different Calcium Sources on Antioxidant Properties and Quality of Cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis ‘Romanesco’)

R. Najafi¹, T. Barzegar^{2*}

Received: 05-05-2021

Revised: 20-06-2021

Accepted: 14-07-2021

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Najafi, R., & Barzegar, T. (2022). The Effect of Foliar Spray of different Calcium Sources on Antioxidant Properties and Quality of Cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis ‘Romanesco’). *Journal of Horticultural Science* 36(3): 577-589. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2021.70150.1047](https://doi.org/10.22067/jhs.2021.70150.1047)

Introduction

Cauliflower is one of the world's most important vegetable crops. The edible head of the cauliflower is called curd, which is composed of many florets formed of aborted floral meristems. Curd has various components with high nutritional value including glucosinolates, vitamin A and C, phenolic compounds, and carotenoids, which exert beneficial effects on our health. Calcium is an essential macronutrient that plays a vital role in maintains cell wall stability, integrity and determining the fruit quality. Several researches have explored the effects of calcium salts on plant growth and quality in many horticulture crops. Various studies indicate that Ca^{2+} reduced peroxidation of lipid, increased activity of antioxidant enzyme and improve osmotic adjustment of cell membranes. Plant roots absorb calcium from the soil solution in the form of Ca^{2+} ions. The mobility of calcium in plant is low, and the root uptake from fertilized soils is poorly effective in increasing the calcium content in leaves and fruits. Deficiency of Ca will appear in younger leaves and in fruits, due to its low rate of transpiration. Thence, it is necessary to have a constant supply of calcium to continue growing. The direct application of liquid source of calcium on leaves and fruits may offer an alternative solution. The efficiency of foliar application with Ca depends on the source of Ca and applied dosage. To our knowledge, however, little information is available regarding the effect of different calcium sources on cauliflower. Thus, the aim of this study was to investigate the effect of foliar spray of calcium sources on quality and antioxidant properties of cauliflower cv. Romansco.

Material and Methods

In order to evaluate the effect of different sources of calcium on antioxidant properties and quality of cauliflower cv. Romansco, the field experiment was carried out as a randomized complete block design with three replication during 2018 at Research farm of faculty of Agriculture, at the University of Zanjan, Iran. Cauliflower plants (cv. Romanesco) were cultivated by applying conventional farming practice for growing in open air conditions. Different calcium sources including calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0.5, 1 and 1.5 %), calcium chloride (CaCl_2 , 0.3, 0.6 and 0.9 %) and calcium lactate ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_6$, 0.5, 1 and 1.5 g L^{-1}) were sprayed in vegetative stage and 10 days after curd formation for 2 times onto the leaves and curd until runoff using a mechanical mist sprayer. Distilled water was used as a control. Potassium, phosphorus, total soluble content, titratable acidity, ascorbic acid content, total phenols and flavonoids, free radical scavenging activity (DPPH) were measured. Statistical analyses were performed with SPSS software package v. for Windows, and means comparison were separated by Duncan's multiple range tests at $p < 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that foliar spray of different Ca sources significantly increased K content and decreased

1 and 2- Graduate M.Sc. Student and Associate Professor, Department Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Respectively.

(*- Corresponding Author Email: tbarzegar@znu.ac.ir)

P content. The highest amount of K ($5.6 \mu\text{g mg}^{-1}\text{DW}$) was achieved in CaCl 0.9% treatment. The highest value of flavonoids (0.86 and 0.85 %) was found in plants treated with CaL 1.5 g L^{-1} and CaCl 0.9%, respectively. In this study, also it was found that foliar spray of CaN 1.5% and CaCl 0.9% increased respectively 49.3 and 40.4% vitamin C content compared to control plants. Ca application with increasing phenolic compound and vitamin C contents, improved antioxidant capacity and the maximum antioxidant capacity (26.19%) was found in CaL 1.5 g L^{-1} and CaN 1.5% treatments. Application of Ca sources increased TA and TSS content. The highest TSS content (12.5 and 13.3 °B) was achieved in CaCl 0.9% and CaL 1.5 g L^{-1} and the maximum TA (28.8%) was found in plant treated with CaCl 0.9%. In this regard, foliar application of high level of calcium sources was more efficient than of lower levels on cauliflower quality. Therefore, the leaf application of calcium can be effective in improving the quality of vegetables, especially cauliflower.

Conclusion

Study results suggest that spraying different Ca source improved quality and antioxidant properties of cauliflower cv. Romanesco, so that with the application of Ca salts increase K, vitamin C, phenol and flavonoids contents. Among the calcium treatments used, higher levels of all three salts of CaCl, CaN and CaL had the most influence, so these calcium treatments are recommended to improve the quality and antioxidant properties of Romanesco cultivar.

Keywords: Antioxidant activity, Potassium, Total soluble solids, Vitamin C



مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۵۸۹-۵۷۷

تأثیر محلول پاشی برگی منابع مختلف کلسیم بر کیفیت و ویژگی های آنتی اکسیدانی کلم گل رقم 'رومانسکو' (*Brassica oleracea* cv. *botrytis* 'Romanesco')

رضا نجفی^۱ - طاهر برزگر^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر منابع مختلف کلسیم بر خواص آنتی اکسیدانی و کیفیت کلم گل رقم 'رومانسکو'، آزمایشی به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایشی، محلول پاشی برگی منابع مختلف کلسیم شامل کلرید کلسیم (۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد)، لاکتات کلسیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر) و نیترات کلسیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) و محلول پاشی با آب مقطر به عنوان شاهد بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی برگی کلسیم، مقدار پتاسیم را به طور معنی داری افزایش و فسفر را کاهش داد و بیشترین مقدار پتاسیم (۵/۶ میکروگرم بر گرم ماده خشک) در گیاهان تیمار شده کلرید با کلسیم ۰/۹ درصد حاصل شد. بیشترین میزان فلاونوئید (۰/۸۶ و ۰/۸۵ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) به ترتیب در گیاهان تیمار شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۰/۹ درصد به دست آمد. محلول پاشی برگی نیترات کلسیم با افزایش مقدار ویتامین ث، فنل و فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی کلم گل را بهبود بخشید. کاربرد ترکیبات کلسمی محتوای مواد جامد محلول کل و اسید قابل تیتراسیون را افزایش دادند به طوری که بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۱۲/۵ درصد بریکس) و اسید قابل تیتراسیون (۲۸/۸۴ درصد) در تیمار کلرید کلسیم ۰/۹ درصد حاصل شد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل، کاربرد نیترات کلسیم ۱/۵ درصد، کلرید کلسیم ۰/۹ درصد و لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر جهت بهبود خواص آنتی اکسیدانی و کیفیت کلم گل پیشنهاد می گردد.

واژه های کلیدی: پتاسیم، فعالیت آنتی اکسیدانی، مواد جامد محلول، ویتامین ث

مقدمه

کلم ها از سبزی های مهم مورد استفاده در سراسر جهان هستند که منبع بسیار خوبی از اسید آسکوربیک، کاروتنوئید، پلی فنل و دارای ظرفیت آنتی اکسیدانی بالایی در برابر تنش های اکسیداتیو هستند و اهمیت آنها در تقویت سلامتی انسان به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی، فیبر غذایی، ویتامین ها و مواد معدنی می باشد (Riad et al., 2009). کلم گل (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) گیاهی است دوساله که بخش خوراکی آن آغازه های گل تمایز نیافته یا گل های نارس

(کورد)^۳ و دمگل های گوشتی است که دارای ترکیبات با ارزش غذایی و دارویی بالا شامل ویتامین آ و ث، ریبوفلاوین، تیامین، کربوهیدرات، پروتئین، فیبر، پتاسیم، فسفر و آهن است (Gocher et al., 2017). کلسیم یکی از عناصر غذایی ضروری است که نقش قابل توجهی در رشد و کیفیت سبزی ها دارد و به عنوان یک کاتیون دوظرفیتی برای فعالیت های ساختاری دیواره و غشای سلول، یک کاتیون متقابل برای آنیون های آلی و غیر آلی درون واکوئل و یک پیام رسان درون سلولی لازم است. این عنصر با اتصال به فسفولیپیدها، لایه های چربی را پایدار کرده و در نهایت موجب یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی می شود (Kader and Lindberg, 2010). دیواره سلولی غنی از کلسیم است و تثبیت کلسیم در دیواره سلولی باعث تقویت سلول ها و

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(Email: tbarzegar@znu.ac.ir)

* - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jhs.2021.70150.1047

از آنجایی که در منابع موجود و نتایج فعالیت‌های تحقیقاتی مربوط گزارشی در زمینه کاربرد منابع مختلف کلسیم بر روی کلم‌گل رقم رومانسکو ارائه نشده است، این پژوهش با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت منابع مختلف کلسیم بر کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی کلم‌گل رقم رومانسکو انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر منابع مختلف کلسیم بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت کلم‌گل رقم 'رومانسکو' (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco') آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل منابع مختلف کلسیم به صورت کلرید کلسیم (CaCl_2)، ۳۶/۳ درصد کلسیم) در سه سطح ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد، لاکتات کلسیم ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$) در سه سطح ۱۸/۳ درصد کلسیم) در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر و نیترات کلسیم ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)، ۱۹ درصد کلسیم و ۱۵/۵ درصد نیتروژن) در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و محلول‌پاشی با آب مقطر به عنوان شاهد بود. لاکتات کلسیم با فرمول شیمیایی $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$ دارای جرم مولی ۲۱۸/۲۲ گرم بر مول می‌باشد. شکل ظاهری این ترکیب پودر سفید است در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۴/۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در آب یا اتانول حل می‌شود و دارای خواص شیمیایی متعددی می‌باشد. در صنایع دارویی به عنوان یک آنتی‌اکسیدان مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین برای رفع کمبود کلسیم استفاده می‌شود (Martin-Diana et al., 2005). برای تهیه محلول در سه سطح از لاکتات کلسیم، نیترات کلسیم و کلرید کلسیم با استفاده از ترازوی چهار صفر وزن شده، بعد در آب مقطر حل و در ظرفی که از قبل اتیکت زده و مشخص شده بود ریخته و با آب مقطر به حجم رسانده شد. نشاهای کلم‌گل رقم 'رومانسکو' در تاریخ ۲۵ مرداد در مرحله چهار- پنج برگی به زمین اصلی انتقال داده شدند. منابع مختلف کلسیم در دو مرحله رویشی قبل از ظهور گل‌آذین و ۱۰ روز پس از ظهور گل‌آذین بصورت جداگانه با استفاده از محلول‌پاش دستی (مدل S12) بر روی گیاهان محلول‌پاشی شدند. جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه را نشان می‌دهد. نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای - نواری) و دور آبیاری سه روز یکبار بود. کوددهی در دو نوبت در مرحله شش برگی و ۳۰ روز پس از مرحله اول، با کود کامل NPK (۲۰:۲۰:۲۰) با غلظت یک گرم بر لیتر با آب آبیاری انجام گرفت. محصول در تاریخ ۱۹ آذرماه برداشت شد و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و کیفی کورد ارزیابی شد.

مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌گردد، این موارد با علائم آشکاری مانند پوسیدگی گلگاه در گوجه‌فرنگی و فلفل مشخص می‌شود (Tabatabaei, 2014). نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد قبل از برداشت کلسیم یک روش موثر در حفظ کیفیت میوه و سبزی، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تاخیر پیری و حفظ کیفیت پس از برداشت می‌باشد (Wang and Long, 2015). پایداری دیواره سلولی و غشاهای سلولی ارتباط نزدیکی با میزان سفتی گوشت میوه دارد، وجود باندهای کلسیم به صورت پکتات در تیغه‌های میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت‌های گیاهی ضروری است. تخریب پکتات‌ها به وسیله آنزیم پلی‌گالاکتورنازها صورت می‌گیرد و زمانی که مقدار کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آنها جلوگیری می‌نماید و در نتیجه از ترشح هورمون اتیلن جلوگیری می‌شود (Malakouti and Tabatabaei, 1998). کلسیم با استقرار در دیواره سلولی به عنوان اتصال دهنده بین مولکولی که به ترکیبات تیغه میانی ثبات می‌بخشد، ساختمان دیواره سلولی را حفظ می‌کند. از سویی کلسیم ساختار و وظایف غشای سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با متصل کردن پروتئین‌های دارای نقش آنزیمی و غیر آنزیمی به فسفولیپیدهای غشاء سلولی، از فعالیت آنزیم‌های تولید کننده اتیلن که ساختار پروتئینی داشته و به غشای سلولی متصل هستند، می‌کاهد. در نهایت با تولید کمتر اتیلن که تحریک کننده فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده دیواره سلولی است از تخریب دیواره سلولی ممانعت شده و میوه‌های حاوی کلسیم سفت باقی می‌مانند. (Babalar et al., 2009).

یافته‌های یک پژوهش نشان داد که استفاده از منابع مختلف کلسیم بخصوص نیترات کلسیم، محتوای قند کل، ویتامین ث و کاروتنوئید را در میوه‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) افزایش داد (Buczowska et al., 2016). تیمار قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد، حفظ کیفیت، کاهش نشت یونی و افزایش سفتی کلم بروکلی شد (Kou et al., 2015). محلول‌پاشی قبل از برداشت لاکتات کلسیم در گیاه فلفل دلمه‌ای، محتوای ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد (Barzegar et al., 2018). بررسی کاربرد منابع مختلف کلسیم در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) نشان داد که با افزایش غلظت لاکتات کلسیم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای آنتوسیانین و فنل کل افزایش یافت (Rimmer, 2006). کاربرد برگی لاکتات کلسیم در گیاه کاهو تحت شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری محتوای فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت کلسیم و نیتروژن میوه را افزایش داد ولی تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر و پتاسیم نداشت (Khani et al., 2020). کاربرد برگی کلسیم، وزن تر بوته، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت کلسیم برگ‌های کاهو را افزایش داد و از ظهور عارضه نوک سوختگی برگ ممانعت کرد (Niazi et al., 2021).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil used in the experiment

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیترژن N (%)	کلسیم Ca (g.kg ⁻¹)	سدیم Na (g.kg ⁻¹)	پتاسیم K (g.kg ⁻¹)	مواد آلی Organic matter (%)	بافت خاک Soil Texture
7.4	1.49	0.07	0.12	0.13	0.20	0.94	رسی لومی Loamy clay

صفات مورد ارزیابی

اندازه‌گیری غلظت عنصر فسفر به روش رنگ سنجی وانادات-مولیبدات انجام پذیرفت. برای این منظور ۰/۵ گرم ماده پودر شده گیاهی توسط بلندر را پس از توزین، در داخل بوته‌های چینی ریخته و این بوته‌ها به مدت ۶ ساعت در داخل کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و خاکستر آنها کاملاً به رنگ سفید در آمد، سپس بوته های حاوی خاکستر با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شده و به هر بوته ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک مولار اضافه شد (Cottenie, 1980). برای اندازه‌گیری پتاسیم از روش فلیم فتومتری استفاده شد (Cottenie, 1980).

میزان فنل کل کورد با استفاده از معرف فولین سیوکالتو (Folin-Ciocalteus) اندازه‌گیری گردید. برای این منظور ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه‌های رقیق شده عصاره کلم رقم 'رومانسکو' همراه دو میلی‌لیتر کربنات سدیم (وزنی/حجمی ۲ درصد) در لوله آزمایش ریخته شد و به مدت دو دقیقه در دمای اتاق نگه داشته شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از واکنش فولین سیوکالتو (۵۰ درصد) به آن اضافه شد. مخلوط واکنش به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری شد و سپس میزان جذب آن در طول موج ۷۲۰ نانومتر خوانده شد. برای به دست آوردن منحنی کالیبراسیون از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده شد به طوری که غلظت‌های مختلف آن به جای نمونه‌ها ریخته و میزان جذب آن‌ها در طول موج ۷۲۰ نانومتر خوانده شد و منحنی بر اساس میزان جذب در غلظت‌های مشخص رسم گردید (Singleton and Rossi, 1965).

برای اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل، بر روی ۲۵۰ میکرولیتر از نمونه‌ها، ۷۵ میکرولیتر NaNO₂ (وزنی/حجمی ۵ درصد) و ۱۵۰ میکرولیتر AlCl₃ (وزنی/حجمی ۱۰ درصد) و ۵۰ میکرولیتر NaOH یک مولار اضافه شد و با اضافه کردن آب مقطر حجم نهایی به ۲/۵ میلی‌لیتر رسید. پس از ۵ دقیقه، جذب محلول در طول موج ۵۰۷ نانومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندارد از کوئرستین (۱۵۰-۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) استفاده شد. میزان فلاونوئید کل براساس میلی گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن تر گیاه گزارش شد (Kadir, 2005).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کلم از روش DPPH استفاده شد. ابتدا محلول ۰/۱ میلی‌مولار از DPPH تهیه شد، به این

ترتیب که ۳۹/۳۴ میلی‌گرم DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول حل شد. سپس ۵۰ میکرولیتر از عصاره کلم فریز شده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به ۱۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد به طوری که حجم نهایی دو میلی‌لیتر شد. بعد از ۱۰ دقیقه جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد و بر حسب درصد با استفاده از رابط زیر محاسبه شد (Dehghan and Khoshkam, 2012).

$$RSA\% = 10 (Ac - As) / Ac$$

Ac: جذب نمونه حاوی عصاره As: جذب کنترل Radical scavenging activity :RSA

محتوای ویتامین ث یا آسکوربیک اسید موجود در کورد با استفاده از روش یدومتريک و بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر با استفاده از رابط زیر محاسبه شد (Jalili Marandi, 2004). در این رابطه $A = \text{مقدار ویتامین ث}$ ، $S = \text{مقدار محلول ید مصرف شده}$ $N = \text{نرمالیت}$ $F = \text{فاکتور محلول}$ ، $88/1 = \text{ضریب ثابت ویتامین ث}$ $100/10 = \text{میلی‌لیتر}$ می‌باشد.

$$A = S \times N \times F \times 88.1 \times 100 / 10$$

اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول کل با استفاده از دستگاه رفاکتومتر مدل ARBO-45 بر حسب درصد بریکس اندازه‌گیری شد (Jalili Marandi, 2004).

برای اندازه‌گیری اسید قابل تیتراسیون، داخل ظرفی ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره کورد و حدود ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید. سپس ۲-۳ قطره معرف فنل فتالین درون ظرف ریخته شد و محلول فوق با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تیترا شد.

حجم سود مصرفی در تیتراسیون $\times$ نرمالیت هیدروکسید سدیم $\times$ وزن اکی‌والان اسید = درصد اسید قابل تیتراسیون

$$100 \times (10 \times \text{نمونه وزن})$$

داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ آنالیز و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری میزان پتاسیم و فسفر

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمار منابع مختلف

کلسیم تاثیر معنی داری بر محتوای پتاسیم و فسفر کلم گل رقم رومانسکو داشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که محلول پاشی برگری کلسیم، مقدار فسفر را نسبت به عدم کاربرد منابع کلسیم کاهش داد و بیشترین مقدار فسفر (۰/۳۲ میکرو گرم بر گرم ماده خشک) در گیاهان کلم شاهد و محلول پاشی شده با نیترات کلسیم ۰/۵ درصد مشاهده شد، همچنین بیشترین مقدار پتاسیم (۵/۶۷ میکرو گرم بر گرم ماده خشک) با محلول پاشی ۰/۹ درصد کلرید کلسیم حاصل شد. به طور کلی تیمارهای کلسیم در سطوح بالا، محتوای پتاسیم را به طور معنی داری نسبت به سطوح کمتر کاربرد کلسیم افزایش دادند (شکل ۱).

پتاسیم اثرات مطلوب بر متابولیسم اسیدهای نوکلئیک، پروتئین ها، ویتامین ها و مواد رشدی دارد، جذب پتاسیم در گیاهان انتخابی و با مصرف انرژی همراه است و پویایی این عنصر در سلول ها، بافت ها و آوندهای چوبی و آبکش گیاه زیاد است (Singh and Joshi, 2005). پتاسیم در فتوسنتز به عنوان تعدیل کننده pH محیط در فتوسیستم دو نقش مهمی در تجزیه آب دارد، انتقال بعضی از مواد وابسته به وجود پتاسیم می باشد و در آوند آبکشی این عنصر به راحتی منتقل می شود (Tabatabaei, 2014). نتایج این پژوهش با نتایج متشعزاده و همکاران (Moteszarezhadeh et al., 2018) در گیاه گوجه فرنگی تطابق دارد که گزارش کردند بیشترین جذب پتاسیم در تیمار سطوح بالای نیترات کلسیم مشاهده شد. یافته های یک پژوهش نشان داد که محلول پاشی کودهای کلسیم بخصوص کلرید کلسیم، غلظت پتاسیم میوه بلوبری را افزایش دادند (Ochmian, 2012). فسفر برای تعدادی از اعمال فیزیولوژیکی گیاه ضروری است و نقش عمده ای در بسیاری از فرآیندهای کلیدی از جمله فتوسنتز،

تنفس، ذخیره انرژی و انتقال، تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول ایفاء می کند، فسفر برای تحریک تشکیل ریشه اولیه و رشد مورد نیاز است، فسفر همچنین باعث بهبود کیفیت محصول و تشکیل دانه می شود (Mullins, 2009). نتایج این پژوهش با نتایج متشعزاده و همکاران (Moteszarezhadeh et al., 2018) در گیاه گوجه فرنگی تطابق دارد که گزارش کردند بیشترین جذب فسفر در تیمار شاهد (بدون کاربرد نیترات کلسیم) حاصل شد و کمترین جذب مربوط به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بود که علت کاهش جذب فسفر را به دلیل بار منفی بیشتر در سطح ریشه ناشی از کاربرد نیترات بیان کردند.

فلاونوئید و فنل کل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده ها، تیمار منابع مختلف کلسیم تاثیر معنی داری بر محتوای فلاونوئید کل کلم گل رقم رومانسکو داشت ولی اثر منابع مختلف کلسیم بر فنل کل عدم معنی داری را نشان داد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار محتوای فلاونوئید کل (۰/۸۶ و ۰/۸۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) به ترتیب در گیاهان کلم محلول پاشی شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۰/۹ درصد به دست آمد (شکل ۲). نتایج این پژوهش با نتایج بزرگر و همکاران (Barzegar et al., 2018) در گیاه فلفل مطابقت دارد. که گزارش کردند کاربرد لاکتات کلسیم محتوای فلاونوئید فلفل را افزایش داد. همچنین مطابق با نتایج ما، کاربرد برگری کلسیم تاثیر معنی داری بر مقدار ترکیبات فنلی کورد کلم بروکلی نداشت (El-Mogy et al., 2019)

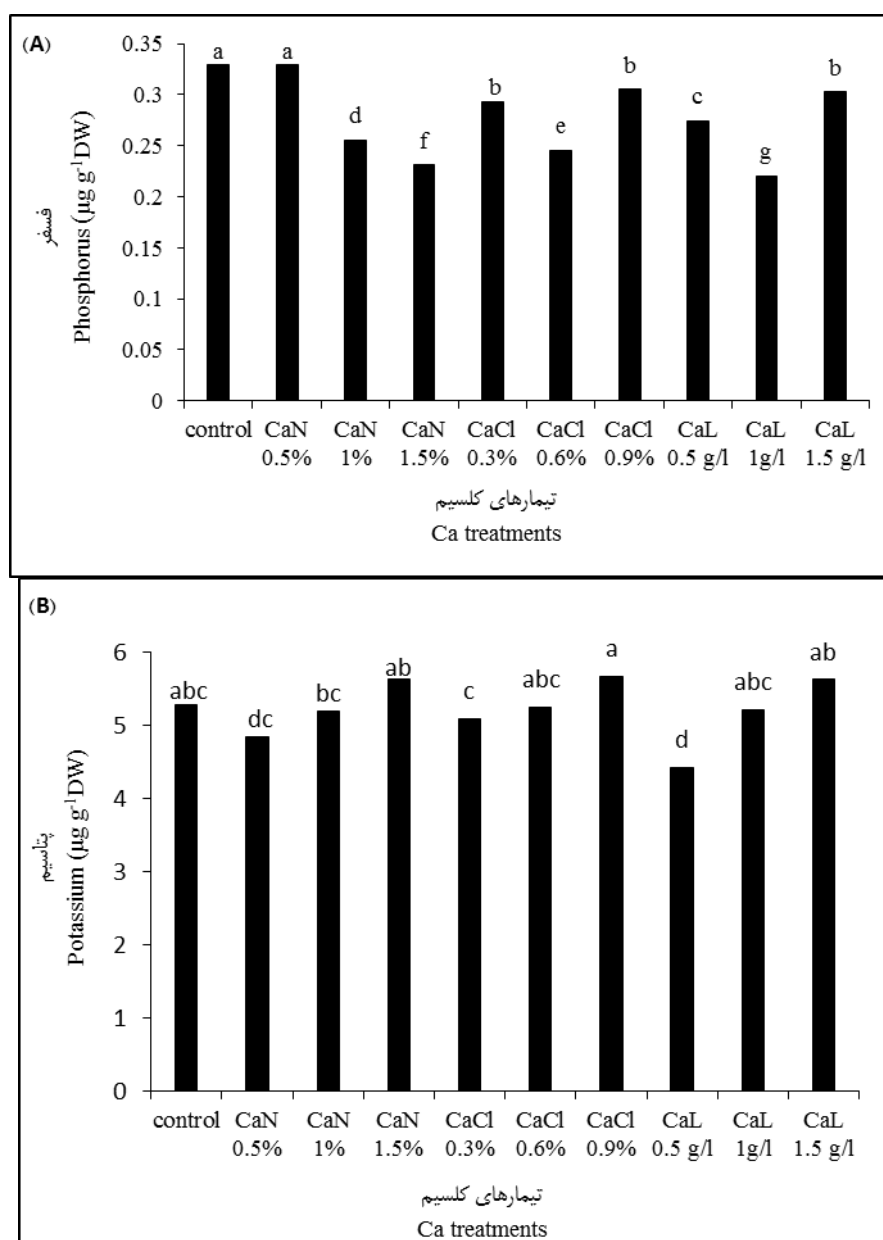
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر منابع مختلف کلسیم بر خاصیت آنتی اکسیدانی و کیفیت کلم گل رقم 'رومانسکو'

Table 2- ANOVA for the effect of different sources of calcium on antioxidant properties and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco')

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares							اسید قابل تیتراسیون Titratable acidity
		پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoids	آنتی اکسیدان Antioxidants	ویتامین ث Vitamin C	مواد جامد محلول TSS	
تکرار Replication	2	0.04 ^{ns}	0.000003 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	3.13*	2.19 ^{ns}	0.63 ^{ns}	11.66 ^{ns}
تیمار Treatment	9	0.44**	0.004**	5.27 ^{ns}	0.022**	15.82**	7.75**	2.35**	13.09*
خطا Error	18	0.07	0.00001	2.25	0.0005	0.59	0.99	0.57	4.06
ضریب تغییرات C.V (%)		5.11	1.48	15.93	3.27	0.37	10.84	6.74	8.14

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and **: Non-significant, and Significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۱- اثر محلول پاشی برگ‌های کلسیم (CaN: نیترات کلسیم، CaCl: کلرید کلسیم و CaL: لاکتات کلسیم) بر محتوای فسفر (A) و پتاسیم (B) کلم گل رقم 'رومانسکو'

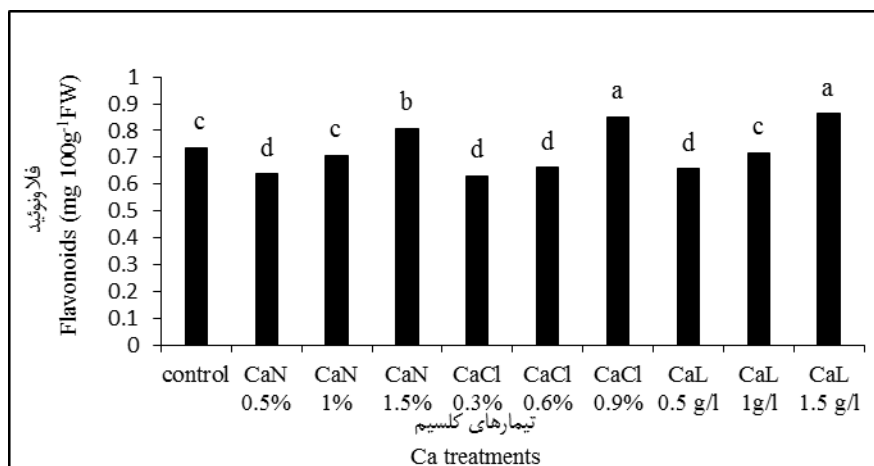
Figure 1- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on Phosphorus (A) and Potassium (B) contents of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

(Dutilleul *et al.*, 2003). کلسیم از طریق تأثیر بر آنزیم‌های موثر در سنتز و اکسیداسیون فنل‌ها نظیر فنیل آلانین آمونیلایز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز در چرخه متابولیسم اسیدهای فنولیک نقش ایفا می‌کند (Castaneda and Perez, 1996). محلول پاشی برگ‌های کیوی فروت با کلرید کلسیم موجب افزایش فنل و آنتی‌اکسیدان کل میوه گردید (Koutinas *et al.*, 2010). محلول پاشی برگ‌های لاکتات کلسیم، به طور معنی‌داری محتوای فنل و فلاونوئید کل را در کاهو

ترکیبات فنولی شامل گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه در گیاه هستند که خواص آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند این ترکیبات به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب تحمل گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (Rimmer, 2006). بیوسنتز ترکیبات فنولی از اسید آمینه‌های آروماتیک به نام فنیل آلانین شروع می‌شود و اولین مرحله دامینه شدن فنیل آلانین توسط آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز و تبدیل آن به ترانس سینامیک اسید انجام می‌گیرد

محلول پاشی برگي كودهاي كلسي مي در بوته هاي بلوبري، تاثير منفي بر مقدار تركيبات فنلي ميوه داشت (Ochmian, 2012).

افزايش داد (Khani et al., 2020). تيمار بوته هاي توت فرنگي با لاکتات كلسيم، محتوي فنل و فلاونويد ميوه را به طور معني داري افزايش داد (Hosseini et al., 2019). مطابق نتايج پژوهش حاضر،



شکل ۲- اثر محلول پاشی برگي كلسيم (CaN: نيترات كلسيم، CaCl: كلريد كلسيم، CaL: لاکتات كلسيم) بر محتوي فلاونويد کلم گل رقم 'رومانسکو'

Figure 2- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on total flavonoids content of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

كلسيم بر روي قارچ تكمه اي تاثير معني داري بر ميزان اسيد آسکوربيک داشت و محتوي اسيد آسکوربيک قارچ تكمه اي تيمار شده با كلسيم افزايش يافت (Sayyari and Alvandi, 2017).

ظرفيت آنتي اکسيداني

کاربرد منابع مختلف كلسيم تاثير معني داري بر ظرفيت آنتي اکسيداني کلم داشتند. در گياهان شاهد ميزان ظرفيت آنتي اکسيداني ۲۱/۷ درصد بود و بيشترين ظرفيت آنتي اکسيداني در گياهان کلم تيمار شده با لاکتات كلسيم ۱/۵ گرم در ليتر و نيترات كلسيم ۱/۵ درصد به ترتيب با ۲۶/۱ و ۲۵/۸ درصد حاصل شد (شکل ۴).

فعاليت آنتي اکسيداني همبستگي بالايي با تركيبات فنوليک مانند فنل و فلاونويد و ويتامين ث و آنزيم هاي آنتي اکسيداني دارد. افزايش محتوي ويتامين ث و فنل و فلاونويد کل به عنوان تركيبات آنتي اکسيداني با کاربرد برگي كلسيم مشاهده شد، بنابراين افزايش ظرفيت آنتي اکسيداني را مي توان به تجمع اين تركيبات با خواص آنتي-اکسيداني نسبت داد. نتايج اين پژوهش با نتايج برزگر و همکاران (Barzegar et al., 2018) در فلفل دلمه اي تطابق دارد که گزارش کردند کاربرد برگي لاکتات كلسيم در غلظت ۱ و ۱/۵ گرم در ليتر با افزايش توليد تركيبات با خاصيت آنتي اکسيداني شامل فنل، فلاونويد، اسيد آسکوربيک و کارتنويد، ظرفيت آنتي اکسيداني ميوه هاي فلفل دلمه اي را افزايش داد. همچنين ممکن است اثر افزايشي به دليل نقش بازدارندگي آن بر فعاليت آنزيم پلي فنل اکسيداز باشد

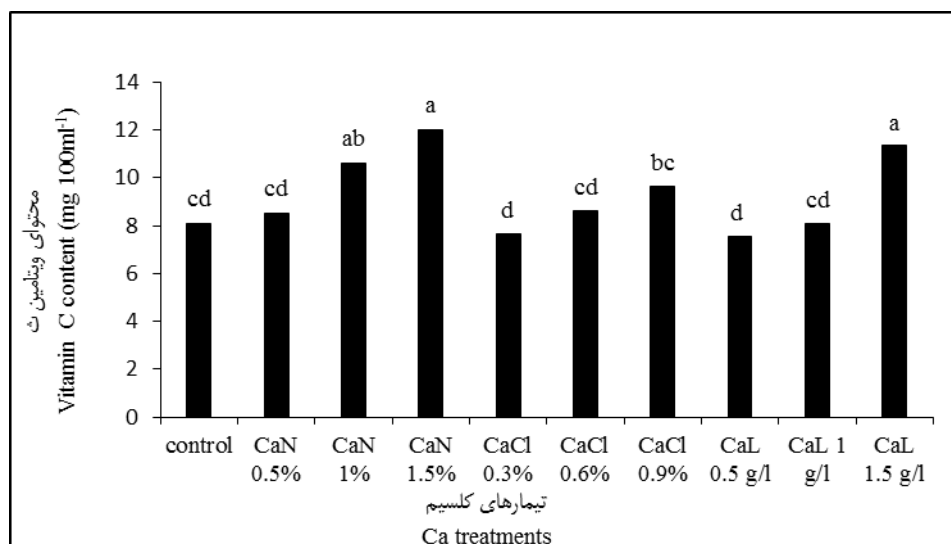
ويتامين ث

با توجه به نتايج تجزيه واريانس داده ها، تيمار منابع مختلف كلسيم تاثير معني داري در سطح احتمال يک درصد ($p \leq 0.01$) بر ميزان ويتامين ث داشت (جدول ۲). همانطور که نتايج مقايسه ميانگين نشان مي دهد با افزايش سطوح كلسيم در هر سه منبع کودي، مقدار ويتامين ث نيز افزايش يافت (شکل ۳)، بيشترين مقدار ويتامين ث (۱۲ و ۱۱/۳۶ ميلي گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در گياهان کلم گل محلول پاشي شده با ۱/۵ درصد نيترات كلسيم و ۱/۵ گرم در ليتر لاکتات كلسيم حاصل شد (شکل ۳).

افزايش مقدار ويتامين ث در اثر کاربرد كلسيم را مي توان به نقش بازدارندگي كلسيم بر فعاليت آنزيم هاي اکسيد کننده آسکوربيک اسيد مانند آسکوربيک اسيد اکسيداز و پلي فنل اکسيداز که آسکوربات را به عنوان سوبسترا مصرف مي کنند، و همچنين به نقش كلسيم در کاهش تنفس و توليد اتيلن و جلوگيري از تجزيه ديواره سلولي و در نتيجه کاهش توليد راديکال هاي آزاد نسبت داد (Garcia et al., 1996; Singh and Joshi, 2005). آسکوربيک اسيد بعنوان يک آنتي اکسيدان و تركيب آلي، يک ويتامين ضروري است که مي تواند از ميوه ها و سبزي ها به دست آيد (Liu et al., 2014). تيمار برگي كلسيم محتوي ويتامين ث را افزايش داد، اين نتايج با نتايج برزگر و همکاران (Barzegar et al., 2018) و ميکالوج و دزیدا (Michalajc and Dzida, 2012) در فلفل مطابقت دارد. گزارش شد که تيمار

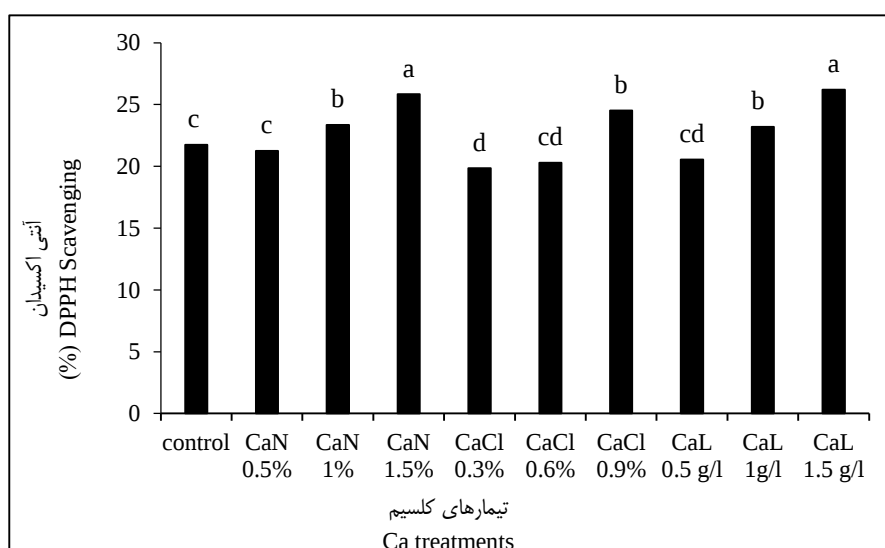
محتوای فنل و فلاونوئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهو را تحت شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری بهبود بخشید. همچنین کاربرد پس از برداشت تیمار کلسیم در حفظ آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی از قبیل فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین و آسکوربیک اسید موثر بوده است (Aghdam et al., 2013).

(Barbagallo et al., 2012). مطالعات دیگر نیز همبستگی مثبت معنی‌دار بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای ترکیبات فنولیک و ویتامین ث را در فلفل نشان داد (Farhoudi et al., 2017). همچنین نتایج خانی و همکاران (Khani et al., 2020) در گیاه کاهو با نتایج این پژوهش همخوانی دارد که گزارش کردند کلسیم با افزایش



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی برگ‌ی کلسیم (CaN: نیترات کلسیم، CaCl: کلرید کلسیم، CaL: لاکتات کلسیم) بر محتوای ویتامین ث کلم گل رقم 'رومانسکو'

Figure 3- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on vitamin C content of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)



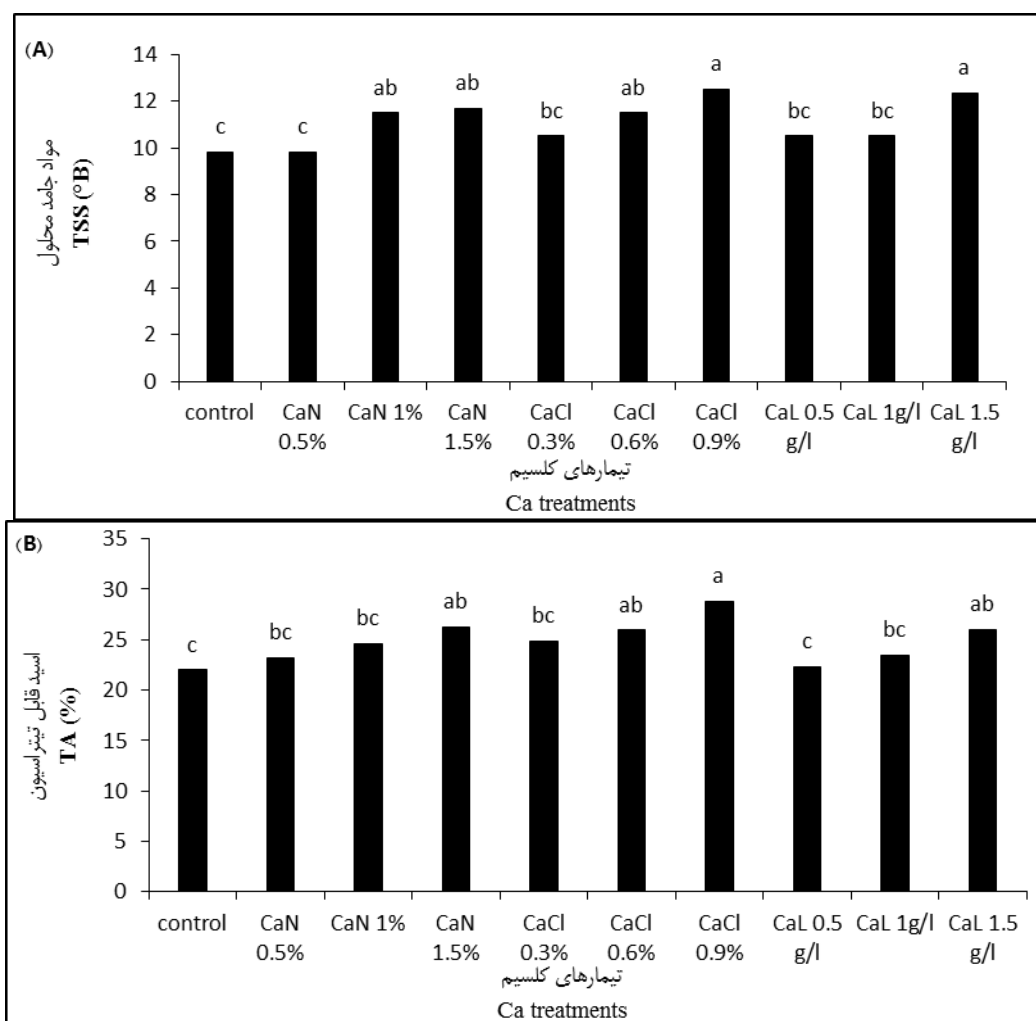
شکل ۴- اثر محلول‌پاشی (CaN: نیترات کلسیم، CaCl: کلرید کلسیم، CaL: لاکتات کلسیم) بر محتوای آنتی‌اکسیدانی کلم گل رقم 'رومانسکو'

Figure 4- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on DPPH scavenging of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

مواد جامد محلول کل و اسید قابل تیتراسیون

با توجه به نتایج، محلول پاشی برگي کلسیم، محتوای مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون را به طور معنی داری افزایش داد. با افزایش غلظت کلسیم در هر سه منبع کودی، مقدار مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون افزایش نشان داد به طوری که بیشترین محتوای مواد جامد محلول (۱۲/۵ و ۱۲/۳ درصد بریکس) در تیمارهای ۰/۹ درصد کلرید کلسیم و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم

حاصل شد و حداکثر اسید قابل تیتراسیون (۲۸/۸ درصد) در گیاهان کلم محلول پاشی شده با کلرید کلسیم ۰/۹ درصد به دست آمد (شکل ۵). نتایج این پژوهش با نتایج برزگر و همکاران (Barzegar et al., 2018) در گیاه فلفل مطابقت دارد که بیان کردند محلول پاشی برگي لاکتات کلسیم در فلفل دلمه‌ای، محتوای مواد جامد محلول و اسید کل را افزایش داد.



شکل ۵- اثر محلول پاشی (CaN: نیترات کلسیم، CaCl: کلرید کلسیم، CaL: لاکتات کلسیم) بر محتوای مواد جامد محلول (A) و اسید قابل تیتراسیون (B) کلم گل رقم 'رومانسکو'

Figure 5- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on total soluble solids content (A) and titratable acidity (B) of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

محلول و اسید کل را در گوجه‌فرنگی کاهش داد و بیشترین مقدار در گیاهان شاهد مشاهده شد که کاهش مواد جامد محلول و اسید کل را به دلیل مصرف زیاد نیترات همراه کلسیم گزارش کردند

محتوای مواد جامد محلول کل، اسید قابل تیتراسیون و قندها به عنوان ویژگی‌های مهم میوه‌ها و سبزی‌ها شناخته شده است (Fallik and Ilic, 2018). کاربرد خاکی نیترات کلسیم، مقدار مواد جامد

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش، می‌توان بیان نمود که محلول پاشی منابع مختلف کلسیم تأثیر معنی‌داری بر کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی کلم گل رقم رومانسکو داشت به‌طوری‌که با کاربرد نمک-های کلسیم، غلظت پتاسیم، محتوای ویتامین ث، فنل و فلاونوئید کل، مواد جامد محلول و اسید کل کلم گل افزایش یافت. کلسیم تأثیر منفی بر محتوای فسفر کلم داشت. با کاربرد نیترات کلسیم ۱/۵ درصد و لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر بیشترین مقدار ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی حاصل شد. از بین تیمارهای کلسیم مورد استفاده، سطوح بالاتر هر سه نمک کلرید کلسیم، نیترات کلسیم و لاکتات کلسیم، ز بیشترین تأثیر را داشتند، بنابراین این تیمارهای کلسیمی برای بهبود کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی کلم گل رقم رومانسکو پیشنهاد می‌گردد.

(Motesharezadeh et al., 2018). گزارش شد که کاربرد کلسیم و بور در گلابی، میزان مواد جامد محلول و درصد اسید قابل تیتراسیون میوه را افزایش داد، به نظر می‌رسد که افزایش میزان فتوسنتز در نتیجه کاربرد عناصر غذایی باعث تجمع مواد کربوهیدراته بیشتر در میوه شده است (Malakouti and Tehrani, 2000). همچنین عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2019) گزارش دادند کاربرد قبل از برداشت کلسیم در گلابی، محتوای مواد جامد و اسید کل میوه را افزایش داد و افزایش مواد جامد محلول و اسید کل را در اثر مصرف کلسیم به کاهش تنفس و کاهش مصرف قندها و اسیدها در طی تنفس نسبت دادند. در رابطه با اثر ترکیبات کلسیم بر مواد جامد محلول و اسید کل نتایج متضادی نیز گزارش شده است. در میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با کلسیم مقدار مواد جامد محلول و اسید کل کمتری نسبت به شاهد حاصل شد (Fanasca et al., 2006).

منابع

- 1- Aghdam, M.S., Dokhanieh, A.Y., Hassanpour, H., & Fard, J.R. (2013). Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit by postharvest calcium treatment. *Scientia Horticulturae* 161: 160-164. . <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.006>
- 2- Azizi, F., Razavi, F., Rabie, W., & Hassani, A. (2019). Effects of pre-harvest calcium compounds foliar application on quality and antioxidant properties of pear cv "Dargazi". *Horticultural Plant Nutrition* 1: 129-144. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22070/hpn.2019.4640.1039>.
- 3- Babalar, M., Dowlati Baneh, A., & Sherafatian, D. (2009). Effect of CaCl_2 in postharvest on storage quality of two varieties of grape, Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 7(1): 128-141.
- 4- Barbagallo, R.N., Chisari, M., & Caputa, G. (2012). Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed 'Birgah' eggplants. *Postharvest Biology and Technology* 73: 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.06.006>.
- 5- Barzegar, T., Fateh, M., & Razavi, F. (2018). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae* 241: 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.011>.
- 6- Buczkowska, H., Michalajc, Z., & Nurzynska-Wierdak, R. (2016). Yield and fruit quality of sweet pepper depending on foliar application of calcium. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 40(2): 222-228. <https://doi.org/10.3906/tar-1501-56>.
- 7- Castaneda, P., & Pérez L.M. (1996). Calcium ions promote the response of citrus Limon against fungal elicitors or wounding. *Phytochemistry* 42(3): 595-598. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00981-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00981-7).
- 8- Cottenie, A. (1980). Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations (No. 38/2).
- 9- Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)- quercetin complex: Synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry* 131(2): 422-426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.074>.
- 10- Dutilleul, C., Garmier, M., Noctor, G., Mathieu, C., Chétrit, P., Foyer, C.H., & de Paepe, R. (2003). Leaf mitochondria modulate whole cell redox homeostasis, set antioxidant capacity, and determine stress resistance through altered signaling and diurnal regulation. *The Plant Cell* 15(5): 1212-1226. <https://doi.org/10.1105/tpc.009464>.
- 11- El-Mogy, M.M., Mahmoud, A.W.M., El-Sawy, M.B.I., & Parmar, A. (2019). Pre-harvest foliar application of mineral nutrients to retard chlorophyll degradation and preserve bio-active compounds in broccoli. *Agronomy* 9(11): 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110711>.
- 12- Fallik, E., & Ilic, Z. (2018). *Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality*. p. 139-168. In: Siddiqui M.W. (eds) Pre-and postharvest treatments affecting flavor quality of fruits and vegetables. AAP-CRC Press, USA.
- 13- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Roupael, Y., Azzini, E., & Saccardo, F. (2006). Changes in

- antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(12): 4319-4325. <https://doi.org/10.1021/jf0602572>.
- 14- Farhoudi, R., Mehrnia, M.A., & Lee, D.J. (2017). Antioxidant activities and bioactive compounds of five Jalopeno pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Natural Product Research* 6: 1-4. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1410801>.
- 15- Garcia, J.M., Herrera, S., & Morilla, A. (1996). Effects of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44(1): 30-33. <https://doi.org/10.1021/jf950334l>.
- 16- Gocher, P., Soni, A.K., Mahawar, A.K., Singh, S.P., & Koodi, S. (2017). Response of NPK and sulphur on nutrient analysis and quality attributes of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(7): 4364-4371. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.454>.
- 17- Hosseini, F., Amiri, M.E., & Razavi, F. (2019). Improvement of anthocyanin and antioxidant properties of strawberry (cv. Amaros) by calcium lactate and potassium sorbate application. *Journal of Plant Production* 42(4): 455-468. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.25261.1580>.
- 18- Jalili Marandi, R. (2004). *Postharvest physiology (Handling and storage of fruits and vegetables and ornamental plants)*. Jahad-e-Daneshgahi of Urmia University publication. 276p.
- 19- Kader, M.A., & Lindberg, S. (2010). Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signaling and Behavior* 5(3): 233-238. <https://doi.org/10.4161/psb.5.3.10740>.
- 20- Kadir, S.A. (2005). Fruit quality at harvest of "Jonathan" apple treated with foliarly-applied calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition* 27(11): 1991-2006. <https://doi.org/10.1081/PLN-200030102>.
- 21- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science* 34(1): 11-24. <https://doi.org/10.13128/ahsc-8252>.
- 22- Kou, L., Yang, T., Liu, X., & Lou, Y. (2015). Effects of pre- and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science* 50(12): 1801-1808. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.12.1801>.
- 23- Koutinas, N., Sotiropoulos, T., Petridis, A., Almaliotis, D., Deligeorgis, E., Therios, I., & Voulgarakis, N. (2010). Effects of preharvest calcium foliar sprays on several fruit quality attributes and nutritional status of the kiwifruit cultivar Tsechelidis. *HortScience* 45(6): 984-987. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.984>.
- 24- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H., & Liu, J. (2014). Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. *Scientia Horticulturae* 176: 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.027>.
- 25- Malakouti, M.J., & Tabatabaei, S.J. (1998). The effects of calcium chloride on firmness and qualitative properties of Lebanese Red Delicious apples. *Journal of Soil and Water Research Institute* 1: 12-63. (In Persian with English abstract)
- 26- Malakouti, M., & Tehrani, V.M. (2000). *The role of micronutrients on increasing yield and quality improvement of agricultural crops in the minor crops with the major impacts*. Second Edition, Tarbiat Modares University (TMU) Press, 292 pages.
- 27- Martin-Diana, A.B., Rico, D., Barry-Ryan, C., Frias, J.M., Mulcahy, J., & Henehan, G.T. (2005). Calcium lactate washing treatments for salad-cut Iceberg lettuce: Effect of temperature and concentration on quality retention parameters. *Food Research International* 38(7): 729-740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.005>.
- 28- Michalajc, Z., & Dzida, K. (2012). Yielding and biological value of sweet pepper fruits depending on foliar feeding using calcium. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 11(3): 255-264. <https://doi.org/10.3906/tar-1501-56>.
- 29- Moteszarezhadeh, B., Zarbizadeh, M., Savaghebi, G., Delshad, M., Hosseini, S.M., & Bekhradi, F. (2018). Effects of different levels of calcium nitrate on some morpho-physiological and nutritional traits of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Iranian Journal of Horticultural Science* 48(3): 535-544. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.33530.379>.
- 30- Mullins, G. (2009). *Phosphorus, agriculture and the environment*. Virginia Polytechnic Institute and State University 1-12.
- 31- Niazi, H., Barzegar, B., Ghahremani, Z., & Nadirkhanlou, L. (2021). Effect of light duration and calcium on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* cv. New Red Fire). *Journal of Vegetables Sciences* 4(2): (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/ivvs.2021.521006.1135>.
- 32- Ochmian, I. (2012). The impact of foliar application of calcium fertilizers on the quality of highbush blueberry fruits belonging to the 'Duke' cultivar. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 40(2): 163-169. <https://doi.org/10.15835/nbha4028058>.

- 33- Riad, G., Ghoname, A., Ahmed, A., El-Baky, M.A., & Hegazi, A. (2009). Cabbage nutritional quality as influenced by planting density and nitrogen fertilization. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology* 3(1): 68-74.
- 34- Rimmer, D.L. (2006). Free radicals, antioxidants, and soil organic matter recalcitrance. *European Journal of Soil Science* 57(2): 91-94. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.00735.x>.
- 35- Sánchez-Madrigal, M.Á., Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Ruiz-Gutiérrez, M.G., Meléndez-Pizarro, C.O., Piñón-Castillo, H.A., & Ramírez-Wong, B. (2015). Physicochemical properties of frozen tortillas from nixtamalized maize flours enriched with β -glucans. *Food Science and Technology* 35(3): 552-560. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6715>.
- 36- Sayyari, M., & Alvandi, S. (2017). The effect of calcium ascorbate and heat treatment on increase the shelf life of button mushroom. *Journal of Crops Improvement* 18(4): 921-933 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2017.56665>.
- 37- Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture* 16(3). 144-158.
- 38- Singh, S.A.K., & Joshi, H.K. (2005). Prolong storability of Indian gooseberry (*Emblica officinalis* Gaertn.) under semi-arid ecosystem of Gujarat. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 75: 647-650.
- 39- Singh, J., Singh, M., Jain, A., Bhardwaj, S., Singh, A., Singh, D.K., Bhushan, B., & Dubey, S.K. (2014). An introduction of plant nutrients and foliar fertilization. *Precision Farming* 258-320. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1629.3844>.
- 40- Tabatabaei, S.A.J. (2014). *Mineral nutrition of plants*. Tabriz University Press. Pp. 145-146. (In Persian)
- 41- Wang, Y., & Long, L.E. (2015). Physiological and biochemical changes relating to postharvest splitting of sweet cherries affected by calcium application in hydrocooling water. *Food Chemistry* 181: 241-247. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.100>.



The Effect of Application of Vermi-compost and Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) on Yield, Vegetative Traits and Secondary Metabolites of Basil (*Ocimum basilicum* L.)

S. Makhtoumi¹, Sh. Khoshbakht^{2*}, A.A. Nourinia³

Received: 07-06-2021

Revised: 11-10-2021

Accepted: 24-04-2022

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Makhtoumi, S., Khoshbakht, Sh., & Nourinia, A.A. (2022). The Effect of Application of Vermi-compost and Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) on Yield, Vegetative Traits and Secondary Metabolites of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Horticultural Science* 36(3): 591-602. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2022.69740.1059](https://doi.org/10.22067/jhs.2022.69740.1059)

Introduction

Inefficient and excessive use of chemical fertilizers in agriculture has caused soil erosion and pollution of water resources and has also been effective in reducing the quality of crops. On the other hand, the use of beneficial soil microorganisms as bio-organic enhances soil fertility, and results in healthier and richer nutritional needs is a further harvest away from ecosystem contamination. Increase crop in terms of quantity and quality without damaging the farm ecosystem, especially medicinal plants. Bio-fertilizers are the latest development in organic farming. They are also a gift from modern agricultural science that should replace chemical fertilizers on farms which play a vital role in maintaining long-term soil fertility and stability. *Ocimum basilicum* is a grown aromatic and medicinal plant that is a leafy vegetable of the Labiatae family. This plant has different healing properties and is also used to flavor various food products due to its special taste. Therefore, in this study with the aim of providing a practical solution to reduce the use of artificial fertilizers and environmental pollution, the effect of vermicompost and biological fertilizers on the composition of secondary metabolites and growth of basil (*Ocimum basilicum*) was studied.

Materials and Methods

This study was conducted in 2017-2018 to investigate the effects of vermicompost and biological fertilizers on some traits of basil (*Ocimum basilicum*) in of Azadshahr in Golestan province. In this experiment, application of vermicompost at three levels (a1: no application, a2: application at a rate of 10% and a3: application at a rate of 20% by weight of soil) and application of biological fertilizers at three levels (b1: no application, b2: use of *Bacillus subtilis*, b3: use of natural element compounds) were examined. The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications in the exterior space as a pot culture. The alcoholic extract used in this study was performed by soaking. The amount of total phenol compounds was measured by the Folin Siocalto method and the total flavonoid content was measured by aluminum chloride colorimetric method. Data obtained from experiments using the software SAS Ver. 9.1 and comparison of means was performed using the least significant difference test (LSD). Excel software was also used to draw the graphs.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that the application of vermicompost was significant on root fresh and dry weight, fresh and dry weight of stem, stem length, fresh and dry weight of leaves and leaf area. Also, the effect of biological fertilizers on root fresh weight and stem dry weight was significant. Comparison of means

1 and 2- M.Sc. of Horticulture Engineering, Area of Study Medicinal Plants, Higher Educational Institution Baharan, Gorgan, Iran

(*- Corresponding Author Email: sh.khoshbakht92@gmail.com)

3- Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Gorgan, Iran

also showed that vermicompost 20% compared to control and vermicompost 10% in traits such as fresh weight of root (5.14), dry weight of root (7.25), fresh weight of stem (25.23), dry weight of stem (2.25), length stem (33.77), fresh weight of leaf (51.85), dry weight of leaf (8/08) and leaf area (75.13) had the highest values. No significant effect was observed between vermicompost and biological fertilizers. The maximum amount of total phenol in vermicompost treatments belonged to 20% vermicompost at 1.98 mg/g, and in biological fertilizers treatments to Probio96 at 1.96 mg/g. Also, the maximum levels of total flavonoids in plants treated with vermicompost were 20% and Probio 96 were 92.13 mg/g and 91.22 mg/g, respectively. The results show that vermicompost had the greatest effect on target organs such as leaf area, fresh and dry weight of basil leaves.

Conclusion

The trade and cultivation of medicinal and aromatic plants is an important part of agriculture. Medicinal and aromatic plants are the main source of known medicines. Therefore, obtaining methods to increase the yield and therapeutic indicators of medicinal plants is of particular importance. In the growth of medicinal plants and biomass production, the quality of raw materials used is important. Chemical fertilizers have several adverse effects on the environment and human health. These effects can include leaching and displacement of various soil layers, groundwater and surface water pollution, accumulation of heavy metals and nitrates, air pollution, acid rain, and chemical accumulation in plants, animals, and human tissues. According to the findings, it is generally recommended to use bio-fertilizers such as vermicompost and Probiot 96 as a suitable alternative to chemical fertilizers in plant nutrition to protect the environment, human health and the positive economic effects of medicinal plants

Keywords: *Bacillus subtilis*, Basil, Flavonoids, Phenol, Vermi-compost

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۵۹۱-۶۰۲

تأثیر کاربرد ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد، صفات رویشی و متابولیت‌های ثانویه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)سلیمه مختومی^۱ - شبنم خوشبخت^{۲*} - عباسعلی نوری نیا^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

چکیده

استفاده زیاد از کودهای شیمیایی در روش‌های متداول کشاورزی سبب فرسایش خاک و آلودگی منابع آبی شده و در کاهش کیفیت محصولات نیز تأثیر دارد. کاربرد کودهای بیولوژیک در خاک و آب آلودگی ایجاد نمی‌کند در عین حال کیفیت مواد غذایی را افزایش می‌دهند. این آزمایش برای بررسی اثرات ورمی کمپوست، کودهای حاوی عناصر معدنی و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر روی برخی صفات گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در روستای قزلجه استان گلستان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. بدین منظور دو عامل کاربرد ورمی کمپوست (در سه سطح a₁: بدون مصرف، a₂: مصرف به نسبت ۱۰ درصد و a₃: مصرف به نسبت ۲۰ درصد وزنی خاک) و مصرف کودهای بیولوژیک و عناصر طبیعی افزایش دهنده رشد گیاه (در سه سطح b₁: بدون مصرف، b₂: استفاده از باکتری باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis*) و b₃: استفاده از ترکیبات عناصر طبیعی) مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در فضای آزاد به صورت کشت گلدانی اجرا شد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، مقدار فنل و فلاونوئید کل در زمان کامل شدن مرحله رویشی گیاه نمونه‌گیری انجام شد. مقدار ترکیبات فنل کل با استفاده از روش فولین سیوکالتو و سنجش میزان فلاونوئید کل به روش رنگ سنجی آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، بین سطوح مختلف استفاده از ورمی کمپوست از نظر صفات وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک ساقه، طول ساقه، وزن تر و سطح برگ در سطح یک درصد و وزن خشک برگ تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود داشت. همچنین اثر کودهای بیولوژیک و عناصر طبیعی افزایش دهنده رشد گیاه بر صفات وزن تر ریشه و وزن خشک ساقه معنی‌دار شد. حداکثر مقدار فنل کل بین تیمارها به ورمی کمپوست ۲۰ درصد به میزان ۱/۹۸ میلی‌گرم بر گرم و کود پروبیو ۹۶ (حاوی باکتری باسیلوس سوبتیلیس) به مقدار ۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد. همچنین حداکثر مقدار فلاونوئید کل در گیاهان تیمار شده با ورمی کمپوست ۲۰ درصد و استفاده از باکتری باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis*) به ترتیب ۹۲/۱۳ میلی‌گرم بر گرم و ۹۱/۲۲ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد ورمی کمپوست بیش‌ترین تأثیر را بر اندام‌های مورد هدف مانند سطح برگ، وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان داشت. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد، استفاده ورمی کمپوست ۲۰ درصد و کود حاوی باکتری باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis*) مناسب‌ترین ترکیب تغذیه‌ای گیاه ریحان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باسیلوس سوبتیلیس، ریحان، فلاونوئید، فنل، ورمی کمپوست

مقدمه

جدی بر سلامت انسان و محیط زیست می‌شود. در برخی کشورهای در حال توسعه از جمله ایران هیچ کنترلی بر کاربرد مواد شیمیایی در تولید مواد غذایی وجود ندارند (Mondal et al., 2017). به همین جهت اثر کاربرد کودهای شیمیایی بی‌کیفیت، بر شرایط بهداشتی خاک، آب و هوا و در نتیجه محصولات غذایی کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد (Citak and Sonmez, 2010). امروزه به دلیل افزایش آگاهی از تأثیرات نامطلوب اقتصادی و زیست محیطی محصولات

استفاده غیرقابل کنترل از سموم دفع آفات باعث ایجاد خطرات

۱ و ۲- دانش‌آموخته‌گان کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، گرایش گیاهان دارویی،

موسسه آموزش عالی بهاران، گرگان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: sh.khoshbakht92@gmail.com)

۳- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران

DOI: 10.22067/jhs.2022.69740.1059

(P, K, Mn, Cu) گیاه ریحان در ورمی کمپوست ۲۰ درصد بیش-ترین مقدار را داشتند، در عین حال مقدار منیزیم، آهن و روی در تیمار ورمی کمپوست ۴۰ درصد بیش-ترین بود. ورمی کمپوست حاوی برخی عناصر ریز مغذی (Zn, Mn, Fe, Cu) سبب رشد و تولید بهتر گیاه سیر شد (Suthar, 2009). به دلیل استفاده از ورمی کمپوست و فعالیت میکروبی در گیاه دارویی آویشن بهبود جذب مواد مغذی گزارش گردید (Amooaghaie and Golmohammadi, 2017). طی پژوهش دیگری ورمی کمپوست به مقدار ۷۳ درصد باعث افزایش زیست توده شاخه و به مقدار ۵۷ درصد باعث افزایش زیست توده ریشه شده بود (Blouin et al., 2019). کاربرد کودهای بیولوژیک سبب رشد رویشی، افزایش عملکرد و میزان اسانس گیاهان دارویی می شود (Karthikeyan et al., 2008). در همین راستا، گیاه زنیان (Fathi and Najafian, 2020)، رازیانه (Azzaz et al., 2009) و همیشه بهار (Sanches et al., 2005) تحت تاثیر کودهای بیولوژیک اثرات قابل توجهی نشان دادند. همچنین کاربرد باکتری باسیلوس روی گیاه ریحان باعث افزایش سرعت رشد و میزان اسانس شد (Banchio et al., 2009). بهبود تولید محصولات زراعی استفاده از ورمی کمپوست برای کاشت در کشاورزی به عنوان یک محیط مفید برای بهبود رشد و عملکرد گیاه و حفظ نازایی خاک برجسته شده است. این ماده آلی ثابت کرده است که ساختار کلی خاک، حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول را بهبود می بخشد (Najar and Khan, 2013). هدف از این پروژه بررسی تاثیر ورمی کمپوست و کودهای دیگر بر رشد و بهره‌وری گیاه دارویی ریحان (*O. basilicum* L.) است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در فضای آزاد مزرعه به صورت کشت گلدانی در روستای قزلجه از توابع شهرستان آزادشهر واقع در استان گلستان اجرا شد. نتایج حاصل از آزمون خاک به منظور تعیین مقدار عناصر غذایی قابل استفاده گیاه، در جدول ۱ نشان داده شده است. در این آزمایش دو عامل A: کاربرد ورمی کمپوست در سه سطح (a₁: بدون مصرف، a₂: مصرف به نسبت ۱۰ درصد، و a₃: مصرف به نسبت ۲۰ درصد وزنی خاک) و B: مصرف کودهای بیولوژیک در سه سطح (b₁: بدون مصرف، b₂: استفاده از باکتری باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis*) و b₃: استفاده از ترکیبات عناصر طبیعی) مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در فضای آزاد به صورت کشت گلدانی اجرا شد. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از خاک مورد استفاده نمونه برداری صورت گرفت. تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری انجام شد (Gee and Bauder, 1986). میزان کلسیم، منیزیم و تعیین درصد ماده آلی با روش تیتراسیون (Paul and

شیمیایی، استفاده از کشاورزی ارگانیک به عنوان روش اصلی کشاورزی بکار گرفته می شود. کشاورزی ارگانیک شامل استفاده از مواد آلی بدون کمک شیمیایی برای محصولات زراعی است (Arancon et al., 2003). با افزایش جمعیت جهان محدود کردن تاثیر انسان بر محیط زیست یک چالش پیچیده است (Godfray et al., 2010). تولید مواد غذایی و مدیریت پسماند دو مسئله فزاینده ناشی از افزایش جمعیت جهان محسوب می شود. بازیافت باقیمانده های آلی به منظور اصلاح مواد غذایی، فرصتی برای حل جزئی این چالش مضاعف به نظر می رسد. بنابراین، مدیریت صحیح پسماند را می توان با استفاده از پسماندهای آلی به عنوان بستر در کشاورزی از طریق کشاورزی ارگانیک حفظ کرد. کمپوست زباله های آلی راه حلی برای مقادیر زیادی زباله در سراسر جهان ارائه می دهد (Najar and Khan, 2013). کمپوست سازی ورمی فرآیندی است که با به کارگیری آن کرم های خاکی، بقایای آلی را به یک محصول ثانویه به نام ورمی کمپوست تبدیل می کنند (Chang et al., 2002)، که روش خوبی برای افزایش محتوای خاک و باروری طولانی مدت آن ها می باشد (Dignac et al., 2017). بهره برداری از میکروب های مفید به عنوان یک کود بیولوژیکی نقش بالقوه ای در ایمنی مواد غذایی و تولید پایدار محصولات کشاورزی، داشته است. به طوری که علاوه بر سازگاری با محیط زیست به دلیل وجود بسیاری از میکروارگانیسم های مفید میکروسکوپی نظیر ریزوباکتری ها، قارچ های اند و واکتومی میکوریزا، سیانوباکتری ها باعث بهبود جذب مواد مغذی، رشد گیاه و تحمل گیاه به تنش های غیرزنده و بیوتیکی شده است (Bhardwaj et al., 2014). از این رو به کارگیری ورمی کمپوست در سال های آینده برای کشاورزی پایدار عملی غیرقابل پیشگیری خواهد بود (Naiji and Souri, 2014).

متابولیت های ثانویه به عنوان راهکاری نوین در توسعه داروسازی (Mahfouz and Sharaf-Eldin, 2007) و منبع جدید امیدوارکننده عوامل درمانی که مشخصه گیاهان خاص یا گروه گیاهی است، مورد توجه قرار گرفته است (Seigler, 1998). مونوترپن ها اجزای غیر تغذیه ای هستند که در اسانس های مرکبات، گیلاس، نعناع و برخی گیاهان یافت می شوند و مسئول عطر و بوی متمایز بسیاری از آن ها هستند (McChesney et al., 2007). کل گیاه ریحان (*O. basilicum* L.) دارای ارزش دارویی است (Razmkhah et al., 2012) اگرچه بیشتر از برگ ها و گاهی از دانه ها استفاده می شود (Saeid Nejad and Rezvani Moghaddam, 2010). ریحان (*O. basilicum* L.) گیاهی اندمیک است که در مناطق مختلف آسیا، اروپا و خاورمیانه به ویژه در مناطق مختلف ایران کشت می شود (Rajendran and Pereira et al., 2011; Devaraj, 2004).

طی پژوهشی که توسط نایجی و سوری (Naiji and Souri., 2018) انجام گرفت، اسید آسکوربیک، اسانس، پروتئین و مواد معدنی

هربان، در هر لیتر آب ۲۵ گرم هربان حل کرده، سپس ۵۰ سی سی از محلول به دست آمده در گلدان ها ریخته شد. همچنین برای تیمار گلدان های پروبیوتیک، در هر لیتر آب ۲۰ سی سی کود پروبیو مخلوط کرده، و در هر گلدان ۵۰ سی سی از محلول حاوی پروبیوتیک، اضافه شد. در مرحله دوم کوددهی به دلیل نیاز غذایی گیاه ریحان و تشکیل اندام های هوایی، تیمار گلدان های هربان به مقدار دو لیتر آب در ۵۰ گرم هربان و تیمار گلدان های پروبیوتیک ۱/۵ لیتر آب در ۳۰ سی سی پروبیوتیک بوده است. نمونه برداری جهت بررسی برخی صفات مورفولوژیک و میزان فتل کل و فلاونوئید کل نیز پس از کامل شدن مرحله رویشی انجام شد.

عصاره گیری الکلی مورد استفاده در این تحقیق به روش خیساندن انجام شد (Aburiae and Hudaib, 2006). جهت اندازه گیری مقدار ترکیبات فنی کل از روش فولین سیوکالتو (Verza et al., 2007) استفاده شد. همچنین سنجش میزان فلاونوئید کل نیز به روش رنگ سنجی آلومینیوم کلرید (Chang et al., 2002) اندازه گیری شد. داده های حاصل از پژوهش، با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای مقایسه میانگین ها نیز از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز نرم افزار اکسل مورد استفاده قرار گرفت.

(Bhattacharya, 2012) و میزان فسفر قابل جذب با روش اولسن (Khalid et al., 2006) تعیین گردید. شوری با دستگاه هدایت سنج و واکنش خاک با دستگاه pH متر اندازه گیری شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست مورد استفاده در جدول ۲ آمده است. تجزیه ترکیبات سازنده کود بیولوژیک پروبیو ۹۶ در جدول ۳ نشان داده شده است.

بذرهای تهیه شده گیاه ریحان از شرکت خدمات کشاورزی ایران در گلدان های ۶ کیلویی و در عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی متر کشت گردید. گلدان ها بلافاصله پس از استقرار بذرهای آبیاری شدند. همچنین بسته به نیاز آبی گیاه تا مرحله برداشت، آبیاری مجدد صورت گرفت. تعداد ۸۱ گلدان در ۳ کرت (شاهد، ورمی کمپوست ۱۰ درصد و ورمی کمپوست ۲۰ درصد) و هر کرت شامل ۲۷ گلدان بود، هر کرت ۲۷ تایی شامل ۳ دسته جداگانه ۹ تایی (شاهد، کود هربان و کود پروبیوتیک) بودند. هربان یکی از کودهای غنی از عناصر مغذی است که سبب احیای خاک و رشد ایده آل در گیاه می شود. این کود در موسسه خاک و آب کشور و وزارت جهاد کشاورزی به عنوان یک ماده معدنی به شماره ۹۱۲۵۳ به ثبت رسیده است (جدول ۴). کوددهی در دو مرحله زمان کاشت بذور و سی روز پس از سبز شدن (مرحله چهار تا پنج برگی بوته ها) انجام شد. بدین منظور تیمار گلدان های کود

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- The physical and chemical characteristics of the used soil in this experiment

هدایت الکتریکی	اسیدیته	درصد ماده آلی	فسفر قابل دسترس	کلسیم قابل دسترس	منیزیم قابل دسترس	بافت خاک
EC (dS.m ⁻¹)	pH	Organic matter (%)	Available phosphorous (mg.kg ⁻¹)	Available calcium (mg.kg ⁻¹)	Available magnesium (mg.kg ⁻¹)	Soil texture
1087	7.40	1.92	10.3	200	30	شنی لومی Loamy sand

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست در آزمایش

Table 2- Chemical properties of vermicompost in the experiment

اسیدیته	هدایت الکتریکی	درصد ماده آلی	ازت	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
pH	EC (dS.m ⁻¹)	Organic matter (%)	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
ppm (mg.kg ⁻¹)									
8.4	3.3	17.7	1.5	0.94	1.4	310	558	55	47

جدول ۳- تجزیه ترکیبات سازنده کود بیولوژیک (پروبیو ۹۶)

Table 3- Analysis of biofertilizer compounds (Probio 96)

میکروارگانیزم	جمعیت	هدایت الکتریکی	اسیدیته
Microorganism	CFU/ml	EC (dS.m ⁻¹)	pH
باسیلوس سوبتیلیس Bacillus subtilis	10 ⁸	4.4	6.2

جدول ۴- مواد تشکیل دهنده کود هربان

Table 4- Ingredients of Herban fertilizer

آلومینیوم Al ₂ O ₃	سیلیسیوم SiO ₂	گوگرد S	منگنز MnO	منیزیم MgO	آهن Fe ₂ O ₃	کلسیم CaO	پتاسیم K ₂ O
(%)							
13	50	2	0.07	7	6	6	4

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیک

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست بر صفات وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک ساقه، طول ساقه، وزن تر و خشک برگ و سطح برگ در سطح یک درصد معنی دار بود. اثر کود بیولوژیک بر صفات وزن تر ریشه و وزن خشک ساقه در سطح پنج درصد معنی دار شدند. همچنین در اثر متقابل ورمی کمپوست و کود بیولوژیک در هیچ یک از صفات تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که تمامی صفات تیمار شده با ورمی کمپوست ۲۰ درصد، معنی دار بودند و باعث بهبود عملکرد گیاه ریحان شده‌است. به طوری که وزن تر برگ و سطح برگ در ورمی کمپوست ۲۰ درصد به ترتیب با مقدار ۵۱/۸۵ و ۷۵/۱۳، و در شاهد به ترتیب با مقدار ۲۴/۲۸ و ۵۹/۶۹ مشاهده شد. در بین تیمار کودهای بیولوژیک، کود پروبیو ۹۶ در صفاتی نظیر وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه، طول ریشه، وزن تر ساقه و وزن خشک ساقه، طول ساقه و وزن تر برگ بیشترین مقدار را در مقایسه با شاهد و هربان داشت (جدول ۶). کودهای بیولوژیکی از طریق تثبیت نیتروژن، محلول سازی یا کانی سازی فسفات و پتاسیم، آزادسازی مواد تنظیم کننده رشد گیاه، تولید آنتی بیوتیک و تجزیه بیولوژیکی مواد آلی در خاک، محیط خاک را غنی نگه می‌دارند (Sinha et al., 2010). وقتی کودهای زیستی به عنوان ماده تلقیحی در بذر یا خاک استفاده می‌شوند، آن‌ها تکثیر می‌شوند و در چرخه تغذیه مواد مغذی شرکت می‌کنند و سبب بهبود تولید محصول می‌شوند (Adesemoye and Kloepper, 2009). ریزوباکتری‌ها در شرایط آزمایشگاهی سبب تقویت جوانه زنی ذرت شده بودند (Norman et al., 2005). کودهای زیستی باعث گسترش ریشه و جوانه زنی بذرهای می‌شوند (Purushothaman et al., 2018). افزودن ورمی کمپوست به میزان قابل توجهی زیست توده شاخه را تا ۲۳ درصد و زیست توده ریشه را تا ۲۰ درصد افزایش داد (van Groenigen et al., 2014). ورمی کمپوست بهترین عامل تکثیر برای خصوصیات رشد مانند ارتفاع، تعداد شاخه‌ها، طول ریشه و وزن خشک ریشه میخک (*Syzygium aromaticum*) و همچنین برای ویژگی‌های رشد نظیر ارتفاع و تعداد برگ‌های فلفل سیاه است (Thankamani et al., 1996). حیدرپور و همکاران گزارش داد که استفاده از ۲ تن

در هکتار ورمی کمپوست پارامترهای مورفوفیزیولوژیکی مرزه تابستانی^۱ را بهبود بخشید (Heidarpour et al., 2020). در بین تیمار کودهای زیستی، تیمار ورمی کمپوست در خردل، منجر به افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک شد (McGarvey and Croteau, 1995). همچنین اثرات مثبت ورمی کمپوست بر روی گیاهان دارویی سیر (Verma et al., 2013)، گشنیز (Godara et al., 2014)، بابونه آلمانی (Ansarifar et al., 2012) و ریحان (Sirousmehr, 2014) گزارش شده است. جاوید و پانوار (۲۰۱۳) اثرات ورمی کمپوست بر سویا (*Glycine max*) را مطالعه کردند، و اثبات نمودند ورمی کمپوست از نظر درصد جوانه زنی بذر و فنل کل از کودهای شیمیایی بهتر بود (Javed et al., 2013). همچنین کاربردهای ورمی کمپوست باعث افزایش تعداد گل و عملکرد گل همیشه بهار آفریقایی مشاهده شد (Pant et al., 2009). همچنین نتایج یک آزمایش نشان داد که پارامترهای رشد و عملکرد مانند سطح برگ، زیست توده اندام هوایی گیاهان، تعداد گل‌ها، تعداد دونده‌های گیاه و وزن میوه‌های قابل فروش به دلیل کاربردهای ورمی کمپوست در مقایسه با کودهای معدنی افزایش قابل توجهی داشت (Joshi et al., 2015).

