



نشریه علمی علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)



جلد ۴۰ شماره ۲

سال ۱۴۰۵

شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

شماره پیاپی ۷۰

عنوان مقالات

- تأثیر کاربرد نانو پلیمر سوپر جاذب، کودهای کامل گرومور، آهن و روی بر عملکرد کتّی و کیفی گیاه آگاو
(*Agave americana* cv. *Marginata*) تحت تنش خشکی ۱۸۵
مهراب یادگاری
- قابلیت تلاقی سه گونه قارچ صدفی (*Pleurotus* spp.) و ارزیابی خصوصیات هیبریدهای حاصل ۲۰۵
مرتضی تقوی شریانی - علیرضا مطلبی آذر - جابر پناهنده - امین جهانیان
- مطالعه مقایسه‌ای تیمارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت نانوسیلور، اسیدسالیسیلیک و برخی اسانس‌های گیاهی بر
خصوصیات ژوبرا (*Gerbera jamesonii* Bol.) رقم 'Rosalin' ۲۱۹
مهر و السادات متغیر - مجید عزیزی - علی تهرانی‌فر
- اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر افزایش مقاومت به شوری در کشت هیدروپونیک گیاه موسیر
(*Allium hirtifolium* Boiss.) ۲۳۹
نسرین فرهادی - مزگان عبدشاهیان - سمانه متقی
- بهبود رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم ۲۴۰ (*Lycopersicon esculentum* cv. 240) تحت پوشش نور تکمیلی و
محلول پاشی سفر و کلسیم ۲۵۳
لادن آزدانپان - حسین آروئی - مجید عزیزی
- باسخ مورفوفیز یولوژیک و فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به طیف‌های نوری مختلف و محلول پاشی
اسید آسکوربیک ۲۶۵
سروش تفاخری - وحید اکبرپور - محمد کاظم سوری
- بررسی تأثیر اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اسانس زیوه سبز
(*Cuminum cyminum* L.) ۲۸۳
محمد حسین امینی فرد - لیلا اسدالهی - حسن بیات
- اثر حجم سلول سبزی نشاء و کیفیت نور بر رشد، شاخص‌های فتوسنتزی و کیفیت نشاء پیاز (*Allium cepa* L.) ۳۰۱
فهیمه قائمی‌زاده - فرشاد دشتی
- بهبود مقاومت به تنش اکسیداتیو و افزایش کیفیت و ماندگاری گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)
با ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی ۳۱۹
محسن محمدی - داود هاشم‌آبادی - بهزاد کاویانی
- تولید و مقایسه خصوصیات کتّی و کیفی فامیل‌های نیمه‌خواهری با والدین در پیاز (*Allium cepa* L.) روز کوتاه ۳۳۵
عبدالستار دارابی - زهرا عباسی
- تأثیر فرآیند رسیدن بر خصوصیات کتّی و کیفی میوه دو توده ملون (*Cucumis melo* L.) کم‌تر شناخته‌شده ۳۵۱
الناز سلیمانی‌فرد - کامبیز مشایخی - سیدجواد موسوی‌زاده - مهدی زارعی

نشریه علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)

26524

21/2015

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

جلد 40 شماره 2 تابستان 1404

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

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

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

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

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

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

پست الکترونیکی: Jhorts4@um.ac.ir

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

HORTICULTURAL SCIENCES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 185 تأثیر کاربرد نانو پلیمر سوپر جاذب، کودهای کامل گرومور، آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه آگاو (*Agave americana* cv. *Marginata*) تحت تنش خشکی
مهراب یادگاری
- 205 قابلیت تلاقی سه گونه قارچ صدفی (*Pleurotus spp.*) و ارزیابی خصوصیات هیبریدهای حاصل
مرتضی تقوی شریانی - علیرضا مطلبی آذر - جابر پناهنده - امین جهانیان
- 219 مطالعه مقایسه‌ای تیمارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت نانوسیلور، اسیدسالیسیلیک و برخی اسانس‌های گیاهی بر خصوصیات ژربرا (*Gerbera jamesonii* Bol.) رقم 'Rosalin'
مهر والسادات متغیر - مجید عزیزی - علی تهرانی‌فر
- 239 اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر افزایش مقاومت به شوری در کشت هیدروپونیک گیاه موسیر (*Allium hirtifolium* Boiss.)
نسرین فرهادی - مژگان عبدشاهیان - سمانه متقی
- 253 بهبود رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم 240 (*Lycopersicon esculentum* cv. 240) تحت پوشش نور تکمیلی و محلول پاشی فسفر و کلسیم
لادن آزدانیان - حسین آرونی - مجید عزیزی
- 265 پاسخ مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به طیف‌های نوری مختلف و محلول پاشی اسید آسکوربیک
سروش تفاعری - وحید اکبرپور - محمد کاظم سوری
- 283 بررسی تأثیر اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)
محمد حسین امینی فرد - لیلا اسدالهی - حسن بیات
- 301 اثر حجم سلول سبزی نشاء و کیفیت نور بر رشد، شاخص‌های فتوسنتزی و کیفیت نشاء پیاز (*Allium cepa* L.)
فهیمه قائمی‌زاده - فرشاد دشتی
- 319 بهبود مقاومت به تنش اکسیداتیو و افزایش کیفیت و ماندگاری گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) با ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی
محسن محمدی - داود هاشم‌آبادی - بهزاد کاویانی
- 335 تولید و مقایسه خصوصیات کمی و کیفی فامیل‌های نیمه‌خواهری با والدین در پیاز (*Allium cepa* L.) روز کوتاه
عبدالستار دارابی - زهرا عباسی
- 351 تأثیر فرآیند رسیدن بر خصوصیات کمی و کیفی میوه دو توده ملون (*Cucumis melo* L.) کم‌تر شناخته‌شده
الناز سلیمانی‌فرد - کامبیز مشایخی - سیدجواد موسوی‌زاده - مهدی زارعی

Utilization Effect of Superabsorbent Nano-Polymer, Grow-More, Iron and Zinc Fertilizers on the Functional Quality and Quantity of Agave (*Agave americana* cv. Marginata) under Drought Stress

M. Yadegari^{ID*}

1- Research Center of Nutrition and Organic Products, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
(* - Corresponding author's Email: kazemkazem1357@iau.ac.ir)

Received: 20 October 2024

Revised: 01 December 2024

Accepted: 23 December 2024

Available Online: 23 December 2024

How to cite this article:

Yadegari, M. (2026). Utilization effect of superabsorbent nano-polymer, grow-more, iron and zinc fertilizers on the functional quality and quantity of Agave (*Agave americana* cv. Marginata) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 183-201. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90365.1384>

Introduction

Agave americana cv. Marginata from the Agavaceae family is an important plant with many uses in various medicinal and food industries. Among environmental stresses, water deficit stress plays an important role in the biosynthesis of secondary metabolites in medicinal plants in arid and semi-arid regions like Iran. Drought stress has detrimental effects on growth and yield and can disrupt the balance between the antioxidant defense system and free radicals by triggering a cascade of biochemical reactions in which free radicals cause cell damage. In sustainable production systems of medicinal and aromatic plants, stable quantitative and qualitative functions can be achieved under conditions of environmental stress and it is possible to improve the production of secondary metabolites in these plants under adverse environmental conditions. Therefore, this study was done to evaluate some of the important macro-micro nutrients on the morpho-physiological and phytochemical properties of *Agave americana* cv. Marginata to determine and introduce the best combinations of fertilizers with use of superabsorbent nano-polymer under water stress conditions.

Materials and Methods

This research used a randomized complete block design (RCBD) in a split-split plot layout with three replications. Irrigation regimes (D1-D3: Field Capacity, 50% and 75% evaporation from basin class A) in main plots, superabsorbent nano-polymer application (S1-S2: use and not use) in sub plots and treatments of fertilizers [F1-F15: grow-more 1 (F1), grow-more 2 (F2), grow-more 3 (F3), iron chelate (F4), zinc chelate (F5), grow-more 1 + iron chelate (F6), grow-more 1 + zinc chelate (F7), grow-more 2 + iron chelate (F8), grow-more 2 + zinc chelate (F9), grow-more 3 + iron chelate (F10), grow-more 3 + zinc chelate (F11), grow-more 1 + iron chelate + zinc chelate (F12), grow-more 2 + iron chelate + zinc chelate (F13), grow-more 3 + iron chelate + zinc chelate (F14) and control (F15)] in sub-sub plots were done. This research was performed in greenhouse conditions of Islamic Azad University Branch of Shahrekord (latitude: 32°20' N, longitude: 50°51' E, altitude: 2061 m) in 2023-2024. In each year, fertilizer treatments were applied in foliar application after stage of V8 (plants had 8 leaves) in 6 stage by 14 days interval and harvesting was done one month after the final application of fertilizers. The fertilizers Grow-More (NPK), iron and zinc in 4 gr.l⁻¹ concentration by the production company certification were used in V8 stage in plants and the effects were compared with control plants. Weed control was done manually during the entire experiment. During the experiment, no systemic pesticide or herbicide was used. The harvested shoots were transferred to the laboratory for measurement of various characteristics. Morphological characters such as leaf length, leaf diameter and dry/fresh root/leaf weight; physiological characters such as total chlorophyll and zinc, iron and nitrogen content in root/leaf and



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90365.1384>

phytochemical characters such as contents of hecogenin, saponin, and protein in leaf and root were measured. For assessment of the total chlorophyll content of *A. americana*, the leaves were extracted with 80% acetone. The absorbance of the extraction was read at 470, 648, and 664 nm, and the content of total chlorophyll was calculated as mg per g leaf fresh weight. For the measurement of hecogenin, saponin, total protein in the leaf and root and the nitrogen content in leaf and root use the protocols of [Hackman et al., 2006](#), [Sidana et al., 2016](#), [Bradford, 1976](#); [Álvarez-Chávez et al., 2021](#); were followed respectively.

Results and Discussion

Over two consecutive years, the obtained results showed that the use of treatments increased the characters and showed significant effectiveness. The highest mean values for leaf dry weight ($30.11 \text{ g.plant}^{-1}$), leaf fresh weight ($207.33 \text{ g.plant}^{-1}$), root dry weight ($3.82 \text{ g.plant}^{-1}$), root fresh weight ($18.79 \text{ g.plant}^{-1}$), length of leaf (64.55 cm), leaf diameter (0.41 Cm), total chlorophyll (2.82 mg.g^{-1} fresh weight), hecogenin (35.48 mg.kg^{-1} fresh weight), saponin ($66164.8 \text{ mg.kg}^{-1}$ fresh weight), nitrogen of leaf (1.39 mg.g^{-1} dry weight), nitrogen of root (1.23 mg.g^{-1} dry weight), protein of leaf (25.34 mg.g^{-1} dry weight), protein of root (16.99 mg.g^{-1} dry weight), zinc of leaf (68.99 µg.g^{-1} dry weight), zinc of root (44.84 µg.g^{-1} dry weight), iron of leaf (81.01 µg.g^{-1} dry weight) and iron of root (49.84 µg.g^{-1} dry weight) made in grow-more fertilizers specially grow-more 1 (20-20-20) in combination with Fe/Zn Libfer. However the superabsorbent nano-polymer application had an aggressive effect on the amounts of characters especially in hardness of water stress. The lowest values for morpho-physiological and phytochemical characters such as leaf dry weight ($12.81 \text{ g.plant}^{-1}$), leaf fresh weight ($89.54 \text{ g.plant}^{-1}$), root dry weight ($1.62 \text{ g.plant}^{-1}$), root fresh weight ($8.18 \text{ g.plant}^{-1}$), length of leaf (41.12 cm), leaf diameter (0.24 cm), total chlorophyll (1.95 mg.g^{-1} fresh weight), hecogenin (21.88 mg.kg^{-1} fresh weight), saponin ($22134.3 \text{ mg.kg}^{-1}$ fresh weight), nitrogen of leaf (0.29 mg.g^{-1} dry weight), nitrogen of root (0.77 mg.g^{-1} dry weight), protein of leaf (10.11 mg.g^{-1} dry weight), protein of root (6.47 mg.g^{-1} dry weight), zinc of leaf (34.34 µg.g^{-1} dry weight), zinc of root (20.36 µg.g^{-1} dry weight), iron of leaf (43.77 µg.g^{-1} dry weight) and iron of root (27.73 µg.g^{-1} dry weight) made in control plants. In most of the measured characters the treatments of D1S1F12, D3S1F14 and D2S1F14 were the best and control plants had the least of the characters.

Conclusion

Generally the application of Grow-More fertilizer 1 (20-20-20) with the consumption of zinc and iron fertilizers can be a good strategy to improve the morpho-physiological and phytochemical characters of *Agave americana* cv. *Marginata* especially the hecogenin and saponin amounts in water stress conditions. However the use of superabsorbent nano-polymer in strenuous drought stress (75%) is more effective than other water stress levels.

Keywords: Grow-more fertilizer, Hecogenin, Medicinal plant, Saponin

تأثیر کاربرد نانو پلیمر سوپر جاذب، کودهای کامل گرومور، آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه آگاو (*Agave americana* cv. *Marginata*) تحت تنش خشکی

مهراب یادگاری *

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

چکیده

با توجه به ارزشمندی گیاه آگاو آمریکانا رقم 'مارجیناتا' (*Agave americana* cv. *Marginata*) از خانواده آگاواسه در صنایع مختلف غذایی و دارویی، پژوهش حاضر به صورت طرح کرت‌های دوبار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی شهرکرد در سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. در این تحقیق، سطوح تنش خشکی (میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در سه سطح ظرفیت مزرعه (D1)، ۵۰ درصد (D2) و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی (D3)) به عنوان کرت‌های اصلی، سطوح پلیمر سوپر جاذب (استفاده (S1) و عدم استفاده (S2)) در کرت‌های فرعی و ۱۵ ترکیب محلول‌پاشی (کودهای گرومور ۱ (F1)، گرومور ۲ (F2)، گرومور ۳ (F3)، لیبر آهن (F4)، لیبر روی (F5)، گرومور ۱ + لیبر آهن (F6)، گرومور ۱ + لیبر روی (F7)، گرومور ۲ + لیبر آهن (F8)، گرومور ۲ + لیبر روی (F9)، گرومور ۳ + لیبر آهن (F10)، گرومور ۳ + لیبر روی (F11)، گرومور ۱ + لیبر آهن + لیبر روی (F12)، گرومور ۲ + لیبر آهن + لیبر روی (F13)، گرومور ۳ + لیبر آهن + لیبر روی (F14)، شاهد (عدم استفاده از تیمارهای مغذی -F15)) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پس از رسیدن گیاهان به مرحله شش الی هشت برگ، در شش مرحله با فواصل ۱۴ روزه، تیمارهای مغذی به صورت محلول‌پاشی برگ اضافه گردید. صفات ریخت‌شناختی (وزن تر و خشک ریشه و برگ، ضخامت و طول برگ)، صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل کل و مقادیر عناصر روی، آهن و نیتروژن ساختارهای برگ و ریشه) و صفات فیتوشیمیایی (هکوزئین، ساپونین، پروتئین برگ و ریشه) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده اثرگذاری معنی‌دار تیمارهای مورد استفاده بر صفات مورد ارزیابی بود. افزودن کودها به ویژه کود گرومور ۱ (۲۰-۲۰-۲۰) به همراه محلول‌پاشی ریزمغذی آهن و روی منجر به افزایش بیشترین مقادیر در اکثر صفات مورد بررسی شد. بیشترین مقادیر وزن خشک برگ (۳۰/۱۱ گرم در گیاه)، وزن خشک ریشه (۳/۸۲ گرم در گیاه)، کلروفیل کل (۲/۸۲ میلی گرم در گرم وزن تر)، هکوزئین (۳۵/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر) و ساپونین (۶۶۱۶۴/۸۶ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر) اغلب در تیمار D1S1F12 به دست آمد، هرچند که در برخی موارد با تیمارهای D1S1F14 و D2S1F14 تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی در گیاهان تحت تیمار تنش خشکی شدید-عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب و عدم تیمار مغذی (D3S2F15) تولید شدند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان کود کامل گرومور (NPK) با ترکیب ۲۰-۲۰-۲۰ را به عنوان مؤثرترین تیمار برای افزایش صفات مورد ارزیابی گیاه آگاو، از جمله مقادیر هکوزئین و ساپونین تحت شرایط گلخانه‌ای برای تحقیقات آینده پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: ساپونین، کود گرومور، گیاه دارویی، هکوزئین

مقدمه

آگاو آمریکایی (*Agave americana* cv. *Marginata* L.) متعلق به خانواده Agavaceae است. این گیاه برگ‌های سبز ضخیم با حاشیه زرد رنگ دارد و اگر در محیط مناسب قرار بگیرد رشدونمو

کرده و به ارتفاع بیش از یک متر می‌رسد. این گیاه نیاز به نور زیاد دارد و در شرایط سایه یا کم‌نور رشد مناسبی نخواهد داشت. به خاک مرطوب نیاز دارد و مقاوم به خشکی است. گیاه دائمی همیشه‌سبز دارای سیستم فتوسنتزی CAM بوده و تا ۷/۵ متر رشد می‌کند. گل‌ها دوجنسی و گرده‌افشانی به وسیله حشرات و پروانه‌ها صورت می‌گیرد. تکثیر این گیاه هم از طریق بذر و هم از طریق کاشت پاجوش‌های نزدیک به ریشه صورت می‌گیرد (Trejo et al., 2023; Bharathi et al., 2024). این جنس شامل حدود ۳۰۰ گونه چندساله است. این

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

(*) نویسنده مسئول: (Email: kazemkazem1357@iau.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90365.1384>

گیاه به طور معمول رشد کندی دارد و معمولاً پس از گل دهی می میرد (Hackman et al., 2006). از مواد استخراج شده از بخش های مختلف این گیاه از جمله ساپونین و هکوتنین، در صنایع مختلف غذایی و دارویی استفاده می شود (Sidana et al., 2016; García-Villalba et al., 2023).

با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک، تنش آب یکی از مسائل محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. تنش خشکی منجر به افزایش مقادیر اسانس گیاهان دارویی آویشن دنايي (*Thymus daenensis*) و باغی (*Thymus vulgaris*) (Askary et al., 2018)، ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) (Mumivand et al., 2021)، استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) (Khorasani et al., 2023) و همیشه بهار مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) (Babaei et al., 2021)؛ افزایش راندمان مصرف آب و مقادیر کربوهیدرات های محلول در آب در لولبوم (*Lolium multiflorum*) و فستوکا (*Festuca arundinacea*) (Fariaszewska et al., 2020)؛ افزایش مقادیر آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز دیسموتاز در گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) (Hayati et al., 2021) و کاهش پتانسیل آب برگ و فتوسنتز خالص در مریم گلی (*Salvia dolomitica* Codd.) (Caser et al., 2019) شده است. گیاهان تحت تنش خشکی متابولیت هایی تولید می کنند که از آن ها در مقابل رادیکال های آزاد از جمله رادیکال های اکسیژن محافظت نموده و از کاهش فتوسنتز جلوگیری می نمایند. سلول های گیاهی برای کاهش تأثیر تخریبی این مولکول ها، فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی خود از جمله ۲ و ۳-دی فنیل، ۱-پیکریل هیدرازیل^۱ را افزایش می دهند. در شرایط تنش خشکی، متابولیسم اسیدهای آمینه، قندها و سایر مولکول های زیستی تحت تأثیر قرار می گیرند. از آنجا که تولید متابولیت های ثانویه در گیاهان به وسیله عوامل محیطی تغییر می یابد، در این بین تنش رطوبتی عامل مؤثری در کاهش رشد و همچنین ساخت ترکیبات طبیعی گیاهان دارویی است (Khorasani et al., 2023)، لذا ارائه روش هایی که گیاه بتواند ماده مؤثره بیشتر تولید نماید، ضروری به نظر می رسد. در این میان، نقش عناصر مغذی و نیز استفاده از پلیمر سوپر جاذب بسیار حائز اهمیت است. نیتروژن از عناصر اصلی تشکیل دهنده پروتئین بوده و برای رشد بخش های هوایی گیاه ضروری است. فسفر نیز عنصری است که به ویژه در بخش های زایشی گیاه بسیار اهمیت دارد و یکی از عناصر مهم در گیاهان دارویی است و باید کمبود آن در خاک برطرف شود تا گیاه بتواند میزان جوانه زنی و رشد بیشتری داشته

باشد. پتاسیم نیز از دیگر عناصر پرمصرف در گیاهان است. این عنصر در بسیاری از فعالیت های گیاه مانند فتوسنتز، جذب آب و حفظ پتانسیل اسمزی در گیاهان دارویی نقش مهمی ایفا می کند (Gustafson, 2010; Marschner, 1995). عنصر نیتروژن موجب کاهش فعالیت نیترات ردوکنازی برگ های آگاو می شود و محتوای کلی نیتروژن ریشه را به نفع افزایش آن در برگ ها تغییر می دهد (Jokar et al., 2021).