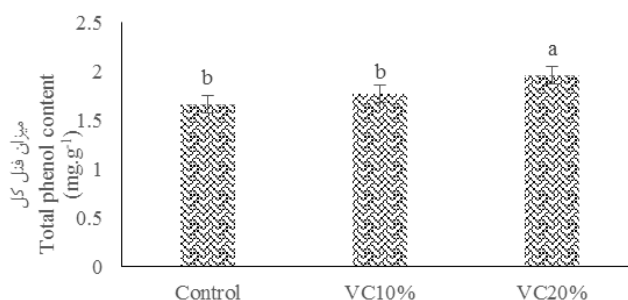
میزان فنل و فلاونوئید

ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی از جمله ترکیبات اصلی گیاهان دارویی هستند. این ترکیبات به عنوان منابع ضد اکسیدکننده موثر در نظر گرفته می‌شوند (Chookalaii et al., 2020). همان‌طور که در شکل ۱ نشان می‌دهد، بیشترین میزان فنل کل به مقدار ۱/۹۸ میلی گرم بر گرم به تیمار ورمی کمپوست ۲۰ درصد تعلق داشت. و در بین تیمارهای بیولوژیک، کود پروبیو ۹۶ با مقدار ۱/۹۶ میلی گرم بر گرم، بیشترین تاثیر را بر میزان فنل کل نشان داد (شکل ۲). بیشترین میزان فلاونوئید کل در تیمارهای حاوی ورمی کمپوست ۲۰ درصد با مقدار ۹۲/۱۳ میلی گرم بر گرم، و بیشترین میزان فلاونوئید بعدی در تیمار ورمی کمپوست ۱۰ درصد مشاهده شد (شکل ۳). این روند در تیمارهای کود بیولوژیک نیز گزارش شد به طوری که کود پروبیو ۹۶ و بعد از آن کود هربان بیشترین تاثیرگذاری را در افزایش میزان فلاونوئید کل به ترتیب به میزان ۹۱/۳۳ و ۸۳/۵۴ را در مقایسه با

(Fathi and Najafian, 2020). میزان اسانس مرزنجوش در مقایسه با کودهای NPK به شدت تحت تاثیر کودهای زیستی قرار گرفت (Gharib *et al.*, 2008). کاربرد ورمی کمپوست (۱۵ تن در هکتار) بر گیاه دارویی زوفا به طور قابل توجهی بر کلروفیل، کاروتنوئید، فلاونوئیدها و آنتوسیانین ها تأثیر گذاشته است (Yousefzadeh, 2018).

شاهد داشته است (شکل ۴).

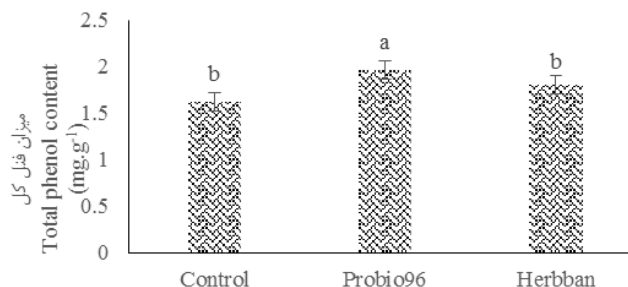
در گاو زبان حداکثر میزان موسیلاژ (۴/۲۳ درصد)، محتوای فنل (۷/۵ درصد) و شاخه های گلدار (۵۷/۴۵ گرم در متر مربع) با تیمار ورمی کمپوست ۱۰ تن در هکتار به دست آمد (Shahbazi *et al.*, 2019). کاربرد ورمی کمپوست بر گیاه دارویی زنیان در برخی از عوامل از جمله فنل کل، کلروفیل ها، کاروتنوئیدها، قند محلول کل، نیتروژن، فسفات و پتاسیم اثر بهتری در مقایسه با نمونه های شاهد داشت



شکل ۱- تاثیر ورمی کمپوست بر میزان فنل کل ریحان

Figure 1- The effect of vermicompost (VC) on the total phenol content of basil (LSD, $p \leq 0.05$)

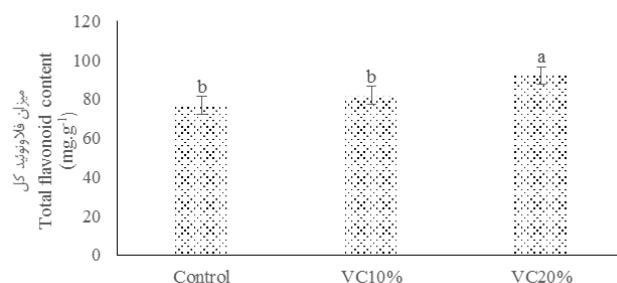
شاهد: Control - ورمی کمپوست ۱۰٪ - VC10٪ - ورمی کمپوست ۲۰٪ - VC20٪



شکل ۲- تاثیر کود بیولوژیک و هربان بر میزان فنل کل ریحان

Figure 2- The effect of biological fertilizer (Probio96) and Herbban on the total phenol content of basil (LSD, $p \leq 0.05$)

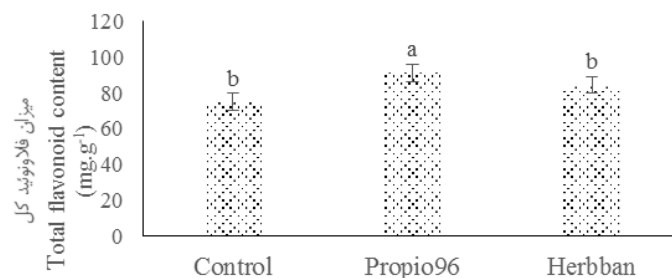
شاهد: Control - پروبیو ۹۶ - Probio96 - هربان - Herbban



شکل ۳- تاثیر ورمی کمپوست بر میزان فلاونوئید کل ریحان

Figure 3- The effect of vermicompost (VC) on the total flavonoid content of basil (LSD, $p \leq 0.05$)

شاهد: Control - ورمی کمپوست ۱۰٪ - VC10٪ - ورمی کمپوست ۲۰٪ - VC20٪



شکل ۴- تاثیر کود بیولوژیک و هربان بر میزان فلاونوئید کل ریحان

Figure 4- The effect of biological fertilizer (Propio96) and Herbban on the total flavonoid content of basil (LSD, $p \leq 0.05$)

Herbban : هربان - Propio96: پروبیو۹۶- Control: شاهد

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کاربرد کود زیستی، هربان و ورمی کمپوست بر برخی خصوصیات گیاه ریحان

Table 5- The ANOVA results for the effect of biofertilizer, Herbban and vermicompost on some traits of basil plant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزاد Df	میانگین مربعات Mean squares								
		وزن تر ریشه Fresh root weight	وزن خشک ریشه Dry root weight	طول ریشه Root length	وزن تر ساقه Fresh stem weight	وزن خشک ساقه Dry stem weight	طول ساقه Stem length	وزن تر برگ Fresh leaf weight	وزن خشک برگ Dry leaf weight	سطح برگ Leaf area
تکرار Replication	2	1.17 ^{ns}	37.28 ^{**}	0.70 ^{ns}	65.24 ^{ns}	0.25 [*]	29.37 ^{**}	3.63 [*]	4.22 ^{ns}	127.04 ^{**}
ورمی کمپوست Vermicompost (VC)	2	12.5 ^{**}	368.4 ^{**}	0.703 ^{ns}	19.03 ^{**}	2.89 ^{**}	150.07 ^{**}	55.4 ^{**}	48.5 [*]	1103.17 ^{**}
کودهای بیولوژیک Biological fertilizers (B)	2	2.84 [*]	12.2 ^{ns}	1.37 ^{ns}	53.6 ^{ns}	0.23 [*]	2.25 ^{ns}	2.07 ^{ns}	2.20 ^{ns}	269.67 ^{ns}
VC×B	4	1.12 ^{ns}	5.99 ^{ns}	1.64 ^{ns}	96.6 ^{ns}	0.12 ^{ns}	3.81 ^{ns}	1.04 ^{ns}	1.73 ^{ns}	134.93 ^{ns}
خطا Error	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ضریب تغییرات C.V (%)	—	23.08	21.42	8.34	20.83	18.26	7.75	21.71	22.84	17.08

ns، * و **: به ترتیب نمایانگر عدم معنی داری و تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

نتایج مشابهی را برای رازیانه (*Foeniculum vulgare*) ارائه کردند (Noumavo et al., 2013; Koralage et al., 2015). در مورد گونه‌ای از مارچوبه (*Asparagus racemosus*) نیز نشان داد، میزان فنل کل و فلاونوئید کل در خاک تیمار شده با ورمی کمپوست بیشتر است (Saha et al., 2010). در مورد گیاهان گوآر^۲ کودهای بیولوژیک به طور چشمگیری موجب افزایش میزان کربوهیدرات و فلاونوئیدها شده بود (Ahmed et al., 2014). کودهای بیولوژیک تأثیر

بوک چوی^۱ تیمار شده با ورمی کمپوست به نسبت کودهای شیمیایی دارای بیشترین مواد معدنی، کاروتنوئیدهای کل، فعالیت آنتی اکسیدانی و فنول‌های کل بود (Osoli and Taleshi, 2018). نتایج تحقیق دیگری که روی ریحان انجام شد، این کاربرد را نشان داد ورمی کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد، عملکرد و کیفیت محتوای اسانس و عملکرد بیولوژیکی گیاه بهبود یافت (Anwar et al., 2005). محفوظ و شرف الدین (۲۰۰۷)، اصولی و تالش (۲۰۱۸) نیز

نتیجه گیری

کودهای زیستی به عنوان یک مزیت در کشاورزی ارگانیک نقش مهمی در حفظ باروری و پایداری طولانی مدت خاک دارند. این نوع کودها را می توان گزینه ای برای افزایش بهره وری در واحد سطح و تامین محیط زیست سالم دانست. همان طوری که نتایج این آزمایش نشان داده است مصرف کود ورمی کمپوست بیشترین تاثیر را بر اندام های مورد هدف مانند سطح برگ، وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان داشت. به طور کلی مشخص شد که استفاده ورمی کمپوست ۲۰ درصد و کود حاوی باکتری باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis*) مناسب ترین ترکیب تغذیه ای گیاه ریحان می باشد.

قابل توجهی بر عملکرد اسانس گیاهانی نظیر ریحان (Karthikeyan *et al.*, 2008)، آویشن (Fallahi *et al.*, Hendawy *et al.*, 2010)، بابونه (Arazmjo *et al.*, Ahmadian *et al.*, 2010)، زیره (Rubab *et al.*, 2016) و رازیانه (Moradi *et al.*, 2011) نشان دادند. و نیز تاثیر کودهای بیولوژیکی در افزایش چرخه رشد، عملکرد و بیوستز مونوترپن ها و ایجاد محتوای اسانس در گیاه رازیانه گزارش شد (Koralage *et al.*, 2015). این نتایج در همان روند نتایج حاضر است.

جدول ۶- اثر کاربرد کود زیستی، هربان و ورمی کمپوست بر برخی خصوصیات گیاه ریحان
Table 6- The effect of biofertilizer, Herbban and vermicompost on some traits of basil plant

تیمار Treatment	وزن تر ریشه Fresh root weight (g)	وزن خشک ریشه Dry root Weight (g)	طول ریشه Root lenght (cm)	وزن تر ساقه Fresh stem weigh t(g)	وزن خشک ساقه Dry stem weight (g)	طول ساقه Stem length (cm)	وزن تر برگ Fresh leaf weight (g)	وزن خشک برگ Dry leaf weight (g)	سطح برگ Leaf area (cm ²)
شاهد Control	3.15 ^b	2.92 ^b	13.44 ^a	13.34 ^b	1.22 ^b	26.44 ^b	24.28 ^b	3.77 ^b	59.69 ^b
ورمی کمپوست ۱۰ درصد Vermicompost 10%	3.004 ^b	2.98 ^b	13.11 ^a	15.18 ^b	1.33 ^b	27.00 ^b	29.98 ^b	4.43 ^b	53.66 ^b
ورمی کمپوست ۲۰ درصد Vermicompost 20%	5.14 ^a	7.25 ^a	12.8 ^a	25.23 ^a	2.25 ^a	33.77 ^a	51.85 ^a	8.08 ^a	75.13 ^a
شاهد Control	3.20 ^b	3.86 ^a	12.77 ^a	1.52 ^a	28.55 ^a	34.54 ^a	5.21 ^a	56.88 ^b	41.3 ^a
پروبیو ۹۶ Probio96	4.32 ^a	4.81 ^a	13.55 ^a	19.11 ^a	1.78 ^a	29.55 ^a	38.12 ^a	6.00 ^{ab}	67.66 ^{ab}
هربان Herbban	3.82 ^b	4.48 ^a	13.11 ^a	17.87 ^a	1.50 ^a	29.11 ^a	33.45 ^a	5.08 ^{ab}	63.94 ^{ab}

در هر ستون، میانگین های که دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

In each column, the mean followed by the same letter have not significant difference based on LSD test at the %5 of probability level.

منابع

- Aburial, T., & Hudaib, M. (2006). Antimutalelet, antibacterial and antifungal activities of *Acillea facata* exextracts and evaluation of volatile oil composition. *Journal Pharmacog* 2(7): 191-8.
- Adesemoye, A.O., & Kloepper, J.W. (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. A Review. *Appl Microbiol Biotechnol* 85(1): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0>.
- Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B.A., Heidary, M., Ramroodi, M., & Mousavinik, M. (2010). Effects of Residual of chemical fertilizer, cattle manure and compost on yield, yield components, some physiological characteristics and essential oil content of *Matricaria chamomilla* under drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8(4): 668-676.
- Ahmed, S.H.G., Hussien, A.H.S., Aber, A.M., & Hanaa, F.Y.M. (2013). Effect of nitrogen sources, biofertilizers and their interaction on the growth, seed yield and chemical composition of Guar plants. *Journal Life Science* 10(3): 389-402.

- 5- Amooaghaie, R., & Golmohammadi, S. (2017). Effect of vermicompost on growth, essential oil, and health of *Thymus vulgaris*. *Journal Compost Science & Utilization* 25(3): 166-177. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1249314>.
- 6- Ansarifar, M., Noormohamadi, G., Seyed Hadi, M.R.H., & Riazi G. (2012). Effect of organic nutrients on flower yield and oil content of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal Med Plants By-products* 2: 177-181.
- 7- Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., & Khanuja, S.P.S. (2005). Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Commun. Soil Science Plant* 36(13-14): 1737-1746. <https://doi.org/10.1081/CSS-200062434>.
- 8- Arancon, N., Edwards, C., Bierman, P., Metzger, J., Lee, S., & Welch C. (2003). Effects of vermicompost on growth and marketable fruits of field grown tomatoes, peppers and strawberries. *Pedobiologia*. 47:731-735.
- 9- Arazmjo, A., Heidari, M., Ghanbari, A., Siahars, B., & Ahmadian A. (2010). Effects of three types of fertilizers on essential oil, photosynthetic pigments, and osmoregulators in chamomile under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* (ESCS) 3(1): 23-33.
- 10- Azzaz, N.A., Hassan, E.A., & Hamad, E.H. (2009). The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of Fennel Plants treated with organic and biofertilizer instead of mineral fertilizer. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3(2):579-587.
- 11- Bailly, C. 2009. "Ready for a comeback of natural products in oncology," *Biochemical Pharmacology*. 77(9): 1447-1457. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.12.013>.
- 12- Banchio, E., Xie, X., Zhang, H., & Pare, P.W. (2009). Soil bacteria elevate essential oil accumulation and emissions in sweet basil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(2): 653-657. <https://doi.org/10.1021/jf8020305>.
- 13- Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R.K., & Narendra, Tuteja. (2014). biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. A Review. *Microbial Cell Factories*. 13:66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>.
- 14- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*. 39:34. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>.
- 15- Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal Food and Drug Analysis* 10(3): 178-82.
- 16- Chookalali, H., Riahi, H., Shariatmadari, Z., Mazarei, Z., & Seyed, Hashtroudi, M. (2020). Enhancement of total flavonoid and phenolic contents in *Plantago major* L. with plant growth promoting Cyanobacteria. *Journal of Agricultural Science and Technology* 22(2): 505-518. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2020.22.2.8.6>.
- 17- Citak, S., & Sonmez, S. (2010). Effects of conventional and organic fertilization on spinach (*Spinacea oleracea* L.) growth, yield, vitamin C and nitrate concentration during two successive seasons. *Scientia Horticulturae* 126: 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.010>.
- 18- Dignac, M.F., Derrien, D., & Barré, P. (2017). increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A Review. *Agronomy for Sustainable Development* 37: 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2>.
- 19- Fallahi, J., Koocheki, A., & Rezvani Moghaddam, P. (2008). Investigating the effects of organic fertilizer on quantity index and the amount essential oil and chamazulene in chamomile (*Matricaria recutita*). *Agricultural Research: Water, Soil and Plant in Agriculture* 1(8):157-168.
- 20- Fathi, S., & Najafian, S. (2020). Effect of organic and chemical fertilizers on morphophysiological and biochemical properties of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). *Iranian Journal of Plant Physiology* 11(1): 3405-3415.
- 21- Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. In Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. Agronomy No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 383– 411. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>.
- 22- Gharib, F.A., Moussa, L., & Massoud, O.N. (2008). Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agriculture and Biology* 10(4): 1560-8530.
- 23- Godara, A.S., Gupta, U.S., Lal, G., & Singh, R. (2014). Influence of organic and inorganic source of fertilizers on growth, yield and economics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal Seed Spice* 4(2): 77-80.
- 24- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., & Crute, I.R. et al. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327:812. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>.
- 25- Heidarpour, O., Esmailpour, B., Soltani, Toolarood, A., & Khorramdel, S. (2020). Effect of vermicompost on summer's morphophysiological, biochemical, and yield characteristics savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology* 12(3): 507-522.
- 26- Hendawy, S.F., Azza, A., El-Din, E., Aziz, E., & Omer, E.A. (2010). Productivity and oil quality of *Thymus vulgaris* L. under organic fertilization conditions. *Ozean Journal of Applied Sciences* 3(2): 203-216.
- 27- Javed, S., & Panwar, A. (2013). Effect of biofertilizer, vermicompost and chemical fertilizer on different

- biochemical parameters of *Glycine max* and *Vigna mungo*. *Recent Research in Science and Technology* 5: 40-44.
- 28- Joshi, R., Singh, J., & Vig, A.P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 14(1): 137-159.
- 29- Karthikeyan, B., Abdul Jaleel, C., Lakshmanan, G.M.A., & Deiveekasundaram, M. (2008). Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 62(1): 143-14.
- 30- Khalid, K.H.A., Hendawy, S.F., & El-Gezawy, E. (2006). *Ocimum basilicum* L. Production under Organic Farming. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 2(1): 25-32.
- 31- Koralage, I.S.A., Weerasinghe, P., Silva, P.N.R.N., & De Silva, C.S. (2015). Determination of Available Phosphorus in Soil: A Quick and Simple Method. *OUSL Journal* 8: 1-17.
- 32- Mahfouz, S., & Sharaf-Eldin, M. (2007). Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Journal International Agrophysics* 21(4): 361-366.
- 33- McChesney, J.D., Venkataraman, S.K., & Henri, J.T. (2007). "Plant natural products: back to the future or into extinction". *Phytochemistry* 68(14): 2015-2022. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.04.032>.
- 34- McGarvey, D.J., & Croteau, R. (1995). Terpenoid metabolism. *Plant Cell* 7(7): 1015-1026. <https://doi.org/10.2307/3870054>.
- 35- Mondal, T., Datta, J.K., & Mondal, N.K. (2017). Chemical fertilizer in conjunction with bio fertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and biochemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16(2): 135-144. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.001>.
- 36- Moradi, R., Nasiri Mahallati, M., Rezvani Moghaddam, P., Lakzian, A., & Nejad Ali, A. (2011). The effect of application of organic and biological fertilizers on quantity and quality of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare*). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 25(1): 25-33.
- 37- Naiji, M., & Souri, M.K. (2018). Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 17(2): 167-175. <https://doi.org/10.24326/asphc.2018.2.14>.
- 38- Naiji, M., & Souri, M.K. (2014). *The potential for organic production of savory (Satureja hortensis) in Iran*. In "Bridging the gap between increasing knowledge and decreasing resources". Tropentag Prague Czech Republic. September 17-19.
- 39- Najar, I., & Khan, A. (2013). Effect of vermicompost on the growth and productivity of tomato (*Lycopersicon esculentum*) under field conditions. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 2(1): 12-21. <https://doi.org/10.1007/s40093-015-0087-1>.
- 40- Norman, Q., Arancon, N., Clive, A., & Edwards, C. (2005). *Effects of Vermicompost on plant growth*, International Symposium Workshop for Developing Countries (ISWVT 2005). Los Banos. Philippines.
- 41- Noumavo, P.A., Kochoni, E., Didagbé, Y.O., Adjanohoun, A., Allagbé, M., Sikirou, R., Gachomo, E.W., Kotchoni, S.O., & Baba-Moussa, L. (2013). Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. *American Journal of Plant Sciences* 4(5): 1013-1021. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2013.45125>.
- 42- Osoli, N., & Taleshi, K. (2018). Evaluation of the effects of biological fertilizers and vermicompost on biological characteristics and essential oil quality of fennel plant (*Foeniculum vulgare* Mill) Khoramabad. *Applied Research of Plant Ecophysiology* 4(2): 123-138. (In Persian). <http://repository.uma.ac.ir/id/eprint/3554>.
- 43- Pant, A.P., Radovich, T.J.K., Hue, N.V., Talcott, S.T., & Krenek, K.A. (2009). Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(14): 2383-2392. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3732>.
- 44- Paul, S., & Bhattacharya, S.S. (2012). Vermicomposted water hyacinth enhances growth and yield of marigold by improving nutrient availability in soils of north bank plain of Assam. *Journal of Agricultural Science and Technology* 2(1): 36-46. <https://doi.org/10.37591/rjoast.v1i3.803>.
- 45- Pereira, CM., Neiverth, CA., Maeda, S., Guiotoku, M., & Franciscon., L. (2011). Complexometric titration with potentiometric indicator to determination of calcium and magnesium in soil extracts. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35(4): 1331-1336.
- 46- Purushothaman, B., Srinivasan, R.P., Suganthi, P., Ranganathan, B., Gimbin, J., & Shanmugam, K. (2018). A comprehensive review on *Ocimum basilicum*. *Journal of Natural Remedies* 18(3): 72-85. <http://dx.doi.org/10.18311/jnr/2018/21324>.
- 47- Rajendran, K., & Devaraj, P. (2004). Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land. *Biomass and Bioenergy* 26(3): 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.07.001>.
- 48- Razmkhah, S., Razav, S.M.A., Behzad, K., & Mazaheri Tehrani, M. (2012). The effect of pectin, sage seed gum and basil seed gum on physicochemical and sensory characteristics of non fat concentrated yoghurt. *Iran Food*

- Science Technology Research Journal 6(1): 27–36.
- 49- Rubab, S., Hussain, I., Khan, B.A., Unar, A.A., Abbas, K.A., Khichi, Z.H., Khan, M., Khanum, S., Rehman, K.U., & Khan, H. (2016). Biomedical description of *Ocimum basilicum* L. A Review. *JIIIMC* 12(1): 59-67.
- 50- Saeid Nejad, A.H., & Rezvani Moghaddam, P. (2010). Evaluation of biofertilizer and chemical fertilizer application on morphological traits, yield, yield components and essential oil percent in cumin (*Cuminum cyminum*). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 24(1): 38-44.
- 51- Saha, S., Mukhopadhyay, M.K., Ghosh, P.D., & Nath, D. (2012). Effect of Methanolic leaf extract of *Ocimum basilicum* L. on benzene-induced hematotoxicity in mice. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 176385-7 pages
- 52- Sanches Govin, E., Rodrigues Gonzales, H., & Carballo Guerra, C. (2005). Influencia de los abonos organicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 10(1):1.
- 53- Seigler, D.S. (1998). *Plant Secondary Metabolism*, Kluwer Academic, Boston, Mass, USA, 711. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4913-0>.
- 54- Shahbazi, Z., Salehi, A., Hazrati, S., & Movahedi Dehnavi, M. (2019). Enhancing the quality and yield of European borage (*Borago officinalis*) by simultaneous application of granulated compost, vermicompost and mycorrhiza. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 6(2): 283-298. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2019.274604.281>.
- 55- Sinha, R.K., Valani, D., Chauhan, K., & Agarwal, S. (2010). Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 2(7): 113-128. <http://www.academicjournals.org/jabsd>.
- 56- Sirousmehr, A., Arabi, J., & Asgharipour, M.R. (2014). Effect of drought stress levels and organic manures on yield, essential oil content and some morphological characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Advances in Environmental Biology* 8(4): 880-885.
- 57- Suthar, S. (2009). Impact of vermicompost and composted farmyard manure on growth and yield of garlic (*Allium sativum*) field crop. *International Journal Plant Production* 3(1): 27-38.
- 58- Thankamani, C.K., Sivaraman, K., & Kandiannan, K. (1996). Response of clove (*Syzygium aromaticum* L.) Merr. & Perry) seedlings and black pepper (*Piper nigrum* L.) cuttings to propagating media under nursery conditions. *Journal Spices Aromat Crops* 5(2): 99-104.
- 59- van Groenigen, J.W., Lubbers, I.M., Vos, H.M.J., Brown, G.G., Deyn, G.B.D., & van Groenigen, K.J. (2014). Earthworms increase plant production: ameta-analysis. *National Center for Biotechnology Information* 4: 6365. <https://doi.org/10.1038%2Fsrep06365>.
- 60- Verma, S., Choudhary, M.R., Yadav, B.L., & Jakhar, M.L. (2013). Influence of vermicompost and sulphur on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) under semi-arid climate. *Journal Spice Aroma Crops* 22(1): 20-23.
- 61- Verza, S.G., Kreinecker, M.T., Reis, V., Henriques, A.T., & Ortega, G.G. (2007). Avaliação das variáveis analíticas do método de Folin-Ciocalteu para determinação do teor de taninos totais utilizando como modelo o extrato aquoso de folhas de *Psidium guajava* L. *Quím* 30(4): 815-820. (In Portuguese)
- 62- Yousefzadeh, S. (2018). The effect of application of vermicompost levels and nitrogen on some of agromorphological traits, photosynthetic pigments and essential oil content of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Electronic Journal of Crop Production* 11(3): 131-137. (In Persian) <https://dx.doi.org/10.22069/ejcp.2019.13639.2047>.



Evaluation of Growth, Yield and Morphological and Physiological Characteristics of Five Mint (*Mentha* spp.) Species in the Aeroponic System under Greenhouse

M. Yaghobvand¹, H. Mumivand^{2*}, M.R. Raji³, A. Banan⁴

Received: 16-09-2021

Revised: 23-11-2021

Accepted: 16-01-2022

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Yaghoobvand, M., Mumivand, H., Raji, M.R., & Banan, A. (2022). Evaluation of Growth, Yield and Morphological and Physiological Characteristics of Five Mint (*Mentha* spp.) Species in the Aeroponic System under Greenhouse. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 603-618. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2022.72347.1089](https://doi.org/10.22067/jhs.2022.72347.1089)

Introduction

The aeroponic system is a promising technique for the future of agriculture, growing plants in an air or mist environment without the use of soil or an aggregate medium. In aeroponic, plants are suspended in a closed or semi-closed environment by spraying the plant's dangling roots and lower stem with an atomized or sprayed, nutrient-rich water solution (30). Increased aeration of nutrient solution delivers more oxygen to plant roots in aeroponic in compare to conventional hydroponic systems, stimulating growth and helping to prevent pathogen formation (1). Cultivation of medicinal plants under controlled conditions of aeroponic and hydroponic systems commercially provides a better result in terms of quality improvement, bioactivity and biomass production (5, 4).

Mint (*Mentha*) is one of the most important genus of Lamiaceae family. Different species of the genus have high economic value, due to their active and aromatic substances and are used as raw materials in food, cosmetics, health, beverage and pharmaceutical industries. *M. piperita*, *M. spicata* and *M. suaveolens* are the most common and popular species of the genus for cultivation. *M. aquatica* is also a perennial plant of the genus that is cultivated in Europe, North and Northwest Africa and Southwest Asia (2). Aeroponic system is more cost effective than other systems. Because of the reduced volume of solution throughput, less water and fewer nutrients are needed in the system at any given time compared to other nutrient delivery systems. However, due to lack of research and sufficient technical information, the use of aeroponic system is not common among farmers and greenhouse owners. In addition, many tips are not yet scientifically known about the cultivation of different plant species in this system (4). Despite the benefits of aeroponics, no research has been previously conducted on the cultivation of different species of mint in this system. Therefore, the present study was conducted with the aim of investigation of growth, yield and morpho-physiological characteristics of five mint species in the aeroponic system.

Methods and Methods

This study was conducted in greenhouses of faculty of Agriculture and Natural Resources of Lorestan University in 2020. The experiment was performed as a split plot design. *Mentha* species (including *M. aquatica*, *M. pulegium*, *M. spicata*, *M. suaveolens* and *M. piperita*) were considered as the main plot and harvest time (first and second harvests) was used as sub-plot. In each experimental block, one row (with ten plants) of five mint species was planted. In the early stages of growth, plants were fed with half Hoagland nutrient solution and then with complete Hoagland solution. Finally, morphological and physiological traits and some biochemical characteristics of plants were measured. After harvesting the first batch of plants and in order to better evaluation

1, 2 and 3- M.Sc. Student and Assistant Professors Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran, respectively.

4- Assistant Professor, Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

(*- Corresponding Author Email: mumivand.h@lu.ac.ir)

of species in the aeroponics system, all studied traits were measured about two months after the first harvest. Analysis of variance was performed based on the experimental design using SAS software. The comparison of means was also done with the least significant difference (LSD) test at the level of 5%.

Results and Discussion

The results showed that *M. spicata* and *M. suaveolens* had the highest leaf to stem ratio. The highest stem dry weight and plant height were related to *M. pulegium*. While, the highest leaf area, leaf fresh and dry weight, stem fresh and dry weight, stolon fresh and dry weight, shoot fresh and dry weight, total plant dry weight and relative water content were related to *M. aquatic*, followed by *M. piperita*. In addition, *M. piperita* had shown the highest fresh root weight. The highest amount of carotenoid and chlorophyll, photosynthesis rate and CO₂ under the stomata was obtained in *M. piperita*. In this experiment, most of the yield-attributes traits including leaf area, leaf fresh and dry weight, root fresh weight, shoot fresh weight and total plant dry weight, as well as relative water content and photosynthesis rate were higher in the second harvest than the first one.

Conclusion

All studied species in this experiment were successfully growth in the aeroponic system. Due to high water use efficiency, no need for soil and high crop production, mint cultivation in the aeroponic system can be a healthy and profitable alternative to in soil cultivation approach. According to the results of the present study, *M. aquatica* has shown higher performance than other species in terms of the yield attributes traits (including leaf number, leaf area, fresh and dry weight of plant, fresh and dry weight of shoots and fresh and dry weight of leaves). Among the other species, the highest shoot dry weight and plant dry weight was obtained by *M. piperita*. Finally, the high potential of *M. aquatica* and *M. piperita* for cultivation in the aeroponic system can be concluded.

Keywords: Aeroponics, *M. piperita*, *M. aquatica*, *M. pulegium*, Photosynthesis

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۱۸-۶۰۳

ارزیابی رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه نعنای (*Mentha spp.*) در سیستم هواکشت تحت شرایط کشت گلخانه‌ای

مریم یعقوب‌وند^۱ - حسن مومیند^{۲*} - محمدرضا راجی^۳ - اشکان بنان^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

چکیده

امروزه استفاده از محیط‌های کنترل شده و روش‌های تولید بدون خاک، به دلیل قابلیت بالای این روش‌ها در استفاده کارآمد از منابع و قابلیت‌های کشت فشرده، در حال افزایش است. به منظور بررسی ارزیابی رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی پنج گونه نعنای در سیستم هواکشت، آزمایشی در شرایط گلخانه انجام شد. مطالعه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید و آنالیز داده‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کرت‌های خرد شده در زمان انجام شد. گونه‌های نعنای (شامل نعنای آبی *Mentha aquatica*، نعنای پونه *Mentha pulegium*، نعنای سبز *Mentha spicata*، نعنای سیب *Mentha suaveolens* و نعنای فلفلی *Mentha piperita*) به عنوان فاکتور اصلی و برداشت (چین اول و چین دوم) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که گونه‌های نعنای سیب و نعنای سبز بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه را به ترتیب به میزان ۱/۳۶۴ و ۱/۳۶۸ داشتند. بیش‌ترین سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک استولون، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک کل بوته و محتوای نسبی آب مربوط به گونه نعنای آبی و پس از آن گونه نعنای فلفلی بود. علاوه بر این گونه نعنای فلفلی بیش‌ترین وزن تر ریشه را دارا بود. بیش‌ترین میزان کاروتنوئید و کلروفیل در گونه نعنای فلفلی به دست آمد و بیش‌ترین میزان فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن زیر روزنه نیز مربوط به گونه نعنای پونه بود. در این آزمایش اغلب صفات مرتبط با عملکرد شامل سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، محتوای نسبی آب و فتوسنتز در چین دوم بالاتر بودند. با توجه به نتایج به دست آمده در مجموع گونه نعنای آبی نسبت به دیگر گونه‌ها از لحاظ اغلب صفات مورد مطالعه برتری نشان داد. در حالی که گونه نعنای فلفلی نیز از رشد و عملکرد قابل توجهی برخوردار بود. بنابراین کشت گونه نعنای فلفلی جهت مصارف دارویی و کشت گونه نعنای آبی جهت مصرف تازه‌خوری در سیستم هواکشت مناسب است.

واژه‌های کلیدی: پونه، فتوسنتز، نعنای آبی، نعنای فلفلی، هواکشت

مقدمه

با توسعه زندگی شهری و صنعتی شدن سریع جوامع و همچنین ذوب شدن کوه‌های یخ (به عنوان یک تاثیر آشکار گرم شدن کره

زمین)، سطح زمین‌های زیر کشت بیش از قبل کاهش می‌یابد. کشت مداوم، خشکسالی‌های مکرر، غیر قابل پیش‌بینی بودن الگوهای آب و هوایی، افزایش دما، مدیریت ضعیف منابع آب، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و غیره تولید مواد غذایی در کشاورزی مبتنی بر خاک را تهدید می‌کند (Mumivand et al., 2010, Tiwari, 2008). بنابراین استفاده از محیط‌های کنترل شده و روش‌های تولید بدون خاک به دلیل قابلیت بالای این روش‌ها در استفاده کارآمد از منابع و قابلیت‌های کشت فشرده، در حال افزایش است (Dannehl, et al., 2017). سیستم‌های کشت بدون خاک می‌توانند تولید زیست‌توده،

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: mumivand.h@lu.ac.ir

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

کیفیت، عملکرد و فعالیت زیستی مواد خام را بهبود بخشد. علاوه بر این امکان تولید محصولات و مواد خام با کیفیت بالا و عاری از علف‌های هرز، عوامل بیماری‌زا و خاک در این سیستم‌ها وجود دارد (Dorai et al., 2001).

سیستم هواکشت^۱ یکی از بهترین روش‌های پرورش گیاه برای نیل به امنیت غذایی و توسعه پایدار در نظر گرفته شده است. این سیستم در کشورهای مختلف بازدهی امیدوارکننده‌ای داشته است و به‌عنوان کارآمدترین، مفیدترین، قابل توجه‌ترین، اقتصادی‌ترین و مناسب‌ترین سیستم برای رشد گیاه در مقایسه با کشت در خاک و سایر روش‌های کشت بدون خاک توصیه می‌شود (Lakhari et al., 2018). سیستم هواکشت یک تکنیک امیدوارکننده برای آینده است که مبتنی بر پاشش آب و عناصر غذایی به‌صورت ذرات بسیار ریز و پودری روی ریشه‌های گیاه است (Otazu, 2010). در این سیستم اندام‌های زیرزمینی در یک محفظه تاریک محصور شده و محلول حاوی مواد مغذی با دستگاه مه‌پاش به محفظه وارد می‌شود. هواکشت هوادهی ریشه‌ها را بهینه می‌کند، که مهم‌ترین عامل افزایش عملکرد گیاه در مقایسه با سیستم‌های رایج هیدروپونیک و کاشت در خاک است (Asao, 2012). از دیگر مزایای آن می‌توان به بازگرداندن عناصر غذایی، افزایش راندمان مصرف آب و کنترل مناسب میزان مواد مغذی و pH اشاره کرد. از تکنیک هواکشت برای تولید بسیاری از گونه‌های مختلف باغبانی با موفقیت استفاده شده است (Molitor and Fischer, 1997; Biddinger et al., 1998). تکنیک‌هایی مانند سیستم هواکشت طبق گزارش سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA^۲) می‌تواند میزان مصرف آب، مواد مغذی و سموم دفع آفات را به ترتیب ۹۸، ۶۰ و ۱۰۰ درصد کاهش و عملکرد گیاه را ۴۵ تا ۷۵ درصد افزایش دهد (NASA, 2006).

جنس نعناع (*Mentha*) یکی از مهم‌ترین جنس‌ها در خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. این جنس شامل حدود ۱۹ گونه طبیعی و ۱۳ هیبرید طبیعی است که به‌طور گسترده در اروپا، آفریقا، آسیا، استرالیا و آمریکای شمالی توزیع شده‌اند (Kumar, 2011). وجود خواص دارویی متعدد در گونه‌های مختلف این جنس، سبب شده تا امروزه بیش از ۸۰ درصد مردم جهان از این گیاهان بهره ببرند. اندام هوایی گیاهان جنس نعناع دارای خواص دارویی متعددی مانند ضداسپاسم، ضدنفخ، درمان بیماری‌های معده و ضدعفونی‌کننده است (Nezami, 2016). گونه‌های مختلف این جنس به‌دلیل داشتن مواد فعال و معطر از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار هستند و به‌عنوان ماده اولیه در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی، آشامیدنی و دارویی کاربرد دارند. از نعناع به‌عنوان یک داروی ضدعفونی‌کننده، کاهش

دهنده‌ی اختلالات گوارشی و کاهنده‌ی سردرد، خوشبوکننده‌ی خمیردندان، عطر، لوازم آرایشی، شیرینی و آروماتراپی استفاده می‌شود (Anon, 2009). نعناع در ابتدا به‌عنوان گیاه دارویی برای معده‌درد و دردهای قفسه سینه استفاده می‌شد و معمولاً به‌عنوان دمنوش برای کمک به تسکین درد معده استفاده می‌شود. در قرون وسطی از برگ نعناع پودر شده برای سفیدکردن دندان استفاده می‌شد. چای نعناع ادرارآور قوی است. نعناع همچنین به هضم غذا کمک می‌کند، به شکلی که باعث تجزیه چربی‌ها می‌شود (Quattrocchi, 1974). تعداد برگ و سطح برگ مهم‌ترین فاکتورها برای ارزیابی عملکرد و پتانسیل اقتصادی گونه‌های نعناع به‌شمار می‌رود (Zargari, 2014). خواص درمانی گونه‌های نعناع به‌دلیل داشتن مقادیر بالای ترکیبات فنلی، اسانس‌ها، تربنویدها، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها است. با این وجود ترکیب شیمیایی اسانس گونه‌های مختلف جنس نعناع تفاوت‌های قابل توجهی دارد (Kasrati et al., 2014).

نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)، نعناع سبز (*Mentha spicata*) و نعناع سیب (*Mentha suaveolens*) از رایج‌ترین و محبوب‌ترین گونه‌ها برای کشت هستند (Ortiz, 1992). نعناع آبی (*Mentha aquatica*) نیز گیاهی چند ساله و علفی است که ارتفاع آن به ۹۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه‌ها به صورت سبز یا بنفش و متغیر کرک‌دار تا تقریباً بدون کرک هستند. برگ‌ها بیضی شکل، سبز (گاهی بنفش)، متقابل، دندانه‌دار و از کرک‌دار تا تقریباً بدون کرک متفاوت است (Tiwari, 2008). نعناع سبز گیاهی است علفی با ریشه سطحی و ساقه‌های مستقیم و چهارگوش و ساقه زیرزمینی و برگ‌های خوش‌بوی آن خوراکی و دارویی است. برگ‌های آن متقابل، نیزه‌ای یا دوکی و دارای کرک‌های کمی است، حاشیه آن دارای بریدگی‌های عمیقی است و بریدگی‌های کناره آن نوک تیز است (Yang et al., 2019). نعناع فلفلی در حال حاضر یکی از مهم‌ترین گیاهان معطر دارویی از نظر اقتصادی است که در اکثر نقاط دنیا کشت می‌شود. نعناع فلفلی یک هیبرید بین گونه‌ای و عقیم است که از تلاقی نعناع آبی و نعناع سبز حاصل می‌شود. ساقه‌ها معمولاً بنفش مایل به قرمز و مربعی هستند. برگ‌ها در قسمت زیرین معطر، دندانه‌دار و کرک‌دار است. نعناع پونه (*Mentha pulegium*) به‌دلیل خاصیت تحریکی و ضداسپاسم به‌طور سنتی در درمان سوزش معده و قولنج روده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Newall et al., 1996).

در کشاورزی مدرن فناوری کشت گیاهان در سیستم‌های هواکشت و آبکشت و در محیط‌های کنترل‌شده به‌سرعت در حال پیشرفت است. استفاده از سیستم‌های نوین در مقایسه با روش‌های قدیمی زراعت و باغبانی، باعث بهبود خصوصیات رشد گیاهان در بسیاری از جنبه‌ها می‌شود (Lakhari et al., 2018). بهبود رشد، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی تحت سیستم‌های هیدروپونیک و هواکشت در مطالعات متعددی گزارش شده است (Lakhari et al., 2018).

1- Aeroponic

2- National Aeronautics and Space Administration

دارد. علاوه بر این هیچ گونه مقایسه جامعی بین گونه‌های مهم جنس نعناع در گلخانه صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی قابلیت کشت و مقایسه رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه نعناع در سیستم کشت هواکشت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی قابلیت کشت و مقایسه رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه مختلف نعناع (شامل: نعناع آبی *Mentha aquatica*، نعناع پونه *Mentha pulegium*، نعناع سبز *Mentha spicata*، نعناع سیب *Mentha suaveolens* و نعناع فلفلی *Mentha piperita*) در سیستم کشت هواکشت، آزمایشی گلخانه‌ای طراحی و اجرا شد. این مطالعه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در هر یک از بلوک‌های آزمایشی یک ردیف (با تعداد ده بوته) از پنج گونه مختلف کشت گردید.

در این مطالعه برای هر بلوک آزمایشی یک میز مستطیلی به ابعاد ۱/۵ در ۲ ساخته شد روی هر میز تعداد ۵ عدد لوله پی‌وی‌سی به قطر ۱۱۰ میلی‌متر و طول ۲ متر (با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم) قرار گرفت. در هر لوله ۱۰ سوراخ به قطر ۵ سانتی‌متر برای قراردادن گلدان شیاردار هواکشت ۵ سانتی‌متری با ارتفاع ۷ سانتی‌متری ایجاد گردید و از یک تکه استیروفوم برای نگهداری طوقه‌ی نشاها در دهانه‌ی گلدان استفاده شد. از نازل فیتکو با فشار کم درون لوله‌های پلی‌اتیلن با مشخصات فوق استفاده شد. نازل‌ها درون محفظه بسته قرار گرفتند و با استفاده از فشار پمپ آب یک اینچی با روشن شدن تایمر دیجیتال در هر ۲۰ دقیقه ۲۰ ثانیه پاشش صورت گرفت. محلول غذایی از مخازن استوک (تانک‌های A و B) به درون مخزن مصرف ریخته می‌شد و از آنجا به درون سیستم پمپ گردید و مازاد مه درون مخزن دیگری جمع‌آوری می‌شد. بعد از تنظیم pH و EC به مخزن ذخیره هدایت و مجدد مورد استفاده قرار می‌گرفت. از لامپ یووی ۱۶ وات نیز برای ضدعفونی محلول غذایی هواکشت استفاده گردید.

نشا‌های پنج گونه نعناع مورد مطالعه از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه شد. نشاها به بسترهای کشت انتقال داده شدند. در مراحل اولیه‌ی رشد تغذیه گیاهان با محلول غذایی نیم هوگلند و پس از آن با محلول هوگلند کامل انجام شد (Hothem et al., 2003) (جدول ۱).

2020; Kawasaki et al., 2014; Lynch et al., 2012). هایدن (Hyden, 2006) عنوان کرد که سیستم هواکشت گزینه مناسبی برای تولید گیاهان دارویی ریزومدار و ریشه‌ای است. کشت گیاهان دارویی و سبزی‌ها در شرایط کنترل شده‌ی سیستم‌های هواکشت و هیدروپونیک پاسخ بهتری از نظر بهبود کیفیت، فعالیت‌زیستی و تولید زیست‌توده در مقیاس تجاری فراهم می‌کند (Böhme and Pinker, 2013; Chandra et al., 2014). چندین مطالعه از سیستم‌های هواکشت و هیدروپونیک به عنوان یک فناوری مدرن و ابتکاری برای کشت گیاهان تحت سیستم بدون خاک گزارش شده است. با استفاده از این فناوری‌ها می‌توان بحران‌های رو به رشد در تولید محصولات کشاورزی از جمله بحران کمبود آب و کیفیت پایین آب را تا حدودی جبران نمود (Ritter, 2001). موحدی و رستمی (Movahedi and Rostami, 2020) گزارش کردند که گیاهان دارویی سرخارگل، پنیرباد و کاسنی دارای ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد بالایی در سیستم هواکشت بودند. بنابراین کشت این گیاهان دارویی را در سیستم هواکشت جهت حصول کمیت و کیفیت بالاتر توصیه کردند. نتایج مطالعه بوهیم و پینکر (Böhme and Pinker, 2013) نیز نشان داد که گیاهان دارویی ریحان^۱، ریحان مقدس^۲، پریلا^۳ و بالم ویتامی^۴ تولید زی‌توده گیاهی، سطح برگ و تعداد ساقه بالایی در سه چین برداشت در سیستم هواکشت داشتند. علاوه بر این میزان ویتامین ث، کاروتنوئید و اسانس گیاهان نیز نسبت به مقادیر ذکر شده در منابع قابل توجه بود.

استفاده از تکنیک‌های مدرن کشاورزی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای مقابله با تهدیدات ناشی از عدم امنیت غذایی باشد. در حال حاضر، به دلیل عدم تحقیقات و اطلاعات فنی کافی، استفاده از سیستم هواکشت در میان کشاورزان و گلخانه‌داران رایج نیست. علاوه بر این هنوز نکات زیادی در مورد کشت گونه‌های گیاهی مختلف در این سیستم از نظر علمی مشخص نیست و جنبه‌های مختلف سیستم برای دستیابی به میزان تولید بالاتر مورد بررسی قرار نگرفته است (Calori, 2017). گونه‌های مختلف جنس نعناع از مهم‌ترین گیاهان باغبانی به شمار می‌روند که کاربرد زیادی به عنوان سبزی تازه‌خوری و گیاه دارویی (در صنایع غذایی، آرایشی-بهداشتی و داروسازی) دارند. علاوه بر این سیستم هواکشت یکی از جدیدترین و بهترین روش‌های کشت گلخانه‌ای به حساب می‌آید. با این وجود، پژوهش‌های بسیار محدودی در ارتباط با کشت گونه‌های نعناع در سیستم هواکشت وجود

- 1- *Ocimum basilicum*
- 2- *Ocimum sanctum*
- 3- *Perilla frutescens*
- 4- *Elsholtzia ciliata*

جدول ۱- اجزای محلول غذایی هوگلند

Table 1- The components of Hoagland's nutrient solution

Composition ترکیب	Stock solution غلظت محلول پایه	Concentration غلظت
MgSO ₄ .7H ₂ O سولفات منیزیم ۷آبه	24.6 g.100 mL ⁻¹	2 mL.L ⁻¹
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O کلسیم نیترات ۴ آبه	23.6 g.100 mL ⁻¹	5 mL.L ⁻¹
KH ₂ PO ₄ مونوفتاسیم فسفات	13.6 g.100 mL ⁻¹	1 mL.L ⁻¹
KNO ₃ پتاسیم نیترات	10.1 g.100 mL ⁻¹	5 mL.L ⁻¹
H ₃ BO ₃ بوریک اسید	2.86 g.L ⁻¹	1 mL.L ⁻¹
MnCl ₂ .4H ₂ O منگنز کلرید ۴ آبه	1.82 g.L ⁻¹	1 mL.L ⁻¹
ZnSO ₄ .7H ₂ O سولفات روی ۷ آبه	0.22 g.L ⁻¹	1 mL.L ⁻¹
CuSO ₄ .5H ₂ O سولفات مس	0.09 g.L ⁻¹	1 mL.L ⁻¹
NaMoO ₃ مولیبدات سدیم	0.01 g.L ⁻¹	1 mL.L ⁻¹
Fe-DTPA کلات آهن		50.0 mL.L ⁻¹

رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه گردید. استون به عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری دستگاه استفاده گردید.

رابطه (۱)

$$\text{Chlorophyll a (FW)} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W$$

رابطه (۲)

$$\text{Chlorophyll b (FW)} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V/100W$$

رابطه (۳)

$$\text{Chl T (FW)} = \text{Chl.a} + \text{Chl.b}$$

رابطه (۴)

$$\text{Carotenoids (FW)} = (100 \times A_{470} - 3.27 \times \text{Chl. A}) - 104 (\text{Chl. B})/227$$

محتوای نسبی آب برگ طبق روش ریچی و همکاران (Ritchie and Nguyen, 1990) اندازه‌گیری شد. برای این منظور برگ‌های جوان توسعه یافته در اوایل صبح نمونه‌برداری و وزن تر (FW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفته و پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها (SW) اندازه‌گیری گردید. در ادامه برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک (DW) آن‌ها محاسبه گردید. با قرار دادن اعداد حاصل از توز دذلزین با ترازوی دیجیتالی در رابطه شماره ۵ میزان محتوای نسبی آب برگ به دست آمد.

$$\text{RWC \%} = [(FW-DW) / (SW-DW)] \times 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$

شاخص کلروفیل (اسپد) با دستگاه مدل (CI-01) قرائت گردید. در ادامه فاکتورهای مرتبط با تبادلات گازی شامل VPD، تعرق،

در طول آزمایش میانگین دمای روزانه گلخانه ۲۵-۲۲ و میانگین دمای شبانه ۱۸-۱۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود. در زمان شروع گلدهی اندازه‌گیری صفات مختلف به منظور ارزیابی رشد و عملکرد گونه‌های نعنای مورد مطالعه انجام شد. ویژگی‌های مورد بررسی شامل نسبت برگ به ساقه، تعداد برگ، ارتفاع بوته، طول میانگره چهارم، قطر ساقه، تعداد ساقه اصلی و فرعی، تعداد گره و تعداد استولون اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ میانگین یک برگ از گره سوم هر گیاه جدا شد (ده برگ از هر تیمار) و توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (دلتا تی اسکن) اندازه‌گیری شد. وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک استولون، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک کل بوته نیز اندازه‌گیری شدند. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید، ۰/۱ گرم از بافت تر برگ گیاه در داخل هاون چینی با ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد و پس از سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در ۱۵ دقیقه) محلول رویی با کاغذ صافی صاف شد، سپس بر اساس روش لیچنتال (Lightenthaler, 1987) میزان کلروفیل و کارتنوئید اندازه‌گیری شد. طبق این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Mapada UV-1800, Shanghai, P.R. China) مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b و کارتنوئید بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بر اساس

فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن زیر روزه‌ای در برگ‌های بالغ بالایی توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی پروتابل ساخت کشور آمریکا (CI-340, Handheld Photosynthesis system) اندازه‌گیری شد. اساس کار این دستگاه بر اساس میزان دی‌اکسیدکربن مصرفی می‌باشد. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب^۱ و توسط دستگاه کلونجر صورت گرفت. به‌منظور استخراج اسانس، ۱۵ گرم از برگ‌های خشک شده به‌خوبی خرد و در بالن کلونجر به‌مدت ۳ ساعت حرارت داده شدند. اسانس به‌دست آمده توسط سولفات سدیم خشک، آب‌گیری شد و به‌دقت توزین گردید. درصد اسانس نمونه‌ها براساس وزن اسانس به‌دست آمده از ۱۰۰ گرم نمونه گیاهی (وزنی/وزنی) محاسبه گردید (Mumivand et al., 2021). پس از برداشت چین اول گیاهان و به‌منظور ارزیابی بهتر این گونه‌ها در سیستم کشت هواکشت، تمام صفات مورد مطالعه حدود دو ماه بعد از برداشت اول اندازه‌گیری شدند. بنابراین مطالعه حاضر با ارزیابی صفات مختلف در دو چین صورت گرفت.

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده در زمان (نوع گونه به عنوان فاکتور اصلی و چین یا برداشت به عنوان فاکتور فرعی) با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. پنج گونه‌ی نعناع به‌عنوان عامل اصلی و برداشت (چین اول و دوم) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژی و زی‌توده گیاهی

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زی‌توده گیاهی در دو زمان برداشت گونه‌های نعناع **جدول ۲** نشان داد، اثر گونه بر صفات نسبت برگ به ساقه، تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک استولون، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک کل بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. صفات سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک کل بوته نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر چین قرار گرفتند. اثر متقابل گونه و برداشت نیز بر صفات تعداد برگ، حجم ریشه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (**جدول ۲**).

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر ساده گونه، بیش‌ترین سطح برگ (۳۲/۹۹ سانتی‌متر مربع)، وزن تر برگ (۱۵۱/۱۱ گرم در بوته)،

وزن خشک برگ (۲۴/۱۳ گرم در بوته)، وزن تر ساقه (۱۶۶/۲۵ گرم در بوته)، وزن خشک ساقه (۲۲/۶۹ گرم در بوته)، وزن تر اندام هوایی (۳۵۸/۴۹ گرم در بوته)، وزن خشک اندام هوایی (۵۲/۰۲ گرم در بوته)، وزن خشک کل بوته (۵۹/۲۶ گرم در بوته) مربوط به نعناع آبی بود. بیش‌ترین وزن تر استولون در دو گونه نعناع آبی و نعناع فلفلی (به ترتیب با ۴۱/۱۲ و ۳۴/۲۳ گرم در بوته) و بیش‌ترین وزن خشک استولون نیز در نعناع آبی و نعناع فلفلی (به ترتیب با ۵/۸۷ و ۳/۹۶ گرم در بوته) دیده شد. نعناع فلفلی بیش‌ترین وزن تر ریشه (۱۶۹/۴ گرم در بوته) و نعناع سیب و نعناع سبز (به ترتیب با ۱/۳۶۸ و ۱/۳۶۴) بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه را دارا بودند. کم‌ترین نسبت برگ به ساقه (۰/۵۶۳) مربوط به نعناع پونه بود. کم‌ترین وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک کل بوته به نعناع سبز و نعناع سیب تعلق داشت. علاوه بر این کم‌ترین وزن تر ریشه (۲۸/۰۶ گرم در بوته) و وزن تر اندام هوایی (۸۶/۶۲ گرم در بوته) نیز در نعناع سیب به دست آمد (**جدول ۳**).

نتایج مقایسه میانگین اثر برداشت نشان‌دهنده برتری چین دوم نسبت به چین اول در مورد برخی صفات مورد مطالعه بود. به نحوی که بالاترین وزن تر برگ (۸۶/۵۲ گرم در بوته)، وزن خشک برگ (۱۳/۹۴ گرم در بوته)، وزن تر ریشه (۱۰۲/۹۷ گرم در بوته)، وزن تر اندام هوایی (۱۹۸/۲۹ گرم در بوته)، وزن خشک کل بوته (۳۶/۳۷ گرم در بوته) و سطح برگ (۲۲/۳۷ سانتی‌متر مربع) در چین دوم مشاهده شد (**جدول ۴**).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و برداشت نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ در بوته (۱۲۲۰) نیز در چین دوم نعناع آبی مشاهده گردید. با این وجود در چین اول بین گونه‌های مختلف نعناع از نظر تعداد برگ اختلافی مشاهده نشد. بیش‌ترین حجم ریشه (۲۹۸/۳۳ میلی‌لیتر) و وزن خشک ریشه (۱۱/۸۵ گرم در بوته) مربوط به چین دوم نعناع فلفلی بود که با سایر گونه‌های نعناع در هر دو چین اختلاف معنی‌داری داشت (**جدول ۵**).

در حال حاضر سیستم‌های تولید بدون خاک به‌دلیل تولید محصولات بیشتر و کارایی بالای آب و مواد مغذی در سطح جهانی شناخته شده‌اند. کرناهان (Kernahan, 2016) گزارش کرد که سیستم هواکشت کنترل بهتری روی رشد گیاه و در دسترس بودن مواد مغذی فراهم می‌کند و از بیماری‌های مختلف و پوسیدگی ریشه گیاه جلوگیری می‌کند. سیستم هواکشت هوادهی ریشه را بهینه می‌کند، که یک عامل اصلی منجر به افزایش عملکرد در مقایسه با سیستم‌های تولید کلاسیک است (Asao, 2012). اثرات مثبت کشت هواکشت در بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند گیاهان دارویی گزارش شده است (Hayden, 2006).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زی توده گیاهی گونه های نعنای در دو زمان برداشت

Table 2- ANOVA for the morphological traits and plant biomass of mint species in two harvest time

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	ارتفاع گیاه Plant height	طول میانگره Internode length	تعداد گره No. of node	تعداد شاخه اصلی و فرعی No. of main and secondary branch	قطر ساقه Stem diameter	تعداد استولون Stolon number	تعداد برگ Leaf No.	برگ / ساقه Leaf / stem	سطح برگ Leaf area	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight
بلوک Rep	2	169.23 ^{ns}	1.68 ^{ns}	0.008 ^{ns}	12.4 ^{ns}	2.01 ^{ns}	31.52 ^{ns}	14654.5 ^{ns}	0.024 ^{ns}	2.53 ^{ns}	233.47 ^{ns}	0.595 ^{ns}
گونه Species	4	208.52 ^{ns}	2.48 ^{ns}	3.40 ^{ns}	98.38 ^{ns}	4.61 ^{ns}	158.02 ^{ns}	89346.85*	0.662**	312.93**	10876.44**	245.07**
بلوک × گونه Rep × Species	8	62.29	0.8	3.03	32.33	1.26	49.75	20313.77	0.043	1.43	107.95	1.54
زمان برداشت Harvest time	1	29 ^{ns}	0.007 ^{ns}	1.63 ^{ns}	10.2 ^{ns}	0.066 ^{ns}	10.2 ^{ns}	23885.4 ^{ns}	0.019 ^{ns}	7.79**	246.61**	3.92*
زمان برداشت × گونه Harvest time × Species	4	56.48 ^{ns}	1.08 ^{ns}	2.75 ^{ns}	54.35 ^{ns}	1.82 ^{ns}	37.77 ^{ns}	42665.05*	0.003 ^{ns}	0.482 ^{ns}	18.91 ^{ns}	0.370 ^{ns}
خطا Error	8	80.11	0.922	3.76	38.40	1.02	21.44	8012.07	0.005	0.574	18.41	0.49
ضریب تغییرات C.V (%)	-	15.4	20.41	14.8	21.7	22.75	81.96	10.44	6.85	3.38	4.96	5.04

، * و ^{ns}: به ترتیب نشان دهنده ی معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی دار هستند.، * and ^{ns}: significant at the 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

دامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زی توده گیاهی گونه های نعنای در دو زمان برداشت

Continued Table 2- ANOVA for the morphological traits and plant biomass of mint species in two harvest time

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن تر استولون Stolon fresh weight	وزن خشک استولون Stolon dry weight	حجم ریشه Root volume	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر اندام هوایی گیاه Fresh weight of aerial parts	وزن خشک اندام هوایی گیاه Dry weight of aerial parts	وزن خشک کل بوته Dry weight of plant
بلوک Rep	2	09 ^{ns} .2746	18.97 ^{ns}	502.45 ^{ns}	7.56 ^{ns}	139.6 ^{ns}	41.72 ^{ns}	0.217 ^{ns}	6913.87 ^{ns}	48.35 ^{ns}	53.88 ^{ns}
گونه Species	4	19**16480	353.33**	2484.54*	36.70*	33908.21**	18046.63**	66.46**	70507.06**	1378.79**	1768.29**
بلوک × گونه Rep × Species	8	788.88	10.48	577.72	6.67	125.14	47.65	0.26	2452.21	32.23	35.36
زمان برداشت Harvest time	1	140.07 ^{ns}	0.88 ^{ns}	9.13 ^{ns}	0.007 ^{ns}	6720.03**	2992**	14.11**	933.98*	8.02 ^{ns}	43.44**
زمان برداشت × گونه Harvest time × Species	4	89.22 ^{ns}	0.544 ^{ns}	10.08 ^{ns}	0.098 ^{ns}	324.11**	68.34 ^{ns}	0.381*	258.41 ^{ns}	1.61 ^{ns}	3.15 ^{ns}
خطا Error	8	115.61	1.68	70.82	1.28	35.44	20.28	0.094	124.57	2.11	1.95
ضریب تغییرات C.V (%)	-	11.17	9.17	54.11	59.22	3.26	4.37	4.81	5.62	4.84	3.84

، * و ^{ns}: به ترتیب نشان دهنده ی معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی دار هستند.، * and ^{ns}: significant at the 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- صفات مورفولوژی و زی توده گیاهی در گونه های نعنای
Table 3- The morphological traits and plant biomass in mint species

گونه Species	برگ / ساقه /Leaf stem	سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن تر استولون Stolon fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک استولون Stolon dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن تر ساقه Root fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن تر اندام هوایی گیاه Fresh weight of aerial parts (g.plant ⁻¹)	وزن خشک اندام هوایی گیاه Dry weight of aerial parts (g.plant ⁻¹)	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g.plant ⁻¹)
<i>M. aquatica</i> نعناع آبی	1.067 ^b	32.99 ^a	151.11 ^a	24.13 ^a	166.25 ^a	22.69 ^a	41.12 ^a	5.87 ^a	118.63 ^c	358.49 ^a	52.02 ^a	59.26 ^a
<i>M. pulegium</i> نعناع پونه	0.563 ^c	18.19 ^c	60.12 ^c	11.72 ^c	121.49 ^b	21.14 ^a	1.63 ^b	0.248 ^b	69.91 ^d	183.24 ^{bc}	33.11 ^b	38.72 ^b
<i>M. picata</i> نعناع سبز	1.364 ^a	16.58 ^c	59.26 ^c	9.49 ^d	58.63 ^c	7.13 ^c	0.10 ^b	0.001 ^b	128.85 ^b	117.99 ^{cd}	16.5 ^c	22.23 ^c
<i>M. suaveolens</i> نعناع سیب	1.368 ^a	17.32 ^c	52.95 ^c	8.41 ^d	32.97 ^c	6.25 ^c	0.68 ^b	0.152 ^b	28.06 ^e	86.62 ^d	14.81 ^c	16.89 ^c
<i>M. piperita</i> نعناع فلفلی	1.121 ^{ab}	26.76 ^b	109.15 ^b	15.95 ^b	101.77 ^b	13.53 ^b	34.23 ^a	3.96 ^a	169.4 ^a	245.16 ^b	33.45 ^b	44.74 ^b

میانگین های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

جدول ۴- اثر زمان برداشت (اول و دوم) بر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژی نعنای
Table 4- The effect of harvest time (first and second) on growth, yield and morphological traits of mint

زمان برداشت Harvest time	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن تر اندام هوایی گیاه Fresh weight of aerial parts (g.plant ⁻¹)	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g.plant ⁻¹)	سطح برگ Leaf area (cm ²)
برداشت اول First harvest	83.65 ^b	13.58 ^b	92.98 ^b	192.71 ^b	35.17 ^b	21.86 ^b
برداشت دوم Second harvest	89.39 ^a	14.3 ^a	112.96 ^a	203.87 ^a	37.57 ^a	22.88 ^a

میانگین های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

هواکشت انجام گرفت مشخص گردید که رشد و عملکرد گیاه از نظر ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، حجم ریشه و وزن خشک شاخه و ریشه قابل توجه بود (Rostami and Movahedi, 2016). نتایج مطالعه مشابه دیگری نشان داد که سیستم هواکشت منجر به افزایش طول ساقه، طول ریشه، قطر ساقه، عملکرد و کیفیت ریز غده های سیب زمینی شد (Movahedi et al., 2012). گیاهان دارویی سرخارگل، پنیرباد و کاسنی نیز ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و عملکرد بالایی سیستم هواکشت تولید کردند (Movahedi and Rostami, 2020). بوهیم و پینکر (Böhme and Pinker, 2013) نیز کشت گیاهان دارویی ریحان، ریحان مقدس، پریلا و بالم ویتنامی را به دلیل تولید زیادهای گیاهی، سطح برگ و تعداد ساقه زیاد در سیستم هواکشت

چپانتهنگاه و همکاران (Chiipanthenga et al., 2012) نشان دادند که رشد، متابولیسم و عملکرد غده در سیب زمینی در سیستم هواکشت ۱۰ برابر بیشتر از کشت خاکی بود. هایکوسا و همکاران (Hikosaka et al., 2015) بهبود قابل توجه خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه مانند افزایش سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه را در کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت سیستم هواکشت مشاهده کردند. پاگیارولو و همکاران (Pagliarulo et al., 2004) افزایش عملکرد اندام هوایی و ریشه گیاه گزنه (*Urtica dioica*) تولید شده در شرایط هواکشت را نشان دادند. هایدن (Hayden, 2006) گزارش کرد که سیستم هواکشت گزینه مفیدی برای کشت گیاهان دارویی، ریزومها و محصولات ریشه ای است. در مطالعه ای که به منظور بررسی امکان تولید سنبل الطیب (*Valeriana officinalis* L.) در سیستم

توصیه کردند.

جدول ۵- اثر متقابل گونه × زمان برداشت بر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژی نعنای

Table 5- The interaction effect of species × harvest time on growth, yield and morphological traits of mint

زمان برداشت Harvest time	گونه Species	تعداد برگ Leaf No.	حجم ریشه Root volume (ml)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.plant ⁻¹)
برداشت اول First harvest	نعناع آبی <i>M. aquatica</i>	910.5 ^b	210.33 ^c	6.23 ^d
	نعناع پونه <i>M. pulegium</i>	916.66 ^b	168.33 ^e	4.84 ^e
	نعناع سبز <i>M. spicata</i>	729.66 ^b	149.33 ^f	4.98 ^e
	نعناع سیب <i>M. suaveolens</i>	839.16 ^b	62 ^h	1.74 ^f
	نعناع فلفلی <i>M. piperita</i>	745.83 ^b	245.66 ^b	10.71 ^b
	نعناع آبی <i>M. aquatica</i>	1220 ^a	246 ^b	8.25 ^c
برداشت دوم Second harvest	نعناع پونه <i>M. pulegium</i>	760 ^b	191.33 ^d	6.39 ^d
	نعناع سبز <i>M. spicata</i>	777.33 ^b	164.33 ^{ef}	6.47 ^d
	نعناع سیب <i>M. suaveolens</i>	836.66 ^b	85.33 ^g	2.41 ^f
	نعناع فلفلی <i>M. piperita</i>	830 ^b	298.33 ^a	11.85 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

کاهو و برخی از سبزیجات برگی به صورت تجاری در سیستم هوزاری کشت می‌شوند (Gopinath et al., 2017). لو و همکاران (Luo et al., 2009) بیان کردند که هواکشت روشی بسیار موفق در تولید کاهو در مناطق استوایی می‌باشد. ساها و همکاران (Saha et al., 2016) با مقایسه چند رقم ریحان در سیستم کشت آکواپونیک عنوان کردند که گیاهان کشت شده در سیستم آکواپونیک رشد و عملکرد بالایی داشتند. این محققان رشد و عملکرد متفاوت ارقام مورد مطالعه را در شرایط آکواپونیک گزارش کردند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود تفاوت بین ارقام ریحان از لحاظ وزن تر، وزن خشک، تعداد گره، ارتفاع بوته، طول میانگره و تعداد شاخه بود که علت آن را وجود تفاوت ژنتیکی بین رقم‌ها بیان کردند. مقایسه عملکرد محصول در سبزیجاتی مانند ریحان (*Ocimum basilicum*)، چغندر برگی (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*)، جعفری (*Petroselinum crispum*) و کلم پیچ (*Brassica oleracea* var. *capitata*) و محصولات میوه‌ای مانند فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*)، گوجه گیلادی (*Cucumis*)، خیار (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که قابلیت کشت گونه‌های مختلف نعنای در سیستم هواکشت وجود دارد و از نظر رشد و عملکرد زی‌توده نتایج خوبی در همه گونه‌ها به‌دست آمد. با این وجود نعنای آبی از لحاظ اغلب صفات مهم مورفولوژی و زی‌توده گیاهی (تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک کل بوته) بهتر از دیگر گونه‌ها نشان داد. رشد ریشه‌های نعنای فلفلی (وزن تر و حجم ریشه) در سیستم هواکشت بیشتر از سایر گونه‌ها بود. نعنای فلفلی از لحاظ وزن تر و خشک برگ و استولون نیز بعد از نعنای آبی در بین سایر گونه‌ها رشد بهتری داشت. برخلاف این، نعنای سیب و نعنای سبز کم‌ترین میزان رشد و عملکرد را دارا بودند. با این وجود دو گونه نعنای سیب و نعنای سبز از نسبت برگ به ساقه بالاتری برخوردار بودند. اما پونه بالاترین وزن ساقه را در بین سایر گونه‌ها داشت که نشان از رشد چوبی و خشبی این گونه دارد. یافته‌های ما در این مطالعه قابلیت کشت مؤثر گونه‌های دارویی و سبزی نعنای را در سیستم هواکشت نشان داد. امروزه بسیاری از محصولات گیاهی مانند سیب زمینی، گوجه فرنگی،

برداشت دوم دو برابر بیشتر از برداشت اول بود. در مطالعه نوشکام و همکاران (Nooshkam et al., 2017) نیز رشد و عملکرد دو گونه مرزه خوزستانی و رشینگری در چین دوم بالاتر از چین اول بود. بوهم و پینکر (Böhme and Pinker, 2013) نشان دادند که ریحان (*Ocimum basilicum*) و نعناع بنفش یا ریحان چینی (*Perilla frutescens*) در سیستم هواکشت بیشترین طول ساقه، سطح برگ و عملکرد زی‌توده را در تراکم‌های بالا نشان دادند.

صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی (جدول ۶) نشان داد، اثر گونه بر صفات کلروفیل a، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، کارتنوئید، شاخص کلروفیل، فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، درصد اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار گردید. صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، کارتنوئید، شاخص کلروفیل، فتوسنتز، درصد اسانس و عملکرد اسانس نیز به صورت معنی‌داری تحت تأثیر برداشت قرار گرفتند. اثر متقابل گونه و برداشت در مورد صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، شاخص کلروفیل، دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، درصد اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار شد (جدول ۶).

(*sativus*) و کدو سبز (*Cucurbita pepo*) در سیستم هواکشت انجام شد. در این مطالعه همه گیاهان کشت شده در سیستم هواکشت رشد و عملکرد بالایی داشتند. میانگین افزایش عملکرد برای ریحان، برگ چغندر، کلم پیچ، جعفری، فلفل دلمه‌ای، گوجه گیلاسی، خیار و کدو به ترتیب حدود ۱۹٪، ۸٪، ۶۵٪، ۲۱٪، ۵۳٪، ۳۵٪، ۷٪ و ۵۰٪ ثبت شد (Chandra et al., 2014). مرکز بین‌المللی سیب‌زمینی (CIP) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی رشد گیاه و تولید مینی‌غده سه رقم سیب زمینی در سیستم هواکشت تحت شرایط گلخانه انجام داد. نتایج نشان داد که سیستم هواکشت یک گزینه مناسب فناوری برای تولید غده سیب‌زمینی است. تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف از نظر تعداد روز تا غده‌سازی، ارتفاع بوته و عملکرد غده مشاهده شد. بیش‌ترین تعداد غده در هر گیاه در رقم Chucmarina ثبت شد. بالاترین عملکرد غده در هر گیاه نیز در رقم Chucmarina مشاهده شد (Mateus-Rodríguez et al., 2011).

در مطالعه حاضر در مقایسه بین دو مرحله برداشت نیز مشخص گردید که چین دوم در مورد بسیاری از صفات نسبت به چین اول برتری داشت. برای مثال وزن تر و خشک برگ، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، سطح برگ، محتوای نسبی آب و فتوسنتز در چین دوم بالاتر بود نتایج ما در این بخش با نتایج راکوسی (Rakocy et al., 2004) در کشت آکواپونیک ریحان مطابقت داشت. این محقق گزارش کرد که عملکرد ریحان در

جدول ۶- تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی نعناع در دو زمان برداشت
Table 6- ANOVA for some physiological and biochemical traits of mint in two harvest time

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	کلروفیل a Chlorophyll l a	کلروفیل b Chlorophyll b l	کلروفیل کل Total Chlorophyll l	محتوای نسبی آب Relative water content	کارتنوئید Caroten oid	شاخص اسپد Spad	اختلاف فشار بخار هوا VPD	تعرق Evapora tion	فتوسنتز Photosynthesi s	دی- اکسیدکربن زیر روزنه Carbon dioxide	بازده اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Rep	2	0.009 ^{ns}	9.66 ^{ns}	8.15 ^{ns}	1.62 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.562 ^{ns}	0.147 ^{ns}	8.716*	84.78 ^{ns}	653.15 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.141 ^{ns}
گونه Species	4	221.46**	25.39 ^{ns}	349.52**	210.72**	6.74**	47.86**	0.342 ^{ns}	4.38 ^{ns}	152.62*	8091.22**	0.1334**	2.596**
بلوک × گونه Rep × Species	8	0.427	15.72	16.44	6.66	0.571	1.54	0.304	1.23	24.83	651.64	0.0009	0.033
برداشت Harvest	1	342.32**	61.94**	705.19**	68.43*	0.472 ^{ns}	4.6**	0.025 ^{ns}	0.108 ^{ns}	12.22**	1241.63 ^{ns}	0.0075**	0.162**
برداشت × گونه Harvest × Species	4	2.56*	53.49**	61.55**	5.05 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.842*	0.12 ^{ns}	0.057 ^{ns}	1.91 ^{ns}	15289.89**	0.0012**	0.032*
خطا Error	8	0.645	4.58	6.48	8.43	0.308	0.173	0.122	0.16	0.882	2053.04	0.0001	0.0051
ضریب تغییرات C.V (%)	-	3.83	20.5	8.11	3.33	13.44	4	26.79	7.64	3.96	9.67	5.91	4.84

ns و *، ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند.

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

آب مربوط به نعناع آبی و نعناع سبز (به ترتیب با ۹۲/۴۹ و ۹۲/۰۲

نتایج مقایسه میانگین اثر گونه نشان داد بیش‌ترین محتوای نسبی

درصد) و کمترین آن مربوط به گونه نعناع پونه (۷۷/۸۸ درصد) بود. بیشترین میزان کارتنوئید (۵/۶۹ میلی گرم در گرم وزن تر) در نعناع فلفلی و بیشترین میزان فتوسنتز در نعناع پونه (۳۲/۳۹ میکرومول دی اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین اثر برداشت نشان داد میزان محتوای نسبی آب و فتوسنتز (به ترتیب با ۸۷/۱۱ درصد و ۲۳/۷ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) در چین دوم بالاتر از چین اول بود (شکل ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و زمان برداشت نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به چین دوم و گونه‌های نعناع آبی و نعناع فلفلی (به ترتیب با ۳۰/۸۸ و ۲۹/۸۵ میلی گرم بر گرم وزن تر بوته) بود که اختلاف معنی داری با بقیه گونه‌ها و در هر دو چین داشت. با این وجود بیشترین میزان کلروفیل b (۱۷/۸۴ میلی گرم بر گرم وزن تر بوته) مربوط به چین دوم نعناع سبز بود.

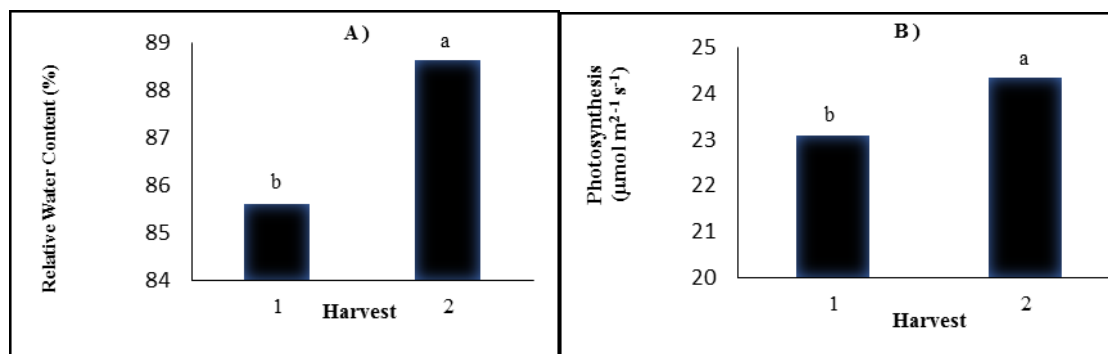
جدول ۷- برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی در گونه‌های نعناع

Table 7- Some physiological and biochemical traits of mint species

گونه Species	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	کارتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹ FW)	فتوسنتز Photosynthesis (μmol.m ⁻² s ⁻¹)
نعناع آبی <i>M. aquatica</i>	92.49 ^a	4.43 ^b	23.45 ^b
نعناع پونه <i>M. pulegium</i>	77.88 ^c	3.01 ^d	32.39 ^a
نعناع سبز <i>M. spicata</i>	92.02 ^a	4.21 ^{cb}	19.62 ^b
نعناع سیب <i>M. suaveolens</i>	85.7 ^b	3.29 ^{cd}	21.84 ^b
نعناع فلفلی <i>M. piperita</i>	87.5 ^b	5.69 ^a	21.23 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.



شکل ۱- اثر زمان برداشت بر (A) محتوای نسبی آب و (B) میزان فتوسنتز در نعناع

Figure 1- The effect of the harvest time on (A) the relative water content and (B) photosynthetic rate of mint (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۸- اثر متقابل گونه × زمان برداشت بر برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه نعنای

Table 8- The interaction effect of species × harvest time on some physiological and biochemical traits of mint plant

زمان برداشت Harvest time	گونه Species	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW)	شاخص اسپد Spad	دی اکسید کربن زیر روزنه Carbon dioxide (μmol.mol ⁻¹)	بازده اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.plant ⁻¹)
برداشت اول First harvest	<i>M. aquatica</i> نعناع آبی	23 ^c	11.7 ^{ab}	34.36 ^{bc}	14.04 ^a	413.93 ^b	1.423 ^{cd}	0.339 ^c
	<i>M. pulegium</i> نعناع پونه	12.5 ^f	7.65 ^c	20.15 ^e	9.4 ^{cd}	620 ^a	1.366 ^d	0.152 ^e
	<i>M. spicata</i> نعناع سبز	19.27 ^d	6.19 ^c	25.46 ^{de}	8.17 ^{de}	404.73 ^b	1.367 ^d	0.126 ^e
	<i>M. suaveolens</i> نعناع سیب	11.18 ^g	9.55 ^{bc}	20.73 ^e	7.05 ^e	463.03 ^b	0.484 ^e	0.039 ^f
	<i>M. piperita</i> نعناع فلفلی	21.95 ^c	9.91 ^{bc}	31.86 ^{cd}	11.34 ^b	471.93 ^b	2.406 ^a	0.367 ^{bc}
برداشت دوم Second harvest	<i>M. aquatica</i> نعناع آبی	30.88 ^a	8.29 ^c	39.17 ^{ab}	14.31 ^a	455.56 ^b	1.724 ^b	0.420 ^a
	<i>M. pulegium</i> نعناع پونه	17.68 ^e	7.89 ^c	25.57 ^{de}	9.85 ^{bc}	433.76 ^b	1.461 ^{cd}	0.178 ^d
	<i>M. spicata</i> نعناع سبز	26.55 ^b	17.84 ^a	44.39 ^a	8.6 ^{cde}	476.4 ^b	1.658 ^{bc}	0.158 ^{de}
	<i>M. suaveolens</i> نعناع سیب	16.71 ^e	9.4 ^{bc}	26.11 ^{de}	7.72 ^e	464.93 ^b	0.578 ^e	0.048 ^f
	<i>M. piperita</i> نعناع فلفلی	29.85 ^a	15.95 ^{ab}	45.8 ^a	13.44 ^a	478.63 ^b	2.361 ^a	0.379 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

در مطالعه حاضر بین گونه‌های نعنای از نظر صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی تفاوت قابل توجهی وجود داشت. بیش‌ترین محتوای نسبی آب مربوط به نعنای آبی و نعنای سبز بود. بیش‌ترین میزان کاروتنوئید و کلروفیل به نعنای فلفلی تعلق داشت و بیش‌ترین میزان فتوسنتز و CO₂ زیر روزنه‌ای در پونه مشاهده شد که نشان‌دهنده تنوع بین گونه‌های مورد مطالعه است. تفاوت‌های موجود بین گونه‌های مختلف نعنای ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین آن‌ها است. جی و کونگ (Jie and Kong, 1998) دریافتند که رشد شاخه و ریشه و میزان فتوسنتز سه رقم کاهو در شرایط هواکشت درون گلخانه بالاتر از کشت خاکی بود و بین ارقام مورد مطالعه نیز تفاوت مشاهده گردید. کشت شش گونه گیاهی کلم چینی (*Brasica oleracea* var. chinensis)، میزونا (*B. rapa nipposinica*)، برگ چغندر (*B. vulgaris* subsp. vulgaris)، ریحان (*O. basilicum*)، کاهو (*L. sativa*)، پاک چوی (*B. rapa* subsp. Chinensis)، چیا (*Salvia hispanica*) و گوجه گیلاسی (*S. lycopersicum* var. ...).

در مطالعه حاضر بالاترین بازده اسانس مربوط به نعنای فلفلی بود. پس از آن گونه‌های نعنای آبی، نعنای سبز و پونه نیز بازده اسانس

در مطالعه حاضر بین گونه‌های نعنای از نظر صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی تفاوت قابل توجهی وجود داشت. بیش‌ترین محتوای نسبی آب مربوط به نعنای آبی و نعنای سبز بود. بیش‌ترین میزان کاروتنوئید و کلروفیل به نعنای فلفلی تعلق داشت و بیش‌ترین میزان فتوسنتز و CO₂ زیر روزنه‌ای در پونه مشاهده شد که نشان‌دهنده تنوع بین گونه‌های مورد مطالعه است. تفاوت‌های موجود بین گونه‌های مختلف نعنای ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین آن‌ها است. جی و کونگ (Jie and Kong, 1998) دریافتند که رشد شاخه و ریشه و میزان فتوسنتز سه رقم کاهو در شرایط هواکشت درون گلخانه بالاتر از کشت خاکی بود و بین ارقام مورد مطالعه نیز تفاوت مشاهده گردید. کشت شش گونه گیاهی کلم چینی (*Brasica oleracea* var. chinensis)، میزونا (*B. rapa nipposinica*)، برگ چغندر (*B. vulgaris* subsp. vulgaris)، ریحان (*O. basilicum*)، کاهو (*L. sativa*)، پاک چوی (*B. rapa* subsp. Chinensis)، چیا (*Salvia hispanica*) و گوجه گیلاسی (*S. lycopersicum* var. ...).

گونه‌های مورد مطالعه در این آزمایش با موفقیت در سیستم هواکشت پرورش یافتند. به دلیل راندمان بالای مصرف آب، عدم نیاز به خاک و تولید محصول بیشتر، کشت نعنای در سیستم هواکشت می‌تواند به عنوان روشی سالم و سودآور جایگزین کشت خاکی شود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بین گونه‌های نعنای از نظر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. انتخاب گونه‌هایی که در طیف وسیعی از محیط‌ها عملکرد خوبی داشته باشند، می‌تواند عملکرد کمی و کیفی نعنای را افزایش دهد. نعنای آبی از لحاظ اغلب صفات مورفولوژی و عملکردی مورد مطالعه بهتر از دیگر گونه‌ها نشان داد و پتانسیل بالای این گونه جهت کشت در سیستم هواکشت نمایان گردید. علاوه بر این نعنای فلفلی نیز رشد و عملکرد بالایی را در مقایسه با سایر گونه‌ها داشت. با این وجود تولیدکنندگان نعنای باید بر اساس مصارف دارویی و یا مصرف به عنوان سبزی، در انتخاب گونه مناسب جهت کشت تجاری از بین این دو گونه انتخاب نمایند.

نسبتاً بالایی داشتند. در حالی که نعنای سیب بازده اسانس پایینی داشت. در گیاهان دارویی که به‌منظور استخراج اسانس از پیکر رویشی کشت می‌شوند دو مؤلفه بازده اسانس و عملکرد ماده خشک اهمیت زیادی دارند. عملکرد اسانس تابعی از بازده اسانس و عملکرد پیکر رویشی گیاه است، بنابراین تغییر در هر کدام از مؤلفه‌ها سبب تغییر در عملکرد اسانس خواهد شد (Mumivand et al., 2019). در این مطالعه با وجود این که نعنای آبی از بازده اسانس پایین‌تری نسبت به نعنای فلفلی برخوردار بود، اما به دلیل تولید ماده خشک بیشتر در نهایت عملکرد اسانس آن حتی بالاتر از نعنای فلفلی شد. در نهایت دو گونه نعنای آبی و نعنای فلفلی بازده اسانس بالاتری نسبت به سایر گونه‌ها نشان دادند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر قابلیت کشت پنج گونه با ارزش و دارویی از جنس نعنای در سیستم هواکشت مورد ارزیابی قرار گرفت. همه

منابع

- 1- Anon. (2009). Mentha Oil Seasonal Report retrieved from. http://www.karvycommodities.com/downloads/karvySpecialReports/karvysSpecialReports_20111012113231.pdf.
- 2- Asao, T. (2012). (Ed.), *Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. BoD Books on Demand.
- 3- Böhme, M., & Pinker, I. (2013). Asian leafy vegetables and herbs cultivated in substrate culture and aeroponics in greenhouse. In *International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation 1034*: 155-162. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1034.18>.
- 4- Biddinger, E.J., Liu, C., Joly, R.J., & Raghothama, K.G. (1998). Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorus deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123(2): 330-333.
- 5- Calori, A.H., Factor, T.L., Feltran, J.C., Watanabe, E.Y., Moraes, C.C.D., & Purquerio, L.F.V. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia* 76: 23-32. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.022>.
- 6- Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M.H., ElSohly, M.A., & Khan, I.A. (2014). *Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study*. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/253875>.
- 7- Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P., & Njoloma, J. (2012). Potential of aeroponics system in the production of quality potato (*Solanum tuberosum* L.) seed in developing countries. *African Journal of Biotechnology* 11(17): 3993-3999. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1138>.
- 8- Dannehl, D., Taylor, Z., Suhl, J., Miranda, L., Fitz-Rodriguez, E., Lopez-Cruz, I., & Schmidt, U. (2017). Sustainable cities: viability of a hybrid aeroponic/nutrient film technique system for cultivation of tomatoes. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering* 11(6): 470-477.
- 9- Dorai, M., Papadopoulos, A., & Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21(4): 367-383. <https://doi.org/10.1051/agro:2001130>.
- 10- Gopinath, P., Vethamoni, P.I., & Gomathi, M. (2017). Aeroponics soilless cultivation system for vegetable crops. *Chemical Science Review and Letters* 6(22): 838-849.
- 11- Hayden, A.L. (2006). Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *A Publication of the American Society for Horticultural Science* 41(3): 536-538.
- 12- Hikosaka, Y., Kanechi, M., Sato, M., & Uno, Y. (2015). Dry-fog aeroponics affects the root growth of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Greenspan) by changing the flow rate of spray fertigation. *Environmental Control in Biology* 53(4): 181-187. <https://doi.org/10.2525/ecb.53.181>.
- 13- Hothem, S.D., Marley, K.A., & Larson, R.A. (2003). Photochemistry in Hoagland's nutrient solution. *Journal of*

- Plant Nutrition* 26(4): 845-854. <https://doi.org/10.1081/PLN-120018569>.
- 14- Jie, H., & Kong, L.S. (1998). Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) to different rootzone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73(2): 173-180. <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510961>.
- 15- Kasrati, A., Jamali, C.A., Bekkouche, K., Wohlmuth, H., Leach, D., & Abbad, A. (2014). Plant growth, mineral nutrition and volatile oil composition of *Mentha suaveolens* subsp. *timija* (Briq.) Harley cultivated under salt stress conditions. *Industrial Crops and Products* 59: 80-84.
- 16- Kawasaki, Y., Matsuo, S., Kanayama, Y., & Kanahama, K. (2014). Effect of root-zone heating on root growth and activity, nutrient uptake, and fruit yield of tomato at low air temperatures. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* MI-001. <https://doi.org/10.2503/jjshs1.MI-001>.
- 17- Kernahan, K. (2016). U.S. Patent Application No. 14/341,781.
- 18- Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., & Satya, S. (2011). Insecticidal properties of *Mentha* species: a review. *Industrial Crops and Products* 34(1): 802-817. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.02.019>.
- 19- Lakhari, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., & Buttar, N.A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions* 13(1): 338-352. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308>.
- 20- Lakhari, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., Tunio, M.H., Ahmad, F., & Solangi, K.A. (2020). Overview of the aeroponic agriculture—An emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 13(1): 1-10. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201301.5156>.
- 21- Lightenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
- 22- Luo, H.Y., Lee, S.K., & He, J. (2009). Integrated effects of root-zone temperatures and phosphorus levels on aeroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) in the tropics. *The Open Horticulture Journal* 2(1). <https://doi.org/10.2174/1874840600902010006>.
- 23- Lynch, J., Marschner, P., & Rengel, Z. (2012). *Effect of internal and external factors on root growth and development*. In Marschner's mineral nutrition of higher plants (pp. 331-346). Academic Press.
- 24- Mateus-Rodríguez, J., De Haan, S., Barker, I., Chuquillanqui, C., & Rodríguez-Delfin, A. (2011). Response of three potato cultivars grown in a novel aeroponics system for mini-tuber seed production. In *II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics* 947: 361-367.
- 25- Movahedi, Z., & Rostami, M. (2020). Production of some medicinal plants in aeroponic system. *Journal of Medicinal plants and By-product* 9(1): 91-99. <https://doi.org/10.22092/JMPB.2020.122079>.
- 26- Movahedi, Z., Moieni, A., & Soroushadeh, A. (2012). Comparison of aeroponics and conventional soil systems for potato minitubers production and evaluation of their quality characters. *Journal of Plant Physiology and Breeding* 2(2): 13-21. (In Persian)
- 27- Molitor, H., & Fischer, M. (1997). Effect of several parameters on the growth of chrysanthemum stock plants in aeroponics. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics* 481: 179-186.
- 28- Mumivand, H., Aghemiri, A., Aghemiri, A., Morshedloo, M.R., & Nikoumanesh, K. (2019). *Ferulago angulata* and *Tetrataenium lasiopetalum*: Essential oils composition and antibacterial activity of the oils and extracts. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 22: 101407.
- 29- Mumivand, H., Babalar, M., Hadian, J., & Tabatabaei, S.M.F. (2010). Influence of nitrogen and calcium carbonate application rates on the minerals content of summer savory (*Satureja hortensis* L.) leaves. *Horticulture environment and biotechnology*, 51(3), 173-177.
- 30- Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M.R., & Shayganfar, A. (2021). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products* 164: 113381. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113381>.
- 31- Newall, C.A., Anderson, L.A., & Phillipson, J.D. (1996). *Herbal medicines. A guide for health-care professionals*. The pharmaceutical press.
- 32- Nezami, S., Nemati, H., Arooei, H., & Bagheri, A.R. (2016). Effect of soil moisture regimes under controlled conditions on growth and biomass in mentha species. *Journal of Plant Production* 23(2): 51-72. (In Persian)
- 33- Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan, A., & Morshedloo, M.R. (2017). Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of *Satureja* (*S. khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 6: 126-130.
- 34- Ortiz, E.L. (1992). *Encyclopedia of herbs, spices, and flavorings*. Dorling Kindersley.
- 35- Otazu, V. (2010). *Manual on quality seed potato production using aeroponics*. International Potato Center. <https://doi.org/10.4160/9789290603924>.
- 36- Pagliarulo, C.L., Hayden, A.L., & Giacomelli, G.A. (2004). *Potential for greenhouse aeroponic cultivation of Urtica dioica*. In VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition 659: 61-66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.6>.

- 37- Quattrocchi, U. (1974). *CRC World dictionary of plant names: Common names, Scientific Names, Eponyms, Sonyonyms, and Etymology*. III MQ.
- 38- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C., & Thoman, E.S. (2004). *Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system*. In New dimensions on farmed Tilapia: proceedings of the sixth international symposium on Tilapia in Aquaculture, held September (pp. 12-16).
- 39- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas - exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Journal of Crop Science* 30(1): 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>.
- 40- Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Relloso, J., & San Jose, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Journal of the European Association for Potato Research* 44(2): 127-135. <https://doi.org/10.1007/BF02410099>.
- 41- Rostami, M., & Movahedi, Z. (2016). Evaluating the effects of Naphthalene acetic acid (NAA) on morpho-physiological traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.) in aeroponic system. *Iranian Journal of Plant Physiology* 6(3): 1751-1759.
- 42- Saha, S., Monroe, A., & Day, M.R. (2016). Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences* 61(2): 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2016.10.001>.
- 43- Spinoff, N.A.S.A. (2006). *Innovative partnership program*. Publications and graphics department NASA Center for Aerospace Information (CASI).
- 44- Taheri-Garavand, A., Mumivand, H., Fanourakis, D., Fatahi, S., & Taghipour, S. (2021). An artificial neural network approach for non-invasive estimation of essential oil content and composition through considering drying processing factors: A case study in *Mentha aquatica*. *Industrial Crops and Products* 171: 113985. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113985>.
- 45- Tiwari, S. (2008). Plants: a rich source of herbal medicine. *Journal of Natural Products* 1(0): 27-35.
- 46- Yang, T., & Kim, H.J. (2019). Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae* 256: 108619. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108619>.
- 47- Zargari, A. (2014). *Medicinal plants*. Publisher of Tehran University. Third edition, p. 567. (In Persian)



Effect of Cinnamic Acid on Morphophysiological Characteristics of Cucumber Seedling under Chilling Stress

Z. Darabi¹, F. Ghanbari^{2*}, J. Erfani Moghadam³

Received: 08-10-2021

Revised: 23-10-2021

Accepted: 02-01-2022

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Darabi, Z., Ghanbari, F., & Erfani Moghadam, J. (2022). Effect of Cinnamic Acid on Morphophysiological Characteristics of Cucumber Seedling under Chilling Stress. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 619-630. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2022.72749.1093](https://doi.org/10.22067/jhs.2022.72749.1093)

Introduction

Low temperature is one of the most important environmental stresses that cause damage to plants and limit the geographical distribution of plant species. Plants of tropical and sub-tropical origin, such as cucumbers, are sensitive to cold stress and severely damaged at low temperatures. Plants have evolved a set of defense mechanisms to adapt to low temperatures. These mechanisms include the regulation of gene expression and physiological and biochemical changes that increase plant resistance to chilling stress. Cinnamic acid (CA) is one of the most important phenolic acids present in all plants and has antimicrobial properties against fungi and bacteria. The application of this compound in some plants causes oxidative stress and leads to the activation of antioxidant enzymes. Therefore, in the present study, the effects of exogenous cinnamic acid treatment on cold stress tolerance in cucumber seedlings have been investigated.

Materials and Methods

This research was conducted in the greenhouse and laboratory of the Department of Horticultural Sciences of Ilam University in 2019. Cucumber seeds (Super Daminus cultivar) were planted in a 1: 1: 1 ratio of field soil, manure, and sand. In the fully developed two-leaf stage, seedlings produced were sprayed using cinnamic acid (at concentrations of 0, 50, 100, and 200 μ M). Foliar spraying treatments were applied at the mentioned concentrations until the surface of the leaves was completely wet. 24 hours after foliar application, all plants were exposed to cold stress at 3 °C for 6 hours in six consecutive days. After applying the cold treatment, the seedlings were transferred to the greenhouse and 72 hours later, the traits were measured.

Results and Discussion

The results showed that exogenous CA application increased the growth characteristics of cucumber seedlings subjected to chilling stress. Improving the growth and development of plants under stress conditions by cinnamic acid treatment has been reported in other studies, which is consistent with the results of the present study. It has been reported that cinnamic acid treatment, by causing oxidative shock in plants, leads to plant defensive responses to stress conditions, and through this, plants can better withstand stress conditions. These defense responses include increasing compatible solutions and improving the antioxidant system. In the present study, the use of cinnamic acid treatment increased proline, chlorophyll, and total phenol and reduced of membrane lipid peroxidation, and these changes led to a decrease in the apparent effects of cold on cucumber seedlings.

The use of chemicals that can mitigate the effects of cold on the plant can also help maintain plant growth under cold stress. In the present study, the application of cinnamic acid improved the growth of cucumber seedlings under cold stress conditions. Cinnamic acid pretreatment by inducing antioxidant compounds reduced the effects of cold on cucumber seedlings and improved plant growth in chilling conditions. Also, cinnamic acid treatment increased the growth of pepper plants under salinity stress, cucumber under drought stress, and wheat

1, 2, and 3- M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: F.ghanbari@ilam.ac.ir)

under drought conditions, which is consistent with the results of the present study. Therefore, it can be said that cinnamic acid improves plant growth under stress by changing physiological and biochemical processes. The results showed that the application of cinnamic acid improved the growth of cucumber seedlings under chilling stress conditions. Cinnamic acid pretreatment caused a significant increase in relative water content (25 to 32%), chlorophyll (108 to 125%), proline (152 to 244%), and total phenol (31%) compared to the control, therefore improving the adaptabilities of cucumber seedlings to chilling stress. The application of cinnamic acid also reduced the damage to cell membranes. The electrolyte leakage and malondialdehyde accumulation of cinnamic acid-treated seedlings were lower than that of control seedlings.

Conclusion

In general, the results of this study showed that the application of cinnamic acid reduced the effects of cold stress on cucumber seedlings. These results were associated with increased proline, chlorophyll, phenol and relative water content, in this way, the rate of ion leakage and accumulation of malondialdehyde in cucumber seedlings were reduced under cold stress. In general, the results showed that cinnamic acid treatment (especially concentration of 200 μ M) can effectively reduce the effects of chilling on cucumber seedlings and improve their growth under cold stress.

Keywords: Chilling injury, Chlorophyll, Malondialdehyde, Proline, Total phenol

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۳۰-۶۱۹

اثر سینامیک اسید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نشاء خیار تحت تنش سرما

زهرا دارابی^۱ - فردین قنبری^{۲*} - جواد عرفانی مقدم^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

چکیده

یکی از مشکلات اصلی گیاهان گرمسیری مانند خیار (*Cucumis sativus* L.) حساسیت به دمای پائین است که منجر به ایجاد آسیب سرمازدگی در آن‌ها می‌شود. سینامیک اسید یک اسید فنلی است و کاربرد خارجی آن سبب بهبود سیستم آنتی اکسیدانی شده و تحمل شرایط تنش را در گیاه بالا می‌برد. در تحقیق حاضر اثرات کاربرد سینامیک اسید بر تحمل تنش سرمایی نشاء خیار بررسی شده است. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در دانشگاه ایلام انجام شد. نشاءهای خیار در مرحله دو برگگی با غلظت‌های مختلف سینامیک اسید (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) محلول‌پاشی شده و سپس در معرض تنش سرما (۳ درجه سانتی‌گراد به مدت شش ساعت در شش روز متوالی) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر تیمار سینامیک اسید بر وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، محتوای رطوبت نسبی، نشت یونی، مالون دی آلدهید، فنل کل، پرولین، کلروفیل و شاخص سرمازدگی معنی‌دار شد. کاربرد سینامیک اسید سبب بهبود پارامترهای رشدی نشاءهای خیار در شرایط تنش سرمایی شد. پیش‌تیمار سینامیک اسید سبب افزایش معنی‌دار محتوای رطوبت نسبی (۲۵ تا ۳۲ درصد افزایش)، کلروفیل (۱۰۸ تا ۱۲۵ درصد افزایش)، پرولین (۱۵۲ تا ۲۴۴ درصد افزایش) و فنل کل (۳۱ درصد افزایش) نسبت به شاهد شده و از این طریق خسارت سرما به نشاء خیار را کاهش داد. همچنین استفاده از سینامیک اسید خسارت به غشاءهای سلولی را کاهش داده و نشاءهای تیمار شده با سینامیک اسید نشت یونی و تجمع مالون دی آلدهید کمتری (۹ تا ۵۲ درصد کاهش) نسبت به شاهد داشتند. به طور کلی نتایج نشان داد که تیمار ۲۰۰ میکرومولار سینامیک اسید به طور مؤثری می‌تواند آثار سرما بر نشاء خیار نسبت به شاهد را کاهش داده و سبب بهبود رشد آن در شرایط تنش سرما شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، خسارت سرمایی، فنل کل، کلروفیل، مالون دی آلدهید

مقدمه

تکامل داده‌اند. این مکانیسم‌ها شامل تنظیم بیان ژن و تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است که مقاومت گیاه به سرما را افزایش می‌دهد (Xie et al., 2008; Zhou et al., 2011). در شرایط تنش سرمایی غشای سلولی دچار تغییر فاز از کریستال مایع به حالت ژله‌ای شده و این امر منجر به کاهش سیالیت غشاء و سفت شدن آن می‌شود (Lin et al., 2020). از طرف دیگر، تولید بیش از حد گونه‌های واکنش پذیر اکسیژن (ROS) مانند پراکسید هیدروژن در شرایط سرما منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌شود، این امر یکپارچگی غشاء را به خطر می‌اندازد و بنابراین منجر به افزایش نشت املاح از سلول‌ها شده و تجمع مالون دی آلدهید افزایش می‌یابد (Liu et al., 2009). علاوه بر این تجمع املاح سازگار، بیوستز کلروفیل، کاهش ظرفیت فتوسنتزی و کاهش متابولیسم کربوهیدرات‌ها در اثر دمای پایین اتفاق می‌افتد که منجر به کاهش عملکرد و کیفیت

دمای پایین یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که سبب آسیب به گیاهان شده و توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهی را محدود می‌کند. تنش دمای پایین شامل تنش سرمایی (دمای بین صفر و ۱۵ درجه سانتی‌گراد) و تنش یخ‌زدگی (دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد) است (Zhou et al., 2011). گیاهان با منشأ گرمسیری و نیمه گرمسیری مانند کدوئیان نسبت به تنش سرما حساس بوده و در دمای پایین به شدت آسیب می‌بینند (Li et al., 2011). گیاهان مجموعه‌ای از مکانیسم‌های دفاعی را برای سازگاری با دمای پایین

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(Email: F.ghanbari@ilam.ac.ir)
*- نویسنده مسئول

مواد و روش‌ها

شرایط آزمایش و تیمارها

این تحقیق در سال ۱۳۹۸ در گلخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ایلام به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. ابتدا بذرهای خیار (رقم 'سوپر دامینوس') در گلدان پلاستیکی نشایی (قطر دهانه ۸ سانتی متر و ارتفاع ۱۴ سانتی متر) حاوی محیط کشت خاک مزرعه، کود دامی و ماسه بادی با نسبت ۱:۱:۱ کشت شده و در گلخانه با دمای روزانه 24 ± 3 و شبانه 17 ± 3 درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی ۵۰ تا ۶۰ درصد و نور طبیعی پرورش یافت. نشاءهای تولید شده یک روز در میان آبیاری شدند. در مرحله دو برگ کاملاً توسعه یافته گیاهچه‌های تولید شده با استفاده از سینامیک اسید (با فرمول شیمیایی $C_6H_5CH=CHCOOH$ ، ساخت شرکت سیگما-آلدریج آمریکا) در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار محلول‌پاشی شدند. تیمارهای محلول‌پاشی در غلظت‌های ذکر شده تا خیس شدن کامل سطح برگ‌ها اعمال شد. ۲۴ ساعت پس از اعمال تیمارهای محلول‌پاشی همه گیاهان به اتاقک رشد منتقل شده و در معرض تنش سرمایی در دمای سه درجه سانتی گراد به مدت ۶ ساعت در روز برای شش روز متوالی قرار گرفتند. اعمال تیمار سرمایی به صورت پیوسته در ساعت ۸ تا ۱۴ انجام شد و پس از پایان دوره سرمایی نشاءها به گلخانه منتقل شده و ۷۲ ساعت بعد صفات اندازه‌گیری شد (Korkmaz et al., 2010).

اندازه‌گیری صفات

ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش از سطح خاک تا بالاترین نقطه شاخساره اندازه‌گیری شد. وزن تر و خشک شاخساره و ریشه (دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در آن برای خشک کردن گیاه استفاده شد) با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای تعیین محتوای رطوبت نسبی (RWC) از روش کورکماز و همکاران (Korkmaz et al., 2010) استفاده شد. ابتدا تعدادی مساوی برگ از هر تکرار انتخاب و جدا گردید. نمونه‌ها به وسیله ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند (FW) و سپس به مدت ۵ ساعت در آب مقطر (جهت آب‌گیری کامل) نگهداری شده و پس از خشک کردن آب سطحی مجدداً توزین شدند (TW). پس از آن برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد در داخل آن الکتریکی قرار داده شدند. سپس برگ‌ها توزین شدند تا وزن خشک به دست آید (DW). از رابطه ۱ محتوای رطوبت نسبی برگ محاسبه گردید.

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

محصولات می‌شود (Hussain et al., 2018). ROS‌های تولید شده در شرایط تنش بسیار واکنش‌پذیر هستند و می‌توانند به لیپیدهای غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک آسیب برسانند و در نتیجه هموستاز سلولی را مختل کنند (Liang et al., 2020). برای مقابله با این تغییرات گیاهان ظرفیت دفاعی خود را بالا برده و با استفاده از انواع آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی سطح ROS‌های تولید شده را کنترل می‌کنند (Hussain et al., 2018). از آنجا که گونه‌های حساس به سرما نسبت به گونه‌های مقاوم دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمتری هستند، یک رویکرد امیدوار کننده برای افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش سرما، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها خواهد بود (Xu et al., 2008).

سینامیک اسید یکی از مهم‌ترین اسیدهای فنولی است (Gao et al., 2018). تولید نشاء خیار در محلول غذایی حاوی سینامیک اسید جذب یون توسط ریشه‌های گیاه را مهار کرده و با افزایش نفوذپذیری غشاء، نشت یونی را افزایش می‌دهد (Yu et al., 1997). با این وجود، لی و همکاران (Li et al., 2011) گزارش دادند که پیش تیمار نشاءهای خیار با غلظت پایین‌تر سینامیک اسید (۵۰ میکرومولار) با تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سبب بهبود تحمل سرما در این گیاه شد. کاربرد خارجی سینامیک اسید سبب کاهش آثار تنش خشکی در نشاء خیار شده و با تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند افزایش سطح آنتی‌اکسیدان‌ها و محلول‌های سازگار سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود (Sun et al., 2012). همچنین گزارش شده است که استفاده از غلظت پایین سینامیک اسید (۵۰ میکرومولار) سبب افزایش نیتریک اکسید و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی شده و با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش پرولین و نسبت پتاسیم به سدیم سبب کاهش آثار تنش شوری در نشاء فلفل شد (Lin et al., 2020). خیار (*Cucumis sativus* L.) سبزی میوه‌ای پر مصرف است که در بسیاری از مناطق جهان کشت می‌شود. بر اساس آمار منتشر شده میزان تولید خیار در دنیا به بیش از ۸/۸۷ میلیون تن در سال می‌رسد که کشور ایران با تولید ۱/۶ میلیون تن بعد از کشورهای چین و ترکیه، سومین کشور تولیدکننده این محصول در دنیا می‌باشد (FAO, 2021). با این حال خیار به دمای زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد حساس است و اگر دما به طور ناگهانی در طول دوره رویش گیاه به این سطح برسد، ممکن است تلفات قابل توجهی داشته باشد (Xu et al., 2008). بنابراین در تحقیق حاضر اثرات کاربرد تیمار سینامیک اسید بر بهبود رشد، کنترل تنش سرمایی و پاسخ‌های فیزیولوژیکی وابسته به آن بررسی شد.

اندازه‌گیری نشت یونی برگ بر اساس روش لوتس و همکاران (Lutts et al., 1995) انجام شد. برای این منظور تعداد ۱۲ دیسک برگ یک سانتی‌متری به صورت تصادفی از گیاهان هر تیمار مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های تهیه شده در داخل لوله آزمایش ریخته شده و به منظور حذف آلودگی‌های سطحی سه بار با آب مقطر شستشو شدند. سپس در داخل هر کدام از لوله‌های آزمایش مقدار ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت روی دستگاه شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه، در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس میزان نشت یونی محلول با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی قرائت گردید (EC1). سپس نمونه‌ها در داخل اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. بعد از سرد شدن در دمای اتاق قرائت دوم محلول (EC2) انجام گرفت و بر اساس رابطه ۲ میزان نشت یونی محاسبه و بر اساس درصد گزارش شد.

$$\text{رابطه ۲)} \quad \text{نشت یونی} = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

برای اندازه‌گیری محتوای مالون دی آلدئید که بیانگر میزان پراکسیده شدن لیپیدهای غشاء سلولی است، از روش استیوارت و بیولی (Stewart and Bewley, 1980) استفاده شد. در این روش ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از نمونه تازه گیاهی (برگ) را با نیتروژن مایع در هاون خرد کرده تا به صورت پودر درآید. پودر تهیه شده به تیوب ۱۵ میلی‌لیتری منتقل کرده و مقدار ۵ میلی‌لیتر اسیدتری کلرو استیک ۰/۱ درصد به تیوب اضافه شد. سپس تیوب‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از روشناور را به یک تیوب جدید منتقل کرده و به آن یک میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد وزنی به حجم (w/v) اسید تیو باربیئوریک حاوی اسیدتری کلرواستیک ۲۰ درصد اضافه شد. سپس تیوب‌ها در بن ماری با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. بلافاصله پس از خارج نمودن تیوب از حمام آب داغ به منظور توقف واکنش، تیوب‌ها در آب یخ به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. سپس اقدام به قرائت میزان جذب نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۵۳۲ نانومتر و ۶۰۰ نانومتر شد.

برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل از روش فولین- سیوکالته استفاده شد. به این منظور ۰/۱ گرم نمونه برگ با اضافه کردن سه میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد کوبیده شد و پس از صاف کردن آن با کاغذ صافی، ۳۰۰ میکرو لیتر آن برداشته شد و به آن ۱۵۰۰ میکرو لیتر معرف فولین اضافه گردید و به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس به آن ۱۲۰۰ میکرو لیتر کربنات سدیم ۷ درصد اضافه شده و پس از دو ساعت تکان دادن روی شیکر در دمای اتاق، جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Singleton and Rossi, 1965).

برای استخراج و اندازه‌گیری پروتئین از روش بیتس و همکاران

(Bates et al., 1973) استفاده شد. برای این کار ابتدا ۰/۲ گرم از بافت برگ تازه با ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد در هاون چینی ساییده شد. سپس نمونه ساییده شده درون لوله آزمایش ریخته و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و بخش بالایی آن جدا شد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره فوق جدا و داخل لوله آزمایش ریخته شد. به هر نمونه ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و سپس، ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه گردید. پس از طی مراحل فوق، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در داخل بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خنک کردن نمونه‌ها در آب یخ، ۴ میلی‌لیتر تولونن به هر نمونه اضافه و کاملاً تکان داده شد تا پروتئین وارد فاز تولونن گردد. میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولونن به عنوان بلانک قرائت شد. میزان پروتئین نمونه‌های برگ بر حسب میکرو مول در گرم وزن تر گزارش شد.

برای اندازه‌گیری کلروفیل از روش استرین و اسوک (Strain and Svec, 1966) استفاده شد. در این روش ابتدا مقدار ۰/۱ گرم برگ تازه را با استفاده از پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی کاملاً ساییده تا توده یکنواختی به دست آید. محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول رویی را برداشته و با ۴ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط شد و سپس در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و با استفاده از اسپکتروفتومتر طول موج جذبی (A) قرائت، و کلروفیل a، b و کل به ترتیب بر اساس رابطه‌های ۳، ۴ و ۵ محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۳)} \quad Chl a = 12.7(A663) - 2.69(A645)$$

$$\text{رابطه ۴)} \quad Chl b = 25.8(A645) - 4.68(A663)$$

$$\text{رابطه ۵)} \quad Chl total = 20.21(A645) + 8.02(A663)$$

شاخص خسارت سرمازدگی بر اساس پژمرده شدن، از دست دادن آب و نکروزه شدن برگ‌ها و شاخه‌ها پس از تنش سرمایی بر طبق مقیاس زیر طبقه‌بندی گردید:

۱: در این حالت علائم سرمازدگی قابل‌رویت نبود.

۲: نواحی کوچک نکروزه روی شاخه‌ها اما بدون محدودیت رشد قابل‌رویت بود (کمتر از ۵ درصد سطح برگ‌ها نکروزه شده بود)

۳: نواحی کوچک نکروزه روی شاخه‌ها قابل‌رویت بود (کمتر از ۱۵ درصد سطح برگ‌ها نکروزه شده بود)

۴: نواحی نکروزه مشخص روی شاخه‌ها قابل‌رویت بود (تا ۳۰ درصد از سطح برگ‌ها نکروزه شده بود)

۵: نواحی نکروزه وسیع همراه با کاهش یا محدودیت شدید رشد مشهود بود (بیش از ۵۰ درصد سطح برگ‌ها نکروزه می‌شود اما هنوز گیاه زنده است). گروه‌های مذکور، با یکی از شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ ارزش‌گذاری شد و میانگین خسارت برای هر تیمار محاسبه گردید (Wang, 1985).

تجزیه آماری داده‌ها

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 ترسیم گردید.

نتایج و بحث

پارامترهای رشدی

نتایج نشان داد که اثر تیمار سینامیک اسید بر وزن تر و خشک شاخساره و ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر تیمار سینامیک اسید بر ارتفاع نشاء معنی‌دار نشد (جدول ۱). بر طبق نتایج مقایسه میانگین کاربرد سینامیک اسید در هر سه غلظت (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) سبب افزایش معنی‌دار وزن تر شاخساره، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه نسبت به شاهد (افزایش ۳۹ تا ۷۰ درصدی) شد (شکل‌های ۱ و ۲). از طرف دیگر، کاربرد ۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار سینامیک اسید وزن خشک شاخساره را به طور معنی‌داری افزایش داد و غلظت ۱۰۰ میکرومولار تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (شکل ۱). بیشترین افزایش پارامترهای رشدی در تیمار ۲۰۰ میکرومولار سینامیک اسید مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲). تنش سرما همانند سایر تنش‌های محیطی آثار مخرب بر رشد گیاهان دارد (Xu et al., 2008). زیرا که در شرایط تنش سرمایی فتوسنتز کاهش یافته و تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد منجر به تخریب کلروفیل شده و همچنین جذب عناصر غذایی دچار مشکل می‌شود که در نهایت کاهش رشد گیاه را در پی دارد (Hussain et al., 2008). لی و همکاران (Li et al., 2011) گزارش کردند که پیش تیمار سینامیک اسید با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش آثار سرما در نشاء خیار شده و رشد گیاه در شرایط سرد را بهبود داد. همچنین تیمار سینامیک اسید سبب افزایش رشد گیاهان فلفل در شرایط تنش شوری (Lin et al., 2020)، خیار در شرایط تنش خشکی (Sun et al., 2012) و گندم در شرایط کم آبی (Singh et al., 2013) شد، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر گیاهان در معرض تنش سرما قرار داشتند، بنابراین تیمار سینامیک اسید با کاهش آثار سرما بر گیاه سبب حفظ رشد نشاء در شرایط تنش سرمایی شد.

محتوای رطوبت نسبی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار سینامیک اسید در سطح یک درصد آماری بر محتوای رطوبت نسبی معنی‌دار شد (جدول ۱). با افزایش غلظت سینامیک اسید محتوای رطوبت نسبی نیز روند افزایشی داشت به طوری که غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰

میکرومولار سینامیک اسید سبب افزایش ۲۵، ۲۹ و ۳۲ درصدی این صفت نسبت به شاهد شدند (جدول ۳). وضعیت آب گیاه ارتباط مستقیمی با رشد و نمو دارد، که عامل مؤثر کلیدی بر عملکرد و کیفیت محصولات باغی است. حفظ وضعیت مطلوب آب گیاه بسیار مهم است، زیرا که اگر سطح آب گیاه فراتر از حد معینی (سطح آستانه) کاهش یابد، کاهش شدیدی در عملکرد و کیفیت گیاه به وجود می‌آید (Parkash and Singh, 2020). به طور کلی، گیاهان در شرایط تنش سرما علائم تنش آب را نشان می‌دهند، که با کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه و به دنبال آن کاهش شدید پتانسیل آب برگ و از دست دادن فشار تورژسانس ایجاد می‌شود (Aroca et al., 2003). گزارش شده است که تیمار سینامیک اسید با کاهش آثار تنش بر گیاه ذرت سبب حفظ رطوبت نسبی آن در شرایط تنش اسمزی می‌شود (Singh et al., 2013). همچنین ونگ و همکاران (Wang et al., 2007) گزارش دادند که در شرایط تنش، اسید سینامیک می‌تواند محتوای آب نشاءهای خیار را افزایش دهد که برای ادامه رشد آن‌ها در شرایط تنش بسیار مفید است.

نشت یونی و مالون دی آلدهید

برطبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر تیمار سینامیک اسید در سطح یک درصد آماری بر نشت یونی و در سطح پنج درصد آماری بر محتوای مالون دی آلدهید معنی‌دار شد (جدول ۱). کاربرد سینامیک اسید در هر سه غلظت (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) سبب کاهش معنی‌دار نشت یونی و مالون دی آلدهید در نشاءهای خیار تحت تنش سرما شد. بین غلظت‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌داری برای نشت یونی و مالون دی آلدهید مشاهده نشد (جدول ۳). گزارش شده است که در شرایط تنش‌های محیطی تولید زیاد ROSها اتفاق می‌افتد و این ترکیبات با پراکسیداسیون لیپیدها، غشاهای سلولی را تخریب می‌کنند. نتیجه این فرآیند تولید مالون دی آلدهید و افزایش نشت یونی در سلول‌ها خواهد بود (Liu et al., 2009). بنابراین افزایش محتوای مالون دی آلدهید و نشت یونی سلولی در گیاهان تحت تنش مشاهده می‌شود (Korkmaz et al., 2010). سینامیک اسید یک اسید فنولی است و هنگامی که به صورت برون‌زا در غلظت مناسب استفاده شود، می‌تواند دفاع آنتی‌اکسیدانی را تقویت کرده و آسیب‌های ناشی از تنش بر گیاهان را کاهش دهد (Lin et al., 2020). سینامیک اسید به واسطه اثری که بر سیستم دفاع آنتی اکسیدانی دارد می‌تواند رادیکال‌های آزاد را خنثی کرده و از تجمع مالون دی آلدهید و افزایش نشت یونی در گیاهان تحت تنش جلوگیری کند (Karadağ and Yücel, 2007). در تحقیقی لی و همکاران (Li et al., 2011) گزارش دادند که پیش تیمار سینامیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده،

میکرومولار اختلاف معنی داری بر فنل کل نسبت به شاهد نداشت ولی غلظت ۲۰۰ میکرومولار سینامیک اسید سبب افزایش معنی دار و ۳۱ درصدی فنل کل نسبت به شاهد شد (جدول ۳). سینامیک اسید ماده اولیه مسیر فنیل پروپانویید و پیش ساز بیوسنتز ترکیبات فنلی در گیاهان است (Sharma et al., 2019). بنابراین بدیهی است که تیمار خارجی سینامیک اسید منجر به تقویت مسیر فنیل پروپانویید و بیوسنتز بیشتر ترکیبات فنلی شود (Mohagheghian and Ehsan Pour, 2021).

پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش می دهد و تحمل نشاءهای خیار در برابر تنش سرما را افزایش می دهد. در تحقیقی دیگر کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار سینامیک اسید سبب کاهش تجمع مالون دی آلدیید در نشاءهای خیار تحت تنش شوری شد (Wang et al., 2007).

فنل کل

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که محتوای فنل کل در سطح یک درصد آماری تحت تأثیر تیمار سینامیک اسید قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد سینامیک اسید در غلظت های ۵۰ و ۱۰۰

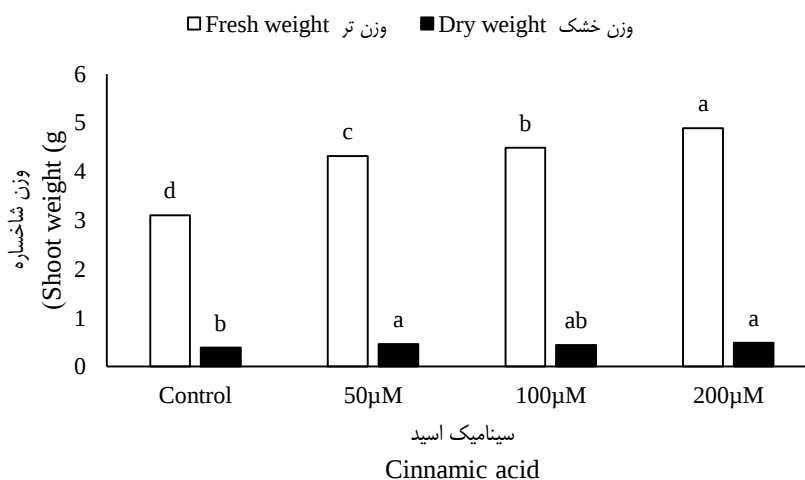
جدول ۱- تجزیه واریانس صفات رشدی، محتوای رطوبت نسبی، نشت یونی و مالون دی آلدیید نشاءهای خیار رقم 'سوپر دامینوس' تیمار شده با سینامیک اسید

Table 1- ANOVA for the growth traits, relative water content, ionic leakage and malondialdehyde in cucumber cv. Super Dominus seedlings treated with cinnamic acid

Domino seedlings treated with chitosan acid									
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares							
		ارتفاع گیاه Plant height	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	محتوای رطوبت نسبی Relative water content	نشت یونی Ionic leakage	مالون دی آلدیید Malondial dehyde
تیمار Treatment	3	1.95ns	1.787**	0.0055**	1.045**	0.0069**	343.26**	235.70**	0.026*
خطای آزمایشی Error	8	0.58	0.005	0.0007	0.001	0.001	0.53	3.19	0.004
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.57	10.75	6.18	11.49	4.16	8.82	8.05	4.94

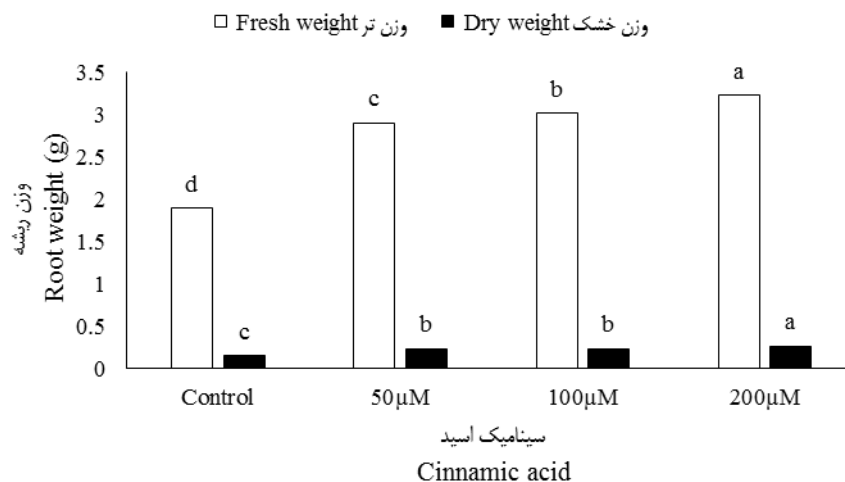
ns، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.



شکل ۱- اثر سینامیک اسید بر وزن تر و خشک شاخساره خیار رقم 'سوپر دامینوس' تحت تنش سرما

Figure 1- The effect of different concentrations of cinnamic acid on fresh and dry weight of cucumber cv. Super Dominus shoots subjected to chilling stress (Duncan, $p \leq 0.05$).



شکل ۲- اثر سینامیک اسید بر وزن تر و خشک ریشه نشاء خیار رقم 'سوپر دامینوس' تحت تنش سرما

Figure 2- The effect of different concentrations of cinnamic acid on fresh and dry weight of cucumber cv. Super Dominus roots subjected to chilling stress (Duncan, $p \leq 0.05$).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشاءهای خیار رقم 'سوپر دامینوس' تیمار شده با سینامیک اسید

Table 2- ANOVA for the physiological and biochemical traits in cucumber cv. Super Dominus seedlings treated with cinnamic acid

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					شاخص سرمازدگی Chilling index
		فنل کل Total phenol	پرولین Proline	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	
تیمار Treatment	3	5.45**	100.15**	1.01**	0.23**	1.92**	3.68**
خطای آزمایشی Error	8	0.32	3.62	0.07	0.01	0.07	0.14
ضریب تغییرات C.V (%)	-	6.72	13.98	16.42	12.97	11.78	14.10

ns, **, * و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, **, * and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

واکنش‌های پراکسیداتیو را در ناحیه آبریز غشاء محدود می‌کنند (Verstraeten et al., 2003). افزایش ترکیبات فنلی در نشاءهای خیار با تیمار سینامیک اسید یک تغییر مثبت بوده و می‌تواند آثار مخرب تنش سرما بر گیاه را کاهش دهد. گزارش شده است که استفاده از سینامیک اسید در گیاه گندم تحت تنش شوری با افزایش ترکیبات فنلی سبب کاهش آثار شوری بر گیاه شد (Karadağ and Yücel, 2017). همچنین محققان و احسان‌پور (Mohagheghian and Ehsan Pour, 2021) با بررسی اثر سینامیک اسید بر تحمل تنش شوری در گیاه تنباکو، نشان دادند که کاربرد سینامیک اسید سبب افزایش فنل، فلاونوئید و آنتوسیانین در این گیاه شد.

در سال‌های اخیر، نشان داده شده است که محتوای فنول گیاهان به دلیل عوامل استرس‌زای محیطی و زیستی به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این ترکیبات در القای بیان ژن، مسیرهای انتقال سیگنال و هموستاز متابولیک در گیاهان در شرایط نامساعد محیطی نقش دارند تا گیاهان بتوانند پاسخ‌های مناسبی را به شرایط تنش داشته باشند (Singh et al., 2011). گزارش شده است که تجمع ترکیبات فنلی در گیاهان تحت تنش می‌تواند سبب کنترل پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء شود زیرا که این ترکیبات بسته به ساختار خود رادیکال‌های آزاد را به دام می‌اندازند و خنثی می‌کنند (Milic et al., 1998). ترکیبات فنولی انتشار رادیکال‌های آزاد را به ماتریس آبریز (hydrophobic matrix) غشاء محدود کرده و

پرولین

محتوای پرولین در نشاءهای خیار در تنش سرما در سطح یک درصد آماری قرار گرفت (جدول ۲). در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار سینامیک اسید محتوای پرولین به ترتیب ۱۸۸، ۲۴۴ و ۱۵۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). تجمع بیش از حد ROS و آسیب ناشی از تنش‌های محیطی می‌تواند باعث تجمع پرولین شود. پرولین به عنوان اسمولیت و همچنین املاح سازگار عمل می‌کند و این نقش محافظتی در سازگاری سلول‌های گیاهی به شرایط تنش مؤثر است (Trovato et al., 2019). پرولین می‌تواند پتانسیل اسمزی سلولی را کاهش داده و در شرایط تنش، آماس سلول را حفظ کند (Hussain et al., 2018). کاراداک و یوسل (Karadağ

and Yücel, 2017) نتایج مشابهی را در گیاه گندم تحت تنش شوری مشاهده کردند. سان و همکاران (Sun et al., 2012) گزارش دادند که کاربرد خارجی سینامیک اسید در گیاه خیار تحت تنش خشکی با افزایش سطح پرولین و آنتی‌اکسیدان‌ها سبب کاهش آثار تنش بر گیاه شد. تیمار سینامیک اسید محتوای پرولین را در برگ‌های فلفل تحت تنش شوری افزایش داد، پدیده‌ای که ممکن است به ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سینامیک اسید نسبت داده شود و از این طریق گیاهان را از آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش محافظت می‌کند (Lin et al., 2020). در این تحقیق نیز پیش تیمار سینامیک اسید با افزایش محتوای پرولین، پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش داده و از نشاءهای خیار در برابر سرما محافظت کرد.

جدول ۳- اثرات سینامیک اسید بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در نشاءهای خیار تحت تنش سرما

Table 3- The effects of cinnamic acid on some physiological and biochemical traits of cucumber cv. Super Dominus seedlings under cold stress

سینامیک اسید Cinnamic acid	محتوای رطوبت نسبی Relative water content (%)	نشت یونی Ionic leakage (%)	مالون دی آلدید Malondialdehyde (nmol/g FW)	فنل کل Total phenol (mg.g ⁻¹ FW)	پرولین Proline (μmol.g ⁻¹ FW)
شاهد Control	73.13d	35.33a	1.54a	7.81bc	5.53c
۵۰ میکرومولار 50 μM	91.56c	17.06b	1.39b	8.56b	15.94ab
۱۰۰ میکرومولار 100 μM	94.49b	19.83b	1.31b	7.06c	19.03a
۲۰۰ میکرومولار 200 μM	96.40a	16.62b	1.38b	10.22a	13.99b

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Values followed by different letters had significant difference according to Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

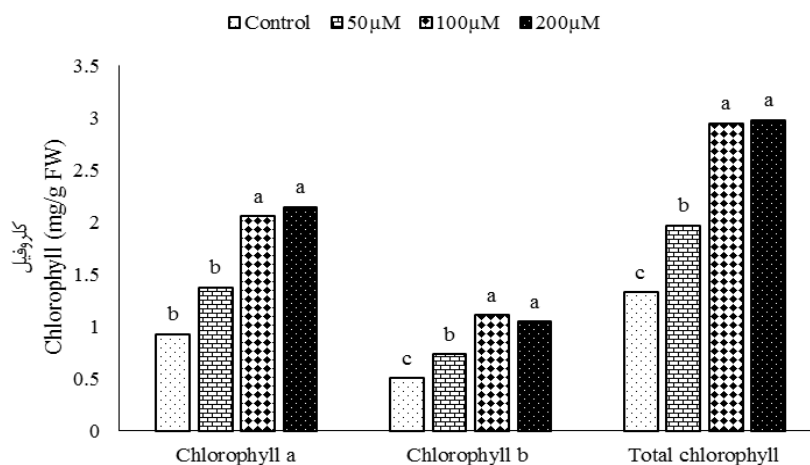
کلروفیل

نتایج نشان داد که اثر تیمار سینامیک اسید در سطح یک درصد بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سینامیک اسید، به غیر از غلظت ۵۰ میکرومولار در مورد کلروفیل a، سبب افزایش کلروفیل a، b و کل نسبت به شاهد شد. غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار تأثیر مشابهی بر میزان کلروفیل داشته و به طور متوسط ۱۰۸ تا ۱۲۵ درصد میانگین کلروفیل را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۳). پیش تیمار سینامیک اسید کاهش رشد ناشی از سرما در نشاءهای خیار را تعدیل کرد که احتمالاً به دلیل حفظ کلروفیل و در نتیجه حفظ ظرفیت فتوسنتزی در شرایط تنش سرما باشد. به طور مشابه با این نتایج، ونگ و همکاران (Wang et al., 2007) گزارش دادند که نشاءهای خیار تیمار شده با سینامیک اسید محتوای کلروفیل بالاتری داشته و شرایط تنش شوری را بهتر تحمل می‌کنند. در این رابطه گزارش شده است که تیمار سینامیک اسید با افزایش تحرک بخشی نیترات درونی بافت‌ها و افزایش بیوسنتز کلروفیل سبب بهبود

فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه می‌شود (Kumar and Kumar, 2014). همچنین گزارش شده است که تیمار سینامیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش را کنترل کرده و مانع از تخریب کلروفیل در این شرایط می‌شود (Lin et al., 2020).

شاخص سرمزدگی

نتایج نشان داد که اثر تیمار سینامیک اسید بر صفت شاخص سرمزدگی در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۲). هر سه غلظت بکار رفته سینامیک اسید (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) سبب کاهش معنی‌دار شاخص سرمزدگی نسبت به شاهد شد. بین غلظت‌های بکار رفته اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد و هر سه غلظت به طور یکسان نشانه‌های ظاهری سرما بر نشاء را کاهش دادند (شکل ۴). تنش سرما باعث کاهش رشد و نمو در گیاهان حساس به سرما می‌شود. مطالعات مختلف اثرات منفی تنش سرما بر رشد خیار را نشان داده‌اند (Liu et al., 2009; Xu et al., 2008).

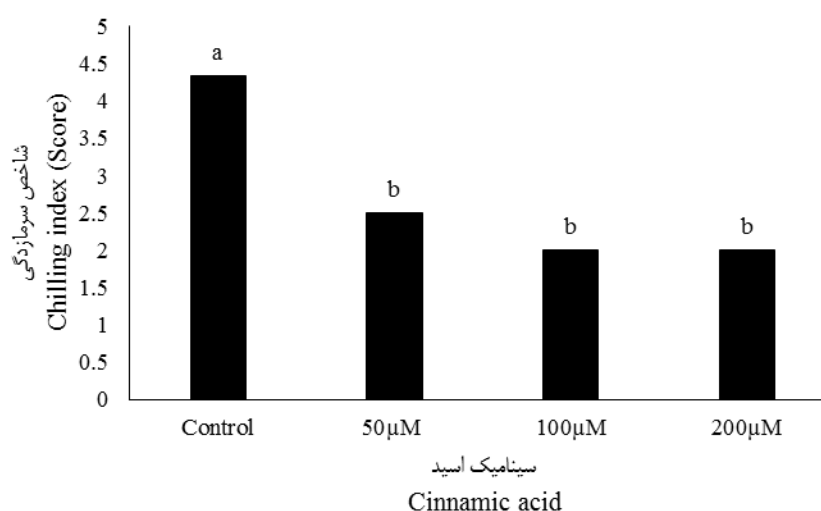


شکل ۳- اثر سینامیک اسید بر محتوای کلروفیل برگ نشاء خیار رقم 'سوپر دامینوس' تحت تنش سرما

Figure 3- The effect of different concentrations of cinnamic acid on leaf chlorophyll content of cucumber cv. Super Dominus seedlings subjected to chilling stress (Duncan, $p \leq 0.05$)

رابطه گزارش شده است که کاربرد سینامیک اسید به واسطه نقشی که بر سیستم آنتی اکسیدانی گیاهان دارد، با کاهش تجمع رادیکال-های آزاد منجر به کاهش تجمع مالون دی آلدهید و کاهش آسیب به برگ‌های خیار در شرایط تنش سرمایی می‌شود (Li et al., 2011). همچنین، گزارش شده است که تیمار سینامیک اسید با ایجاد شوک اکسیداتیو در گیاهان، منجر به پاسخ‌های دفاعی گیاهان به شرایط تنش شده و از این طریق گیاهان می‌توانند شرایط تنش را بهتر تحمل کنند (Singh et al., 2013).

همچنین، سرما ممکن است باعث ایجاد نقاط نکروزه و کلروز در برگ‌ها و شاخساره، تأخیر در رشد برگ‌ها، طولانی شدن چرخه سلولی، ایجاد پژمردگی و افزایش حساسیت به عوامل بیماری‌زا شود (Hussain et al., 2018). این تغییرات مورفولوژیکی می‌تواند به عنوان شاخص ظاهری آسیب سرما قلمداد شود. کاربرد خارجی سینامیک اسید در گیاهان ذرت، خیار و فلفل باعث بهبود رشد در این گیاهان شده و آثار تنش بر گیاه را کاهش داد، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Lin et al., 2020; Li et al., 2011). در این



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف سینامیک اسید بر شاخص سرمازدگی نشاء خیار رقم 'سوپر دامینوس' تحت تنش سرما

Figure 4- The effect of different concentrations of cinnamic acid on chilling index of cucumber cv. Super Dominus seedlings subjected to chilling stress (Duncan, $p \leq 0.05$)

افزایش پرولین، کلروفیل، فنل و محتوای رطوبت نسبی منجر به کاهش میزان نشت یونی و تجمع مالون دی آلدید در نشاءهای خیار تحت تنش سرما شد. در بیشتر صفات مورد ارزیابی در این مقاله (وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، محتوای رطوبت نسبی و فنل کل)، غلظت ۲۰۰ میکرومولار سینامیک اسید تأثیر بهتری بر تحمل سرمای گیاه نسبت به غلظت‌های دیگر در برابر شاهد داشت، که می‌توان برای استفاده در شرایط تنش سرمای استفاده از تیمار اسید سینامیک را توصیه کرد. با این وجود تحقیقات بیشتری نیاز است تا پتانسیل کاربردی استفاده از سینامیک اسید برای کاهش آثار سرما بر گیاهان در شرایط مزرعه شناخته شود.

از جمله این پاسخ‌های دفاعی می‌توان افزایش محلول‌های سازگار و بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی را نام برد (Sun Wang et al., 2007; et al., 2012). طبق نتایج نیز استفاده از تیمار سینامیک اسید سبب افزایش پرولین، کلروفیل و فنل کل شده و میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را کاهش داد و این تغییرات منجر به کاهش آثار ظاهری سرما بر نشاء خیار نیز شد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد سینامیک اسید سبب کاهش آثار تنش سرما بر نشاء خیار شد. بدین صورت که با

منابع

- 1- Aroca, R., Vernieri, P., Irigoyen, J.J., Sancher-Diaz, M., Tognoni, F., & Pardossi, A. (2003). Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays* L.) in avoiding chilling-induced water stress. *Plant Sciences* 165: 671–679. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00257-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00257-7)
- 2- Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39(1): 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.
- 3- FAO. (2021). FAOSTAT, agricultural database. <http://apps.FAO.Org>.
- 4- Gao, Y., Liu, W., Wang, X., Yang, L., Han, S., Chen, S., & Qiang, S. (2018). Comparative phytotoxicity of usnic acid, salicylic acid, cinnamic acid and benzoic acid on photosynthetic apparatus of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiology and Biochemistry* 128: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.037>.
- 5- Hussain, H.A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S.A., Men, S., & Wang, L. (2018). Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in Plant Science* 9: 393. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00393>.
- 6- Karadağ, B., & Yücel, N. C. (2017). Cinnamic acid and fish flour affect wheat phenolic acids and flavonoid compounds, lipid peroxidation, proline levels under salt stress. *Acta Biologica Hungarica* 68(4): 388–397. <https://doi.org/10.1556/018.68.2017.4.5>.
- 7- Korkmaz, A., Korkmaz, Y., & Demirkiran, A.R. (2010). Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedlings by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environmental and Experimental Botany* 67: 495–501. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.07.009>.
- 8- Kumar, S.P., & Kumar, C.V. (2014). Impact of cinnamic acid on physiological and anatomical changes in maize plants (*Zea mays* L.) grown under salinity stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry* 10(2): 1–13.
- 9- Lee, S.H., Singh, A.P., Chung, G.C., Kim, Y.S., & Kong, I.B. (2002). Chilling root temperature causes rapid ultrastructural changes in cortical cells of cucumber (*Cucumis sativus* L.) root tips. *Journal of Experimental Botany* 53(378): 2225–2237. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf071>.
- 10- Li, Q., Yu, B., Gao, Y., Dai, A.H., & Bai, J.G. (2011). Cinnamic acid pretreatment mitigates chilling stress of cucumber leaves through altering antioxidant enzyme activity. *Journal of Plant Physiology* 168(9): 927–934. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.025>.
- 11- Liang, S.M., Kuang, J.F., Ji, S.J., Chen, Q.F., Deng, W., Min, T., & Lu, W.J. (2020). The membrane lipid metabolism in horticultural products suffering chilling injury. *Food Quality and Safety* 4(1): 9–14. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa001>.
- 12- Lin, C.Y., Chung, H.H., Kuo, C.T., & Yiu, J.C. (2020). Exogenous cinnamic acid alleviates salinity-induced stress in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 48(3): 164–182. <https://doi.org/10.1080/01140671.2020.1765814>.
- 13- Liu, J.J., Lin, S.H., Xu, P.L., Wang, X.J., & Bai, J.G. (2009). Effects of exogenous silicon on the activities of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in chilling-stressed cucumber leaves. *Agricultural Sciences in China* 8(9): 1075–1086. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60315-6](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60315-6).
- 14- Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany* 46(12): 1843–1852. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.12.1843>.
- 15- Milic, B.L., Dijilas, S.M., & Canadanovic-Brunet, J.M. (1998). Antioxidative activity of phenolic compounds on metal-ion breakdown of lipid peroxidation system. *Food Chemistry* 61: 443–447. <https://doi.org/10.1016/S0308->

8146(97)00126-X.

- 16- Mohagheghian, E., & Ehsan Pour, A. (2021). Effect of Cinnamic acid on the activity of phenylalanine ammonialyase (PAL) and tyrosine ammonialyase (TAL) enzymes and some physiological characteristics of tobacco plant (*Nicotiana rustica* L.) under salinity stress in vitro culture. *Journal of Cell & Tissue* 12(2): 88-102. <https://doi.org/10.52547/JCT.12.2.88>.
- 17- Parkash, V., & Singh, S. (2020). A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. *Sustainability* 12(10): 3945. <https://doi.org/10.3390/su12103945>.
- 18- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules* 24(13): 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>.
- 19- Singh, P.K., Chaturvedi, V.K., & Singh H.B. (2011). Cross talk signaling: an emerging defense strategy in plants. *Current Science* 100(3): 288-289.
- 20- Singh, P.K., Singh, R., & Singh, S. (2013). Cinnamic acid induced changes in reactive oxygen species scavenging enzymes and protein profile in maize (*Zea mays* L.) plants grown under salt stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 19(1): 53-59. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0126-6>.
- 21- Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-158.
- 22- Stewart, R.R., & Bewley, J.D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology* 65(2): 245-248. <https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245>.
- 23- Strain, H.H., & Svec, W.A. (1966). Extraction, separation, estimation and isolation of the chlorophylls. *The Chlorophylls* 1: 22-66. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-3289-8.50008-4>.
- 24- Sun, W.J., Nie, Y.X., Gao, Y., Dai, A.H., & Bai, J.G. (2012). Exogenous cinnamic acid regulates antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in drought-stressed cucumber leaves. *Acta Physiologiae Plantarum* 34(2): 641-655. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0865-y>.
- 25- Trovato, M., Forlani, G., Signorelli, S., & Funck, D. (2019). Proline metabolism and its functions in development and stress tolerance. In *Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27423-8-2>.
- 26- Verstraeten, S.V., Keen, C.L., Schmitz, H.H., Fraga, C.G., & Oteiza, P.L. (2003). Flavan-3-ols and procyanidins protect liposomes against lipid oxidation and disruption of the bilayer structure. *Free Radical Biology and Medicine* 34: 84-92. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(02\)01185-1](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(02)01185-1).
- 27- Wang, C.Y. (1985). Modification of chilling susceptibility in seedlings of cucumber and zucchini squash by the bio regulator paclobutrazol (PP333). *Scientia Horticulturae* 26(4): 293-298. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(85\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(85)90013-5).
- 28- Wang, X., Wang, H., Wu, F., & Liu, B. (2007). Effects of cinnamic acid on the physiological characteristics of cucumber seedlings under salt stress. *Frontiers of Agriculture in China* 1(1): 58-61. <https://doi.org/10.1007/s11703-007-0010-2>.
- 29- Xu, P.L., Guo, Y.K., Bai, J.G., Shang, L., & Wang, X.J. (2008). Effects of long - term chilling on ultrastructure and antioxidant activity in leaves of two cucumber cultivars under low light. *Physiologia Plantarum* 132(4): 467-478. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01036.x>.
- 30- Ye, S.F., Zhou, Y.H., Sun, Y., Zou, L.Y., & Yu, J.Q. (2006). Cinnamic acid causes oxidative stress in cucumber roots, and promotes incidence of *Fusarium* wilt. *Environmental and Experimental Botany* 56(3): 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.010>.
- 31- Yu, J.Q., & Matsui, Y. (1997). Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *Journal of Chemical Ecology* 23(3): 817-827. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000006413.98507.55>.
- 32- Zhou, M.Q., Shen, C., Wu, L.H., Tang, K.X., & Lin, J. (2011). CBF-dependent signaling pathway: a key responder to low temperature stress in plants. *Critical Reviews in Biotechnology* 31(2): 186-192. <https://doi.org/10.3109/07388551.2010.505910>.



Study of Genetic Variation and Heritability of some Flower Traits in different Chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) Genotypes

B. Moradi Ashour^{1*}, K. Parvizi², M.H. Azimi³

Received: 17-10-2021

Revised: 28-10-2021

Accepted: 08-12-2021

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Moradi Ashour, B., Parvizi, K., & Azimi, M.H. (2022). Study of Genetic Variation and Heritability of some Flower Traits in different Chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) Genotypes. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 631-642. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2021.72920.1094](https://doi.org/10.22067/jhs.2021.72920.1094)

Introduction

The evaluation of morphological, phenological and agronomical characteristics is one of the first steps for the initial study of germplasm. It can also be conferred as basic information for the breeder to study genetic diversity for particular purposes. Chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) is a perennial herbaceous plant of the family *Asteraceae* with simple coniferous leaves and alternate arrangement on its branched stems and has composite flowers. The first stage in breeding programs is to study genetic variation of the selected plants. This study was conducted in order to evaluate the genetic variation of flower traits for selected Chrysanthemum genotypes for three years. Researchers use different methods to estimate genetic diversity of plants including DNA markers, isozymes and morphological traits. Use of morphological traits that are easily measured and have high heritability is a convenient tool to assess the level of genetic diversity of plants.

Materials and Methods

The origin of the tested genotypes was from the gene bank of the Research Institute of Flowers and Ornamental Plants. The results of random crosses between different chrysanthemum clones were evaluated. The research was conducted for four consecutive years. The aim of the first year experiment was positive selection of genotypes. In fact, the best genotypes were selected. In addition, negative selection of different genotypes was performed. During this selection period, similar genotypes were removed. Selected genotypes (20 genotypes) were evaluated based on a completely randomized design with three replications using seven morphological traits including number of flower per plant, period of flowering, flower diameter, number of petal row, petal length, Fresh weight and dry weight of flower. Statistical analyses including analysis of variance, correlation coefficient, and heritability, phenotypic and genotypic coefficient of variation were estimated using SAS 9.0 software.

Results and Discussion

After performing Bartlett test and confirming the uniformity of variances, combined analysis was performed for three years. The results of analysis of variance showed that the effect of the year was significant only for the number of flowers per plant and the flowering period. The results of three-year analysis of variance showed that there was significant difference among the genotypes for the number of flowers per plant, flowering period, number of petal rows, fresh and dry flower weight. There was a significant difference ($p \leq 0.05$) among the years only in flowering period and number of flowers per plant. The highest variation observed between flowering period and flower diameter. The highest coefficient of phenotypic and genetic variation obtained for the number of petal rows, flower fresh weight and petal length. The lowest coefficient of phenotypic and genetic variation obtained for fresh and dry flower weight and number of flowers per plant. The highest positive genetic and phenotypic correlation coefficient estimated between flowering period with flower diameter, number of rows of

1 and 2- Assistant Professor and Associate Professor, Department of Horticulture Crops Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: Behmoradi@hsri.ac.ir)

3- Assistant Professor of Ornamental Plant Researches Center, AREEO, Mahallat, Iran

petals and fresh weight of flowers which is important for the simultaneous breeding of these traits. The results of this study showed that flower diameter, flowering period, petal length and number of petal rows showed high general heritability. Therefore these results indicate that the selection process for these traits is effective and can be used in the breeding programs. The results of this study showed that highest number of petal rows belonged to B136 genotype. Genotype 31 with forty-three days of flowering period had the highest flowering length compared to other genotypes. Genotype C85 had 202 flowers per plant. These genotypes can be used as parents especially to increase the flowering period and the number of petal rows due to the general heritability of over fifty percent of these traits. It is also suggested that traits such as petal color and resistance to important pests (including black chrysanthemum aphid, flower thrips pest) and important diseases (including Fusarium wilt, verticillium wilt and leaf spot) should be studied. The superior genotype can be selected if statistically significant difference observed among of genotypes.

Conclusion

It is a fact that chrysanthemums has characteristics such as variation of flower shape and color, plant size, form and flowering period that is widely used in landscape. In this research significant difference observed among the genotypes. Also some of measured traits had a high general heritability due to the positive and significant correlation of these traits that can be used to improve other genotypes and their traits.

Keywords: Chrysanthemum, Genetic variation, Selection and heritability

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۴۲-۶۳۱

بررسی تنوع ژنتیکی و وراثت پذیری برخی ویژگی های گل در ژنوتیپ های مختلف داوودی (*Chrysanthemum morifolium*)

بهروز مرادی عاشور^{۱*} - خسرو پرویزی^۲ - محمد حسین عظیمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷

چکیده

اولین مرحله در هر برنامه اصلاحی، اطلاع از میزان تنوع موجود در مواد گیاهی است که برنامه به نژادی بر روی آن انجام می شود. این آزمایش به منظور بررسی تنوع ژنتیکی برخی خصوصیات مورفولوژیکی گل در ژنوتیپ های انتخابی گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) طی مدت سه سال در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس در طی سه سال نشان داد که بین ژنوتیپ ها برای صفات تعداد گل در بوته، طول دوره گلدهی، تعداد ردیف گلبرگ و وزن تر گل تفاوت معنی دار آماری وجود داشت. بین سال های آزمایش نیز تنها برای صفات طول دوره گل - دهی و تعداد گل در بوته تفاوت معنی دار آماری وجود داشت. بیشترین تنوع نیز بین صفات طول دوره گل دهی و قطر گل مشاهده گردید. بیشترین ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی برای صفات تعداد ردیف گلبرگ، وزن تر گل و طول گلبرگ به دست آمد و کمترین ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی برای صفت وزن تر و خشک گل و نیز تعداد گل در بوته بدست آمد. بیشترین ضرایب همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی مثبت بین طول دوره گل دهی با قطر گل، تعداد ردیف گلبرگ و وزن تر گل برآورد گردید که جهت اصلاح همزمان این صفات حائز اهمیت خواهد بود. نتایج این مطالعه نشان داد که صفات قطر گل، طول دوره گل دهی، طول گلبرگ و تعداد ردیف گلبرگ دارای وراثت پذیری عمومی بالایی بودند که این امر نشان دهنده این است که عمل گزینش برای این صفات موثر بوده و می توان از این صفات در برنامه های اصلاحی استفاده نمود. بیشترین تعداد ردیف گلبرگ مربوط به ژنوتیپ B136 بود. ژنوتیپ 31 نیز با چهل و سه روز طول دوره گل دهی بالاترین طول گل دهی را نسبت به سایر ژنوتیپ های بررسی شده در سال سوم به خود اختصاص داد. ژنوتیپ C85 با تعداد ۲۰۲ گل بیشترین در هر بوته را دارا بود. که می توان از این ژنوتیپ ها به عنوان والد، بخصوص جهت افزایش طول دوره گل دهی و افزایش تعداد ردیف گلبرگ سایر ارقام، با توجه به وراثت پذیری عمومی بالای پنجاه درصد این صفات استفاده نمود.

واژه های کلیدی: انتخاب و وراثت پذیری عمومی، تنوع ژنتیکی، داوودی

مقدمه

داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) گیاهی چند ساله علفی از تیره آستراسه (Asteraceae) با برگ های ساده کنگره دار با آرایش متناوب می باشد و ساقه های منشعب آن دارای گل آذین

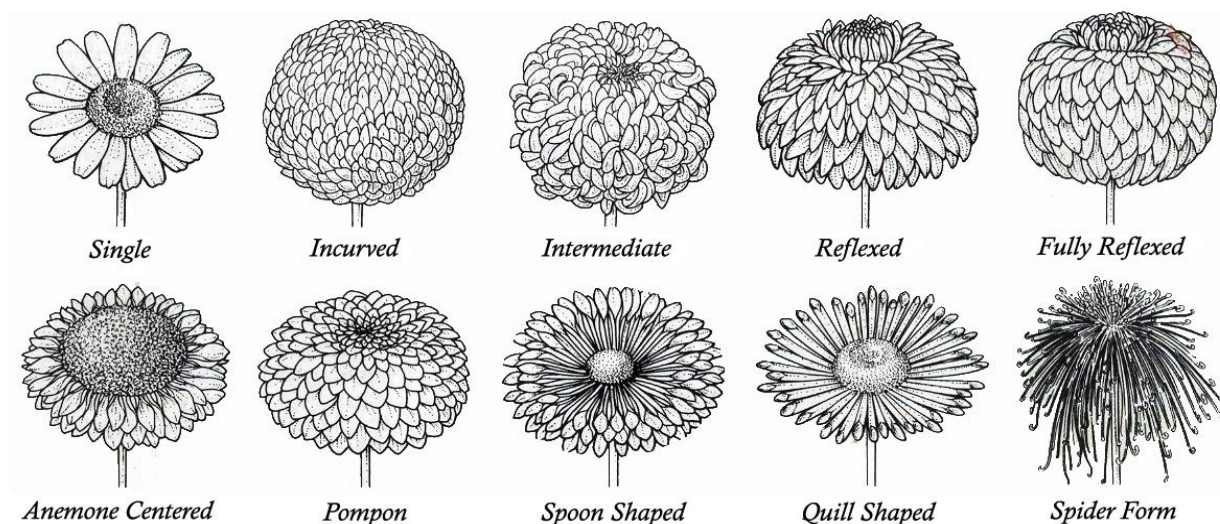
۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
(*)-نویسنده مسئول: Email: Behmoradi@hsri.ac.ir

۳- استادیار پژوهشی پژوهشکده گل و گیاهان زینتی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، محلات، ایران

کلاپرک می باشد (Shafee 2008 and; Langton et al., 1999). این گیاه بطور طبیعی بوسیله استولون هایی که به یک روزت از برگ ها ختم می شوند بقاء خود را تا چند سال حفظ می کند و علاوه بر آن به روش غیرجنسی و توسط قلمه تکثیر می شود. در برنامه های اصلاحی از بذر نیز برای ایجاد تنوع استفاده می گردد (Langton et al., 1999; Christopher, Patil et al., 1992; Christopher, 2003). گل داوودی، دگرگشن و هگزاپلوئید ($2n=6x=54$) می باشد اما تعداد کروموزوم در ارقام و گونه های مختلف، متغیر و متفاوت است. ابتدا به تنوع و نحوه توارث صفات مورفولوژیکی در داوودی که توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته، پرداخته می شود (Sarangi et al., 1994). ساختار پیچیده و متنوع گل در داوودی (شکل ۱ و ۲) و

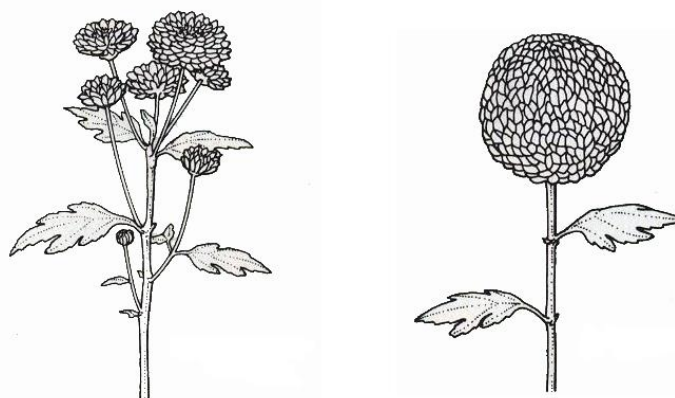
سالم تر بوده و ساقه‌های قوی‌تری تولید می‌نمایند و تنوع رنگ و فرم گل بیشتری دارند (Patil Christopher 2003 Shafee 2008 and et al., 1992).

ترکیب ژنتیکی بسیار پیچیده این گیاه منجر به ایجاد صدها رقم از آن گردیده (اکثر ارقام گل‌دهنده آن هگزاپلوئید می‌باشند). داودی‌های جدید علاوه بر قابلیت گل‌دهی در سراسر سال، نسبت به انواع اولیه



شکل ۱- شکل‌های مختلف گل در داوودی

Figure 1- Different shapes of *Chrysanthemum morifolium* flower



شکل ۲- فرم استاندارد (راست) و فرم اسپری (چپ) گل در داوودی

Figure 2- Standard form (right) and spray form (left) of *Chrysanthemum morifolium* flower.

به واریانس ژنوتیپی آنها نیز بستگی دارد. ارتباط نامطلوب بین صفات مهم میزان پیشرفت گزینش را کاهش می‌دهد (Abdmishani et al., 2000; Arora, 1999; Salehan, 2017; Sandhu et al., 1993; Sarangi et al., 1994 and Shafee, 2008). نتایج تنوع ژنتیکی گل داوودی توسط راگاو و همکاران (Raghava et al., 1992) نشان داد که، صفات ارتفاع گل، تعداد روز تا گل‌دهی، اندازه گل، تعداد گل در گیاه و عملکرد گل دارای وراثت-پذیری بالایی هستند. همچنین بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی را در مورد صفات عملکرد گل در گیاه و تعداد گل در گیاه و اندازه گل

اکثر صفات کمی پیچیده می‌باشند و به مقدار زیاد تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند، به این علت برآوردهای وراثت‌پذیری مفید هستند. مطالعه همبستگی صفات مهم و اقتصادی برای انجام گزینش توام در برنامه‌های اصلاحی اهمیت دارد (Patil et al., 1992; Sharma, 1998)، این امر بیانگر برتری گزینش همزمان برای بیش از یک صفت است. به عنوان مثال اغلب ارقام زودرس از گل‌های کوچک برخوردار هستند. بهبود یک صفت از طریق گزینش برای صفت دیگر، نه تنها با همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی مرتبط است، بلکه

مطالعه گوناگونی ژنتیکی در میان مواد ژنتیکی، فرصت گزینش والد‌های متفاوت را برای دورگ‌گیری فراهم می‌آورد، انتظار می‌رود این نوع والد‌ها در ترکیب با سایر والد‌ها نتایج تفکیک یافته برتری را تولید کنند (Kearsey *et al.*, 1996; Desh *et al.*, 1998; Moradiashour *et al.*, 2019). به همین دلیل پژوهشی به مدت سه سال به منظور بررسی تنوع ژنتیکی جهت استفاده در برنامه‌های به نژادی آینده به خصوص در گزینش والد‌های متفاوت برای دورگ‌گیری انجام گردید.