استفاده از ریزمغذی ها در تغذیه گیاهان از روش هایی است که در کشورهای پیشرفته و توسعه یافته جهت دستیابی توسعه پایدار و امنیت غذایی به کار برده می شود (Marschner, 1995; Malakoti & Davodi, 2002). در رابطه با اهمیت عناصر به کار گرفته شده در تغذیه گیاهی در این تحقیق، لازم به توضیح است که بیشتر خاک های کشاورزی ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن، اسیدیته بالا، حضور سدیم بی کربنات در آب های آبیاری دچار کمبود عناصر ریزمغذی به ویژه آهن و روی هستند. روی در ساختمان تعداد زیادی از آنزیم ها شرکت داشته و در نقل و انتقالات زیست شیمیایی سلول نقش مهمی را ایفا می کند (Nasiri et al., 2020). آهن از دیگر عناصر ریزمغذی، جزء مهمی از آنزیم های گیاه از قبیل آنزیم های گیرنده الکترون و ساخت کلروفیل گیاه است. امروزه جهت بالابردن راندمان کاربرد کود از اشکال قابل حل آهن و روی، به صورت محلول پاشی استفاده می شود (Marschner, 1995).

سوپرجاذب ها مواد پلیمری و به شدت آب دوستند که به اندازه ده ها تا صدها برابر وزن خود، آب یا محلول های آبی را جذب می کنند و در خود نگه می دارند (Mashahiri et al., 2023). این پلیمرها تنش های رطوبتی را از بین برده و به سازگاری گیاهان کشت شده در محیط های خشک کمک می نمایند. نقش مفید سوپرجاذب ها با توجه به pH خنثی این مواد در تحقیقات متعدد به اثبات رسیده است (Bagherifard et al., 2020; Hoseini et al., 2020).

با توجه به بررسی منابع، تاکنون تحقیق جامعی راجع به اثرگذاری استفاده از مواد مغذی پرمصرف و کم مصرف و نیز نانو پلیمر سوپر جاذب بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی آگاو در جهت تحمل به تنش خشکی انجام نشده است. این پژوهش در جهت یافتن بهترین نوع ترکیب مواد مغذی (پرمصرف و کم مصرف) تحت کاربرد پلیمر سوپر جاذب برای به دست آوردن بالاترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی در این گیاه مهم دارویی تحت سطوح مختلف تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح تحقیق و مشخصات تیمارها: این پژوهش به صورت

کرت‌های دوبار خردشده با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح تنش خشکی (میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به ترتیب در سه سطح ظرفیت مزرعه (D1)، ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی (D2) و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی (D3)) به عنوان کرت‌های اصلی، دو سطح از پلیمر سوپر جاذب ([استفاده (S1) و عدم استفاده (S2)) در کرت‌های فرعی و ۱۵ ترکیب محلول‌پاشی (کودهای گرومور ۱ (F1)، گرومور ۲ (F2)، گرومور ۳ (F3)، لیبر آهن (F4)، لیبر روی (F5)، گرومور ۱ + لیبر آهن (F6)، گرومور ۱ + لیبر روی (F7)، گرومور ۲ + لیبر آهن (F8)، گرومور ۲ + لیبر روی (F9)، گرومور ۳ + لیبر آهن (F10)، گرومور ۳ + لیبر روی (F11)، لیبر آهن + لیبر روی (F12)، گرومور ۲ + لیبر آهن + لیبر روی (F13)، گرومور ۳ + لیبر آهن + لیبر روی (F14)، شاهد (عدم استفاده از تیمارهای مغذی-F15) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پس از انتقال پاجوش‌ها شش ماه آبیاری گردید تا گیاهان به مرحله شش برگی برسند، سپس تیمار اعمال گردید. پس از رسیدن گیاهان به مرحله شش الی هشت برگی، در شش مرحله با فواصل ۱۴ روزه، تیمارهای مغذی به سطوح گیاهان محلول‌پاشی شدند. تیمار پلیمر سوپر جاذب طبق توصیه شرکت سازنده به میزان ۳۰ گرم در مترمربع (چهار گرم در هر گلدان با قطر ۴۰ سانتی‌متر) اعمال گردید.

مشخصات خاک، آب و تیمارهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در جداول ۱ تا ۳ آمده است. کل طرح در هر سال پژوهش شامل ۲۷۰ گلدان بود. پاجوش‌های دو تا سه برگی آگاو آمریکایی رقم 'مارجیناتا' از بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (باجگاه- شهرک نیایش)، تهیه شد و به گلدان‌های حاوی خاک سبک (پرلیت، کوکوپیت و پیت‌ماس) به نسبت ۱-۱-۱ انتقال داده شد. در این تحقیق از تیمارهای زیر استفاده شد:

کود آهن: کود لیبر شش درصد آهن. [تولید کارخانجات Jaer-اسپانیا].

کود روی: کود لیبر ۱۵ درصد روی. [تولید کارخانجات Jaer-اسپانیا].

(گرومور ۱): کود گرومور ۲۰-۲۰-۲۰ (N.P.K). [تولید کارخانجات Master-ایتالیا].

(گرومور ۲): کود گرومور ۱۵-۵-۳۰ (N.P.K). [تولید کارخانجات Master-ایتالیا].

(گرومور ۳): کود گرومور ۱۲-۱۲-۳۶ (N.P.K). [تولید کارخانجات Master-ایتالیا].

نانو پلیمر سوپر جاذب. [رهاب رزین-تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران].

جدول ۱- مشخصات کودهای گرومور

Table 1- Grow-more fertilizers properties

نام کود Name of fertilizer	کد Code	کل نیتروژن Total nitrogen	نیترات Nitrogen (NO ₃)	آمونیاک Nitrogen (NH ₃)	اوره Nitrogen (urea)	فسفر قابل استفاده Available phosphorous	پتاسیم Potassium	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	مولیبدن Mo
						(%)						
20-20-20	1	20	5.9	3.9	10.2	20	20	0.1	0.1	0.05	0.05	0.0005
30-5-15	2	15	9.1	2	3.9	5	30	0.2	0.05	0.05	0.05	0.0005
36-12-12	3	12	3.8	4	4.2	12	36	0.2	0.1	0.05	0.05	0.0005

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 2- Physicochemical properties of the studied soil

سال Year	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	pH	نیتروژن N	پتاسیم K	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	آهن Fe	فسفر P	مواد محلول کل TDS	الکتریکی هدایت EC
		(%)											(ppm)	(dS.m ⁻¹)
۱۴۰۲ 2023	1.46	29.2	25.2	45.6	7.66	0.14	134	0.11	0.17	0.09	0.03	16	47	2.2
۱۴۰۳ 2024	1.55	30.9	24.8	44.3	7.11	0.155	187	0.16	0.11	0.101	0.02	14	45.4	2.8

TDS: مواد محلول کل

TDS: Total Dissolved Solids

جدول ۳- مشخصات آب مورد استفاده برای آبیاری
Table 3- Characteristics of water used for irrigation

سال Year	کلسیم کربنات HCO_3^- (meq.lit ⁻¹)	کلر Cl^- (meq.lit ⁻¹)	منیزیم Mg^{2+} (meq.lit ⁻¹)	کلسیم Ca^{2+} (meq.lit ⁻¹)	پتاسیم K^+ (meq.lit ⁻¹)	سدیم Na^+ (meq.lit ⁻¹)	مواد محلول کل TDS (mg.lit ⁻¹)	هدایت الکتریکی E.C ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	اسیدیته pH
۱۴۰۲ 2023	3.42	0.91	1.43	2.28	0.16	0.763	247.93	387	8.11
۱۴۰۳ 2024	3.55	0.88	1.41	2.14	0.17	0.788	255.1	399	8.09

TDS: مواد محلول کل
TDS: Total Dissolved Solidsادامه جدول ۳- مشخصات آب مورد استفاده برای آبیاری
Continued table 3- Characteristics of water used for irrigation

سال Year	نیترات NO_3^- (meq.lit ⁻¹)	روی Zn (meq.lit ⁻¹)	منگنز Mn (meq.lit ⁻¹)	مس Cu (meq.lit ⁻¹)	آهن Fe (meq.lit ⁻¹)	کادمیم Cd (meq.lit ⁻¹)	سولفات SO_4^{2-} (meq.lit ⁻¹)	کربنات CO_3^{2-} (meq.lit ⁻¹)
۱۴۰۲ 2023	23.67	0.001	0.001	0.001	0.009	0	0.001	0.21
۱۴۰۳ 2024	24.01	0	0	0.001	0.002	0	0.002	0.24

کلروفیل (a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) و با استفاده از استون ۸۰ درصد به عنوان محلول شاهد قرائت گردید (Dere et al., 1998).

(۱)

$$\text{Chl total (mg.kg Fw}^{-1}\text{)} = (20.21 \times A645) + (8.02 \times A663)$$

برای اندازه گیری آهن و روی ساختار هوایی گیاه از روش جذب اتمی شعله ای استفاده شد. هشت میلی لیتر از محلول سه به یک اسید کلریدریک به اسید نیتریک غلیظ، به نمونه های برگ اضافه و در دمای اتاق قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، به منظور خارج شدن بخارات اسیدی از محلول، عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد و با استفاده از دستگاه جذب اتمی میزان آهن و روی نمونه ها اندازه گیری گردید (Ryan et al., 2001).

به منظور اندازه گیری هکوزن، مقدار یک گرم از پودر داخل برگ آگاو (خشک شده با آون تحت خلاء در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد) با سه میلی لیتر متانول (مرک آلمان) کاملاً مخلوط شده و به مدت سه دقیقه هموزن شد. اندازه گیری میزان هکوزن به کمک دستگاه پلیت ریدر (Citation5, USA) و در طول موج ۲۵۵ نانومتر انجام گردید (Hackman et al., 2006).

از گلدان با گیاه و خاک سبک (بدون اعمال تیمار) به عنوان شاهد استفاده گردید. یک ماه پس از آخرین تیمار، سنجش ها انجام شد.

شرایط گلخانه: طول گلخانه ۵۰ متر، عرض گلخانه ۲۸ متر، ارتفاع دیواره جانبی سه متر، ارتفاع کمان دو متر، پهنای هر کمان نه متر، نوع پوشش پلی اتیلن دولایه، میانگین دما 28 ± 2 درجه سانتی گراد در طول روز و 18 ± 2 درجه سانتی گراد در شب و متوسط رطوبت نسبی در طول دوره رشد 60 ± 10 درصد بود. ۶۰۰۰ لوکس روشنایی با لامپ به صورت ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت خاموشی اجرا گردید.

صفات مورد بررسی در پژوهش شامل ویژگی های ریخت شناختی (وزن تر ریشه و برگ، وزن خشک ریشه و برگ، ضخامت برگ و طول برگ)، صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل کل، مقادیر عناصر نیتروژن، روی و آهن برگ و ریشه) و صفات فیتوشیمیایی (مقادیر هکوزن، ساپونین، کل پروتئین برگ و ریشه) بودند.

آزمایش ها: جهت اندازه گیری غلظت کلروفیل کل، 0.125 گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد و 0.1 گرم کلسیم کربنات (برای خنثی نمودن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل) در یک هاون چینی ساییده شد تا به صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفیوژ کردن عصاره حاصل، محلول رویی برداشته شد و جذب نور توسط آن در طول موج های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور

به ترتیب در گیاهان تحت تیمارهای D1S1F12 و D3S2F15 حاصل شد. در مورد صفات وزن تر و خشک بیشترین (۱۸/۷۹-۳/۸۲) گرم در گیاه) و کمترین مقادیر (۸/۱۸-۱/۶۲) گرم در گیاه) به ترتیب در تیمارهای D1S1F12 و D3S2F15 به دست آمد. برآورد صفات دیگر مورفوفیزیولوژیکی نشان داد که بالاترین مقادیر مربوط به صفات ضخامت برگ (۰/۴۱ سانتی متر)، طول برگ (۶۴/۵۵ سانتی متر) و کلروفیل کل (۲/۸۲ میلی گرم در گرم وزن تر) در تیمارهای D1S1F12T و D2S1F14 مشاهده شد. کمترین مقادیر ضخامت برگ (۰/۲۴ سانتی متر)، طول برگ (۴۱/۱۲ سانتی متر) و کلروفیل کل (۱/۹۵ میلی گرم در گرم وزن تر) در تیمار D3S2F15 (تخلیه رطوبتی ۷۵ درصد- عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب- عدم استفاده از مواد مغذی پرمصرف و کم مصرف) به دست آمد (جدول ۵). بالاترین مقادیر نیتروژن برگ (۱/۳۹ میلی گرم در گرم وزن خشک)، نیتروژن ریشه (۱/۲۳ میلی گرم در گرم وزن خشک)، عنصر روی برگ و ریشه (۴۴/۶۸-۸۴/۹۹ میکروگرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D1S1F12، D1S1F14 و D1S1F5 و در مورد عنصر آهن در برگ و ریشه پس از برداشت، بیشترین میزان (۴۹/۸۴-۸۱/۰۱ میکروگرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D1S1F12 و D1S1F4 به دست آمد (جدول ۷). از سویی، کمترین مقادیر نیتروژن برگ (۰/۲۹ میلی گرم در گرم وزن خشک)، نیتروژن ریشه (۰/۷۷ میلی گرم در گرم وزن خشک)، مقادیر عنصر روی برگ و ریشه (۳۴/۳۴-۲۰/۳۶ میکروگرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D3S2F15 و D2S2F15، و کمترین مقدار آهن برگ و ریشه (۴۳/۷۷-۲۷/۷۳ میکروگرم در گرم وزن خشک) در گیاهان تحت تیمارهای D3S2F15 و D2S2F15 (تخلیه رطوبتی ۷۵ درصد- عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب- عدم استفاده از کودهای مغذی) ایجاد شد.

تأثیر مثبت اعمال کودهای نیتروژنه در بهبود رشدنمو و محصول دهی در گزارش های متعددی اشاره شده است (Almrani, 2019; Amissah et al., 2022; Yadegari, 2022a). در تحقیق حاضر در تمامی صفات ریخت شناختی مورد ارزیابی مشاهده گردید که تیمارهای مورد استفاده اثر افزایش در صفات نسبت به گیاهان شاهد داشتند. در تحقیقات قبلی بیان شده است که با افزایش صفات ریخت شناختی و در نهایت وزن خشک، میزان مواد مؤثره افزایش یافته است. این تحقیق نشان داد که وجود همزمان آهن و روی اثر تقویتی داشت و باعث افزایش صفات ریخت شناختی و فیزیولوژیکی شد. افزایش صفات ریخت شناختی از جمله طول برگ، وزن تر و خشک اندام های گیاهی، در اثر کاربرد کودهای کامل و ریزمغذی ها را می توان به افزایش تولید فیتوهورمون ها به خصوص ایندول استیک اسید نسبت داد (Hamed et al., 2022; Wibowo, 2007). عناصر

اندازه گیری ساپونین کل براساس روش پنافیل انجام شد. ابتدا ۰/۲ گرم از نمونه با ۳/۲ میلی لیتر از محلول گلسیال اسید استیک / اسید سولفوریک (۱:۱) مخلوط شد. سپس یک دقیقه هموژن شد و در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. اندازه گیری میزان ساپونین به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (UV - 1650 PC, Shimadzu, Japan) در طول موج ۵۲۷ نانومتر انجام شد (Sidana et al., 2016).

برای سنجش مقدار کلی پروتئین های برگ و ریشه از روش رنگ سنجی استفاده شد. در این روش بین اسیدهای آمینه یک پروتئین و رنگ Coomassie Brilliant Blue G-250 واکنشی رخ داد که نتیجه آن تغییر رنگ محلول به آبی است. سپس می توان غلظت پروتئین ها را براساس خوانش شدت جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۹۵ نانومتر به دست آورد. در نتیجه لازم است که ابتدا منحنی کالیبراسیون برای غلظت های مختلف به دست آمده باشد (Bradford, 1976).

جهت سنجش نیتروژن کل برگ و ریشه از روش کج لال استفاده شد. در این روش به کمک تیتراسیون، مقدار آمونیاک تقطیر شده حاصل از مرحله هضم مقدار مشخصی از نمونه برگ گیاه تعیین و با توجه به وزن نمونه، مقدار کل نیتروژن موجود در آن محاسبه گردید (Álvarez-Chávez et al., 2021).

با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov از نرمال بودن داده ها اطمینان حاصل شد. پس از انجام آزمون همگنی واریانس های خطای آزمایشی (بارتلت) و مشخص شدن عدم معنی داری در هر دو سال، تجزیه مرکب اطلاعات برآمده از تحقیق به واسطه نرم افزار آماری SAS ver.9 انجام شد. مقایسه میانگین های اسانس و ترکیبات اسانس از روش حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد انجام شد و برای اطمینان از مقادیر خطای استاندارد، به طور جداگانه با نرم افزار Excel ver. 2013، برآورد مجدد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژیکی: نتایج این پژوهش نشانگر اثرگذاری معنادار تیمارهای مورد استفاده بر صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد ارزیابی بود (جدول ۴). در دو سال انجام تحقیق، بیشترین و کمترین مقادیر وزن تر برگ، به ترتیب در تیمارهای D1S1F12 (ظرفیت زراعی- کاربرد پلیمر سوپر جاذب- تیمار ترکیبی کود گرومور ۱ + لیفر آهن + لیفر روی) و D3S2F15 (۷۵ درصد تخلیه رطوبتی- عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب- عدم کاربرد مواد مغذی) به میزان ۲۰۷/۳۳ و ۸۹/۵۴ گرم در گیاه به دست آمد. در مورد وزن خشک برگ، بیشترین و کمترین مقادیر (۳۰/۱۱ - ۱۲/۸۱ گرم در گیاه)

و در نتیجه بیان ژن‌های دفاعی، محتوای مواد فیتوشیمیایی گیاه افزایش می‌یابد (Kulak, 2020).

غذایی، مسئول ارسال پیام‌های شیمیایی هستند که سبب پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی و تجمع فیتوالکسین می‌شوند. طی پاسخ به سیگنال ناشی از عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه فعال شده

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه آگاو

Table 4- Combined ANOVA (mean of squares) for morpho-physiological properties in <i>A. americana</i>									
منبع تغییرات SOV _e	DF _e	درجه آزادی	کلروفیل کل Total chlorophyll	طول برگ Leaf length	ضخامت برگ Leaf diameter	وزن خشک ریشه Dry root weight	وزن تر ریشه Fresh root weight	وزن خشک برگ Dry leaf weight	وزن تر برگ Fresh leaf weight
سال Year (Y)	1	4.4**	121.3**	444.5**	34.1 ^{ns}	1.5 ^{ns}	2.4 ^{ns}	41.5 ^{ns}	
تکرار در سال R (Y)	4	0.07	1.75	11.6	27.2	1.4	6.54	42.6	
آبیاری (A)	2	1.55**	897.2**	1365.2**	19084.2**	49.5**	882.1**	113.17**	
آبیاری × سال A × Y	2	3.3**	348.5**	465.1**	4367.2**	1.3 ^{ns}	18.4 ^{ns}	0.01 ^{ns}	
خطای کرت‌های اصلی (Ea)	8	0.06	14.4	12.1	37.3	0.88	12.2	1.45	
پلیمر سوپر جاذب (B)	1	2.14**	55.2**	12.12**	11.23**	18.12**	14.14**	22.14**	
پلیمر سوپر جاذب × سال B × Y	1	1.2**	24.2**	10.2**	4.2**	7.2**	5.2**	8.2**	
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب A × B	2	0.99**	17.2**	11.62**	3.31**	5.3**	4.3**	6.3**	
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب × سال A × B × Y	2	0.003 ^{ns}	0.24*	0.66*	0.009 ^{ns}	0.064 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.09 ^{ns}	
خطای کرت‌های فرعی (Eb)	12	0.004	0.077	0.12	0.011	0.034	0.023	0.05	
محلول‌یابی (C)	14	2.1**	8.23**	3.42**	1.1**	2.08**	1.88**	3.1**	
محلول‌یابی × سال C × Y	14	1.48**	7.23**	2.23**	0.99**	1.99**	1.34**	2.56**	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب C × B	14	1.09**	6.23**	1.43**	0.76**	1.02**	0.99**	1.26**	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × سال C × B × Y	14	0.96**	6.02**	1.08**	0.89**	0.97**	0.85**	1.02**	
محلول‌یابی × آبیاری C × A	28	0.75**	2.89**	2.44**	1.05**	1.77**	1.21**	2.44**	
محلول‌یابی × آبیاری × سال C × A × Y	28	0.007*	1.8*	0.22*	0.022 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.088 ^{ns}	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری C × B × A	28	0.006*	1.77*	0.26*	0.29**	0.38**	0.31**	0.44**	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری × سال C × B × A × Y	28	0.002 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.039 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.055 ^{ns}	
خطای کرت‌های فرعی (Ec)	336	0.003	1.12	0.11	0.026	0.062	0.056	0.081	
ضریب تغییرات CV (%)		9.9	17.2	12.4	10.5	15.5	14.1	11.1	

ns و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.
*, **, significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively, ns: non-significant.

جدول ۵- صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه آکاو تحت تأثیر تیمارهای مغذی، پلیمر سوپر جاذب و تنش خشکی در دو سال انجام تحقیق

تیمارها	وزن تر برگ (g.plant ⁻¹)	وزن خشک برگ (g.plant ⁻¹)	وزن ریشه (g.plant ⁻¹)	وزن خشک ریشه (g.plant ⁻¹)	ضخامت برگ (cm)	طول برگ (cm)	کلروفیل کل (mg.g ⁻¹ F.W)
DIS1F1	178.99±5.8 ^{abc}	19.67±0.93 ^d	14.04±0.53 ^b	2.46±0.11 ^b	0.27±0.01 ^{cd}	55.34±3.6 ^b	2.29±0.01 ^c
DIS1F2	175.55±6.8 ^b	19.05±0.82 ^d	12.88±0.38 ^c	2.54±0.16 ^b	0.28±0.03 ^d	58.98±2.2 ^b	2.23±0.03 ^c
DIS1F3	185.33±5.3 ^a	18.92±0.93 ^d	14.01±0.42 ^b	2.77±0.14 ^b	0.29±0.04 ^d	60.01±2.8 ^{ab}	2.48±0.02 ^b
DIS1F4	182.24±7.8 ^a	19.98±0.55 ^d	13.77±0.53 ^b	3.06±0.21 ^{ab}	0.32±0.02 ^c	56.89±1.9 ^b	2.27±0.01 ^c
DIS1F5	186.4±5.3 ^a	20.11±0.82 ^{cd}	13.99±0.49 ^b	3.04±0.11 ^a	0.31±0.01 ^c	57.99±3.6 ^b	2.45±0.03 ^b
DIS1F6	181.23±6.8 ^{ab}	18.09±0.73 ^d	14.72±0.42 ^b	3.01±0.16 ^a	0.27±0.02 ^{cd}	58.99±2.2 ^b	2.41±0.02 ^{bc}
DIS1F7	180.11±5.2 ^{ab}	17.77±0.93 ^d	15.77±0.38 ^b	2.99±0.25 ^{ab}	0.28±0.03 ^d	61.98±2.5 ^a	2.44±0.02 ^b
DIS1F8	178.99±6.5 ^{ab}	19.98±0.73 ^{cd}	16.99±0.53 ^a	3.01±0.14 ^{ab}	0.31±0.04 ^c	60.83±1.9 ^{ab}	2.47±0.01 ^b
DIS1F9	177.34±5.8 ^b	25.11±0.82 ^b	17.22±0.49 ^a	3.09±0.21 ^a	0.27±0.01 ^{cd}	59.44±2.8 ^b	2.49±0.02 ^b
DIS1F10	179.67±5.6 ^{ab}	23.43±0.55 ^c	17.56±0.42 ^a	3.12±0.11 ^a	0.28±0.02 ^d	60.11±3.6 ^a	2.56±0.03 ^b
DIS1F11	189.67±6.8 ^a	26.99±0.93 ^{ab}	18.22±0.38 ^a	3.29±0.16 ^a	0.26±0.03 ^c	62.11±1.9 ^a	2.64±0.02 ^a
DIS1F12	207.33±7.56 ^a	30.11±0.73 ^a	18.27±0.53 ^a	3.77±0.25 ^a	0.29±0.02 ^{cd}	64.55±3.7 ^a	2.81±0.01 ^a
DIS1F13	202.32±6.3 ^a	27.99±0.55 ^{ab}	18.01±0.49 ^a	3.55±0.14 ^a	0.28±0.01 ^d	53.66±2.2 ^c	2.57±0.03 ^{ab}
DIS1F14	199.34±5.8 ^a	28.01±0.93 ^a	18.21±0.42 ^a	3.41±0.25 ^a	0.29±0.04 ^{cd}	51.44±2.5 ^c	2.44±0.01 ^b
DIS1F15	170.65±6.2 ^b	22.12±0.82 ^c	12.11±0.53 ^c	2.33±0.11 ^{bc}	0.31±0.03 ^c	50.01±1.9 ^{cd}	2.27±0.02 ^c
DIS2F1	154.47±5.8 ^b	20.18±0.55 ^{cd}	12.98±0.38 ^c	2.22±0.14 ^c	0.27±0.02 ^{de}	49.04±3.6 ^d	2.39±0.01 ^{bc}
DIS2F2	168.43±4.1 ^b	24.33±0.73 ^b	14.22±0.42 ^b	2.32±0.21 ^{bc}	0.28±0.01 ^d	47.99±2.5 ^d	2.44±0.03 ^b
DIS2F3	160.45±5.1 ^b	25.66±0.93 ^b	14.66±0.49 ^b	2.56±0.16 ^b	0.29±0.04 ^{cd}	47.99±2.8 ^d	2.43±0.03 ^b
DIS2F4	165.65±5.8 ^b	21.33±0.82 ^c	14.67±0.53 ^b	2.42±0.11 ^b	0.31±0.04 ^c	48.99±2.2 ^d	2.42±0.02 ^b
DIS2F5	171.11±5.2 ^b	19.98±0.55 ^{cd}	15.33±0.38 ^b	2.11±0.21 ^c	0.29±0.03 ^{cd}	48.78±1.9 ^d	2.31±0.01 ^c
DIS2F6	149.88±5.3 ^c	18.99±0.73 ^d	11.77±0.33 ^c	2.22±0.14 ^c	0.28±0.02 ^d	50.88±3.6 ^c	2.2±0.03 ^c
DIS2F7	158.65±5.2 ^{bc}	20.12±0.55 ^c	12.88±0.42 ^{bc}	2.38±0.33 ^b	0.29±0.01 ^{cd}	51.99±2.5 ^c	2.33±0.03 ^c
DIS2F8	155.43±5.8 ^{bc}	22.44±0.82 ^c	13.45±0.53 ^b	2.69±0.25 ^b	0.27±0.04 ^d	53.44±2.5 ^c	2.44±0.02 ^b
DIS2F9	169.87±5.2 ^b	21.14±0.93 ^c	13.78±0.38 ^b	2.66±0.11 ^b	0.28±0.04 ^d	51.99±1.9 ^c	2.58±0.02 ^{ab}
DIS2F10	166.88±4.8 ^b	20.88±0.55 ^c	13.88±0.49 ^b	2.59±0.14 ^b	0.26±0.03 ^c	52.66±3.6 ^c	2.56±0.03 ^b
DIS2F11	171.11±7.8 ^b	20.88±0.82 ^c	14.99±0.53 ^b	2.76±0.21 ^b	0.25±0.04 ^c	54.99±2.2 ^{bc}	2.63±0.01 ^a
DIS2F12	185.33±6.1 ^{ab}	27.01±0.73 ^{ab}	15.99±0.38 ^{ab}	2.99±0.16 ^{ab}	0.29±0.01 ^{cd}	55.77±1.9 ^{bc}	2.74±0.02 ^a
DIS2F13	181.44±5.2 ^{ab}	24.33±0.77 ^b	14.33±0.42 ^b	2.88±0.11 ^b	0.28±0.02 ^d	56.01±2.5 ^{bc}	2.49±0.03 ^b
DIS2F14	176.77±3.8 ^b	22.08±0.97 ^c	13.55±0.49 ^b	2.66±0.33 ^b	0.27±0.01 ^{de}	55.78±3.6 ^{bc}	2.42±0.01 ^b
DIS2F15	155.77±6.8 ^c	20.24±0.93 ^c	12.45±0.53 ^c	2.26±0.25 ^c	0.28±0.02 ^d	52.11±2.8 ^c	2.19±0.02 ^{cd}
DIS2F16	159.88±6.4 ^c	22.24±0.77 ^c	15.77±0.38 ^b	2.33±0.14 ^b	0.27±0.03 ^{de}	47.72±1.9 ^d	2.27±0.03 ^c
DIS2F17	158.92±5.5 ^c	27.09±0.75 ^{ab}	14.99±0.42 ^b	2.43±0.16 ^b	0.28±0.04 ^d	46.99±2.2 ^d	2.26±0.01 ^c
DIS2F18	148.99±4.4 ^c	26.01±0.64 ^b	16.06±0.24 ^{ab}	2.31±0.11 ^b	0.29±0.01 ^d	47.44±3.6 ^d	2.15±0.02 ^d
DIS2F19	165.77±5.8 ^b	22.19±0.77 ^c	15.62±0.15 ^b	2.65±0.21 ^b	0.33±0.02 ^{bc}	48.14±2.8 ^d	2.29±0.03 ^c
DIS2F20	149.82±4.8 ^c	27.77±0.75 ^a	15.43±0.41 ^b	2.55±0.25 ^b	0.31±0.04 ^c	50.11±1.9 ^{cd}	2.41±0.01 ^b
DIS2F21	155.81±4.4 ^c	25.55±0.64 ^b	14.99±0.26 ^b	2.66±0.16 ^b	0.34±0.01 ^b	51.16±3.6 ^c	2.49±0.01 ^b
DIS2F22	164.32±4.1 ^b	28.78±0.77 ^a	15.54±0.24 ^b	2.77±0.11 ^b	0.33±0.02 ^b	49.99±2.5 ^{cd}	2.53±0.02 ^b
DIS2F23	178.93±6.4 ^b	26.67±0.64 ^b	16.86±0.15 ^a	2.89±0.14 ^{ab}	0.37±0.03 ^{ab}	58.99±2.2 ^b	2.49±0.03 ^b
DIS2F24	166.83±7.5 ^b	28.88±0.75 ^a	17.12±0.11 ^a	2.99±0.21 ^{ab}	0.32±0.02 ^c	55.59±2.5 ^c	2.6±0.02 ^{ab}
DIS2F25	156.88±5.8 ^{bc}	26.22±0.93 ^b	16.67±0.15 ^{ab}	3.23±0.16 ^a	0.33±0.01 ^{bc}	56.77±3.6 ^c	2.74±0.01 ^a
DIS2F26	182.44±4.8 ^{ab}	26.88±0.77 ^b	18.79±0.34 ^b	3.82±0.11 ^a	0.37±0.03 ^b	58.99±2.2 ^b	2.63±0.01 ^a
DIS2F27	177.66±3.2 ^{ab}	25.22±0.75 ^b	16.88±0.26 ^b	2.91±0.14 ^{ab}	0.33±0.02 ^{bc}	57.66±1.9 ^b	2.7±0.02 ^a
DIS2F28	166.54±4.3 ^b	21.77±0.64 ^c	15.32±0.15 ^b	2.77±0.11 ^b	0.38±0.04 ^{ab}	55.76±2.8 ^c	2.81±0.03 ^a
DIS2F29	143.21±4.1 ^c	18.09±0.93 ^d	11.99±0.24 ^c	2.01±0.25 ^c	0.36±0.01 ^b	52.14±3.6 ^c	2.16±0.01 ^d
DIS2F30	139.99±5.3 ^{cd}	21.88±0.75 ^c	9.11±0.11 ^d	1.69±0.16 ^d	0.4±0.04 ^a	44.98±2.2 ^{de}	2.03±0.02 ^a
DIS2F31	155.77±4.8 ^c	22.99±0.77 ^c	9.41±0.26 ^d	1.77±0.21 ^d	0.39±0.03 ^a	45.99±1.9 ^d	2.11±0.01 ^d
DIS2F32	143.66±4.8 ^c	25.01±0.64 ^b	9.55±0.15 ^d	1.95±0.14 ^c	0.36±0.04 ^b	46.66±2.8 ^d	2.17±0.03 ^{cd}
DIS2F33	140.99±4.3 ^c	24.11±0.75 ^b	9.77±0.24 ^d	1.93±0.11 ^c	0.33±0.02 ^{bc}	47.88±2.5 ^d	2.15±0.01 ^d
DIS2F34	151.44±4.8 ^c	22.78±0.77 ^c	9.88±0.11 ^d	1.89±0.25 ^{cd}	0.27±0.01 ^{de}	48.87±3.6 ^d	2.19±0.03 ^{cd}
DIS2F35	149.77±2.2 ^c	24.14±0.64 ^b	9.98±0.26 ^d	1.79±0.16 ^d	0.29±0.03 ^{cd}	49.33±1.9 ^{ad}	2.15±0.02 ^d

D2S2F7	144.66±2.8 ^c	24.34±0.75 ^b	10.12±0.24 ^e	1.88±0.14 ^{cd}	0.26±0.03 ^c	49.12±2.8 ^{cd}	2.08±0.01 ^a
D2S2F8	155.66±2.1 ^c	21.88±0.93 ^c	9.71±0.15 ^d	1.97±0.25 ^c	0.29±0.02 ^d	48.12±3.6 ^d	2.1±0.02 ^d
D2S2F9	160.88±5.1 ^b	21.78±0.77 ^c	9.62±0.11 ^d	2.01±0.21 ^c	0.27±0.01 ^{de}	47.77±2.2 ^d	2.2±0.03 ^c
D2S2F10	165.77±3.3 ^b	22.16±0.75 ^c	9.55±0.24 ^d	1.98±0.11 ^c	0.28±0.04 ^d	48.33±1.9 ^d	2.18±0.01 ^d
D2S2F11	166.77±5.2 ^b	24.33±0.64 ^b	10.99±0.26 ^c	1.93±0.16 ^c	0.27±0.03 ^{de}	51.12±3.6 ^e	2.17±0.01 ^d
D2S2F12	171.66±1.8 ^b	27.77±0.92 ^{ab}	11.01±0.11 ^c	1.88±0.25 ^c	0.38±0.02 ^{ab}	49.98±2.5 ^{cd}	2.21±0.02 ^{cd}
D2S2F13	170.76±2.8 ^b	25.43±0.77 ^b	10.15±0.15 ^c	1.98±0.14 ^c	0.34±0.01 ^b	50.01±2.8 ^c	2.16±0.03 ^d
D2S2F14	169.99±3.5 ^b	25.12±0.64 ^b	9.14±0.24 ^d	1.99±0.21 ^c	0.32±0.04 ^c	50.12±3.6 ^c	2.14±0.01 ^d
D2S2F15	133.12±2.5 ^{de}	16.01±0.75 ^{de}	8.81±0.26 ^d	1.81±0.11 ^d	0.33±0.03 ^c	43.15±1.9 ^e	2.02±0.02 ^d
D3S1F1	119.88±5.4 ^{de}	20.99±0.32 ^c	10.04±0.11 ^c	1.74±0.16 ^d	0.25±0.02 ^c	45.98±2.2 ^d	2.14±0.03 ^d
D3S1F2	134.12±3.2 ^c	21.78±0.55 ^c	10.22±0.15 ^c	1.68±0.33 ^d	0.26±0.01 ^c	47.77±3.6 ^d	2.15±0.03 ^d
D3S1F3	128.99±1.8 ^d	23.45±0.19 ^c	10.32±0.24 ^c	1.77±0.14 ^d	0.27±0.01 ^c	48.22±2.5 ^d	2.11±0.01 ^d
D3S1F4	127.88±2.3 ^d	21.55±0.14 ^c	10.09±0.26 ^c	1.88±0.21 ^d	0.29±0.02 ^{cd}	50.11±1.9 ^e	2.08±0.02 ^d
D3S1F5	122.66±2.2 ^d	21.09±0.32 ^c	9.54±0.11 ^d	1.89±0.11 ^d	0.28±0.03 ^d	49.99±3.6 ^{cd}	2.08±0.01 ^d
D3S1F6	132.44±2.8 ^d	20.78±0.55 ^c	9.77±0.24 ^d	1.73±0.16 ^d	0.34±0.04 ^b	48.93±2.5 ^d	2.16±0.02 ^d
D3S1F7	136.77±1.8 ^d	24.55±0.27 ^b	9.98±0.26 ^d	1.77±0.14 ^d	0.36±0.03 ^b	49.91±2.8 ^{cd}	2.13±0.03 ^d
D3S1F8	131.44±2.5 ^d	22.34±0.32 ^c	10.15±0.11 ^c	1.72±0.11 ^d	0.33±0.02 ^c	49.88±3.6 ^{cd}	2.12±0.03 ^d
D3S1F9	129.66±2.3 ^d	20.99±0.55 ^c	10.11±0.15 ^c	1.79±0.25 ^d	0.34±0.01 ^b	48.88±2.5 ^{cd}	2.1±0.01 ^d
D3S1F10	133.66±1.3 ^d	22.45±0.14 ^c	10.32±0.24 ^c	1.88±0.16 ^{cd}	0.36±0.04 ^b	50.22±2.5 ^c	2.14±0.02 ^d
D3S1F11	135.77±2.3 ^{cd}	25.47±0.32 ^b	10.22±0.11 ^c	1.93±0.21 ^c	0.37±0.04 ^{ab}	51.11±3.6 ^e	2.21±0.03 ^{cd}
D3S1F12	144.34±1.3 ^c	27.89±0.27 ^{ab}	10.34±0.15 ^c	1.99±0.14 ^c	0.39±0.02 ^a	52.12±1.9 ^e	2.23±0.01 ^c
D3S1F13	139.88±1.8 ^c	24.45±0.14 ^b	9.15±0.26 ^d	1.97±0.11 ^c	0.38±0.01 ^{ab}	48.88±2.2 ^d	2.16±0.03 ^d
D3S1F14	134.56±2.2 ^{cd}	25.56±0.55 ^b	8.99±0.24 ^d	1.92±0.16 ^c	0.37±0.04 ^{ab}	48.12±2.8 ^d	2.13±0.02 ^d
D3S1F15	101.34±2.8 ^e	14.41±0.14 ^e	8.77±0.11 ^d	1.81±0.25 ^d	0.31±0.03 ^c	44.66±3.6 ^e	2±0.03 ^{de}
D3S2F1	104.33±2.1 ^e	17.89±0.27 ^d	9.12±0.15 ^d	1.69±0.21 ^d	0.25±0.02 ^c	45.12±3.4 ^{de}	2.1±0.01 ^d
D3S2F2	99.98±1.8 ^{cd}	16.43±0.32 ^d	9.55±0.26 ^d	1.77±0.14 ^d	0.28±0.01 ^d	44.23±1.9 ^e	2.01±0.03 ^{de}
D3S2F3	106.55±2.5 ^e	18.88±0.55 ^d	8.77±0.11 ^d	1.81±0.16 ^d	0.27±0.04 ^{de}	46.33±2.2 ^d	2.02±0.02 ^d
D3S2F4	107.55±2.8 ^e	16.89±0.32 ^d	9.88±0.24 ^d	1.74±0.11 ^d	0.28±0.01 ^d	44.12±2.5 ^e	2.06±0.01 ^d
D3S2F5	118.77±3.8 ^e	14.99±0.27 ^e	9.14±0.26 ^d	1.73±0.25 ^d	0.27±0.02 ^{de}	46.88±2.5 ^d	2.15±0.03 ^d
D3S2F6	119.45±2.3 ^{cd}	15.58±0.14 ^e	9.22±0.15 ^d	1.71±0.21 ^d	0.27±0.02 ^{de}	47.13±3.6 ^d	2.17±0.03 ^d
D3S2F7	116.55±2.8 ^e	16.67±0.32 ^e	9.14±0.11 ^d	1.69±0.16 ^d	0.26±0.04 ^e	46.88±1.9 ^d	2.07±0.01 ^d
D3S2F8	118.92±2.5 ^e	17.77±0.27 ^d	8.92±0.24 ^d	1.77±0.14 ^d	0.25±0.04 ^e	46.99±2.8 ^d	2.15±0.02 ^d
D3S2F9	114.62±2.4 ^e	18.44±0.55 ^d	8.77±0.26 ^d	1.79±0.11 ^d	0.29±0.01 ^d	44.88±3.6 ^e	2.12±0.03 ^d
D3S2F10	106.88±2.1 ^e	19.43±0.32 ^d	9.87±0.15 ^d	1.81±0.33 ^d	0.22±0.02 ^c	46.55±2.2 ^d	2.2±0.03 ^c
D3S2F11	108.66±2.2 ^e	18.99±0.27 ^d	9.14±0.24 ^d	1.98±0.16 ^d	0.28±0.03 ^d	47.77±2.5 ^d	2.12±0.01 ^d
D3S2F12	121.67±1.8 ^d	22.99±0.14 ^c	10.11±0.12 ^c	2.01±0.25 ^c	0.29±0.04 ^d	49.66±2.5 ^{cd}	2.23±0.03 ^c
D3S2F13	98.44±2.9 ^{cd}	14.42±0.32 ^e	9.99±0.11 ^{cd}	1.99±0.21 ^{cd}	0.28±0.01 ^d	48.12±1.9 ^d	2.19±0.02 ^{cd}
D3S2F14	99.81±2.1 ^c	13.39±0.27 ^e	9.89±0.15 ^d	1.88±0.14 ^{cd}	0.27±0.02 ^d	47.13±2.8 ^d	2.12±0.01 ^d
D3S2F15	89.54±2.8 ^d	12.81±0.55 ^e	8.18±0.14 ^d	1.62±0.11 ^d	0.24±0.01 ^e	41.12±3.3 ^e	1.95±0.01 ^e