مواد و روش‌ها

تعداد ۲۰ ژنوتیپ از بانک ژن پژوهشکده گل و گیاهان زینتی محلات برای انجام این پژوهش تهیه شدند. در این پژوهش، نتایج حاصل از تلاقی‌های تصادفی بین کلون‌های مختلف داوودی مورد ارزیابی قرار گرفتند. پژوهش در طی چهار سال متوالی (۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶) در این پژوهشکده انجام شد. در سال اول، گزینش مثبت ژنوتیپ‌ها صورت گرفت که در واقع ژنوتیپ‌های برتر انتخاب گردیدند. علاوه بر این، گزینش منفی ژنوتیپ‌ها انجام شد که طی این سال‌ها ژنوتیپ‌های مشابه حذف گردیدند. در سال دوم، سوم و چهارم (۸۳، ۸۴ و ۸۵) ژنوتیپ‌های انتخاب شده از سال‌های قبل، به مدت سه سال، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی که ژنوتیپ‌ها (۲۰ ژنوتیپ) به عنوان تیمار در نظر گرفته شده بودند در ۳ تکرار کشت گردیدند (جدول ۱)، هر واحد آزمایشی شامل ۵ ردیف به طول ۲ متر، فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر، و درون ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. دو ردیف کناری بعنوان حاشیه در نظر گرفته شدند، به منظور اندازه‌گیری تنوع ژنتیکی داخل ژنوتیپ‌ها و مطمئن بودن از یکنواختی آنها تعدادی بوته (۱۰ بوته) به صورت تصادفی انتخاب شدند.

مشاهده نمودند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و اندازه گل، تعداد گل در گیاه و عملکرد گل، تعداد روز تا گلدهی و تعداد گل در بوته و عملکرد گل در گیاه، اندازه گل و عملکرد گل در بوته، تعداد گل در بوته و عملکرد گل در گیاه مشاهده نمودند. تحقیقات سیروهی و همکاران (Sirohi *et al.*, 2000) در ۵۷ ژنوتیپ داوودی نشان داد که ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی بالایی برای صفات تعداد گل در هر گیاه و قطر دیسک وجود دارد. وراثت‌پذیری و همچنین پیشرفت ژنتیکی بالایی برای صفات تعداد شاخه در هر گیاه تعداد گلبرگ در هر گل و قطر دیسک مشاهده گردید. همچنین ضرایب تنوع فنوتیپی نسبت به ضرایب تنوع ژنتیکی برای تمام صفات مطالعه شده بالاتر بودند (Sirohi *et al.*, 2000). در مطالعه پاتیل و همکاران (Patil *et al.*, 1992) در ۱۵ ژنوتیپ داوودی همراه با ۱۵ صفت کمی، تنوع معنی‌داری در بین ارقام برای تمام صفات مشاهده شد، وراثت‌پذیری عمومی و پیشرفت ژنتیکی بالایی برای تعداد برگ، سطح برگ و تعداد گل در بوته بدست آورده شد. در تحقیقی توسط لانگتن و همکاران (Longton *et al.*, 1999)، مشاهده گردید که بیشترین میانگین طول ساقه گل داوودی و وزن تازه مربوط به رقم اسنودون بود. بیشترین وزن تازه در فصل تابستان در مقایسه با سایر فصول بدست آمد. ولی بیشترین وزن گل در بهار مشاهده گردید. همچنین کمترین وزن گل در فصل پاییز مربوط به واریته دلتا بود. بیشترین تنوع برای صفات وزن گل، ارتفاع و سرعت گل‌دهی مربوط به واریته اسنودون بود که پس از گزینش این تنوع به حداقل رسید (Longton *et al.*, 1999). با توجه به اینکه اولین مرحله در هر برنامه اصلاحی اطلاع از میزان تنوع موجود در مواد گیاهی است که برنامه به نژادی بر روی آن انجام می‌شود (Sandhu *et al.*, Hedge *et al.*, 1997; Sarangi *et al.*, 1993 and 1994). این اطلاعات به متخصصین اصلاح نباتات کمک می‌کند تا با توجه به مشخصات مواد گیاهی مورد آزمایش، روش اصلاحی مطلوب را در مورد هر صفت پی‌گیری نمایند.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های داوودی بررسی شده در طی سه سال

Table 1- *Chrysanthemum morifolium* genotypes studied during three years

شماره No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
کد ژنوتیپ Genotype code	B98	33	80	48	A87	B136	125	178	A143	22	165	A105	31	116	100	115	48	F3	C85	B117

از قراردادن در آون ۷۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت)، طول گلبرگ (به میلی‌متر)، از بزرگ‌ترین گل در هر بوته و تعداد ردیف گلبرگ (شمارش بیشترین تعداد ردیف گلبرگ موجود در هر گل). داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات فوق، در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه واریانس قرار گرفت.

صفات مورد ارزیابی در این آزمایش بر اساس دستورالعمل UPOV (Sirohi *et al.*, 2000) عبارتند از: طول دوره گل‌دهی (تفاوت تعداد روز تا اولین گل‌دهی و تعداد روز تا آخرین گل‌دهی)، تعداد گل در بوته (شمارش تعداد گل موجود در هر بوته)، قطر گل (به میلی‌متر در هر بوته)، وزن ترگل (به گرم)، وزن خشک گل (گرم پس

ژنتیکی (δ^2_{gx}) را محاسبه: $MS_t - MS_e / t$ و سپس از طریق فرمول زیر (رابطه ۳) وراثت‌پذیری عمومی (h^2_{BS}) برآورد می‌گردد (δ^2_{phx}) واریانس فنوتیپی):

$$\text{رابطه ۳: } h^2_{BS} = \delta^2_{gx} / \delta^2_{phx}$$

در تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های این آزمایش از نرم افزارهای آماری SAS و Excel استفاده گردید (Kearsey et al., 1996; Moradiashour et al., 2019). ژنوتیپ‌های نهایی انتخاب شده در سه سال تواما مورد آنالیز قرار گرفت که متغیر سال به عنوان متغیر تصادفی و ژنوتیپ بعنوان متغیر ثابت در نظر گرفته شد و براساس امید ریاضی هر منبع تغییر، مخرج F تعیین و F مورد نظر محاسبه، سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های ژنوتیپ‌ها طی سه سال (تجزیه مرکب)

پس از انجام آزمون بارتلت و تایید یکنواختی واریانس‌ها اقدام به تجزیه مرکب سه سال باهم گردید. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال تنها درمورد صفات تعداد گل در بوته و طول دوره گل‌دهی معنی‌دار بوده و سال‌های مختلف بر سایر صفات موثر نبود. برای تفسیر بهتر و ارایه بهتر نتایج صفات بطور جداگانه آورده می‌شود:

میانگین مربعات محاسبه شده برای هر منبع تغییر و برای هر صفت بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات به اجزای آن تفکیک گردید. واریانس ژنتیکی و همچنین کوواریانس فنوتیپی و ژنوتیپی (میانگین حاصل‌ضرب‌ها MP) محاسبه و برآورد گردید (Bhatt 1973; Sharma 1998). برای مطالعه ارتباط بین صفات مختلف با یکدیگر ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی براساس کوواریانس‌های آنها بین صفات محاسبه گردید (Shafee Sarangi et al., 1994; 2008). ضرایب همبستگی ژنوتیپی (r_g) با استفاده از تجزیه و تحلیل کوواریانس و برآورد مقادیر واریانس و کوواریانس با توجه به فرمول زیر (رابطه ۱) محاسبه گردیدند:

$$\text{رابطه ۱: } r_g = \delta_{gxy} / \sqrt{\delta^2_{gx} \times \delta^2_{gy}}$$

در این فرمول، δ_{gxy} جزء متشکله کوواریانس ژنتیکی، δ^2_{gx} و δ^2_{gy} به ترتیب جزء متشکله واریانس ژنتیکی برای صفات X و Y می‌باشند. در محاسبه همبستگی فنوتیپی (r_{ph}) از فرمول زیر (رابطه ۲) استفاده گردید.

$$\text{رابطه ۲: } r_{ph} = \delta_{gxy} + \delta_{xy} / \sqrt{(\delta^2_{gx}/t + \delta^2_{x}/t) (\delta^2_{gy}/t + \delta^2_{y}/t)}$$

در این فرمول δ_{xy} جزء متشکله کوواریانس محیطی و δ^2_x و δ^2_y به ترتیب جزء متشکله واریانس محیطی برای صفات X و Y می‌باشند. برای برآورد وراثت‌پذیری عمومی صفت X، با توجه به امید ریاضی میانگین مربعات از تفاوت میانگین مربعات تیمار (MS_t) از میانگین مربعات خطا (MS_e) تقسیم بر تعداد تکرار (t)، واریانس

جدول ۲- نتایج آمار توصیفی (میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار و ضریب تغییرات) صفات اندازه گیری شده در ژنوتیپ‌های داوودی

Table 2- Results of descriptive statistics (mean, minimum, maximum, standard deviation and coefficient of variation) measured traits of *Chrysanthemum morifolium* genotypes

صفات Traits	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تغییرات Coefficient of variation
تعداد گل در بوته Number of flower per plant	124.94	5	202	36.5	17.12
طول دوره گلدهی Period of flowering (day)	30.26	7	43	24.24	21.32
قطر گل Flower diameter (mm)	44.02	18.45	76.81	12.2	24.41
تعداد ردیف گلبرگ Number of petal row	11.43	1	32	22.21	19.32
طول گلبرگ Petal length (mm)	33.16	12.15	65.88	24.07	26.54
وزن ترگل Flower fresh weight (g)	10.52	5.4	167.37	25.83	29.69
وزن خشک گل Flower dry weight (g)	3.79	1.12	33	42.52	31.32

تعداد گل در بوته

نشان دادند (جدول ۳). این صفت نسبت به سایر صفات دارای وراثت پذیری عمومی پایینی بوده (کمتر از ۵۰ درصد) و دارای ضریب تنوع

ژنوتیپ‌ها از لحاظ این صفت تفاوت معنی‌دار آماری با یکدیگر

تعداد ردیف گلبرگ (گل‌چه‌های زبانه‌ای)

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) ژنوتیپ‌های مختلف از لحاظ این صفت تفاوت معنی‌دار آماری داشتند. ضریب همبستگی این صفت تنها قطر گل و طول دوره گل‌دهی مثبت و معنی‌دار بود، و با سایر صفات همبستگی معنی‌داری نداشت (جدول ۵). به این معنی که با افزایش تعداد ردیف گلبرگ، قطر گل و طول دوره گل‌دهی نیز افزایش داشته است. با توجه به معنی‌دار شدن ضرایب همبستگی ژنتیکی این صفت با صفات فوق‌الذکر می‌توان عمل‌گزینش را برای هر کدام از صفات به منظور افزایش صفت دیگر انجام داد. ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی این صفت نسبتاً بالا بوده به عبارت دیگر از تنوع متوسطی برخوردار می‌باشد، لانگتون و همکاران (Longton et al., 1999) و سیروهی و همکاران (Sirohi et al., 2000) نیز همبستگی بالایی بین این صفت با طول دوره گلدهی برآورد نمودند. وراثت‌پذیری این صفت نسبت به سایر صفات نسبتاً بالا (۵۱/۲ درصد) بوده، به عبارت دیگر سهم ژنتیک در بروز این صفت و تنوع آن بالا می‌باشد که می‌توان از این صفت جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده نمود (جدول ۴). نهایتاً ژنوتیپ B136 دارای بیشترین تعداد ردیف گلبرگ بود (جدول ۷).

طول گلبرگ (گل‌چه‌های زبانه‌ای)

تفاوت معنی‌دار آماری بین ژنوتیپ‌ها در طی سه سال برای این صفت مشاهده نگردید (جدول ۳)، همچنین ضریب همبستگی معنی‌داری با سایر صفات مشاهده نگردید (جدول ۵). اما وراثت‌پذیری عمومی بالایی در مورد این صفت مشاهده گردید که می‌توان مستقل از سایر صفات نسبت به انتخاب ژنوتیپ‌های با طول گلبرگ بیشتر اقدام نمود (جدول ۴). ژنوتیپ‌های 48، A87 و A143 دارای گلبرگ‌های بلندتری بودند (جدول ۳ و ۷). پاتیل و همکاران (Patil et al., 1992) و راگاو و همکاران (Raghava et al., 1992) نیز وراثت-پذیری بالایی برای طول گلبرگ برآورد نمودند.

وزن تر گل

بین ژنوتیپ‌ها درمورد این صفت تفاوت معنی‌دار آماری وجود داشت (جدول ۳) ضریب همبستگی این صفت تنها با طول دوره گل‌دهی و وزن خشک گل معنی‌دار بوده و با سایر صفات ارتباط معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). و نیز وراثت‌پذیری این صفت نسبت به سایر صفات پایین (۱۷/۶ درصد) بوده به عبارت دیگر سهم ژنتیک در بروز این صفت نسبت به سایر صفات پایین می‌باشد (جدول ۴). سیروهی و همکاران (Sirohi et al., 2000)، لانگتون و همکاران (Longton et al., 1999) نیز تنوع قابل ملاحظه‌ای از لحاظ این صفت مشاهده نمودند.

بالای فنوتیپی بوده (۶۷/۶۶) به عبارت دیگر این صفت تحت تاثیر محیط بوده و سهم ژنتیک در بروز این صفت و تنوع آن پایین است (جدول ۴). صفت مورد بررسی با صفات طول گلبرگ و طول دوره گل‌دهی همبستگی منفی و معنی‌داری داشته بنابراین با افزایش تعداد گل در بوته طول گلبرگ کاهش یافته است (جدول ۵) که از بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ C85 با تعداد ۲۰۲ گل در هر بوته دارای بیشترین تعداد گل در هر بوته می‌باشد (جدول ۲ و ۷). نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتیجه سیروهی و همکاران (Sirohi et al., 2000) که بر روی ۵۷ ژنوتیپ داوودی انجام دادند مطابقت دارد و آن‌ها نیز ضرایب تنوع فنوتیپی بالاتری را نسبت به ضرایب تنوع ژنتیکی در صفت تعداد گل در هر بوته مشاهده کردند.

طول دوره گل‌دهی

با توجه به اینکه گل داوودی با ویژگی‌هایی مانند تنوع فرم و رنگ گل، اندازه بوته، توانایی فرم‌پذیری و طول دوره گل‌دهی کاربرد زیادی در فضای سبز دارد (Christopher, 2003). بهبود این ویژگی مطلوب می‌تواند کاربرد این گیاه را در فضای سبز بیشتر نماید (Salehan et al., 2017). بر اساس نتایج جدول ۳ بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده گردید و وراثت‌پذیری عمومی نسبتاً خوبی (۵۸/۵ درصد) را دارا بود که می‌توان از این صفت جهت بهبود ژنوتیپ‌های دیگر، همچنین افزایش صفات دیگر با توجه همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت بخصوص با صفات قطر گل و تعداد ردیف گلبرگ استفاده نمود (جدول ۴ و ۵). پاتیل و همکاران (Patil et al., 1992) نیز وراثت‌پذیری بالایی ۵۰ درصد برای این صفت بدست آوردند. ژنوتیپ 31 با چهل و سه روز طول دوره گل‌دهی بالاترین دوره گل‌دهی را نسبت به سایر ژنوتیپ‌های بررسی شده داشت (جدول ۶).

قطر گل

ژنوتیپ‌ها از لحاظ قطر گل تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند (جدول ۳)، اما ضریب همبستگی این صفت با طول دوره گل‌دهی و تعداد ردیف گلبرگ، مثبت و معنی‌دار و با بقیه صفات همبستگی معنی‌داری نداشت. به این معنی که با افزایش طول دوره گل‌دهی و تعداد ردیف گلبرگ، قطر گل نیز افزایش می‌یابد که از این نظر با توجه به وراثت‌پذیری عمومی بالای این صفت (۶۱/۲ درصد) می‌توان در برنامه‌های اصلاحی بر انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از این صفت استفاده نمود (جدول ۵). برنامه‌های به‌نژادی گل داوودی روی ویژگی‌های مهم از جمله ویژگی‌های زینتی مثل اندازه و شکل گل، کیفیت تولید و پاسخ به شرایط محیطی متمرکز شده است (Longton et al., 1999; Shafee, 2008).

جدول ۳- تجزیه مرکب صفات اندازه گیری شده ژنوتیپ‌های داودی طی سه سال
Table 3- Combined-ANOVA for the measured traits in *Chrysanthemum* during three years (Combined analysis)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد گل در بوته Number of flower per plant	مدت دوره گلدهی Period of flowering	قطر گل Flower Diameter	تعداد ردیف گلبرگی Number of petal row	طول گلبرگی Petal length	وزن تر گل Flower fresh weight
سال Year	2	46414.91 [*]	5778.03 [*]	629.13 ^{ns}	12.74 ^{ns}	495.87 ^{ns}	411.64 ^{ns}
تکرار درون سال Replication in year	6	10642.30 ^{**}	1315.76 [*]	286.07 ^{ns}	2429.45 ^{**}	864.17 [*]	836.22 ^{**}
ژنوتیپ Genotype	19	7410.25 [*]	1732.61 [*]	704.42 ^{ns}	1866.31 ^{**}	601.83 ^{ns}	1101.37 ^{**}
ژنوتیپ×سال Genotype×Year	38	4224.28 ^{ns}	434.68 ^{ns}	1201.82 ^{**}	780.67 ^{ns}	417.65 ^{ns}	996.88 [*]
خطا Error	114	3873.07	577.99	545.84	877.66	374.63	157.08
							1874.76

ns **, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.
ns **, * and * : non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

جدول ۴- برآورد اجزای واریانس، ضرایب تغییرات فنوتیپی، ژنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی برای صفات مختلف گل داوودی

Table 4- Estimation of variance components, phenotypic, genotypic coefficients of variation and heritability for different traits in *Chrysanthemum*

صفات Traits	وراثت‌پذیری عمومی Heritability (%)	واریانس	اجزای	برآورد	تغییرات	ضریب
		Estimation of	components of	variance	Variation	Coefficient
		فنوتیپی Phenotypic	ژنوتیپی Genotypic	محیطی Environment	فنوتیپی Phenotypic	ژنوتیپی Genotypic
تعداد گل در بوته Number of flower per plant	21	732.61	153.84	577.99	67.66	17.947
طول دوره گلدهی Period of flowering) (day)	58.5	1101.37	644.301	157.08	48.286	27.197
قطر گل Flower Diameter (mm)	61.2	26681.15	16328.863	1874.76	39.842	32.751
تعداد ردیف گلبرگ Number of petal row	51.2	704.42	360.663	545.84	48.370	15.989
طول گلبرگ Petal length (mm)	53.9	7410.25	3993.99	3873.07	50.681	28.193
وزن تر گل Fresh weight of flower (g)	17.6	1866.31	328.47	877.66	55.013	32.558
وزن خشک گل Dry weight of flower (g)	12.5	601.83	75.228	374.73	35.448	20.311

وزن خشک گل

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس بین ژنوتیپ‌ها از نظر این صفت طی سه سال تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده گردید (جدول ۳). ضریب همبستگی این صفت با قطر گل و وزن تر گل مثبت و معنی‌دار و با تعداد گل در بوته منفی و معنی‌دار بود (جدول ۵)، به این معنی که هرچه قطر گل و وزن تر گل افزایش یافته وزن خشک گل نیز افزایش یافته است. با افزایش تعداد گل در بوته، وزن خشک گل کاهش یافته است (جدول ۵). ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی این صفت پایین (به ترتیب ۳۵/۴۴ و ۲۰/۳۱ درصد) بوده به عبارت دیگر از تنوع پایینی برخوردار می‌باشد، و نیز وراثت‌پذیری این صفت نسبت به سایر صفات پایین (۱۲/۵ درصد) بوده به عبارت دیگر سهم ژنتیک در بروز این صفت نسبتاً پایین و تنوع آن کم است (جدول ۴). صالحان و نظریان فیروزآبادی (Salehan et al., 2017) نیز تنوع قابل ملاحظه‌ای در وزن خشک گل داوودی ملاحظه نکردند که با نتیجه حاصل از آزمایش ما مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

بررسی خصوصیات مورفولوژیک، فنولوژیک و زراعی از جمله اولین قدم‌ها برای بررسی اولیه ژرم‌پلاسم بوده و به عنوان اطلاعات پایه

برای به‌نژادگر در امر بررسی تنوع ژنتیکی دارای اهمیت ویژه‌ای است (Salehan et al., 2017). ژنوتیپ‌های 48، A87 و A143 تفاوت معنی‌داری با سایر ارقام داشته و دارای گلبرگ‌های بلندتری بودند. ژنوتیپ B136 بیشترین تفاوت معنی‌دار را در تعداد ردیف گلبرگ با سایر ژنوتیپ‌های بررسی شده در سه سال پژوهش داشت (جدول ۷). ژنوتیپ ۳۱ با چهل و سه روز طول دوره گل‌دهی بالاترین طول گل‌دهی را نسبت به سایر ژنوتیپ‌های بررسی شده در طی سه سال به خود اختصاص داد. ژنوتیپ C85 با تعداد ۲۰۲ گل در هر بوته تفاوت معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها داشته و دارای بیشترین تعداد گل در هر بوته است (جدول ۶). نتایج این مطالعه نشان داد که صفات قطرگل، طول دوره گل‌دهی، طول گلبرگ و تعداد ردیف گلبرگ به ترتیب بالاترین وراثت‌پذیری (بالای ۵۰ درصد) را داشته که نشان‌دهنده این است که عمل‌گزینش برای این صفات موثر بوده و می‌توان از این صفات جهت بهبود و اصلاح ارقام، در برنامه‌های اصلاحی آینده استفاده نمود. همچنین پیشنهاد می‌شود که صفاتی از قبیل رنگ گلبرگ‌ها و مقاومت به آفات مهم (از جمله شته سیاه داوودی، تریپس غربی گل) و بیماری‌های مهم (از جمله پژمردگی فوزاریومی، ورتیسلیومی و لکه برگ) نیز مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گیرد تا اگر تفاوت معنی‌دار آماری در آنها مشاهده گردید نسبت به انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در بین آنها اقدام شود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که

ژنوتیپ‌ها از نظر تفاوت در سطح DNA جهت بررسی تنوع ژنتیکی
 دقیق‌تر، از نشانگرهای مولکولی مختلف بخصوص DNA
 Barcoding, SSR و ... استفاده نمود تا تفاوت این ژنوتیپ‌ها در این
 سطح مشخص گردد تا اگر مقاومت به بیماری و آفت خاصی در آنها
 مشاهده شد مارکر پیوسته با آن نیز یافت و جهت گزینش ژنوتیپ‌های
 برتر و مقاوم از آن استفاده نمود.

جدول ۵- ضرایب همبستگی فنوتیپی (پایین قطر) و ژنوتیپی (بالای قطر) بین صفات مختلف در ژنوتیپ‌های گل داوودی (n=20)
 Table 5- Phenotypic (below of diagonal), genetic (above of diagonal) correlation coefficient of traits in chrysanthemum genotypes

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7
تعداد گل در بوته 1- Number of flower per plant	1	-0.46*	0.16	0.01	-0.43*	-0.16	-0.44*
طول دوره گلدهی-2 Period of flowering (days)	-0.49*	1	0.80**	0.51*	-0.61**	0.36	0.24
قطر گل-3 Flower Diameter (mm)	0.18	0.82**	1	0.40*	-0.51*	0.35	0.38*
تعداد ردیف گلبرگ-4 Number of petal row	0.02	0.52**	0.41*	1	0.01	-0.05	0.31
طول گلبرگ-5 Petal length (mm)	-0.44*	-0.67**	-0.52**	0.01	1	-0.02	-0.06
وزن تر گل-6 Flower fresh weight (g)	-0.17	0.38*	0.36	-0.07	-0.03	1	0.57**
وزن خشک گل-7 Flower dry weight (g)	-0.45*	0.25	0.39*	0.33	-0.08	0.59**	1

ضرایب همبستگی بزرگتر از ۰/۳۷۸ و کوچکتر از -۰/۳۷۸ در سطح احتمال ۵ درصد و ضرایب همبستگی بزرگتر از ۰/۵۱۶ و کوچکتر از -۰/۵۱۶ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار هستند.

Correlation coefficients greater than 0.378 and less than -0.378 at the 5% of probability level and correlation coefficients greater than 0.516 and less than -0.516 at the 1% of probability level are significant.

جدول ۶- صفات طول دوره گلدهی، تعداد گل در بوته، قطر گل و وزن تر گل در ژنوتیپ‌های داوودی
 Table 6- The traits of flowering period, number of flowers per plant, flower diameter and fresh weight of flower in *Chrysanthemum morifolium* genotypes

وزن تر گل Flower fresh weight	شماره ژنوتیپ‌ها No. Genotype	قطر گل Flower Diameter (mm)	شماره ژنوتیپ‌ها No. Genotype	تعداد گل در بوته Number of flower per plant	شماره ژنوتیپ‌ها No. Genotypes	طول دوره گلدهی Period of flowering (day)	شماره ژنوتیپ‌ها No. Genotypes
167.37a	6	76.81a	9	202a	19	43a	13
153ab	9	73.06ab	11	188ab	7	31b	14
142.67ab	5	67.10abc	19	188ab	4	29b	8
140.67ab	17	62.83a-d	10	187ab	16	26b	12
139.67ab	3	51.35a-e	8	187ab	9	25b	17
121.33ab	13	49.49a-f	1	187ab	11	25b	16
120.33ab	11	47a-f	3	186ab	2	24b	19
110.5ab	4	45.1b-f	15	111 abc	1	23b	3
95.67b	16	43.11b-f	12	109 abc	3	22b	2
90.67b	1	41.01c-f	16	104.5 abc	12	21b	9
88.67b	19	40.5c-f	18	99.9 abc	8	20b	7
86b	12	38.6c-f	6	95.67 abc	5	20b	4
82.4b	14	36.62c-f	2	93 abc	17	20b	5
82b	8	35.11c-f	4	92 abc	20	20b	1
75.41b	15	34.38def	7	87.5 abc	15	18bc	11
74b	20	28.4ef	14	78.33 abc	10	17bc	15
73b	18	27.14ef	5	54.3bcd	13	16c	10
46.33bc	7	23.12ef	20	35.2cd	14	15c	18
33.19bc	10	20.2f	17	24.3 cd	6	13c	6
5.4d	2	18.45f	13	5e	18	7c	20

در هر ستون و برای هر تیمار آزمایش، تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیست.

In each column and for each experimental treatment, the difference between the means having at least one common letter is not significant at the 1% of probability level based on Duncan's multiple ranges test.

جدول ۷- صفات وزن خشک گل، طول گلبرگ و تعداد ردیف گلبرگ در ژنوتیپ‌های داوودی

Table 7- The flower dry weight, petal length and number of petal rows in *Chrysanthemum morifolium* genotypes

تعداد ردیف گلبرگ Number of petal row	شماره ژنوتیپ‌ها No. Genotypes	طول گلبرگ Petal length (mm)	شماره ژنوتیپ‌ها No. Genotypes	وزن خشک گل Flower dry weight (g)	شماره ژنوتیپ‌ها No. Genotypes
32a	6	65.88a	17	33a	6
25ab	5	55ab	5	27a	9
22b	9	44.15ab	9	26.94ab	5
17b	11	38.47b	11	24.13abc	17
14b	13	36.73b	10	12.7abcd	3
10b	2	32.1b	19	11.13bcde	13
9b	10	26.01b	8	10.63bcde	11
7b	17	23.92b	1	9.94cde	4
6b	16	22.57b	15	9.46cde	16
5b	7	22.21b	16	9.19cde	1
4b	15	21.33b	18	8.95cde	19
4b	14	20.22b	3	8.58cde	12
4b	3	19.67b	2	8.5cde	14
4b	19	18.15b	7	8.4cde	8
4b	12	17.96b	6	8.1cde	15
4b	8	17.43b	14	7.9cde	20
1b	20	14.73b	4	7.64cde	18
1b	4	14.48b	20	6.94de	7
1b	18	13.79b	13	3.75e	10
1b	1	12.10a	12	1.12f	2

در هر ستون و برای هر تیمار آزمایش، تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیست.
In each column and for each experimental treatment, the difference between the means having at least one common letter is not significant at the 1% of probability level based on Duncan's multiple range test.

منابع

- 1- Abdmishani, S., & Shahnejat-Boushehri, A. (2000). *Supplementary breeding plants*. Vol.1 Publication of Tehran University. (In Persian)
- 2- Arora, J.S. (1999). *Introductory ornamental horticulture*. Kalyani Publishers. India.
- 3- Bhatt, G.H. (1973). Significance of path coefficient analysis in determining the nature of character association. *Euphytica* 22: 338-343. <https://doi.org/10.1007/BF00022643>.
- 4- Christopher, B. (2003). *The royal horticultural society A-Z encyclopedia of garden plants*. Pub. Garden book. London.
- 5- Desh, R., Mesrs, R., & Lord Raj, D. (1998). Genetic variability in gladiolus. *Journal of Ornamental Horticultural* 4: 1-8.
- 6- Hegde, M.V., Rajendra, P., & Harish, S. (1997). Path analysis studies in gladiolus. *Advances in Agricultural-Research in India* 8: 37-39. <https://doi.org/10.31018/jans.v10i1.1607>.
- 7- Kearsey, M.J., & Pooni, H.S. (1996). *The genetically analysis of quantitative traits*. Chapman & Hall. 380 pp. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-4441-2>.
- 8- Langton, F., Benjamin, L.R., & Edmondson, R.N. (1999). The effect of crop density on plant growth and variability in cut-flower chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74(4): 493-50. <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511142>.
- 9- Moradiashour, B., Rabeie, M., Shiran, B., & Houshmand, S. (2019). Evaluation of genetic variation and heritability of some fruit traits in pomegranate genotypes. *Journal of Horticultural Science* 32(4): 555-566. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i4.67158>.
- 10- Patil, A., Hemalata, B., & Nalawadia, U. (1992). Variability studies in chrysanthemum. *Progressive Horticulture* 24(1-2): 35-59.
- 11- Raghava, S., Negi, S., & Nancharaiah, D. (1992). Genetic variability, correlation and path analysis in chrysanthemum. *Indian Journal of Horticulture* 49(2): 200-204.
- 12- Salehan, S.M., & Nazarian, F. (2017). Phylogenetic analysis of *Chrysanthemum morifolium* cultivars by rpoC chloroplastic gene sequencing and morphological traits. *Plant Genetic Researches* 4(1): 89-103. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/pgr.4.1.89>.
- 13- Sandhu, G., Sharma, SC., & Arora, JS. (1993). Association among morphological traits in Gladiolus. *Punjab Horticultural Journal* 30(1-4): 191-195. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v26i1.2027>.

- 14- Sarangi, DK., Malla, G., Biswas, MR., & Chattopachyay, TK. (1994). Studies on genetic variability in Gladiolus. *Journal of Ornamental Horticultural* 15(2): 144-146.
- 15- Shafee, M.R. (2008). Crossing of among chrysanthemum clones, creating variation for introducing new cultivars. Final Reports of Research Design. 87/1416. (In Persian)
- 16- Sharma, J R. (1998). *Statistical and biometrical techniques in plant breeding*. H. S. Pop; India. 432 PP.
- 17- Sirohi, PS., & Behera, TK. (2000). Genetic variability in chrysanthemum. *Journal of Ornamental Horticulture New Series* 3(1): 34-36. <https://doi.org/10.5958/2249-880X.2018.00001.4>.



Effect of Salicylic acid Application on Morphophysiological Traits of *Physalis peruviana* L. under Deficit Water Stress

S. Siahmansour¹, A. Ehtesham Nia^{2*}, A. Rezaei Nejad³

Received: 17-10-2021

Revised: 28-10-2021

Accepted: 19-01-2022

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Siahmansour S., Ehtesham Nia A., Rezaei Nejad A. (2022). Effect of Salicylic acid Application on Morphophysiological Traits of *Physalis peruviana* L. under Deficit Water Stress. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 643-655. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/JHS.2022.72985.1096](https://doi.org/10.22067/JHS.2022.72985.1096)

Introduction

Reduction of water available to the plant leads to many morphological, physiological and biochemical changes in plant cell and plant organs activity will be directly disrupted. In addition to the defense systems in the plant itself, there are other ways to increase plant resistance, including the use of plant growth regulators. Salicylic acid is known as one of the common compounds used for environmental stresses and an essential molecular signal in plant fluctuations in response to environmental stresses. This substance has a protective effect and improves the growth process of the plant. This combination stimulates the plant immune system by inducing transcription of a specific group of genes involved in the defense and development of systemic resistance. *Physalis* is a small fruit of the Solanaceae family that originates in tropical and subtropical regions of South America. This genus has 80 species in the world, of which the famous species *Ph. minima* L., *Ph. angulate* L., *Ph. philadelphia* L., *Ph. alkekengi* L., *Ph. peruviana* L., *Ph. pubescens* L., *Ph. ixocarpa* L., among these species, *Peruviana* species is considered due to its unique taste and high yield.

Material and Methods

An experiment was conducted at the Faculty of Agriculture research greenhouse of Lorestan University Khorramabad, Iran. (latitude 33° 29' N, longitude 48° 22' E, altitude 1125 m) in May 2018. The experimental design was factorial based on completely randomized design with three replications. The treatments consisted of 3 levels of deficit water stress (95, 85, and 75% field capacity) and four salicylic acid concentrations (0, 0.5, 1, and 2 mM). *Physalis* seedlings were grown into pots containing soil, sand, and manure. In this research, chlorophyll (Chl a, Chl b, total Chl) and carotenoid content, chlorophyll fluorescent parameters (F0, Fm, Fv, and Fv/Fm), fresh and dry weight of fruit, fruit diameter, fruit number, TSS and vitamin C, proline, leaf anthocyanin and shoot soluble sugar, fresh and dry weight of leaf, leaf area, root volume and plant height, were measured.

Results and Discussion

The results showed that the effect of deficit water stress and salicylic acid treatment on the measured traits including photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence, fresh, and dry weight of fruit, number of fruits, amount of vitamin C, proline, soluble sugar, fresh and dry weight of leaves, leaf area, plant height and root volume were significant. Foliar application of salicylic acid at a concentration of 2 mM under water stress under 75% of field capacity increases the concentration of photosynthetic pigments including chlorophyll a (25.69%), chlorophyll b (14.08%), total chlorophyll (6.70%), and carotenoid (7.26%) and increased chlorophyll fluorescence parameters including Fm (5.2%) and Fv (1.92%). Salicylic acid at a concentration of 1 mM had

1- Graduated M.Sc. Students, Engineering of Greenhouse Products, Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

2- Associate Professor, Physiology and Breeding of Fruit, Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

(*- Corresponding Author Email: Ehteshamniah.ab@lu.ac.ir)

3- Professor, Ornamental Plants Physiology, Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

better results on quantitative and qualitative traits of fruit including a number of fruits (2.67%), fresh weight of fruit (10.61%), and dry weight of fruit (0.6%). Under stress conditions of 75% of field capacity, application of 2 mM salicylic acid reduced the concentration of proline (31.2%), soluble sugar (11.69%) and leaf anthocyanin (4.93%). Therefore, according to the results, the best levels of irrigation for breeding *Physalis* (*Physalis pruviana* L.) are 85 and 95% of field capacity, and the concentration of 2 mM salicylic acid as a natural modulator has an effective role in reducing the effects of dehydration stress. Stress significantly reduces the maximum efficiency of photosystem II (Fv/Fm). This adverse effect on Fv/Fm may be due to its role in inhibiting electron transfer, as well as destroying the reaction centers in PSII. Accumulation of proline under stress is because proline, as a compatible osmolyte, removes all types of active oxygen and protects the cell, and provides the necessary conditions for the plant to absorb water. Salicylic acid increases the chlorophyll synthesis and protects the chloroplast membrane from stress by removing destructive free radicals by stimulating the biosynthesis of the photosynthetic pigment pathway and reducing the chlorophyllase enzyme. It also prevents the ethylene formation by inhibiting of ACC- synthetase enzyme, which in turn prevents the degradation of chlorophyll. Salicylic acid regulates the various physiological processes such as plant growth and development.

Conclusion

According to the results, the application of salicylic acid under low irrigation stress, as a growth enhancer and stress modulator, showed good results and improved physiological traits such as increasing photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoids), Fm, Fv and maximum efficiency of photosystem II and improvement of biochemical traits (proline, soluble sugar and leaf anthocyanin) at a concentration of 2 mM and increase in fruit traits (fresh and dry weight, number of fruits, vitamin C and fruit diameter) at a concentration of 1 mM. Growth and morphological traits also showed an increase in fresh and dry leaf weight, leaf area, plant height at a concentration of 2 mM salicylic acid at low irrigation stress levels. Therefore, salicylic acid can be used to reduce the destructive effects of deficit water stress and increase the quantity and quality of fruit if the *Physalis* plant is grown in arid and semi-arid regions.

Keywords: Fv/Fm, Leaf anthocyanin, Plant growth regulator, Vitamin C

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۴۳-۶۵۵

اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات مورفوفیزیولوژیکی عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) تحت تنش کم آبی

سارا سیاه منصور^۱ - عبدالله احتشام نیا^{۲*} - عبدالحسین رضایی نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

چکیده

امروزه به دلیل تغییرات آب و هوا و کاهش بارندگی، تولید محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق، بخصوص مناطق خشک و نیمه خشک با مشکل مواجه شده است. از طرفی، استفاده از مواد تعدیل کننده تنش، یک راهکار بهینه و کم هزینه بوده و شناخت ویژگی‌های گیاه در این شرایط، منجر به اتخاذ شیوه‌های مدیریت تولید مناسب خواهد شد. به همین منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور تنش کم آبی (سه سطح ۹۵، ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و محلول پاشی سالیسیلیک اسید (چهار سطح صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی مولار) در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه لرستان انجام شد. نتایج نشان داد که اثر تنش کم آبی و تیمار سالیسیلیک اسید بر صفات اندازه گیری شده شامل رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل فلورسانس، وزن تر و خشک میوه، تعداد میوه، میزان ویتامین ث، پرولین، قند محلول، وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته و حجم ریشه معنی دار شد. محلول پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۲ میلی مولار در تنش کم آبی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، موجب افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a (۲۵/۶۹ درصد)، کلروفیل b (۱۴/۰۸ درصد)، کلروفیل کل (۶/۷۰ درصد) و کارتنوئید (۷/۲۶ درصد) و افزایش میزان پارامترهای کلروفیل فلورسانس از جمله Fm (۵/۲ درصد) و Fv (۱/۹۲ درصد) نسبت به شاهد شد و در غلظت ۱ میلی مولار بر صفات کمی و کیفی میوه از جمله تعداد میوه (۲/۶۷ درصد)، وزن تر میوه (۱۰/۶۱ درصد) و وزن خشک میوه (۰/۶ درصد)، نتایج مطلوب‌تری را نسبت به شاهد داشت. همچنین، در شرایط تنش ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، کاربرد سالیسیلیک اسید ۲ میلی مولار موجب کاهش غلظت پرولین (۳۱/۲ درصد)، قند محلول (۱۱/۶۹ درصد) و آنتوسیانین برگ (۴/۹۳ درصد) نسبت به شاهد شد. بنابراین طبق نتایج به دست آمده، می‌توان از سطوح آبیاری ۸۵ و ۹۵ درصد ظرفیت زراعی، جهت پرورش گیاه عروسک پشت پرده و غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید به عنوان یک تعدیل کننده طبیعی برای کاهش اثرات تنش کم آبی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین برگ، حداکثر کارائی کوانتومی فتوسنتز II، مواد تنظیم کننده رشد، ویتامین ث

مقدمه

در سال‌های اخیر، افزایش رشد جمعیت، بهره‌برداری از منابع آب

در جهان را تحت تأثیر قرار داده، که این اثر به صورت افزایش میزان تقاضا از منابع آبی و در نتیجه کمبود منابع آب خواهد شد (Padilla- Rivera et al., 2016). بخش کشاورزی، از عمده‌ترین مصرف کننده‌های آب می‌باشد در نتیجه اولین پیامد کمبود آب، تأثیر بر محصولات کشاورزی است (Garcia-Hernandez et al., 2010)؛ (Garizabal et al., 2011). کاهش آب در دسترس برای گیاه منجر به ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی فراوانی در سلول‌های گیاهی می‌شود و فعالیت اندام‌های گیاهی به صورت مستقیم و غیر مستقیم مختل خواهد شد (Raeini-Sarjaz et al., 2011). میزان کلروفیل فلورسانس توانایی گیاه نسبت به تنش، آسیب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سابق، مهندسی تولیدات گلخانه، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۲- دانشیار، فیزیولوژی و اصلاح میوه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
(*) نویسنده مسئول: Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
۳- استاد، فیزیولوژی گیاهان زینتی، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

به تنش خشکی شد (Samani et al., 2020). هدف از انجام این پژوهش، بررسی نقش سالیسیلیک اسید در بهبود اثرات منفی کم آبی در گیاه عروسک پشت پرده بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی (واقع در طول ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا، رطوبت نسبی گلخانه ۶۰-۹۰ درصد، شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم آباد انجام شد. دانه‌های عروسک پشت پرده از شرکت ایران به لیمو تهیه و پس از آن به گلدان‌های پلاستیکی (۱۰ لیتری) حاوی خاک، ماسه و کود حیوانی به نسبت ۲:۱:۱ منتقل شدند. آبیاری گیاهان در سه سطح کنترل (۹۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش کم آبی متوسط (۸۵ درصد ظرفیت زراعی) و شدید (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) پس از انتقال نشاء و در مرحله ۴ برگی انجام شد. سالیسیلیک اسید در چهار سطح (صفر، ۱/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و در مرحله ۳-۲ برگی (قبل از اعمال تنش کم آبی) به کار برده شد و به فاصله ۱۰ روز یکبار محلول‌پاشی (در مجموع هفت مرتبه محلول‌پاشی) انجام شد. جهت اعمال تنش کم آبی، ابتدا ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد سپس تیمارهای ۹۵، ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک و نیز محاسبه تغییرات آن در فاصله بین دو آبیاری از دستگاه تی دی آر (TDR 100, American Spectrum) استفاده شد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

۰/۱ گرم برگ تازه با ازن مایع خرد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص، مخلوط گردید و پس از سانتریفیوژ، جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۲ و ۴۷۰ اندازه‌گیری شد و میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، به دست آمد (Lichtenthaler, 1987).

کلروفیل فلورسانس

پارامترهای کلروفیل فلورسانس با استفاده از دستگاه فلوریمتر (مدل PAM 2500-Walz, Germany) تعیین شد. شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل فلورسانس پایه (F0)، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv)، حداکثر کارائی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) بود (Krall and Edwards, 1992).

دیدن و یا سالم بودن غشاء تیلاکوئید، کارایی زنجیره انتقال الکترون بین دو فتوسیستم و در واقع میزان خسارت به گیاه را نشان می‌دهد (Afsharmohamadian et al., 2018). تنش کم آبی، موجب افزایش غلظت ترکیباتی مانند آنتوسیانین و آنتی‌اکسیدان‌ها شده و به دنبال آن افزایش تجزیه نشاسته، قندهای محلول نیز افزایش می‌یابد (Gine-Bordonaba et al., 2016; Nooraee et al., 2013). علاوه بر سیستم‌های دفاعی که در خود گیاه وجود دارد، روش‌های دیگری برای افزایش مقاومت گیاهان وجود دارد که شامل استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی می‌باشد. سالیسیلیک اسید به عنوان یکی از ترکیبات متداول مورد استفاده برای تنش‌های محیطی و نیز به عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Keshavarzania et al., 2016). این ماده اثر محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد گیاه می‌شود. این ترکیب سیستم دفاعی گیاه را از طریق القای رونویسی گروه مشخصی از ژن‌های مرتبط با دفاع و توسعه مقاومت سیستمیک تحریک می‌کند. گیاه عروسک پشت پرده (*Ph. peruviana* L.) یک ریز میوه از خانواده سولاناسه (Solanaceae) که منشأ آن مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر آمریکای جنوبی می‌باشد. این جنس ۸۰ گونه در جهان دارد که گونه‌های معروف آن *Ph. minima* L., *Ph. angulata* L., *Ph. philadelphia* L., *Ph. alkekengi* L., *Ph. peruviana* L., *Ph. pubescens* L., *Ph. ixocarpa* L.، بین این گونه‌ها، گونه پروویانا به علت طعم منحصر به فرد و عملکرد بالا مورد توجه است. گیاهی چند ساله و علفی که قسمت خوراکی آن میوه‌ای به رنگ نارنجی که سرشار از مواد مغذی، ویتامین و مواد معدنی می‌باشد. نتایج پژوهش سگورا-مونروی و همکاران (Segura-Monroy et al., 2011)، مشخص کرد که تنش کم آبی موجب کاهش محتوای نسبی آب، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک گیاه عروسک پشت پرده شد اما ضخامت برگ و تعداد کرک‌ها افزایش یافت. در یک بررسی که چهار سطح آبیاری (شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی عروسک پشت پرده مورد آزمایش قرار گرفت، نشان داده شد که با افزایش شدت تنش کم آبی، میزان خسارت به دیواره سلولی افزایش و محتوای نسبی و شاخص کلروفیل کاهش نشان داد (Deveci and Celik, 2016). تنش کم آبی موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر میوه، ویتامین C و مواد جامد محلول میوه، قطر میوه و غلظت کلروفیل در فلفل دلمه‌ای شد (Daneshpajouh et al., 2018). کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم آبی میزان پرولین و قندهای محلول را در گیاه شنبلیله افزایش داد و موجب بهبود عملکرد گیاه و کاهش اثرات تنش شد (Abdi, 2020). استفاده از سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۱/۵ و ۱ میلی‌مولار موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و افزایش تحمل انجیر نسبت

اندازه‌گیری صفات میوه

صفات اندازه‌گیری شده شامل: وزن تر و خشک میوه، تعداد میوه، قطر میوه، مواد جامد محلول و ویتامین ث بود. وزن تر و خشک میوه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت 0.001 ، قطر میوه با استفاده از کولیس (برحسب میلی‌متر) و مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دستی آتاگو (مدل ان یک، ژاپن) بر حسب درجه بریکس اندازه‌گیری شد. میزان ویتامین ث میوه بر اساس روش تیتراسیون 260 دی کلروفل اندوفنل به دست آمد، به این ترتیب که 5 میلی‌لیتر از آب میوه با 5 میلی‌لیتر متافسفریک ترکیب و با محلول دی کلروفل (با استفاده از بورت) رقیق شد و در نهایت میزان ویتامین ث، بر اساس میزان دی کلروفل مصرف شده به دست آمد و بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه میوه گزارش شد (Ting and Russeff, 1981).

پرولین

نمونه‌های برگ (0.1 گرم) توسط ازت مایع خرد شد. سپس روی هر نمونه 10 میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک 3 درصد ریخته شد. عصاره حاصل درون سانتریفیوژ (4 درجه سانتی‌گراد) به مدت 15 دقیقه قرار داده شد. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره صاف شده رویی با دو میلی‌لیتر شناساگر ناین هیدرین و استیک اسید خالص ترکیب و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای 90 درجه قرار داده شد. بعد از سرد شدن لوله‌های آزمایش (در حمام یخ) 4 میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه و به مدت 10 دقیقه ورتکس شدند. سپس میزان جذب در طول موج 520 نانومتر قرائت شد. در نهایت مقدار پرولین بر اساس نمودار استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ به دست آمد (Bates et al., 1973).

قند محلول

در ابتدا برگ به مدت 48 ساعت در داخل آون در دمای 80 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از خشک شدن به 0.1 گرم از هر نمونه، 10 میلی‌لیتر الکل 70 درصد افزوده شد و به مدت یک هفته درون یخچال قرار داده شدند. با این عمل، قندهای محلول در اتانول حل گردیده و در بخش بالایی محلول جمع شدند، سپس 1 میلی‌لیتر از بخش بالایی محلول برداشته و 1 میلی‌لیتر فنل و 5 میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به محلول فوق اضافه شد. در پایان نیز جذب نوری محلول در طول موج 485 نانومتر خوانده شد. محاسبه‌ی غلظت قندهای محلول نمونه‌ها بر اساس منحنی استاندارد، مقدار قند به صورت میلی‌گرم در گرم خشک نمونه‌ی گیاهی به دست آمد (Kochert, 1978).

آنتوسیانین

0.1 گرم بافت تازه برگ با استفاده از ازت مایع پودر و سپس 10 میلی‌لیتر محلول متانول به اضافه اسید کلریدریک به نسبت $1:99$ (۹۹ قسمت متانول، یک قسمت اسید) به آن اضافه شد و سپس 24 ساعت در تاریکی در دمای 4 درجه قرار گرفت، پس از 24 ساعت در سانتریفیوژ با دور 4000 دور در دقیقه قرار داده و در نهایت میزان آنتوسیانین (بر حسب میکرومول بر گرم وزن تازه برگ) در طول موج 550 نانومتر قرائت شد (Wagner, 1979).

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و رشدی

در پایان مرحله رشد کامل بوته‌ها (85 روز پس از کاشت دانها) صفات مورفولوژیکی گیاه اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل A30325) استفاده شد (Demirsoy et al., 2004). برای تعیین حجم ریشه، پس از خروج بوته‌ها از گلدان، ریشه‌ها کاملاً شسته شد (جهت حذف ذرات خاک) و به آزمایشگاه منتقل شد و حجم ریشه‌ها بر اساس قانون ارشمیدس، با استفاده از قرار دادن ریشه در استوانه مدرج حاوی مقدار مشخصی آب، از روی میزان جایجا شدن آب، صورت گرفت. وزن تر برگ‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت 0.001 گرم اندازه‌گیری شدند. سپس، برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی و در آون به مدت 48 ساعت (در دمای 80 درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند و سپس توزین شدند (Rezaei Nejad and Ismaili, 2013).

آنالیزهای آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab18 و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال 5 درصد به دست آمد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2019 انجام شد.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی

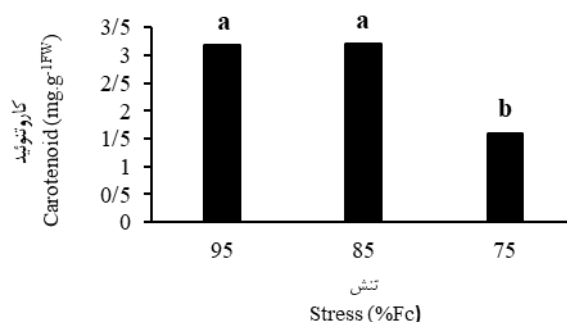
نتایج اثر متقابل تنش و سالیسیلیک اسید نشان داد که تغییرات میزان کلروفیل a، b و کل نسبت به شاهد، معنی‌دار شد (جدول ۱) و میزان کارتنوئید تحت تأثیر معنی‌دار تنش کم آبی قرار گرفت (شکل ۱). بیش‌ترین میزان کلروفیل a ($13/73$ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) نسبت به شاهد، در غلظت 2 میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطح آبیاری 85 درصد و کم‌ترین میزان ($4/01$ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) نسبت به شاهد، در سطح آبیاری 75 درصد در غلظت 0.5

آن از تخریب کلروفیل در شرایط تنش جلوگیری می کند (Roghami et al., 2016).

پارامترهای کلروفیل فلورسانس

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش کم آبی و تیمار سالیسیلیک اسید بر تغییرات فلورسانس پایه (F0)، فلورسانس ماکزیمم (Fm) و فلورسانس متغیر (Fv) نسبت به شاهد، معنی دار شد (جدول ۱) و حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت تأثیر معنی دار تیمار سالیسیلیک اسید قرار گرفت. در سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بدون کاربرد سالیسیلیک، بیشترین میزان F0 (۱۰۵۳۶) نسبت به شاهد، وجود داشت و غلظت ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، کمترین میزان F0 (۹۵۰۶/۰) را نسبت به شاهد، به خود اختصاص داد (جدول ۱). بیشترین میزان Fm (۵۷۴۴۶) در سطح آبیاری ۹۵ درصد با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی مولار و کمترین میزان (۵۰۳۸۹) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید، نسبت به شاهد وجود داشت (جدول ۱). بیشترین میزان Fv نیز در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی مولار (به میزان ۴۶۶۴۷/۶۶) و کمترین میزان این پارامتر (۴۲۳۶۷) در سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید، در مقایسه با تیمار شاهد، مشاهده شد (جدول ۱). نتایج اثر اصلی سالیسیلیک اسید بر میزان Fv/Fm نشان داد که سالیسیلیک اسید موجب افزایش این پارامتر شد و بیشترین میزان در غلظت ۱ میلی مولار وجود داشت (به میزان ۰/۸۲) و با غلظت ۲ میلی مولار اختلاف معنی دار نبود (شکل ۲).

میلی مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۱). بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار شاهد با کاربرد غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید به میزان ۱۲/۰۲ میلی گرم بر گرم بافت برگ و کمترین میزان (۴/۱۵) میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ) نسبت به شاهد، متعلق به ظرفیت زراعی ۷۵ درصد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که میزان کلروفیل کل در ظرفیت زراعی ۸۵ درصد، با کاربرد ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید، بیشترین میزان کلروفیل کل (۲۵/۵۷) میلی گرم بر گرم بافت برگ) را نسبت به شاهد، به خود اختصاص داد که میزان افزایش نسبت به شاهد، ۸/۷۶ درصد بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر اصلی تنش کم آبی بر میزان کارتنوئید نشان داد که کمترین میزان کارتنوئید در مقایسه با شاهد، (۱/۵۹) میلی گرم بر گرم بافت برگ) در سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید و بین سطوح آبیاری ۸۵ و ۹۵ درصد اختلاف معنی دار نبود (شکل ۱). کاهش رنگیزه های فتوسنتزی بر اثر تنش کم آبی توسط سایر محققان گزارش شده است (Keshavarasnia et al., 2016). تخریب مولکول کلروفیل به علت جدا شدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر رادیکال های آزاد اکسیژن و یا آنزیم کلروفیلاز می باشد. از مهم ترین دلایل کاهش کلروفیل تخریب پروتئین های غشاء تیلاکوئید در اثر رادیکال های آزاد است که مانع انتقال الکترون از جایگاه پذیرنده فتوسیستم دو می گردد، سالیسیلیک اسید از طریق تحریک مسیر بیوسنتزی رنگدانه های فتوسنتزی و کاهش فعالیت آنزیم تجزیه کننده کلروفیل (کلروفیلاز) منجر به افزایش سنتز کلروفیل و محافظت از غشاء کلروپلاست در برابر تنش با حذف رادیکال های آزاد تخریب کننده می شود. همچنین با جلوگیری از فعالیت آنزیم ACC- سنتتاز، مانع از تشکیل اتیلن می شود و به دنبال



شکل ۱- اثر تیمار کم آبی بر میزان کارتنوئید گیاه عروسک پشت پرده

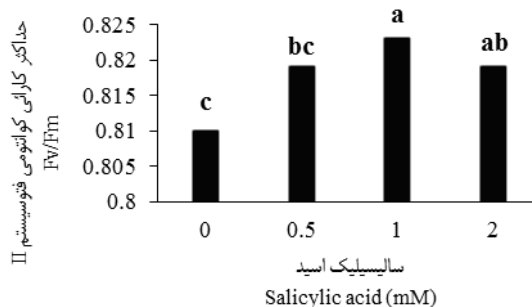
Figure 1- The effect of the deficit water stress on the carotenoid content of *Physalis pruviana* L. (Tukey, $p \leq 0.05$)

جدول ۱- اثر متقابل تیمار کم آبی × سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی عروسک پشت پرده
Table 1- The interaction effect of the deficit irrigation × salicylic acid on the physiological and biochemical traits of *Physalis pruviana* L.

ظرفیت زراعی FC (%)	سالیسیلیک اسید (Salicylic acid) (mM)	کلروفیل a Chl a (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chl b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chl (mg.g ⁻¹ FW)	فلورسانس پایه F0	فلورسانس پیشینه Fm	فلورسانس متغیر Fv	وزن تر میوه Fruit fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک میوه Fruit dry weight (g.plant ⁻¹)	تعداد میوه Fruit number	ویتامین C Vitamin C (mg.g ⁻¹)	پروتئین Proline (μmol.g ⁻¹ FW)	قند محلول اندام هوایی Shoot soluble sugars (mg.g ⁻¹ DW)
95	0	9.78 ^{ad}	6.88 ^e	18.30 ^e	9523.0 ^f	56322.3 ^b	43532.0 ^g	8.20 ^f	1.653 ^{bc}	25.00 ^b	5.35 ^d	4.14 ^f	0.17 ^c
	0.5	10.18 ^{de}	7.63 ^{de}	18.45 ^e	9540.0 ^f	57344.0 ^a	43286.0 ^g	8.60 ^e	1.70 ^b	24.00 ^c	5.38 ^d	4.45 ^h	0.185 ^{bc}
	1	10.50 ^{cd}	9.78 ^b	21.60 ^d	9506.0 ^f	56456.0 ^b	45227.7 ^{cd}	12.46 ^a	2.123 ^a	25.66 ^a	5.42 ^d	4.74 ^g	0.181 ^{bc}
85	2	10.55 ^{bc}	12.02 ^a	23.51 ^b	9537.3 ^f	57446.0 ^a	46647.7 ^a	8.90 ^d	2.196 ^a	24.00 ^c	5.45 ^d	4.93 ^f	0.181 ^{bc}
	0	10.23 ^{de}	7.74 ^d	18.86 ^{de}	9658.3 ^e	50676.0 ^f	44155.3 ^f	7.84 ^g	0.940 ^g	25.00 ^b	7.26 ^e	5.85 ^d	0.185 ^{bc}
	0.5	10.91 ^c	8.59 ^c	19.69 ^d	9559.3 ^f	50834.0 ^f	44812.3 ^{de}	8.59 ^e	1.676 ^{bc}	25.00 ^b	7.32 ^e	5.54 ^e	0.19 ^b
75	1	11.82 ^b	11.25 ^a	21.72 ^c	9539.7 ^f	51901.7 ^e	43262.0 ^g	10.59 ^b	1.706 ^b	25.66 ^a	7.27 ^e	5.43 ^e	0.192 ^b
	2	13.73 ^a	11.83 ^a	25.57 ^a	9552.0 ^f	53450.3 ^d	45575.0 ^{bc}	8.34 ^f	1.580 ^c	23.33 ^d	7.11 ^e	5.43 ^e	0.215 ^a
	0	4.94 ^f	4.15 ^g	9.48 ^h	10536.7 ^a	50389.0 ^f	42367.0 ^h	7.47 ^h	0.733 ^f	15.00 ^f	9.23 ^a	6.61 ^a	0.218 ^a
75	0.5	4.01 ^f	4.29 ^g	9.68 ^h	9826.7 ^d	53501.0 ^{cd}	45991.7 ^b	7.87 ^g	0.753 ^f	15.00 ^f	8.28 ^b	6.36 ^b	0.214 ^a
	1	5.08 ^f	4.41 ^g	10.65 ^g	10361.3 ^b	54254.7 ^{cd}	44754.0 ^g	9.53 ^c	1.640 ^{bc}	15.66 ^e	9.11 ^a	6.28 ^{bc}	0.214 ^a
	2	5.26 ^f	5.99 ^f	11.81 ^f	9943.3 ^e	54382.3 ^c	44499.3 ^{cd}	8.31 ^f	1.320 ^d	16.00 ^e	9.26 ^a	6.17 ^c	0.191 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون توکی می‌باشند.
In each column, means followed by the same letter have not significant different based on Tukey test at 5% of probability level.*

احیای کامل پذیرنده‌های الکترون (کوئینون آ) را نشان می‌دهد، زمانی که پذیرنده‌های الکترون در حال اکسید شدن باشند، مقدار Fv کاهش می‌یابد. کاهش پارامتر Fv/Fm در شرایط تنش، نشان دهنده کاهش کارایی فتوسیستم II و آسیب به کلروپلاست و کاهش کلروفیل می‌باشد (Afsharmohamadian et al., 2018). افزایش فلورسانس در زمان محلولپاشی سالیسیلیک اسید به علت اثر مثبت این هورمون بر بیوسنتز، جذب و انتقال یون‌ها و تغییر در فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و حفظ ساختار کلروپلاست است، سالیسیلیک اسید از طریق تأثیر بر رفتار روزنه‌ای، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، افزایش تثبیت کربن و افزایش سنتز کلروفیل موجب افزایش فعالیت و کارایی سیستم فتوسنتزی گیاه می‌شود (Nematollahi et al., 2012).



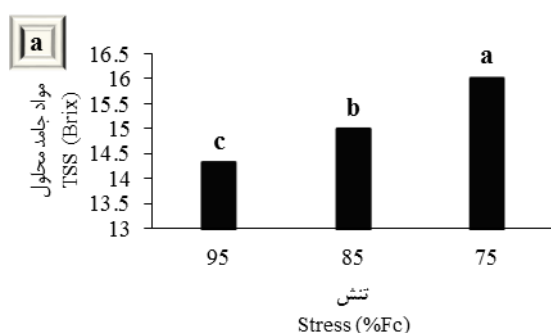
شکل ۲- اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر کارایی کوئینون فتوسیستم II گیاه عروسک پشت پرده
Figure 2- The effect of salicylic acid on Fv/Fm of *physalis pruviana* L. (Tukey, $p \leq 0.05$)

(۹/۲۶ میلی گرم بر گرم وزن میوه) در سطح آبیاری ۷۵ درصد با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی مولار و کمترین مقدار ویتامین (۵/۳۵ میلی گرم بر گرم وزن میوه) در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۱). بیشترین میزان مواد جامد محلول (۱۶ درجه بریکس) نیز در سطح آبیاری ۷۵ درصد مشاهده گردید (شکل ۳-ا). نتایج بررسی اثر ساده سالیسیلیک اسید بر قطر میوه نشان دهنده افزایش قطر میوه با کاربرد سطح ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید، به میزان ۱۴/۰۴ میلی متر بود و بین غلظت‌های ۱ و ۲ میلی مولار اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (شکل ۳-ب). تنش کم آبی در گوجه فرنگی و فلفل دلمه‌ای نیز موجب افزایش مواد جامد محلول و ویتامین ث شد (Javaheri et al., 2012; Daneshpajouh et al., 2018; Shao et al., 2015). تنش آبی طی دوره گلدهی با محدود کردن توزیع مواد غذایی به اندام‌های زایشی و تأثیر بر تعداد گل و به تبع آن تعداد میوه و طی دوره میوه‌دهی با اثر بر وزن میوه، عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Garcia-Garizabal et al., 2011). سالیسیلیک اسید به دلیل ماهیت آن در تشکیل میوه در تمام محصولات مؤثر بوده و در صورت

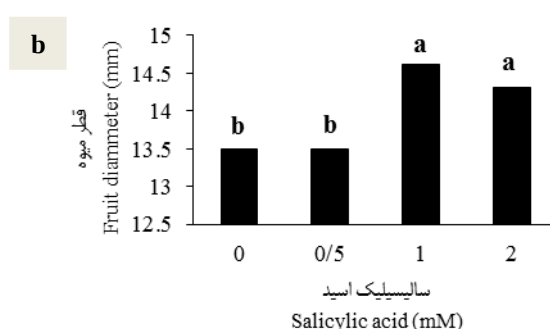
صفات اندازه‌گیری شده میوه

نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر وزن تر و خشک میوه، تعداد میوه و ویتامین ث میوه معنی‌دار بود (جدول ۱). اثرات اصلی تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید برای قطر میوه در سطح یک درصد معنی‌دار شد و میزان مواد جامد محلول میوه تحت تأثیر معنی‌دار تنش کم آبی قرار گرفت. بیشترین میزان وزن تر (۱۲/۴۶ گرم در بوته) نسبت به شاهد، در غلظت ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید در سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۱). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، بیشترین مقدار وزن خشک میوه (۲/۱۹ گرم در بوته) را در مقایسه به شاهد، به خود اختصاص داد و کمترین میزان وزن خشک (۰/۷۳۳ گرم در بوته) متعلق به ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بود. در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی مولار بیشترین تعداد میوه (۲۵/۶۶ میوه در بوته) را به خود اختصاص داد و کمترین تعداد میوه (۱۵ میوه در بوته) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، نسبت به شاهد، مشاهده گردید. بررسی میزان ویتامین ث میوه نشان داد که بیشترین مقدار ویتامین ث

تأثیر مستقیم دارد، لذا در شرایط تنش خشکی می‌تواند اثرات سوء تنش را کاهش داده و موجب افزایش قطر میوه گردد (Alvarez et al., 2011). اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از جمله ترکیبات آنتی اکسیدان است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند، که میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش آثار مخرب تنش افزایش یافته است. افزایش مواد جامد محلول تحت شرایط کم‌آبی، کاهش تعداد میوه در اثر ریزش گل و در نتیجه افزایش نسبت کربوهیدرات به میوه می‌باشد (Garcia-Garizabal et al., 2011).



استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش درصد بالاتری از میوه‌های تشکیل شده، حفظ خواهند شد یا درصد بیش‌تری از گل‌ها تبدیل به میوه می‌شوند (Javaheri et al., 2012). کاهش محتوای آب خاک و پتانسیل آب باعث کاهش تقسیم سلولی و رشد گیاه و در نتیجه کاهش وزن، قطر و طول میوه می‌گردد، که کاهش عملکرد را در پی دارد. تنش کم آبی موجب کاهش تقسیمات سلولی در گیاه و در نتیجه مانع از آماس سلولی می‌شود و به همین دلیل تواند منجر به کاهش قطر میوه شود. از طرفی اسید سالیسیلیک از هورمون‌های محرک رشد گیاهی است که بر تقسیم سلولی و حجیم شدن سلول‌ها



شکل ۳- اثر تیمار کم آبی بر مواد جامد محلول میوه (a) و تیمار سالیسیلیک اسید بر قطر میوه (b) گیاه عروسک پشت پرده

Figure 3- The effect of deficit water stress on the Total Soluble Solid (a) and the effect of salicylic acid on fruit diameter (b) of *Physalis pruviana* L. (Tukey, $p \leq 0.05$)

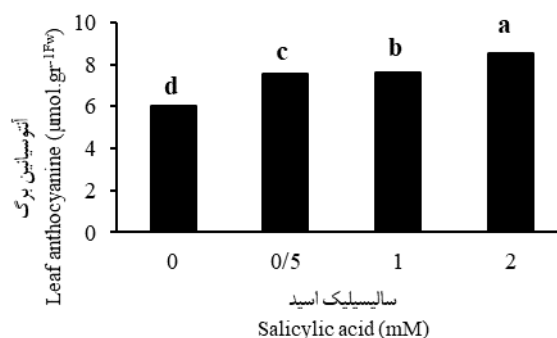
قند محلول، پرولین و آنتوسیانین برگ در شرایط تنش کم آبی گزارش شده است (Khosrowshahi et al., Kammouna et al., 2018). پرولین، یک شاخص برای ارزیابی میزان اثر تنش در گیاه است، که نقش مهمی در تنظیم اسمزی و محافظت از آنزیم‌ها و غشاءها ایفا می‌کند (Amini et al., 2015). یکی از عوامل افزایش پرولین در شرایط تنش، فعال شدن مسیر بیوسنتزی گلوتامیک اسید-پرولین نسبت به مسیر گلوتامیک اسید-کلروفیل و در نتیجه رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیز کننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (آنزیم فعال در مسیر بیوسنتزی کلروفیل) در شرایط تنش است. تنظیم اسمزی نوعی سازگاری با تنش کمبود آب است که از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند به حفظ تورژسانس سلول‌ها منجر شود و قندهای محلول به‌عنوان ثبات‌دهنده غشاءهای سلولی و حفظ کننده تورژسانس سلولی عمل می‌کنند (Hafeez et al., 2013). در شرایط تنش، رنگدانه آنتوسیانین در برگ تجمع می‌یابد. از نقش‌های اصلی آنتوسیانین می‌توان به نقش آنتی‌اکسیدانی و محافظ سیستم فتوسنتزی در برابر اکسیداسیون نوری اشاره کرد (He et al., 2010). کاهش محتوای پرولین و قند محلول در گیاه تیمار شده با سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش، نشان دهنده خروج گیاه از وضعیت تنش می‌باشد و با افزایش هورمون‌هایی از جمله آبسزیک

صفات بیوشیمیایی

نتایج نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید بر تغییرات میزان پرولین و قند محلول (جدول ۱) نسبت به شاهد بود و اثرات اصلی تنش و سالیسیلیک اسید بر آنتوسیانین برگ معنی‌دار شد. مقایسات میانگین نشان داد که در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بیش‌ترین میزان پرولین (۶/۶۱ میکرومول بر گرم بافت تازه برگ)، را به خود اختصاص داد و در سطح آبیاری ۹۵ درصد، غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید، کم‌ترین میزان پرولین (۴/۱۴ میکرومول بر گرم بافت برگ) را نسبت به شاهد، نشان داد (جدول ۱). کم‌ترین میزان قند محلول (۰/۱۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ) متعلق به ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، بدون تیمار سالیسیلیک اسید و بیش‌ترین میزان (۰/۲۱۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ) متعلق به تنش ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد بود (جدول ۱). اثر اصلی سالیسیلیک اسید بر آنتوسیانین برگ نشان داد که بیش‌ترین میزان آنتوسیانین (۹/۱۵۴ میکرومول بر گرم بافت تازه برگ) در غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید مشاهده گردید که نسبت به سایر سطوح محلول‌پاشی اختلاف معنی‌دار وجود داشت (شکل ۴). در مطالعات انجام شده توسط سایر محققان، افزایش

آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساس مانند غشاءها و از زوال کلروفیل جلوگیری کرده و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش و فعالیت آنزیم‌هایی از جمله گلوکاتایون-اس-ترنسفراز و سوپر اکسید دیسموتاز را تحریک می‌کنند (Nouri et al., 2017).

اسید، میزان پرولین را کنترل کرده و بنابراین نقش خود را در آماده سازی گیاه، جهت مقابله با تنش ایفا می‌کند. سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان فنولی و آنتوسیانین‌ها به طور مستقیم، موجب حذف رادیکال‌های آزاد شده و به همین علت تجمع موادی مانند پرولین و قند محلول را کاهش می‌دهند.



شکل ۴- اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر میزان آنتوسیانین برگ گیاه عروسک پشت پرده

Figure 4- The effect of the salicylic acid on the leaf anthocyanin content of *Physalis pruviana* L. (Tukey, $p \leq 0.05$)

صفات رشدی

نتایج بیانگر معنی‌دار بودن اثر تنش کم آبی و تیمار سالیسیلیک اسید بر تغییرات وزن تر و خشک برگ، ارتفاع بوته، سطح برگ و حجم ریشه نسبت به شاهد بود (جدول ۲). کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی‌مولار در سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی بیش‌ترین وزن تر برگ (به میزان ۷۶/۰۲ گرم) و وزن خشک برگ (به میزان ۱۴/۸۶ گرم) را نسبت به شاهد به خود اختصاص داد (جدول ۲) و کم‌ترین میزان وزن تر برگ (۳۵/۶۷ گرم) و وزن خشک برگ (۶/۸۰ گرم) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد بدون کاربرد سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد، مشاهده شد. در مقایسه با تیمار شاهد، بیش‌ترین حجم ریشه (۳۶/۶۶ سانتی‌متر مکعب) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) و کم‌ترین میزان حجم ریشه (۲۶/۰۰ سانتی‌متر مکعب) در غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در ظرفیت زراعی ۸۵ درصد مشاهده شد. بیش‌ترین سطح برگ (۲۵/۵۰ سانتی‌متر مربع) و ارتفاع بوته (۶۸/۳۳ سانتی‌متر) در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد متعلق به غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، بدون کاربرد سالیسیلیک اسید کم‌ترین سطح برگ (۹/۲۱ سانتی‌متر مربع) و ارتفاع بوته (۳۵/۳۳ سانتی‌متر) نسبت به شاهد، مشاهده گردید (جدول ۲). گزارشات ارائه شده توسط محققان حاکی از اثر منفی تنش کم آبی بر صفات رشدی توت فرنگی از جمله سطح برگ و وزن تر و خشک برگ می‌باشد (Rafieepour et al., 2019) که مطابق با نتایج حاصل از پژوهش است. تنش کم آبی موجب کاهش فشار تورژسانس سلول‌های ساقه می‌شود، در نتیجه

تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می‌شود، که به دنبال آن طول میانگره‌های ساقه و در نتیجه طول بوته کاهش می‌یابد. کاهش سطح برگ در شرایط تنش پاسخی رایج است، که در نتیجه کاهش اندازه و همچنین تعداد سلول‌ها اتفاق می‌افتد و در نهایت موجب کاهش سطح تعرق‌کننده می‌شود (Osakabe et al., 2014). سالیسیلیک اسید از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به نام پروتئین کیناز (وظیفه تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول را بر عهده دارد) فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلفی مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم کرده و نقش مؤثری در افزایش ارتفاع گیاه برعهده دارد. سالیسیلیک اسید موجب افزایش ارتفاع بوته گوجه فرنگی و توت فرنگی شد (Hafeznia et al., 2014, Mozafari et al., 2018). رفتار ریشه گیاه تحت تأثیر تنش رطوبتی خاک قرار دارد و با افزایش تنش رطوبتی به عنوان یک عامل محدودکننده، ریشه‌ها به دنبال رطوبت بوده و در عمق محیط ریشه که رطوبت بیش‌تری در دسترس است توسعه بیش‌تری یافته‌اند، به‌طوری که وقتی رشد اندام‌های هوایی متوقف شده باشد، رشد ریشه ادامه پیدا می‌کند. کاهش وزن تر و خشک به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش هدایت روزنه‌ای (Sajjadinia et al., 2010) و کاهش فتوسنتز (Nouri et al., 2017) است. در اثر تیمار سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز (CA) که تبدیل دی اکسید کربن به HCO_3^- و بالعکس را کاتالیز می‌کند بیش‌تر می‌شود. این آنزیم در دیواره سلولی باعث ترکیب دی اکسید کربن با آب و تشکیل اسید کربنیک می‌شود و در محل کربوکسیلاسیون باعث تجزیه اسید کربونیک و آزاد شدن کربن دی اکسید می‌شود. از آن‌جا

سیتوکینین می‌تواند به افزایش وزن گیاه کمک کند (Mozafari et al., 2018).

که ماده اصلی برای آنزیم روبیسکو CO_2 است. بنابراین می‌توان گفت که ارتباط مستقیمی بین فعالیت آنزیم CA و فتوسنتز خالص وجود دارد. همچنین سالیسیلیک با القای هورمون‌هایی از جمله اکسین و

جدول ۲- اثر متقابل تنش کم آبی $\times$ سالیسیلیک اسید بر صفات رشدی گیاه عروسک پشت پرده

Table 2- The interaction effect of the deficit water stress $\times$ salicylic acid on the morphological traits of *Physalis pruviana* L.

ظرفیت زراعی FC (%)	سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	حجم ریشه Root volume (cm ³)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g)
95	0	30.66 ^{bc}	60.00 ^d	15.00 ^{de}	10.12 ^{ef}	49.83 ^e
	0.5	30.0 ^{b-d}	61.33 ^c	15.90 ^{cd}	11.33 ^{cd}	51.95 ^d
	1	31.33 ^b	66.00 ^b	22.16 ^b	12.98 ^b	68.92 ^b
	2	31.66 ^b	68.33 ^a	25.50 ^a	14.86 ^a	76.02 ^a
85	0	31.33 ^b	38.66 ⁱ	13.39 ^{fg}	7.33 ^{ij}	38.18 ⁱ
	0.5	30.66 ^{bc}	42.66 ^g	13.41 ^{fg}	10.01 ^{ef}	48.81 ^e
	1	26.00 ^e	44.33 ^f	14.30 ^{ef}	10.66 ^{de}	51.89 ^d
	2	27.00 ^{de}	48.66 ^e	16.47 ^c	12.06 ^{bc}	53.86 ^c
75	0	36.66 ^a	35.33 ^k	9.21 ⁱ	6.80 ^j	35.67 ^j
	0.5	32.33 ^b	37.33 ^j	9.66 ⁱ	7.94 ^{hi}	40.69 ^h
	1	30.66 ^{bc}	41.33 ^h	11.80 ^h	8.89 ^{gh}	44.67 ^g
	2	27.6 ^{c-e}	42.33 ^{gh}	13.27 ^g	9.57 ^{fg}	47.30 ^f

میانگین‌های دارای حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون توکی می‌باشند.

In each column, means followed by the sme letter have not significant different based on Tukey test at 5% of probability level.

نتیجه‌گیری

و قطر میوه) در غلظت ۱ میلی‌مولار شد. بررسی صفات رشدی و مورفولوژیکی نیز بیانگر افزایش وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته در غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطوح ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود. بنابراین می‌توان در صورت کشت گیاه عروسک پشت پرده در مناطق خشک و نیمه خشک با سطوح آبیاری ۷۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، از سالیسیلیک اسید برای کاهش اثرات مخرب تنش کم آبی و افزایش کمیت و کیفیت میوه استفاده نمود.