D* سطوح تنش خشکی [میزان تبخیر از تشت تبخیر در سطح ظرفیت مزاجه (D1) و ۵۰ درصد (D2) و ۷۵ درصد تبخیر رطوبتی (D3)]، S: سطوح پلیمر سوپر جاذب [استفاده (S1) و عدم استفاده (S2)]، F: استفاده از کودهای شیمیایی [کودهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۶۶، ۲۶۷، ۲۶۸، ۲۶۹، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۶، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۷، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۱۴، ۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۱۹، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳، ۳۲۴، ۳۲۵، ۳۲۶، ۳۲۷، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴، ۳۳۵، ۳۳۶، ۳۳۷، ۳۳۸، ۳۳۹، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۳، ۳۴۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۷، ۳۴۸، ۳۴۹، ۳۵۰، ۳۵۱، ۳۵۲، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۵۸، ۳۵۹، ۳۶۰، ۳۶۱، ۳۶۲، ۳۶۳، ۳۶۴، ۳۶۵، ۳۶۶، ۳۶۷، ۳۶۸، ۳۶۹، ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۲، ۳۷۳، ۳۷۴، ۳۷۵، ۳۷۶، ۳۷۷، ۳۷۸، ۳۷۹، ۳۸۰، ۳۸۱، ۳۸۲، ۳۸۳، ۳۸۴، ۳۸۵، ۳۸۶، ۳۸۷، ۳۸۸، ۳۸۹، ۳۹۰، ۳۹۱، ۳۹۲، ۳۹۳، ۳۹۴، ۳۹۵، ۳۹۶، ۳۹۷، ۳۹۸، ۳۹۹، ۴۰۰، ۴۰۱، ۴۰۲، ۴۰۳، ۴۰۴، ۴۰۵، ۴۰۶، ۴۰۷، ۴۰۸، ۴۰۹، ۴۱۰، ۴۱۱، ۴۱۲، ۴۱۳، ۴۱۴، ۴۱۵، ۴۱۶، ۴۱۷، ۴۱۸، ۴۱۹، ۴۲۰، ۴۲۱، ۴۲۲، ۴۲۳، ۴۲۴، ۴۲۵، ۴۲۶، ۴۲۷، ۴۲۸، ۴۲۹، ۴۳۰، ۴۳۱، ۴۳۲، ۴۳۳، ۴۳۴، ۴۳۵، ۴۳۶، ۴۳۷، ۴۳۸، ۴۳۹، ۴۴۰، ۴۴۱، ۴۴۲، ۴۴۳، ۴۴۴، ۴۴۵، ۴۴۶، ۴۴۷، ۴۴۸، ۴۴۹، ۴۵۰، ۴۵۱، ۴۵۲، ۴۵۳، ۴۵۴، ۴۵۵، ۴۵۶، ۴۵۷، ۴۵۸، ۴۵۹، ۴۶۰، ۴۶۱، ۴۶۲، ۴۶۳، ۴۶۴، ۴۶۵، ۴۶۶، ۴۶۷، ۴۶۸، ۴۶۹، ۴۷۰، ۴۷۱، ۴۷۲، ۴۷۳، ۴۷۴، ۴۷۵، ۴۷۶، ۴۷۷، ۴۷۸، ۴۷۹، ۴۸۰، ۴۸۱، ۴۸۲، ۴۸۳، ۴۸۴، ۴۸۵، ۴۸۶، ۴۸۷، ۴۸۸، ۴۸۹، ۴۹۰، ۴۹۱، ۴۹۲، ۴۹۳، ۴۹۴، ۴۹۵، ۴۹۶، ۴۹۷، ۴۹۸، ۴۹۹، ۵۰۰، ۵۰۱، ۵۰۲، ۵۰۳، ۵۰۴، ۵۰۵، ۵۰۶، ۵۰۷، ۵۰۸، ۵۰۹، ۵۱۰، ۵۱۱، ۵۱۲، ۵۱۳، ۵۱۴، ۵۱۵، ۵۱۶، ۵۱۷، ۵۱۸، ۵۱۹، ۵۲۰، ۵۲۱، ۵۲۲، ۵۲۳، ۵۲۴، ۵۲۵، ۵۲۶، ۵۲۷، ۵۲۸، ۵۲۹، ۵۳۰، ۵۳۱، ۵۳۲، ۵۳۳، ۵۳۴، ۵۳۵، ۵۳۶، ۵۳۷، ۵۳۸، ۵۳۹، ۵۴۰، ۵۴۱، ۵۴۲، ۵۴۳، ۵۴۴، ۵۴۵، ۵۴۶، ۵۴۷، ۵۴۸، ۵۴۹، ۵۵۰، ۵۵۱، ۵۵۲، ۵۵۳، ۵۵۴، ۵۵۵، ۵۵۶، ۵۵۷، ۵۵۸، ۵۵۹، ۵۶۰، ۵۶۱، ۵۶۲، ۵۶۳، ۵۶۴، ۵۶۵، ۵۶۶، ۵۶۷، ۵۶۸، ۵۶۹، ۵۷۰، ۵۷۱، ۵۷۲، ۵۷۳، ۵۷۴، ۵۷۵، ۵۷۶، ۵۷۷، ۵۷۸، ۵۷۹، ۵۸۰، ۵۸۱، ۵۸۲، ۵۸۳، ۵۸۴، ۵۸۵، ۵۸۶، ۵۸۷، ۵۸۸، ۵۸۹، ۵۹۰، ۵۹۱، ۵۹۲، ۵۹۳، ۵۹۴، ۵۹۵، ۵۹۶، ۵۹۷، ۵۹۸، ۵۹۹، ۶۰۰، ۶۰۱، ۶۰۲، ۶۰۳، ۶۰۴، ۶۰۵، ۶۰۶، ۶۰۷، ۶۰۸، ۶۰۹، ۶۱۰، ۶۱۱، ۶۱۲، ۶۱۳، ۶۱۴، ۶۱۵، ۶۱۶، ۶۱۷، ۶۱۸، ۶۱۹، ۶۲۰، ۶۲۱، ۶۲۲، ۶۲۳، ۶۲۴، ۶۲۵، ۶۲۶، ۶۲۷، ۶۲۸، ۶۲۹، ۶۳۰، ۶۳۱، ۶۳۲، ۶۳۳، ۶۳۴، ۶۳۵، ۶۳۶، ۶۳۷، ۶۳۸، ۶۳۹، ۶۴۰، ۶۴۱، ۶۴۲، ۶۴۳، ۶۴۴، ۶۴۵، ۶۴۶، ۶۴۷، ۶۴۸، ۶۴۹، ۶۵۰، ۶۵۱، ۶۵۲، ۶۵۳، ۶۵۴، ۶۵۵، ۶۵۶، ۶۵۷، ۶۵۸، ۶۵۹، ۶۶۰، ۶۶۱، ۶۶۲، ۶۶۳، ۶۶۴، ۶۶۵، ۶۶۶، ۶۶۷، ۶۶۸، ۶۶۹، ۶۷۰، ۶۷۱، ۶۷۲، ۶۷۳، ۶۷۴، ۶۷۵، ۶۷۶، ۶۷۷، ۶۷۸، ۶۷۹، ۶۸۰، ۶۸۱، ۶۸۲، ۶۸۳، ۶۸۴، ۶۸۵، ۶۸۶، ۶۸۷، ۶۸۸، ۶۸۹، ۶۹۰، ۶۹۱، ۶۹۲، ۶۹۳، ۶۹۴، ۶۹۵، ۶۹۶، ۶۹۷، ۶۹۸، ۶۹۹، ۷۰۰، ۷۰۱، ۷۰۲، ۷۰۳، ۷۰۴، ۷۰۵، ۷۰۶، ۷۰۷، ۷۰۸، ۷۰۹، ۷۱۰، ۷۱۱، ۷۱۲، ۷۱۳، ۷۱۴، ۷۱۵، ۷۱۶، ۷۱۷، ۷۱۸، ۷۱۹، ۷۲۰، ۷۲۱، ۷۲۲، ۷۲۳، ۷۲۴، ۷۲۵، ۷۲۶، ۷۲۷، ۷۲۸، ۷۲۹، ۷۳۰، ۷۳۱، ۷۳۲، ۷۳۳، ۷۳۴، ۷۳۵، ۷۳۶، ۷۳۷، ۷۳۸، ۷۳۹، ۷۴۰، ۷۴۱، ۷۴۲، ۷۴۳، ۷۴۴، ۷۴۵، ۷۴۶، ۷۴۷، ۷۴۸، ۷۴۹، ۷۵۰، ۷۵۱، ۷۵۲، ۷۵۳، ۷۵۴، ۷۵۵، ۷۵۶، ۷۵۷، ۷۵۸، ۷۵۹، ۷۶۰، ۷۶۱، ۷۶۲، ۷۶۳، ۷۶۴، ۷۶۵، ۷۶۶، ۷۶۷، ۷۶۸، ۷۶۹، ۷۷۰، ۷۷۱، ۷۷۲، ۷۷۳، ۷۷۴، ۷۷۵، ۷۷۶، ۷۷۷، ۷۷۸، ۷۷۹، ۷۸۰، ۷۸۱، ۷۸۲، ۷۸۳، ۷۸۴، ۷۸۵، ۷۸۶، ۷۸۷، ۷۸۸، ۷۸۹، ۷۹۰، ۷۹۱، ۷۹۲، ۷۹۳، ۷۹۴، ۷۹۵، ۷۹۶، ۷۹۷، ۷۹۸، ۷۹۹، ۸۰۰، ۸

میلی گرم در گرم وزن خشک)، پروتئین ریشه (۶/۴۷ میلی گرم در گرم وزن خشک) در گیاهان تحت تیمارهای D3S2F15، D2S2F15 به دست آمد که نشانگر اثر کاهنده معنادار تنش خشکی شدید (۷۵ درصد تخلیه رطوبتی-D3) و نیز عدم کاربرد کودهای مغذی (F15) و عدم مصرف پلیمر سوپر جاذب (S2) می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که بیشترین اثرگذاری تیمارهای برتر (گرومور ۱ + لیفر آهن + لیفر روی و گرومور ۲ + لیفر آهن + لیفر روی) بر مقادیر ساپونین، پروتئین برگ و پروتئین ریشه بوده است که رشدی بیش از دو برابر را ایجاد نمود (جدول ۷). مشخص گردید که سال تأثیر معنی داری بر صفات کلروفیل کل، طول برگ، ضخامت برگ، مقادیر ساپونین، پروتئین برگ، پروتئین ریشه و آهن برگ داشت و در سایر صفات نیز اغلب برهم کنش هر کدام از تیمارهای آبیاری، پلیمر سوپر جاذب، محلول پاشی کودهای کامل و یا ریزمغذی های آهن و روی با سال بر آن ها معنی دار بود (جدول ۴ و ۶).

در پژوهش حاضر، مقادیر تجمع نیتروژن در ریشه ها و برگ ها منجر به افزایش پروتئین ها، هکوزئین و ساپونین شد. به نظر می رسد که افزایش عناصر مغذی به ویژه نیتروژن منجر به افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در برگ ها گردید و در ادامه شدت رشد در ساختار گیاهی افزایش یافت. افزایش جذب نیتروژن و سنتز پروتئین ها و ترکیبات مورد ارزیابی از اثرات مفید کاربرد کودهای مورد تحقیق بوده است که با نتایج محققان قبلی انطباق دارد (Han et al., 2022). کمبود عناصر ریزمغذی به علت تأثیر سوء بر بیوسنتز اکسین می تواند منجر به کاهش ارتفاع ساقه و عملکرد گیاه شود (Fathi et al., 2017). افزایش تجمع نیتروژن منجر به افزایش اسیدهای فنولیک می شود که این ترکیبات با داشتن ساختار ویژه، دارای پتانسیل بالایی برای برهم کنش با پروتئین های مختلف از جمله آنزیم ها می باشند. به همین دلیل آن ها می توانند باعث ممانعت از فعالیت آنزیم هایی مانند ایزوفرم های مختلف سیتوکرم P₄₅₀، سیکلو اکسیژناز، الکل دهیدروژناز، لیپو-اکسیژناز و زانتین اکسیداز شوند که در طی فعالیت خود، میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش صفات رشدی گیاه از جمله مقادیر کلروفیل و عملکرد گیاه می شوند (Thakur & Kumar, 2020).

در تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه اثرگذاری عناصر پرمصرف و کم مصرف روی گیاهان مختلف دارویی نعنای فلفلی (Mentha piperita L.) (Mahmodi et al., 2020)، گونه های مرزه (Satureja) (Babalar et al., 2020; Yadegari, 2022b; Bani) (Thymus) (Yadegari, 2022c)، آویشن (Taba et al., 2025)، استفاده از عناصر ریزمغذی و کود کامل NPK، ریحان (Aghaei et al., 2022; Asgarian et al.) (Ocimum sativum L.)

در میان صفات فیزیولوژیکی، بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمارهای کود گرومور حاصل شد که نقش تغذیه ای کودهای کامل را نشان می دهد (Yadegari, 2022c; Almrani, 2019). در یک نگاه کلی و از منظر فیزیولوژیکی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از کودهای حاوی NPK باعث کاهش نسبی نیتروژن ریشه و در مقابل افزایش نیتروژن برگ ها شد که مشخص می کند اعمال کود، سیستم انتقال مواد نیتروژنه از ریشه به برگ ها را تقویت می نماید، هرچند که مقادیر نیتروژن برگ و ریشه در زمان تنش شدید، بسیار کمتر از سایر سطوح رطوبتی بود. استفاده از عناصر غذایی باعث افزایش سطح برگ می شود که این امر به تولید بیشتر مواد سنتزی منجر می گردد. همچنین با افزایش سطح برگ، تعداد روزنه به عنوان محل ورود دی اکسید کربن بیشتر شده و متعاقب آن ساخت گلوکز به عنوان پیش ماده مناسب در ساخت ترکیبات ثانویه گیاه به عنوان نتیجه فرایند فتوسنتز زیاد شده و در نتیجه عملکرد کمی و کیفی گیاه ارتقاء می یابد (Sasani et al., 2021). نتایج این پژوهش در تطابق با گزارش های سایر محققان است (Albergaria et al., 2020; Alizadeh et al., 2020). با توجه به نقش محرک رشدی کودهای مورد استفاده در افزایش سبزینه گیاه و به تبع آن افزایش فتوسنتز، بدیهی است که متعاقب آن میزان مواد مؤثره گیاهی بیشتر می شود (Yadegari, 2022b; Marschner, 1995). در این پژوهش، ارتباط مستقیم و مثبت صفات ریخت شناختی مورد ارزیابی با مقادیر برخی از صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی تحت تأثیر اعمال تیمارهای مختلف به دست آمد که با نتایج دیگر محققان تا حد زیادی مطابقت دارد (Jokar et al., 2021; Álvarez-Chávez et al., 2021).