با توجه به نتایج به دست آمده، کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم آبیاری، به عنوان یک بهبود دهنده رشد و تعدیل کننده تنش، در سطوح آبیاری ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، نتایج مطلوبی نشان داد و موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی از جمله افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کارتنوئید)، فلورسانس ماکزیمم، فلورسانس متغیر و حداکثر کارایی فتوسیستم II و بهبود صفات بیوشیمیایی (پرولین، قند محلول و آنتوسیانین برگ) در غلظت ۲ میلی مولار و افزایش صفات میوه (وزن تر و خشک، تعداد میوه، ویتامین ث

منابع

- Abdi, S. (2020). Effect of salicylic acid on Yield and essential oil of Fenugreek in deficit irrigation conditions. *Science and Technology of Greenhouse Cultivation* 10(4): 37-51. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.10.4.18481>.
- Afsharmohamadian, M., Omidipour, M., & Jamalomidi, F. (2018). Effect of different levels of drought stress on florescent parameter in two cultivars of phseolus (*Phaseolus vulgaris* L.), *Iran Biology Journal (Plant Reaserch Journal)* 31(3). <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.3.3.3>.
- Alvarez, S., Navarro, A., Nicola, S.E., & Sanchez-Blanco, M.J. (2011). Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in Callistemon plants during drought conditions. *Science Horticulture Journal* 129: 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.031>.
- Amini, S., Ghobadi, C., & Yamchi, A. (2015). Proline accumulation and osmotic stress: an overview of P5CS gene in plants. *Journal Plant Molecular Breeding* 3: 44–55. <https://doi.org/10.22058/JPMB.2015.17022>.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil* 39: 205–207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>.
- Daneshpajouh, P., Ghasemi, A., Noree, M., & Barzegar, R. (2018). Effect of Partial irrigation of root zoon and zeolite on water use efficiency and physiological of Sweet peper. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science*

- and Industry) 32(4): 675-690. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i4.69640>.
- 7- Demirsoy, H., Demirsoy, L., Uzun, S., & Ersoy, B. (2004). Non-destructive leaf area estimation in Peach. *European Journal of Horticulture Sciences* 69(4):144-146. <https://doi.org/10.2307/24126190>.
 - 8- Deveci, M., & Celik, A. (2016). The effects of different water deficiency on physiological and chemical changes in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) which were grown in greenhouse conditions. *Science Agriculture Journal* 14(2): 260-265. <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.260265>.
 - 9- Garcia-Garizabal, I., Causape, J., & Abrahao, R. (2011). Application of the irrigation land environmental evaluation tool for flood irrigation management and evaluation of water use. *Catena Journal* 87(2): 260-267. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.06.010>.
 - 10- Gine-Bordonaba, J., & Terry, L.A. (2016). Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruit and leaves. *Science of Horticulture* 199: 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.026>.
 - 11- Hafeez, B., Khanif, Y.M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition - a review. *American Journal of Experimental Agriculture* 3: 374-391. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3166-9>.
 - 12- Hafeznia, M., Mashayekhi, K., & Ghaderifar, F. (2014). Investigashion the effect of time of salicylic acid spray on some pigments and morphological traits of fruit in Tomato. *Journal of Plant Production* 22(2). (In Persian). <https://doi.org/10.12692/ijb/5.9.237-243>.
 - 13- He, F., Mu, L., Yan, G.L., Liang, N., Pan, Q., Wang, J., Reeves, M., & Duan, C. (2010). Biosynthesis of anthocyanin's and their regulation in colored grapes. *Molecules Journal* 15: 9057-9091. <https://doi.org/10.3390/molecules15129057>.
 - 14- Hernandez, E.A., & Uddameri, V. (2010). Selecting Agricultural Best Management Practices for Water Conservation and Quality Improvements Using Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Sets. *Water Research Management* 24: 4589-4612. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9681-1>.
 - 15- Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dadkhah, A., & Zaker Tavallae, F. (2012). Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *International Journal of Agriculture and Crop Science*. 4-16/1184-1187. <https://doi.org/ijagcs.com/21.2015/2012.1184-1187>.
 - 16- Kalaji, H., Rastogi, A., Zivcgk, M., & Brestic, M. (2018). Prompt chlorophyll fluorescence as a tool for crop phenotyping: An example of barley landraces exposed to various abiotic stress factors. *Photosynthetica Journal* [CrossRef]. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0766-z>.
 - 17- Kammouna, M., Boualloua, O., Fakhri Ksourib, M., Gargouri-Bouzida, R., & Nouri-Ellouz, O. (2018). Agro-physiological and growth response to reduced water supply of somatic hybrid potato plants (*Solanum tuberosum* L.) cultivated under greenhouse conditions. *Agriculture Water Management* 203: 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.032>.
 - 18- Keshavarsnia, R., Payghambary, A., & Bihamta, M.R. (2016). Effect of drought stress in beginning of season and reirrigation on chlorophyll florescent and some physiological traits of Wheat. *Journal of Iranian Crop Science* 48(1): 39-45. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.202541.654065>.
 - 19- Khademian, R., & Sedaghati, B. (2019). Evaluation the effect of modifying in drought stress by using of salicylic acid in Marytighal. P. 212-215. In The first national conference on new idease of agriculture and natural resources. November 2019. Mohaghegh Ardabili University, Iran.
 - 20- Khosrowshahi, Z.H., Ghassemi-Golezani, K., Salehi-Lisar, S.V., & Motafakkerazad, R. (2020). Changes in antioxidants and leaf pigments of saflower (*Carthamus tinctorius* L.) affected by exogenous spermine under water deficit. *Biologia Futura Journal* 2(12): 66-82. <https://doi.org/10.1007/s42977-020-00039-z>.
 - 21- Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. *Handbook of Physiological Methods* 2: 95-97. 197. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1570572700792185472>.
 - 22- Krall, J.P., & Edwards, G.E. (1992). Relationship between photosystem II activity and CO₂ fixation in leaves. *Physiology Plant Journal* 86: 180-187. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb01328.x>.
 - 23- Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H., & Deng, M.X. (2000). Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Science of Horticulture Journal* 83: 4350. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00065-5).
 - 24- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and cartenoides pigments of hotosynthetice biomembranes. *Method in Enzymology* 148: 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
 - 25- Mozafari, A., Dedejani, S., & Ghaderi, N. (2018). Positive responses of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) explants to salicylic and iron nanoparticle application under salinity conditions. *Plant Cell Tissue and Organ Cultivation Journal* 134: 267-275. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1420-y>.
 - 26- Nematollahi, E., Jafari, A., & Bagheri, A. (2012). Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology* 5: 37-51. (In Persian). <https://doi.org/10.22122/jrrs.v10i3.1376>.
 - 27- Noorae, Z., & Ghaderi, N. (2013). Interaction of manure and nitroxin on some physiological traits of strawberries under drought stress. P. 267-27. In Conference on Agricultural research finding. Aguste 2013.

- Kurdistan University, Sanandaj, Iran.
- 28- Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M., & Hassanpanah, D. (2017). Evaluation of water deficit tolerance of 10 potatoes (*Solanum tuberosum* L.) cultivars based on some physiological traits and tuber yield in Ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology* 10(1): 234-268. <https://doi.org/10.55006/biolsciences.2022.2305>.
- 29- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L.S.P. (2014). Response of plants to water stress. *Front. in Plant Science* 5: 86. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>.
- 30- Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J.M., Noyola, A., & Guereca, L.P. (2016). Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. *Environmental Impact Assessment Review* 57: 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.007>.
- 31- Plazek, A., Rapacz, M., & Hura, K. (2004). Relationship between quantum efficiency of PSII and cold-induced plant resistance to fungal pathogens. *Acta Physiology Plantarum Journal* 26: 141-148. <https://doi.org/10.1007/s11738-004-0003-1>.
- 32- Raeini-Sarjaz, M., & Chalavi, V. (2011). Effects of water stress and constitutive expression of a drought induced chitinase gene on water use efficiency and carbon isotope composition of strawberry. *Applied of Botany and Food Quality Journal* 84: 90-94. <https://doi.org/10.4328/2011.July.27.3>.
- 33- Rafieepour, M., Gholami, M., & Sarikhani, H. (2019). Effect of deficit irrigation on some morphological and physiological traits of Strawberry. *Journal of plant production (Iranian Biology Journal)* 31(4): 822-837. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.23832592.1397.31.4.6.8>.
- 34- Rahdari, P., Tavakoli, S., & Hosseini, S.M. (2012). Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 8(1): 182-193. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.698>.
- 35- Rezaei Nejad, A., & Ismaili, A. (2013). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *Journal of Science Food Agriculture* 94: 905-910. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6334>.
- 36- Roghami, M., Estaji, A., Bagheri, V., & Ariakia, E. (2016). Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphological traits of eggplant (*Solanum melongena* var. Taki) in soilless culture system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Cultures* 7(27): 77-87. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.27.77>.
- 37- Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M., & Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *Australian Journal of Agriculture Engineering* 178(1): 1-6. <https://doi.org/10.1560-8530/2007/09-2-352-354>.
- 38- Samani, R., Javid, A., & Shabani, M. (2020). Effect of different concentration of salicylic acid on increasing drought tolerance in fig. *Plant Ecophysiology Journal* 40: 28-39. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.23832592.1398.32.4.17.6>.
- 39- Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramirez-Godoy, A., & Restrepo-Diaz, H. (2011). Effect of Kaolin application on growth, water Use efficiency, and leaf epidermis characteristics of (*Physalis peruviana* L.) seedlings under two Irrigation regimes. *Journal of Agriculture Science Technology* 17: 1585-1596. <https://doi.org/10.1001.1.16807073.2015.17.6.7.8>.
- 40- Shao, G.C., Deng, S., Liu, N., Wang, M.H., & She, D.L. (2015). Fruit Quality and Yield of Tomato as Influenced by Rain Shelters and Deficit Irrigation. *Journal of Agriculture Science Technology* 17: 691-704. <https://doi.org/10.4236/ajps.2011.23040>.
- 41- Ting, S.U., & Russeff, L. (1981). Citrus Fruit and Their Products Analysis Technology. *Food and Science Technology* 124-142. <https://doi.org/10.1080/10408398309527366>.
- 42- Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extra vacuoles distribution of neutral sugars, free amino acid, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology Journal* 64: 88-93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>.
- 43- Zhang, L., Zhang, Z., & Gao, H. (2011). Mitochondrial alternative oxidase pathway protects plants against photoinhibition by alleviating inhibition of the repair of photodamaged PSII through preventing formation of reactive oxygen species in Rumex K-1 leaves. *Physiologiae Plantarum Journal* 143: 396-407. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01514.x>.



Evaluation of Changes in Alkaloid Content and some Physiological Traits of *Datura stramonium* L. under the Influence of Planting Date and Plant Density Levels

Z. Izadi¹, A. Biabani^{2*}, H. Sabouri³, B. Bahreininejad⁴, A.L. Qolizadeh⁵

Received: 05-11-2021

Revised: 04-12-2021

Accepted: 25-12-2021

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Izadi, Z., Biabani, A., Sabouri, H., Bahreininejad, B., & Qolizadeh, A.L. (2022).

Evaluation of Changes in Alkaloid Content and some Physiological Traits of *Datura stramonium* L. under the Influence of Planting Date and Plant Density Levels. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 657-669. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2021.72958.1095](https://doi.org/10.22067/jhs.2021.72958.1095)

Introduction

Datura stramonium L. is one of the medicinal plants that have a special role in the pharmaceutical industry due to its alkaloid compounds. *Datura* is one of the most important medicinal species that is a rich source of alkaloid compounds. Important phytochemical compounds in *Datura*, especially alkaloids, have been considered by the pharmaceutical industry. *Datura* (*Datura stramonium* L.) is an annual plant of the Solanaceae family, which is native to North America and is found in abundance in the coastal areas of northern Iran from Astara to eastern Mazandaran. Important phytochemical compounds in *Datura*, especially alkaloids, have been considered by the pharmaceutical industry. Tropane alkaloids are one of the most important compounds in plants of the Solanaceae family and the anticholinergic effects of these compounds have made their use common in medicine. Important tropane alkaloids include hyoscyamine, atropine, and scopolamine in *D. stramonium*. Plant growth is a set of specific biochemical and physiological processes that interact with each other and are affected by environmental factors such as temperature, light intensity, etc. that are affected by the date of planting. In the meantime, analyzing the amounts of photosynthetic pigments is a way to justify and interpret the plant's reactions to different environmental conditions during the growing period, through which it is possible to transfer and accumulate photosynthetic products. Due to the importance of *D. stramonium* and its widespread use in the pharmaceutical industry, Since *Datura* plant has not been adequately studied in the literature, the purpose of investigating three different planting date and planting density levels in this plant is to determine their proper values which increase the alkaloids and photosynthetic pigments, resulting in grain growth and yield increment.

Materials and Methods

This research during two consecutive years (1397-1397 and 1397-1398) in Shahid Fozveh research station affiliated to Isfahan Agricultural Research and Training Center and Natural Resources located 25 km west of Isfahan (Latitude: 32°36'37" N, Longitude: 51°26'52" E . 1612 m above sea level), which according to the Gauchen division has a mild semi-desert climate. The experiment was performed as a factorial experiment in the form of randomized complete blocks with three replications. Treatments included three densities (6, 10 and 14) plants per square meter and planting date in autumn and spring. Autumn planting of *D. stramonium* for the first year of the experiment was done on 3 January and in the second year on 30 December. In the spring planting of *D. stramonium*, due to the long growing season, in order to be productive during the growing season, first the

1, 2, 3 and 5- Ph.D., Associate Professors and Assistant Professor Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: abbas.biabani@gonbad.ac.ir)

4- Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

seed of the plant was planted in the planting trays and then in the 3 to 4 leaf stage the seedlings were transferred to the main land. In both years of testing, the seeds were sown on the date of spring planting in March. Field operations including plowing, disc, leveling, preparation and preparation of atmosphere and ridges were carried out in the field. According to different fertilizer levels and density levels, each replication included 9 experimental plots. The length of each plot was 5 m and its width was 3 m, which included 5 rows with a distance of 60 cm. The distances of the plants on the ridge were considered as 15, 20 and 33 cm 33, respectively, according to the densities (6, 10 and 14 plants per square meter). The distance between the replicates was 1 m and the distance between the plots from each other was considered a planting line. The data were analyzed using SAS software version 9.4. The means were compared with LSD test at 5% level and graphs were drawn using EXCEL software version 2010.

Conclusion

According to the results, the density of 6 plants per hectare on the date of autumn planting improved seed yield and increased hyoscyamine and alkaloids. In fact, the density of 6 plants per square meter in this study increased grain yield and the amount of hyoscyamine and ascopolamine. At low plant densities in this study, including densities of 6 and 10 plants per square meter, the amount of photosynthetic pigments increased. Also, maintaining the amount of chlorophyll in young leaves causes a delay in the aging process and increases the durability of the leaf surface, which will have a significant effect on the transfer of photosynthetic material to the seed. More and slower nourishing material is transferred to the grain, so the grain filling period will be longer. The results show that by selecting proper levels of plant density and planting date as two of the most important crop management practices, the number of tropane alkaloids in *Datura* as one of the important active ingredients in the pharmaceutical industry increases.

Keywords: Ascopolamine and Hyoscyamine, *Datura*, Photosynthetic pigments

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۶۹-۶۵۷

بررسی تغییرات محتوای آکالوئیدها و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی تاتوره (*Datura stramonium* L.) تحت تاثیر تاریخ کاشت و سطوح تراکم بوته

زهرا ایزدی^۱ - عباس بیابانی^{۲*} - حسین صبوری^۳ - بابک بحرینی نژاد^۴ - زنده یاد عبدلطیف قلی زاده^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

چکیده

گیاه تاتوره (*Datura stramonium* L.) به لحاظ دارا بودن ترکیبات آکالوئیدی جایگاه ویژه‌ای در صنایع دارویی دارد. ترکیبات فیتوشیمیایی مهم موجود در تاتوره به‌ویژه آسکوپولامین و هیوسامین آن را برای صنایع داروسازی مورد توجه قرار داده است. به‌منظور بررسی سه سطح تراکم کاشت (۶، ۱۰ و ۱۴ بوته در متر مربع) در دو تاریخ (کاشت پاییزه و بهاره) بر رنجدانه‌های فتوستتزی، آکالوئیدها و عملکرد دانه تاتوره، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان به اجرا درآمد. بر اساس نتایج بدست آمده تاریخ کاشت بر میزان آسکوپولامین و هیوسامین تاتوره و عملکرد دانه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت اما بر رنجدانه‌های فتوستتزی شامل کلروفیل a و b اثر معنی‌داری نداشت. همچنین تاریخ کاشت بهاره نیز سبب کاهش صفات مورد بررسی گردید. در واقع تراکم ۶ بوته در متر مربع سبب افزایش عملکرد دانه و مقدار هیوسامین و آسکوپولامین گردید، این در حالی است که، بیشترین مقدار کاروتنوئیدها ۰/۴۶۲ میلی گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار ۱۴ بوته در متر مربع مشاهده گردید. در تراکم‌های ۶ و ۱۰ بوته در متر مربع مقدار رنجدانه‌های فتوستتزی شامل کلروفیل a و کلروفیل b افزایش یافت. همچنین تراکم بوته در تمامی صفات فوق اثر معنی‌داری داشت، بطوری که بیشترین مقدار آسکوپولامین در تیمار ۶ بوته در متر مربع (۳/۷۱ میلی گرم بر گرم وزن دانه) بدست آمد. در تاریخ کاشت پاییزه عملکرد دانه در تیمار تراکم ۶ بوته با ۱۱۷۴/۷۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده تراکم ۶ بوته در هکتار در تاریخ کاشت پاییزه سبب بهبود عملکرد دانه و افزایش هیوسامین و آکالوئید گردید.

واژه‌های کلیدی: تاتوره، رنجدانه‌های فتوستتزی، آسکوپولامین و هیوسامین

مقدمه

و فور دیده می‌شود (Niakan et al., 2015). ترکیبات فیتوشیمیایی مهم موجود در تاتوره به‌ویژه آکالوئیدها آن را برای صنایع داروسازی مورد توجه قرار داده است. تروپان آکالوئیدها از مهمترین ترکیبات موجود در گیاهان خانواده‌ی سولاناسه بوده و اثرات آنتی‌کولینرژیکی^۵ این ترکیبات کاربرد آن‌ها را در پزشکی متداول کرده است. از جمله تروپان آکالوئیدهای مهم می‌توان به هیوسامین، آسکوپولامین و

تاتوره (*Datura stramonium* L.) گیاهی است یکساله از خانواده Solanaceae که بومی امریکای شمالی است (Oseni et al., 2010) و در نواحی ساحلی شمال ایران از آستارا تا شرق مازندران به

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب دانش آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشیاران و استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

(*)- نویسنده مسئول: (Email: abbas.biabani@gonbad.ac.ir)

۴- دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

DOI: 10.22067/jhs.2021.72958.1095

۵- آنتی‌کولینرژیک به مواد یا داروهایی گفته می‌شود که با بلوک گیرنده استیل کولین (موسکارینی یا نیکوتینی) بر روی غشاء سلول هدف یا سلول پس سیناپسی مانع تأثیر استیل کولین می‌شوند. معروف‌ترین مواد آنتی‌کولینرژیک داروهای آنتی‌کولینرژیک مانند هیوسین، دیسیکلوکس، آتروپین، تری‌هگزافنیدیل، بنزتروپین، بی‌پریدن هستند.

آتروپین در تاتوره اشاره کرد (Al-Humaid, 2005). آلکالوئیدهای تروپانی عمدتاً در گیاهان خانواده بادمجان Solanaceae، نظیر تاتوره، بذربلنج و شایبزرک یافت می‌شوند و هیوسیامین، آتروپین، اسکوپولامین و کوکائین معروف‌ترین آلکالوئیدهای تروپانی می‌باشند. مشخصه‌ی تروپان آلکالوئیدها، یک گروه متیل متصل به اتم نیتروژن می‌باشد که این چنین ساختمانی در استیل کولین‌های انتقال دهنده امواج عصبی در اعصاب مغز نیز دیده می‌شود. خاصیت بیهوش کنندگی و مسکن این آلکالوئیدها به همین دلیل می‌باشد. آلکالوئیدهای تروپانی کاربردهای مختلفی در پزشکی دارند که می‌توان به مواردی مانند آرام نمودن علائم بیماری پارکینسون، گشاد کردن مردمک چشم و افزایش ضربان قلب، خنثی کردن سستی ماهیچه‌های صاف ناشی از ترکیبات فسفره آلی و کاهش ترشح عرق و اسید معده اشاره نمود (He et al., 2020). تاتوره اگرچه گیاهی است که کل اندام‌های آن حاوی آلکالوئیدها می‌باشد اما به طور عمده دانه و برگ آن دارای بیشترین مقادیر آلکالوئید می‌باشند (Berkov et al., 2006). تعیین تراکم کاشت مناسب از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریتی است که باعث بهبود عملکرد و بهره‌وری گیاهان می‌شود (Shiferaw et al., 2018). بررسی اثر سطوح تراکم بوته بر روی کلزا نشان داد که سطوح بالای تراکم سبب افزایش چشمگیر در مقدار کلروفیل و عملکرد دانه گردید (Tian et al., 2020). آنتوسیانین‌ها جز متابولیت‌های ثانویه حاصل از مسیر فنیل پروپانویید می‌باشند و آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایز آغازگر این مسیر است که L-فنیل آلانین را با دامیناسیون^۱ به ترانس سینامیک اسید تبدیل می‌کند. این مسیر، مسیر اصلی بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در سول‌های گیاهی می‌باشد. این آنزیم نیز نقش کلیدی در تشکیل ترکیب‌های فنولی دارد و به عنوان یکی از شاخص‌های حساس به تغییرات محیطی مانند تراکم کاشت مطرح می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که کاشت گیاه تراکم مطلوب گیاهی در سنتز آنزیم مذکور موثر بوده و بدین وسیله تولید آنتوسیانین‌ها تحت تاثیر قرار گرفته و در نهایت عملکرد کمی و کیفی گیاه بهبود می‌یابد (Vogt, 2010). کاروتنوئیدها همچنین نور جذب شده را به کلروفیل‌ها منتقل کرده و باعث افزایش کارایی کلروفیل‌ها می‌شوند. این رنگیزه‌ها لازمه ساختار غشاء تیلاکوئیدی هستند و با بسیاری از پروتئین‌هایی که در دستگاه فتوسنتز دخالت دارند، ارتباط تنگاتنگی دارند (Emadi et al., 2012). به منظور تصمیم‌گیری کشت یک گیاه جدید، در منطقه جدید باید جزئیات اثر متقابل گیاه با عوامل زراعی، ژنتیکی و اقلیمی مشخص شود (Bakhshndeh et al., 2011). تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب گیاهان دارویی بسیار با اهمیت بوده و از عوامل مهم جهت کسب حداکثر عملکرد در گیاهان می‌باشد. تاثیر عوامل محیطی بر

مراحل فنولوژیکی گیاه باعث می‌شود که تاریخ کاشت در مناطق مختلف، متفاوت باشد (Hadley et al., 1983). در واقع، بین تیمارهای زراعی تاریخ کاشت بیشترین تاثیر را بر ویژگی‌های فنولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان دارد، با انتخاب تاریخ کاشت بهینه می‌توان میزان تطابق مراحل رشد گیاه را با شرایط اقلیمی افزایش داد (Saberi and Azarmjoo, 2015). تاخیر در کاشت بهاره و افزایش دما در زمان کاشت گیاهان باعث مواجه شدن گیاه با دماهای بالا و افزایش سرعت رشد گیاه و کاهش طول مراحل مختلف فنولوژیکی می‌گردد. کاهش سطح برگ در اثر تاخیر در کاشت بهاره، موجب کاهش دریافت نور خورشید و افت بیشتر فتوسنتز می‌شود و از طرف دیگر محدودیت رشد ریشه باعث می‌شود که میزان دسترسی گیاه به آب و مواد معدنی کاهش می‌یابد و مجموع عوامل یاد شده سبب کاهش عملکرد خواهد شد (Bakhshndeh et al., 2011). رشد گیاه مجموعه‌ای از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی خاصی است که اثرات متقابل بر یکدیگر داشته و تحت تاثیر عوامل محیطی از جمله درجه حرارت، شدت نور و غیره قرار می‌گیرند که متأثر از تاریخ کاشت می‌باشند. در این بین، تجزیه و تحلیل مقادیر رنگدانه‌های فتوسنتزی، روشی برای توجیه و تفسیر واکنش‌های گیاه نسبت به شرایط مختلف محیطی در طول دوره رویش می‌باشد که از طریق آن می‌توان چگونگی انتقال و انباشت فرآورده‌های فتوسنتزی را در اندام‌های مختلف با اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده بدست آورد (Seyed Sharifi et al., 2006). با توجه به اهمیت گیاه دارویی تاتوره و مصرف گسترده آن در صنایع داروسازی، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف تراکم بوته و تاریخ کاشت بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و نیز اندازه‌گیری سطح هیوسیامین و اسکوپولامین با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) این گیاه به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال متوالی (۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷) در ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان واقع در ۲۵ کیلومتری غرب اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۱۲ متر از سطح دریا) که بر اساس تقسیم بندی گوسن دارای اقلیم نیمه بیابانی خفیف است، اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل سه تراکم (۶، ۱۰ و ۱۴ بوته در متر مربع) و تاریخ کاشت در دو شرایط پاییزه و بهاره بودند. کاشت پاییزه تاتوره برای سال اول آزمایش در تاریخ ۳ دی ماه و در سال دوم در تاریخ ۳۰ آذر ماه انجام شد. ژنوتیپ کاشته شده

۱- دامیناسیون عبارت است از جداسازی گروه آمین (NH₂)

در هر نقطه یک بوته نگهداری و مابقی در مرحله ۶ برگی تنک شد. مبارزه با علف‌های هرز تا زمان استقرار گیاه به صورت مکانیکی انجام گرفت. جهت تعیین نیاز کودی و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از انجام آزمایش سه نمونه از هر تکرار از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک به‌طور تصادفی تهیه شده و پس از اختلاط، نمونه ترکیبی یک کیلوگرمی جهت تجزیه به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال شد. بر اساس نتایج آزمون خاک ۱۰۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار به‌صورت P_2O_5 (از منبع سوپر فسفات تریپل) مورد استفاده قرار گرفت. تمام کود فسفر به صورت نواری همزمان با بذرکاری مصرف شد. همچنین صفات مختلف شامل کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین در مرحله گلدهی و از بافت تازه برگی اندازه‌گیری شدند. در هر دو سال، جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه در هکتار، گیاهان هر کرت با حذف اثرات حاشیه‌ای برداشت شدند. سپس نمونه‌هایی برای تعیین وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفت و پس از توزین، در نهایت عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند.

نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

تاتوره، ژنوتیپ اصفهان بود که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان تهیه گردید. در کاشت بهاره تاتوره، با توجه به طولانی بودن دوره رشد و به منظور بهره‌وری از طول فصل رشد ابتدا بذر گیاه در سینی‌های نشاء کاشته شد و سپس در مرحله ۳ تا ۴ برگی گیاهچه‌ها به زمین اصلی منتقل شد. جهت انجام نشاء در هر دو سال آزمایش، اواخر بهمن ماه اقدام گردید و سپس در اواخر فروردین ماه گیاهچه‌ها به زمین اصلی منتقل شد. عملیات زراعی شامل شخم، دیسک زنی، تسطیح، آماده‌سازی و تهیه جوی و پشته در مزرعه انجام شد. با توجه به سطوح مختلف کود و سطوح تراکم در نظر گرفته شده، هر تکرار شامل ۹ کرت آزمایشی بود. طول هر کرت ۵ متر و عرض آن ۳ متر در نظر گرفته شد که شامل ۵ ردیف با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود. فواصل بوته‌ها روی پشته با توج به تراکم‌ها به-ترتیب (۶، ۱۰ و ۱۴ بوته در تر مربع) ۱۵، ۲۰ و ۳۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین تکرارها ۱ متر و فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. همچنین طی هر دو سال بذور با توجه به تراکم‌های مورد نظر و با توجه به نقشه کاشت در عمق ۲-۳ سانتی‌متری کشت شد، بطوری‌که در هر گودال ۲-۳ بذر قرار داده شد و بلافاصله بعد از کاشت آبیاری انجام گردید. پس از سبز شدن بوته‌ها

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در دو سال آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the studied soil in two years of experiment

سال Year	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	ماسه Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
2018	2.8	7.6	252	10.8	0.03	46	25	33
2019	3.5	6.5	275	8.5	0.06	45	28	34

اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین

به منظور سنجش میزان آنتوسیانین‌ها از روش واگنر (Wagner, 1979) استفاده شد. مقدار آنتوسیانین با استفاده از فرمول $A = \epsilon bc$ به دست آمد. در این رابطه، A: شدت جذب، b: عرض کوت برابر با ۱ سانتی‌متر، c: غلظت آنتوسیانین (میلی‌لیتر بر گرم) و E: ضریب خاموشی برابر با ۳۳۰۰۰ مول بر سانتی‌متر است.

استخراج آلکالوئیدهای هیوسیامین و آسکوپولامین

به منظور استخراج آلکالوئیدها، ۵۰ میلی‌گرم از پودر خشک بذر از هر نمونه در ۸ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید آمونیوم (NH_4OH)، متانول (CH_3OH)، کلروفرم ($CHCl_3$) به ترتیب به نسبت ۱۵:۵:۱ به مدت ۶ ساعت خیسانده شد و در فواصل زمانی یک ساعت با استفاده از ورتکس همزده شد. پس از خالی نمودن حلال، افزودن محلول استخراج به حجم ۵ میلی‌لیتر و خیساندن مجدد به مدت ۲۰

اندازه‌گیری میزان کلروفیل با استفاده از روش آرنون (۲) و کاروتنوئید با استفاده از روش لیچاندلر (Lichtenthaler, 1987) در مرحله گلدهی انجام شد در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

$$\text{Chlorophyll } a = (19.3 \cdot A_{663} - 0.86 \cdot A_{645}) \cdot V/100W$$

$$\text{Chlorophyll } b = (19.3 \cdot A_{645} - 3.6 \cdot A_{663}) \cdot V/100W$$

$$\text{Carotenoids} = 100(A_{470} - 3.27(\text{mg chl. } a) - 104(\text{mg chl. } b))/227$$

$$V = \text{حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از}$$

سانتریفیوژ)

$$A = \text{جذب نور در طول موج‌های } ۶۴۳، ۶۴۵ \text{ و } ۴۷۰ \text{ نانومتر}$$

$$W = \text{وزن تر نمونه بر حسب گرم}$$

تاثیر منفی معنی‌داری بر میزان کلروفیل a داشته‌اند (Javadi et al., 2020). کاهش میزان کلروفیل a در اثر افزایش تراکم باعث کاهش جذب نور، کاهش فتوسنتز، کاهش مواد پرورده و در نهایت سبب کاهش عملکرد می‌گردد. نتایج برخی تحقیقات نشان داد که با افزایش تراکم میزان کلروفیل a تا یک‌حد مطلوب افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش ممکن است، ناشی از عوامل درونی گیاه بر اثر رقابت بوته‌ها برای جذب عناصر غذایی خاک باشد. همچنین کاهش سطح برگ بر اثر افزایش تراکم ممکن است سبب کاهش میزان کلروفیل در برگ گردد (Harries and White, 2007).

کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس مرکب در جدول ۲ و نتایج تجزیه واریانس دو سال زراعی بطور جداگانه در جدول ۳ ارائه شده است. میزان کلروفیل b در هر دو سال آزمایش تحت تاثیر سطوح مختلف تراکم بوته قرار گرفتند. همچنین نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که سطوح تراکم بوته تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل b داشته‌اند. تغییرات میزان کلروفیل b در سطوح تراکم بوته نشان داد که افزایش تراکم بوته سبب کاهش میزان کلروفیل b شده است (شکل ۲). یکی از عوامل مهم در هنگام بررسی میزان کلروفیل b در تراکم بالا، کاهش مواد فتوسنتزی ذخیره شده می‌باشد که از دو مبداء عمده یعنی فتوسنتز جاری قسمت‌های سبز غیر از برگ و انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره شده در سایر اندام‌های گیاه تامین می‌شود (Javadi et al., 2020).

کاروتنوئیدها

اثر تراکم بر میزان کاروتنوئید برگ تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۲). تاریخ کاشت تاثیر معنی‌داری بر میزان کاروتنوئیدها نداشت. بیشترین مقدار کاروتنوئیدها ۰/۴۶۲ میلی گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار ۱۴ بوته در متر مربع مشاهده گردید (شکل ۲). با توجه به افزایش مقدار کلروفیل a و b در تیمارهای ۶ و ۱۰ بوته در متر مربع (شکل ۲) می‌توان نتیجه گرفت که کاهش کاروتنوئید در این تیمارها به علت حضور کلروفیل بوده است. کاروتنوئیدها رنگدانه‌های غیر سبز رنگ موجود در برگ‌ها هستند که نقش مهمی در حفاظت از رنگدانه‌های سبز رنگ از جمله کلروفیل‌ها دارند. افزایش تراکم بوته سبب افزایش میزان کاروتنوئیدها در برگ گردید که با نتایج عمادی و همکاران (Emadi et al., 2012) مطابقت دارد. در زمان فتوسنتز، کاروتنوئیدها به عنوان محافظ کلروفیل گیاه عمل می‌کنند، به طوری که با رشد گیاه و ظهور رنگ نهایی همگام با کاهش کلروفیل مقدار کاروتنوئید زیاد می‌شود.

دقیقه همراه با همزدن صورت گرفت. این عمل دو مرتبه تکرار گردید و مجموعه محلول استخراج حاوی عصاره گیاهی با استفاده از فیلتر پنبه ای صاف شد و در لوله‌های ۲۰ سانتی‌متری و در دمای 27°C در شرایط تاریکی نگه‌داری شد. برای آنالیز ترکیبات با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)، از ستون (i.d. $6.4 \times 250\text{mm}$) و از محلول SDS ۱۰ میلی‌مولار- استونیتریل (MeCN- 10Mm SDS) به نسبت ۳:۲ بعنوان فاز متحرک استفاده شد. تنظیم pH فاز متحرک با استفاده از (H_3PO_3) یک درصد به میزان ۳/۳ صورت گرفت. پودر خشک استخراج شده از هر نمونه در یک میلی‌لیتر فاز متحرک با استفاده از ورتکس و سونیکاسیون حل گردید و ۲۰ میکرولیتر از هر نمونه به دستگاه تزریق گردید. از اشعه ماوراء بنفش با طول موج حدود ۲۱۵ نانومتر برای سنجش آلکالوئیدها استفاده شد. سرعت جریان فاز متحرک ۱/۱ میلی‌لیتر در دقیقه بود. دو محلول پایه استاندارد جداگانه با غلظت‌های ۱۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر برای آسکوپولامین و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر برای هیوسامین تهیه شد. دو محلول استاندارد مذکور به عنوان شاهد برای مقادیر ۰/۵ میلی‌گرم آسکوپولامین و ۱ میلی‌گرم هیوسامین در یک گرم پودر بذریه تهیه گردید و از هر محلول پایه استاندارد نیز مقدار ۲۰ میکرولیتر تزریق گردید (Hosseini et al., 2011).

تجزیه و تحلیل آماری

اطلاعات به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و تحلیل شدند. میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح پنج درصد مقایسه شدند و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL نسخه ۲۰۱۰ انجام شد. قبل از انجام هر گونه تجزیه و تحلیل، به دلیل اینکه طرح تجزیه مرکب است، آزمون یکنواختی واریانس‌ها انجام شد و مشاهده شد که واریانس خطا بین دو سال مختلف یکسان بود.

بحث و نتایج

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی گیاه تاتوره در دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸ نشان داد که سطوح متفاوت تراکم بوته اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کلروفیل a داشتند (جدول ۳). بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثر سطوح مختلف تراکم و تاریخ کاشت در سطح یک درصد بر مقدار کلروفیل a و b معنی‌دار گردید (جدول ۲). همانگونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، سطوح تراکم اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a نداشتند. مقایسات میانگین نیز حاکی از آن است که افزایش سطوح تراکم بوته سبب کاهش کلروفیل a گردید (شکل ۲). همانگونه که مقایسات میانگین نشان داد تراکم‌های زیاد

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب رنگدانه‌های فتوسنتزی و آکالوئیدهای گیاه تاتوره در دو سال زراعی
Table 2- Combined analysis of variance for photosynthetic pigments and alkaloids content of Jimsonweed plant in two cropping years.

منابع تغییر Sources Change	درجه آزادی Degrees of freedom	کلروفیل <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i>	کاروتنوئید Carotenoids	آنتوسیانین Anthocyanins	هیوسامین Hyoscyamine	اسکوپولامین Ascopolamine	اسکوپولامین Ascopolamine	عملکرد yield	عملکرد هیوسامین Hyoscyamine yield	عملکرد دانه Grain yield
سال Year	1	0.004ns	0.177ns	0.359**	0.08ns	0.123ns	0.003ns	0.007ns	0.0014ns	1059796.6**	
تکرار × سال Repeat × year	4	0.696**	0.048ns	0.006ns	0.857ns	0.0187ns	0.0036ns	0.126**	1184.96**	0.0093**	
تاریخ کاشت Planting date	2	0.151ns	0.143ns	0.0002ns	0.225ns	20.048**	0.198**	0.0044**	0.143**	2263439.34**	
تراکم Density	2	36.332**	16.56**	0.150**	6.478**	15.215**	0.623**	0.0156**	0.076**	7354035.54**	
تاریخ کاشت × تراکم Planting date × density	4	3.261**	1.042**	0.004ns	1.151**	0.45**	0.0345**	0.003ns	0.0373*	541490.78**	
سال × تاریخ کاشت Year × planting date	2	1.278**	1.822**	0.077**	0.409ns	0.007ns	0.0021ns	0.005**	0.069**	186990.51**	
سال × تراکم Year × density	2	0.269ns	0.383**	0.0116ns	0.114ns	0.354ns	0.0016ns	0.0025**	0.048*	601384.03**	
سال × تاریخ کاشت × تراکم Year × Planting date × Density	4	0.288ns	0.678**	0.009ns	0.136ns	0.78ns	0.004ns	0.006ns	0.022ns	413585.59**	
خطا Error	32	0.199	5.054	0.0077	0.145	0.105	0.0034	0.004	0.009	86325.7	
ضریب تغییرات (درصد) Change coefficient (percent)		18.50	16.01	26.41	19.85	11.75	7.18	21.9	30.77	26.37	

*، **، ***: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.
ns, * and **; significant at the 5% of probability level, significant at the 1% of probability level, and non-significant.

جدول ۳- تجزیه واریانس رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه تاتوره در دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸

Table 3- ANOVA for photosynthetic pigment contents of Jimsonweed plant in two cropping years 2018 and 2019

سال Year	منابع تغییر Sources change	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares				
			کاروتنوئید Carotenoids	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	عملکرد هیوسامین Hyoscyamine yeild	عملکرد آسکوپولامین ascopolamine yeild
۱۳۹۷ 2018	تاریخ کاشت Planting date	2	0.103ns	0.002ns	0.129ns	0.005*	0.024*
	تکرار Repeat	1	15.56**	0.119**	15.63**	0.118**	9.866**
	تراکم Density	2	33.37**	0.108**	6.938**	0.291**	5.473**
	تاریخ کاشت × تراکم Planting date × density	4	0.137ns	0.04**	0.386ns	0.029**	0.289ns
	خطا Error	16	0.478	0.006	0.188	0.004	0.105
	ضریب تغییرات Change coefficient (%)		28.55	29.82	27.85	7.82	11.5
۱۳۹۸ 2019	تاریخ کاشت Planting date	2	0.052ns	0.004ns	0.312ns	0.001*	0.012*
	تکرار Repeat	1	21.04**	0.042**	19.97**	0.081**	10.189**
	تراکم Density	2	24.39**	0.005ns	1.063**	0.33**	10.096**
	تاریخ کاشت × تراکم Planting date × density						
	خطا Error	4	0.844**	0.008ns	0.078ns	0.0095*	0.24ns
	ضریب تغییرات Change coefficient (%)	16	0.148	0.0053	0.089	0.002	0.107
			15.99	18.66	18.27	6.42	12

ns و ** و ***: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

***, * and ns: significant at the 5% of probability level, significant at the 1% of probability level, and non-significant respectively.

هیوسامین

نتایج حاصل از آنالیز عصاره‌های تهیه شده از دانه‌های تاتوره نشان داد که هیوسامین در دانه گیاه وجود داشت. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب سطوح تراکم و تاریخ کاشت بر هیوسامین در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). همچنین تجزیه واریانس در دو سال ۹۷ و ۹۸ نیز نشان داد که اثر سطوح تراکم و تاریخ کاشت بر صفت فوق در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین مقدار آسکوپولامین در تاریخ کاشت پاییز و در تیمار ۶ بوته در متر مربع (۳/۷ میلی گرم بر گرم وزن دانه) بدست آمد (شکل ۳). اختلاف در سطح آکالوئیدها ناشی از فاکتورهای داخلی مانند سن گیاه و غیره وجود دارد که نسبت به عوامل خارجی و محیطی از اهمیت بیشتری برخوردارند. بنابراین تاریخ کاشت و تراکم به عنوان عامل مهمی در

تولید آکالوئیدها محسوب می‌گردد.

آسکوپولامین

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که میزان آسکوپولامین به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار تاریخ کاشت و تراکم بوته قرار گرفت (جدول ۲). همچنین در دو سال آزمایش سطوح تراکم بوته و تاریخ کاشت بر روی آسکوپولامین در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین مقدار آسکوپولامین در تیمار تاریخ کاشت پاییز و تراکم ۶ بوته در متر مربع بدست آمد (شکل ۳). معنی‌دار شدن دو تیمار اعمال شده بر میزان آسکوپولامین در تاتوره نشان می‌دهد که اگر چه سنتز این مواد در اصل تحت کنترل فرایندهای ژنتیکی است، ولی به طور آشکار تحت تاثیر عوامل محیطی و تغییرات آن‌ها قرار

رشد، روبرو شده است که باعث کاهش در عملکرد تاتوره شده است، لذا در تاریخ کاشت پاییز عملکرد دانه در تیمار تراکم ۶ بوته با ۱۱۷۴/۷۲ کیلوگرم در هکتار بود. این در حالی است که در همین تیمار در تاریخ کاشت بهار ۹۴۵/۳۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۷). افزایش عملکرد مشاهده شده احتمالاً به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و استفاده بهتر از نور خورشید و سایر منابع طی فصل رشد و افزایش فتوسنتز می‌باشد، اما اصلی‌ترین دلیل افزایش عملکرد در تراکم کم، افزایش وزن بوته در واحد سطح و استفاده بهتر از نور و شرایط محیطی بوده است چون در این حالت رقابت بین بوته-ای کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان چنین اظهار داشت که با افزایش تراکم رقابت بین گیاهان برای تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافته است. با توجه به نقش مهم اکوفیزیولوژیک نور در تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی، تنظیم فاصله یک ابزار قدرتمند در افزایش رقابت بین گیاهان محسوب شده تا تولید بیشتر مواد موثره و عملکرد گیاهان کنترل شود. در یک نتیجه‌گیری کلی، با توجه به تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه در این بررسی، تاریخ کاشت پاییز به دلیل انطباق با شرایط آب و هوایی منطقه اجرای آزمایش و بهره‌برداری بهینه از نهاده‌های تولید و طول فصل رشد، از عملکرد دانه و مقدار هیوسیامین و آسکوپولامین بالاتری برخوردار بود. همچنین تاریخ کاشت بهار نیز سبب کاهش صفات مورد بررسی گردید. در واقع تراکم ۶ بوته در متر مربع در این بررسی سبب افزایش عملکرد دانه و مقدار هیوسیامین و آسکوپولامین گردید. در تراکم‌های کم بوته در این بررسی از جمله تراکم ۶ و ۱۰ بوته در متر مربع مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش یافت. همچنین حفظ مقدار کلروفیل در برگ‌های جوان سبب تأخیر در روند پیری و بالا رفتن دوام سطح برگ می‌گردد که بر انتقال مواد فتوسنتزی به دانه تأثیر قابل ملاحظه-ای خواهد داشت در نتیجه هر چقدر غلظت کلروفیل در برگ بیشتر باشد، دوام سطح برگ بیشتر و مواد پروده کند تر به دانه انتقال می-یابد، بنابراین دوره پر شدن دانه طولانی‌تر خواهد شد. در نتیجه با انتخاب تاریخ کاشت مناسب مراحل مختلف رشد گیاه با شرایط مطلوب‌تر محیطی منطبق می‌شود و این امر سبب افزایش بازدهی فتوسنتز و در نتیجه ذخیره مطلوب مواد فتوسنتزی در دانه‌ها می‌گردد که با اظهارات رضوی مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam et al., 2008) مطابقت دارد.

می‌گیرند. بنابراین از آنجایی که عوامل محیطی نقش عمده‌ای در فرآیند بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه دارند، بررسی تغییرات میزان آلکالوئیدها تحت شرایط محیطی مستلزم تحقیق گستره‌تر در این زمینه می‌باشد.

عملکرد هیوسیامین

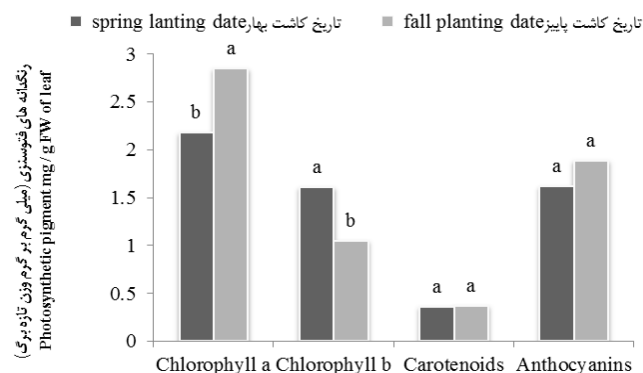
همانگونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، اثر تاریخ کاشت و سطوح تراکم در سطح یک درصد بر عملکرد آلکالوئید هیوسیامین معنی‌دار گردید. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سال ۹۷ بر عملکرد هیوسیامین در سطح احتمال یک درصد و اثر سطوح تراکم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد هیوسیامین معنی‌دار گردید (جدول ۳). در سال ۹۸ نیز اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد و اثر تراکم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد هیوسیامین معنی‌دار گردید (جدول ۳). بررسی مقدار آلکالوئیدها در دو تاریخ کاشت پاییز و زمستان نشان داد که درصد آلکالوئید هیوسیامین در تاریخ کاشت بهار بیشتر است (شکل ۶). بیشترین درصد هیوسیامین در تیمار ۶ بوته در متر مربع و در تاریخ کاشت پاییز بدست آمد (شکل ۶). این مشاهده می‌تواند نشان دهنده ارتباط میان دمای فصل رویش با میزان آلکالوئیدها باشد.

عملکرد آسکوپولامین

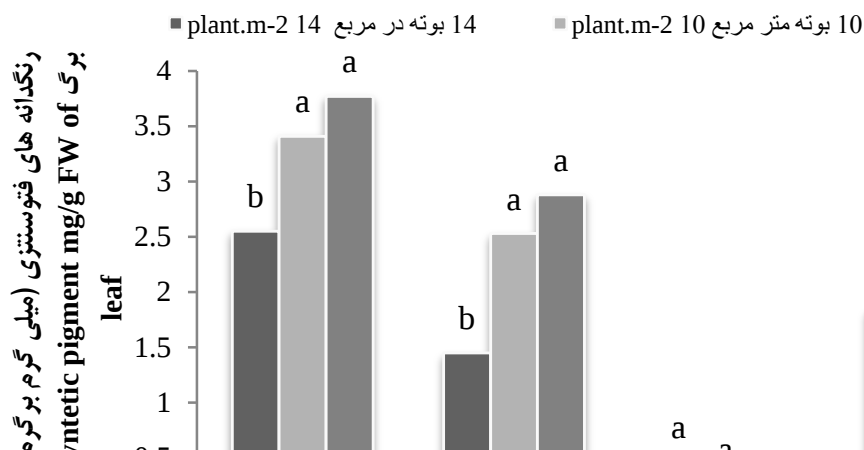
نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر تاریخ کاشت و تراکم در سطح یک درصد بر عملکرد آسکوپولامین داشت (جدول ۲). بر اساس نتایج تجزیه واریانس نشان داده شده در جدول ۳ اثر تراکم و تاریخ کاشت در سال ۹۷ بر عملکرد اسکوپولامین در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. در سال ۹۸ نیز اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد و اثر تراکم بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. همچنین بیشترین درصد اسکوپولامین در تاریخ کاشت پاییز و در تیمار ۱۰ و ۶ بوته در متر مربع (حدود ۵۵ درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار ۱۴ بوته در متر مربع در تاریخ کاشت پاییز مشاهده گردید (شکل ۵). یکی از دلایل این مشاهدات می‌تواند، ارتباط سنتز آلکالوئیدها با دما و طول فصل رشد باشد.

عملکرد دانه

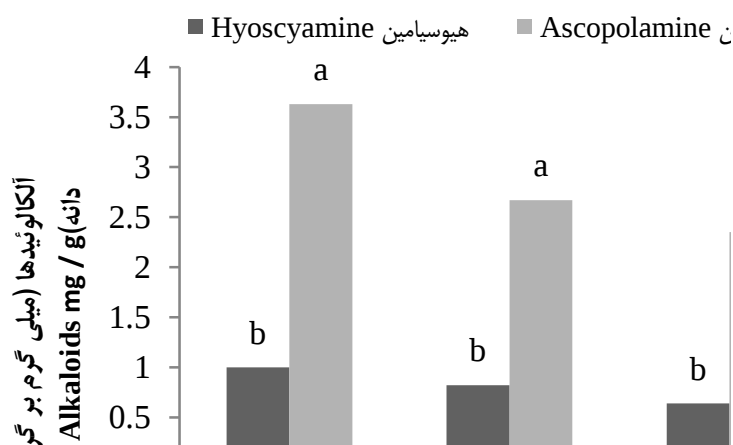
نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تراکم‌های مختلف و تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۲). با توجه به افزایش طول دوره‌ی رشد در اثر کاشت زود هنگام، گیاه فرصت کافی برای تکمیل فاز رویشی و زایشی خود را دارد ولی در کاشت دیر هنگام گیاه با گرمای آخر فصل



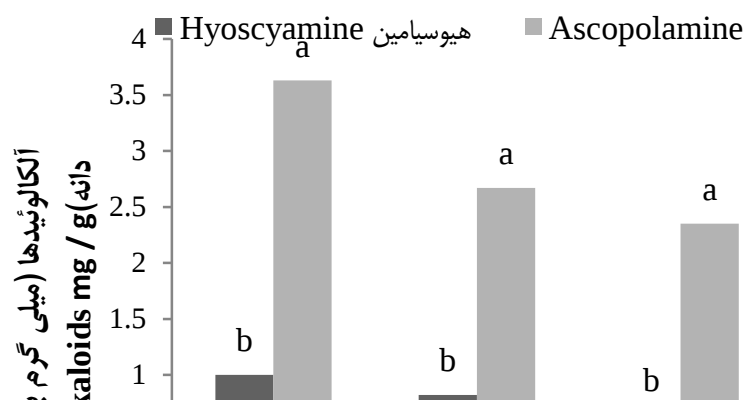
شکل ۱- محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه تاتوره در تاریخ کاشت‌های مختلف در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸
Figure 1- The content of photosynthetic pigments of Jimsonweed plant in the different planting dates in the two cropping years 2018 and 2019 (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۲- محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه تاتوره در تراکم‌های مختلف در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸
Figure 2 - The content of photosynthetic pigments of Jimsonweed plant in different plant densities in the two cropping years 2018 and 2019 (LSD, $p \leq 0.05$)

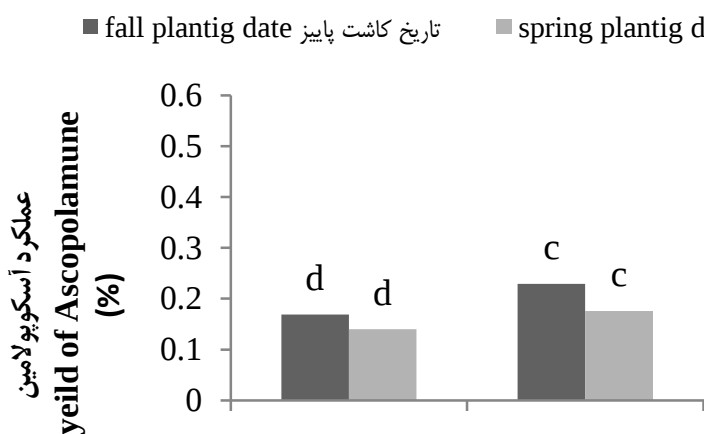


شکل ۳- محتوی آکالوئیدهای هیوسامین و آسکوپولامین گیاه تاتوره در سطوح متفاوت تراکم بوته
Figure 3- The content of hyoscyamine and ascopolamine alkaloids of Jimsonweed plant at different levels of plant density (LSD, $p \leq 0.05$)



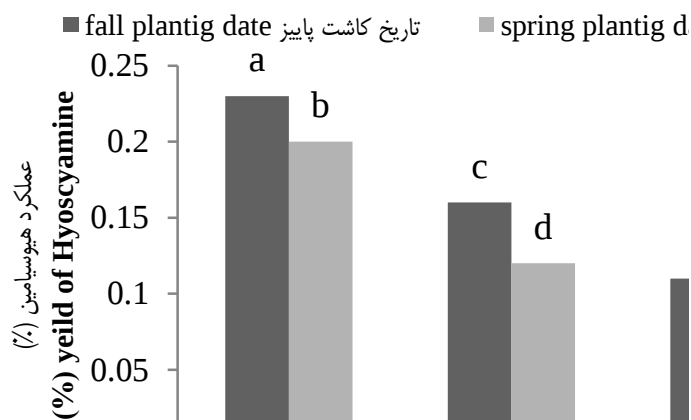
شکل ۴- محتوای آلکالوئیدهای هیوسیامین و آسکوپولامین در گیاه تاتوره در تاریخ کاشت‌های متفاوت

Figure 4- The content of hyoscyamine and ascopolamine alkaloids of Jimsonweed plant in different planting dates (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۵- اثر متقابل تراکم بوته × تاریخ کاشت برای عملکرد آسکوپولامین بذر تاتوره

Figure 5- The interaction effect of plant density × planting date for the scopolamine yield of Jimsonweed seed (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۶- اثر متقابل تاریخ کاشت × تراکم بوته بر عملکرد هیوسیامین بذر تاتوره

Figure 6- The interaction effect of planting date × plant density for the hyoscyamine yield of Jimsonweed seed (LSD, $p \leq 0.05$)

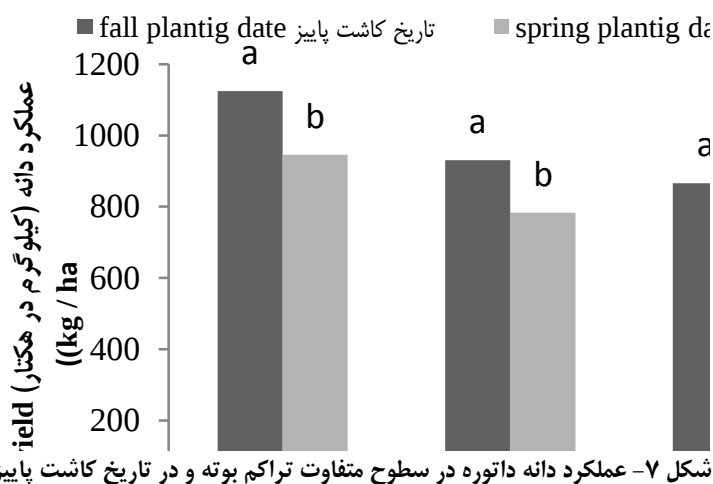


Figure 7- The grain yield of Jimsonweed at different levels of plant density in autumn and spring planting dates (LSD, $p \leq 0.05$)

منابع

- 1- Al-Humaid, A.I. (2005). Effects of compound fertilization on growth and alkaloids of datura plants. *Journal of Plant Nutrition* 27(12): 2203-2219.
- 2- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23(1): 112-121.
- 3- Berkov, S., Zayed, R., & Doncheva, T. (2006). Alkaloid patterns in some varieties of *Datura stramonium*. *Fitoterapia* 77(3): 179-182.
- 4- Bakhshandeh, A., Soltani, A., Zeinali, A., Kalateh, M., & Ghadirian, R. (2011). Evaluation of allometric relationships of leaf area and vegetative traits in Durum cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences* 13(3): 657-642. (In Persian)
- 5- Emadi, N., Jahanbakhsh, Sh., & Baluchi, H. (2012). Effect of drought stress and plant density on yield and some physiological characteristics of *Phaseolous vulgaris* L. in Yasuj region. *Journal of Production and Processing of Crops and Horticultural Products* 8: 35-25. (In Persian)
- 6- Hadley, P., Summerfield, R.J., & Roberts, E.H. (1983). Effects of temperature and photoperiod on reproductive development of selected grain legume crops [Breeding].
- 7- Harries, M., & White, P. (2007, November). *Integrated weed management in Western Australia, a fight against herbicide resistant weed*. In 6th European Conference on Grain Legumes. Lisbon Congress Center, Portugal.
- 8- He, W., Wang, P., Chen, J., & Xie, W. (2020). Recent progress in the total synthesis of Strychnos alkaloids. *Organic & Biomolecular Chemistry* 18(6): 1046-1056.
- 9- Hosseini, N., Ebrahimi, S.N., Salehi, P., Asghari, B., & Ahmadi, M. (2011). Simultaneous determination of atropine and scopolamine in different parts of *Hyoscyamus arachnoideus* Pojark plants by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Journal of Medicinal Plants Research* 5(15): 3552-3557.
- 10- Javadi, H., Moosavi, G.R., Seghatoleslami, M.J., & Shahbeygi, H. (2020). The effect of planting date, nitrogen and phosphorus on yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Applied Field Crops Research* 33(3): 54-72.
- 11- Lichtenthaler, H.K. (1987). *Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes*. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.
- 12- Koyro, H.W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany* 56(2): 136-146.
- 13- Niakan, M., Rezapour Mahjoob, S., & Ghorbanli, M. (2015). Effect of exogenous putrescine on growth, photosynthesis and alkaloid compounds of *Datura (Datura stramonium* L.) in response to salinity stress under hydroponic conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology* 6(1): 111-123.
- 14- Saberi, M.H., & Azarmjoo, A. (2015). Effect of planting date on yield of some agronomic traits in five rapeseed cultivars in Birjand. 7(1): 9-1. (In Persian)
- 15- Seyed Sharifi, R., Javanshir, A., Shakiba, M.R., Golazani, K., Mohammadi, A., & Seyed Sharifi, R. (2006). Maize analysis affected by density levels and different periods of interference Sorghum. *Desert Magazine* 11(1): 143-157. (In Persian)
- 16- Shiferaw, M., Tamado, T., & Asnake, F. (2018). Effect of plant density on yield components and yield of kabuli

- chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties at Debre Zeit, Central Ethiopia. *International Journal of Plant & Soil Science* 1-6.
- 17- Oseni, O.A., Olarinoye, C.O., & Amoo, I.A. (2011). Studies on chemical compositions and functional properties of thorn apple (*Datura stramonium* L.) Solanaceae. *African Journal of Food Science* 5(2): 40-44.
- 18- Rezvani Moghadam, P., Boromand Reza Zade, Z.I.N.A.T., Mohamad Abadi, A.A., & Sharif, A. (2008). Effects of sowing dates and different fertilizers on yield, yield components, and oil percentage of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6(2): 303-314.
- 19- Tian, C., Zhou, X., Fahmy, A. E., Ding, Z., Zhuran, M.A., Liu, Q., & Eissa, M.A. (2020). Balanced fertilization under different plant densities for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on paddy soils in Southern China. *Industrial Crops and Products* 151: 112413.
- 20- Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular Plant* 3(1): 2-20.
- 21- Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology* 64(1): 88-93.



Response of some Vegetative, Qualitative and Quantitative Traits of Grape Vine (*Vitis vinifera* L. Cv. Rishbaba) to Type of Color and Percentage of Shading in Netting System

L. Jafary¹, B. Kavousi^{2*}, H. Zare³

Received: 08-11-2021
Revised: 13-11-2021
Accepted: 11-12-2021
Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Jafary, L., Kavousi, B., & Zare, H. (2022). Response of some Vegetative, Qualitative and Quantitative Traits of Grape Vine (*Vitis vinifera* L. Cv. Rishbaba) to Type of Color and Percentage of Shading in Netting System. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 671-682. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2021.73470.1105](https://doi.org/10.22067/jhs.2021.73470.1105)

Introduction

Table grape is one of the most important horticultural crops in Fars province however in recent years climate change has caused negative effects on phenology and reduced the quantity and quality of its product. Around the world, shade net is used for a different of crops, from fruits and vegetables to nursery plants to protect against strong sunlight, wind, hail and bird injury. Shade net are commonly used in vineyards for early, late harvest, protection from hail, snow, storms, and the prevention of the negative effects of pests and diseases in many countries such as Japan, Thailand, Australia, Chile, the United States and Turkey. This study was conducted to investigate the effect of color type and shading percentage on some characteristics of grapes of Rishbaba cultivar in one of the vineyards of Kavar city in 2019.

Materials and Methods

The experiment was performed as a factorial experiment based on randomized complete block design with 3 replications with canopy color factors (green, red and white) and shading percentage (30% and 50%) and without canopy (control). Kavar city is located 45 km southeast of the center of the province and has a longitude of 25° and 42' and a latitude of 29° and 11'. The altitude is 1510 meters above sea level and the average rainfall is 290 mm, the average annual temperature is 22, the maximum temperature is 44 and the minimum temperature is minus 4 degrees Celsius. In this study, some characteristics of vegetative and biochemical traits such as shoot length, number of nodes, internode distance, leaf area and chlorophyll, some environmental indicators (leaf temperature, light intensity and some characteristics of quantitative traits berry and cluster weight and some qualitative traits Similar soluble solids, taste index and vitamin C were examined.

Results and Discussion

The results showed that green cover with 50% shading had the highest vegetative growth in terms of shoot length (20.87 cm), internode distance (3.80 cm) and leaf area (188.33 cm²) and the lowest shoot length (42 cm) and (48.25 cm²), internode distance (2.97 and 2.58 cm) and leaf area (133.07 and 139.68 cm²) were related to control and white canopy treatments, respectively. Shade net with red color has the highest number of nodes (22.77) and with 50% shading the highest amount of total chlorophyll (30.47 mg / g fresh weight), cluster weight (691.67 g) and vitamin C (4.10 mg per 100 ml juice). The white color of the shade caused the highest leaf temperature (29.17 ° C) and light intensity (538.67 watts per square meter). In general, shading reduced the temperature of grape leaves and increasing the percentage of shade had a decreasing effect on light intensity. The shade net also reduces the amount of sunlight reaching the trees and lowers the level of evapotranspiration,

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

2 and 3- Research Assistant Professors of Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

(* - Corresponding Author Email: b.kavousi@areeo.ac.ir)

which reduces the symptoms of plant water stress and thus increases photosynthesis, plant yield and fruit size.

Conclusion

Among the different net colors, the highest leaf temperature (29.17°C) was related to white color and the lowest (26.92°C) was related to red and green colors. Among the different colors of the nets, white color had the highest intensity of light (538.67 watts per square meter) and the lowest intensity of light (540.67 watts per square meter) related to green color. The white color of the shade net had an increasing effect on the taste index and the green color had a decreasing effect compared to other colors. Uncoated vines (control) had the highest amount of soluble solids, while green cover with 50% shading had the lowest amount of soluble solids. According to the results of this study, the red canopy had an increasing role in increasing the quantity and quality of bearded grapes, the green canopy caused vegetative growth and the increase in vegetative growth with the percentage of shade had a direct effect. The shade net protected the vines and the crop from sunlight and prevented sunburn. The green canopy with 50% shading had the most positive effect. All treatments had a positive effect on the vegetative growth of vines and among them, green canopy with 50% shading had the greatest effect. All treatments had a positive effect on crop uniformity in terms of size and color and red canopy with 50% shading had the most positive effect on quantity and quality of Rishbaba grapes compared to other treatments.

Keywords: Climate change, Leaf temperature, Shoot length, Vineyard

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۸۲-۶۷۱

تاثیر نوع رنگ و درصد سایه‌دهی سایبان بر برخی از ویژگی‌های رویشی، کمی و کیفی انگور رقم 'ریش‌بابا'

لیلا جعفری بورکی^۱ - بیژن کاووسی^{۲*} - حمید زارع^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰

چکیده

انگور یکی از مهم‌ترین محصولات باغی در استان فارس بوده که به صورت دیم و آبی تحت کشت می‌باشد. شواهد نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی موجب اثرات منفی بر برخی ویژگی‌های فنولوژی، کمیت و کیفیت محصول شده است. یکی از راهکارهای کاهش خسارت تغییر اقلیم همچون آفتاب‌سوختگی برگ و میوه، استفاده از پوشش سایبان می‌باشد. در این راستا، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر نوع رنگ (سبز، قرمز و سفید) و درصد سایه‌دهی سایبان (۳۰ و ۵۰ درصد) بر برخی ویژگی‌های انگور رقم 'ریش‌بابا'، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در یکی از تاکستان‌های شهرستان کوار در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. نتایج نشان داد که پوشش رنگ سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بیشترین رشد رویشی را از نظر طول شاخه (۲۰/۸۷ سانتی‌متر)، فاصله میانگره (۳/۸۰ سانتی‌متر) و سطح برگ (۱۸۸/۳۳ سانتی‌متر مربع) داشته و کمترین میزان طول شاخه (۴۲ و ۴۸/۲۵ سانتی‌متر مربع)، فاصله میانگره (۲/۹۷ و ۲/۵۸ سانتی‌متر مربع) و سطح برگ (۱۳۳/۰۷ و ۱۳۹/۶۸ سانتی‌متر مربع) به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و سایبان رنگ سفید بود. سایبان با رنگ قرمز بیشترین تعداد گره (۲۲/۷۷) و با سایه‌دهی ۵۰ درصد بیشترین میزان کلروفیل کل (۳۰/۴۷ میلی‌گرم به گرم وزن تر)، وزن خوشه (۶۹۱/۶۷ گرم) و ویتامین ث (۴/۱۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) را نشان داد. رنگ سفید سایبان باعث بیشترین میزان دمای برگ (۲۹/۱۷ درجه سانتی‌گراد) و شدت نور (۵۸۳/۶۷ وات بر متر مربع) گردید. در مجموع سایه‌دهی باعث کاهش دمای برگ انگور گردید و افزایش درصد سایه بر میزان شدت نور اثر کاهشی داشت. رنگ سفید سایبان نسبت به سایر رنگ‌ها بر شاخص طعم اثر افزایشی و رنگ سبز اثر کاهشی داشت. تاک‌های بدون پوشش (شاهد) دارای بیشترین میزان مواد جامد محلول بودند، در صورتی که سایبان رنگ سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد دارای کمترین میزان مواد جامد محلول بود. بر اساس نتایج این پژوهش سایبان رنگ قرمز در کمیت و کیفیت انگور 'ریش‌بابا' نقش افزایشی داشت، سایبان رنگ سبز موجب رشد رویشی گردید و افزایش رشد رویشی با درصد سایه اثر مستقیم داشت. با هدف کاهش تنش‌های محیطی به همراه افزایش کیفیت محصول انگور 'ریش‌بابا' پوشش رنگ قرمز با سایه‌دهی ۵۰ درصد پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، تاکستان، دمای برگ، طول شاخه، مواد جامد محلول

مقدمه

انگور با نام علمی *Vitis vinifera* L. گیاه دائمی از تیره

Vitaceae است. این خانواده دارای حداقل ۱۱ جنس شناخته شده و حدود ۶۰۰ گونه است (Einset and Dratt, 1975). در میان آنها *Vitis* مهمترین و تنها جنس است که میوه آن خوراکی بوده و دارای ۶۰ گونه و ۱۰۰۰۰ رقم نام‌گذاری شده در دنیا است. گونه *vinifera* تنها گونه اروپایی و مهم‌ترین گونه تجاری انگور است. این محصول از میوه‌هایی است که از زمان‌های بسیار قدیم مورد استفاده بشر قرار گرفته است. درباره دیرینگی انگور دو نظریه وجود دارد، عده ای بر این باورند که انگور حتی پیش از پیدایش غلات مورد استفاده قرار می‌گرفته و به صورت وحشی به مقدار فراوان در جنگل‌ها وجود

۱- گروه علوم باغبانی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
۲ و ۳- استادیاران پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(*)-نویسنده مسئول:
(Email: b.kavousi@areeo.ac.ir
DOI: 10.22067/jhs.2021.73470.1105

داشته و انسان‌های نخستین از برگ و میوه آن استفاده می‌کرده‌اند و گروه دیگر بر این باورند که دیرینگی انگور مربوط به ۶ تا ۷ هزار سال پیش است (Shnmugavelu, 2003). مردم ایران از دیرزمان با روش‌های کشت و تولید انگور آشنا بوده‌اند به همین دلیل است که امروزه در اکثر نقاط ایران از نواحی سردسیر شمال تا حواشی کویر و همچنین مناطق جنوب، کشت انگور معمول می‌باشد (Tafzoli et al., 1991).

کشور ایران با سطح زیرکشت ۳۰۹ هزار هکتار تاکستان، رتبه هشتم و با تولید ۳۲۰۰۰۰ تن محصول رتبه نهم جهانی را از آن خود نموده است (FAOSTAT, 2018). عمده ارقام انگور در تاکستان‌های ایران شامل: 'بیدانه سفید و قرمز'، 'عسکری'، 'صاحبی'، 'یاقوتی'، 'شاهرودی'، 'پیکامی' و 'خلیلی' می‌باشند. استان فارس با سطح زیرکشت ۶۵۲۱۴ هکتار و تولید ۵۱۵۰۰ تن، از نظر سطح و تولید رتبه اول کشوری را دارد. عمده ارقام انگور فارس شامل: 'یاقوتی'، 'عسکری'، 'رطبی'، 'لرکشت'، 'ریش بابا' و 'سمرقندی' و... می‌باشند. شهرستان کوار از استان فارس با سطح زیرکشت ۶۲۰۰ هکتار و تولید سالانه ۱۴۰۰۰ تن، رتبه اول عملکرد استانی را دارد (Fars Agricultural Jihad Organization, 2019).

انگور محصول مهمی از مناطق معتدله و نیمه‌گرمسیری است. انگور در سرتاسر جهان کشت می‌شود. دمای جو در طول فصل رشد و باروری انگور دارای نقش قطعی در کیفیت و عملکرد میوه می‌باشد. نور مستقیم با درجه حرارت بالا باعث کاهش کیفیت انگور می‌شود (Serat and Kulkarni, 2013). اثرات نور و دما بر روی میوه زیاد است و جداکردن اثرات این عوامل دشوار است. درک ما از اهمیت نور و دما بر انگور به دهه ۱۹۵۰ بر می‌گردد. بسیاری از مطالعات اولیه در مورد اثرات نور تمرکز بر مواد جامد محلول و اسیدهای آلی دارد (Reynolds, 2021).

پژوهشگران تأثیر سه محیط نور (۲۱ درصد، ۳۰ درصد و ۱۰۰ درصد نور کامل) بر انگور را بررسی کردند و دریافتند که اسیدیته قابل تیتر (TA) بالاتر و غلظت اکثر اسیدهای آلی در میوه‌های سایه‌دار بیشتر بود (Kliwer and Schultz, 1964). غلظت فلانول و پروآنتوسیانیدین‌ها در انگورهای زیر سایبان نسبت به انگورهای بدون سایبان و در معرض خورشید کامل، پایین‌تر است (Koyama et al., 2012). برخی نویسندگان گزارش دادند سایه‌دهی تأثیر کمی در رسیدن انگور و تجمع قند دارد، اما باعث افزایش pH و اسیدیته قابل تیتر می‌شود (Matus et al., 2009; Ristic et al., 2007). پاسخ دقیق انگور به سایه‌دهی بستگی به ژنوتیپ انگور، همچنین شیوه‌های کشت، جهت ردیف، تراکم تاج برگ و موقعیت خوشه‌های انگور دارد (Matus et al., 2009). هرچند پرورش انگور در ایران هم به صورت آبی و هم به صورت دیم انجام می‌شود اما قابلیت دسترسی به آب

مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید این محصول در کشور است که این مشکل با تغییر اقلیم تشدید می‌شود، حتی اگر سطوح بارندگی ثابت نگه داشته شود خطرات خشکی شدید به خاطر افزایش تقاضای تبخیر اتمسفری ناشی از گرم‌شدن زمین افزایش می‌یابد (Kavoosi and Hasanpour, 2018). میوه‌های انگور که در معرض زیاد گرمای خورشید قرار می‌گیرند آسیب دیده و کشمشی می‌شوند این یک پدیده رایج در مناطق دارای شدت نور و دمای زیاد در طی دوره رشد است (Cuevas, 2006). پوشش تور در سراسر جهان برای انواع محصولات از میوه‌جات و سبزیجات گرفته تا گیاهان خزانه‌ای برای حفاظت در مقابل نور شدید خورشید، باد، تگرگ و حمله پرندگان استفاده می‌شوند. در استرالیا عمدتاً برای حفاظت از آسیب تگرگ و پرندگان استفاده می‌شود و در شمال ویکتوریا برای حفاظت در مقابل نور خورشید به سرعت در حال گسترش است. یکی از کشورهای پیشرو در کاربرد این نوع پوشش‌ها ایتالیا است. در ایران تاکنون در استان‌های خراسان رضوی (باغات آستان قدس رضوی) جنوب استان فارس در شهرستان جهرم بیش‌ترین توسعه کمی اجرا شده است (Kavoosi, 2019).

سایبان‌ها سه کاربرد عمده در کشاورزی دارند که شامل محافظت در برابر تابش بیش از حد خورشید، محافظت در برابر خطرات زیست محیطی مانند بادهای شدید، تگرگ، شن، ماسه و طوفان، محافظت در برابر آفات، پرندگان و حشرات می‌باشند (Gussakovsky, 2002). سایبان نوردهی مستقیم خورشید را به حداقل می‌رساند و به حفظ آن کمک می‌کند. همچنین شرایط بهینه آب و هوایی را در طول تغییرات درجه حرارت حفظ کرده و باعث حفظ طبیعی فعالیت‌های فیزیولوژیکی و در نتیجه کیفیت انگور می‌شود (Serat and Kulkarni, 2013). تورها به طور گسترده در تولید محصولات زراعی بعنوان یک محافظ در برابر عوامل زنده‌ای که بهره‌وری محصول و کیفیت میوه را به خطر می‌اندازند، استفاده می‌شوند (Sivakumar and Jifon, 2018). بر اساس تحقیقی که در سال ۲۰۱۳ بر روی انگور رقم 'تامسون' انجام شد، مشخص گردید رنگ سبز سایبان با شدت ۳۰ درصد و ۵۰ درصد باعث افزایش وزن خوشه، عملکرد بهتر در هر بوته، عملکرد بهتر در هکتار و حفظ رنگ در حبه‌های انگور می‌گردد (Serat and Kulkarni, 2013).

پژوهشگران در سال ۲۰۱۸ نشان دادند که پوشش سایبان بر روی کیفیت و ذخیره‌سازی انگور رقم 'سلطانی' بدون بذر مؤثر است. در این آزمایش که انگورها در مرحله تغییر رنگ با سه شدت سایه‌دهی (۰ و ۳۵ و ۷۵ درصد) قرار گرفتند، انگورهای برداشت شده در تیمار ۳۵ درصد از کیفیت و انبارمانی بهتری برخوردار بود (Sen et al., 2016). رنگ سایبان سیاه با شدت ۷۵ درصد بیشترین ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی را باعث می‌شود. اما زودگلدهی، تعداد گل در بوته، درصد میوه، تعداد

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با دو فاکتور رنگ سایبان در سه سطح (سبز، سفید و قرمز) و درصد سایه‌دهی در سه سطح (شاهد بدون سایبان، ۳۰ و ۵۰ درصد)، در سه تکرار و هر تکرار شامل سه تاک رقم 'ریش‌بابا' در یک تاکستان خصوصی در استان فارس، شهرستان کوار در سال ۱۳۹۸ انجام گردید (جدول ۱).

جهت اجرای آزمایش، تاک‌های انگور رقم ریش‌بابا، ۲۰ ساله، سیستم پاچراگی و مجهز به سیستم آبیاری تحت فشار، در یک تاکستان شخصی واقع در روستای ارباب انتخاب گردید. تورهای حریر ساخت کشور ایران تهیه و بعد از تشکیل میوه روی تاک‌ها نصب و در پایان برداشت، تدریجی در چند مرحله جمع‌آوری گردیدند (شکل ۱).

در این پژوهش برخی ویژگی‌های صفات رویشی و بیوشیمیایی همچون (طول شاخه، تعداد گره، فاصله میانگره، سطح برگ و کلروفیل کل)، برخی شاخص‌های محیطی (دمای برگ)، برخی ویژگی‌های صفات کمی (وزن جبه و وزن خوشه) و برخی صفات کیفی همانند (مواد جامد محلول، شاخص طعم و ویتامین ث) بررسی گردید.

برای اندازه‌گیری طول شاخه، تعداد گره، و فاصله میانگره از هر تیمار ۱۰ شاخه به طور تصادفی انتخاب و به وسیله خط‌کش و محاسبه میانگین اندازه‌گیری گردیدند. به منظور اندازه‌گیری سطح برگ از هرتیمار ۱۰ برگ به طور تصادفی انتخاب و برداشت گردید، سپس درون کیسه‌های پلاستیکی گذاشته در شرایط دمای پایین به آزمایشگاه منتقل و به وسیله دستگاه برگ‌سنج اندازه‌گیری و محاسبه گردید.

میوه در هر گیاه، عملکرد در بوته و عملکرد حاصل سایبان رنگ قرمز با شدت ۷۵ درصد بود. همچنین نشان داده شد که در میان شاخص‌های کیفیت مواد جامد محلول، استحکام میوه، محتوای لیکوپن و اسیداسکوربیک در رنگ قرمز با شدت ۷۵ درصد بیشتر بود. کشت محصولات گوجه‌فرنگی در زیر سایه قرمز ۷۵ درصد برای کسب عملکرد بالاتر و باکیفیت‌تر ایده‌آل است (Vinod, 2015). در تحقیقی که توسط زارع در سال ۱۳۹۸ (Zare, 2019)، انجام گردید اثر پنج نوع رنگ تور (سیاه، سفید، آبی، سبز و قرمز) با سایه‌دهی (۳۰ و ۵۰ درصد) و بدون تور (شاهد) روی انجیر رقم سبز نشان داد که پوشش تور آبی با کمترین نشانه ناهنجاری (کم‌سبزی و بافت مردگی)، بیشترین اندازه‌های طول و عرض برگ، غلظت کلروفیل a و تأثیر مناسب بر کمیت شامل عملکرد، وزن و کیفیت (بالاترین درصد با اندازه و رنگ مطلوب) میوه را داشت. کاربرد پوشش توری زرد و آبی سبب افزایش ویژگی‌های کیفی (مواد جامد محلول، اسیدیته کل)، شیمیایی (فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، آنتوسیانین، کلروفیل و کاروتنوئید) و بهبود جذب عناصر غذایی در میوه انجیر شد، همچنین سبب کاهش شدت نور، دمای برگ و افزایش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز در برگ‌های انجیر رقم سبز در شرایط دیدم شد (Jokar et al., 2021 & 2021).

هدف از این پژوهش کاهش اثرات آفتاب سوختگی و بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصول انگور بود.



شکل ۱- علائم آفتاب سوختگی در شرایط بیرون (سمت وسط) و برگ‌های کاملاً سالم در زیر سایبان (سمت چپ)

Figure 1- Symptoms of sunburn in the out condition (middle side) and completely healthy leaves under the shade (left side)

جدول ۱- درصد سایه‌دهی تیمارهای آزمایش

Table 1- Shading percentage of experimental treatments

تیمار Treatment	رنگ تور Net color	شدت نور Light intensity (w.m ⁻²)	سایه دهی Shading(+/-5)
رنگ سبز، سایه‌دهی ۵۰ درصد Green color, 50% shading	سبز Green	472	50
رنگ سفید، سایه‌دهی ۵۰ درصد White color, 50% shading	سفید White	500	50
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۵۰ درصد Red color, 50% shading	قرمز Red	499	50
رنگ سبز، سایه‌دهی ۳۰ درصد Green color, 30% shading	سبز Green	609	30
رنگ سفید، سایه‌دهی ۳۰ درصد White color, 30% shading	سفید White	649	30
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۳۰ درصد Red color, 30% shading	قرمز Red	664	30
شاهد Control	-	915	شاهد (بدون پوشش تور) Control (without net covering)

شاخص طعم از نسبت درصد مواد جامد محلول بر میزان اسیدیته انگور بدست آمد.