صفات فیتوشیمیایی

نتایج تجزیه مرکب اطلاعات برآمده از پژوهش حاضر نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد استفاده بر صفات مورد بررسی معنی دار بود (جدول ۶). بیشترین مقادیر صفات هکوزئین (۳۵/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، ساپونین (۶۶۱۶۴/۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، پروتئین برگ (۲۵/۳۴ میلی گرم در گرم وزن خشک)، پروتئین ریشه (۱۶/۹۹ میلی گرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D3S1F14، D2S1F14، D1S1F12 به دست آمد که نشانگر اثرگذاری مطلوب تیمارهای مغذی (گرومور ۱ + لیفر آهن + لیفر روی، گرومور ۲ + لیفر آهن + لیفر روی) و نیز وجود پلیمر سوپر جاذب بر صفات مورد ارزیابی است. از سوی دیگر، کمترین مقادیر صفات هکوزئین (۲۱/۸۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، ساپونین (۲۲۱۳۴/۳ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، پروتئین برگ (۱۰/۱۱)

پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و سرانجام تجزیه شیمیایی آن‌ها می‌شود. در شرایط کمبود آب، به علت صدمات متابولیکی و تغییر سطح متابولیت‌های مربوطه، تثبیت دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، کمبود آب عموماً باعث تخریب و شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل شده و مقدار فعالیت آنزیم‌ها را طی فرآیند فتوسنتز کاهش می‌دهد (Danesh Shahraki et al., 2023; Sasani et al., 2021). کاهش کلروفیل کل در هنگام کمبود آب همچنین ممکن است به دلیل تغییر در مجموعه‌های لیپید-پروتئین و کاهش سنتز کمپلکس‌های رنگدانه‌ای و یا تخریب کمپلکس‌های پروتئین-رنگدانه به دام‌اندازنده نور و یا به دلیل تخریب اکسیداتیو لیپیدها و پروتئین‌های کلروپلاست باشد (Esch et al., 2019; Caser et al., 2019). گزارش‌های دیگر نشان داد که کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن است که موجب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌شود (Fariaszewska et al., 2020). با افزایش شدت کمبود آب به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) از میزان کلروفیل کل کاسته شد. دلیل دیگر کاهش کلروفیل برگ‌ها، تغییر متابولیسم نیتروژن و استفاده بیشتر از گلوتامات است (Caser et al., 2019). به عبارتی، کاهش مقدار کلروفیل به هنگام تنش کمبود آب می‌تواند به دلیل تحریک آنزیم بیوسنتز پرولین یعنی گلوتامیل کیناز^۱ در پتانسیل آبی پایین باشد. با افزایش تبدیل گلوتامات به پرولین در هنگام تنش خشکی، در واقع گلوتامات که پیش‌ساز کلروفیل نیز می‌باشد، از دسترس خارج شده و سنتز کلروفیل‌ها دچار نقصان می‌شود. به عبارتی، کاهش سنتز کلروفیل می‌تواند به علت کاهش تجمع اسید آمینولولیتیک^۲ باشد. این اسید پیش‌ساز کلروفیل است که در معرض نور به کلروفیل تبدیل می‌شود و در تنش خشکی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، فعالیت آنزیم گلوتامات کیناز که اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل است، با تنش خشکی بسیار کاهش می‌یابد (Esch et al., 2019). تنظیم اسمزی و سایر پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تنش خشکی ممکن است سازگاری کوتاه‌مدت در برابر کمبود آب موقت را فراهم کند. با این حال، این راهبردها ممکن است برای غلبه بر تنش شدید در طول دوره طولانی خشک‌سالی کافی نباشد (Danesh Shahraki et al., 2023).

(al., 2019)، زرین گیاه (*Dracocephalum kotschy* Boiss.) استفاده از غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر از عناصر ریزمغذی آهن و روی، گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) (Yadegari, 2024a) و شوید (*Anethum graveolens* L.) (Yadegari, 2024b) (Javadi et al., 2021) کاربرد کود کامل NPK؛ بیشترین عملکرد کمی و کیفی را در گیاهان مورد بررسی ایجاد نموده است. فتوسنتز از جمله مهم‌ترین واکنش‌های حیاتی در گیاه می‌باشد که نقش تعیین‌کننده در عملکرد و همچنین خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارد. استفاده از ترکیبات محرک رشد، به گیاه کمک می‌کند تا بر عوامل بازدارنده رشدی از جمله تنش خشکی غلبه کند. این ترکیبات با تحت تأثیر قرار دادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Marschner, 1995). کاربرد پلیمر سوپر جاذب با ایجاد شرایط رشدی مناسب و جلوگیری از ایجاد تنش آب برای رشد و نمو منجر به افزایش جذب آب و املاح، فتوسنتز و در نهایت رشد و عملکرد گردید که این مسأله در افزایش صفات مورد بررسی مشاهده شد. اثرگذاری مطلوب و معنی‌دار پلیمر سوپر جاذب در گیاهان مختلف دارویی و زینتی از جمله گیاه کبر (*Capparis spinosa* L.) (Bagherifard et al., 2020)، مرزه رشینگری (*Beiranvandi et al., 2020*) (*Satureja rechingeri* Jamzad.)، رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) (Rezaee & Pirzad, 2020)، زیره سبز (*Carum carvi* L.) (RafeolHoseini, 2017) (*Setaria italica*) (et al., 2017)، ارزن دم روباهی (Hoseini et al., 2020) گزارش شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که تنش کم‌آبی بر تمام صفات مورد ارزیابی اثر معنی‌داری داشته است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش رطوبت یا به عبارتی افزایش فواصل آبیاری، صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی آگاو در تنش شدید (تخلیه رطوبتی ۷۵ درصد) کاهش چشم‌گیری به‌ویژه در شرایط عدم استفاده از تیمار پلیمر سوپر جاذب یافتند که نشان‌دهنده کاهش تقسیم و رشد سلولی گیاه در طی کمبود آب می‌باشد. اثر تنش آبی بر توسعه دیواره سلولی در اثر فشار تورژسانس صورت می‌گیرد. بنابراین هر کاهشی در فشار تورژسانس که ناشی از عدم تعادل در وضعیت آب گیاه باشد منجر به کاهش رشد و حتی در صورت شدید بودن خشکی موجب توقف رشد می‌شود (Kulak, 2020). با توجه به تحمل بالای این گیاه به خشکی (Álvarez-Chávez et al., 2021)، بیشترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی در هر دو سال انجام تحقیق در رطوبت زراعی و تخلیه رطوبتی ۵۰ درصد به دست آمد و پس از آن کاهش نسبی در مقادیر، محرز بود. کاهش کلروفیل در شرایط خشکی تا حدودی به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن است که باعث

1- Glutamyl kinase

2- Aminolevulinic acid

جدول ۶ - تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه آگاو (*A. americana*)
Table 6- Combined ANOVA (mean of squares) for physiological and phytochemical properties in *A. americana*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	آهن ریشه Iron of root ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	آهن برگ Iron of leaf ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	روی ریشه Zinc of root ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	روی برگ Zinc of leaf ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	پروتئین ریشه Protein of root (mg.g^{-1} D.W)	پروتئین برگ Protein of leaf (mg.g^{-1} D.W)	نیترژن ریشه Nitrogen of root (mg.g^{-1} D.W)	نیترژن برگ Nitrogen of leaf (mg.g^{-1} D.W)	ساپونین Saponin (mg.kg^{-1} F.W)	هکونین Hecogenin (mg.kg^{-1} F.W)
سال Year (Y)	1	1.9 ^{ns}	44.9 ^{**}	4.3 ^{ns}	4.4 ^{ns}	3.21 ^{**}	27.5 ^{**}	0.65 ^{ns}	1.5 ^{ns}	88.5 ^{**}	0.21 ^{ns}
تکرار در سال R (Y)	4	1.17	3.32	2.52	2.74	0.12	0.23	0.88	0.99	0.77	0.12
آبیاری (A)	2	88.4 ^{**}	29.4 ^{**}	144.4 ^{**}	188.9 ^{**}	22.5 ^{**}	35.2 ^{**}	33.61 ^{**}	25.4 ^{**}	33.5 ^{**}	28.5 ^{**}
آبیاری × سال A × Y	2	1.2 ^{ns}	32.77 ^{**}	6.87 ^{ns}	23.2 ^{ns}	18.54 ^{**}	23.44 ^{**}	3.11 ^{ns}	0.8 ^{ns}	66.8 ^{**}	0.54 ^{ns}
خطای کرت‌های اصلی (Ea)	8	7.24	2.17	16.4	17.6	0.66	0.88	2.1	1.12	1.6	1.89
پلیمر سوپر جاذب (B)	1	6.62 ^{**}	5.14 ^{**}	7.12 ^{**}	5.76 ^{**}	8.76 ^{**}	8.56	9.2 ^{**}	8.2 ^{**}	14.14 ^{**}	12.23 ^{**}
پلیمر سوپر جاذب × سال B × Y	1	7.2 ^{**}	4.2 ^{**}	6.2 ^{**}	7.2 ^{**}	9.2 ^{**}	6.2 ^{**}	8.2 ^{**}	6.2 ^{**}	11.2 ^{**}	5.2 ^{**}
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب A × B	2	8.3 ^{**}	3.3 ^{**}	5.3 ^{**}	8.3 ^{**}	8.3 ^{**}	7.3 ^{**}	7.3 ^{**}	5.3 ^{**}	10.3 ^{**}	4.3 ^{**}
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب × سال A × B × Y	2	3.19 [*]	0.012 ^{ns}	2.21 [*]	0.012 ^{ns}	0.48 [*]	0.11 ^{ns}	0.51 [*]	0.011 ^{ns}	0.48 [*]	0.012 ^{ns}
خطای کرت‌های فرعی (Eb)	12	0.77	0.023	0.55	0.015	0.12	0.12	0.12	0.015	0.12	0.011
محل‌یابی (C)	14	2.06 ^{**}	1.22 ^{**}	3.37 ^{**}	1.64 ^{**}	5.11 ^{**}	1.22 ^{**}	3.55 ^{**}	21.22 ^{**}	4.11 ^{**}	2.22 ^{**}
محل‌یابی × سال C × Y	14	1.11 ^{**}	0.99 ^{**}	2.55 ^{**}	2.04 ^{**}	4.11 ^{**}	1.99 ^{**}	2.44 ^{**}	4.99 ^{**}	2.11 ^{**}	0.99 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب C × B	14	1.09 ^{**}	0.74 ^{**}	3.21 ^{**}	0.99 ^{**}	4.21 ^{**}	1.88 ^{**}	1.77 ^{**}	3.88 ^{**}	1.21 ^{**}	0.88 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × سال C × B × Y	14	1.08 ^{**}	1.11 ^{**}	2.08 ^{**}	1.33 ^{**}	2.33 ^{**}	0.15 ^{**}	1.65 ^{**}	3.15 ^{**}	1.08 ^{**}	1.15 ^{**}
محل‌یابی × آبیاری C × A	28	1.98 ^{**}	0.88 ^{**}	1.98 ^{**}	0.88 ^{**}	3.98 ^{**}	0.88 ^{**}	2.42 ^{**}	2.99 ^{**}	2.98 ^{**}	0.99 ^{**}
محل‌یابی × آبیاری × سال C × A × Y	28	0.88 ^{**}	0.55 ^{**}	0.88 ^{**}	0.55 ^{**}	2.88 ^{**}	0.77 ^{**}	0.79 ^{**}	2.25 ^{**}	0.88 ^{**}	0.025 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری C × B × A	28	0.37 [*]	0.66 ^{**}	0.29 [*]	0.002 [*]	0.26 [*]	0.66 ^{**}	0.19 [*]	1.45 ^{**}	0.29 [*]	0.45 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری × سال C × B × A × Y	28	0.36 [*]	0.001 ^{ns}	0.27 [*]	0.001 ^{ns}	0.23 [*]	0.001 ^{ns}	0.21 [*]	0.001 ^{ns}	0.21 [*]	0.001 ^{ns}
خطای کرت‌های فرعی (Ec)	336	0.22	0.001	0.23	0.001	0.14	0.005	0.11	0.044	0.14	0.002
ضرب تغییرات CV (%)		7.61	8.65	7.61	8.11	10.22	9.11	7.32	5.65	7.61	8.65

ns و ** پدیده‌ی معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار
*، **، ns: significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively, ns: non-significant.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه آگاو تحت تاثیر تیمارهای مغذی، پلیمر سوربر جاذب و تنش خشکی در دو سال انجام تحقیق

Table 7- Means comparisons of physiological and phytochemical properties in *A. americana* plants affected by fertilizers, superabsorbent nano-polymer and drought stress

تیمارها	هکوترین	ساپونین	نیترژن برگ	نیترژن ریشه	پروتئین برگ	پروتئین ریشه	پروتئین برگ	Zinc of leaf	روی ریشه	Iron of leaf	اهن برگ	Iron of root	اهن ریشه
D1S1F1	32.99±1.2 ^{ab}	58938.3±1181.4 ^a	1.11±0.01 ^a	0.99±0.03 ^c	18.78±0.55 ^c	14.12±0.66 ^b	49.87±1.4 ^c	29.81±0.59 ^{cd}	74.24±0.95 ^b	44.11±0.91 ^{ab}			
D1S1F2	32.88±1.4 ^a	57293.34±1181.9 ^a	1.15±0.03 ^{ab}	0.98±0.01 ^c	18.99±0.41 ^{bc}	14.33±0.47 ^b	47.44±1.1 ^d	27.41±0.85 ^d	71.55±0.78 ^b	41.77±0.72 ^b			
D1S1F3	32.77±1.1 ^{ab}	58929.3±1511.5 ^a	1.18±0.02 ^a	0.97±0.02 ^c	19.03±0.82 ^{bc}	14.22±0.36 ^b	46.55±1.5 ^d	26.51±0.63 ^d	70.84±0.91 ^b	40.82±0.93 ^{bc}			
D1S1F4	32.67±1.3 ^a	60191.2±1214.6 ^a	1.19±0.01 ^a	1.05±0.01 ^b	19.06±0.55 ^{bc}	14.44±0.58 ^b	50.99±1.4 ^c	30.55±0.96 ^c	80.99±0.88 ^a	49.81±0.81 ^a			
D1S1F5	32.76±1.2 ^a	61782.3±1191.8 ^a	1.21±0.03 ^a	1.01±0.03 ^b	19.08±0.33 ^{bc}	14.33±0.47 ^b	68.98±2.4 ^a	44.84±0.55 ^a	75.74±0.81 ^{ab}	45.13±0.85 ^{ab}			
D1S1F6	33.09±1.4 ^a	62888.3±1111.1 ^a	1.24±0.02 ^a	1.02±0.02 ^b	19.14±0.41 ^b	14.54±0.56 ^b	51.55±1.7 ^c	31.55±1.1 ^c	79.11±0.95 ^a	49.22±0.91 ^a			
D1S1F7	33.44±1.1 ^a	62929.3±1159.9 ^a	1.26±0.03 ^a	1.03±0.03 ^b	19.23±0.34 ^b	14.99±0.66 ^b	55.67±1.5 ^b	35.34±1.1 ^b	76.66±0.71 ^a	46.58±0.75 ^a			
D1S1F8	33.77±1.2 ^a	64782.7±1214.6 ^a	1.28±0.01 ^a	1.07±0.01 ^b	19.33±0.55 ^b	14.82±0.38 ^b	54.33±1.4 ^{bc}	34.33±0.88 ^{bc}	79.13±0.86 ^a	48.22±0.86 ^a			
D1S1F9	33.67±0.99 ^a	60111.9±1191.9 ^a	1.25±0.02 ^a	1.06±0.01 ^b	19.45±0.85 ^b	15.01±0.55 ^b	57.88±1.2 ^b	37.77±1.1 ^b	77.11±0.77 ^a	47.55±0.76 ^a			
D1S1F10	33.44±1.2 ^a	61892.4±1203.5 ^a	1.29±0.03 ^a	1.11±0.02 ^{ab}	24.34±0.48 ^a	15.22±0.59 ^{ab}	55.33±1.5 ^b	35.33±0.51 ^b	79.15±0.88 ^a	48.15±0.88 ^a			
D1S1F11	33.88±1.1 ^a	63829.2±1111.1 ^a	1.28±0.02 ^a	1.12±0.01 ^{ab}	24.11±0.33 ^a	16.22±0.44 ^a	59.98±1.1 ^b	39.81±1.1 ^{ab}	75.85±1.1 ^{ab}	45.11±0.74 ^{ab}			
D1S1F12	35.48±1.1 ^a	64345.6±1158.4 ^a	1.39±0.03 ^a	1.14±0.03 ^a	25.34±0.77 ^a	16.43±0.66 ^a	68.99±2.4 ^a	44.99±0.55 ^a	81.01±0.88 ^a	48.84±1.1 ^a			
D1S1F13	34.44±1.4 ^a	62893.54±1202.1 ^a	1.33±0.03 ^a	1.15±0.02 ^a	24.06±0.55 ^a	15.99±0.35 ^a	64.33±1.3 ^a	44.55±0.88 ^a	79.85±0.91 ^a	48.85±0.91 ^a			
D1S1F14	34.39±1.2 ^a	64999.4±1191.9 ^a	1.32±0.01 ^a	1.12±0.01 ^{ab}	24.09±0.41 ^a	16.15±0.55 ^a	62.55±1.5 ^{ab}	42.55±1.1 ^a	79.22±0.88 ^a	48.22±0.88 ^a			
D1S1F15	32.09±1.1 ^{ab}	45893.3±1111.1 ^{bc}	1.01±0.03 ^b	0.91±0.01 ^{cd}	15.77±0.33 ^{cd}	12.55±0.57 ^{bc}	43.77±1.4 ^d	23.77±0.59	69.15±0.89 ^{bc}	39.72±0.89 ^c			
D1S2F1	32.02±1.4 ^{ab}	55654.4±1159.5 ^{ab}	1.16±0.02 ^{ab}	0.88±0.02 ^d	18.99±0.88 ^{bc}	13.33±0.44 ^b	40.55±1.1 ^{de}	20.36±1.1 ^c	64.21±0.91 ^c	34.21±1.1 ^{cd}			
D1S2F2	32.04±1.2 ^{ab}	54324.6±1151.9 ^b	1.05±0.01 ^b	0.87±0.03 ^d	18.76±0.55 ^c	13.12±0.66 ^b	39.81±1.1 ^e	19.81±1.1 ^e	61.55±0.78 ^d	31.55±0.78 ^c			
D1S2F3	32.09±0.99 ^{ab}	57292.54±1163.5 ^a	1.06±0.03 ^b	0.86±0.02 ^d	18.67±0.33 ^c	13.01±0.31 ^b	40.59±1.5 ^{de}	20.33±0.55 ^c	60.81±0.91 ^e	30.72±0.91 ^d			
D1S2F4	33.01±1.4 ^a	58146.43±1111.1 ^a	1.08±0.02 ^{ab}	0.87±0.01 ^d	18.55±0.47 ^c	13.65±0.45 ^b	42.99±1.4 ^d	22.99±0.75 ^e	66.15±1.1 ^e	36.15±0.88 ^c			
D1S2F5	32.99±1.2 ^a	59134.2±1197.5 ^a	1.09±0.01 ^{ab}	0.89±0.02 ^d	19.01±0.55 ^{bc}	14.01±0.84 ^b	45.37±1.7 ^d	22.99±0.75 ^e	65.72±0.81 ^c	35.72±0.81 ^{cd}			
D1S2F6	32.88±1.1 ^a	60146.22±1214.1 ^a	1.11±0.03 ^a	0.91±0.03 ^c	19.02±0.38 ^{bc}	14.11±0.66 ^b	43.12±1.1 ^d	23.12±0.55 ^c	67.11±0.95 ^c	35.71±0.88 ^c			
D1S2F7	33.05±1.4 ^a	61444.8±1191.5 ^a	1.13±0.02 ^a	0.92±0.01 ^c	19.06±0.82 ^{bc}	14.16±0.66 ^b	46.66±1.5 ^d	26.28±1.1 ^c	66.66±0.71 ^c	36.66±0.71 ^c			
D1S2F8	33.15±1.2 ^a	58929.3±1156.3 ^{ab}	1.16±0.03 ^a	0.94±0.02 ^c	19.08±0.41 ^{bc}	14.54±0.88 ^b	44.11±1.4 ^d	24.11±0.65 ^{de}	68.15±0.86 ^{bc}	38.15±0.86 ^c			
D1S2F9	33.19±1.1 ^a	55888.3±1111.1 ^{ab}	1.18±0.01 ^a	0.95±0.01 ^c	18.99±0.54 ^{bc}	14.33±0.55 ^b	47.88±1.2 ^{cd}	27.31±1.2 ^d	67.11±0.94 ^c	37.73±0.59 ^c			
D1S2F10	33.21±1.4 ^a	60111.3±1214.1 ^a	1.21±0.03 ^a	0.97±0.03 ^c	19.23±0.37 ^b	14.14±0.37 ^b	44.81±1.7 ^d	24.81±0.55 ^c	69.15±0.88 ^b	39.15±0.77 ^c			
D1S2F11	32.66±1.2 ^a	62782.6±1287.1 ^a	1.16±0.03 ^a	0.95±0.02 ^c	19.55±0.82 ^{bc}	15.44±0.47 ^{ab}	48.22±1.1 ^c	28.55±1.1 ^d	67.82±0.66 ^c	37.82±0.66 ^c			
D1S212	33.77±1.2 ^a	59893.45±1188.5 ^a	1.24±0.02 ^a	0.99±0.03 ^c	19.98±0.55 ^b	16.67±0.66 ^a	49.99±1.2 ^c	29.99±0.58 ^{cd}	69.11±0.88 ^b	39.77±0.88 ^{bc}			
D1S2F13	33.27±1.1 ^a	64238.3±1181.5 ^a	1.22±0.01 ^a	0.98±0.01 ^c	19.88±0.33 ^b	15.54±0.51 ^{ab}	49.15±1.4 ^c	29.77±0.66 ^{cd}	69.88±0.91 ^b	39.58±0.82 ^{bc}			
D1S2F14	32.89±1.4 ^a	56829.3±1111.1 ^{ab}	1.21±0.03 ^a	0.97±0.02 ^c	19.67±0.46 ^b	15.32±0.33 ^{ab}	49.49±1.5 ^c	29.49±1.1 ^d	69.22±0.88 ^{bc}	39.42±0.88 ^c			
D1S2F15	31.99±0.99 ^{ab}	42983.9±121.5 ^c	0.91±0.02 ^b	0.85±0.01 ^d	15.67±0.82 ^{cd}	11.77±0.18 ^c	42.12±1.1 ^d	22.22±1.1 ^e	59.11±0.81 ^d	29.44±0.81 ^{de}			
D2S1F1	30.55±1.2 ^b	43292.7±1151.3 ^c	0.84±0.01 ^b	1.09±0.02 ^b	18.78±0.55 ^{bc}	12.99±0.49 ^b	38.55±1.3 ^e	18.55±0.76 ^c	50.24±0.91 ^d	30.24±0.91 ^d			
D2S1F2	31.55±0.99 ^b	44729.2±1111.1 ^c	0.77±0.03 ^{bc}	1.01±0.03 ^b	17.98±0.36 ^c	12.62±0.66 ^b	37.81±1.4 ^e	17.81±1.1 ^e	48.55±0.78 ^d	30.55±0.55 ^d			
D2S1F3	31.23±1.4 ^{ab}	42982.4±1151.5 ^c	0.81±0.02 ^{bc}	0.99±0.01 ^c	17.87±0.33 ^c	12.55±0.33 ^b	38.59±1.1 ^e	18.33±0.85 ^c	47.84±0.92 ^d	30.11±0.92 ^{de}			
D2S1F4	32.32±1.2 ^{ab}	44892.4±1155.7 ^c	0.83±0.01 ^b	0.98±0.01 ^c	18.99±0.4 ^{bc}	12.44±0.14 ^{bc}	40.99±1.1 ^d	20.99±1.2 ^e	53.15±1.1 ^e	44.15±0.84 ^b			
D2S1F5	30.15±1.1 ^b	45682.4±1151.4 ^{bc}	0.91±0.02 ^b	1.08±0.02 ^b	19.01±0.55 ^{bc}	12.89±0.55 ^b	43.37±1.2 ^d	23.22±1.1 ^e	52.74±0.85 ^c	32.74±0.85 ^d			
D2S1F6	31.24±0.99 ^b	46782.4±1106.1 ^{bc}	0.95±0.03 ^b	1.17±0.03 ^a	19.02±0.82 ^{bc}	13.12±0.34 ^b	41.12±1.4 ^d	21.12±1.1 ^e	54.15±0.93 ^c	46.15±0.93 ^a			
D2S1F7	32.55±1.2 ^{ab}	45892.4±1121.1 ^{bc}	0.98±0.02 ^b	1.11±0.01 ^b	19.04±0.41 ^{bc}	13.66±0.17 ^b	44.66±1.1 ^d	24.66±0.74 ^c	52.64±0.74 ^c	32.33±0.74 ^d			
D2S1F8	30.44±0.99 ^b	47827.3±122.3 ^b	0.99±0.03 ^b	1.16±0.01 ^a	19.11±0.33 ^{bc}	13.77±0.45 ^b	42.11±1.2 ^d	22.44±0.55 ^c	55.15±0.86 ^c	45.22±0.59 ^{ab}			
D2S1F9	31.77±1.1 ^{ab}	61982.8±1219.1 ^a	1.12±0.01 ^a	1.18±0.02 ^a	19.33±0.55 ^{bc}	13.88±0.66 ^b	45.88±1.5 ^d	25.88±0.65 ^d	54.04±0.92 ^c	34.11±0.92 ^d			
D2S1F10	31.32±1.2 ^{ab}	60783.1±108.9 ^a	1.11±0.02 ^a	1.15±0.03 ^b	19.34±0.41 ^{bc}	13.99±0.55 ^b	42.81±1.4 ^d	22.81±0.88 ^c	56.14±1.1 ^{de}	48.14±0.67 ^a			
D2S1F11	32.18±1.4 ^{ab}	62763.1±159.9 ^a	1.05±0.01 ^b	1.22±0.01 ^a	23.99±0.82 ^a	14.65±0.33 ^b	46.22±1.1 ^d	26.77±1.1 ^d	54.85±0.66 ^c	42.21±0.55 ^b			
D2S1F12	34.66±1.1 ^a	63893.8±1266.1 ^a	1.12±0.03 ^a	1.19±0.02 ^a	23.26±0.33 ^a	16.55±0.17 ^a	47.18±1.2 ^{cd}	27.18±1.1 ^d	56.25±0.81 ^{de}	47.25±0.81 ^{de}			
D2S1F13	33.66±0.99 ^a	59894.9±1133.7 ^a	1.22±0.02 ^a	1.18±0.03 ^a	24.32±0.55 ^a	16.76±0.64 ^a	47.15±1.7 ^{cd}	27.15±0.55 ^d	56.85±0.97 ^{de}	49.84±0.97 ^a			
D2S1F14	33.48±1.1 ^a	66164.8±1224.6 ^a	1.39±0.05 ^a	1.23±0.03 ^a	25.34±0.81 ^a	16.99±0.45 ^a	47.49±1.1 ^{cd}	44.83±1.1 ^a	56.13±0.78 ^{de}	46.33±0.78 ^a			
D2S1F15	33.15±1.4 ^a	44768.5±1141.5 ^c	0.99±0.01 ^b	0.89±0.01 ^d	15.56±0.82 ^{cd}	11.44±0.33 ^c	40.11±1.4 ^{de}	20.11±0.88 ^{de}	46.75±0.85 ^d	32.99±0.66 ^d			
D2S2F1	22.14±1.1 ^{de}	48345.7±1151.7 ^b	0.65±0.03 ^c	1.01±0.02 ^b	12.88±0.35 ^{de}	12.99±0.47 ^b	37.58±1.5 ^e	17.66±0.55 ^e	49.27±0.95 ^d	29.27±0.95 ^{de}			
D2S2F2	22.18±1.2 ^{de}	44389.3±1144.3 ^c	0.61±0.02 ^c	0.99±0.03 ^c	12.75±0.55 ^c	12.08±0.14 ^c	36.79±1.7 ^e	16.79±0.88 ^e	47.55±0.71 ^e	30.88±0.95 ^{de}			
D2S2F3	22.28±1.4 ^{de}	46325.7±1151.9 ^{bc}	0.59±0.01 ^c	0.98±0.01 ^c	12.66±0.33 ^c	12.55±0.66 ^{bc}	37.59±1.1 ^e	17.59±1.1 ^e	46.88±0.95 ^d	29.88±0.95 ^{de}			
D2S2F4	23.01±1.1 ^d	45724.6±1111.1 ^{bc}	0.79±0.02 ^c	1.07±0.02 ^b	13.01±0.24 ^{de}	12.77±0.33 ^{bc}	39.19±1.2 ^e	19.19±1.2 ^e	52.15±1.1 ^e	35.15±0.78 ^{cd}			
D2S2F5	23.07±1.2 ^d	47435.7±1153.3 ^b	0.72±0.03 ^c	1.03±0.03 ^b	13.11±0.41 ^{de}	12.44±0.55 ^{bc}	42.38±1.4 ^d	22.77±0.95 ^e	51.72±0.85 ^c	31.72±0.85 ^d			
D2S2F6	23.09±0.99 ^d	46927.4±1121.5 ^b	0.68±0.01 ^c	1.07±0.01 ^{bc}	13.15±0.55 ^d	12.34±0.47 ^{bc}	40.18±1.1 ^{de}	20.18±1.1 ^e	53.15±0.95 ^c	33.28±0.95 ^d			
D2S2F7	23.11±1.1 ^d	50127.7±1141.3 ^b	0.66±0.02 ^c	1.01±0.01 ^{bc}	13.17±0.82 ^{de}	12.11±0.61 ^{bc}	43.99±1.5 ^d	23.99±1.1 ^e	51.66±0.74 ^c	31.66±0.74 ^d			

D2S2F8	24.14±1.2 ^a	50549.4±1201.5 ^b	0.64±0.03 ^c	1.02±0.03 ^{bc}	13.19±0.33 ^{de}	12.88±0.55 ^b	41.11±1.7 ^a	21.22±0.95 ^e	54.15±0.86 ^e	34.22±0.67 ^d
D2S2F9	24.04±0.99 ^d	52178.5±1154.9 ^b	0.69±0.01 ^c	1.04±0.02 ^b	13.22±0.25 ^d	12.55±0.47 ^{bc}	44.88±1.1 ^a	24.88±1.1 ^{de}	53.04±0.94 ^d	33.04±0.94 ^d
D2S2F10	24.18±1.1 ^a	52987.3±1131.7 ^b	0.73±0.02 ^c	1.01±0.01 ^{bc}	13.32±0.25 ^d	14.44±0.33 ^b	41.88±1.4 ^a	21.88±0.55 ^e	55.15±1.1 ^e	35.15±1.1 ^e
D2S2F11	24.88±1.2 ^d	53782.2±1121.5 ^b	0.83±0.03 ^b	0.99±0.03 ^c	13.44±0.82 ^{de}	14.99±0.11 ^{ab}	45.29±1.2 ^a	25.11±0.77 ^{de}	53.82±0.66 ^d	33.82±0.66 ^d
D2S2F12	25.11±0.99 ^{bc}	54832.98±1151.5 ^b	0.85±0.01 ^b	0.98±0.02 ^c	13.99±0.39 ^d	15.53±0.55 ^{ab}	46.11±1.7 ^a	26.11±1.1 ^d	55.25±0.88 ^e	35.88±0.77 ^c
D2S2F13	24.23±0.88 ^d	52345.8±1150.9 ^b	0.81±0.02 ^{bc}	0.95±0.01 ^c	13.88±0.25 ^d	15.33±0.66 ^{ab}	46.18±1.5 ^a	26.18±0.75 ^d	55.88±0.97 ^{de}	45.88±0.97 ^{de}
D2S2F14	23.55±1.2 ^a	51734.2±1201.1 ^b	0.79±0.03 ^c	0.99±0.03 ^c	13.77±0.77 ^d	15.02±0.47 ^{ab}	46.42±1.1 ^d	26.22±0.55 ^d	55.15±1.1 ^e	45.15±0.74 ^{ab}
D2S2F15	21.88±0.99 ^e	33657.8±1101.9 ^d	0.41±0.01 ^d	0.85±0.01 ^d	11.19±0.55 ^e	11.55±0.14 ^c	34.35±1.4 ^e	20.35±0.98 ^{de}	45.77±0.85 ¹	27.74±0.85 ^c
D3S1F1	21.99±1.1 ^e	37893.5±1198.99 ^d	0.56±0.02 ^c	0.91±0.02 ^{cd}	11.34±0.37 ^e	14.12±0.51 ^c	36.55±1.6 ^e	16.55±0.84 ^e	48.27±0.91 ^c	38.27±0.91 ^c
D3S1F2	22.09±1.2 ^{de}	39675.2±1150.8 ^c	0.55±0.01 ^c	0.87±0.03 ^d	11.23±0.33 ^e	14.01±0.68 ^b	36.71±1.5 ^e	16.55±0.65 ^e	46.52±0.78 ¹	36.52±0.71 ^c
D3S1F3	22.07±0.99 ^{de}	40128.5±1151.5 ^c	0.54±0.03 ^c	0.83±0.01 ^c	11.14±0.25 ^e	13.99±0.33 ^e	35.59±1.4 ^e	15.59±0.55 ^e	45.88±0.99 ¹	30.52±0.99 ^d
D3S1F4	23.01±0.87 ^d	40237.5±1121.3 ^c	0.53±0.02 ^c	0.94±0.01 ^c	11.56±0.55 ^e	14.55±0.48 ^b	37.11±1.1 ^d	17.11±0.85 ^e	51.11±1.1 ^e	31.11±1.1 ^d
D3S1F5	23.03±1.1 ^d	41896.3±1121.5 ^c	0.52±0.01 ^c	0.96±0.03 ^c	11.63±0.77 ^e	14.34±0.12 ^b	40.37±1.6 ^e	20.33±0.87 ^e	50.72±0.88 ¹	30.72±0.77 ^d
D3S1F6	23.04±1.2 ^d	42897.4±1131.3 ^c	0.51±0.03 ^{cd}	0.98±0.01 ^c	11.56±0.31 ^e	14.28±0.55 ^b	39.12±1.5 ^d	19.12±1.1 ^e	52.12±0.95 ^e	32.77±0.95 ^d
D3S1F7	23.08±0.99 ^{de}	44785.8±1101.6 ^c	0.59±0.02 ^c	0.99±0.02 ^c	11.71±0.23 ^e	14.88±0.66 ^b	45.99±1.7 ^d	25.99±1.1 ^{de}	50.66±0.75 ¹	29.66±0.75 ^d
D3S1F8	23.11±1.1 ^d	52762.9±1111.1 ^b	0.58±0.01 ^c	0.89±0.03 ^{cd}	11.81±0.23 ^e	14.77±0.55 ^b	39.11±1.1 ^e	19.33±0.55 ^e	53.12±0.86 ^e	29.12±0.72 ^e
D3S1F9	23.13±0.99 ^d	53652.1±1131.5 ^b	0.56±0.03 ^c	0.94±0.02 ^c	11.76±0.25 ^e	14.33±0.49 ^b	43.88±1.4 ^d	23.88±0.95 ^e	52.04±0.99 ^e	29.22±0.99 ^{de}
D3S1F10	23.15±0.88 ^d	64987.4±1204.1 ^a	0.61±0.01 ^c	1.09±0.01 ^c	11.69±0.33 ^e	14.42±0.14 ^b	39.88±1.5 ^e	19.72±0.75 ^e	54.11±1.1 ^e	29.11±1.1 ^{de}
D3S1F11	23.14±1.1 ^d	65389.3±1191.5 ^a	0.63±0.02 ^c	1.05±0.01 ^b	13.89±0.77 ^d	16.58±0.56 ^a	44.22±1.6 ^d	24.22±0.85 ^{de}	52.82±1.1 ^e	29.82±0.84 ^{de}
D3S1F12	23.34±0.99 ^d	66164.7±1225.6 ^a	0.66±0.01 ^c	1.12±0.03 ^a	14.01±0.33 ^e	15.99±0.33 ^a	45.11±1.1 ^d	25.11±1.1 ^{de}	54.22±0.88 ^e	29.77±0.58 ^e
D3S1F13	22.99±0.86 ^{de}	58734.6±1153.5 ^{ab}	0.64±0.01 ^c	1.11±0.02 ^{ab}	13.99±0.33 ^d	15.88±0.64 ^a	46.18±1.4 ^d	26.18±0.88 ^d	54.88±1.2 ^e	29.88±0.77 ^{de}
D3S1F14	23.22±1.1 ^d	62198.5±1206.1 ^a	0.61±0.02 ^c	1.23±0.03 ^a	13.88±0.77 ^{de}	16.99±0.33 ^a	47.49±1.7 ^{cd}	27.44±0.55 ^d	54.11±1.1 ^e	29.43±0.35 ^e
D3S1F15	21.92±0.99 ^e	34563.78±1121.9 ^d	0.34±0.01 ^d	0.82±0.02 ^c	11.24±0.25 ^e	10.99±0.42 ^e	35.99±1.5 ^e	15.99±1.2 ^e	44.99±0.85 ¹	28.99±0.85 ^e
D3S2F1	22.02±0.9 ^{de}	24345.67±1141.3	0.45±0.02 ^d	0.81±0.01 ^d	12.41±0.55 ^{de}	7.55±0.12 ^e	35.55±1.1 ^e	15.55±0.85 ^e	47.77±0.99 ¹	28.37±0.61 ^e
D3S2F2	22.05±1.1 ^{de}	23435.7±1101.7 ^c	0.44±0.01 ^d	0.79±0.02 ^d	12.12±0.33 ^e	7.43±0.59 ^e	34.77±1.4 ^e	14.44±0.75 ^e	45.55±0.78 ¹	29.55±0.78 ^{de}
D3S2F3	22.04±0.88 ^{de}	23989.6±1198.54 ^c	0.43±0.03 ^d	0.78±0.01 ^d	12.24±0.77 ^{de}	7.34±0.31 ^e	35.59±1.7 ^e	15.59±1.1 ^e	44.88±1.2 ¹	28.88±1.1 ^e
D3S2F4	22.09±0.99 ^{de}	24657.4±1111.9 ^c	0.46±0.01 ^d	0.82±0.03 ^d	12.31±0.33 ^e	7.77±0.33 ^e	37.11±1.5 ^e	17.11±1.2 ^e	50.11±1.1 ¹	30.33±0.87 ^d
D3S2F5	22.1±1.1 ^{de}	24345.33±1101.7 ^c	0.47±0.02 ^d	0.83±0.02 ^d	12.47±0.25 ^{de}	7.66±0.51 ^e	40.37±1.1 ^{de}	20.55±0.87 ^e	49.77±1.2 ¹	29.77±0.55 ^e
D3S2F6	22.08±0.99 ^{de}	25789.45±1121.5 ^{de}	0.49±0.01 ^d	0.84±0.01 ^d	12.55±0.77 ^{de}	7.62±0.55 ^e	38.12±1.4 ^e	18.12±1.1 ^e	51.12±0.95 ^e	31.12±0.91 ^d
D3S2F7	22.11±0.88 ^{de}	26345.6±1151.4 ^{de}	0.51±0.01 ^{cd}	0.85±0.03 ^d	12.56±0.33 ^{de}	7.99±0.14 ^{de}	41.99±1.5 ^{de}	21.99±1.3 ^e	49.66±0.75 ¹	29.55±0.75 ^e
D3S2F8	22.13±1.1 ^{de}	27348.1±1121.3 ^{de}	0.49±0.03 ^{cd}	0.86±0.01 ^d	12.61±0.55 ^{de}	7.86±0.41 ^e	39.11±1.7 ^e	19.11±1.1 ^e	52.16±0.86 ^e	32.16±0.81 ^d
D3S2F9	22.15±0.99 ^{de}	27012.23±1198.5 ^{de}	0.50±0.01 ^{cd}	0.87±0.02 ^d	12.71±0.25 ^{de}	7.68±0.33 ^e	42.88±1.1 ^d	22.55±0.88 ^{de}	51.04±1.3 ^e	31.22±1.1 ^d
D3S2F10	22.17±0.78 ^{de}	27098.4±1111.4 ^{de}	0.51±0.03 ^{cd}	0.88±0.03 ^{cd}	12.81±0.77 ^{de}	7.55±0.59 ^e	39.88±1.4 ^e	19.88±1.1 ^e	53.11±1.2 ^e	33.11±1.1 ^d
D3S2F11	23.01±1.1 ^d	31122.3±1121.3 ^d	0.55±0.02 ^c	0.86±0.01 ^d	12.89±0.33 ^{de}	8.01±0.55 ^{de}	43.22±0.98 ^d	23.22±0.77 ^{de}	51.88±1.1 ^e	31.81±0.65 ^d
D3S2F12	23.22±1.1 ^d	31245.6±1121.6 ^d	0.56±0.02 ^c	0.89±0.02 ^{cd}	13.3±0.77 ^d	8.12±0.14 ^d	44.11±1.7 ^d	24.11±1.1 ^{de}	53.22±1.4 ^e	33.26±1.1 ^d
D3S2F13	22.22±0.98 ^{de}	30987.6±1141.5 ^d	0.54±0.01 ^c	0.91±0.03 ^c	13.1±0.31 ^{de}	8.11±0.33 ^{de}	44.15±1.4 ^d	24.77±1.2 ^{de}	53.88±1.1 ^{de}	33.84±0.88 ^d
D3S2F14	21.99±0.94 ^e	29987.6±1101.7 ^c	0.53±0.01 ^c	0.92±0.02 ^c	12.9±0.25 ^{de}	8.09±0.44 ^{de}	44.42±1.1 ^d	24.66±1.1 ^{de}	53.11±1.2 ^e	33.12±0.55 ^d
D3S2F15	21.88±0.99 ^e	22134.3±1198.54 ^c	0.29±0.01 ^d	0.77±0.01 ^d	10.11±0.21 ^e	6.47±0.12 ^e	34.34±1.02 ^e	20.36±0.55 ^e	43.77±0.99 ¹	27.73±0.48 ^e

سطوح تنش خشکی [میزان تبخیر از تنش تبخیر در سطح ظرفیت مزروع (D1)، درصد (D2) و درصد (D3) تبخیر رطوبتی S، سطح پامپر سوپر جاذب (S1) و عدم استفاده (S2)]: استفاده از کودهای شیمیایی (F1) گرومور^۲ (F2)، گرومور^۳ (F3)، لیشر آهن (F4)، لیشر روی (F5)، گرومور^۱ + لیشر آهن (F6)، گرومور^۱ + لیشر روی (F7)، گرومور^۲ + لیشر آهن (F8)، گرومور^۳ + لیشر آهن (F9)، لیشر روی (F10)، گرومور^۱ + لیشر آهن (F11)، گرومور^۲ + لیشر آهن (F12)، گرومور^۳ + لیشر آهن (F13)، لیشر روی (F14)، تیمار شاهد (عدم استفاده از تیمارهای منقش- (F15)).