برای اندازه‌گیری ویتامین ث از روش (Bor et al., 2006) استفاده گردید. برای این منظور ۱۰۰ میکرولیتر از آب میوه با ۱۰ میلی‌لیتر متافسفریک ۱ درصد مخلوط شد، سپس ۱۰۰۰ میکرولیتر از محلول حاصل را با ۹ میلی‌لیتر ۲ و ۶ دی کلروایندوفنول ۵۰ میکرومولار مخلوط و برای چند ثانیه سانتریفیوژ گردید و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مرئی فرانفش مدل T60uv visble اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان ویتامین ث نمونه‌ها از منحنی استاندارد اسکوربیک اسید استفاده گردید.

تجزیه آماری داده‌های جمع‌آوری شده با نرم‌افزار آماری SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رویشی

بر اساس نتایج این پژوهش اثر نوع رنگ، درصد سایه‌دهی و برهمکنش رنگ و سایه‌دهی بر صفت طول شاخه معنی‌دار بود و تاک‌هایی که زیر سایبان بودند نسبت به شاهد طول شاخه بلندتری داشتند. بیشترین طول شاخه (۸۷/۲۰ سانتی‌متر) مربوط به تیمار پوشش سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بود و با طول شاخه تیمار پوشش قرمز با سایه‌دهی ۵۰٪ تفاوت معنی‌داری نداشت. تیمار شاهد دارای کمترین طول شاخه (۴۲ سانتی‌متر) بود که در این ویژگی با تیمارهای قرمز با سایه‌دهی ۳۰ درصد و سفید با سایه‌دهی ۳۰ درصد و ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

تأثیر تورهای محافظتی بر فیزیولوژی درخت و کیفیت میوه سبب

برای تعیین غلظت کلروفیل کل، ابتدا ۵۰ میلی‌گرم نمونه برگ‌ی تازه از هر تیمار آزمایشی در ۵ میلی‌لیتر دی‌متیل سولفوکسید (DMSO) به مدت ۲۴ ساعت در دمای معمولی اتاق قرار داده و سپس جذب نوری عصاره برگ‌ی در طول موج ۶۶۳ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج مرئی فرانفش مدل UV-1601-Ray LEIGH اندازه‌گیری گردید. اعداد بدست آمده در فرمول مربوطه جای‌گذاری و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید (Hiscox and Israelstam, 1979).

$$\text{Chl. T} = (20.21 \times A663) + (8.02 \times A663)$$

برای اندازه‌گیری دمای برگ از دستگاه دماسنج مادون قرمز استفاده گردید.

شدت نور در طی چندین مرحله با دستگاه نورسنج SOLAR (POWER METER) مدل TES 1333 اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری درصد مواد جامد محلول، از عصاره انگور استفاده شد. برای این منظور یک قطره از عصاره میوه بر روی دستگاه رفرکتومتر دستی ریخته و میزان قند محلول به صورت درجه بریکس در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرائت و در نهایت میانگین اعداد خوانده شده برای هر تیمار محاسبه گردید (Hohen et al., 2003).

اسید غالب میوه انگور اسید تارتاریک می‌باشد، برای اندازه‌گیری مقدار اسید، ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر آب میوه با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و چند قطره فنل‌فتالین یک درصد بعنوان معرف مخلوط، سپس با سود ۰/۲ نرمال تیتره نموده تا رنگ صورتی مشاهده و حجم سود مصرفی یادداشت گردید و با استفاده از فرمول مربوطه میزان TA محاسبه گردید (Roussos et al., 2011).

$$\%TA = \frac{\text{اکی والان وزن اسید} \times \text{NaoH} \times \text{نرمالیه} \times \text{حجم سود مصرفی}}{\text{CC} \times 1000 \times \text{وزن میوه}}$$

صفات محیطی

دمای برگ در تیمار شاهد بیشترین مقدار (۳۴/۳۳) درجه سانتی‌گراد بود. بر اساس نتایج اثر نوع رنگ و درصد سایه‌دهی بر دمای برگ اختلاف معنی‌داری نشان داد بطوری‌که در تمام پوشش‌های رنگی و درصدهای سایه‌دهی، دمای برگ نسبت به شاهد کاهش داشت. بعد از شاهد بیشترین درجه دمای برگ (۳۰/۸۳) درجه سانتی‌گراد (مربوط به پوشش سفید با سایه‌دهی ۳۰ درصد مشاهده شد و سایر رنگ‌ها با هم اختلاف نشان ندادند (جدول ۳). در بین پژوهشگران در اقلیم مدیترانه از سایبان استفاده کردند و کاهش حداکثر دما را ثبت کردند (Shahak et al., 2004). نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین شاهد و سایر پوشش‌ها و درصد سایه‌دهی آنها، از نظر شدت نور وجود داشت بطوری‌که بیشترین شدت نور در شاهد (۹۱۵ وات بر متر مربع) و کمترین شدت نور (۴۷۲ وات بر متر مربع) مربوط به پوشش رنگ سبز با ۵۰ درصد سایه‌دهی بود (جدول ۳). گزارش شده است که تابش شدت نور با درصد سایه‌دهی سایبان در ارتباط است (Ma et al., 2014).

صفات کمی

نتایج نشان داد اثر نوع رنگ پوشش و درصد سایه‌دهی آن بر وزن تک حبه انگور اختلاف معنی‌داری نشان نداد ولی برهمکنش آنها معنی‌دار بود به طوری‌که وزن تک حبه انگور زیر پوشش رنگ قرمز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بیشترین مقدار (۷/۳۳ گرم) بود که با سایر پوشش‌ها و درصد آنها به غیر از پوشش رنگ قرمز با درصد سایه‌دهی ۳۰ درصد، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). سایبان، شدت تابش خورشیدی را که به درختان می‌رسد کاهش داده و سطح تبخیر و تعرق را پایین می‌آورد، این امر باعث کاهش علائم تنش آبی گیاه و در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز، افزایش عملکرد گیاه و افزایش اندازه میوه را به دنبال دارد (Treder et al., 2016; Amarante, 2010).

بر اساس این نتایج برهمکنش رنگ و درصد سایه‌دهی بر وزن خوشه معنی‌دار بود و بیشترین میزان وزن خوشه (۶۹۱/۶۷ گرم) مربوط به تیمار قرمز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بود که با تیمار سفید با سایه‌دهی ۳۰٪ تفاوت معنی‌داری نداشت. سایر تیمارها باهم تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴). نتایج این تحقیق با نتیجه دیگر پژوهشگران که در سال ۲۱۲ بر روی کیوی انجام شد همخوانی داشت (Basile et al., 2012).

نشان داد که کاهش شدت نور با پوشش منجر به افزایش سطح برگ، طول شاخساره و وزن تر اندام هوایی می‌گردد که با افزایش درصد سایه اثر مستقیم دارد و با نتایج این تحقیق همسو بود (Mupambi et al., 2018)، نتایج نشان داد اثر نوع رنگ و درصد سایه‌دهی بر تعداد گره معنی‌دار بود ولی برهمکنش آنها اختلاف معنی‌داری نشان نداد. بیشترین تعداد گره (۲۲/۷۷) مربوط به سایبان رنگ قرمز با ۵۰ درصد سایه‌دهی بود که با رنگ سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد گره (۱۲/۰۷) مربوط به شاهد بود (جدول ۲). مقایسه نوع رنگ و درصد سایه‌دهی و همچنین برهمکنش آنها بر فاصله میان‌گره اختلاف معنی‌داری نشان داد. بیشترین فاصله میان‌گره (۳/۸ سانتی‌متر) مربوط به پوشش سبز ۵۰ درصد بود که با پوشش رنگ قرمز ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). نتیجه این تحقیق با نتیجه گزارش موپامبی^۱ و همکاران (Mupambi et al., 2018)، همخوانی داشت، آنها اظهار داشتند کاهش شدت نور باعث افزایش طول ساقه می‌گردد که این افزایش درجهت افزایش درصد سایه است. براساس نتایج این پژوهش نوع رنگ، درصد سایه دهی و برهمکنش آنها بر میزان سطح برگ اختلاف معنی‌داری نشان داد. میزان سطح برگ در تاک‌های زیر پوشش سبز ۵۰ درصد به طور معنی‌داری با بقیه تیمارها تفاوت داشت و بیشترین سطح برگ (۳۳/۱۸۸ سانتی‌متر مربع) را نشان داد (جدول ۲). این نتیجه با نتایج دیگر پژوهشگران که اعلام کرده‌اند "نوردهی سبز در گونه‌های گیاهی مختلف، سبب برگ‌های نازک و بلند می‌شود همخوانی داشت (Folta and Carvalho, 2015). گیاهانی که در زیر پوشش توری رشد می‌کنند، تمایل دارند که سطح برگ بزرگ‌تری داشته باشند زیرا یاخته‌ها زیر شدت نور کم به منظور دریافت نور برای فتوسنتز گسترش بیشتری دارند. افزایش سطح برگ و کاهش ضخامت پهنک برگ زیر شرایط سایه به طور معمول به دلیل شدت نور کم زیر پوشش است (Ilić et al., 2018). نتایج تحقیق نشان داد مقایسه اثرات نوع رنگ و درصد سایه‌دهی بر کلروفیل کل اختلاف معنی‌داری نشان نداد ولی برهمکنش آنها معنی‌دار بود به طوریکه بیشترین کلروفیل کل (۶/۰۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار رنگ قرمز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بود که با تیمارهای سفید و سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد و ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری نشان نداد ولی با تیمارهای بدون پوشش و قرمز با سایه‌دهی ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۲). این نتیجه با نتیجه پژوهشگران که گزارش نمودند نور قرمز و آبی باعث افزایش فتوسنتز و بهره‌وری در گیاهان گردید همخوانی داشت به این دلیل که کلروفیل a, b در منطقه نور آبی و قرمز از پتانسیل جذب بالاتری برخوردار هستند (Rajapakse and Shahak, 2007).

جدول ۲- برهمکنش درصد سایه‌دهی × رنگ تور بر برخی ویژگی‌های رویشی انگور رقم 'ریش بابا'

Table 2- The interaction effect of shading × net color on some vegetative characteristics of grape cv. Rish Baba

تیمار Treatment	طول شاخه Branch length (cm)	تعداد گره Number of nodes	فاصله میانگره Internode length (cm)	سطح برگ Leaf area (cm)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g ⁻¹)
رنگ سبز، سایه‌دهی ۵۰ درصد Green color, 50% shading	87.20 ^a	20.97 ^{ab}	3.8 ^a	188.33 ^a	5.2 ^b
رنگ سفید، سایه‌دهی ۵۰٪ White color, 50% shading	46.73 ^{bc}	16.07 ^{cd}	2.5 ^d	144.63 ^d	5.06 ^{ab}
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۵۰٪ Red color, 50% shading	83.93 ^a	22.77 ^a	3.37 ^{ab}	163.27 ^b	6.09 ^a
رنگ سبز، سایه‌دهی ۳۰٪ Green color, 30% shading	58.57 ^b	17.60 ^{bc}	3.03 ^{bcd}	155.33 ^{bc}	5.71 ^{ab}
رنگ سفید، سایه‌دهی ۳۰٪ White color, 30% shading	49.77 ^{bc}	16.57 ^{cd}	2.67 ^{cd}	134.73 ^e	5.88 ^{ab}
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۳۰٪ Red color, 30% shading	49.90 ^{bc}	19.07 ^{abc}	2.77 ^{cd}	146.27 ^{cd}	4.29 ^c
شاهد Control	42 ^c	12.7 ^d	2.97 ^{bc}	133.07 ^e	3.60

میانگین‌هایی با حرف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.
Means with the same letter in each column using the LSD test at 5% of probability level are not significantly different

جدول ۳- برهمکنش سایه‌دهی × رنگ پوشش بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی انگور رقم 'ریش بابا'

Table 3- The interaction effect of shading × net color on some physiological characteristics of grape cv. Rish Baba

تیمار Treatment	دمای برگ Leaf temperature (°C)	شدت نور Light intensity (w.m ⁻²)
رنگ سبز، سایه‌دهی ۵۰ درصد Green color, 50% shading	26.83 ^c	472 ^e
رنگ سفید، سایه‌دهی ۵۰٪ White color, 50% shading	27.50 ^c	517.67 ^d
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۵۰٪ Red color, 50% shading	26.17 ^c	499.67 ^{de}
رنگ سبز، سایه‌دهی ۳۰٪ Green color, 30% shading	28 ^c	609.33 ^c
رنگ سفید، سایه‌دهی ۳۰٪ White color, 30% shading	30.83 ^b	649.67 ^b
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۳۰٪ Red color, 30% shading	27.67 ^c	664 ^b
شاهد Control	34.33 ^a	915 ^a

میانگین‌هایی با حرف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.
Means with the same letter in each column using LSD test at 5% of probability level are not significantly different.

صفات کیفی

نتایج نشان داد برهمکنش رنگ و درصد سایه‌دهی بر میزان مواد جامد محلول اختلاف معنی‌داری داشت. میزان مواد جامد محلول در تیمار شاهد بیشترین مقدار (۲۰/۱ درصد) بود که با تیمار سفید با سایه‌دهی ۵۰٪ تفاوت معنی‌داری نشان نداد و کمترین میزان آن (۱۷/۷۳ درصد) مربوط به سایبان سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بود (جدول ۵). با پژوهشی روی کیوی نشان دادند بیشترین مواد جامد

محلول مربوط به تیمار شاهد و بدون سایبان است (Basile et al., 2012). همچنین نتایج نشان داد در تیمار شاهد و پوشش سبز ۵۰ درصد و قرمز ۵۰ درصد میزان اسید قابل تیتراسیون آب میوه دارای بیشترین مقدار بودند و سایر پوشش‌ها باهم اختلاف نشان ندادند (جدول ۵).

جدول ۴- برهمکنش سایه‌دهی × رنگ پوشش بر برخی صفات کمی انگور رقم 'ریش‌بابا'

Table 4- The interaction effect of shading × net color on some quantitative traits of grape cv. Rish Baba

تیمار Treatment	وزن حبه Berry weight (g)	وزن خوشه Bunch weight (g)
رنگ سبز، سایه‌دهی ۵۰٪ Green color, 50% shading	6.533 ^{ab}	608.33 ^b
رنگ سفید، سایه‌دهی ۵۰٪ White color, 50% shading	6.9 ^{ab}	608.33 ^b
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۵۰٪ Red color, 50% shading	7.33 ^a	691.67 ^a
رنگ سبز، سایه‌دهی ۳۰٪ Green color, 30% shading	6.9 ^{ab}	580.3 ^b
رنگ سفید، سایه‌دهی ۳۰٪ White color, 30% shading	6.9 ^{ab}	641.67 ^{ab}
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۳۰٪ Red color, 30% shading	6.7 ^b	586.67 ^b
شاهد Control	6.43 ^b	494.33 ^b

میانگین‌هایی با حرف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

Means with the same letter in each column using LSD test at 5% of probability level are not significantly different.

دهی ۵۰ درصد بود که با شاهد و سفید با سایه‌دهی ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین میزان ویتامین ث (۳/۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) مربوط به رنگ سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بود (جدول ۵). ویتامین ث یک آنتی‌اکسیدان است که در بسیاری از فعالیت‌های بیولوژیکی در بدن انسان وجود دارد. ۹۰٪ ویتامین ث در رژیم غذایی انسان از میوه و سبزیجات تأمین می‌گردد (Lee and Kader, 2000).

بیشترین میزان شاخص طعم (۳۴/۱۲) مربوط به پوشش رنگ سفید و درصد سایه‌دهی ۳۰ درصد بود که فقط با تیمار پوشش سبز ۵۰ درصد و پوشش قرمز ۵۰ درصد اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتیجه این تحقیق با پژوهش (Ombódi et al., 2016) که اظهار داشتند سایه سفید باعث بهبود تغذیه‌ای فلفل کاپیا شد همخوانی داشت. نتایج نشان داد برهمکنش نوع رنگ و درصد سایه‌دهی بر میزان ویتامین ث معنی‌دار بود و بیشترین میزان ویتامین ث (۴/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) مربوط به رنگ قرمز با سایه

جدول ۵- برهمکنش سایه‌دهی × رنگ پوشش بر برخی صفات کیفی انگور رقم 'ریش‌بابا'

Table 5- The interaction effect of shading × net color on some quality traits of Rish Baba grapes

تیمار Treatment	مواد جامد محلول Total soluble solids (%)	اسید قابل تیتراسیون Total acidity (%)	شاخص طعم TSS/TA	ویتامین ث Vitamin C (mg/100ml)
رنگ سبز، سایه‌دهی ۵۰٪ Green color, 50% shading	17.73 ^d	0.643 ^{ab}	27.76 ^c	3.6 ^d
رنگ سفید، سایه‌دهی ۵۰٪ White color, 50% shading	20.03 ^a	0.593 ^b	33.78 ^{ab}	4 ^{ab}
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۵۰٪ Red color, 50% shading	18.23 ^c	0.613 ^{ab}	29.86 ^{bc}	4.1 ^a
رنگ سبز، سایه‌دهی ۳۰٪ Green color, 30% shading	18.1 ^{cd}	0.593 ^b	30.5 ^{abc}	3.8 ^c
رنگ سفید، سایه‌دهی ۳۰٪ White color, 30% shading	19.27 ^b	0.567 ^b	34.12 ^a	3.93 ^{bc}
رنگ قرمز، سایه‌دهی ۳۰٪ Red color, 30% shading	19.23 ^b	0.567 ^b	34.06 ^a	3.93 ^{bc}
شاهد Control	20.1 ^a	0.680 ^a	31.35 ^{abc}	4.03 ^{ab}

میانگین‌هایی با حرف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

Means with the same letter in each column using LSD test at 55 of probability level are not significantly different

ویتامین ث یا اسیداسکوربیک یکی از رایج‌ترین و ضروری‌ترین ویتامین‌هاست. از آنجا که انسان نمی‌تواند اسیداسکوربیک را در بدن سنتز یا ذخیره کند میوه و سبزیجات منابع اصلی جذب اسیداسکوربیک برای انسان هستند (Ma et al., 2014). نتایج این پژوهش با نتایج برخی پژوهشگران که اعلام کردند افزایش پرتو خورشیدی باعث بیوسنتز اسیداسکوربیک می‌شود همسو بود (Tinyane et al., 2013).

نتیجه‌گیری

کشور ایران یکی از کشورهای مهم تولیدکننده محصولات باغی به شمار می‌رود. اما متأسفانه به دلیل شرایط خاص اقلیمی هر ساله خسارت‌های زیادی ناشی از تنش‌های محیطی از جمله سرما، گرما، تگرگ، باد و آفتاب‌سوختگی به محصولات وارد می‌شود که در این میان شهرستان کوار نیز مستثنی نبوده و مخصوصاً در سال‌های اخیر خسارت زیادی ناشی از خشکسالی به تاکستان‌های کوار وارد گردیده است. پوشش سایبان باعث محافظت تاک‌ها و محصول در برابر

منابع

تشعشع نور خورشید و جلوگیری از آفتاب‌سوختگی گردید که سایبان رنگ سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بیشترین تأثیر مثبت داشت. تمام تیمارها بر رشد رویشی تاک‌ها تأثیر مثبت داشتند و در این میان سایبان سبز با سایه‌دهی ۵۰ درصد بیشترین تأثیر داشت. تمام تیمارها بر یکنواختی محصول از نظر سایز و رنگ تأثیر مثبت داشتند و سایبان رنگ قرمز با سایه‌دهی ۵۰ درصد نسبت به سایر تیمارها بیشترین تأثیر مثبت بر کمیت و کیفیت انگور ریش‌بابا داشت. همه این ویژگی‌ها نشان دادند که سایبان در کاهش تنش‌های اقلیمی (گرما و خشکسالی) بر انگور 'ریش‌بابا' مؤثر و مفید بودند و تاک‌های بدون پوشش (شاهد) تحت تنش خشکی و گرما است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری کارکنان آزمایشگاه ایستگاه تحقیقات انجیر استهبان به جهت همکاری در اندازه‌گیری صفات این آزمایش، سپاسگزاری می‌گردد.

- 1- Amarante, C.V.T., Steffens, C.A., & Argenta, L.C. (2010). Radiation, yield, and fruit quality of Gala apples grown under white hail protection nets. P. 1067-1074. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 934: *International Symposium on Postharvest Technology in the Global Market*.
- 2- Basile, B., Giaccone, M., Cirillo, C., Ritieni, A., Graziani, G., Shahak, Y., & Forlani, M. (2012). Photo-selective hail nets affect fruit size and quality in Hayward kiwifruit. *Scientia Horticulturae* 141: 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.022>.
- 3- Bor, J.Y., Chen, H.Y., & Yen, G.C. (2006). Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(5): 1680-1686. <https://doi.org/10.1021/jf0527448> PMID: 16506819.
- 4- Cuevas, E., Baeza, P., & Lissarrague, J.R. (2006). Variation in stomatal behaviour and gas exchange between mid-morning and mid-afternoon of north-south oriented grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo) at different levels of soil water availability. *Scientia Horticulturae* 108(2): 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.027>.
- 5- Einset, J., & Dratt, C. (1975). *Grape*. In: Janick, J., and Moore, J. N.(eds), *Advances in Fruit Breeding*, Purdue University Press, West Lafayette, Ind. 130-153.
- 6- FAOSTAT [WWW Document]. (2018). URL <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- 7- Fars agricultural jihad organization. (2019). *Statistics of Fars province jihad agricultural organization in 2019*. Statistics and information office of jihad agriculture organization. (In Persian)
- 8- Folta, K.M., & Carvalho, S.D. (2015). Photoreceptors and control of horticultural plant traits. *HortScience* 50(9): 1274-1280. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.9.1274>.
- 9- Gussakovsky, E.E., Cohen, Y., Lurie, S., Stern, R., Kfir, S., Naor, A., & Shahak, Y. 2002. *ColorNets: a new approach for light manipulation in fruit trees*. In XXVI International Horticultural Congress: Key Processes in the Growth and Cropping of Deciduous Fruit and Nut Trees 636: 609-616.
- 10- Hiscox, J.D., & Israelstam, G.F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57: 1332-1334. *Pollution* 131: 453-459.
- 11- Hohen, E., Gasser Guyenbuhl, F., & Kunsch, B. (2003). Efficacy of instrumental measurements for determination of minimum requirements for firmness, varieties in comparison to consumer expectations, *Postharvest Biology and Technology* 7: 27-37. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00190-](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00190-).
- 12- Ilić, Z.S., Milenković, L., Šunić, L., & Manojlović, M. (2018). Color shade nets improve vegetables quality at

- harvest and maintain quality during storage. *Contemporary Agriculture* 67(1): 9-19. <https://doi.org/10.2478/contagri-2018-0002>.
- 13- Jokar, A., Zare, H., Zakerin, A., & Aboutalebi Jahromi, A. (2021). Effects of shade net colors on mineral elements and postharvest shelf life and quality of fresh fig (*Ficus carica* L.) under rain-fed condition. *Horticulturae* 7(5): 93. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050093>.
- 14- Jokar, A., Zare, H., Zakerin, A., & Jahromi, A.A. (2021). The influence of photo-selective netting on tree physiology and fruit quality of fig (*Ficus carica* L.) under rain-fed conditions. *International Journal of Fruit Science* 21(1): 896-910. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1936345>.
- 15- Kavooosi, B. (2019). Application of protective nettings in the production of horticultural products. Ministry of Jihad Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization. First Edition: 2019. (In Persian)
- 16- Kavooosi, B., & Hasanpour, B. (2018). Effects of topping date and preharvest irrigation cut-off on some qualitative and quantitative characteristics of table grapes (*Vitis Vinifera* L.) Cv. Askari. *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)* 41(1). (In Persian with English abstract)
- 17- Sen, F., Oksar, R.E., & Kesgin, M. (2016). Effects of shading and covering on 'Sultana Seedless' grape quality and storability. *Journal of Agricultural Science and Technology* 18: 245-254.
- 18- Kliewer, W.M., & Schultz, H.B. (1964). Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis vinifera*. II. Light. *American Journal of Enology and Viticulture* 15(3): 119-129.
- 19- Koyama, K., Ikeda, H., Poudel, P.R., & Goto-Yamamoto, N. (2012). Light quality affects flavonoid biosynthesis in young berries of Cabernet Sauvignon grape. *Phytochemistry* 78: 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.02.026>.
- 20- Lee, S.K., & Kader, A.A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20(3): 207-220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2).
- 21- Ma, G., Zhang, L., Setiawan, C.K., Yamawaki, K., Asai, T., Nishikawa, F., & Kato, M. (2014). Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. *Postharvest Biology and Technology* 94: 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.010>.
- 22- Matus, J.T., Loyola, R., Vega, A., Peña-Neira, A., Bordeu, E., Arce-Johnson, P., & Alcalde, J.A. (2009). Post-veraison sunlight exposure induces MYB-mediated transcriptional regulation of anthocyanin and flavonol synthesis in berry skins of *Vitis vinifera*. *Journal of Experimental Botany* 60(3): 853-867. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern336>.
- 23- Mupambi, G., Anthony, B.M., Layne, D.R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T., & Kalcsits, L.A. (2018). The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. *Scientia Horticulturae* 236: 60-72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>.
- 24- Ombódi, A., Pék, Z., Szuvandzsiev, P., Lugasi, A., Ledóné Darázsi, H., & Helyes, L. (2016). Effect of coloured shade nets on some nutritional characteristics of a kapia type pepper grown in plastic tunnel. *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 3(2): 25-33. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2016.3.2.25>.
- 25- Rajapakse, N.C., & Shahak, Y. (2007). Light-quality manipulation by horticulture industry. In: Whitelam, G.C., Halliday, K.J. (Eds.), *Annual Plant Reviews Volume 30*.
- 26- Reynolds, A.G. (Ed.2). (2021). *Managing wine quality: viticulture and wine quality*. Elsevier.
- 27- Ristic, R., Downey, M.O., Iland, P.G., Bindon, K., Francis, I.L., Herderich, M., & Robinson, S.P. (2007). Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 13(2): 53-65. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00235.x>.
- 28- Roussos, P.A., Sefferoun, V., Denaxa, N.K., Tasanitli, E., & Stathis, V. (2011). Apricot (*Prunus armenicace* L.) fruit quality attributes and phytochemical under different crop load. *Scientia Horticulturae* 129: 472-478. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.021>.
- 29- Serat, B., & Kulkarni, S.S. (2013). *Effect of shade net on yield and quality of grapes cv. Thompson seedless*. Department of Horticulture; Mahatma Phule Krishi Vidyapeeth, Rahuri - 413722 India
- 30- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Cohen, Y., Lurie, S., Stern, R., Kfir, S., & Greenblat-Avron, Y. (2004). ColorNets: a new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Horticulture* 636: 609-616. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.636.76>.
- 31- Shnmugavelu, K.G. (2003). *Grape Cultivation and Processing*. Agrobios Publication, India.
- 32- Sivakumar, D., & Jifon, J. (2018). Influence of photoselective shade nettings on postharvest quality of vegetables. In: Siddiqui, M.W. (Ed.), *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*.
- 33- Tafzoli, E., Hekmati, J., & Firoozeh, F. (1991). *Grapes*. Shiraz University Publishing Center. 2-50. (In Persian).
- 34- Tinyane, P.P., Sivakumar, D., & Soundy, P. (2013). Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Scientia Horticulturae* 161: 340-349.
- 35- Treder, W., Mika, A., Buler, Z., & Klamkowski, K. (2016). Effects of hail nets on orchard light microclimate, apple tree growth, fruiting and fruit quality. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 15(3): 17-27.

- 36- Vinod, G. (2015). *Effect of different colour and intensity of shade net on growth, yield and quality of tomato (Solanum lycopersicum L.,) Var. Arka Rakshak (Doctoral dissertation, University of Agricultural Sciences Gkvk, Bengaluru).*
- 37- Zare, H. (2019). Effect of net covering on some vegetative, physiological, quantitative and qualitative characteristics of rainfed fig (*Ficus carica* L. cv. Sabz). *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology* 20(4): 423–434. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.16807154.1398.20.4.9.2>.



The Effect of Gamma Amino Butyric Acid on Improving Dehydration Stress Tolerance in *Portulaca oleracea*

N. Zeinali Pour^{1,2*}, F. Aghebati³

Received: 18-11-2021

Revised: 04-12-2021

Accepted: 09-01-2022

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Zeinali Pour, N., & Aghebati, F. (2022). The Effect of Gamma Amino Butyric Acid on Improving Dehydration Stress Tolerance in *Portulaca oleracea*. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 683-691. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2022.73535.1106](https://doi.org/10.22067/jhs.2022.73535.1106)

Introduction

Portulaca oleraceae is used in many countries for a variety of purposes, including human nutrition and the conversion and pharmaceutical industries. The edible parts of *Portulaca oleracea* are the young organs, especially the brittle leaves and stems. Over time, this medicinal herb has been forgotten. Drought, on the other hand, is a factor in the decline of crops and horticulture around the world. Given the vastness of arid and semi-arid regions in Iran and also the reduction of access to water resources, appropriate arrangements should be made for the optimal use of water in the agricultural sector. Changing the planting pattern and using useful and resistant alternative species such as drought-tolerant medicinal plants can enable the optimal use of limited water resources. GABA is an important non-protein amino acid that plays a positive role in increasing plant resistance to stress.

Materials and Methods

This experiment was carried out in 2020 as a factorial based on a completely randomized design with three replications in the vegetable research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman. Experimental treatments included different levels of GABA (0, 20, and 40 mM). Treatment with different concentrations of GABA was done in two stages of 6 and 12 leaves of *portulaca oleracea* and foliar application and application of dehydration stress in three levels of control, medium and severe at irrigation intervals of 7, 14, and 21 days from 6 leaf stage of plants to the end.

Results and Discussion

According to the analysis of variance, the effect of GABA at different concentrations and dehydration stress on plant height was significant at the level of 5% probability. Based on the mean comparison test, the highest plant height was obtained in GABA treatment of 40 mM and irrigation intervals of 7 days (control), and the lowest of this trait was obtained in GABA zero treatment and irrigation intervals of 21 days (highest stress level). The results of analysis of variance showed that the effect of GABA at different concentrations and dehydration stress on vegetative yield was significant, the interaction between irrigation intervals and GABA was significant at 5% level. Based on the mean comparison test, the highest vegetative yield was obtained in GABA treatment of 40 mM and irrigation intervals of 7 days and the lowest in control treatment and irrigation intervals of 21 days. According to the results of the analysis of variance table, the effect of GABA at different concentrations and dehydration stress on the amount of malondialdehyde was significant at the level of 1% probability. Based on the means comparison test, the highest amount of this trait was obtained in the control treatment. Comparison of the mean of the data showed that the effect of GABA at different concentrations and dehydration stress caused a significant difference in the probability level of 1% in the proline content of the data. Based on the mean

1 and 3- Assistant Professor and M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, respectively.

2- Assistant Professor of Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(*- Corresponding Author Email: nzeinali@uk.ac.ir)

comparison test, the highest amount of proline was observed in GABA treatment of 40 mM and irrigation intervals of 21 days and the lowest amount was observed in control treatment and irrigation intervals of 7 days. As can be seen in the comparison table of means, the highest activity of superoxide dismutase enzyme was obtained in GABA treatment at 40 mM and irrigation intervals of 14 days and the lowest in control treatment and irrigation intervals was 7 days (Table 2). The results of this study showed that the effect of GABA at different concentrations and dehydration stress on the activity of catalase was significant at the level of 1% probability. As can be seen in the comparison table of means, the highest level of catalase activity was 40 mM in GABA treatment and 21 days irrigation intervals and the lowest in GABA treatment was 40 mM and irrigation intervals were 7 days.

Conclusion

The results of this study indicate that GABA is able to greatly alleviate the oxidative stress caused by dehydration in *Portulaca oleracea*. This effect is quite evident in oxidative parameters, especially the activity of antioxidant enzymes. The concentration of 40 mM GABA was the most effective treatment in mitigating the effects of irrigation. The results show that the use of GABA makes *Portulaca oleracea* tolerant to dehydration stress.

Keywords: Carbohydrates, GABA, Proline, Soluble sugars, Superoxide dismutase

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۸۳-۶۹۱

تأثیر گاما آمینو بوتیریک اسید بر بهبود تحمل به تنش کم آبی در سبزی خرفه (*Portulaca oleracea*)

نجمه زینلی پور^{۱*} - فاطمه عاقبتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹

چکیده

کمبود آب از تنش‌های مهم غیرزیستی است که رشد گیاه و تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهش جهت بررسی اثر تیمار گابا (گاما آمینو بوتیریک اسید) در غلظت‌های مختلف بر عملکرد رویشی و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی سبزی دارویی خرفه به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در گلخانه سبزی‌کاری دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. تیمارهای استفاده شده در این آزمایش شامل؛ فواصل آبیاری هر ۷ روز (شاهد)، هر ۱۴ روز (تنش متوسط) و هر ۲۱ روز یکبار (تنش شدید) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی با گابا در سه سطح صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار در کرت‌های فرعی بودند. پارامترهایی از جمله؛ ارتفاع بوته، عملکرد رویشی، درصد رطوبت نسبی برگ، میزان پرولین، قندهای محلول، مالون‌دی‌آلدهید، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تیمار ۴۰ میلی‌مولار گابا و در تنش با دور آبیاری هر ۲۱ روز یکبار موجب حفظ بهتر میزان عملکرد رویشی حدود (۱۹ درصد)، ارتفاع بوته (۳۴ درصد)، رطوبت نسبی برگ (۱۴ درصد)، پرولین برگ (۱۱ درصد) و قندهای محلول (۴۵ درصد) در مقایسه با گیاهان شاهد که گابا دریافت نکرده بودند، شد. همچنین هر دو غلظت کاربردی گابا فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در مقایسه با شاهد در همه سطوح آبیاری به کار رفته ارتقاء بخشیدند. بنابراین کاربرد ترکیب زیستی گاما آمینو بوتیریک اسید (گابا) سبب تعدیل اثرات مخرب تنش کم آبی بر سبزی خرفه شده است. در نهایت استفاده از گابای ۴۰ میلی‌مولار برای افزایش و حفظ بهتر پارامترهای کمی و کیفی خرفه و ایجاد مقاومت به تنش کم آبی در این گیاه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، سوپراکسید دیسموتاز، قندهای محلول، کربوهیدرات، گابا

مقدمه

ایران یکی از مراکز مهم پیدایش و تنوع ژنتیکی سبزی دارویی خرفه می‌باشد (Hasandokht, 2012). این گیاه دارای مقادیر قابل توجهی پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن می‌باشد، به علاوه منبع غنی و سرشاری از آنتی اکسیدان، ویتامین‌های آ، ب، ث و بتاکاروتن است (Okafor et al., 2014). از سویی دیگر، خشکی از عوامل کاهش محصولات زراعی و باغی در سراسر جهان به حساب می‌آید. با توجه به وسعت نگران کننده مناطق خشک و نیمه خشک در ایران (۹۰٪ کل مساحت کشور) و همچنین کاهش یافتن دسترسی به منابع آب، بایستی تمهیدات مناسبی برای استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی اندیشیده شود. تغییر الگوی کاشت و استفاده از گونه‌های مفید و مقاوم جایگزین از جمله گیاهان دارویی متحمل به تنش خشکی می‌تواند امکان استفاده بهینه از منابع محدود آبی را فراهم سازد (Jami-al-ahmadi et al., 2004). در اثر شرایط تنش خشکی،

گیاه خرفه *Portulaca oleraceae* در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان و صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد. قسمت‌های خوراکی خرفه، اندام‌های جوان به ویژه برگ‌ها و ساقه‌های ترد می‌باشند که مزه‌ای شبیه به اسفناج دارند، ولی از بسیاری جهات بر اسفناج ارجح است و در طی زمان این سبزی دارویی به دست فراموشی سپرده شده است (Afshar et al., 2006).

۱ و ۳- به ترتیب استادیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- استادیار پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: nzeinali@uk.ac.ir)

DOI: 10.22067/jhs.2022.73535.1106

فعالیت‌های فتوشیمیایی گیاه بازداشته می‌شود، محتوای کلروفیلی برگ تغییر می‌کند و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین در فرآیند فتوسنتز کاهش می‌یابد (Monakhova and Chernyadev, 2002). تنش کم آبی و محدودیت‌های رطوبتی روی ساختار غشاء و فرآیندهای غشایی، ساختمان کلروپلاست و فعالیت آنزیم‌ها در سطح سلولی تأثیر می‌گذارد و از سوی دیگر باعث کاهش رشد و میزان عملکرد گیاه و افزایش حساسیت به تنش‌های دیگر نیز می‌گردد (Chevone et al., 1990). گابا یک اسید آمینه غیر پروتئینی مهم است که توانایی تنظیم pH سیتوسل را از طریق مصرف نیتروژن و تحریک چرخه کربس دارد و همچنین نقش مثبتی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها دارد (Verbruggen and Hermans, 2008). سیستم متابولیزم گابا در پاسخ به شرایط فیزیولوژیکی از جمله تنظیم pH سلول، نسبت کربن به نیتروژن، محافظت در برابر تنش اکسیداتیو و تنظیم فشار اسمزی به اثبات رسیده است (Song et al., 2010). در پاسخ به تنش‌های محیطی اغلب تولید گابا افزایش می‌یابد، بنابراین سطح سلولی این آمینو اسید غیر پروتئینی از آمینو اسیدهای درگیر در سنتز پروتئین فراتر می‌رود. این وضعیت در تنش کم آبی در پنبه گزارش شده است (Xu et al., 2015). مطالعات در گیاهان تحت تیمار گابا نشان از نقش آن به عنوان یک متابولیت مؤثر دارد و کاربرد آن عمدتاً در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی متمرکز بوده است (Fait et al., 2007). در گیاهان در شرایط عادی مقدار گابا موجود در سلول پایین است، اما در پاسخ به برخی شرایط مانند خشکی، شوری و تنش دمای پایین می‌تواند به صورت سریع و زیاد تجمع یابد (Shang et al., 2011). در گزارشی آمده که کاربرد گابا در بوته‌های خیار تحت تنش کم آبی، سبب بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و افزایش میزان عملکرد شده است (Fattolahi et al., 2015). همچنین اثرگذاری گابا در القای مقاومت به خشکی در گیاه زعفران (*Crocus sativus*) از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سبب کاهش اثرات مخرب کم آبی در این گیاه شده است (Sedighi Moshkenani et al., 2020). این پژوهش با هدف مطالعه تحمل به تنش کم آبی در سبزی خرفه، با کاربرد غلظت‌های مختلف گاما آمینو بوتیریک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آن در گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۹ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار و در هر تکرار ۱۰ گیاه در گلخانه تحقیقاتی سبزی‌کاری دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان صورت گرفت. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف گابا (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار) و سطوح تنش کم آبی (۷، ۱۴ و ۲۱ روز یکبار) بودند

و در مجموع برای هر واحد آزمایش ۳۰ بوته در نظر گرفته شد. بذره‌های خرفه با عمق کشت ۱/۵ سانتی‌متر درون کیسه‌های نشاء با قطر دهانه ۲۲ و ارتفاع ۲۸ سانتی‌متر کشت شدند. آبیاری کیسه‌های نشاء تا زمان جوانه‌زنی بذرها و نیز تا مرحله چهار برگه شدن، یک روز در میان به صورت یکنواخت انجام گرفت. در مرحله چهار برگه، تغذیه گیاهچه‌ها با محلول NPK با نسبت‌های ۲۰:۲۰:۲۰ و با غلظت ۳ گرم بر هزار، جهت تقویت و تحریک رشد انجام شد. تیمار با غلظت‌های مختلف گابا در دو مرحله ۶ و ۱۲ برگه بوته‌های خرفه و بصورت محلول‌پاشی برگه صورت گرفت و اعمال تنش کم آبی در سه سطح شاهد، متوسط و شدید بصورت فواصل آبیاری ۷، ۱۴ و ۲۱ روز یکبار از مرحله شش برگه گیاهان تا پایان آزمایش صورت پذیرفت. بوته‌های خرفه درون گلخانه سبزی‌کاری با شدت نور ۴۶۰۰ فوت کندل و میانگین دمای روزانه و شبانه به ترتیب ۲۷ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد و با رطوبت نسبی ۷۰ درصد در طی ماه‌های فروردین تا خرداد مستقر شدند.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

در مرحله گسترش ۵۰ برگ حقیقی که گیاهان ۶۰ روزه بودند، جهت نمونه‌گیری و ارزیابی ابتدا از هر کرت به طور تصادفی تعداد ۱۰ بوته انتخاب و صفات ارتفاع بوته و عملکرد رویشی بر اساس وزن پیکره رویشی تازه گیاه اندازه‌گیری شدند. رطوبت نسبی برگ هم به روش رایج با فرمول $RWC = \frac{F_w - D_w}{S_w - D_w} \times 100$ محاسبه شد (Galmes et al., 2007). برای اندازه‌گیری میزان پرولین بافت برگ از روش باتس و همکاران (Bates et al., 1973)، برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول از روش آریگوین و همکاران (Irigoyen et al., 1992)، برای تعیین غلظت مالون‌دی‌آلدئید از روش هیت و پاکر (Heath and Packer, 1969)، برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش گیانوپولیتیس و ریز (Giannopolitis and Ries, 1977) و برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش چنس و مهلی (Chance and Maehly, 1955) استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با نرم افزار SAS انجام شد و در نهایت جداول مورد نظر ایجاد شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر گابا در غلظت‌های مختلف و تنش کم آبی بر میزان ارتفاع بوته، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان ارتفاع بوته در تیمار گابا ۴۰ میلی‌مولار و فواصل

آبیاری ۷ روز و کمترین میزان در تیمار شاهد و فواصل آبیاری ۲۱ روز بود (جدول ۲). کاهش محتوای نسبی آب برگ یکی از مهم‌ترین اثرات تنش کم آبیاری می‌باشد که این صفت به عنوان یکی از روش‌های قابل اطمینان جهت اندازه‌گیری تحمل به خشکی در گیاهان گزارش شده است (Inanlufar et al., 2012). گیاهان چند ساله چچم (*Lolium persicum*) تیمار شده با گاما آمینو بوتیریک اسید در معرض تنش کم آبیاری دارای رطوبت نسبی برگ بالاتری در مقایسه با گیاهان شاهد بودند (Krishnan et al., 2013).

پرویلین برگ

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داده که اثر گابا در غلظت‌های مختلف و تنش کم آبی باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد در میزان پرویلین داده‌ها گردید (جدول ۱). بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان پرویلین در تیمار گابا ۴۰ میلی‌مولار و فواصل آبیاری ۲۱ روز و کمترین میزان در تیمار شاهد و فواصل آبیاری ۷ روز مشاهده شد (جدول ۲). انباشت پرویلین نقش بسیار مؤثری در تطابق و سازگاری گیاه با شرایط خشکی دارد. پرویلین به عنوان یک اسمولیت سازگار کننده نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشاء سلولی و نیز جاروب کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارد (Wang et al., 2014). گابا در توتون (*Nicotiana rustica*) در مقایسه با پرویلین توانایی بیشتری در از بین بردن هیدروژن پراکسیداز در شرایط تنش آبی دارد (Liu et al., 2011). افزایش مقدار پرویلین در اثر تنش اسمزی در ذرت (Efeoglu et al., 2009) و سورگوم (*Sorghum bicolor*) (Manivannan et al., 2007) گزارش شده که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. پرویلین به دلیل محافظت غشای تیلاکوئید از آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) نیز اهمیت دارد (Delauney and Verma, 1993). میوه‌های হলوی تیمار شده با گابا میزان پرویلین بیشتری داشتند (Shang et al., 2011).

قندهای محلول

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر گابا در غلظت‌های مختلف و تنش کم آبی بر میزان قندهای محلول برگ، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). بر اساس نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان این کربوهیدرات‌ها در تیمار گابا ۴۰ میلی‌مولار و فواصل آبیاری ۲۱ روز و کمترین میزان آن در تیمار شاهد و فواصل آبیاری ۷ روز حاصل شد (جدول ۲). به طوری که شرایط تنش کم آبیاری سبب افزایش محتوای کربوهیدرات گردیده است. میزان کربوهیدرات محلول از عوامل بسیار مهم در تنظیم اسمزی بوده است. متابولیت‌هایی مانند گابا و سایر قندها، قندهای

آبیاری ۷ روز (شاهد) و کمترین میزان این صفت در تیمار گابای صفر و فواصل آبیاری ۲۱ روز (شدیدترین سطح تنش) حاصل شد (جدول ۲). تنش کم آبیاری با کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز باعث نقصان فشار آماس به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد (Emam and Avareh, 2005). اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش کم آبی دارند و هر گونه کمبود آب موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم سلولی و توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ‌ها می‌شود. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (Blum, 2005). در تحقیقی گزارش شده است که رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به دست آوردن آب در تیمارهای تنش خشکی، کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را به دنبال داشته که این امر، موجب کوتاه‌قدی گیاه سیاهدانه شد (Norooz pour and Rezvani moghadam, 2005). کاربرد گاما آمینو بوتیریک اسید ممکن است رشد نهال‌های ذرت (*Zea mays*) را با تحریک تقسیم سلولی و طولیل شدن سلولی و یا حفظ تعادل متابولیکی بافت‌های گیاهی افزایش دهد (Kinnersley and Lin, 2000).

عملکرد رویشی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر گابا در غلظت‌های مختلف و تنش کم آبی بر عملکرد رویشی معنی‌دار بود، اثر متقابل فواصل آبیاری و گابا در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان عملکرد رویشی در تیمار گابا ۴۰ میلی‌مولار و فواصل آبیاری ۷ روز و کمترین میزان در تیمار شاهد و فواصل آبیاری ۲۱ روز به دست آمد. در میان سطوح مختلف آبیاری در شدیدترین سطح و دور آبیاری ۲۱ روز تحت تأثیر بالاترین غلظت گابا نقصان عملکرد خفیف‌تر از تیمار شاهد و بدون استفاده از گابا بود که نشان از نقش تعدیل‌کنندگی گابا در بروز اثرات مخرب کم آبی دارد (جدول ۲). گابا، یک اسید آمینه غیر پروتئینی، شامل یک بخش قابل توجهی از آمینواسیدهای آزاد در سلول‌های گیاهی می‌باشد. سیستم‌های آنزیمی ضد اکسیداتیو، عامل بافر در متابولیسم کربن و نیتروژن، مقابله با استرس اکسیداتیو و انتقال سیگنال نقش اصلی گابا می‌باشند، که ممکن است منجر به بهبود کارایی کل گیاهان شود (Kinnersley and Lin, 2000).

رطوبت نسبی برگ

بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر گابا در غلظت‌های مختلف و شرایط تنش کم آبی بر رطوبت نسبی برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان این صفت در تیمار گابا ۴۰ میلی‌مولار و فواصل

الکلی مانند سوربیتول و مانیتول، اسیدهای آمینه و آمین‌ها، تحت تنش خشکی در گونه‌های گیاهی مختلف تجمع می‌یابند (Javanmardi et al., 2010). گزارش شده است، افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش به منظور تنظیم اسمزی و ادامه جذب آب به گیاه می‌باشد (Virgona and Barlow, 1991).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گیاه خرفه تحت تیمار گابا در شرایط تنش کم آبی

Table 1- The ANOVA results for the measured traits in *Portulaca oleracea* under GABA treatment in water deficit stress

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Df	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد رویشی Vegetative yield (g.plant ⁻¹ FW)	رطوبت نسبی Relative Water Content (%)	پرولین Proline (μM.g ⁻¹ FW)	قندهای محلول Soluble sugars (mg.g ⁻¹ FW)	مالون دی آلدئید Malon-di-aldehyde (μg.g ⁻¹ FW)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (unit. g ⁻¹ protein)	کاتالاز Catalase (unit. g ⁻¹ protein)
تکرار Replicate	2	2.01 ^{ns}	54751.42 ^{ns}	56.44 ^{ns}	0.56 ^{ns}	12.78	6.35 ^{ns}	10.33 ^{ns}	8.04 ^{ns}
فواصل آبیاری Irrigation intervals	2	110.78*	973512.06*	2423.5**	0.347*	781.53*	1234.11*	678.43**	309.89*
خطای اصلی Main Error	4	14.66	12876.87	10.76	0.043	11.05	9.87	7.56	9.78
گابا GABA	2	56*	73247.67*	198.08*	0.021*	137.02*	123.08*	85.03*	56.34*
تکرار آبیاری Irrigation intervals × GABA	4	49.34*	11270.43*	68.73**	0.009**	17.68*	37**	20.34**	7.28**
خطا Error	12	17.63	26503.88	43.14	0.014	7.90	14.34	13.14	7.25
ضریب تغییرات C.V (%)	-	14.46	6.66	12.25	6.87	5.65	11.77	10.94	6.27

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ^{ns}: عدم معنی‌داری.

ns, *, **: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

مالون دی آلدئید

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر گابا در غلظت‌های مختلف و شرایط تنش کم آبی بر میزان مالون دی آلدئید، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان این صفت در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۲). غلظت بالای گابا باعث کاهش میزان مالون دی آلدئید و در نتیجه کاهش خسارات ناشی از آن شد. در اثر تنش کم آبیاری، رادیکال‌های آزاد ایجاد شده سبب آسیب به غشاء سلولی شده و در اثر این آسیب، غشای لیپیدها تخریب شده و مالون دی آلدئید به بیرون نشت می‌کند. رادیکال‌های آزاد اکسیژن با پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع، آلدئیدهایی مانند مالون دی آلدئید تولید می‌کنند که این محصولات آلدئیدی معمولاً به عنوان شاخص تنش اکسایشی اندازه‌گیری می‌شوند (Shulaev and Oliver, 2006). گیاهان چند ساله چچم (*Lolium persicum*) تیمار شده با گابا در معرض تنش خشکی دارای میزان مالون دی آلدئید پایین‌تر در مقایسه با گیاهان شاهد بودند (Krishnan et al., 2013). پیش از این نیز گزارش شده

بود که گابا باعث کاهش میزان مالون دی آلدئید و کاهش درصد نشت یونی در میوه‌های موز (*Musa sapientum*) ذخیره شده در انبار شد. پیشنهاد شده که گابا از تجمع مالون دی آلدئید در شرایط تنش جلوگیری می‌کند (Wang et al., 2014). اثر حفاظتی گابا بر یکپارچگی غشاء سلولی با کنترل پراکسیداسیون لیپید نیز مشاهده شد (Song et al., 2010). گابا نقش مولکول سیگنالینگ در غلظت‌های پایین را داشته و در غلظت‌های بالاتر نقش خود را در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، متابولیکی، متابولیسم نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، تنظیم اسمزی و حفاظت گیاهان در برابر آسیب‌های اکسیداتیو به نمایش بگذارد (Bouche and Fromm, 2004).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

نتایج این تحقیق نشان داد، اثر گابا در غلظت‌های مختلف و تنش کم آبی بر میزان فعالیت این آنزیم، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). همان‌طور که در جدول مقایسه میانگین‌ها دیده می‌شود، بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار گابا ۴۰ میلی‌مولار و فواصل آبیاری ۱۴ روز و کمترین میزان در تیمار

گیاهی در القای مقاومت به تنش در اختلاف فعالیت دفاع آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشد (Abdel-Monaim, 2013). گیاهان ذرت تیمار شده با گابا فعالیت سوپراکسید دیسموتاز بیشتری داشتند. بروز فعالیت های بیشتر آنتی اکسیدان‌ها ناشی از کاربرد گابا برای بهبود توانایی گیاهان در برابر استرس اکسیداتیو حیاتی است (Shi et al., 2010).

شاهد و فواصل آبیاری ۷ روز یکبار به دست آمد (جدول ۲). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به عنوان مکانیسم دفاعی اولیه در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد (Asada, 1999). همان طور که در نتایج ملاحظه شد میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت که با توجه به نقش آن در تعدیل رادیکال سوپراکسید، این افزایش توجه پذیر است. مهم‌ترین پاسخ حفاظتی ژنوتیپ‌های

جدول ۲- صفات کمی و کیفی خرفه تحت تأثیر فواصل آبیاری و تیمار گابا

Table 2- The quantitative and qualitative traits of *Portulaca oleracea* under the influence of irrigation intervals and GABA treatment

فواصل آبیاری Irrigation intervals (Day)	گابا GABA (mM)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد رویشی Vegetative yield (g.plant ⁻¹ FW)	رطوبت نسبی Relative water content (%)	پرولین Proline (μM.g ⁻¹ FW)	قندهای محلول Soluble sugars (mg.g ⁻¹ Fw)	مالون دی آلدئید Malon-di- aldehyde (μg.g ⁻¹ FW)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (unit. g ⁻¹ protein)	کاتالاز Catalase (unit. g ⁻¹ protein)
7	0	15.34 ^e	1110.8 ^c	93 ^c	0.46 ⁱ	22 ⁱ	0.33 ^g	18 ⁱ	4.7 ^e
	20	21.36 ^b	1563.5 ^{ab}	95 ^b	0.50 ^h	30 ^f	0.27 ^h	21 ^h	2.8 ^h
	40	26.54 ^a	1720.8 ^a	99 ^a	0.52 ^g	33 ^e	0.21 ⁱ	24 ^f	2.3 ⁱ
14	0	12.25 ^h	885.2 ^e	81 ^f	0.63 ^f	27 ^g	0.49 ^b	23 ^g	4.3 ^f
	20	16.26 ^d	1099.5 ^{cd}	84 ^e	0.71 ^e	37 ^d	0.41 ^e	29 ^d	5.4 ^c
	40	17.90 ^c	990.4 ^d	86 ^d	0.75 ^d	39 ^c	0.37 ^f	41 ^a	5.8 ^b
21	0	9.45 ⁱ	6353.5 ^h	68 ⁱ	0.79 ^c	25 ^h	0.61 ^a	27 ^e	3.7 ^g
	20	13.18 ^g	6855.2 ^g	74 ^h	0.82 ^b	41 ^b	0.46 ^c	34 ^c	5.2 ^d
	40	14.47 ^f	7834.6 ^f	79 ^g	0.89 ^a	46 ^a	0.41 ^d	36 ^b	6 ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در گیاهان *Caragana intermedia* تغییر داد (Shi et al., 2010).

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی حاکی از آن است که گابا به میزان زیادی قادر است تنش اکسیداتیو ناشی از کم آبی را در سبزی خرفه تخفیف دهد. این اثر هم در مورد پارامترهای رویشی و عملکرد و هم در مورد پارامترهای اکسیداتیو چون فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان کاملاً مشهود می‌باشد. در واقع کاربرد برخی ترکیبات زیستی مانند گابا، از طریق افزایش خاصیت تنظیم‌کنندگی اسمزی، افزایش مانور و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی باعث کاهش درصد نشت یونی و افزایش تحمل به خشکی در برخی گونه‌های گیاهی از جمله خرفه در شرایط تنش خشکی یا کم آبی می‌شود. در این پژوهش غلظت ۴۰ میلی مولار گابا در تخفیف اثرات کم آبیاری بر اکثر پارامترهای مورد ارزیابی مؤثرترین تیمار بود. در نهایت نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر گابا در غلظت‌های مختلف و تنش کم آبی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همان طور که در جدول مقایسه میانگین‌ها دیده می‌شود، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار گابا ۴۰ میلی مولار و فواصل آبیاری ۲۱ روز و کمترین میزان در تیمار گابا ۴۰ میلی مولار و فواصل آبیاری ۷ روز بود (جدول ۲). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش می‌یابد به علت این که این آنزیم مسئول حذف بخش عظیمی از مولکول‌های پراکسید هیدروژن (H_2O_2) است (Eyidogan and Tufanoz, 2007). غلظت بالا و سمی رادیکال‌های فعال اکسیژن باعث آسیب شدید به غشاء سلولی و ساختارهای پروتئینی، مهار فعالیت آنزیم‌های متعدد از مسیرهای متابولیک و در نتیجه اکسیداسیون ماکرومولکول‌هایی از جمله چربی‌ها و DNA می‌باشد، بنابراین باعث مرگ ناگهانی سلول می‌شود (Gill and Tuteja, 2010). گابا فعالیت‌های مختلف آنتی اکسیدان‌ها را

زیستی گابا باعث تحمل گیاه خرفه در مقابل تنش کم آبی می‌شود.

بدین وسیله از اعضای هیات علمی و پرسنل محترم پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

سپاسگزاری

منابع

1. Abdel-Monaim, M.F. (2013). Improvement of biocontrol of damping-off and root rot/wilt of faba bean by salicylic acid and hydrogen peroxide. *Journal of Mycobiology* 41(5): 47-55. (In Persian with English abstract). <https://doi:10.5941/MYCO.2013.41.1.47>
2. Afshar, M., Tarzi, B., Gharachoorloo, M., & Bakhoda, H. (2006). Evaluation and comparison of chemical compounds and fatty acids in the leaves of two samples of Iranian *portulaca oleraceae* belonging to the north and south. *Food Science and Nutrition Journal* 3(1): 59-64. (In Persian with English abstract)
3. Asada, K. (1999). The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Journal of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50(1): 601-639. <https://doi:10.1146/annurev.arplant.50.1.601>.
4. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Journal of Plant and Soil* 39(1): 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.
5. Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research* 56(1): 1159-1168. <https://doi:10.1071/AR05069>.
6. Bouche, N., & Fromm, H. (2004). GABA in plants: just a metabolite. *Trends Plant Science* 9(1): 110-115. <https://doi:10.1016/j.tplants.2004.01.006>.
7. Chance, B., & Maehly, A.C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology* 2(1): 764-775. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8).
8. Chevone, B.I., Seiler, J.R., Melkonian, J., & Amundson, R.G. (1990). Ozone-water stress interactions, adaptation and acclimation mechanisms. (ed. by Ruth G. Alscher, Jonathan R. Cumming). Wiley-Liss, U.S.A. *Plant Biology Stress Responses in Plants* 21(1): 311-328.
9. Delauney, A.J., & Verma, D.P.S. (1993). Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal* 4(2): 215-223. <https://doi:10.1046/j.1365-313X.1993.04020215.x>.
10. Efeoglu, B., Ekmekci, Y., & Cicek, N. (2009). Physiological responses of three maize cultivars to drought. *Journal of Phytotherapy Research* 16(3): 240-244.
11. Emam, Y., & Avareh, M. (2005). *Drought tolerance in higher plants*. Tehran University Publishing Center Publication 186. (In Persian)
12. Eyidogan, F., & Tufanoz, M. (2007). Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings. *Journal of Acta Physiologia Plantarum* 29(1): 485-493. <https://doi:10.1007/s11738-007-0059-9>.
13. Fait, A., Fromm, H., Walter, D., Galili, G., & Fernie, A. (2007). Highway or byway: the metabolic role of the GABA shunt in plants. *Elsevier Ltd* 13(1): 9-14. <https://doi:10.1016/j.tplants.2007.10.005>.
14. Fattolahi, A., Ghahremani, Z., Barzegar, T., & Safari, M. (2015). Effect of GABA on Morphological indices of Cucumber cultivars under dehydration. *Third Conference on New Findings in Environment and Agricultural Ecosystems* 3(1): 139-148.
15. Galmes, J., Flexas, J., Save, R., & Medrano, H. (2007). Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits. Responses to water stress and recovery. *Journal of Plant Soil* 290(1): 139-155. <https://doi:10.1007/s11104-006-9148-6>.
16. Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutase, occurrence in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 59(2): 309-314. <https://doi:10.1104/pp.59.2.309>.
17. Gill, S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 48(12): 909-930. <https://doi:10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.
18. Hasandokht, M. (2012). Vegetable production technology. *Selseleh Publication*. (In Persian)
19. Heath, R.L., & Packer, L. (1969). Photoperoxidation in isolated chloroplast. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Journal of Biochemistry and Biophysics* 125(1): 189-198. [https://doi:10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi:10.1016/0003-9861(68)90654-1).
20. Inanlufar, M., Omid, H., & Pazoki, A. (2012). Morphological, agronomical changes and oil content in Purslane (*Portulaca oleracea*) under drought stress and biological/chemical fertilizer of nitrogen. *Journal of Medicinal Plants* 12(48):170-184. (In Persian with English abstract) <https://doi:10.1001.1.2717204.2013.12.48.17.4>.
21. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Journal of Plant Physiology* 84(1): 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>.

22. Jami-al-ahmadi, M., Kafi, M., & Nasiri Mahalati, M. (2004). Salinity effects on germination properties of *Kochia scoparia*. *Iranian Journal of Field Crops Research* 2(2): 151-159. (In Persian with English abstract)
23. Javanmardi, Sh., Fotovat, R., & Saba, J. (2010). relationship between osmotic adjustment with soluble carbohydrates and proline and role of osmotic adjustment in grain yield of wheat lines under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 14(53): 65-73. (In Persian with English abstract). [https://doi: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.6.3](https://doi.org/10.1001.1.24763594.1389.14.53.6.3).
24. Kinnersley, A.M., & Lin, F. (2000). Receptor modifiers indicate that γ -aminobutyric acid (GABA) is a potential modulator of ion transport in plants. *Journal of Plant Growth Regulators* 32(1): 65-76. <https://doi.org/10.1023/A:1006305120202>.
25. Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V., & Merewitz, E. (2013). Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non-protein amino acid γ -aminobutyric acid on perennial ryegrass. *Journal of Plant, Soil, and Microbial Sciences* 138(5): 358-366. [https://doi:10.21273/JASHS.138.5.358](https://doi.org/10.21273/JASHS.138.5.358).
26. Liu, C.L., Zhao, L., & Yu, G.H. (2011). The dominant glutamic acid metabolic flux to produce gamma-amino butyric acid over proline in *Nicotiana tabacum* leaves under water stress relates to its significant role in antioxidant activity. *Journal of Integrative Plant Biology* 53(8): 608-618. [https://doi:10.1111/j.1744-7909.2011.01049.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2011.01049.x).
27. Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishurekumar, A., Lakshmanan, G.M., & Panneerselvam, R. (2007). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Journal of Colloids and Surfaces, Biointerfaces* 59(2): 141-149. [https://doi:10.1016/j.colsurfb.2007.05.002](https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.002).
28. Monakhova, O.F., & Chernyadev, I. (2002). Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. *Applied Biochemistry and Microbiology* 38(4): 373-380. [https://doi:10.1023/A:1016243424428](https://doi.org/10.1023/A:1016243424428).
29. Norooz pour, Gh., & Rezvani moghadam, P. (2005). The effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essential oil of black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Research and Construction in Agriculture and Horticulture* 3(2): 305-315. (In Persian with English abstract). [https://doi:10.22067/gsc.v3i2.1313](https://doi.org/10.22067/gsc.v3i2.1313).
30. Okafor, I.A., Ayalokunrin, M.B., & Orachu, L.A. (2014). A review on *Portulaca oleracea* (purslane) plant-its nature and biomedical benefits. *International Journal of Biomedica Research* 5(2): 75-80. <https://doi.org/10.7439/ijbr.v5i2.462>.
31. Sedighi Moshkenani, F., Niknam, V., Sharifi, G., & Seifi Kalhor, M. (2020). An investigation of GABA effect on drought stress tolerance improvement in cultivated saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Plant Process and Function* 9(39): 29-50. (In Persian with English abstract). [https://doi:10.1001.1.23222727.1399.9.39.10.9](https://doi.org/10.1001.1.23222727.1399.9.39.10.9).
32. Shang, H., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). Effect of exogenous γ -aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(4): 1264-1268. [https://doi:10.1021/jf104424z](https://doi.org/10.1021/jf104424z).
33. Shi, S.Q., Shi, Z., Jiang, Z.P., Qi, L.W., Sun, X.M., & Li, C.X. (2010). Effects of exogenous GABA on gene expression of *Caragana intermedia* roots under NaCl stress: regulatory roles for H₂O₂ and ethylene production. *Journal of Plant, Cell Environment* 33(2): 149-162. [https://doi:10.1111/j.1365-3040.2009.02065.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02065.x).
34. Shulaev, V., & Oliver, D.J. (2006). Metabolic and proteomic markers for oxidative stress. New tools for reactive oxygen species research. *Journal of Plant Physiology* 141(2): 367-372. [https://doi:10.1104/pp.106.077925](https://doi.org/10.1104/pp.106.077925).
35. Song, H., Xu, X., Hua, W., Wang, H., & Tao, Y. (2010). Exogenous γ -aminobutyric acid alleviates oxidative damage caused by aluminium and proton stresses on barley seedlings. *Journal of Science Food Agriculture* 90(9):1410-1416. [https://doi:10.1002/jsfa.3951](https://doi.org/10.1002/jsfa.3951).
36. Verbruggen, N., & Hermans, Ch. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Journal of Amino acids* 35(4): 753-759. [https://doi:10.1007/s00726-008-0061-6](https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6).
37. Virgona, J.M., & Barlow, E.W.R. (1991). Drought stress induces changes in the non-structural carbohydrate composition of wheat stems. *Journal of Functional Plant Biology* 18(3): 239-247. [https://doi:10.1071/pp9910239](https://doi.org/10.1071/pp9910239).
38. Wang, Y., Luo, Z., & Huang, H. (2014). Effect of exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulturae* 168(4): 132-137. [https://doi: 10.1016/j.scienta.2014.01.022](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.022).
39. Xu, K., Chen, S., Li, T., Ma, X., Liang, X., Ding, X., & Liu, H. (2015). OsGRAS23 a rice GRAS transcription factor gene, is involved in drought stress response through regulating expression of stress responsive genes. *Journal of Plant Biology* 15(13): 141-154. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0532-3>.



Optimization of Seed Germination, Growth Index and Photosynthetic Pigments Content of *Kelussia odoratissima* Mozaff Seedlings under Laboratory Conditions

Kh. Ahmadi¹, H. Omid^{2*}, E. Soltani³

Received: 23-11-2021

Revised: 12-12-2021

Accepted: 27-12-2021

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Ahmadi, Kh., Omid, H., & Soltani, E. (2022). Optimization of Seed Germination, Growth Index and Photosynthetic Pigments Content of *Kelussia odoratissima* Mozaff Seedlings under Laboratory Conditions. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 693-707. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2021.73715.1111](https://doi.org/10.22067/jhs.2021.73715.1111)

Introduction

Kelussia odoratissima Mozaff is a native species of Iran which is a rare and endangered species. It grows as a wild in cold and mountainous bioclimatic and is used in traditional medicine to treat various diseases such as cardiovascular disease, gastric ulcer, respiratory and intestinal inflammation. The change of status from dormancy to germination can be eliminated by using some treatments in accordance with the natural conditions of the mother base habitat. However, some physiological needs of dormant seeds can be met by scratching (mechanical and chemical), washing in running water, dry storage, cold and humid conditions, light, smoke, and plant growth regulators. The aim of this study was to investigate different strategies including pretreatment, leaching and constant germination temperature on seed germination characteristics and *Kelussia* seedling growth.

Materials and Methods

The experiment was conducted in Petri dishes at Seed Technology Laboratory of Agricultural Sciences Faculty of Shahed University. *K. odoratissima* Mozaff seeds were collected from their natural habitat in Fereydounshahr, Isfahan province in 2019.

This study was performed in the Crop Physiology and Seed Technology Laboratories of Shahed University, Faculty of Agricultural Sciences, from 23.09.2019 to 22.11.2019. The cultivation was in Petridish at constant germination temperatures after priming and leaching. The experiment was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. Each replication included 36 Petridish and 20 *Kelussia* seeds were planted in each petri dish. Experimental factors include constant germination temperatures (1, 5, 10 and 15°C), duration of rinsing with running water at 15°C (24, 48 and 72 h) and hormone pretreatment with gibberellin (0, 250 and 500 ppm). Before applying the hormonal pretreatment and temperature, the seeds were washed in running water in such a way that seeds were placed in a strainer that was not immersed and water flowed on the seeds for the specified periods of time for this treatment. In this case, germination inhibitors were washed from the seed surface. According to the test period and laboratory conditions, the laboratory temperature could be controlled at 15 °C with a thermometer and cooling devices. Then, for hormonal pretreatment, the seeds were placed in containers containing gibberellin solution with concentrations of 0, 250 and 500 ppm and refrigerated at 4°C for 72 h. After washing the seeds, 20 seeds were placed in Petridish with a diameter of 10 cm and a height of 2 cm on Whatman filter paper No. 1 and at temperatures of 1, 5, 10 and 15°C with 16 h of light and 8 h of darkness passed. Due to the fact that germination in seeds grown at this temperature at 15°C was zero in all treatment compositions, it was excluded from statistical analysis. To analyze the data variance, the SAS 9.1 statistical software was used. The comparison of means of traits was performed using the Duncan test at 5%

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: omidi@shahed.ac.ir)

3- Associate Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of AbuRaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

probability level.

Results and Discussion

Germination traits, growth indices and physiological parameters of seedling photosynthetic pigments under the influence of leaching, temperature, gibberellin and the interactions of leaching in temperature, leaching in gibberellin, temperature in gibberellin and the combination of leaching treatment $\times$ temperature $\times$ gibberellin showed significant differences. The results showed that the optimum germination temperature was 1°C and about 54% of seeds were able to germinate at this temperature without using any pretreatment. However, pretreatment of seeds at a temperature of 1°C with gibberellin at 250 ppm and washing for 72 h increased the germination rate to 65%. It has also been shown that treatment with gibberellin at 250 ppm seedling length and gibberellin at 500 ppm improves seedling fresh and dry weight in three leaching treatments at 10°C. Chlorophyll and carotenoid content of seedlings was observed in the combination of 24 hours leaching treatment, temperature of 5°C and gibberellin priming of 500 ppm. Due to the wide variety of species of Apiaceae and also the variety of type and depth of sleep, various treatments to break dormancy and stimulate seed germination of plants of this genus have been proposed, the most important of which are wet and gibberellin. It should be noted that the germination ecology and appropriate treatments to break dormancy in different plant species, plants of the same family, same species and different ecotypes of the same species can be completely different.

Conclusion

According to the results of this study, seed treatment with 72 hours of cold water washing, 1°C and gibberellin pretreatment with a concentration of 250 ppm was able to show the highest germination percentage to achieve High germination is recommended. In addition, at 5°C under gibberellin pretreatment and leaching showed a relatively high germination percentage. Accordingly, gibberellin hormonal pretreatment at low temperatures was effective in achieving more germination under priming conditions. Is. On the other hand, a concentration of 500 ppm gibberellin increased seedling weight and photosynthetic pigments. In general, a temperature of 1°C followed by a temperature of 5°C was effective in increasing the germination of celery seeds and was able to record better results. Also, the suitable seedling growth temperature for mountain celery is 10°C and the application of Gibberellin hormonal pretreatment improved the growth characteristics of *Kelussia* seedlings.

Keywords: Chlorophyll, Germination temperature, Gibberellin, *Keluss*, Leaching

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۷۰۷-۶۹۳

بهینه‌سازی جوانه‌زنی بذر، شاخص‌های رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهچه کرفس کوهی در شرایط آزمایشگاهی

خدیدجه احمدی^۱ - حشمت امیدی^{۲*} - الیاس سلطانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶

چکیده

کرفس کوهی (*Kelussia odoratissima* Mozaff) گونه بومی ایران است که از گونه‌های کمیاب و در معرض انقراض محسوب می‌شود. به صورت خودرو در زیست اقلیم‌های سرد و کوهستانی رشد می‌کند و در طب سنتی برای درمان بیماری‌های مختلف مانند بیماری‌های قلبی-عروقی، درمان زخم معده، تنفسی و التهاب روده کاربرد دارد. هدف از این مطالعه بررسی اثر ترکیبی دما، آبشویی و پیش تیمار بر روی جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی کرفس کوهی است. فاکتورهای این مطالعه دما (۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد)، آبشویی (۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) و غلظت‌های مختلف پیش تیمار جیبرلین (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) بودند. نتایج نشان داد که دمای جوانه‌زنی بهینه یک درجه سانتی‌گراد بود و نزدیک به ۵۴ درصد بذرها بدون استفاده از هیچ گونه پیش تیماری در این دما قادر به جوانه‌زدن هستند. با این وجود، پیش تیمار بذرها با جیبرلین ۲۵۰ پی‌پی‌ام و آبشویی به مدت ۷۲ ساعت، درصد جوانه‌زنی را در دمای یک درجه سانتی‌گراد به ۶۵ درصد افزایش داد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پیش تیمار جیبرلین ۲۵۰ پی‌پی‌ام طول گیاهچه و پیش تیمار جیبرلین ۵۰۰ پی‌پی‌ام وزن تر و خشک گیاهچه را در سه سطح آبشویی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد بهبود بخشید. بیش‌ترین محتوای کلروفیل و کارتنوئید گیاهچه در ترکیب تیماری آبشویی ۲۴ ساعت، دمای پنج درجه سانتی‌گراد و اعمال پیش تیمار جیبرلین ۵۰۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد. برای کاهش زمان جوانه‌زنی بذر کرفس کوهی اعمال دمای مناسب جوانه‌زنی همراه با آبشویی و غلظت پایین پیش تیمار جیبرلین می‌تواند بهترین شرایط را برای بالاترین درصد جوانه‌زنی بذور فراهم کند. این مطالعه می‌تواند راهنمای اساسی برای برنامه‌های کشت و حفاظت از گیاه دارویی کرفس کوهی، گیاه بومی و در معرض انقراض ایران باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، دمای جوانه‌زنی، جیبرلین، کلروفیل، کلوس^۴

مقدمه

مختلف تحقیق پیدا کرد و به تدریج انسان توانسته نیازهای خود را از محیط اطراف خود تأمین کند. اطلاعات گیاهان دارویی از دیرباز به تدریج نسل به نسل منتقل شده و با شکل‌گیری تمدن‌ها و فراهم شدن امکانات بیشتر، دانش بشری به تدریج کامل شده است. گیاهان دارویی تقریباً در همه فرهنگ‌ها به‌عنوان یک منبع پزشکی استفاده می‌شوند (Jamshidi-Kia et al., 2018). کرفس کوهی (*Kelussia odoratissima* Mozaff.) با نام فارسی کلوس، گیاهی چندساله و معطر از تیره چتریان از گونه‌های با ارزش دارویی در منطقه زاگرس بوده که دارای اهمیت اکولوژیک و اقتصادی می‌باشد (Mozaffarian, 2007). کرفس کوهی دارای دو گروه ترکیبات اسانس و فلاونوئید می‌باشد. فلاونوئیدها بخش مهمی از ترکیبات این

جوامع بشری از ابتدای پیدایش با محیط اطراف خود در تماس نزدیک بوده و از محیط برای به‌دست آوردن غذا و دارو استفاده می‌کردند. کاربرد گیاهان دارویی در تهیه غذا و دارو با آزمایش‌های

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: omidi@shahed.ac.ir)

۳- دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

شکستن خواب و تحریک جوانه‌زنی بذر گیاهان این تیره پیشنهاد شده است، که مهم‌ترین آنها پیش‌ تیمار هورمونی جیبرلین و سرمادهی مرطوب می‌باشند. هدف از این پژوهش بررسی راهکارهای مختلف اعم از پیش‌ تیمار با هورمون جیبرلین، آیشویی و دمای ثابت جوانه‌زنی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه کرفس بود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و آماده‌سازی بذور

بذرهای کرفس کوهی از رویشگاه طبیعی آن‌ها در مرداد سال ۱۳۹۸ در منطقه فریدون شهر استان اصفهان با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه با ارتفاع ۲۵۴۶ متر جمع‌آوری شدند. بذرها با آب مقطر شستشو شدند، سپس به مدت ۳ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۳ درصد قرار گرفتند و در نهایت سه مرتبه و هر بار به مدت ۵ دقیقه با آب مقطر سرد شستشو داده شدند.