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی داری ندارند.

^δ D: drought stress [field capacity (D1), 50% evaporation (D2), 75% evaporation (D3)], S: superabsorbent nano-polymer [consumption (S1), no consumption (S2)], F: fertilizer application [grow-more 1 (F1), grow-more 2 (F2), grow-more 3 (F3), iron chelate (F4), zinc chelate (F5), grow-more 1 + iron chelate (F6), grow-more 1 + iron chelate (F7), grow-more 2 + iron chelate (F8), grow-more 2 + zinc chelate (F9), grow-more 3 + iron chelate (F10), grow-more 3 + zinc chelate (F11), grow-more 1 + iron chelate + zinc chelate (F12), grow-more 2 + iron chelate + zinc chelate (F13), grow-more 3 + iron chelate + zinc chelate (F14), control (F15)].

^{δδ}: Numbers in each column that have not significant difference based on L.S.D test at $p \leq 0.01$

متابولیت‌های ثانویه تحت تأثیر رشدونمو گیاه است که به رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه به‌ویژه ظرفیت فتوسنتز بستگی دارد. تغییر در فعالیت فتوسنتز باعث تغییر در فعالیت متابولیکی گیاه می‌شود (Álvarez-Chávez et al., 2021; Bharathi et al., 2024; García-Villalba et al., 2023).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مشخص شد که کاربرد کودهای کامل گرومور، انواع کودهای ریزمغذی و نیز پلیمر سوپر جاذب منجر به افزایش چشم‌گیر و معنی‌دار صفات مختلف مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه آگاو رقم 'مارجیناتا' تحت سطوح مختلف تنش خشکی گردید که در این بین، گیاهان تیمار شده توسط کود گرومور ۱ (۲۰-۲۰-۲۰) همراه با کاربرد لیفر روی و آهن در غالب صفات مورد ارزیابی به لحاظ تغذیه بهتر بالاتر از بقیه گیاهان قرار گیرند. با توجه به تحمل بالای آگاو به خشکی، اثرگذاری پلیمر سوپر جاذب در تنش خشکی شدید (۷۵ درصد تخلیه رطوبتی) بیشتر مشهود بود. لذا جهت پژوهش‌های بعدی در زمینه گیاه آگاو آمریکانا 'م مارجیناتا' در سطوح مختلف تنش خشکی تیمار ترکیبی کود کامل گرومور (۲۰-۲۰-۲۰) به همراه مصرف لیفر روی و آهن با کاربرد نانو پلیمر سوپر جاذب پیشنهاد می‌گردد.

گونه‌های گیاهی مختلف سازوکارهای متفاوتی جهت تحمل شرایط تنش دارند. تنش کم‌آبی با کاهش بخش رویشی یا همان قسمت تعرق‌کننده گیاه و سوق دادن محصولات فتوسنتزی به سمت تولید متابولیت‌های ثانویه در راستای تحمل بیشتر گیاه به شرایط تنشی ایجادشده موجب افزایش محتوای این ترکیبات در گیاه می‌گردد، ولی چنانچه شدت تنش از آستانه تحمل گیاه فراتر رود، فتوسنتز مختل شده و در نتیجه تولید کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد که این امر به کاهش سنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها و دیگر ترکیبات فعال منجر می‌شود (Albergaria et al., 2020). تغییرات مشاهده‌شده در مقادیر هکوزن و ساپونین گیاهان تیمار شده را می‌توان به تفاوت در اثرات هر یک از تیمارهای مورد استفاده بر رشد گیاه و همچنین پاسخ گیاه به عوامل زیستی و غیرزیستی که منجر به افزایش مواد مؤثره گیاه می‌شود، نسبت داد (Álvarez-Chávez et al., 2021). مقادیر مواد مؤثره گیاهان دارویی تحت تنش خشکی، رفتار مختلفی دارند. چنانچه تحت تنش خشکی و زمان گل‌دهی، میزان ماده مؤثره آلفا-پینن^۱ در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) کاهش ولی در اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) افزایش یافت. همچنین ترکیبات مؤثره آلفا-پینن، لیمونن^۲ و اوکالیپتول^۳ در مریم‌گلی کاهش یافت، درحالی‌که این ترکیبات در ریحان افزایش یافتند (Kulak, 2020). در گونه‌های مرزه (Yadegari, 2022b)، تنش آبی منجر به کاهش درصد اسانس و نیز برخی از مواد مؤثره اسانس گردید. به‌طور کلی، متابولیت‌های ثانویه به گیاهان دارویی و معطر کمک می‌کنند تا گیاه به شرایط و تنش‌های محیطی مانند خشکی سازگاری بیشتری پیدا کند. به علاوه، تأثیرات ناشی از تنش در افزایش اسانس عمدتاً به علت اثر آن بر رشدونمو گیاه است. گیاهان غلظت بالایی از متابولیت‌ها را تحت شرایط کمبود آب تولید می‌کنند و مقدار کمتری از کربن را به رشد تخصیص می‌هند که نشان از یک تعادل بین دفاع و رشد می‌باشد. تنش خشکی با تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه از طریق مسیرهای متابولیکی در گیاهان دارویی و معطر که برخی از آنها ناشناخته هستند سبب تغییرات میزان کمی و کیفی متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Sidana et al., 2016). تنش خشکی با اختلال در فتوسنتز و تنفس، درصد و ترکیب شیمیایی اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، تنش خشکی در حد ملایم، توانست میزان برخی از ترکیبات مؤثره و مهم نظیر تیمول یک ترکیب فنلی را در گیاهان دارویی آویشن دناپی و آویشن باغی افزایش دهد (Askary et al., 2018).

- 1- Alpha-pinene
- 2- Limonene
- 3- Eucalyptol

References

1. Aghaei, K., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A., Naghdi Badi, H. A., & Mehnatkesh A. M. (2022). Effects of different fertilizers and the foliar application of L-phenylalanine on mineral contents of hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)]. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 4(2), 13-28. (In Persian). <https://doi.org/10.22070/hpn.2021.4639.1038>
2. Albergaria, E. T., Oliveira, A. F., & Albuquerque, U. P. (2020). The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 131, 12-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.002>
3. Alizadeh, A., Moghaddam, M., Asgharzade, A., & Mahmoodi Sourestani, M., (2020). Phytochemical and physiological response of *Satureja hortensis* L. to different irrigation regimes and chitosan application. *Industrial Crops and Products*, 158, 112990. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112990>
4. Almrani, H. A. (2019). Effect of chemical fertilizers (NPK) in the growth two species of henbane and total alkaloids content. *Iraq Journal of Agriculture*, 24(1), 52-61.
5. Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L., & Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). Agave by-products: An overview of their nutraceutical value, current applications, and processing methods. *Polysaccharides*, 2, 720-743. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030044>
6. Amissah, J. N., Alorvor, F. E., Okorley, B. A., Asare, C. M., Osei-Safo, D., Appiah-Opong, R., & Addae-Mensah, I. (2022). Mineral fertilization influences the growth, cryptolepine yield, and bioefficacy of *Cryptolepis sanguinolenta* (Lindl.) Schl. *Plants*, 11(1), 122. <https://doi.org/10.3390/plants11010122>
7. Arnon, D. I. (1975). Physiological principles of dry land crop production. In: U.S. Gupta (Ed.) *Physiological Aspects of Dry Land Farming*, 3-14. Oxford Press.
8. Asgarian, M., Aminifard, M. H., Khayat, M., & Jahani, M. (2019). Evaluation of different level of complete fertilizer NPK and folic acid on morphological properties, yield and yield components of *Ocimum basilicum* L. *Journal of Agroecology*, 11, 1375-1388. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.73422>
9. Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Mahmoodi, S., & Jamialahmadi, M. (2018). Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 111, 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056>
10. Babaei, Kh., Moghaddam, M., & Farhadi, N. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284, 110-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116>
11. Babalar, M., Mohtashami, S., Tabrizi, L., & Roushan, V. (2020). Effect of ammonium sulfat on yield properties and phytochemical properties of savory (*Satureja hortensis* L. Saturn). *Journal of Horticultural Science*, 51, 273-286. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.265743.1511>
12. Bagherifard, A., Hamidoghli, Y., HasanBeiglouei, M., & Orang Ghaedi, M. (2020). Effects of drought stress and superabsorbent polymer on morpho-physiological and biochemical traits of caper (*Capparis spinosa* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 14, 13-20. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.20.14.01.p1418>
13. Bani Taba, A., Yadegari, M., & Naderi Darfaghshahi, M. R. . (2025). The biochemical properties of *Satureja* species affected by micronutrients, genotype, and locations in drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 24, 82. <https://doi.org/10.1007/s44447-025-00105-9>
14. Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Momivand, H., & Nazarian F. (2020). Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of *Satureja rechingeri* Jamzad essential oil under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36, 780-793. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342067.2732>
15. Bharathi, T. U., Lallawmzuali, R., & Kirthishree, S. P. (2024). Diversity in flower morphology of the single-type tuberose (*Agave amica* Medik.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 4239-4254. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-01906-7>
16. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72, 248-250. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
17. Caser, M., Chitarra, W., Angiolillo, F., & Perrone, I. (2019). Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. *Industrial Crops and Products*, 129, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.068>
18. Danesh-Shahraki, H., Ghasemi Pirbalouti, A., & Rajabzadeh, F. (2023). Water deficit stress mitigation by the foliar spraying of salicylic acid and proline on the volatile oils and growth features of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 26, 115-129. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2160279>
19. Dere, S., Güneş, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22(1), 13-18.

20. Esch, E. H., Lipson, D. A., & Cleland, E. E. (2019). Invasion and drought alter phenological sensitivity and synergistically lower ecosystem production. *Ecology*, 100, 34-45. <https://doi.org/10.1002/ecy.2802>
21. Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., & De Swaef, T. (2020). Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 14, 335-353. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00088-3>
22. Fathi, B., Reezi, S., Rouhi, V., & Ghobadi Neya, M. (2017). Effect of different levels of superabsorbent and vermicompost on qualitative and quantitative traits of gazania (*Gazania hybrida*) in green roof condition. *Journal of Horticultural Science*, 48, 423-429. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.206858.1011>
23. García-Villalba, W. G., Rodríguez-Herrera, R., Ochoa-Martínez, L. A., Quiñones, O. M., López, M. G., Gallegos-Infante, J. A., & Quiñones, G. B. (2023). Comparative study of four extraction methods of fructans (agavins) from *Agave durangensis*: Heat treatment, ultrasound, microwave and simultaneous ultrasound-microwave. *Food Chemistry*, 415, 135767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135767>
24. Gustafson, A. F. (2010). Handbook of Fertilizers- Their Sources, Make-up, Effects and Use. Read Books. 325 p.
25. Hackman, D. A., Giese, N., Markowitz, J. S., McLean, J., Ottariano, S. J., Tonelli, C., Weissner, W., Welch, S., & Catherine, U. (2006). Agave (*Agave americana*). *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 6(2), 101-122.
26. Hamed, B., Ghasemi Pirbalouti, A., & Rajabzadeh, F. (2022). Responses to morpho-physiological, phytochemical, and nutritional characteristics of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) to the applied of organic and chemical fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(17), 1-17. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2070634>
27. Han, R. C., Xu, Z. R., Li, C. Y., Rasheed, A., Pan, X. H., Shi, Q. H. & Wu, Z. M. (2022). The removal of nitrate reductase phosphorylation enhances tolerance to ammonium nitrogen deficiency in rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(3), 631-643. [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63473-6](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63473-6)
28. Hayati, A., Rahimi, M. M., Kelidari, A., & Hosseini, S. M. (2021). Effects of humic acid and iron nanochelate on osmolytes content of black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(5), 809-821. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.354715.2995>
29. Hoseini, A., Heidari, H., Nosrati, A., & Khorami Vafa, M. (2020). Investigating effect of water-superabsorbent polymer on growth and leaf relative water content in foxtail millet (*Setaria italica*) under drought condition. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2, 231-240. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.269609.1083>
30. Javadi, H., Mousavi, Gh., Seghatoleslami, M. J., & Kermani, F. (2021). Effect of organic and chemical improvers application on yield and essential oil percentage of dill (*Anethum graveolens* L.) under water deficit stress conditions. *Plant Productions*, 44, 283-294. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.30621.1806>
31. Jokar, A., Sateei, A., Ebadi, M., & Ahmadi Gelsefidi, M. (2021). Effect of some nitrogen fertilizers on yield, alkaloid content and physiological properties in *Agave americana* cv. Marginata under greenhouse condition. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 16, 111-126. (In Persian).
32. Khorasani, H., Rajabzadeh, F., Mozafari, H., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2023). Water deficit stress impairment of morphophysiological and phytochemical traits of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) buffered by humic acid application. *South African Journal of Botany*, 154, 365-371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.030>
33. Kulak, M. (2020). Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, 154, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112695>
34. Mahmodi, A., Yadegari, M., & Hamed, B. (2020). Effect of vermi-compost, nitrogen and phosphorus fertilizers on morphological and phytochemical properties of *Mentha piperita* L. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 15, 84-99. (In Persian).
35. Malakoti, M. J., & Davodi, M. H. (2002). Zn Forgotten Nutrient in Life Cycle of Plant. Sana Issuance, 209 p. (In Persian).
36. Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. San Diego: Academic Press. pp. 379-396.
37. Mashahiri, Y., Hasanpour Asil, M., Khaledian, M., & Farhangi, M. (2023). Effect of superabsorbent polymer and potassium silicate on morphophysiological and biochemical characteristics of daffodil (*Narcissus tazetta* L. cv. Shahla) flower under irrigation regimes. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 24, 485-502. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-619-en.html>
38. 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>
39. Nasiri, Y., Shekari, F., & Asadi, M. (2020). Effect of biofertilizer and zinc sulphate on some morphological characters, yield and essential oil of *Satureja hortensis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36, 523-541. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.341271.2685>

40. Pirzad, A., Darvishzadeh, R., & Hasani, A. (2017). Seed yield and essential oil responses of cumin to different irrigation regimes and super absorbent levels in Urmia climatic conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1, 1-12. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.01.01.01>
41. Rezaee, Z., & RafeolHoseini, M. (2017). Physiological response of *Foeniculum vulgare* Mill. to manure fertilizer and superabsorbent under drought stress. *Ecophysiology of Crop Science*, 43, 547-564. <https://sanad.iau.ir/Journal/jcep/Article/956799/FullText>
42. Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2001). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd Ed. Available from ICARDA, Aleppo, Syria.
43. Sasani, N., Pâques, L. E., Boulanger, G., & Singh, A. P. (2021). Physiological and anatomical responses to drought stress differ between two larch species and their hybrid. *Trees*, 35, 1467-1484. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02129-4>
44. Sidana, J., Singh, B., & Sharma, P. (2016). Saponins of *Agave*: Chemistry and bioactivity. *Journal of Phytochemistry*, 130, 22-46. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.06.010>
45. Thakur, M., & Kumar, R. (2020). Foliar application of plant growth regulators modulates the productivity and chemical profile of Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of the western Himalaya. *Industrial Crop Products*, 158, 113024. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113024>
46. Trejo, L., Soriano, D., Romano-Grande, E., Sánchez-Carmona, B., & Dávila-Navarro, D. E. (2023). Diversity of reproductive characters, seed set, and viability of *Agave* seeds used for pulque production and their wild relatives in Tlaxcala, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 2877-2903. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01803-5>
47. Wibowo, S. T. (2007). Kandungan Hormone IAA, Serpan Hara, Dan Pertumbuhan Beberapa Tanaman Budidaya Sebagai Respon Terhadap Aplikasi Pupuk Biologi Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 432 pp.
48. Yadegari, M. (2022a). The effects of foliar application of some micronutrient elements on the content and composition of the essential oil of Damask rose (*Rosa damascena* Mill.). *Iran Agricultural Research*, 41(2), 35-49. <https://doi.org/10.22099/iar.2022.42152.1467>
49. Yadegari, M. (2022b). Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three *Satureja* species under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(1), 61-80. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.356264.3073>
50. Yadegari, M. (2022c). Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three *Thymus* species under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 2, 301-321. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.357303.3119>
51. Yadegari, M. (2024a). The effects of foliar application of some important micronutrient elements on essential oil content and components of *Dracocephalum kotschy* Boiss. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7(1), 81-98. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2024.7079.1351>
52. Yadegari, M. (2024b). Effects of some biological and chemical fertilizers on morphophysiological characters and essential oil in *Rosa damascena* Mill. in drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 12, 417-440. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/12.57.417>

Cross Compatibility of Three Oyster Mushroom Species (*Pleurotus* sp.) and Evaluation of the Characteristics of the Resulting Hybrids

M. Taghavi Sharabiani¹, A. Motallebi-Azar¹, J. Panahandeh¹, A. Jahanian^{1*}

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

(*- Corresponding author's Email: Amin.jahanian68@gmail.com)

Received: 20 January 2025

Revised: 02 December 2025

Accepted: 06 December 2025

Available Online: 06 December 2025

How to cite this article:

Taghavi Sharabiani, M., Motallebi-Azar, A., Panahandeh, J., & Jahanian, A. (2026). Cross compatibility of three oyster mushroom species (*Pleurotus* sp.) and evaluation of the characteristics of the resulting hybrids. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 203-216. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91744.1406>

Introduction

Mushrooms are a very large group of organisms. The number of species of mushrooms is estimated at 1.5 million, of which about 300 are edible, only 30 have been domesticated, and finally 10 species are cultivated commercially. Oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) of the genus *Pleurotus* are the most important cultivated edible mushrooms in the world after button mushrooms. Edible mushrooms are now considered one of the most important food sources in the world, and their cultivation is constantly increasing with population growth. For this reason, the importance of cultivating edible mushrooms is increasing day by day. In edible mushrooms, the mycelium that emerges from a single spore is sterile and requires hybridization between compatible monokaryotic mycelia to complete the sexual cycle. The oyster mushroom *P. eryngii* has also been given the name of king oyster mushroom due to its large edible organ. The mushrooms grow in small groups. The spores of this mushroom are white, and its mycelium has a connecting arch. The king oyster mushroom has a firm texture and short radial blades.