طرح آزمایش و شرایط کشت

این مطالعه در آزمایشگاه‌های فیزیولوژی گیاهان زراعی و فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد طی بازه زمانی ۱۳۹۸/۰۷/۰۱ الی ۱۳۹۸/۰۹/۰۱ انجام گرفت، کشت در پتری‌دیش با دماهای ثابت جوانه‌زنی بعد از اعمال پرایمینگ و آیشویی بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. هر تکرار شامل ۳۶ پتری‌دیش بود و در هر پتری‌دیش ۲۰ عدد بذر کرفس کوهی کشت شد. فاکتورهای آزمایش شامل دماهای ثابت جوانه‌زنی (۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد)، مدت زمان آیشویی با آب جاری و در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد (۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) و پیش تیمار هورمون با جیبرلین (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) بودند. قبل از اعمال پیش تیمار هورمونی و دما، آیشویی بذرها در آب جاری به این صورت بود که بذرها در داخل صافی قرار گرفتند که حالت غوطه‌ور شدن نداشته باشد و آب در مدت‌های مشخص شده برای این تیمار روی بذرها جریان داشت. در این حالت مواد بازدارنده جوانه‌زنی از سطح بذور شسته می‌شد. با توجه به بازه زمانی آزمایش و شرایط آزمایشگاه با دما سنج و وسایل سرمایشی دمای آزمایشگاه در ۱۵ درجه سانتی‌گراد قابل کنترل بود. سپس به منظور پیش تیمار هورمونی، بذرها در ظروف حاوی محلول جیبرلین با غلظت صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفتند. پس از شستشوی بذرها، ۲۰ عدد بذر درون پتری‌دیش با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع دو سانتی‌متر روی کاغذ صافی واتمن شماره ۱ قرار گرفتند و در دماهای ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد با شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل

گیاه هستند که دارای اثرات ضد التهابی، ضد ویروسی، ضد دیابت و ضد سرطان می‌باشند (Gandomkar, 1999). به دلیل برداشت بیش از حد آن در اوایل دوره رویشی و زمان نسبتاً زیاد مورد نیاز برای استقرار و تولید بذر، این گیاه فرصت تجدید حیات و تولید بذر را ندارد، بسیاری از رویشگاه‌های طبیعی آن در زاگرس مرکزی از بین رفته و در معرض انقراض می‌باشند (Ahmadi et al., 2020). یکی از موانع عمده استفاده بهینه از گیاهان دارویی در خارج از رویشگاه طبیعی، محدودیت میزان جوانه‌زنی و طولانی بودن خواب بذر آنها است (Gupta, 2003). بذر کرفس مانند بذر بسیاری از گیاهان خانواده چتریان دارای خواب است و جوانه‌زنی آن به سختی انجام می‌شود. در واقع بذرها گیاهان خانواده چتریان اشکال مختلفی از الگوی خواب فیزیولوژیکی را از خود نشان می‌دهند (Etemadi et al., 2010). در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی جهت تعیین شرایط بهینه جوانه‌زنی بذر در گیاهان مختلف به‌صورت کاربردی صورت گرفته است (Pauca-Menacho et al., 2016; Slabbert et al., 2014). دما جزء محدود فاکتورهایی بوده که اثرات غیرقابل چشم پوشی در تمام مراحل رشد گیاه دارد (Zandalinas et al., 2017). تعیین دماهای اصلی جوانه‌زنی جهت انطباق گیاه با اقلیم ضرورت دارد و هم‌چنین تعیین زمان حرارتی جهت تخمین جوانه‌زنی یا سایر مراحل توسعه با تعیین حداقل دمای جوانه‌زنی ممکن می‌شود (Durr et al., 2015; Galindez et al., 2017). بالا بودن درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر متضمن استقرار مطلوب گیاهچه‌ها و افزایش تولید گیاه است لذا پرایمینگ بذر تکنیکی است جهت افزایش جوانه‌زنی بذور و به دنبال آن استقرار گیاهچه به ویژه در شرایط نامطلوب می‌باشد (Karim et al., 2020). تغییر وضعیت از خواب به جوانه‌زنی را می‌توان با استفاده از بعضی تیمارها متناسب با شرایط طبیعی رویشگاه پایه‌های مادری برطرف کرد. این در حالی است که برخی نیازهای فیزیولوژیک بذرها دارای خواب به کمک خراش‌دهی (مکانیکی و شیمیایی)، شستشو در جریان آب، نگهداری خشک، شرایط سرد و مرطوب، نور، دود و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (مانند اسید جیبرلیک و سیتوکینین و ...) قابل برطرف شدن است (Finch Savage and Leubner Metzger, 2006). نقش اصلی هورمون اسید جیبرلیک که بطور طبیعی طی فرآیند آنبوشتی توسط جنین تولید می‌شود، فعال نمودن ژن کد کننده آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی بذر به‌ویژه آنزیم آلفا آمیلاز است و این عمل را از طریق افزایش mRNA کد کننده این آنزیم انجام می‌دهد (Gonzalez-Benito et al., 2004). غلظت‌های پایین جیبرلین در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کرفس کوهی مؤثر است؛ همچنین بذرها کرفس کوهی جهت غلبه بر خواب و جوانه‌زنی نیاز به طی دوره سرمادهی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد را دارند (Ahmadi et al., 2021). با توجه به تنوع وسیع گونه‌های تیره چتریان و هم‌چنین تنوع نوع و عمق خواب، تیمارهای گوناگونی جهت

SVI (2) = (درصد جوانه‌زنی × وزن خشک گیاهچه)

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئید

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئید از روش کاستاج (Costache et al., 2012) طبق رابطه‌های ۵، ۶ و ۷ انجام شد. به این ترتیب که ۰/۲ گرم بافت تازه برگ را با ۲۰ سی‌سی از حلال متانول با غلظت خالص به‌طور کامل عصاره‌گیری نموده، پس از ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ در دور ۱۳۰۰۰ در دقیقه آن را به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده و پس از صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل Perkin Elmer ساخت شرکت Lambda25 با متانول خالص (به عنوان شاهد) جذب عصاره حاصل در طول موج‌های ۶۴۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. میزان کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید از رابطه‌های ۵، ۶ و ۷ بدست آمدند.

$$C_a (\mu\text{g.ml}^{-1}) = 16.72 A_{665.2} - 9.16 A_{652.4} \quad (5)$$

$$C_b (\mu\text{g.ml}^{-1}) = 34.09 A_{652.4} - 15.28 A_{665.2} \quad (6)$$

$$C_{(\text{Car})} (\mu\text{g.ml}^{-1}) = (1000A_{470} - 1.63 C_a - 104.96 C_b) / 221 \quad (7)$$

$$C_T = C_a + C_b \quad (8)$$

آنالیز داده‌ها

برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در بین سطوح تیمار دمایی ثابت جوانه‌زنی، جوانه‌زنی بذر کرفس کوهی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در تمامی ترکیب‌های تیماری صفر بود، لذا از تجزیه آماری این سطح دما صرف نظر شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

میزان جوانه‌زنی تحت تأثیر دمای جوانه‌زدن، آبشویی و پیش‌تیمار جیبرلین قرار گرفت، اثر سه گانه بین دما، آبشویی و پیش‌تیمار جیبرلین در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). درصد جوانه‌زنی بذر تحت تیمارهای مختلف در دمای ۱ و ۵ درجه سانتی‌گراد بین ۳۵ تا ۶۵ درصد بود. روند تغییرات درصد جوانه‌زنی بذر گیاه کلوس در تیمارهای مختلف نشان داد که پیش‌تیمار هورمونی جیبرلین ۲۵۰ پی‌پی‌ام در دمای یک درجه سانتی‌گراد در تیمارهای مختلف آبشویی درصد جوانه‌زنی بالایی نشان داد و بیش‌ترین بذرهای جوانه‌زده در تیمار ۷۲ ساعت آبشویی، پیش‌تیمار جیبرلین ۲۵۰ پی‌پی‌ام و در دمای یک درجه سانتی‌گراد با ۶۵ درصد بدست آمد. در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد کم‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر مشاهده شد و در دمای بالای ۱۰ درجه سانتی‌گراد هیچ بذری از بذر کرفس کوهی

شدند. با توجه به تاریخ شروع کشت یک مهر، پایان آزمایش در تاریخ یک آذر بود، آزمایش طی مدت دو ماه انجام گرفت. ثابت شدن جوانه‌زنی تعیین کننده پایان آزمایش بود و بعد از اتمام آزمایش اندازه‌گیری‌ها شروع شد.

اندازه‌گیری خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه

شروع جوانه‌زنی از تاریخ ۲۱م مهر ۱۳۹۸ و تاریخ ثابت شدن جوانه‌زنی بذر در پایان روز ۳۰م آبان ۱۳۹۸ بود. شمارش بذر جوانه‌زده، با شروع جوانه‌زنی هر روز صبح انجام شد. معیار جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه و قابل رؤیت بودن آن (به طول حداقل یک میلی‌متر) در نظر گرفته شد. عمل شمارش بذر تا زمان اتمام جوانه‌زنی (به مدت ۳۹ روز)، به‌طور مرتب و مداوم صورت گرفت در پایان صفات طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، شاخص وزنی و طولی بنبه گیاهچه محاسبه گردید. صفت درصد جوانه‌زنی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Omid et al., 2015).

$$GP^1 = \frac{n}{N} \times 100 \quad (1)$$

GP = درصد جوانه‌زنی، n = تعداد بذره‌های جوانه‌زده و N = تعداد نهایی بذره‌های جوانه‌زده می‌باشد. زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی از رابطه ۲ به‌دست آمد (Etemadi et al., 2010).

$$T_{50} = t_i + \left[\frac{\frac{N-n_i}{2}}{n_j - n_i} \right] (t_j - t_i) \quad (2)$$

که در این فرمول نیز n_i و n_j به ترتیب، تعداد تجمعی بذره‌های جوانه‌زده به وسیله شمارش در زمان‌های t_i و t_j هستند ($n_i < \frac{N}{2} < n_j$) باشد؛ و N نیز تعداد نهایی بذره‌های جوانه‌زده در آزمون می‌باشد. T_{10} ، T_{25} ، T_{75} و T_{90} نیز مطابق فرمول محاسبه شد و تنها ($\frac{N}{2}$) در فرمول با توجه به درصد مورد نظر تغییر کرد.

برای اندازه‌گیری و محاسبه صفات گیاهچه و بنبه بذر ابتدا از هر پتری‌دیش به صورت تصادفی پنج گیاهچه انتخاب شد و اندازه‌گیری صفت طول گیاهچه با استفاده از خط‌کش بر حسب سانتی‌متر و توزین آن‌ها با استفاده از ترازو دیجیتال AND مدل GF-300 با دقت ۰/۰۰۱ بر حسب گرم صورت گرفت. در این آزمایش، وزن خشک گیاهچه با قرار دادن نمونه‌ها در درون آون با دمای ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید. شاخص‌های بنبه گیاهچه (SVI1): شاخص طولی بنبه بذر، SVI2: شاخص وزنی بنبه بذر) از رابطه ۳ و ۴ حاصل شد.

$$(3)$$

درصد جوانه‌زنی × (میانگین طول ریشه‌چه + میانگین طول ساقه‌چه) = SVI² (1)

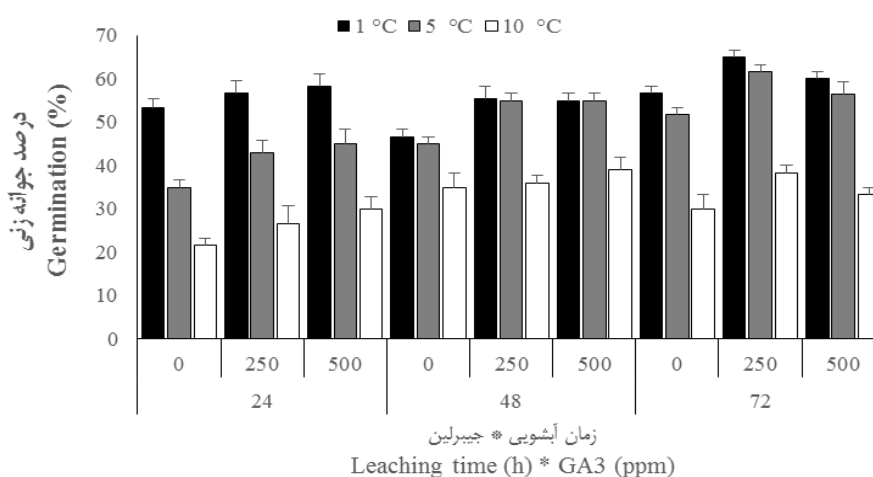
$$(4)$$

1- Germination percentage

2- Seed vigor index

GA₃ دارای درصد و سرعت جوانه‌زنی بالایی بودند. بنابراین، خواب فیزیولوژیکی طی ذخیره خشک (بعد از رسیدگی) یا سرمادهی برطرف می‌شود. جنین بذرهای زیره سبز پس از رسیدن کامل در دمای ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد رشد می‌کنند (Soltani et al., 2019). طبق نتایج پژوهشی تیمارهای سطوح مختلف جیبرلین و نیترات پتاسیم و سطوح مختلف آبشویی در دمای زیر ۵ درجه سانتی‌گراد تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نهایی بذور *Ferula assa-foetida* (L.) داشتند ولی افزایش چشمگیری در سرعت جوانه‌زنی ایجاد نکردند (Pirmoradi et al., 2013).

قادر به جوانه‌زدن نبود (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد افزایش مدت زمان شست‌شو باعث کاهش مواد بازدارنده جوانه‌زنی بذور کرفس کوهی شد و در شرایط بدون تیمار جیبرلین نیز درصد جوانه‌زنی قابل توجهی داشتند. در طبیعت، وجود مکانیسم خواب در بذر گیاهان دارویی بخصوص گیاهان تیره چتریان، باعث ایجاد یک تنوع وسیع و گسترده در میزان جوانه‌زنی و هم‌چنین توزیع جوانه‌زنی در طول زمان می‌شود، که این ساز و کار به‌عنوان یک مزیت نسبی شانس این گیاهان برای بقاء در شرایط نامساعد افزایش می‌دهد (Sharifi et al., 2017). پیش‌تیمار هورمونی بذرهای زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با



شکل ۱- اثر سه‌گانه دما × آبشویی × جیبرلین بر درصد جوانه‌زنی بذور کرفس کوهی

Figure 1- The interaction effect of temperature × Leaching × Gibberellin on germination percentage of *K. odoratissima* seeds (DMRT, $p \leq 0.05$)

می‌شود و افزایش فعالیت این آنزیم منجر به رشد سریع‌تر گیاهچه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) شد که بهبود استقرار گیاهچه منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Ganji Arjenaki et al., 2011). طی تحقیقاتی کاربرد غلظت‌های پایین جیبرلین باعث بهبود رشد گیاهچه گیاه دارویی کرفس کوهی (Ahmadi et al., 2021) و گیاه دارویی تاتوره (*Datura stramonium*) (Saberi and Karimian, 2018) شد. در منابع ذکر گردیده است که بذور گیاه توس (*Betula pendula*) برای حصول صفات رویشی بهتر اعمال تیمار جیبرلین می‌تواند مفید باشد و غلظت‌های پایین جیبرلین بیش‌ترین طول ساقه-چه، ریشه‌چه و وزن تر گیاهچه حاصل شد (Payam Noor and Kordalivand, 2018). یکی از دلایل اثر مثبت محرک‌های شیمیایی مانند جیبرلین بر رشد اولیه گیاهچه‌ها احتمالاً مربوط به تعادل رسیدن نسبت هورمونی در بذر و کاهش مواد بازدارنده رشد مانند آبسزیک اسید (ABA) می‌باشد. جیبرلین‌ها سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیکی که در زیر لایه آلورونی قرار دارند را افزایش می‌دهند. آنزیم‌های سنتز شده به آندوسپرم انتقال یافته و سبب تجزیه غذای

طول گیاهچه

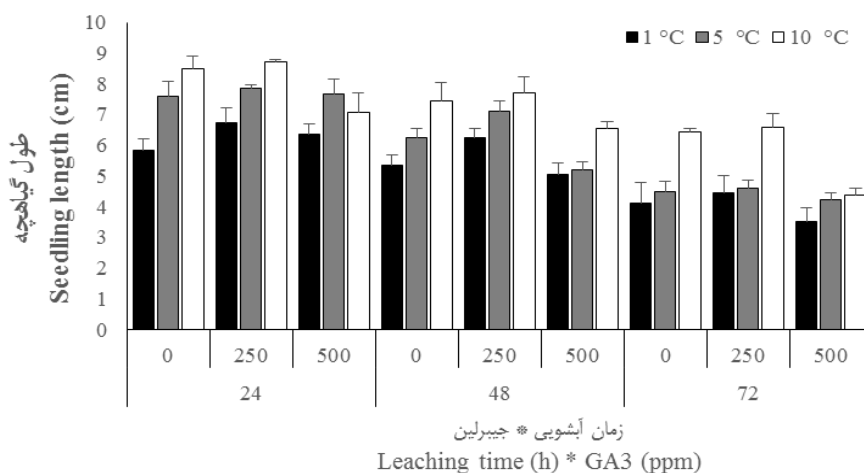
با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای آزمایش بر صفت طول گیاهچه تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱). طبق نتایج طول گیاهچه کلوسه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دماهای ۱ و ۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود. کاربرد پیش‌تیمار جیبرلین ۲۵۰ پی‌پی‌ام با ۲۴ ساعت آبشویی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش طول گیاهچه به میانگین ۸/۷ سانتی‌متر شد. با توجه به مدت زمان ۷۲ ساعت آبشویی بذور کرفس کوهی پیش‌تیمار جیبرلین ۵۰۰ پی‌پی‌ام موجب کاهش طول گیاهچه در هر سه دمای مورد آزمایش شد (شکل ۲). نقش اصلی جیبرلین در جوانه‌زنی بذر فعال کردن بیوسنتز-mRNAهای کدکننده آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی مخصوصاً آنزیم آلفا آمیلاز می‌باشد. اسید جیبرلیک با فعال کردن آنزیم‌های ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز و آنزیم رویسکو که از آنزیم‌های مهم فتوسنتزی هستند موجب رشد گیاه می‌شود (Vojodi Mehrabani and Valizadeh, 2020). پرابینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز

ذخیره‌ای و تأمین انرژی لازم برای جوانه‌زنی و رشد می‌شوند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات دما، آبشویی و جیبرلینک اسید بر صفات جوانه‌زنی بذر کرفس کوهی
Table 1- ANOVA for the effects of temperature, Leaching and Gibberellin on *Kelussia odoratissima* Mozaff.
Characteristics of seed germination

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares					
		درصد جوانه- زنی Germination percentage	طول گیاهچه Seedling length	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص طولی بنبه بذر Length index of seed vigor	شاخص وزنی بنبه بذر Weight index of seed vigor
دما Temperature	2	534.56**	16.94**	0.03**	0.00002**	206.32*	0.06**
آبشویی Leaching	2	1689.19**	11.41**	0.11**	0.00002**	4689.85**	0.11**
جیبرلین Gibberellin	2	1231.79**	11.45**	0.02**	0.000008**	1179.71**	0.03**
دما × آبشویی Temperature × Leaching	4	361.41**	2.90*	0.03**	0.000006**	311.55**	0.02**
دما × جیبرلین Temperature × Gibberellin	4	72.06 ^{ns}	9.91**	0.03**	0.000002**	1555.49**	0.01**
آبشویی × جیبرلین Leaching × Gibberellin	4	190.58*	5.38**	0.04**	0.000005**	623.69**	0.02**
دما × آبشویی × جیبرلین Temperature × Leaching × Gibberellin	8	212.11**	2.28**	0.18**	0.000007**	917.77**	0.01**
خطا Error	54	52.16	0.84	0.002	0.0000002	45.69	0.001
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.70	14.79	18.26	21.47	13.22	27.58

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.
^{ns}، ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

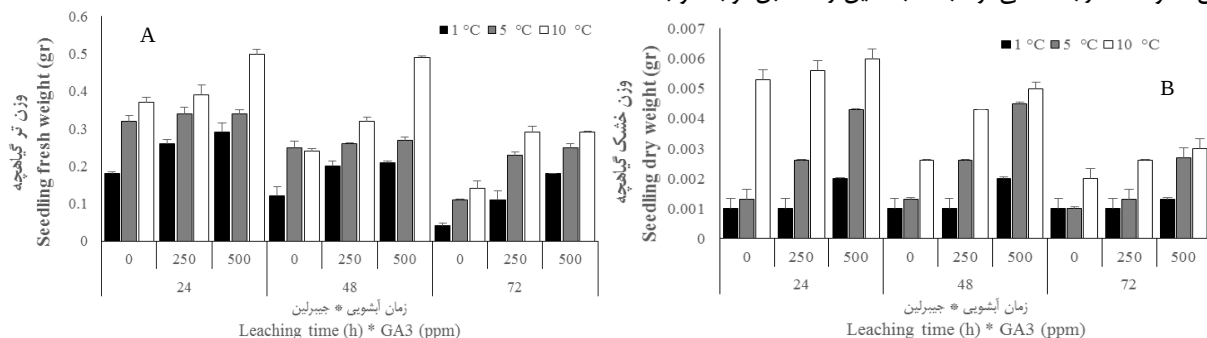


شکل ۲- اثر سه گانه دما × آبشویی × جیبرلین بر طول گیاهچه کرفس کوهی

Figure 2- The interaction effect of temperature × Leaching × Gibberellin on seedling length of *K. odoratissima* (DMRT, $p \leq 0.05$)

وزن تر و خشک گیاهچه

دنبال آن وزن گیاهچه‌های کرفس در این دما و همچنین پیش تیمار هورمون جیبرلین میزان تقسیم سلولی مریستم‌های ریشه اولیه را که منجر به افزایش رشد طولی می‌شوند را زیاد می‌کنند. به نظر می‌رسد افزایش وزن گیاهچه در ارتباط با افزایش طول گیاهچه تحت تأثیر پیش تیمار جیبرلین باشد. یوسفی و همکاران (Yousefi *et al.*, 2021) گزارش دادند که پرایمنینگ هورمونی باعث افزایش وزن گیاهچه‌های سرخارگل (*Echinacea purpurea*) می‌شود که هم-راستا با نتایج این پژوهش است. افزایش وزن گیاهچه در اثر اعمال پیش تیمار، احتمالاً به دلیل تحریک فعالیت‌های متابولیکی در داخل جنین می‌باشد. همچنین طی پژوهشی با بررسی اثر سرمادهی مرطوب و آیشویی بر صفات رشد گیاهچه انجدان رومی از خانواده چتریان گزارش کردند افزایش در شاخص‌های رشد گیاهچه (طول گیاهچه و وزن گیاهچه) در تیمار خیساندن به مدت ۱۲ ساعت و دمای ۷ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. این امر می‌تواند به دلیل جذب بیشتر آب توسط روپان و افزایش فعل و انفعالات رویشی باشد که سبب افزایش شاخص‌های رشد گیاهچه می‌شود (Afzaligroh *et al.*, 2018).



شکل ۳- اثر سه گانه دما × آیشویی × جیبرلین بر وزن تر (A) و خشک (B) گیاهچه کرفس کوهی

Figure 3- The interaction effect of temperature × Leaching × gibberellin on seedling fresh (A) and dry (B) weight (DMRT, $p \leq 0.05$)

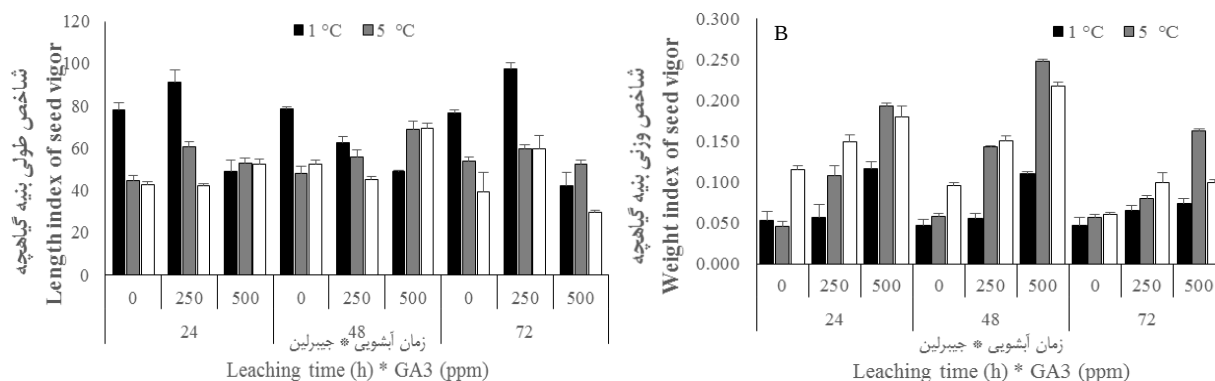
پیش تیمار جیبرلین ۵۰۰ پی‌پی‌ام کم‌ترین مقدار شاخص طولی بنیه بذر مشاهده شد (شکل ۴-۱). شاخص وزنی بنیه بذر تحت تأثیر ترکیب تیماری آیشویی ۷۲ ساعت، دمای جوانه‌زنی یک درجه سانتی‌گراد و پیش تیمار جیبرلین ۲۵۰ پی‌پی‌ام بیش‌ترین مقدار را داشت. دمای یک درجه سانتی‌گراد در اغلب سطوح ترکیب تیماری شاخص وزنی بنیه بذر بیش‌ترین داشت و کاهش مقدار شاخص وزنی بنیه بذر در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و پیش تیمار جیبرلین ۵۰۰ پی‌پی‌ام و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۴-۲). نتایج بدست آمده از این پژوهش با تحقیق شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2017) که تأثیر پیش تیمار جیبرلین و سرمادهی بر روی خصوصیات جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه و شاخص بنیه بذر چهار گیاه دارویی کرفس کوهی (*Kelussia odoratissima*)، زیره سیاه (*Carum carvi* L.)، آنگوزه (*Ferula assafoetida*) و باریجه (*Ferula gummosa* Boiss) را

شاخص بنیه بذر

یکی از عوامل و معیارهای قدرت بذر مقدار مواد ذخیره‌ای موجود در دانه است. بذر برای ظهور و استقرار گیاهچه‌های قوی و سالم احتیاج به انرژی دارد که باید به وسیله اکسیداسیون مواد ذخیره‌ای موجود در بذر تأمین شود. صفات شاخص طولی و وزنی بنیه بذر تحت اثرات اصلی آیشویی، دما و پیش تیمار جیبرلین، اثر متقابل دما در آیشویی، دما در پیش تیمار جیبرلین، آیشویی در پیش تیمار جیبرلین و دما در آیشویی و پیش تیمار جیبرلین در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱). طبق نتایج مقایسه میانگین در دمای یک درجه سانتی‌گراد با مدت زمان ۷۲ ساعت آیشویی و پیش تیمار جیبرلین ۲۵۰ پی‌پی‌ام به ترتیب بیش‌ترین شاخص طولی بنیه بذر بدست آمد. همچنین در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و ۷۲ ساعت آیشویی و اعمال

رادیکال‌های آزاد حاصل از لیپید پراکسیداسیون به وسیله هورمون‌های رشد مهار می‌شوند (Omidi et al., 2015).

مورد بررسی قرار داده‌اند مطابقت دارد. پیش‌تیمار هورمون‌های رشد از جمله جیبرلین موجب افزایش بنیه بذور گیاه دارویی می‌شود. همچنین



شکل ۴- اثر سه گانه دما × آبشویی × جیبرلین بر شاخص طولی و وزنی بنیه بذر کرفس کوهی

Figure 4- The interaction effect of temperature × Leaching × gibberellin treatments on length (A) and weight (B) index of seed vigor of *K. odoratissima* (DMRT, $p \leq 0.05$)

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات دما، آبشویی و جیبرلین بر صفات جوانه‌زنی بذر کرفس کوهی

Table 2- ANOVA for the effects of temperature, Leaching and Gibberellin on *Kelussia odoratissima* Mozaff. characteristics of seed germination

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares				
		زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی T10	زمان تا ۲۵ درصد جوانه‌زنی T25	زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی T50	زمان تا ۷۵ درصد جوانه‌زنی T75	زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی T90
دما Temperature	2	1095.34**	1610.65**	2749.17**	4237.29**	5297.96**
آبشویی Leaching	2	23.28*	16.16*	7.18*	1.79*	0.28*
جیبرلین Gibberellin	2	169.68**	117.83**	52.37**	13.09**	2.09**
دما × آبشویی Temperature × Leaching	4	13.36*	9.28*	4.12*	1.03*	0.16*
دما × جیبرلین Temperature × Gibberellin	4	62.90**	43.68**	19.41**	4.85**	0.77**
آبشویی × جیبرلین Leaching × Gibberellin	4	12.06 ^{ns}	8.37 ^{ns}	3.72 ^{ns}	0.93 ^{ns}	0.14 ^{ns}
دما × آبشویی × جیبرلین Temperature × Leaching × Gibberellin	8	6.49 ^{ns}	4.51 ^{ns}	2.01 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.80 ^{ns}
خطا Error	54	5.62	3.90	1.73	0.43	0.06
ضریب تغییرات CV (%)	-	26.11	17.46	8.75	3.51	1.25

^{ns}, **, * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

^{ns}, **, * : non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

T10, T25, T50, T75 and T90: time required to obtain 10, 25, 50, 75 and 90% of geminated seeds expressed in hours, respectively.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تیمارهای آبشویی،

زمان تا ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی

همین دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نیز مشاهده شد (جدول ۴). زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی یک پارامتر مهم برای تعیین ویگور و همگنی جوانه‌زنی در بذرهایی است که T_{50} کمتری را نشان می‌دهند (Nawaz et al., 2013). در این آزمایش تیمار بذرها با آبشویی به مدت ۷۲ و ۲۴ ساعت و همچنین پرایم بذور با غلظت ۲۵۰ پی‌پی‌ام جیبرلین و قرار دادن در دمای یک و پنج درجه سانتی‌گراد با توجه به ثبت کمترین T_{50} و همچنین نشان دادن کم‌ترین زمان تا رسیدن به ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد جوانه‌زنی، برای رسیدن به ویژگی‌های جوانه‌زنی بهتر و نهایتاً استقرار بهتر محصول، قابل توصیه خواهند بود.

دمای جوانه‌زنی و پیش‌تیمار جیبرلین بر زمان تا ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در بذور کلوس، بذرهایی پرایم شده با غلظت ۲۵۰ پی‌پی‌ام از بذرهایی پرایم نشده و پرایم شده با غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام زودتر به ۱۰ درصد جوانه‌زنی رسیدند و در نتیجه زمان رسیدن تا ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی در بذرهایی پرایم شده با غلظت ۲۵۰ پی‌پی‌ام و همچنین در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد سریع‌تر اتفاق افتاد (جدول ۳). در مدت زمان ۴۸ ساعت آبشویی و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد بذور کلوس زودتر در مدت زمان تا ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی رسیدند، و به دنبال آن نیز در تیمارهای ۷۲ و ۲۴ ساعت آبشویی و در

جدول ۳- اثر دما و جیبرلین بر صفات جوانه‌زنی

Table 3- Comparison of the average effect of temperature and Gibberellin on germination traits

دما Temperature	جیبرلین Gibberellin	زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی T10	زمان تا ۲۵ درصد جوانه‌زنی T25	زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی T50	زمان تا ۷۵ درصد جوانه‌زنی T75	زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی T90
1°C	0	12.63bc	15.53bc	20.35bc	25.17bc	28.07bc
	250 ppm	10.14d	13.45d	18.96d	24.48d	27.79d
	500 ppm	8.73d	12.27d	18.18d	24.09d	27.63d
5°C	0	12.69bc	15.58bc	20.38bc	25.19bc	28.07bc
	250 ppm	9.22d	16.68d	18.45d	24.22d	27.69d
	500 ppm	10.88cd	14.07cd	19.38cd	24.69cd	27.87cd
10°C	0	14.70ab	17.25ab	21.50ab	25.75ab	28.30ab
	250 ppm	15.28a	17.73a	21.82a	25.91a	28.36a
	500 ppm	14.69ab	17.24ab	21.49ab	25.74ab	28.29ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪).

The same letters among cultivars within the same column are not significantly different (Duncan test at 5% significant level).

جدول ۴- اثر دما و آبشویی بر صفات جوانه‌زنی

Table 4- Comparison of the average effect of temperature and Leaching on germination traits

دما Temperature	آبشویی Leaching	زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی T10	زمان تا ۲۵ درصد جوانه‌زنی T25	زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی T50	زمان تا ۷۵ درصد جوانه‌زنی T75	زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی T90
1°C	24 h	11.50b	14.58b	19.72b	24.86b	27.94b
	48 h	13.52ab	16.26ab	20.84ab	25.42ab	28.16ab
	72 h	6.48c	10.40c	16.93c	23.46c	27.38c
5°C	24 h	14.34a	16.95a	21.30a	25.65a	28.26a
	48 h	13.46ab	16.22ab	20.81ab	25.40ab	28.16
	72 h	5.00c	9.16c	16.11c	23.05c	27.38c
10°C	24 h	14.67a	17.23a	21.48a	25.74a	28.29a
	48 h	15.13a	17.61a	21.74a	25.87a	28.34a
	72 h	14.86a	17.38a	21.59a	25.79a	28.31a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪).

The same letters among cultivars within the same column are not significantly different (Duncan test at 5% significant level).

رشد گیاه شده و سطح برگ را افزایش داده و افزایش سطح برگ منجر به فتوستتزی بیشتر در مراحل اولیه شده و مواد فتوستنتزی کافی نیز اجازه رشد بیشتر را به بوته می‌دهد (Rostami et al., 2018). طبق یافته‌های عباسپور و رضایی (Abbaspour and Rezaei, 2015) تیمار بذری جیبرلین موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b و کل گیاهچه‌های گیاه دارویی بادرشبو شد. همچنین رستمی و همکاران (Rostami et al., 2018) گزارش دادند که تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر موجب افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوستنتزی گیاه دارویی ریحان شد. افزایش رنگدانه‌های فتوستنتزی در گیاهان حاصل از پرایمینگ نتیجه پویایی و اثر محافظتی آن بر فتوستنتز، شاخص کلروفیل و رنگدانه‌های فتوستنتزی در گیاهان است (Tayeb, 2005).

محتوای کارتنوئید

نتایج جدول تجزیه واریانس به دست آمده حاکی از معنی‌دار بودن اثر آبشویی، دما، پیش‌تیمار جیبرلین و اثر متقابل دوگانه و سه گانه آن‌ها بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد (جدول ۴).

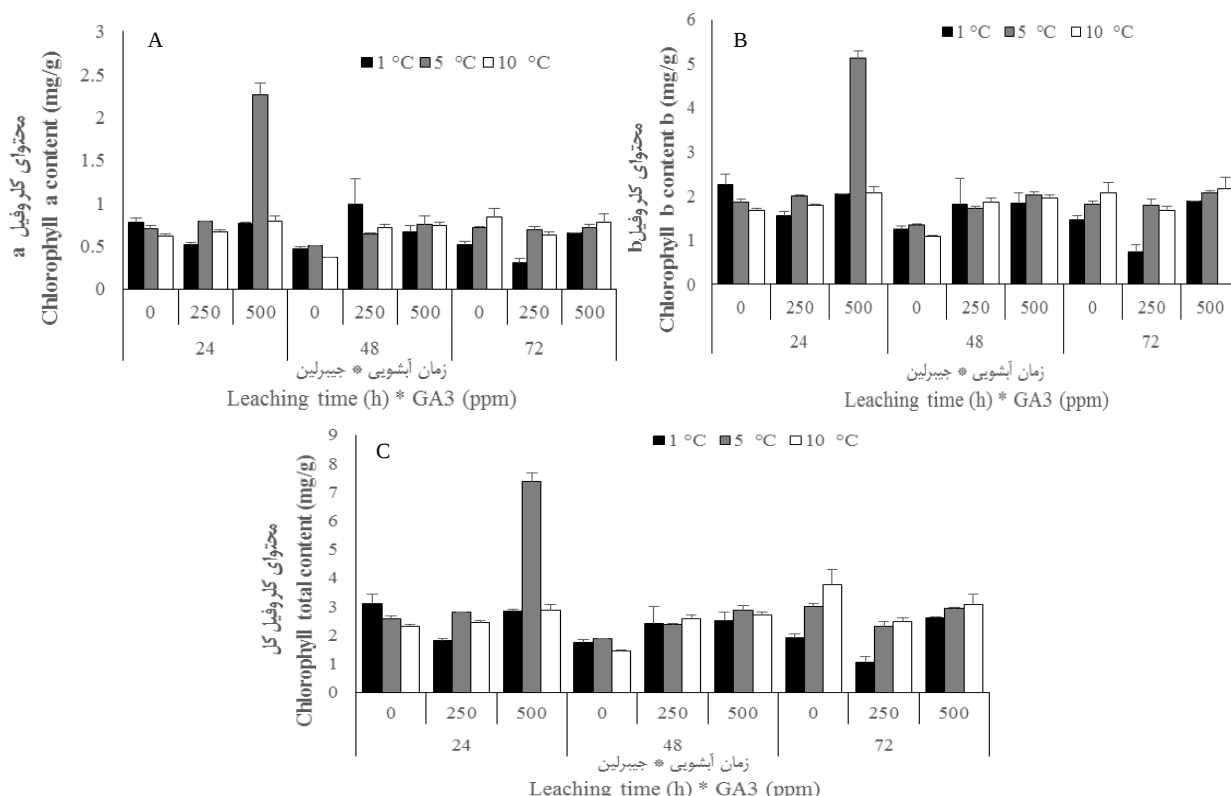
کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل تحت تأثیر آبشویی، دما، پیش‌تیمار جیبرلین و اثرات متقابل آبشویی در دما، آبشویی در پیش‌تیمار جیبرلین، دما در پیش‌تیمار جیبرلین و ترکیب تیماری آبشویی × دما × پیش‌تیمار جیبرلین تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان دادند (جدول ۵). با توجه به ترکیب تیماری آبشویی، دما و جیبرلین، محتوای کلروفیل a (با میانگین ۲/۲۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در مدت زمان ۲۴ ساعت آبشویی، دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام بیش‌تر شد و در تیمار ۴۸ ساعت آبشویی و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در عدم کاربرد پیش‌تیمار جیبرلین کاهش یافت (شکل ۵-A). مقایسه میانگین اثر برهمکنش آبشویی، دما و پیش‌تیمار جیبرلین بر محتوای کلروفیل b نشان داد که، تیمار آبشویی به مدت ۲۴ ساعت، دمای ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در پیش‌تیمار جیبرلین با غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام محتوای کلروفیل b (با میانگین ۵/۱۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بافت برگ افزایش یافت و در عدم اعمال جیبرلین اثر کاهشی داشت (شکل ۵-B). آن‌چه از نتایج مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبشویی، دما و پیش‌تیمار جیبرلین، بدست آمد حاکی از آن بود که، افزایش محتوای کلروفیل کل (با میانگین ۷/۳۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) با افزایش غلظت پیش‌تیمار جیبرلین در غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام بیش‌تر شد و در عدم کاربرد پیش‌تیمار مقدار آن کاهش یافت (شکل ۵-C). پرایمینگ بذر ممکن است در مراحل اول رشد باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات دما، آبشویی و جیبرلیک اسید بر محتوای رنگدانه‌های فتوستنتزی گیاهچه کرفس کوهی
Table 5- ANOVA for the effect of temperature, Leaching and Gibberellin on photosynthetic pigment contents of *Kelussia odoratissima* Mozaff. Seedlings

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Df	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content	محتوای کلروفیل کل Total chlorophyll content	محتوای کارتنوئید Carotenoid content
دما Temperature	2	0.30**	1.59**	3.40**	3589.63**
آبشویی Leaching	2	0.46**	2.92**	5.15**	6218.43**
جیبرلین Gibberellin	2	0.65**	3.85**	7.60**	9498.80**
دما×آبشویی Temperature×Leaching	4	0.32**	1.10**	3.04**	5328.30**
دما×جیبرلین Temperature×Gibberellin	4	0.31**	1.70**	3.95**	8545.90**
آبشویی×جیبرلین Leaching×Gibberellin	4	0.39**	1.39**	3.89**	8418.34**
دما×آبشویی×جیبرلین Temperature×Leaching×Gibberellin	8	0.24**	1.03**	2.25**	4327.99**
خطا Error	54	0.007	0.084	0.31	575.14
ضریب تغییرات CV (%)	-	11.80	15.36	20.84	22.65

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

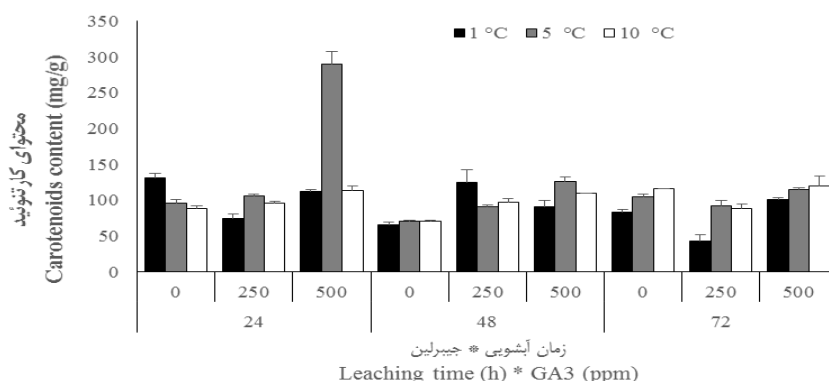


شکل ۵- اثر سه گانه دما × آبشویی × جیبرلین بر محتوای کلروفیل a (A)، کلروفیل b (B) و کلروفیل کل (C) گیاهچه کرفس کوهی
Figure 5- The interaction effect of temperature × Leaching × Gibberellin on chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), and total chlorophyll (C) content of *K. odoratissima* (DMRT, $p \leq 0.05$)

طبق یافته‌های نوروزیان و همکاران (Nowruzian et al., 2017) دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه آنگوزه تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طوری که دماهای پایین باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی شد و دماهای بالا منجر به افزایش و بهبود رشد گیاهچه شد. تیمار سرمادهی با افزایش تقسیم سلولی و دیگر فعالیت‌های متابولیکی، باعث افزایش طول ساقچه و ریشه‌چه می‌شود که خود از دلایل افزایش بنیه بذر است. سرمادهی بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی بذر مؤثر است و از طرفی اسید جیبرلیک، باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه و در نهایت بنیه بذر می‌شود (Golmohamdzadeh et al., 2015). با توجه به تنوع وسیع گونه‌های تیره چتریان و همچنین تنوع نوع و عمق خواب، تیمارهای گوناگونی جهت شکستن خواب و تحریک جوانه‌زنی بذر گیاهان این تیره پیشنهاد شده است که مهم‌ترین این تیمارها به سرمادهی مرطوب و جیبرلیک می‌باشند. نکته‌ای که باید بدان توجه داشت این است که اکولوژی جوانه‌زنی و تیمارهای مناسب جهت شکستن خواب در گونه‌های گیاهی مختلف، گیاهان هم‌خانواده، گونه‌های هم‌جنس و اکوتیپ‌های گوناگون از یک گونه نیز می‌تواند کاملاً متفاوت باشد (Omid et al., 2015).

محتوای کارتنوئید در شرایط تیمار ۲۴ ساعت آبشویی، دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و پیش‌تیمار جیبرلین (۵۰۰ پی‌پی‌ام) دارای بیش‌ترین مقدار با میانگین ۴/۷۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر وزن تر برگ بود. و در غلظت ۲۵۰ پی‌پی‌ام کم‌ترین محتوای کارتنوئید با میانگین ۴۳/۴۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر مشاهده می‌شود. افزایش شدت غلظت پیش‌تیمار جیبرلین باعث افزایش محتوای کارتنوئید شد (شکل ۶). مطابق با این آزمایش کاربرد پیش‌تیمار هورمون جیبرلین به عنوان پیش‌تیمار موجب افزایش در محتوای کارتنوئید گیاهچه بادرشبو شد (Abbaspour and Rezaei, 2015).

جیبرلین می‌تواند با تأثیر بر ژن‌های کد کننده مسیر بیوسنتز ژرانیل پیروفسفات سنتز کارتنوئیدها را تحت تأثیر قرار دهد (Shaddad et al., 2013). کارتنوئیدها گیاهی به‌عنوان رنگدانه‌های فرعی فتوسنتزی، نقش حفاظت کننده علیه اکسیداسیون نوری دارند. حضور و افزایش تدریجی آنها با افزایش ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی برگ، باعث کاهش رادیکال‌های آزاد تولید شده در برگ شده و از این طریق آسیب به مراکز واکنشی و غشاءها کاهش می‌یابد. از طرفی کارتنوئیدها از جمله سیستم‌های دفاعی هستند که بتدریج و با بلوغ برگ، جایگزین سیستم دفاعی آنتوسیانینی برگ جوان می‌شوند (Chaparzadeh et al., 2013).



شکل ۶- اثر سه گانه دما × آبشویی × جیبرلین بر محتوای کارتنوئید گیاهچه کرفس کوهی

Figure 6- The interaction effect of temperature × Leaching × gibberellin on carotenoid content of *K. odoratissima* seedlings (DMRT, $p \leq 0.05$)

فتوسنتزی را در پی داشت. به طور کلی دمای یک درجه‌ی سانتی‌گراد و به دنبال آن دمای پنج درجه‌ی سانتی‌گراد برای افزایش جوانه‌زنی بذر کرفس کوهی مؤثر واقع شد و توانست نتایج مطلوب‌تری را ثبت کند. همچنین دمای مناسب رشد گیاهچه برای کرفس کوهی ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و کاربرد پیش‌ تیمار هورمونی جیبرلین موجب بهبود ویژگی‌های رشد گیاهچه‌های کرفس کوهی شد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولین دانشکده علوم کشاورزی، آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی، آزمایشگاه فناوری بذر و آزمایشگاه مرکزی باغبانی دانشگاه شاهد تشکر و قدردانی نمایند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، تیمار بذر با مدت زمان ۷۲ ساعت آبشویی با آب سرد، دمای یک درجه سانتی‌گراد و پیش تیمار جیبرلین با غلظت ۲۵۰ پی‌پی‌ام توانست بالاترین درصد جوانه‌زنی را نشان دهد که برای رسیدن به جوانه‌زنی بالا قابل توصیه است. علاوه بر این، در دمای پنج درجه سانتی‌گراد نیز تحت پیش تیمار جیبرلین و آبشویی درصد جوانه‌زنی نسبتاً بالایی را نشان داد بر این اساس پیش تیمار هورمونی جیبرلین و در دمای پایین در رسیدن به جوانه‌زنی بیشتر در شرایط پرایمینگ مؤثر می‌باشد. از طرفی غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام جیبرلین موجب افزایش در وزن گیاهچه و رنگیزه‌های

منابع

- 1- Abbaspour, H., & Rezaei, H. (2015). Effects of gibberellic acid on Hill reaction, photosynthetic pigment and phenolic compounds in Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in different drought stress levels. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 27(5): 893-903. (In Persian with English abstract)
- 2- Afzaligroh, S., Mahdinezhad, N., Azadghojehbiglo, H., & Salarnia, N. (2018). The effect of chilling and leaching in removing dormancy the seeds of Lovage (*Levisticum officinale* KOCH). *Journal of Seed Research* 8(1): 60-68. <https://doi.org/20.1001.1.22520961.1397.8.26.6.8>.
- 3- Ahmadi, K., Omid, H., Amini, Dehaghi, M., & Naghdi Badi, H.A. (2020). Review on the botanical, phytochemical and pharmacological characteristics of *Kelussia odoratissima* Mozaff. *Journal of Medicinal Plants* 18(72): 30-45. <https://doi.org/10.29252/jmp.4.72.S12.30>.
- 4- Ahmadi, K., Omid, H., Amini Dehaghi, M., & Soltani, E. (2021). Evaluation of dormancy breaking treatments on seed germination and soluble compounds of *Kelussia odoratissima* Mozaff. seedling. *Plant Physiology Reports* 26(3): 513-525. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3).
- 5- Chaparzadeh, N., Rahimpourshafaii, L., Dolati, M., & Barzegar, A. (2013). Age dependent changes of pigments in *Rosa hybrid*. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 26(3): 281-289. (In Persian with English abstract)
- 6- Costache, M.A., Campeanu, G. & Neata, G. (2012). Studies concerning the extraction of chlorophyll and total carotenoids from vegetables. *Romanian Biotechnological Letters* 17(5): 7702-7708.
- 7- Durr, C., Dickie, J.B., Yang, X.Y., & Pritchard, H.W. (2015). Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agricultural and Forest*

- Meteorology 200: 222-232.
- 8- EL-Tayeb, M.A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 3: 215-225. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1>.
- 9- Etemadi, N., Haghighi, M., Nikbakht, A., & Zamani, Z. (2010). Methods to promote germination of *Kelussia odoratissima* Mozaff., an Iranian endemic medicinal plant. *Herba Polonica* 56: 21-28.
- 10- Farooq, M., Basra, S.M.A., Ahmad, N., & Hafeez, K. (2005). Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integrative Plant Biology* 47(2): 187-193. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00031.x>.
- 11- Finch Savage, W.E., & Leubner Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytology* 171: 501-523.
- 12- Galindez, G., Seal, C.E., Daws, M.I., Lindow, L., Ortega - Baes, P., & Pritchard, H.W. (2017). Alternating temperature combined with darkness resets base temperature for germination (Tb) in photoblastic seeds of *Lippia* and *Aloysia* (Verbenaceae). *Plant Biology* 19(1): 41-45. <https://doi.org/doi/abs/10.1111/plb.12449>.
- 13- Gandomkar, M. (1999). Phytochemical study of cereal escape oil. Ph.D., Faculty of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences. Tehran. Iran. (In Persian)
- 14- Ganji Arjenaki, F., Amini Dehaghi, M., & Jabbari, R. (2011). Effects of priming on seed germination of marigold (*Calendula officinalis*). *Advances in Environmental Biology* 5: 276-280.
- 15- Golmohamdzadeh, S., Zaefarian, F., & Rezvani, M. (2015). Effects of some chemical factors, prechilling treatments and interactions on the seed dormancy breaking of two *Papaver* species. *Weed Biology and Management* 15(1): 11-19. <https://doi.org/doi/10.1111/wbm.12056>.
- 16- Gonzalez-Benito, M., Albert, E., Iriondo, M.J., Varela, J.M., & Perez-Garca, F. (2004). Seed germination of four thyme species after conservation at low temperatures at several moisture contents. pp. 247-254.
- 17- Gupta, V. (2003). Seed germination and dormancy breaking techniques for indigenous medicinal and aromatic plants. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Science* 25: 402-407.
- 18- International Seed Testing Association (ISTA), (2010). *International rules for seed testing*, Bassersdorf, Switzerland.
- 19- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Hossein Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal Herbmed Pharmacology* 7(1): 1-7. <https://doi.org/10.15171/jhp.2018.01>.
- 20- Karim, M.N., Sani, M.N.H., Uddain, J., Azad, M.O.K., Kabir, M.S., Rahman, M.S., Choi, KY., & Naznin, M.T. (2020). Stimulatory effect of seed priming as pretreatment factors on germination and yield performance of yard long bean (*Vigna unguiculata*). *Horticulturae* 6(4): 104.
- 21- Mozaffarian, V. (2007). *Umbelliferae: Flora of Iran fundamentals of analytical chemistry*. Grupo Editorial Norma. Tehran. Iran. 1072p. (In Persian)
- 22- Nawaz, A., Amjad, M., Khan, S.M., Afzal, I., Ahmed, T., Iqbal, Q., & Iqbal, J. (2013). Tomato seed invigoration with cytokinins. *Journal of Animal and Plant Sciences* 23(1): 121-128.
- 23- Nowruzian, A., Masoumian, M., Ebrahimian, M.A., & Bakhshi khaniki, G.R. (2017). Effect of breaking dormancy treatments on germination of *Ferula assa-foetida* seed. *Iranian Journal of Seed Research* 3(2): 155-169. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/yujs.3.2.155>.
- 24- Omid, H., Naghdi Badi, H.A., & Jafarzadeh, L. (2015). *Seeds of medicinal plants and crops*. Shahed University. pp: 454. (In Persian)
- 25- Paucar-Menacho, L.M., Martinez-Villaluenga, C., Duenas, M., Frias, J., & Penas, E. (2016). Optimization of germination time and temperature to maximize the content of bioactive compounds and the antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L.) by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology* 76: 236-244.
- 26- Payam Noor, V., & Kordalivand, A. (2018). The effect of different seed dormancy breaking treatments on germination and primary functions of *Betula pendula*. *Plant Research* 29: 309-318.
- 27- Pirmoradi, M., Omidbaigi, R., Naghavi, M., Baghizadeh, A., & Yadollahi, A. (2013). Effect of elevation and different treatments on *Asafetida* (*Ferula assa-foetida* L.) seed germination. *Iranian Journal of Horticultural Science* 43(4): 461-471. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2012.29380>.
- 28- Rostami, G., Moghaddam, M., Narimani, R., & Mehdizadeh, L. (2018). The effect of different priming treatments on germination, morphophysiological, and biochemical indices and salt tolerance of basil (*Ocimum basilicum* L. cv. Keshkeni Levelou). *Environmental Stresses in Crop Sciences* 11(4): 1107-1123. <https://doi.org/10.22077/ESCS.2018.1072.1213>.
- 29- Saberi, M., & Karimian, V. (2018). Influence of chemical stimulants on improvement of growth, support and retrofit components of the medicinal plant *Datura Stramonium* under stress with allelopathic compounds *Eucalyptus camaldulensis*. *Pasture* 12: 401-410.
- 30- Shaddad, M.A.K., Abd El- Samad, M., & Mostafa, D. (2013). Role of gibberellic acid (GA₃) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 5(4): 50-57. <https://doi.org/20.1001.1.24763780.1395.3.3.1.9>.
- 31- Sharifi, H., Nemati, A., & Gerdakaneh, M. (2017). Breaking seed dormancy and improve germination of four

- medicinal species of apiaceae under gibberellic acid and prechilling treatments. *Iranian Journal of Seed Science and Research* 4(3): 27-38. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/JMS.2017.2505>.
- 32- Sharifi, H., Khajeh Hosseini, M., & Rashed Mohassel, M.H. (2015). Study of seed dormancy in seven medicinal species from Apiaceae. *Iranian Journal Seed Research* 2: 25-36. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/yujs.2.1.25>.
- 33- Slabbert, M.M., Motsa, M. & Van Averbek, W. (2014). *Germination of selected African leafy vegetables in response to different dormancy pre-sowing treatments*. In: XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014). 1102: 75-82. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1102.8>.
- 34- Soltani, E., Mortazavian, S.M.M., Faghihi, S., & Akbari, G.A. (2019). Non-deep simple morphophysiological dormancy in seeds of *Cuminum cyminum* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 15: 100222. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100222>.
- 35- Vojodi Mehrabani, L., & Valizadeh Kamran, R. (2020). The effects of seed priming on some germination index, enzymatic activity and some physiological traits of *Capparis spinosa* and *Kelussia odoratissima*. *Iranian Journal of Seed Science and Research* 7(2): 229-240. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/JMS.2020.4574>.
- 36- Yousefi, F., Siahpoush, A.R, Bakhshandeh, A.A., & Mousavi, S.A. (2021). The effect of hormone seed priming using gibberellic acid on seed germination characteristics and seedling growth of coneflower (*Echinacea purpurea*). *Iranian Journal of Seed Research* 8(1): 173-188. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.52547/yujs.8.1.173>.
- 37- Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gomez - Cadenas, A. (2017). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum* 162(1): 2-12. <https://doi.org/10.1111/ppl.12540>.



Comparison of some Physicochemical Characteristics and Polyphenolic Content in Six Pomegranate (*Punica granatum*) Cultivars

A.R. Bonyanpour^{1*}, B. Jamali²

Received: 21-12-2021

Revised: 09-01-2022

Accepted: 11-04-2022

Available Online: 21-11-2022

How to cite this article:

Bonyanpour, A.R., & Jamali, B. (2022). Comparison of some Physicochemical Characteristics and Polyphenolic Content in Six Pomegranate (*Punica granatum*) Cultivars. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 709-719. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2022.74271.1116](https://doi.org/10.22067/jhs.2022.74271.1116)

Introduction

Pomegranate (*Punica granatum* L.) is a nutrient dense fruit with a high health value and one of the most important Iranian fruit crop. Historical evidence reveals that the primary origin of pomegranate is Iran and that it has been spread from this region to other areas. A vast range of pomegranate varieties can be found in Iran; 760 original, decorative and wild ones. Pomegranate juice contains a high amount of total soluble solid (TSS), anthocyanins, polyphenolic compounds, vitamin C, sugars and proteins. Pomegranate is considered as one of the most tolerant fruit crops capable of growing under arid and semi-arid climatic conditions. Cultivar and growing region climate are the main factors determining chemical composition of pomegranate fruits; Significant differences in various fruit quality parameters such as organic acids, phenolic compounds, sugars and water-soluble vitamins have been reported in previous studies. The aim of present study was to compare and evaluate physical and biochemical characteristics of fruits and different polyphenolic compounds in juice of six commercial Iranian pomegranate cultivars.

Materials and Methods

This research was conducted in 2017 and 2018 years in a commercial orchard in Arsanjan region of Fars province. Six Iranian pomegranate cultivars included 'Malas Yusef Khani' (MYK), 'Bajestani (BK)', 'Khazr Bardskan' (KHZ), 'Malas Dane Syah' (MDS), 'Rabbab' (RB) and 'Zard Anar Arsenjan' (ZA) were studied. The trees were planted in randomized block design and spaced 5 and 3 m between and along the rows, respectively. The trees were grown under drip irrigation with routine cultural practices suitable for commercial fruit production. Orchard management was conducted uniformly according to optimized available recommendations (based on soil and water samples analysis) for the orchard site. Fruits were harvested randomly from orchard and some physicochemical characteristic of fruits were measured. Fruit length and fruit diameter measured by manual caliper, fruit and above ground weight was determined by digital scale. The fruit juice percentage was calculated by calculating the percentage of aril juice. TSS (Total soluble solids) expressed in Brix° was measured using a refractometer. The titrable acidity (TA) was determined by titration to pH 8.1 with 0.1M NaOH solution and expressed as percentage. Total anthocyanins, total polyphenols, vitamin C and antioxidant activity were measured spectrophotometrically. Polyphenolic compositions of juices (Gallic acid, Catechin, Caffeic acid, Chlorogenic acid, p-Coumaric acid Vanillin, Trans-ferulic acid, Hesperedin and Ellagic acid) were also measured using HPLC analysis. The chromatographic analysis was carried out on Agilent Technologies 1200 series HPLC system. Chromatograms were recorded at 280 and 320 nm. Each compound was quantified by comparing its peak. Data was analyzed by SPSS software and means were compared using Duncan's multiple range tests at 5% probability level.

1- Assistant Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Shiraz, Iran

(*- Corresponding Author Email: ar.bonyanpour@areeo.ac.ir)

2- Assistant Professor of College of Agriculture, Minab Higher Education Center, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran

Results and Discussion

Significant differences were found among studied pomegranate cultivars for various physical fruit characteristics, quality parameters and polyphenolic composition of fruit. 'Malas Daneh Syah Yazd' was the best in comparison to other cultivars. 'Malas Daneh Syah Yazd' had the highest fruit weight (332 g), fruit length (8 cm), fruit diameter (8 cm), TSS(15.77 Brix°), anthocyanin content (26.98 mg 100 ml⁻¹), polyphenol content (514.37 mg 100 ml⁻¹), ascorbic acid content (9.23 mg 100 ml⁻¹) and antioxidant activity (52.2%). Also, the amount of polyphenols in this cultivar was relatively high. This cultivar had high amount of some polyphenol content such as catechin (223.5 mg L⁻¹), Hesperidin (30.55 mg L⁻¹) and Ellagic acid (43.02 mg L⁻¹) with no significant differences with highest amount. 'Rabbab' had the highest aril weight (340 mg) and moderate levels of other fruit characteristics, this cultivar had the maximum polyphenols such as gallic acid (163.1 mgL⁻¹), catechin (264.2 mgL⁻¹), caffeic acid (265.1 mgL⁻¹), p-Coumaric (74.41 mgL⁻¹) acid, vanillin (18.21 mgL⁻¹) and ellagic acid (43.5 mgL⁻¹). Zard anar' pomegranate cultivar which was native to this region in terms of most biochemical properties had a low amount. Therefore, among the studied pomegranate cultivars 'Malas Dane syah' and was the best. This cultivar had the highest fruit characteristics and polyphenol content such as ellagic acid.

Conclusion

The results of this study showed significant differences among studied pomegranate cultivars. 'Dane syah Yazd' had the highest physical and chemical characteristics of fruits. Previous studies showed that these cultivars had good growth characteristics and high yield in comparison to other cultivars. Therefore, among the studied cultivars, 'Dane syah Yazd' is introduced as a suitable cultivar for this region. Also, 'Rabbab' Neyriz cultivar can be considered as a cultivar with high antioxidant properties of fruit juice due to having the highest amount of measured polyphenolic compounds, especially alginic acid.

Keywords: Anthocyanin, Antioxidant, Polyphenolic compounds, Vitamin C

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۷۱۹-۷۰۹

مقایسه برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میزان پلی فنول‌ها در میوه شش رقم انار

علیرضا بنیان پور^{۱*} - بابک جمالی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی ویژگی‌های شیمیایی میوه انار در شرایط آب و هوایی استان فارس روی درختان شش ساله شش رقم شامل ارقام 'ملس یوسف‌خانی'، 'بجستانی'، 'خزر بردسکن'، 'ملس دانه سیاه'، 'رباب نی‌ریز' و 'زرد انار ارستجان' انجام گردید. درختان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار کشت شدند و میوه‌های این ارقام در طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برداشت شدند و هر سال بطور جداگانه ویژگی‌های کمی، کیفی و بیوشیمیایی آن‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. ویژگی‌های مورد بررسی شامل خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی آب میوه و همچنین ترکیب پلی فنولیک آب میوه‌ها بود که با استفاده از آنالیز HPLC مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه و میزان ترکیبات پلی فنولیک آب میوه، اختلاف معنی‌داری در ارقام انار مورد مطالعه وجود دارد. رقم 'ملس دانه سیاه' دارای بیشترین وزن (۳۳۲ گرم) و قطر میوه (۸ سانتی‌متر) بود. این رقم از لحاظ ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه مانند میزان TSS (۱۵/۷ درجه بریکس)، مقدار آنتوسیانین (۲۸/۹۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)، مقدار فنول کل (۵۱۴/۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)، میزان ویتامین ث (۹/۲۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) و فعالیت آنتی اکسیدانی (۵۲/۲ درصد) نیز از سایر ارقام بهتر بود. رقم 'رباب' نیز از لحاظ دارا بودن میزان پلی فنول‌ها مانند اسید گالیک (۱۶۳/۱ میلی‌گرم در لیتر)، کاتچین (۲۶۴/۲ میلی‌گرم در لیتر)، اسید کافئیک (۲۶۵/۱ میلی‌گرم در لیتر)، اسید کلروژنیک (۲۴/۴۰ میلی‌گرم در لیتر)، وانیلین (۱۸/۲۱ میلی‌گرم در لیتر)، اسید ترانس فرولیک (۱۸/۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و اسید الایژیک (۴۳/۰۵ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه برتر بود. با توجه به موارد فوق از بین ارقام مورد مطالعه رقم 'ملس دانه سیاه' با توجه به خصوصیات مناسب کمی و کیفی میوه به عنوان یک رقم مناسب جهت این منطقه معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدان، ترکیبات پلی فنولیک، ویتامین ث

مقدمه

درخت تحمل زیادی به شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک دارد (Ozgen et al., ;Cui et al., 2015; Akhavan et al., 2015) بطوری‌که در اکثر مناطق نیمه‌گرمسیر ایران انار به عنوان یک محصول مهم در حال کشت می‌باشد. میوه انار یک میوه کاذب است که از رشد نهج و تخمدان حاصل می‌شود و اریل‌ها یا دانه‌های انار در واقع میوه حقیقی انار می‌باشند که هسته انار را در بر می‌گیرند و قسمت خوراکی انار را تشکیل می‌دهند (Watson and Dallwitz, 2008). اریل‌ها از تعداد زیادی سلول‌های اپیدرمی تشکیل شده‌اند که رنگ آن‌ها از قرمز تیره تا حالت بی‌رنگ متغیر است. تعداد آریل‌ها در هر میوه گاهی به ۱۳۰۰ عدد می‌رسد (Mertens-Talcott et al., 2006). زمان رسیدن میوه انار حدود ۶ تا ۷ ماه بعد از گلدهی است و زمان برداشت میوه‌ها می‌تواند بر اساس میزان مواد جامد محلول و یا

انار با نام علمی *Punica granatum* L. درختچه‌ای نیمه گرمسیری است که بومی ایران و کشورهای مجاور آن می‌باشد. انواع گوناگونی از ارقام و ژنوتیپ‌های انار در مناطق مختلف ایران یافت می‌شود. بطوری‌که تاکنون بیش از ۷۶۰ ژنوتیپ انار در ایران شناسایی و جمع‌آوری گردیده است (Brand-Williams et al., 1995). این

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شیراز، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ar.bonyanpour@areeo.ac.ir)

۲- استادیار دانشکده کشاورزی مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان
DOI: 10.22067/jhs.2022.74271.1116

باشد. ویژگی‌های آب و هوایی یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت میوه تولیدی درخت انار می‌باشد. بطوری‌که یک رقم در مناطق مختلف تفاوت‌های زیادی از لحاظ عملکرد و رنگ و طعم میوه از خود نشان می‌دهد. در این پژوهش ویژگی‌های کمی و کیفی میوه چند رقم تجاری انار که در سال‌های اخیر در منطقه ارسنجان در استان فارس کشت شده‌اند بررسی شد تا بتوان به این وسیله به اطلاعات لازم در رابطه با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میوه این ارقام دست یافت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی درختان شش ساله چند رقم انار در طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در یک باغ تجاری در شهرستان ارسنجان واقع در شمال شرقی استان فارس انجام شد. این باغ تجاری در شش کیلومتری شرق شهرستان ارسنجان (موقعیت جغرافیایی باغ طول ۵۳°۳۷ و عرض جغرافیایی و ۲۹°۸۸) قرار داشت. این منطقه دارای آب و هوای معتدل با حداکثر و حداقل دمای ۴۲ و ۵- درجه سانتی‌گراد، متوسط میزان بارندگی سالیانه ۱۷۰ میلی‌متر و رطوبت نسبی در فصل رشد ۳۰ درصد بود. ارقام مورد بررسی شامل 'ملس یوسف خانی' (MYS)، 'بجستانی' (BK)، 'ملس دانه سیاه' (MDS)، 'رباب نیریز' (RB)، 'خزر بردسکن' (KHZ) و 'زرد انار ارسنجان' (ZA) بودند (شکل ۱).

درختان به فواصل ۵ در ۳ متر کشت شده بودند و بوسیله سیستم آبیاری قطره‌ای با دور آبیاری چهار روز و به مدت چهار ساعت آبیاری می‌شدند. برنامه‌های مدیریت باغ (استفاده از کودها، آفات، بیماری‌ها و کنترل علف‌های هرز) با توجه به توصیه‌های موجود و براساس تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک و آب انجام شد (جدول ۱ و ۲).

بر اساس اسیدیت میوه تعیین نمود (Stover and Kader, 2006; Mercure, 2007). میوه انار به علت دارا بودن آنتی‌اکسیدان بالا می‌تواند تأثیر مفید و عمیقی بر سلامتی انسان داشته باشد (Tezcan et al., 2009). آب انار حاوی مقدار زیادی آنتوسیانین، ترکیبات پلی‌فنولیک، ویتامین ث و قند است (Palvina, Fadavi et al., 2005; Passaeium et al., 2019; and Constantinus, 2005; Zoubida et al., 2015). رقم، منطقه آب و هوایی و مرحله بلوغ میوه از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده ترکیب شیمیایی میوه‌های انار هستند (Halvorsen et al., Kulkarni, and Aradhya, 2004; Patras et al., 2008; Melgarejo and Artes, 2000; 2002). بطوری‌که تفاوت‌های قابل توجهی در پارامترهای مختلف کیفی میوه انار مانند اسیدهای آلی، ترکیبات فنولی، قندها و ویتامین‌های محلول در آب در مناطق مختلف دیده می‌شود (Rena, et al., 2009; Stover and Mercure, 2007). طیف وسیعی از ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی در تمام قسمت‌های مختلف درخت انار مانند پوست، برگ، دانه‌ها و میوه‌ها گزارش شده است (Orak et al., 2012; Rena et al., 2009). انواع مختلفی از پلی‌فنول‌ها شامل گالیک اسید، الاجیک اسید، پونیکالاجین و پونیکالین در میوه و پوست ارقام انار شناسایی شده است (Li et al., 2016). این در حالی است که ترکیبات میوه انار از لحاظ مقدار آنتوسیانین (در دامنه ۴۲ تا ۷۲/۵ میلی‌مولار در ۱۰۰ گرم آب میوه)، ترکیبات پلی‌فنولیک (در دامنه ۲۲/۵ تا ۶۹/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب میوه)، ویتامین ث (در دامنه ۵/۹ تا ۱۰/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب میوه) و قند (در دامنه ۱۱/۳ تا ۱۶/۶ درجه بریکس) نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Fadavi et al., 2005; Palvina and Constantinus, Orak et al., 2012; Tezcan et al., 2009; 2005). میوه انار با دارا بودن این مواد در میوه و پوست خود دارای ارزش غذایی بالایی بوده که این امر می‌تواند در رابطه با حفظ سلامت و تأمین برخی مواد ضروری بدن موثر

جدول ۱- نتایج تجزیه پارامترهای کیفیت آب مورد استفاده در آبیاری باغ

Table 1- ANOVA results for the quality parameters of orchard irrigation water

EC هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	Na (%)	Cl (mg.l ⁻¹)	SAR نسبت جذب سدیم	TDS (mg.l ⁻¹) سختی کل آب
1.5	34.74	45.71	3.5	590

جدول ۲- نتایج تجزیه نمونه خاک منطقه آزمایش

Table 2- Results of the soil sample analysis from the experimental region

بافت خاک Soil texture	میزان عناصر خاک Soil mineral content (mg.kg ⁻¹)							pH	EC هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)
	N	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Mn			
رسی لومی Loamy Clay	32	1200	150	150	8.4	1	8.7	7.6	0.91	0.75

تصادفی از چهار سمت درخت و از درختان یکنواخت انجام شد و ویژگی‌های کمی و کیفی آن‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

میوه‌های ارقام فوق با توجه به زمان برداشت مرسوم انار در این منطقه و بر اساس ویژگی‌های ظاهری مانند رنگ میوه، رنگ دانه و طعم میوه در ۱۵ آبان ماه برداشت شدند. برداشت میوه‌ها به طور



شکل ۱- تصویر میوه ارقام انار مورد مطالعه

Figure 1- Fruit image of the studied pomegranate cultivars

2010). به این منظور ۹۰۰ میکرولیتر آب میوه با ۱۸۰ میکرولیتر محلول ۵۰ درصد فولین و ۹۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۲ درصد مخلوط و ۹۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد و سپس جذب مخلوط واکنش در طول موج ۶۵۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب میوه از طریق ویژگی خنثی‌کنندگی DPPH تعیین گردید. به این منظور ۱۰۰ میکرولیتر آب میوه به ۹۰۰ میکرولیتر محلول DPPH افزوده شد و به سرعت هم زده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اطاق نگهداری گردید و پس از یکنواخت شدن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۱۷ نانومتر میزان جذب اندازه‌گیری شد (Brand-Williams et al., 1995). میزان ویتامین ث آب میوه‌ها به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Hepaksoy et al., 2009). به این منظور به ۱۰۰ میکرولیتر آب میوه، ۱۰ میلی‌لیتر اسید متافسفريك ۱ درصد اضافه و ورتکس شد. به ۱ میلی‌لیتر از این مخلوط ۹ میلی‌لیتر محلول ایندوفنول ۵۰ میکرومولار اضافه و ورتکس گردید. نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با کمک اسپکتروفتومتر قرائت شدند و غلظت ویتامین ث با کمک نمونه‌های استاندارد ویتامین ث تعیین و به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه گزارش شد.

اندازه‌گیری ترکیبات پلی فنول با HPLC

جهت اندازه‌گیری میزان پلی فنول‌های آب میوه ارقام مورد بررسی ابتدا ۳ میلی‌لیتر آب میوه در یک لوله اپندورف سانتریفیوژ شد (۸ دقیقه در ۵۰۰ × گرم) و مایع باقی مانده سانتریفیوژ از یک فیلتر ۰/۲ میکرومتر عبور داده شد. آنالیز کروماتوگرافی بوسیله دستگاه

ویژگی‌های فیزیکی میوه

وزن میوه‌ها بر حسب گرم و طول و قطر میوه با کولیس اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر گزارش شد. اندازه‌گیری طول میوه در محور قطبی، یعنی بین راس و انتهای میوه انجام شد و عرض میوه در جهت عمود بر محور قطبی اندازه‌گیری شد. آریل‌ها بر اساس متوسط وزن ۱۰ دانه آریل و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند و وزن متوسط یک دانه به صورت میلی‌گرم بیان شد. همچنین نسبت وزن آب میوه به کل میوه نیز محاسبه و به عنوان درصد آب میوه گزارش شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های بیوشیمیایی

میزان مواد جامد محلول (TSS) به صورت درجه Brix با رفراکتومتر اندازه‌گیری شد. میزان اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه (TA) با تیتراسیون و با استفاده از محلول یک مولار NaOH به pH ۸/۱ رسانده و مقدار اسید به صورت درصد بیان شد (Fadavi et al., 2005). غلظت آنتوسیانین‌های آب میوه با کمک روش اختلاف pH با کمک دو سیستم بافر کلرید پتاسیم (۰/۲۵ مولار و pH یک) و استات سدیم (۰/۴ مولار و pH ۴/۵) اندازه‌گیری شد. به این منظور به ۰/۴ میلی‌لیتر از آب میوه ۳/۶ میلی‌لیتر از هر یک از بافرها اضافه شد و سپس نمونه‌ها در دو طول موج ۵۱۵ و ۷۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده و غلظت آنتوسیانین‌های آب میوه بر اساس میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه گزارش شد (Lee et al., 2005). غلظت کل فنول با استفاده از فولین سیکالتو و با استفاده از اسید گالیک به عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد (TehraniFar et al.,

HPLC سری Agilent Technologies 1200 انجام شد. حجم تزریق ۲۰ میکرولیتر بود. اندازه‌گیری در طول موج‌های ۳۲۰ و ۲۸۰ نانومتر و دمای آون ۳۰ سانتی‌گراد انجام گردید. برنامه شویش گرادبان و ترکیب در صد حلال‌ها به صورت زیر انتخاب شد. در زمان شروع نسبت فرمیک اسید ۱٪ و اتانول (۹۰:۱۰)، در زمان ۱۰ دقیقه (۷۵:۲۵) در زمان ۲۰ دقیقه (۶۰:۴۰)، در زمان ۳۰ دقیقه (۷۰:۳۰) و در زمان ۴۰ دقیقه (۳۰:۷۰) بود. سرعت شویش ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و حجم تزریق ۲۰ میکرولیتر انجام گردید. کالیبراسیون بر اساس روش میسنا و همکاران (Misana et al., 2011) انجام شد.

تجزیه آماری

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و چهار درخت در هر تکرار به اجرا در آمد. در پایان دو سال آزمایش، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار spss تجزیه آماری شدند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر ارقام انار بر ویژگی‌های فیزیکی میوه

Table 3- ANOVA results for the physical characteristics of fruits in some pomegranate cultivars

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means squares					
		آب میوه Juice	وزن آریل Aril weight	عرض میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length	وزن میوه Fruit weight	اسیدیته Acidity
سال Year (Y)	1	2.778 ^{ns}	132.25 ^{ns}	0.0038 ^{ns}	0.013 ^{ns}	132.25 ^{ns}	0.003 ^{ns}
تکرار Rep	4	9.014	1642.72	0.628	0.794	4606.75	0.128
رقم Cultivar (C)	5	2.540 ^{ns}	2524.05 ^{ns}	2.02 ^{**}	0.81 ^{ns}	5998.80*	2.893**
Y×C	5	0.111 ^{ns}	402.983 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.019 ^{ns}	14.51 ^{ns}	0.005 ^{ns}
خطا Error	20	7.270	1038.223	0.254	0.457	2018.961	0.071
ضریب تغییرات CV (%)		6.03	10.24	7	9.03	16.9	13.47

ns, *, **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non- significant and significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

نتایج و بحث

بر اساس آنالیز واریانس صفات فیزیکی اختلاف معنی‌داری بین ارقام از لحاظ ویژگی‌های مورد بررسی مشاهده شد (جدول ۳). حداکثر میانگین وزن میوه در رقم 'ملس دانه سیاه' با ۳۳۴ گرم مشاهده شد که در مقایسه با ارقام 'یوسف‌خانی'، 'بجستانی' و 'رباب' به طور معنی‌داری بالاتر بود (جدول ۴). ارقام دیگر از نظر آماری با رقم 'ملس دانه سیاه' تفاوت معنی‌داری نداشتند. بیشترین طول میوه را رقم 'ملس دانه سیاه' با ۸ سانتی‌متر دارا بود که به طور معنی‌داری بالاتر از رقم 'یوسف‌خانی' (۶/۹۱ سانتی‌متر) بود، سایر ارقام انار مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری در مقایسه با رقم 'ملس دانه سیاه' نشان ندادند. بیشترین میانگین وزن آریل میوه را رقم 'رباب' با ۳۴۰ میلی‌گرم دارا بود اما بین ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. اندازه‌گیری درصد آب میوه ارقام مورد مطالعه نشان داد که تفاوت معنی‌داری در این رابطه بین ارقام وجود ندارد.

پژوهش‌هایی که سایر محققین در این رابطه انجام داده‌اند، نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند بطوری‌که تهرانی‌فر و همکاران (Tehranifar et al., 2010) دامنه تغییرات وزن میوه را از ۳۱۵ گرم تا ۱۹۶ گرم گزارش نمودند درحالی‌که نیکدل و همکاران (Nikdel et al., 2016) در مقایسه چند رقم انار بیشترین وزن میوه را در رقم 'شیشه کپ' با وزن میوه ۱۰۹/۲۷ گرم و کمترین را در رقم 'قند و شلغمی' گزارش نمودند. تنوع وزن میوه در ارتباط با رقم و شرایط اکولوژیکی است (Kader, 2006). در پژوهش حاضر مقدار آب میوه بین ۴۳ تا ۴۵ درصد متغیر بود (تفاوت معنی‌داری بین ۶ رقم مشاهده نشد) که نشان دهنده سطح نسبتاً مطلوب آب میوه در ارقام مورد بررسی دارد. اما برای این ویژگی سطوح متنوع‌تری در گزارش تهرانی‌فر و همکاران (Tehranifar et al., 2010) گزارش گردید بطوری‌که درصد آب میوه را از ۲۶/۹ درصد در رقم 'ترش شاهوار کاشمر' تا ۴۶/۵ درصد در رقم 'شیرین پوست قرمز' متغیر دانستند. بیشترین میزان اسید کل ۳/۳۶ درصد بود که در رقم 'ملس یوسف

رابطه با محتوای TSS ارقام انار که توسط نیکدل و همکاران (Nikdel *et al.*, 2016) صورت گرفت دامنه بین ۲۰ درجه بریکس (رقم 'رباب' تا ۱۴/۰۵ (رقم 'شهباز') را نشان داد، دامنه مشابهی از ۱۵/۱۷ تا ۲۲/۰۳ درجه بریکس توسط اکبرپور و همکاران (Akbarpour *et al.*, 2009) گزارش شد. این نتایج نشان‌دهنده سطح نسبتاً مطلوب میزان TSS در ارقام مورد بررسی در پژوهش حاضر دارد.

خانی' مشاهده شد که به طور قابل توجهی بالاتر از سایر ارقام بود. تغییرات میزان اسیدیته و نسبت آن با قند میوه یکی از شاخص‌های مورد نظر در رابطه با زمان برداشت و کیفیت میوه می‌باشد (Babu *et al.*, 2017) که این میزان با توجه به نوع رقم متفاوت است (جدول ۴).

بیشترین مقدار TSS در رقم 'ملس دانه سیاه' به میزان ۱۵/۷۷ درجه بریکس مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد نسبت به سایر ارقام نداشت (جدول ۵). پژوهش‌های انجام شده در

جدول ۴- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی میوه تعدادی از ارقام انار در دو سال آزمایش
Table 4- Some physical and chemical characteristics of fruits in various pomegranate cultivars

رقم Cultivar	وزن میوه Fruit weight (g)	قطر میوه Fruit diameter (cm)	اسید کل Total acidity (%)	آنتوسیانین Anthocyanins (mg.100 ml ⁻¹)	اسید اسکوربیک Ascorbic acid (mg.100 ml ⁻¹)	آنتی اکسیدان Antioxidant activity (%)
میسف خانی' MYS	249.33 b	7.00cd	3.33 a	19.57b	8.20 ab	47.30 b
بجستانی' BK	258.67 b	6.83 cd	1.98 b	14.82 d	7.15 b	49.07 b
خزر' KHZ	296.00 ab	6.50 d	1.7 bcd	17.30 c	7.00 b	48.40 b
دانه سیاه' MDS	323.33 a	8.13 a	1.60 cd	26.98 a	9.23 a	52.20 a
رباب' RB	268.17 b	7.30 bc	1.37 d	21.07 b	8.00 ab	48.30 b
زرد انار' ZA	300.00 ab	7.63 ab	1.80 bc	17.10 c	7.40 b	49.20 b

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر رقم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه
Table 5- ANOVA results for physical characteristics of fruits in some pomegranate cultivars

میانگین مربعات Mean squares						
منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Df	ویتامین ث Ascorbic acid	پلی فنول‌ها Polyphenols	آنتوسیانین Anthocyanin	آنتی اکسیدان Antioxidant	مواد جامد محلول TSS
سال Year	1	0.003 ^{ns}	100.661 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.967 ^{ns}	0.080 ^{ns}
تکرار Rep	4	1.965	1547.69	3.55	2.96	0.253
رقم Cultivar	5	4.265*	947.35 ^{ns}	108.718**	19.48**	0.716 ^{ns}
سال × رقم C×Y	5	0.003 ^{ns}	6.53 ^{ns}	0.144 ^{ns}	3.11 ^{ns}	0.021 ^{ns}
خطا Error	20	1.152	813.33	2.057	3.83	0.720
ضریب تغییرات C.V (%)		13.68	5.81	7.44	4	5.60

^{ns}, * و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns, *and **: Non- significant and significant at 5% and 1% of probability level, respectively

دارا بود که نسبت به تمامی ارقام تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت (جدول ۴). آنتوسیانین عضوی از ترکیبات فنولی است که باعث

اختلاف معنی‌داری بین ارقام از نظر مقدار کل آنتوسیانین مشاهده شد، 'ملس دانه سیاه' با ۲۷/۱۳ میلی گرم بیشترین میزان آنتوسیانین را

ایجاد رنگ قرمز، آبی یا بنفش بسیاری از میوه‌ها از جمله انار می‌شود و به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورد توجه می‌باشد (Akbarpour et al., 2009). در گزارش کیو و همکاران (Cui et al., 2004) همبستگی مثبت بین میزان آنتوسیانین کل و مقدار رنگ و فنول کل نیز دیده شده است بطوری که میان گونه‌های مختلف یا حتی ارقام از یک گونه، محتوای آنتوسیانین به میزان قابل توجهی متفاوت است و تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی، میزان نور، دما و شرایط کشت قرار می‌گیرد. در برخی گزارش‌ها سطوح متنوعی برای این ویژگی در بین ارقام انار ایرانی و ترکیه‌ای مشاهده گردید (Cam et al., 2009; Tehranifar et al., 2010). از لحاظ میزان فنول کل تفاوت معنی داری بین ارقام دیده نشد. اگر چه رقم 'ملس دانه سیاه' بیشترین مقدار فنول را داشت (۵۱۴ میلی گرم در لیتر). غلظت فنول کل در بین ارقام مورد مطالعه از ۴۵۹/۰۷ تا ۵۱۴/۱۷ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه متفاوت بود. این نتایج با یافته‌های سایر محققان در رابطه با مقدار فنول در آب میوه انار مشابه بود (Akbarpour et al., 2009; Halvorsen et al., 2002; Brand-Williams et al., 1995). مقدار کل ترکیبات پلی فنولیک در آب میوه ارقام مختلف انار در مقایسه با آب سایر محصولات مانند توت فرنگی و آلبالو بیشتر است (Kulkarni and Aradhya, 2004). این پارامتر با ارزش سلامتی این میوه و ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد آن مرتبط است (Ozgen et al., 2008). بیشترین غلظت ویتامین ث در ارقام مورد مطالعه در رقم 'ملس دانه سیاه' به میزان ۹/۲۳ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه مشاهده شد که به طور معنی داری بالاتر از ارقام 'بجستانی'، 'خزر' و 'زرد انار' بود. در گزارش هالورسون و همکاران (Halvorsen et al., 2002) و پاتراز و همکاران (Patras et al., 2008) نیز مقدار ویتامین ث موجود در میوه در همین دامنه گزارش گردیده است. تفاوت موجود بین ارقام مختلف انار از لحاظ میزان ویتامین ث می‌تواند مربوط به از دست رفتن مقداری از ویتامین ث موجود در آب میوه در طی فرایند رسیدن باشد (Akhavan et al., 2015). در همین رابطه مشخص گردیده که طی دوره رسیدن میوه انار تخلیه سریع محتوای ویتامین ث آریل در برخی ارقام صورت می‌گیرد (Papanov et al., 2019).

با توجه به جدول ۴ اختلاف معنی داری برای فعالیت آنتی اکسیدانی در ارقام مورد مطالعه انار مشاهده شد. بیشترین میزان آنتی اکسیدان در رقم 'ملس دانه سیاه' ۵۲/۲۰ درصد بود و کمترین مقدار مربوط به رقم 'یوسف خانی' با ۴۷/۳۰ درصد که در این رابطه تفاوت معنی داری بین رقم 'ملس دانه سیاه' با سایر ارقام دیده شد. گزارش‌هایی که توسط سایر محققین در این رابطه انجام شده نشان می‌دهد که دامنه فعالیت آنتی اکسیدان موجود در ارقام مختلف انار از ۱۰ تا ۷۰ درصد متغیر است (Hamid et al., 2017; Tezcan et al., 2009). که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. این در حالی است که میزان آنتی اکسیدان اندازه گیری شده در این پژوهش بالاتر از مقدار گزارش

شده توسط تهرانی‌فر و همکاران (Tehranifar et al., 2010) بود. میزان آنتی اکسیدان‌های کل در انواع گیاهان به طور سیستماتیک ارزیابی شده است و مشخص شده که میوه‌های انار حاوی غلظت بسیار زیادی آنتی اکسیدان هستند (Hepaksoy et al., 2009). ظرفیت آنتی اکسیدانی آب انار (و سایر آب میوه‌ها) به رقم، منطقه در حال رشد، بلوغ میوه و شرایط کشت بستگی دارد (Ozgen et al., 2008).

جدول ۶ غلظت برخی از ترکیبات فنولی را در آب میوه ارقام مورد مطالعه نشان می‌دهد. بیشترین غلظت اسید گالیک (۱۶۳/۱ میلی گرم در لیتر) در رقم 'رباب' نی ریز به دست آمد (۱۶۳/۱ میلی گرم در لیتر) که به طور قابل توجهی بالاتر از ارقام دیگر بود. بیشترین میزان کاتچین در رقم 'رباب' نی ریز به میزان ۲۶۴/۲ میلی گرم در لیتر مشاهده شد که نسبت به سایر ارقام در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری را نشان داد. این در حالی است که رقم 'بجستانی' فاقد این پلی فنول بود. در بین ارقام مورد مطالعه حداکثر اسید کافئیک در رقم 'رباب' نی ریز به میزان ۲۶۵/۱ میلی گرم در لیتر مشاهده شد که با رقم 'بجستانی' دارای تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد بود. این ترکیب پلی فنولی در ارقام 'ملس یوسف خانی'، 'خزبردسکن'، 'ملس دانه سیاه' و 'زرد انار' ارسنجان تشخیص داده نشد. همچنین بیشترین غلظت اسید کلروژنیک در رقم 'رباب' نی ریز به میزان ۷۴/۴ میلی گرم در لیتر مشاهده شد که تفاوت معنی داری با سایر ارقام داشت. بیشترین میزان اسید کوماریک در 'زرد انار' ارسنجان به میزان ۳۰/۹۸ میلی گرم در لیتر بدست آمد که اختلاف معنی داری با سایر ارقام در سطح ۵ درصد داشت. این ترکیب پلی فنولیک در 'ملس یوسف خانی' تشخیص داده نشد. وانیلین در 'خزبردسکن' و 'ملس دانه سیاه' تشخیص داده نشد. این ترکیب پلی فنولی در رقم 'رباب' بیشترین میزان را داشت که نسبت به ارقام 'ملس یوسف خانی' و 'بجستانی' به طور قابل توجهی بالاتر بود. بیشترین غلظت اسید ترانس فرولیک ۲۱/۳۰ میلی گرم در لیتر در رقم 'یوسف خانی' مشاهده شد که نسبت به تمامی ارقام تفاوت معنی داری را نشان می‌داد. هسپردین در رقم 'ملس دانه سیاه' دارای بیشترین مقدار بود (۳۰/۵۵ میلی گرم در لیتر) که به طور معنی داری بیشتر از سایر ارقام بود. بیشترین غلظت اسید الازیک در ارقام 'رباب' (۴۳/۰۵ میلی گرم در لیتر) و 'ملس دانه سیاه' (۴۳/۰۲ میلی گرم در لیتر) مشاهده شد، که تفاوت معنی داری با سایر ارقام داشت. پلی فنول‌ها، ترکیبات حلقه فنولیک، با گروه‌های هیدروکسیل متعدد، گروه اصلی مواد شیمیایی گیاهی گزارش شده در انار هستند و تقریباً از همه قسمت‌های درخت انار قابل استخراج هستند، اما بیشترین مقدار آن در میوه وجود دارد (Tehranifar et al., 2010). طیف وسیعی از ترکیبات فنولی مختلف مانند سیانیدین، سیانیدین ۳-۰-گلوکوزید، دلفینیدین ۳-۰-گلوکوزید، پلار گونیدین دی گلوکوزید، اسید الازیک، اسید او-کوماریک و پی کوماریک، اسید

که اختلاف معنی‌داری برای سطح اسید الازیک در ارقام مختلف وجود دارد. یکی از مهمترین ترکیبات پلی‌فنولیک موجود در آب انار اسید الازیک است که به فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ارزش سلامتی آن کمک زیادی می‌کند (Artik et al., 1998) که در این پژوهش میزان این ترکیب در ارقام 'رباب' و 'ملس دانه سیاه' بیشترین بود.

کوئرتستین و روتین را در آب انار گزارش شده است (Kulkarni et al., 2004; Meighani et al., 2014; Mertens-Talcott et al., 2006). در مطالعه حاضر اسید الازیک در بین ارقام مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نشان داد (۱۷/۵۳ تا ۴۳/۰۵ میلی‌گرم در لیتر). طیف بالاتری را برای این مشخصه (۱۷/۴ تا ۱۵۵/۹ میلی‌گرم در لیتر) در آب میوه برخی ارقام انار ایرانی گزارش شده است (Akhavan et al., 2015; Mousavinejad et al., 2009) بررسی‌ها نشان داده

جدول ۶- میزان پلی فنول‌های آب میوه در برخی رقم انار

Table 6- The polyphenol content of fruit juice for some pomegranate cultivars

رقم Cultivars	گالیک اسید Gallic acid	کتکین Catechin	کافئیک اسید Caffeic acid	کلورژنیک اسید Chloregenic Acid	کوماریک اسید p-Coumaric acid	وانیلین Vanillin	ترانس فرولیک اسید Trans-ferulic acid	هسپریدین Hesperedin	الازیک اسید Ellagic acid
MYS 'یوسف خانی'	55.58 c	225.9 a	Nd	30.27 d	Nd	9.76 ab	21.31 a	Nd	27.44 b
BK 'بجستانی'	32.62 e	Nd	67 b	22.33 e	7.46 d	1.72 b	15.95 bc	7.93d	18.45 d
KHZ 'خزر'	49.16 d	163.9 b	Nd	53.33 b	9.75 c	Nd	Nd	12.57 c	23.91 bc
MDS 'دانه سیاه'	81.45 b	223.5 a	Nd	41.66 c	19.2 b	Nd	Nd	30.55 a	43.02 a
RB 'رباب'	163.1 a	264.2 a	265.1 a	74.40 a	4.7 e	18.21 a	18.20 b	16.17 b	43.05 a
ZA 'زرد انار'	27.35 f	91.01c	Nd	21.93 e	30.7 a	9.55 ab	14.85 c	6.86 e	17.53 cd

ns, **, *و ***: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *and **: Non- significant and significant at 5% and 1% of probability level, respectively

نتیجه‌گیری

بیشترین میزان ترکیبات پلی‌فنولی اندازه‌گیری شده بویژه الازیک اسید به عنوان یک رقم با خصوصیات آنتی‌اکسیدانی بالای آب میوه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

لازم می‌دانیم از مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس که اعتبار لازم جهت انجام این پروژه را تامین کردند و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان ارسنجان که هماهنگی لازم جهت انتخاب باغ و برداشت محصول را به عهده داشتند کمال تشکر را به عمل آوریم.

بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه ارقام مورد مطالعه نشان داد که تفاوت‌های زیادی در بین ارقام انار از نظر میزان ترکیبات پلی‌فنولی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب میوه وجود دارد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش ارقام 'ملس دانه سیاه' با توجه به دارا بودن بالاترین میزان وزن، قطر میوه، میزان آنتوسیانین، اسید اسکوربیک و آنتی‌اکسیدان و همچنین بالا بودن میزان ترکیبات پلی‌فنولی در این رقم بویژه میزان الازیک اسید بهترین رقم در بین ارقام مورد بررسی بود و می‌تواند به عنوان یک رقم مناسب برای این منطقه تحت کشت قرار گیرد. همچنین رقم 'رباب' نیز به علت دارا بودن

منابع

- 1- Akbarpour, V., Hemmati, K., & Sharifani, M. (2009). Physical and chemical properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit in maturation stage. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 6(4): 411-416.
- 2- Akhavan, H., Barzegar, M., Weidlich, H., & Zimmermann, B.F. (2015). Phenolic compounds and antioxidant

- activity of juices from ten Iranian pomegranate cultivars depend on extraction. *Journal of Chemistry* 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/907101>.
- 3- Artik, N., Ceremroglu, B., Murakami, H., & Mori, T. (1998). Determination of phenolic compounds in pomegranate juice by HPLC. *Fruit Process* 8: 492-499. <https://doi.org/10.1021/jf400684n>.
 - 4- Babu, K.D., Singh, N.V., Gaikwad, N., Maity, A., Suryavanshi, S.K., & Pal, R.K. (2017). Determination of maturity indices for harvesting of pomegranate (*Punica granatum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 87: 1225-30.
 - 5- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology* 28: 25-30.
 - 6- Cam, M., Hisil, Y., & Durmaz, G. (2009). Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry* 112: 721-726. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2008.06.009>.
 - 7- Cui, S.M., Sasada, Y., Sato, H., & Nii, N. (2004). Cell structure and sugar and acid contents in the arils of developing pomegranate fruit. *Journal of Japan Society of Horticulture Science* 73: 41-243. <https://doi.org/10.2503/jjshs.73.24>.
 - 8- Fadavi, A., Barzegar, M., Azizi, M.H., & Bayat, M. (2005). Physicochemical composition of 10 pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.) grown in Iran. *Food Science and Technology International* 11(2): 113-119. <https://doi.org/10.1177/1082013205052765>.
 - 9- Halvorsen, B.L., Holte, K., Myhrstad, M., Barikmo, I., Havattum, E., Remberg, S.F., Haffner, K., Bauger, H., Andersen, L.F., Moskaug, J., Jacobs, D.R., & Blomhoff, R.A. (2002). Systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *Journal of Nutrition* 132: 461-471. <https://doi.org/10.1093/jn/132.3.461>.
 - 10- Hamid, I., Elothmani, D., Hanine, H., Oukabli, A., & Mehinagi, E. (2017). Comparative study of phenolic compounds and their antioxidant attributes of eighteen pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Morocco. *Arabian Journal of Chemistry* 10(2) 2675-2684.
 - 11- Hepaksoy, S., Erogul, D., Şen, F., & Aksoy, U. (2009). Antioxidant activity and total phenolic content of some Turkish pomegranate varieties. *Acta Horticulture* 818: 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.10.011>.
 - 12- Jamali, B., & Eshghi, S. (2014). Application timing of nitric oxide ameliorates on deleterious effects of salinity on growth and fruit quality of strawberry cv. Selva. *Journal of Berry Research* 4: 137-145. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.818.35>.
 - 13- Kader, A.A. (2006). *Postharvest biology and technology of pomegranates*, in *pomegranates: ancient roots to modern medicine*, ed. by Seeram NP, Schulman RN and Heber D. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 211-220.
 - 14- Kulkarni, A.P., & Aradhya, S.M. (2004). Chemical changes and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit development. *Food Chemistry* 93: 319-324. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.029>.
 - 15- Kulkarni, A.P., Aradhya, S.M., & Divakar, S. (2004). Isolation and identification of a radical scavenging antioxidant-punicagin from pith and carpellary membrane of pomegranate fruit. *Food Chemistry* 87: 551-557. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.006>.
 - 16- Lee, J., Durst, R.W., & Wrolstad, R.E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of the AOAC International* 88: 1269-1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>.
 - 17- Li, R., Chen, X.G., Jia, K., Liu, Z.P., & Peng, H.Y. (2016). A systematic determination of polyphenols constituents and cytotoxic ability in fruit parts of pomegranates derived from five Chinese cultivars. *Springer Plus* 5(1): 914. <https://doi.org/10.1186%2Fs40064-016-2639-x>.
 - 18- Meighani, H., Ghasemnezhad, M., & Bakhshi, D. (2014). Evaluation of biochemical composition and enzyme activities in browned arils of pomegranate fruits. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 1: 53-65. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2014.50518>.
 - 19- Melgarejo, P., & Artes, F. (2000). Organic acids and sugar composition of pomegranate juice. *European Food Research Technology* 4: 30-31.
 - 20- Mertens-Talcott, S.U., Jilma-Stohlawetz, P., Rios, J., Hingorani, L., & Derendorf, H. (2006). Absorption, metabolism and antioxidant effects of pomegranate (*Punica granatum* L.). Polyphenols after ingestion of a standardized extract in healthy human volunteers. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 54: 8956-8961. <https://doi.org/10.1021/jf061674h>.
 - 21- Misana, A.C., Mimica-Dukic, N.M., Mandica, A.I., Sakaca, M.B., Milovanovica, I.L., & Sedeja, I.J. (2011). Development of a rapid resolution HPLC method for the separation and determination of 17 phenolic compounds in crude plant extracts. *Central European Journal Chemistry* 9: 133-142. <https://doi.org/10.2478/s11532-010-0126-8>.
 - 22- Mousavinejad, G., Emam-Diomeh, Z., Rezaei, K., & Khodaparast, M. (2009). Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. *Food Chemistry* 115: 1274-1278. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.044>.
 - 23- Nikdel, K., Seifi, E., Babaei, H., Sharifani, M., & Hemmati, M. (2016). Physicochemical properties and antioxidant activities of five Iranian pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.) in maturation stage. *Acta Agriculture Slovenica* 107(2): 277-286.
 - 24- Orak, H.H., Yagar, H., & Isbilir, S.S. (2012). Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of pomegranate (*Punica granatum* L.) and inter-relationships with total phenolic, tannin, anthocyanin, and flavonoid

- contents. *Food Science and Biotechnology* 21(2): 373-387. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0049-6>.
- 25- Ozgen, M., Durgac, C., Serce, S., & Kay, C. (2008). Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in the Mediterranean region of Turkey. *Food Chemistry* 111: 703-706. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.043>.
- 26- Palvina, D., & Constantinus, T. (2005). Physical and chemical characterestics of pomegranate. *Hortscience* 40(5): 1200-1203.
- 27- Papanov, S., Petkova, E., & Ivanov, I. (2019). Polyphenols content and antioxidant activity of various pomegranate juices. *Bulgarian Chemical Communications* 51: 113-116.
- 28- Passaeium, R., Perrone, A., Sortino, G., Giangozzi, G., Salleta, F., Gentile, C., & Farina, V. (2019). Chemical-physical characteristics, polyphenolic content and total antioxidant activity of three Italian-grown pomegranate cultivars. *NFS Journal* 16: 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.06.001>.
- 29- Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, D., & Butler, A. (2008). Impact of high-pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry pur'ees. *International Food Science Emergency and Technology* 10(3): 308-313. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.004>.
- 30- Rena, K., Palida, A., & Zhang, A. (2009). Studies on the chemical constituents from Xinjiang *Punica granatum*. *China Journal Chinese Materia Medica* 32: 363-365.
- 31- Tehranifar, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiyari, B., & Vazifeshenas, M.R. (2010). Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Scientia Horticulture* 126: 180-185. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.001>.
- 32- Tezcan, F., Gultekin, O.M., & Diken, T. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemidtery* 115(3): 873-877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.103>.
- 33- Watson, L., & Dallwitz L.J. (1992). The Families of Flowering Plants: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval. Version: 14th December 2000.
- 34- Zoubida, K.M., Elothmani, D., & Boutekrabt Benhadja, L. (2015). Morphological and physicochemical characteristics of three pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.) grown in northern Algeria. *Fruits* 71: 17-26. <https://doi.org/10.1051/fruits/2015044>.



Evaluation of Morphological and Phytochemical Diversity of different Populations of *Phlomis olivieri* Benth. in Hamedan Province

M. Salehi^{1*}, R. Kalvandi²

Received: 28-12-2021

Revised: 08-01-2022

Accepted: 31-01-2022

Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:

Salehi, M., & Kalvandi, R. (2022). Evaluation of Morphological and Phytochemical Diversity of Different Populations of *Phlomis olivieri* Benth. in Hamedan Province. *Journal of Horticultural Science* 36(3): 721-734. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jhs.2022.74320.1117](https://doi.org/10.22067/jhs.2022.74320.1117)

Introduction

Medicinal plants have played an essential role in the development of human culture. Medicinal plants are resources of new drugs and many of the modern medicines are produced indirectly from plants. Although the production of secondary metabolites is controlled by genes, their production is considerably influenced by environmental conditions, so environmental factors cause changes in the growth of medicinal plants as well as the amount of active substances. Essential oil quantity and quality are affected by the different environmental conditions. Physiological, morphological and genetic variations were seen in populations of species that occurred in different habitats. These variations were created in response to contrasting environmental conditions. In many plant species, studies on the pattern of variation in populations have shown the localized populations are adapted to the particular environmental conditions of their habitat. The genus *Phlomis* L. (Lamiaceae) includes about 113 perennial herbs or shrubs distributed in Asia, Europe, and Africa. Some of the *Phlomis* species have been reported for their traditional uses as analgesic, diuretic, tonic, anti-diarrheic agents and to treat various conditions such as gastric ulcer, inflammation, diabetes, hemorrhoids and wounds. In Flora of Iran, this genus is represented by 20 species, including *Phlomis olivieri* Benth.

Materials and Methods

This study was conducted to evaluate the morphological and phytochemical diversity of eleven populations of *P. olivieri* Benth. from different districts of Hamedan province in 2021. Traits such as plant height, stem diameter, leaf length and width, fresh and dry weight of the flowering branch, inflorescence length, fresh and dry weight of the plant, number of inflorescence cycles, essential oil percentage were measured. In order to investigate the physical and chemical properties of soil, soil samples were collected from a depth of 30 cm. Then they were transferred to the soil laboratory. Plants samples were collected in the flowering stage and were dried at 25-30°C. They were stored in envelopes at 22±3°C away from the sun. For extracting the essential oil of the samples, 100 gr of the plant was milled and then distilled with water. Hydrodistillation lasted for 4 hours. The main components of essential oil were identified and determined by gas chromatography in the Institute of Medicinal Plants in Karaj. Gas chromatography was carried out on Agilent 6890 with capillary column 30m*0.25 mm, 0.25 µm film thickness. The grouping of populations based on morphological and phytochemical traits was done by cluster analysis in SPSS using the Ward method. Also, the traits correlation (quantitative) was done using the Pearson method.

Results and Discussion

According to the results, the highest fresh and dry weight of flowering branch (6.96 g and 3.48 g) and also

1- Assistant Professor of Horticultural Sciences and Engineering Department, Nahavand Higher Education Complex, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(*- Corresponding Author Email: mahtab.salehi@basu.ac.ir)

2- Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Department of Natural Resources, Research and Education Center for Agricultural and Natural Resources, Hamedan, Iran

the highest fresh and dry weight of the plant (11.77 g and 5.86 g) belonged to the Koohani population. The tallest inflorescence (24.2 cm) belonged to the Jowzan population and the shortest inflorescence belonged to the Gammasiab population (8.9 cm). The highest stem diameter (4.45 mm) was observed in the Garin population. The maximum plant height (49.4 cm) was related to the Rahdarkhaneh population, which was not significantly different from the Garin population, and the minimum was related to the population of Garmak (31 cm), which was not significantly different from the population of Gammasiab (33.50 cm). Also, 31 compounds were identified in this plant essential oil that caryophyllene, germacrene D, and (E)- β -Farnesene had the highest percentage of essential oil constituents. In this study, the highest amount of essential oil (0.04%) was related to the Koohani population which had the lowest altitude among other populations. Therefore, it seems that environmental factors, as well as genetic factors, have been effective in creating diversity in morphological and phytochemical characteristics of this plant.

Conclusion

The results obtained from this study showed that *P. olivieri* Benth. populations gathered from different regions of Hamedan province, had a high diversity in terms of essential oil content. The results showed that in addition to genetic factors, environmental and climatic factors also affect phytochemical traits. In this study, the highest amount of essential oil was produced in the Koohani population (located in Nahavand city) with the lowest altitude among other populations. According to the research on the essential oil components of *P. olivieri* in different regions of Iran, the components of its essential oil and their percentages are completely different; so, some of the components that are seen in one region, are not observed in another region, and this issue emphasizes on the effect of climatic conditions. This difference is quite evident even in the studied populations in a province.

Keywords: Altitude, Essential oil, Flowering branch, Inflorescence

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۷۲۱-۷۳۴

بررسی تنوع مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی

جمعیت‌های مختلف گوش‌بره (*Phlomis olivieri* Benth.) در استان همدان

مهتاب صالحی^{۱*} - رمضان کلوندی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

چکیده

جنس *Phlomis* از تیره Lamiaceae حدود ۱۱۳ گونه را در جهان شامل می‌شود. براساس آخرین گزارش، جنس *Phlomis* دارای ۲۰ گونه و ۳ هیبرید در ایران است که ۹ گونه آن، انحصاری ایران هستند. گیاه *Phlomis olivieri* Benth. از گونه‌های بومی ایران است. گونه‌های مختلف *Phlomis* در طب سنتی، برای درمان برخی بیماری‌ها از جمله زخم معده، دیابت و التهاب مورد استفاده قرار گرفته است. این پژوهش، به منظور ارزیابی تنوع مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی ۱۱ جمعیت گیاه گوش‌بره، در سال ۱۴۰۰ در مناطق مختلف استان همدان به اجرا درآمد. براساس نتایج به دست آمده، بیشترین وزن تر و وزن خشک سرشاخه گل‌دار (۶/۹۶ و ۳/۴۸ گرم) و همچنین بیشترین وزن تر و وزن خشک گیاه (به ترتیب ۱۱/۷۷ و ۵/۸۶ گرم) به جمعیت کوهانی تعلق داشت. بلندترین طول گل‌آذین (۲۴/۲ سانتی‌متر) مربوط به جمعیت جوزان و کوتاه‌ترین طول گل‌آذین (۸/۹ سانتی‌متر) مربوط به جمعیت گاماسیاب بود. بیشترین قطر ساقه (۴/۴۵ میلی‌متر) در جمعیت گرین مشاهده شد. بیشترین ارتفاع گیاه (۴۹/۴ سانتی‌متر) مربوط به جمعیت راهدارخانه بود که با جمعیت گرین، تفاوت معنی‌داری نداشت ($p < 0.05$) و کمترین آن، مربوط به جمعیت گرمک (۳۱ سانتی‌متر) بود که با جمعیت گاماسیاب (۳۳/۵۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، ۳۱ ترکیب در اسانس شناسایی شد که کاربوفیلن، ژرماکرن دی، و ای - بتا - فارنسن، بیشترین درصد اجزای تشکیل‌دهنده اسانس را به خود اختصاص دادند. در این مطالعه، بیشترین اسانس (۰/۰۴ درصد) از منطقه کوهانی به دست آمد که در بین جمعیت‌های مورد مطالعه، دارای کمترین ارتفاع از سطح دریا بود. بنابراین به نظر می‌رسد که عوامل محیطی نیز همانند عوامل ژنتیکی، در ایجاد تنوع در خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی این گیاه مؤثر بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع از سطح دریا، اسانس، سرشاخه گل‌دار، گل‌آذین

مقدمه

جنس در ایران اضافه شده است و تعداد گونه‌ها به ۲۰ رسیده است (Vaezi et al., 2017). جنس *Phlomis* L. اغلب با گل‌های معطر درشت زرد تا بنفش یا صورتی و زیبا شناخته می‌شود. گونه *P. olivieri* به طور خودرو در نواحی غربی و شمال غربی ایران (کوه های زاگرس) و نیز در نواحی شمالی (کوه‌های البرز) و مرکزی ایران در مزارع، کنار باغ‌ها و نواحی دامنه‌ای کوهستانی می‌روید. دیگر گونه های جنس *Phlomis*، علاوه بر ایران، در شرق اروپا تا اتریش، قفقاز، ترکیه، سبیری و مغولستان می‌رویند (Mozaffarian, 2015). از جمله رویشگاه‌های طبیعی گونه *P. olivieri* کشور ایران می‌باشد. این گونه در مناطق مختلف استان همدان، پراکنش وسیعی دارد (Jamzad, 2012). آب و هوای استان همدان، به علت وجود کوه

گیاه *Phlomis olivieri* Benth. با نام‌های فارسی چالمه و گوش‌بره، از گیاهان تیره نعنائیان است. ۱۹ گونه *Phlomis* در ایران می‌روید که اخیراً یک گونه جدید از خراسان به فهرست گونه‌های این

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه بوعلی سینا، مجتمع آموزش عالی نهاوند (ویژه دختران)

(*)- نویسنده مسئول: (Email: mahtab.salehi@basu.ac.ir)

۲- عضو هیأت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، ایران

DOI: 10.22067/jhs.2022.74320.1117

جمعیت‌های گیاه گوش‌بره (*P. olivieri*) در مناطق مختلف استان همدان انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ۱۱ جمعیت گیاه *Phlomis olivieri* در مرحله گلدهی، از مناطق مختلف استان همدان در خردادماه سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری گردید. این مناطق عبارت بودند از: کوهانی (در شهرستان نهاوند)، کوه‌های گرین (در شهرستان نهاوند)، گوراب یا جوراب (۵ کیلومتری جاده ملایر به اراک)، سراب گاماسیاب، جوزان (از توابع ملایر)، گرمک (جاده رزن به آوج)، گنجانمه (شهر همدان)، نورآباد (جاده نهاوند به نورآباد)، راهدارخانه گرین (در شهرستان نهاوند)، یلفان (از توابع همدان) و سیمین (از توابع همدان). به منظور شناسایی و تفکیک این گونه از گونه‌های مشابه، در هرباریوم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، بررسی لازم صورت گرفت و با کد هرباریومی ۸۸۸۷ شناسایی شد. مناطق جمع‌آوری گیاه، براساس کتاب «فلور ایران: تیره نعنا» (Jamzad, 2012) در زمینه پراکنش این گونه در استان همدان، انتخاب شدند (شکل ۱). سپس صفات مورفولوژیکی شامل طول گل‌آذین، فاصله بین دو چرخه گل‌آذین، تعداد چرخه گل‌آذین، طول کاسبرگ، طول گلبرگ، طول و عرض برگ و ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش، وزن تر و وزن خشک سرشاخه گلدار و وزن تر و وزن خشک گیاه با ترازوی آزمایشگاهی، و قطر ساقه با استفاده از کولیس و نیز صفات فیتوشیمیایی شامل درصد و اجزای تشکیل‌دهنده اسانس بررسی گردید. به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه خاکی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از هر منطقه، جمع‌آوری (Azarnivand et al., 2010) و نمونه خاک‌ها به آزمایشگاه خاک منتقل گردید (جدول ۱: نتایج آنالیز خاک). نمونه‌های گیاهی پس از جمع‌آوری در مرحله گلدهی کامل، در سایه در دمای حدود ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس تا زمان اندازه‌گیری صفات فیتوشیمیایی، در پاکت کاغذی در آزمایشگاه با دمای ۲۲±۳ درجه سانتی‌گراد و دور از نور خورشید به مدت یک ماه نگهداری شدند. برای اسانس‌گیری از نمونه‌ها، ابتدا مقدار ۱۰۰ گرم از گیاه مورد نظر، در بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتر ریخته و ۳ تا ۵ برابر آب (۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌لیتر آب) به آن اضافه شد. سپس بالن در دستگاه شوف بالن قرار داده شد و دستگاه کلونجر به بالن متصل گردید و آب خنک‌کننده کلونجر باز و شوف بالن آغاز به کار کرد. پس از جوش آمدن محتوی بالن، اسانس‌گیری به مدت چهار ساعت صورت گرفت. در آخر نیز مقدار اسانس به دست آمده، جمع‌آوری شد (Ghasemi, 2002). آگیری نمونه‌ها با استفاده از سولفات سدیم خشک انجام شد. درصد اسانس، به صورت حجمی/وزنی تعیین شد. جهت تجزیه نمونه‌های اسانس و اندازه‌گیری ترکیبات موجود در آن،

های مرتفع، رودخانه‌ها و پستی و بلندی‌های زیاد، بسیار متنوع است. این تنوع آب و هوایی به همراه نوع خاک، ارتفاع و سایر شرایط محیطی، موجب شده است تا انواع پوشش‌ها و گونه‌های متفاوت گیاهی در نقاط مختلف استان مشاهده شود (Statistical Center of Iran, 2012). انعطاف‌پذیری ژنتیکی جمعیت‌های گیاهی، سبب تنوع و تغییر تدریجی آنها در مناطق مختلف جغرافیایی شده و جمعیت‌های یک گونه را به وجود می‌آورد که از نظر صفات نمو، فیزیولوژیکی، شیمیایی، بوتانیکی و نهایتاً ژنتیکی از یکدیگر متمایز می‌باشند (Nemeth and Bernath, 2008). از مهم‌ترین خصوصیات ویژه یک برنامه اصلاحی در درون جامعه گیاهی، وجود تنوع ژنتیکی است (Fathalipoor et al., 2014). تأثیر عوامل محیطی بر تولید مواد مؤثره دارویی، مسئله بسیار پیچیده‌ای است و این عوامل از جمله نور، آب و هوا، خشکی محیط، ارتفاع از سطح دریا و عوامل خاک می‌توانند بر مقدار کل ماده مؤثره، اجزای اسانس و بیوماس تولیدی گیاه تأثیرگذار باشند (Omidbaigi, 2013).

در طب سنتی ایرانی، برگ‌های این گونه، برای تسکین دردها مفید ذکر شده است و قسمت‌های هوایی آن نیز به عنوان ضدنفخ استفاده می‌شود (Ghasemi Pirbalouti et al., 2013). گونه‌های مختلف جنس *Phlomis*، جهت درمان بیماری‌هایی مانند دیابت، زخم معده، بواسیر، تورم و زخم‌ها به کار رفته‌اند. همچنین در آنها خواص ضدسرطانی، آنتی‌باکتریال و آنتی‌اکسیدانی مشاهده شده است (Mozaffarian, 2015).

مطالعات صورت‌گرفته، بیانگر وجود تنوع درون و بین‌گونه‌ای قابل ملاحظه‌ای در اجزای اسانس این گیاهان است. بررسی روغن اسانسی *P. olivieri* روئیده در خرم‌آباد نشان داد که ژرماکرن دی (۲۶/۴٪)، بی‌سیکلوزرماکرن (۱۲/۷٪) و پس از آن، آلفا - پینن (۷/۷٪)، ژرماکرن بی (۵/۹٪)، ای - ۹ - اپی‌کاریوفیلین (۵/۴٪) و اسپاتونول (۴/۷٪) ترکیبات اصلی اسانس این گیاه هستند (Khalilzadeh et al., 2005). در مطالعه‌ای دیگر، ژرماکرن دی (۶۶/۱٪)، بتا - سلینن (۵/۱٪)، آلفا - پینن (۴/۲٪) و بتا - کاریوفیلین (۴/۲٪)، ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده اسانس گیاه *P. olivieri* روئیده در شمال ایران (مازندران) بودند (Sarkhail et al., 2006). تجزیه شیمیایی روغن اسانسی برگ و گل *P. olivieri* جمع‌آوری شده از روستای طه‌نه در شهرستان فیروزکوه نشان داد که ژرماکرن دی (۳۹/۶۲٪)، نرمال اکتان (۲۶/۵۴٪)، آلفا - پینن (۶/۹۲٪) و بتا - گورجونن (۴/۹۸٪)، ترکیبات اصلی اسانس برگ گیاه را تشکیل می‌دهند. نرمال اکتان (۲۸/۷۷٪)، کامفور (۱۳/۳۲٪)، او۱ - سینئول (۱۲/۲۴٪)، آلفا - پینن (۷/۸۰٪) و ژرماکرن دی (۶/۵۷٪) ترکیبات اصلی اسانس گل گیاه را تشکیل می‌دهند (Sadeghi et al., 2013). با توجه به تنوع ترکیبات شیمیایی موجود در اسانس گیاه *P. olivieri* در مناطق مختلف ایران، این پژوهش با هدف ارزیابی تنوع مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی برخی

Benth. در استان همدان نیز گزارش کردند که کمترین ارتفاع گیاه، مربوط به جمعیت گاماسیاب بود. در مطالعه حاضر، بیشترین طول کاسبرگ، $1/70$ سانتی متر بود که به جمعیت‌های کوهانی، جوراب و یلفان تعلق داشت. بیشترین طول گلبرگ (2 سانتی متر) در جمعیت‌های کوهانی و یلفان مشاهده شد. بیشترین وزن تر و وزن خشک سرشاخه گلدار ($6/96$ گرم و $3/48$ گرم) و همچنین بیشترین وزن تر و وزن خشک گیاه (به ترتیب $11/77$ گرم و $5/86$ گرم) در جمعیت کوهانی مشاهده گردید. بیشترین میزان اسانس از جمعیت کوهانی ($0/04$ درصد) به دست آمد (جدول ۲). در بین جمعیت‌های مورد مطالعه، تنوع زیادی در صفات مورفولوژیکی مشاهده شد. این تنوع بالا می‌تواند ناشی از اثرات محیطی و یا ژنتیکی باشد. محققین، بخشی از تنوع صفات مورفولوژیکی در بین جمعیت‌های مختلف یک گونه گیاهی را ناشی از شرایط رویشگاه طبیعی از جمله دما، رطوبت، شدت و مدت تابش نور، وضعیت غذایی و بافت خاک دانسته و بخشی دیگر را به تنوع ژنتیکی بین جمعیت‌ها نسبت می‌دهند (Koike et al., 2003). وجود تنوع در صفات مورفولوژیکی بین جمعیت‌های مختلف، در سایر مطالعات نیز گزارش شده است. خورشیدی و همکاران (Khorshidi et al., 2020) با بررسی تنوع مورفولوژیکی آویشن دناپی گزارش کردند که در اکثر صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری بین جمعیت‌ها وجود داشت. همچنین در مطالعه‌ای که روی صفات مورفولوژیکی جمعیت‌های نعنای صورت گرفته، بر وجود تنوع تأکید گردیده است (Shahbazi Asl and Jafari, 2020). تحقیقات نشان داده است که شرایط اکولوژیکی، آب و هوایی، تنش‌های محیطی، زمان برداشت، ارتفاع رویشگاه یا کشتگاه و عوامل زراعی، بر عملکرد و کیفیت مواد مؤثره گیاهان خانواده نعنائیان تأثیرگذار هستند (Azizi et al., 2012; Bigdeloo, 2012). داشتن اطلاعات در زمینه میزان تفاوت در صفات اگر مورفولوژی و ویژگی‌های فیتوشیمیایی می‌تواند در مدیریت ژرم-پلاسم‌های گیاهی و طراحی برنامه‌های مناسب جهت بهره‌برداری مستقیم یا به‌نژادی گیاه سودمند باشد.

در این مطالعه، براساس نتایج GC و GC/MS، 31 ترکیب در اسانس جمعیت‌های *P. olivieri* جمع‌آوری شده از استان همدان، شناسایی شد (جدول ۳) که ژرماکرن دی، کاریوفیلن و ای - بتا - فارنسن، اجزای اصلی اسانس را تشکیل می‌دادند؛ به طوری که ژرماکرن دی در جمعیت کوهانی ($24/58\%$)، گرین ($29/26\%$)، نورآباد ($32/97\%$) و راهدارخانه ($36/89\%$) و کاریوفیلن در جمعیت جوراب ($25/45\%$)، گاماسیاب ($26/12\%$)، جوزان ($17/66\%$)، گنجانمه ($61/86\%$)، یلفان ($44/04\%$) و سیمین ($28/50\%$) و ای - بتا - فارنسن ($18/45\%$) در جمعیت گرمک، بیشترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند. همچنین تنوع زیادی در درصد و نوع اجزای تشکیل‌دهنده اسانس در جمعیت‌های مورد مطالعه وجود داشت، به

از دستگاه کروماتوگراف گازی (GC) و کروماتوگراف گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/Mass) در پژوهشکده گیاهان دارویی کرج استفاده شد. دمای ابتدایی آون، 50 درجه سانتی‌گراد و توقف در این دما، به مدت 5 دقیقه، گرادیان حرارتی 3 درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه، افزایش دما تا 240 درجه سانتی‌گراد و سپس با سرعت 15 درجه در هر دقیقه، افزایش دما تا 300 درجه سانتی‌گراد و 3 دقیقه توقف در این دما و زمان پاسخ 75 دقیقه بود. دمای اتاقک تزریق، 290 درجه سانتی‌گراد به صورت split 1 به 35 بود و از گاز هلیوم به عنوان حامل با سرعت جریان $0/5$ میلی‌متر در دقیقه استفاده گردید. ورودی دستگاه به مدت 3 دقیقه در 30 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس طی دو مرحله، با سرعت‌های 8 و 40 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه، به 200 و 290 درجه سانتی‌گراد رسانده و به مدت 3 دقیقه در این دما نگهداری شد. طیف‌نگار جرمی مورد استفاده، مدل Agilent 5973 با ولتاژ یونیزاسیون 70 الکترون‌ولت، روش یونیزاسیون EI و دمای منبع یونیزاسیون، 220 درجه سانتی‌گراد بود. گاز کروماتوگرافی استفاده‌شده از نوع Agilent 6890 با ستون به طول 30 متر، قطر داخلی $0/25$ میلی‌متر و ضخامت لایه $0/25$ میکرومتر از نوع HP-5MS بود. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص بازداري آنها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتب مرجع و با استفاده از طیف‌های جرمی و ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه دیجیتال دستگاهی صورت گرفت (Adams, 2001; McLafferty and Stauffer, 1989). داده‌های این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری (SAS 9.2) در سطح احتمال پنج و یک درصد، تجزیه آماری شدند. برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده گردید. گروه‌بندی جمعیت‌ها براساس صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی و از طریق تجزیه کلاستر به‌وسیله نرم‌افزار SPSS به روش «وارد» انجام شد. همبستگی صفات (کمی) نیز به روش «پیرسون» انجام شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین‌های صفات نشان داد که بلندترین طول گل‌آذین ($24/2$ سانتی‌متر) مربوط به جمعیت جوزان بود که از نظر آماری با جمعیت کوهانی تفاوت معنی‌داری نداشت و کوتاه‌ترین طول گل‌آذین مربوط به جمعیت گاماسیاب ($8/9$ سانتی‌متر) بود. بیشترین قطر ساقه ($4/45$ میلی‌متر) در جمعیت گرین مشاهده شد. بیشترین ارتفاع گیاه ($49/4$ سانتی‌متر) مربوط به جمعیت راهدارخانه بود که با جمعیت گرین، تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین آن، مربوط به جمعیت گرمک (31 سانتی‌متر) بود که با جمعیت گاماسیاب ($33/50$ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت. صالحی و کلوندی (Salehi and Kalvandi, 2020) در بررسی جمعیت‌های *Stachys inflata*

(۱۹/۵٪) اعلام نمودند. مروری بر سایر مطالعات در خصوص ترکیبات شیمیایی گونه *P. olivieri* از مناطق مختلف ایران، نشان داد که ژرماکرن دی با درصدهای تقریبی ۲۸/۱٪ (در گیاهان جمع‌آوری شده از دماوند) (Mirza and Nik, 2003)، ۲۶/۴٪ (در گیاهان جمع‌آوری شده از خرم‌آباد) (Khalilzadeh et al., 2005)، ۶۶/۱٪ (در گیاهان جمع‌آوری شده از چالوس) (Sarkhail et al., 2006) و ۵۸-۴۸٪ (در گیاهان جمع‌آوری شده از کُجور) (Tajbakhsh et al., 2007) به عنوان ترکیب اصلی روغن اسانسی *P. olivieri* شناسایی شده‌اند.

طوری که بیشترین میزان ژرماکرن دی (۳۶/۸۹٪) در راهدارخانه و بیشترین میزان کاربوفیلن (۶۱/۸۶٪) در گنجنامه و ای - بتا - فارنس (۱۸/۴۵٪) در جمعیت گرمک مشاهده شد (جدول ۳). موضوع وجود تنوع در درصد و نوع اجزای تشکیل‌دهنده اسانس در آزمایشاتی که در مناطق دیگر انجام شده، مورد تأیید قرار گرفته است. محمدی‌فر و همکاران (Mohammadifar et al., 2015) اجزای تشکیل‌دهنده اسانس *P. olivieri* جمع‌آوری شده از منطقه گندمان بروجن را بررسی نموده و ۴۶ ترکیب را در اسانس این گیاه شناسایی و بیشترین اجزای تشکیل‌دهنده اسانس را بتا - کاربوفیلن (۲۵/۷٪) و ژرماکرن دی



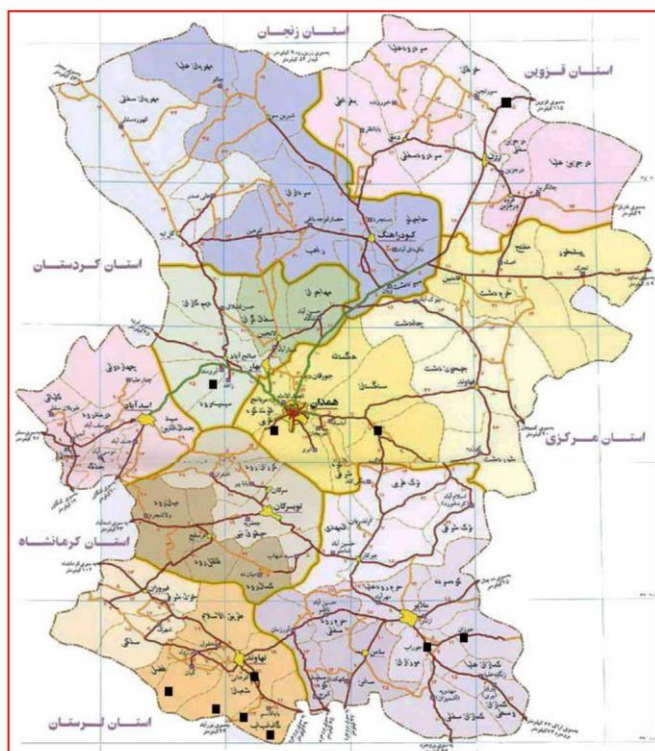
جمعیت کوهانی (Koohani population)



جمعیت جوزان (Jowzan population)



جمعیت جوراب (Joorab population)



جمعیت راهدارخانه (Rahdarkhaneh population)



جمعیت سیمین (Simin population)

شکل ۱- مناطق نمونه‌برداری و تصاویر برخی جمعیت‌های *P. olivieri* در استان همدان

(مربع‌های سیاه‌رنگ روی نقشه، نشان‌دهنده مناطق جمع‌آوری گیاه هستند)

Figure 1- Sampling regions and some photos of *P. olivieri* populations in Hamedan Province
(Black squares on the map indicate plant collection regions)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصات جغرافیایی رویشگاههای مورد مطالعه گیاه گوش بره
Table 1- Physical and chemical properties of the soil and geographical characteristics of the studied habitats of *Phlomis oliveri* Benth.

ویژگی ها Properties	طول Longitude	عرض Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	میانگین مجموع بارندگی ده ساله 10-year total rainfall mean (mm)	میانگین دمای ده ساله 10-year temperature mean (°C)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds.m ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم قابل دسترس Available potassium (ppm)	فسفر قابل دسترس Available phosphorus (ppm)	نیتروژن قابل جذب Absorbable nitrogen (%)	کربنات کلسیم Calcium carbonate (%)	اسیدیته گل اشباع Saturated soil acidity
رویشگاهها Habitats												
کوهانی Koolhani	34° 09'	48° 24'	1730	414.6	14.3	1.2	0.62	363	24	0.06	18.5	8.08
گرین Garin	34° 03'	48° 21'	1975	419.2	13.2	0.9	1.79	579	11	0.17	1	7.49
جوراب Joorab	34° 10'	48° 54'	1921	351.8	14.1	0.6	0.94	323	9	0.09	0.5	7.84
گاماسیاب Gammasiab	34° 03'	48° 22'	1855	418.7	13.2	1.05	1.29	313	6	0.12	17.5	7.81
جوزان Jowzan	34° 15'	49° 00'	1957	360.5	13.9	1.03	0.94	294	16	0.09	4	7.91
گرمک Garmak	35° 30'	49° 04'	2123	387.8	12.3	0.9	0.62	382	32	0.06	0.5	7.93
گنجنامه Ganjnameh	34° 46'	48° 27'	2030	314.9	12.5	0.87	1.25	264	27	0.12	2	7.6
نورآباد Noorabad	34° 02'	48° 16'	2212	306.8	13.3	0.93	1.44	540	17	0.14	26	8.06
راهدارخانه Rahdarkhaneh	34° 02'	48° 20'	2255	420.3	13.1	0.99	1.29	422	35	0.12	0.5	8.05
یلقان Yalfan	34° 44'	48° 36'	2024	316.9	12.4	0.97	0.78	274	9	0.07	12	8.07
سیمین Simin	34° 49'	48° 17'	2090	328.5	12.3	1.19	1.05	333	25	0.1	1.5	7.95

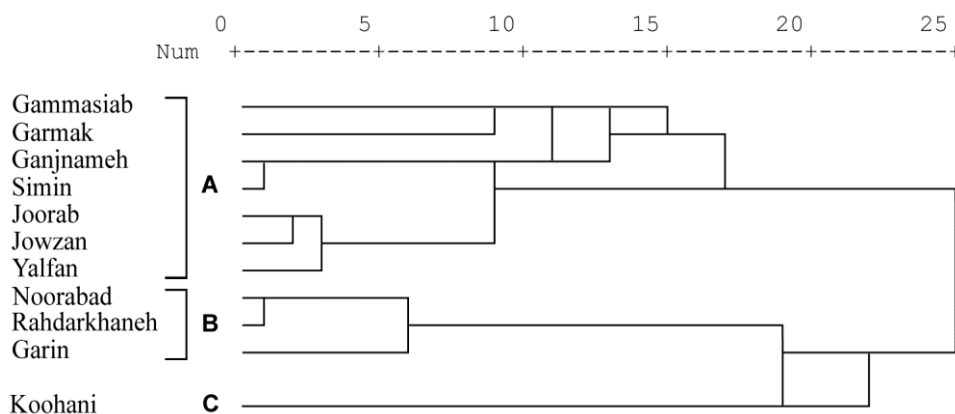
جدول ۲- صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی جمعیت‌های مورد مطالعه
Table 2- Themorphological and phytochemical traits of the studied populations of *Phlomis olivieri* Benth.

صفت Trait	جمعیت Population	کوهانی Koohani	گرین Garin	جوراب Joorab	گاماسیاب Gammasiab	جوزان Jowzan	گرمک Garmak	گنجانمه Ganjanameh	نورآباد Noorabad	راهدارخانه Rahtarkhaneh	یلفان Yalfan	سیمین Simin
طول گل آذین Inflorescence length (cm)		24.00ab	19.40bc	19.20bc	8.90f	24.20a	12.40def	19.20bc	15.40cd	10.00ef	16.20cd	14.40cde
تعداد چرخه گل آذین Number of inflorescence cycles		7.40a	4.40bcd	5.40b	3.20e	5.20bc	4.20cde	5.20bc	4.80bcd	3.80de	5.40b	4.40bcd
فاصله بین دو چرخه گل آذین Distance between 2 inflorescence cycles		5.00de	7.90a	5.80cd	4.10e	7.40ab	4.70de	6.60bc	5.40cde	4.70de	6.60bc	5.70cd
طول کاسبرگ Sepal length (cm)		1.70a	1.50ab	1.70a	1.60a	1.50ab	1.50ab	1.50ab	1.50ab	1.34b	1.70a	1.50ab
طول گلبرگ Petal length (cm)		2.00a	1.80ab	1.70bc	1.50c	1.90ab	1.80ab	1.50c	1.70bc	1.76abc	2.00a	1.50c
عرض برگ Leaf width (cm)		3.00a	2.90a	2.40ab	2.20b	2.80ab	1.50c	1.60c	2.80ab	3.00a	2.20b	1.40c
طول برگ Leaf length (cm)		5.10bc	6.20abc	5.00bc	5.20bc	6.40ab	5.10bc	4.70c	6.10abc	7.50a	4.90bc	6.10abc
وزن تر سرشاخه گلدار Fresh weight of flowering branch (g)		6.96a	4.88b	4.50b	2.44c	4.51b	3.40bc	3.58bc	4.71b	3.44bc	3.89bc	4.93b
وزن خشک سرشاخه گلدار Dry weight of flowering branch (g)		3.48a	2.42b	2.22b	1.18c	2.30b	1.70bc	1.72bc	2.34b	1.70bc	1.90bc	2.46b
وزن تر گیاه Fresh weight of plant (g)		11.77a	9.96ab	6.74de	5.14e	6.72de	4.81e	4.87e	8.97bcd	9.21bc	5.79e	7.03cde
وزن خشک گیاه Dry weight of plant (g)		5.86a	4.76b	3.22d	2.42d	3.20d	2.40d	2.44d	4.40bc	4.60b	2.80d	3.44cd
قطر ساقه Stem diameter (mm)		3.15cd	4.45a	3.35bcd	3.15cd	3.27bcd	3.15cd	2.60e	3.79b	3.43bcd	3.61bc	2.96de
ارتفاع گیاه Plant height (cm)		41.60b	49.00a	28.80c	33.50c	38.20b	31.00c	41.40b	40.60b	49.40a	40.40b	40.60b
اسانس Essential oil (%)		0.04a	0.03b	0.01de	0.01e	0.02d	0.01e	0.01e	0.01e	0.01e	0.02c	0.01e

در هر ردیف، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند (با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن).
In each row, means with at least one similar letter, are not significantly different based on Duncan's multiple range ($p < 0.05$).

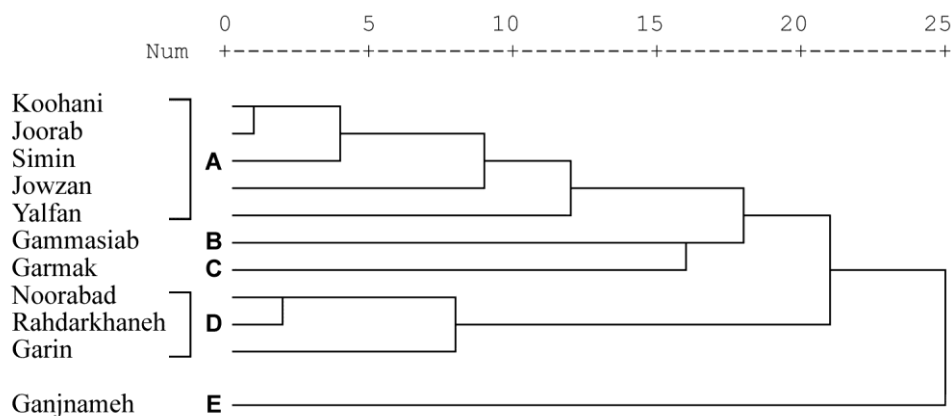
دفاعی علیه حشرات نیز استفاده شده است (Crock *et al.*, 1997; Sun *et al.*, 2011). در برخی مطالعات درون تنی و برون تنی که روی گیاه *P. olivieri* انجام شده‌اند، بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد درد آن تأکید شده است (Sarkhail *et al.*, 2003). در مطالعه حاضر، بازده اسانس در جمعیت‌های گونه *P. olivieri* از ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ درصد (حجمی/وزنی) در مناطق مختلف، متغیر بود. در این مطالعه، جمعیت کوهانی با ۰/۰۴ درصد اسانس در بین سایر جمعیت‌های بررسی شده، دارای بالاترین میزان اسانس بود (جدول ۲). این جمعیت در بین ۱۱ جمعیت مورد مطالعه، دارای پایین‌ترین ارتفاع از سطح دریا بود (جدول ۱). علیمحمدی و همکاران (Alimohammadi *et al.*, 2017) در مطالعه‌ای بر روی *Stachys obtusicrena*، علت بالا بودن اسانس این گونه را در مناطق با ارتفاع پایین، بیشتر بودن عمق و رطوبت خاک و عناصر غذایی در آن مناطق عنوان نمودند.

تحقیقات نشان داده است که تفاوت در خاستگاه ژنتیکی، فاکتورهای اکولوژیکی، تفاوت‌های ژنتیکی، تکنیک‌ها و روش‌های مورد استفاده در کشت، باعث ایجاد تفاوت‌های کمی و کیفی در ترکیبات اسانس گیاهان دارویی و معطر می‌شود (Argyropoulou *et al.*, 2007; Santos-Gomes *et al.*, 2005). همان‌طور که اشاره گردید، ژرماکرن دی، کاریوفیلین و ای - بتا - فارنسن بالاترین میزان را در اسانس جمعیت‌های مورد مطالعه به خود اختصاص دادند (جدول ۳). اسانس گیاهانی که حاوی ژرماکرن دی، کاریوفیلین و بی - سیکلوژرماکرن هستند، دارای فعالیت ضد میکروبی علیه باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس، باسیلوس سرئوس و اشرشیاکلی هستند (Montanari *et al.*, 2011). همچنین ژرماکرن دی، خاصیت ضد التهابی از خود نشان داده است (Schepetkin *et al.*, 2020). ای - بتا - فارنسن نیز دارای اثر ضد باکتریایی قوی است (Chehregani *et al.*, 2010). اخیراً از ای - بتا - فارنسن به عنوان ترکیب شیمیایی



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه گوش‌بره براساس صفات مورفولوژیکی

Figure 2- Cluster analysis of the studied populations of *Phlomis olivieri* Benth. according morphological traits



شکل ۳- تجزیه خوشه‌ای جمعیت‌های مورد مطالعه گوش‌بره براساس صفات فیتوشیمیایی

Figure 3- Cluster analysis of the studied populations of *Phlomis olivieri* Benth. according phytochemical traits

جدول ۳ - ترکیبات تشکیل دهنده اساس جمعیت‌های *P. oliveri* جمع‌آوری شده از مناطق مختلف استان همدان

[illegible]

جدول ۴ - ضرایب همبستگی بین ارتفاع رویشگاهها از سطح دریا، خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک و صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی جمعیت‌های مورد مطالعه گوسبره
Table 4- Correlation coefficients of the habitats altitude, soil physical and chemical properties, morphological and phytochemical traits of studied populations of *Phlomis olivieri* Benth.

متغیرها Variables	ارتفاع Altitude	نیترژن قابل جذب Absorbable nitrogen	فسفر قابل دسترس Available phosphorus	پتاسیم قابل دسترس Available potassium	کربن الی Organic carbon	وزن تر سرشاخه گلدار Fresh weight of flowering branch	وزن خشک سرشاخه گلدار Dry weight of flowering branch	وزن تر گیاه Fresh weight of plant	وزن خشک گیاه Dry weight of plant	تعداد چرخه گل آذین Number of inflorescence cycles	طول برگ Leaf length	فاصله بین چرخه گل آذین Distance between 2 inflorescence cycles
طول کاسبرگ Sepal length	-0.74**	-0.49 ^{ns}	-0.61*	-0.37 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.31 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.58 ^{ns}	-0.75**	0.001 ^{ns}
وزن تر گیاه Fresh weight of plant	-0.14 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.61*	0.20 ^{ns}	0.76**	0.76**	1	0.99**	0.44 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.05 ^{ns}
قطر ساقه Stem diameter	0.13 ^{ns}	0.51 ^{ns}	-0.41 ^{ns}	0.78**	0.52 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.44 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.39 ^{ns}
اسانس Essential oil	-0.58 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.27 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.72*	0.71*	0.70*	0.69*	0.64*	-0.15 ^{ns}	0.20 ^{ns}
طول گل آذین Inflorescence length	-0.52 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	0.72*	0.73*	0.35 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.81**	-0.19 ^{ns}	0.64*
عرض برگ Leaf width	-0.15 ^{ns}	0.27 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.76**	0.74**	0.26 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.13 ^{ns}
نیترژن قابل جذب Absorbable nitrogen	0.29 ^{ns}	1	-0.20 ^{ns}	0.64*	0.99**	-0.18 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.19 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.30 ^{ns}
تعداد چرخه گل آذین Number of inflorescence cycles	-0.52 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	0.006 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.50 ^{ns}	0.82**	0.81**	0.44 ^{ns}	0.45 ^{ns}	1	-0.37 ^{ns}	0.23 ^{ns}

ns: عدم معنی داری؛ *، **، ***: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد، ۱٪؛ ns: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

داری بین تعداد چرخه گل‌آذین و اسانس (۰/۶۴)، وزن تر و وزن خشک سرشاخه گلدار با اسانس (به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۱)، و همچنین وزن تر و وزن خشک گیاه با اسانس (به ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۶۹) وجود دارد. همچنین همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین وزن تر و وزن خشک سرشاخه گلدار با تعداد چرخه گل‌آذین (به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۸۱) وجود دارد (جدول ۴). با توجه به این موضوع که جمعیت کوهانی دارای بالاترین تعداد چرخه گل‌آذین، بیشترین وزن تر و وزن خشک گیاه و بیشترین وزن تر و وزن خشک سرشاخه گلدار است (جدول ۲) و این صفات، همبستگی مثبت و معنی‌داری با اسانس دارند (جدول ۴)، بنابراین جمعیت کوهانی، دارای بالاترین میزان اسانس در بین جمعیت‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که جمعیت‌های گیاه دارویی گوش‌بره جمع‌آوری شده از مناطق مختلف استان همدان، از نظر میزان و ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس، دارای تنوع بالایی می‌باشند. بیشترین میزان اسانس، مربوط به رویشگاه کوهانی (واقع در شهرستان نهاوند) بود. نتایج نشان داد که علاوه بر عوامل ژنتیکی، عوامل محیطی و اقلیمی نیز بر صفات فیتوشیمیایی مؤثر هستند. در این مطالعه، بیشترین میزان اسانس در جمعیت کوهانی تولید شد که دارای کمترین ارتفاع نسبت به سایر جمعیت‌ها بود. با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته روی اجزای اسانس *P. olivieri* Benth. در مناطق مختلف ایران، اجزای تشکیل‌دهنده اسانس و درصدهای این اجزا، کاملاً متفاوت هستند؛ به‌طوری که برخی ترکیباتی که در یک منطقه دیده می‌شوند، در منطقه دیگر وجود ندارند و این موضوع، تأکید بیشتری بر تأثیر شرایط اقلیمی دارد. این تفاوت حتی در جمعیت‌های مورد مطالعه در یک استان نیز کاملاً مشهود است. علاوه بر این، ژرماکرن دی، کاریوفیلین و ای - بتا - فارنسن که دارای بالاترین مقدار در اسانس جمعیت‌های مورد مطالعه بودند، دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد درد هستند. با توجه اثرات درمانی این ترکیبات، تحقیقات گسترده‌تر بر روی این گونه در مناطق مختلف ایران پیشنهاد می‌شود.

در مطالعه‌ای که توسط علی‌بخشی و همکاران (Alibakhshi et al., 2014) بر روی اسانس گیاه *Stachys inflata* جمع‌آوری شده از رویشگاه‌های مختلف استان مازندران صورت گرفت، موضوع بالاتر بودن میزان اسانس در مناطقی با ارتفاع کمتر، مورد تأیید قرار گرفت. بنابراین، به دلیل تفاوت‌های اقلیمی مناطق بررسی شده در این مطالعه و دیگر مطالعات یادشده، اختلاف در میزان و عملکرد اسانس این گونه، قابل‌توجیه است.

گروه‌بندی ۱۱ جمعیت مورد مطالعه از گونه *P. olivieri*، براساس صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی به روش «وارد» صورت گرفت. دندروگرام‌های به‌دست آمده از تجزیه خوشه‌ای صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی در جمعیت‌های جمع‌آوری شده، در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است. براساس آنالیز دندروگرام صفات مورفولوژیکی، جمعیت‌های مطالعه‌شده به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی شدند. جمعیت‌های جوراب، جوزان، یلفان، سیمین، گنجانمه، گاماسیاب و گرمک در گروه A، جمعیت‌های گرین، نورآباد و راهدارخانه در گروه B و جمعیت کوهانی در گروه C قرار گرفتند.

همچنین براساس آنالیز دندروگرام صفات فیتوشیمیایی، جمعیت‌های کوهانی، جوراب، سیمین، جوزان و یلفان در گروه A، جمعیت گاماسیاب در گروه B، جمعیت گرمک در گروه C، جمعیت‌های نورآباد، راهدارخانه و گرین در گروه D و جمعیت گنجانمه در گروه E قرار گرفتند. قرار گرفتن جمعیت‌ها در یک گروه، نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر در جمعیت‌های آن گروه نسبت به سایر جمعیت هاست. از طرفی، قرار گرفتن جمعیت‌ها در پنج گروه جداگانه می‌تواند به دلیل تنوع جمعیت‌ها از نظر ژنتیکی و شرایط محیطی محل جمع‌آوری آنها باشد.

در این آزمایش، گروه‌بندی جمعیت‌ها براساس ارزیابی صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی، تاحدودی با پراکنش جغرافیایی آنها مطابقت داشت. زیرا جمعیت‌های مناطق گرین، راهدارخانه و نورآباد که در شهرستان نهاوند واقع هستند، در یک گروه طبقه‌بندی شدند. اگرچه همه مناطقی که در شهرستان نهاوند قرار داشتند، در یک گروه قرار نگرفتند. عدم تطابق منشأ جغرافیایی با صفات فیتوشیمیایی، با نتایج گزارشات قبلی در خانواده نعنایان مطابقت دارد (Azizi et al., 2012; Bigdeloo et al., 2013).

نتایج جدول همبستگی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی

منابع

1. Adams, R.P. (2001). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy*. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Australia.
2. Alibakhshi, M., Mahdavi, S.Kh., Mahmoodi, J., & Ghelichnia, H. (2014). Phytochemical evaluation of *Stachys inflata* essential oil in different habitats of Mazandaran Province. *Eco-phytochemical Journal of Medical Plants*

- 2(2): 56-68. (In Persian) [dor: 20.1001.1.23223235.1393.2.2.7.7](https://doi.org/10.23223235.1393.2.2.7.7).
3. Alimohammadi, M., Yadegari, M., & Shirmardi, H.A. (2017). Effect of elevation and phonological stages on essential oil composition of *Stachys*. *Turkish Journal of Biochemistry (Turk Biokimya Dergisi)* 42(6): 647-656. <https://doi.org/10.1515/tjb-2016-0267>.
4. Argyropoulou, C., Daferera, D., Tarantilis, P.A., Fasseas, C., & Polissiou, M. (2007). Chemical composition of the essential oil from leaves of *Lippia citriodora* H.B.K. (Verbenaceae) at two developmental stages. *Biochemical Systematics and Ecology* 35(12): 831-837. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2007.07.001>.
5. Azarnivand, H., Ghavam Arabani, M., Sefidkon, F., & Tavili, A. (2010). The effect of ecological characteristics on quality and quantity of the essential oils of *Achillea millefolium* L. subsp. *millefolium*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 25(4): 556-571. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.7141>.
6. Azizi, A., Hadian, J., Gholami, M., Friedt, W., & Honermeier, B. (2012). Correlations between genetic, morphological, and chemical diversities in a germplasm collection of the medicinal plant *Origanum vulgare* L. *Chemistry and Biodiversity* 9(12): 2784-2801. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200125>.
7. Bigdeloo, M. (2012). Evaluation of morphological, genetic and phytochemical diversity of *Thymus carmanicus*. MSc. Thesis. Tehran University, 114p. (In Persian with English abstract)
8. Bigdeloo, M., Nazeri, V., & Hadian, J. (2013). Study on effect of some environmental factors on morphological traits and essential oil productivity of *Thymus caramanicus* Jalas. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 28(4): 756-766. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2930>.
9. Chehregani, A., Mohsenzadeh, F., Mirazi, N., Hajisadeghian, S., & Baghali, Z. (2010). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Tripleurospermum disciforme* in three developmental stages. *Pharmaceutical Biology* 48(11): 1280-1284. <https://doi.org/10.3109/13880201003770143>.
10. Crock, J., Wildung, M., & Croteau, R. (1997). Isolation and bacterial expression of a sesquiterpene synthase cDNA clone from peppermint (*Mentha x piperita*, L.) that produces the aphid alarm pheromone (*E*)- β -farnesene. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)* 94(24): 12833-12838. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.24.12833>.
11. Fathalipoor, Z., Nabati Ahmadi, D., Rajabi Memari, H., Siyahpoosh, A., & Seddighi Dehkordi, F. (2014). Determination of plant variation using morphological properties and cluster analysis in *Anethum* germplasms. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)* 37(4): 57-67. (In Persian)
12. Ghasemi Dehkordi, N. (2002). *Iranian herbal pharmacopoeia*. Vol. 1, p18-21.
13. Ghasemi Pirbalouti, A., Momeni, M., & Bahmani, M. (2013). Ethnobotanical study of medicinal plants used by Kurd tribe in Dehloran and Abdanan districts, Ilam province, Iran. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines* 10(2): 368-385. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v10i2.24>.
14. Jamzad, Z. (2012). *Flora of Iran: Lamiaceae*. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, p. 263-264. (In Persian)
15. Khalilzadeh, M.A., Rustaiyan, A., Masoudi, Sh., & Tajbakhsh, M. (2005). Essential oils of *Phlomis persica* Boiss. and *Phlomis olivieri* Benth. from Iran. *Journal of Essential Oil Research* 17(6): 624-625. <https://doi.org/10.1080/10412905.2005.9699014>.
16. Khorshidi, J., Shokrpour, M., & Nazeri, V. (2020). Assessment of morphological diversity among different populations of *Thymus daenensis* Celak. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 33(3): 593-606. (In Persian with English abstract). [dor: 20.1001.1.23832592.1399.33.3.8.2](https://doi.org/10.23832592.1399.33.3.8.2).
17. Koike, T., Kitao, M., Quoreshi, A.M., & Matsuura, Y. (2003). Growth characteristics of root-shoot relations of three birch seedlings raised under different water regimes. *Plant and Soil* 255: 303-310. <https://doi.org/10.1023/a:1026199402085>.
18. McLafferty, F.W., & Stauffer, D.B. (1989). *Wiley / NBS Registry of Mass Spectral Data*. 7 Volume Set. Wiley, New York.
19. Mirza, M., & Nik, Z.B. (2003). Volatile constituents of *Phlomis olivieri* Benth. from Iran. *Flavour and Fragrance Journal* 18(2): 131-132. <https://doi.org/10.1002/ffj.1156>.
20. Mohammadifar, F., Delnavazi, M.R., & Yassa, N. (2015). Chemical analysis and toxicity screening of *Phlomis olivieri* Benth. and *Phlomis persica* Boiss. essential oils. *Pharmaceutical Sciences* 21(1): 12-17. <https://doi.org/10.15171/PS.2015.11>.
21. Montanari, R.M., Barbosa, L.C.A., Demuner, A.J., Silva, C.J., Carvalho, L.S., & Andrade, N.J. (2011). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from verbenaceae species: alternative sources of (E)-caryophyllene and germacrene-D. *Química Nova* 34(9): 1550-1555. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000900013>.
22. Mozaffarian, V. (2015). *Identification of medicinal and aromatic plants of Iran*. 2nd edition, Farhang Moaser Publishers, Tehran, Iran, p. 540-543.

23. Nemeth, E., & Bernath, J. (2008). Biological activities of yarrow species (*Achillea* spp.). *Current Pharmaceutical Design* 14(29): 3151-3167. <https://doi.org/10.2174/138161208786404281>.
24. Omidbaigi, R. (2013). *Approaches of production and products of medicinal plants*. Vol. 1, 7th edition, Tehran, Tarrahan-e-Nashr, p. 154. (In Persian)
25. Sadeghi, F., Aboli, J., & Ali-Asgari, S. (2013). Chemical decomposition of essential oil of *Phlomis olivieri* Benth. by gas chromatography - mass spectrometry. *Journal of Quantum Chemistry and Spectroscopy (JQCS)* 3(8): 45-51. (In Persian)
26. Salehi, M., & Kalvandi, R. (2020). Evaluation of morphological and phytochemical characteristics changes in different populations of *Stachys inflata* Benth. in Hamedan province. *Journal of Horticultural Science* 34(2): 247-260. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i2.79307>.
27. Santos-Gomes, P.C., Fernandes-Ferreira, M., & Vicente, A.M.S. (2005). Composition of the essential oils from flowers and leaves of Vervain [*Aloysia triphylla* (L'Herit.) Britton] grown in Portugal. *Journal of Essential Oil Research* 17(1): 73-78. <https://doi.org/10.1080/10412905.2005.9698835>.
28. Sarkhail, P., Abdollahi, M., & Shafiee, A. (2003). Antinociceptive effect of *Phlomis olivieri* Benth., *Phlomis anisodonta* Boiss. and *Phlomis persica* Boiss. total extracts. *Pharmacological Research* 48(3): 263-266. [https://doi.org/10.1016/S1043-6618\(03\)00151-8](https://doi.org/10.1016/S1043-6618(03)00151-8).
29. Sarkhail, P., Amin, G., & Shafiee, A. (2006). Composition of the essential oil of *Phlomis olivieri* Benth. from north of Iran. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences* 14(2): 71-74.
30. Schepetkin, I.A., Özek, G., Özek, T., Kirpotina, L.N., Khlebnikov, A.I., & Quinn, M.T. (2020). Chemical composition and immunomodulatory activity of *Hypericum perforatum* essential oils. *Biomolecules* 10(6): 916. <https://doi.org/10.3390/biom10060916>.
31. Shahbazi Asl, F., & Jafari, A.A. (2020). Investigation of aerial part yield and morphological traits in populations of *Mentha pulegium*. *Iranian Medicinal Plants Technology* 3(1): 29-39. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/mpt.2020.342777.1062>.
32. Statistical Center of Iran. (2012). *Statistical yearbook of Hamedan province*, Chapter 1. (In Persian)
33. Sun, Y., Qiao, H., Ling, Y., Yang, S., Rui, C., Pelosi, P., & Yang, X. 2011. New analogues of (*E*)- β -farnesene with insecticidal activity and binding affinity to aphid odorant-binding proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(6): 2456-2461. <https://doi.org/10.1021/jf104712c>.
34. Tajbakhsh, M., Rineh, A., & Khalilzadeh, M.A. (2007). Chemical composition of the essential oils from leaves, flowers, stem and root of *Phlomis olivieri* Benth. *Journal of Essential Oil Research* 19: 501-503. <https://doi.org/10.1080/10412905.2007.9699315>.
35. Vaezi, J., Behroozian, M., Joharchi, M.R., & Memariani, F. (2017). *Phlomis iranica* (Lamiaceae: Lamioideae), a new species from Khorassan-Kopet Dagh floristic province, NE Iran. *Turkish Journal of Botany* 41: 392-403. <https://doi.org/10.3906/bot-1608-38>.

Contents

Evaluation of Some Physical Properties of Sixteen Iranian Indigenous Barberry Genotypes	549
M. Khodabandeh, M. Azizi, A. Balandari, H. Arouiee	
The Effect of Potassium Foliar Application on Cucumber Plants of ‘Miran’ Cultivar under Drought Stress	563
M. Sajedimehr, M. Haghighi, M. Mehnatkesh	
The Effect of Foliar Spray of different Calcium Sources on Antioxidant Properties and Quality of Cauliflower (<i>Brassica oleracea</i> cv. botrytis ‘Romanesco’)	577
R. Najafi, T. Barzegar	
The Effect of Application of Vermi-compost and Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) on Yield, Vegetative Traits and Secondary Metabolites of Basil (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	591
S. Makhtoumi, Sh. Khoshbakht, A.A. Nourinia	
Evaluation of Growth, Yield and Morphological and Physiological Characteristics of Five Mint (<i>Mentha</i> spp.) Species in the Aeroponic System under Greenhouse	603
M. Yaghobvand, H. Mumivand, M.R. Raji, A. Banan	
Effect of Cinnamic Acid on Morphophysiological Characteristics of Cucumber Seedling under Chilling Stress	619
Z. Darabi, F. Ghanbari, J. Erfani Moghadam	
Study of Genetic Variation and Heritability of some Flower Traits in different Chrysanthemum (<i>Chrysanthemum morifolium</i>) Genotypes	631
B. Moradi Ashour, K. Parvizi, M.H. Azimi	
Effect of Salicylic acid Application on Morphophysiological Traits of <i>Physalis peruviana</i> L. under Deficit Water Stress	643
S. Siahmansour, A. Ehtesham Nia, A. Rezaei Nejad	
Evaluation of Changes in Alkaloid Content and some Physiological Traits of <i>Datura stramonium</i> L. under the Influence of Planting Date and Plant Density Levels	657
Z. Izadi, A. Biabani, H. Sabouri, B. Bahreininejad, A.L. Qolizadeh	
Response of some Vegetative, Qualitative and Quantitative Traits of Grape Vine (<i>Vitis vinifera</i> L. Cv. Rishbaba) to Type of Color and Percentage of Shading in Netting System	671
L. Jafary, B. Kavooosi, H. Zare	
The Effect of Gamma Amino Butyric Acid on Improving Dehydration Stress Tolerance in <i>Portulaca oleracea</i>	683
N. Zeinali Pour, F. Aghehati	
Optimization of Seed Germination, Growth Index and Photosynthetic Pigments Content of <i>Kelussia odoratissima</i> Mozaff Seedlings under Laboratory Conditions	693
Kh. Ahmadi, H. Omid, E. Soltani	
Comparison of some Physicochemical Characteristics and Polyphenolic Content in Six Pomegranate (<i>Punica granatum</i>) Cultivars	709
A.R. Bonyanpour, B. Jamali	
Evaluation of Morphological and Phytochemical Diversity of different Populations of <i>Phlomis olivieri</i> Benth. in Hamedan Province	721
M. Salehi, R. Kalvandi	

HORTICULTURAL SCIENCES

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol. 36 No. 3 2022

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:

Tehraniyar,A.	Horticultural Sciences	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Arouiee, H.	Horticultural Sciences	Asso.Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Khanizadeh,SH.	Research Scientist	Bioproducts and Bioprocesses, Agriculture and Agri-Food Canada.
Davarynejad, GH.	Horticultural Sciences	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Haghighi, M.	Horticultural Sciences	Asso. Prof. Isfahan University of Technology.
Tavakkol Afshari, R.	Seed Physiology	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Azizi, M.	Medicinal Plants	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Sharifani, M.M.	Horticultural Sciences	Asso.Prof. Gorgan University of Agricultural Science & Natural Resources.
Shoor, M.	Horticultural Sciences	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Ebadi,A.	Horticultural Sciences	Prof .Tehran University.
Fallahi,E.	Horticultural Sciences	Department of Plant Sciences, University of Idaho.
Farsi, M.	Plant Breeding and Genetics	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Kafi, M.	Floriculture and landscaping	Prof .Tehran University.
Lahouti, M.	Plant Physiology	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Zamani, Z.	Horticultural Sciences	Prof. University of Tehran, Iran

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>