Materials and Methods

In this study, three species of oyster mushrooms (*Pleurotus ostratus* var florida, *P. eryngii*, *P. cornucopia*) were crossed with each other in order to benefit from the special characteristics of each species and their aggregation into one species. Monokaryons of each species were prepared. Then, monokaryons of the two species were placed 5 mm from each other. For the cultivation of hybrid spawn and parents, three beds containing wheat straw (weighing 6.8 kg) were prepared for each and sterilized. After spawning, the beds were placed in a suitable environment and then the humidity of the environment was increased to 85-90% until the hybrids started to produce primary nodes and then pin and turn into mature heads. The heads at this stage were tested for spore production.

Results and Discussion

The results showed that from 300 crosses, only in 4 crosses did the Florida and eryngii monokaryons grow together and form a clamp connection, producing dikaryons, and four hybrids named H₁, H₄₀, H₁₁, and H₃₂ were obtained. While from among 300 crosses between Florida monokaryons and yellow fungus and 100 crosses between eryngii monokaryons and yellow fungus, no dikaryons were produced due to interspecific incompatibility. Spawns of the produced hybrids were prepared with Florida and eryngii and then cultivated in sterile media in a completely randomized design with three replications. The average base diameter of eryngii was significantly greater than that of Florida. The average base diameter of eryngii was not significantly different from that of the H₁₁ hybrid, while the average base diameter of eryngii was greater than that of the H₃₂ and H₁₁ hybrids and less than that of the H₁ hybrid. There was also a significant difference in the average base



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91744.1406>

diameter among the hybrids. Among the hybrids, H₁ had a larger average base diameter than that of the H₄₀, H₃₂, and H₁₁ hybrids. *eryngii* had the highest fresh weight of edible organs with an average fresh weight of 120.5 grams. The average fresh weight of edible organs of *eryngii* was not significantly different from that of hybrid H₄₀. In terms of yield (fresh and dry weight), the hybrids H₁₁, H₁ and H₃₂ were very similar and were placed in a single cluster. On the other hand, the hybrid H₄₀ was similar to *eryngii*. In general, the hybrids and *eryngii* were placed in the same group in terms of yield. This is while Florida occupied a separate group. The result is that in terms of yield, the hybrids were similar to *eryngii* and the high yield traits from Florida were not transferred to the hybrids.

Conclusion

There was a significant difference between genotypes in terms of spawn running, and the hybrids were similar to *eryngii* and spawn running for a longer period than Florida. Hybrids H₄₀ and H₃₂ were earlier than their parents and other hybrids because they had shorter days to first pin emergence and ultimately shorter planting period. Hybrid H₄₀ is considered a suitable hybrid with similar edible organ fresh weight to *eryngii*. Hybrid H₄₀ had higher yield (fresh weight) and biomass than other hybrids and was similar to *eryngii*. The least sporulation (spore germination) was observed in hybrids H₁ and H₁₁, which was even lower than *eryngii*. Hybrid H₄₀, although it seems to be a desirable hybrid in some traits, had high spore germination and was similar to Florida.

Keywords: *Eryngii*, Florida, Interspecific hybrid, Yellow mushroom, Yield

قابلیت تلاقی سه گونه قارچ صدفی (*Pleurotus* spp.) و ارزیابی خصوصیات هیبریدهای

حاصل

مرتضی تقوی شریانی^۱، علیرضا مطلبی آذر^۱، جابر پناهنده^۱، امین جهانیان^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

چکیده

مهم‌ترین برنامه توسعه هر کشوری، تأمین منابع غذایی کافی است و با توجه به افزایش بی‌رویه جمعیت، تنها با استفاده از روش‌های کشاورزی سنتی نمی‌توان بر مشکل کمبود مواد غذایی غلبه کرد. امروزه قارچ‌های خوراکی یکی از منابع مهم تأمین مواد غذایی در دنیا محسوب می‌شوند و کشت آن‌ها با افزایش جمعیت به‌طور پیوسته در حال افزایش است. از این‌رو اهمیت کارهای اصلاحی روی قارچ‌های خوراکی روزبه‌روز بیشتر احساس می‌شود. در این تحقیق، سه گونه قارچ صدفی (*Pleurotus osturatus* var. *Florida*، 'ارنجی'، *P. eryngii* و *P. cornucopiae* 'قارچ زرد') به‌منظور بهره‌مندی از صفات ویژه هر گونه و تجمع آن‌ها در یک گونه، با همدیگر تلاقی داده شدند. مونوکاریون هر یک از گونه‌ها تهیه گردید. سپس مونوکاریون دو گونه به‌فاصله پنج میلی‌متر از هم قرار داده شدند. برای کشت اسپان هیبریدها و والدین برای هر کدام سه بستر حاوی کلش گندم (به وزن ۶/۸ کیلوگرم) تهیه و استریل شدند. نتایج نشان داد که از بین ۳۰۰ تلاقی، فقط در چهار تلاقی، میسلوم مونوکاریون‌های 'فلوریدا' و 'ارنجی' به طرف هم رشد کرده و با تشکیل قوص اتصال، دی‌کاریون تولید کردند و چهار هیبرید به نام‌های 'H₁'، 'H₁₁'، 'H₃₂' و 'H₄₀' به دست آمد. درحالی‌که از بین ۳۰۰ تلاقی بین مونوکاریون‌های فلوریدا با قارچ زرد و نیز ۱۰۰ تلاقی بین مونوکاریون‌های 'ارنجی' با قارچ زرد به علت ناسازگاری بین گونه‌ای، هیچ دی‌کاریونی تولید نشد. اسپان هیبریدهای تولیدی به همراه 'فلوریدا' و 'ارنجی'، تهیه گردید و سپس در بسترهای استریل به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار کشت شدند. از لحاظ پنجه‌دوانی بین ژنوتیپ‌ها اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود داشت و هیبریدها از این لحاظ به 'ارنجی' شبیه بوده و در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به 'فلوریدا' پنجه‌دوانی کردند. هیبرید 'H₄₀' و 'H₃₂' به‌ترتیب با ۳۲ و ۳۶ روز از تعداد روز تا ظهور اولین پین، کوتاه‌ترین دوره کشت را داشتند و نسبت به والدین و سایر هیبریدها زودرس‌تر بودند. هیبرید 'H₄₀' با دارا بودن وزن تر اندام خوراکی مشابه با 'ارنجی'، یک هیبرید مناسب محسوب می‌گردد. هیبرید 'H₄₀' از عملکرد (وزن تر) و زیست‌توده بیشتری نسبت به هیبریدهای دیگر برخوردار بوده و مشابه 'ارنجی' بود. حداقل اسپورزایی در هیبریدهای 'H₁' و 'H₁₁' مشاهده گردید که این مقدار اسپورزایی حتی کمتر از 'ارنجی' بود. هیبرید 'H₄₀' هرچند از نظر برخی صفات هیبرید مطلوبی به نظر می‌رسد، اما از اسپورزایی زیاد و مشابه 'فلوریدا' برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: ارنجی، عملکرد، فلوریدا، قارچ زرد، هیبرید بین گونه‌ای

مقدمه

از بین قارچ‌های موجود در طبیعت قارچ‌های صدفی (*Pleurotus* spp.) از اهمیت بیشتری برخوردارند، زیرا تهیه بستر آن‌ها نیاز به فناوری خاص مثل قارچ خوراکی دکمه‌ای ندارد و پس از برداشت محصول، بقایای بستر می‌تواند به‌عنوان منبع غنی‌شده غذایی مورد

مصرف دام‌ها قرار گیرد (Bellettini et al., 2019). از طرف دیگر، با توجه به اهمیت قارچ‌های صدفی در دنیا و به‌خصوص در ایران، باید دیدگاه‌های اساسی در اصلاح این محصول با ارزش به وجود آید و معایبی چون تولید اسپور زیاد، کم‌محصولی، حساسیت به بیماری‌ها، آفات و ... را با روش‌های اصلاحی برطرف نمود (Mohammadhasani & Rahimi, 2022). این روش‌ها شامل جمع‌آوری ژرم‌پلاسماهای وحشی، معرفی مستقیم نژادها، کشت بافت، تولید هیبریدهای بین و درون گونه‌ای، هم‌جوشی پروتوپلاست و هیبریداسیون درون و برون گونه‌ای، اصلاح از طریق جهش، مهندسی ژنتیک و انتقال ژن و ...

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

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Amin.jahanian68@gmail.com)<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91744.1406>

می‌باشد (Barh et al., 2019). قارچ‌ها گروه بسیار بزرگی از موجودات را تشکیل می‌دهند. تعداد گونه‌های قارچ حدود ۱/۵ میلیون تخمین زده شده است که حدود ۳۰۰ گونه به‌صورت خوراکی هستند و فقط ۳۰ گونه به‌صورت اهلی شده‌اند و در نهایت ۱۰ گونه به‌صورت تجاری مورد کشت‌وکار قرار گرفته است. قارچ صدفی از جنس *Pleurotus* بعد از قارچ تکمه‌ای مهم‌ترین قارچ‌های خوراکی کشت‌شده در دنیا می‌باشند.

در قارچ‌های خوراکی صدفی، میسلیم حاصل از تک اسپور عقیم بوده و جهت تکمیل چرخه جنسی خود نیازمند انجام هیبریداسیون بین میسلیم‌های مونوکاریون سازگار می‌باشد (Sánchez, 2010; Sonnenberg et al., 2011). با توجه به سازوکار چهار قطبی، رشد هر تک اسپور پس از جوانه‌زنی در شرایط مطلوب به‌صورت نامحدود ادامه می‌یابد و جست‌وجو برای یافتن میسلیم‌های مناسب انجام می‌شود تا در نهایت هم‌جوشی مونوکاریون‌های سازگار انجام شود. اگر مونوکاریون‌های انتخابی دارای ژن یا ژن‌های مطلوب از والدین خاص باشند، با تشکیل دی‌کاریون، صفات مطلوب دو نژاد در یک نژاد ظاهر پیدا خواهد کرد و همانند اصلاح نباتات، نژاد حاصل هیبرید خواهد بود (Khan et al., 2011; Raman et al., 2021). در مطالعه‌ای گزارش شده است که هیبریداسیون براساس تلاقی لاین‌های هوموکاریوتی غیربارور، هیبریدهای بین سویه‌ای توسعه‌یافته را برای بهبود ژنتیکی گونه‌های مختلف ارائه داد. در مطالعه آن‌ها، هیبریداسیون بین سویه‌ای با استفاده از جداسازی تک اسپور بین *P. eous* و *P. florida*، *sajor-caju* منجر به کوتاه شدن دوره رشد اسپان ۱۷ و ۱۸ روز پس از تلقیح در مقایسه با دوره طبیعی یک دوره رشد اسپان شد که حدود ۲۵-۳۰ روز بود (Gupta et al., 2011). همچنین در تحقیقی دیگر، خصوصیات ریخت‌شناختی و مولکولی قارچ 'صدفی زرد' و *P. citrinopileatus*، هیبریدهای حاصل از دورگ‌گیری بین گونه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و هیبریدهای بین گونه‌ای به‌دست‌آمده با این روش دورگ‌گیری منجر به سویه‌های بهتر قارچ برای بهبود ژنتیکی گونه *Pleurotus* شد (Rosnina et al., 2016).

هرکدام از گونه‌های قارچ صدفی از خصوصیات ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. *Pleurotus cornucopiae* (pauletexfr.) Roll and *Citrinopileatus single* ver. دارای کلاهکی به اندازه دو الی پنج سانتی‌متر و به‌رنگ زرد طلایی مایل به زرد روشن لیمویی بوده و هنگام بلوغ، کلاهک محدب، اغلب در وسط فرورفته، کم‌گوشت، ساقه سفید رنگ و به مرکز کلاهک وصل است (Royse et al., 2004). این قارچ به‌صورت خوشه‌ای بزرگ روی یک پایه رشد می‌کند.

میسلیم پنبه‌ای شکل و سفید رنگ اغلب به‌طور متراکم رشد می‌کند. گره‌های اولیه ابتدا زرد رنگ است (Lin et al., 2022). راندمان تولید بیولوژیکی قارچ، در روی کاه گندم در فضای بسته ۲۵ تا ۷۵ درصد است. میسلیم دارای قوس اتصال است. در *P. ostreatus* var. Florida نیز میسلیم قوس اتصال دارد. میسلیم‌های مونوکاریون به‌وجودآمده از اسپورهای این گونه دگرگشن هستند (Elbagory et al., 2022). این گونه نیاز حرارتی بالایی برای اندام‌زایی (بالای ۲۴ دارد، کلاهک‌ها در ابتدا محدب، به رنگ سفید، سطح کلاهک یکنواخت، ساقه به‌صورت نامتقارن و غیرمرکزی به کلاهک متصل است (Kinge et al., 2016). بافت کلاهک نازک و در بعضی اسپورها، میسلیم قارچ سفید رنگ است و به‌صورت شعاعی رشد می‌کند. این قارچ به‌آسانی رشد می‌کند، ولی معایبی نیز دارد که می‌توان به انبارمانی کوتاه و اسپورزایی زیاد آن اشاره کرد (Törös et al., 2022). قارچ صدفی *P. eryngii* نیز با داشتن اندام خوراکی بزرگ، نام شاه صدف را به خود اختصاص داده است. قارچ‌ها در گروه‌های کوچک رشد می‌کنند. اسپورهای این قارچ سفید رنگ و میسلیم آن دارای قوس اتصال است. قارچ شاه صدف دارای بافت محکم و تیغه‌های شعاعی کوتاه است (Wang et al., 2016). کوتاهی تیغه‌های شعاعی به این معنی است که این قارچ به‌طور نسبی اسپور کمتری تولید می‌کند و از انبارمانی طولانی و خوبی برخوردار است (Guo et al., 2023; Stajic et al., 2009).

اصلاح قارچ صدفی به‌روش تولید هیبرید بین گونه‌ای با هدف انتقال صفات مفید هر گونه قارچ صدفی به‌عنوان والد در این تحقیق، افزایش راندمان تولید از گونه 'فلوریدا'، اندازه بزرگ و مشتری‌پسند از گونه 'قارچ زرد' و قدرت انبارمانی زیاد از گونه 'ارنجی'، به‌عنوان خصوصیات مثبت برای هر گونه مورد نظر در نظر گرفته شد. از اهداف مورد نظر این تحقیق بود تا بتوان هیبرید بین گونه‌ای تولید نمود که همه خصوصیات سه گونه مورد نظر را در یک هیبرید داشته باشد. با توجه به وجود خصوصیات برتر در هرکدام از گونه‌های قارچ خوراکی صدفی و عدم وجود آن در گونه دیگر، انجام دورگ‌گیری بین آن‌ها ضروری است. بنابراین در نخستین گام در این تحقیق امکان تلاقی سه گونه قارچ خوراکی *P. Pleurotus cornucopiae*، *P. ostreatus* var *florida* و *eryngii* انتخاب گردید و پس از به دست آوردن هیبریدهای بین گونه‌ای، ارزیابی‌های مربوط به هیبریدها و والدین صورت گرفت تا نحوه انتقال صفات مطلوب از والدین به هیبریدها مشخص گردد. همچنین مقایسه بین هیبریدها از نظر صفات زراعی نیز صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه طرح اسپور

این تحقیق در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. ابتدا پلت‌های مادری سه نژاد از قارچ‌ها خوراکی صدفی به نام‌های علمی *P. Pleurotus cornucopiae*، *Pleurotus eryngii* و *ostreatus* var. *Floroida* از شرکت کشت پژوهان سپند تهیه شد. سپس اسپان این سه گونه تهیه و به بسترهای حاوی کلش گندم انتقال داده شدند. کلاهک‌های بالغ چیده شده و طرح اسپور تهیه گردید (Goltapeh et al., 2009).

تهیه محیط کشت برای رشد منوکاریون‌ها و دی‌کاریون‌ها

برای تهیه یک لیتر محیط کشت مورد استفاده برای رشد منوکاریون‌ها و دی‌کاریون‌ها از ۱۰ گرم در لیتر آگار، ۱۰ گرم در لیتر دکستروز، یک درصد استروپتومایسن، ۰/۲۵ گرم در لیتر پپتون، ۰/۲۵ گرم در لیتر KH_2PO_4 ، ۰/۲۵ گرم در لیتر $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، یک میلی‌لیتر از محلول یک درصد کلرید آهن، ۰/۵ گرم در لیتر عصاره مخمر و ۰/۵ لیتر عصاره سیب‌زمینی با pH مساوی ۶ استفاده شد. سپس محیط کشت استریل به پتری دیش‌ها یک بار مصرف (به قطر شش سانتی‌متر) پخش شد.

تهیه سوسپانسیون اسپور و کشت آن‌ها

پس از شمارش تعداد اسپور توسط دستگاه هموسایتومتر در محلول سوسپانسیون، غلظت اسپور در محلول سوسپانسیون حاصل روی 10^4 تنظیم شد. سپس قطرات سوسپانسیون به دقت داخل پتری‌دیش‌ها پخش گردید و پس از اینکه این کار برای تمامی گونه‌ها انجام گرفت، پتری‌دیش‌ها در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

تهیه منوکاریون‌های سه گونه مورد مطالعه

پتری‌دیش‌های حاوی اسپور هر روز به دقت زیر میکروسکوپ کنترل شدند، وقتی که اسپورها جوانه‌زنی کردند و قطر پرگنه‌ها رشد یافته در پتری‌دیش‌های تهیه شده به پنج میلی‌متر رسید، پتری‌دیش‌های تهیه شده زیر میکروسکوپ کنترل شده و در صورت مشاهده قوص اتصال در هر پتری‌دیش آن پتری‌دیش حذف شده و بقیه پتری‌دیش‌های فاقد قوص اتصال نگهداری شدند. در نهایت، برای فلوریدا ۳۰ منوکاریون و برای هر کدام از قارچ‌های ارنجی و زرد نیز ۱۰ منوکاریون به دست آمد.

انجام دورگیری بین سه گونه مورد مطالعه

در این مرحله، یک قطعه بسیار کوچک از منوکاریون‌ها (پنج میلی‌متر) برش داده و در داخل پتری‌دیش‌های شش سانتی‌متری به فاصله ۲۰ میلی‌متر از منوکاریون گونه دیگر قرار داده شدند تا منوکاریون‌ها به طرف همدیگر رشد کرده و زمانی که فاصله بین منوکاریون‌ها پنج میلی‌متر شد، در حد فاصل منوکاریون‌ها لایه نازکی از محلول پلی اتیلن گلیکول ۰/۰۳ درصد اضافه شد و سپس با رشد بعدی منوکاریون‌ها، حد فاصل آن‌ها محلول ۰/۰۱ درصد اضافه گردید و در صورتی که منوکاریون‌ها به طرف هم رشد کردند، نمونه‌ای از آن‌ها برداشته شد و زیر میکروسکوپ به دقت مورد مشاهده قرار گرفتند. در صورت مشاهده قوص اتصال در ناحیه حد واسط بین دو منوکاریون از دی‌کاریون‌های حاصل نمونه‌برداری کرده و در محیط کشت استریل قبلاً آماده شده، کشت شدند (شکل ۱).

تهیه و کشت اسپان و ارزیابی خصوصیات هیبریدها و والدین

پس از اینکه دی‌کاریون‌های کشت شده به شعاع دو سانتی‌متر رسیدند، آن‌ها را قطعه قطعه کرده و به پتری‌دیش‌های با محیط کشت جدید منتقل شدند. پس از اینکه از هر هیبرید پلیت به اندازه کافی به دست آمد، از آن‌ها مثل حالت والدینی، اسپان تهیه گردید. برای کشت اسپان هیبریدها و والدین برای هر کدام سه بستر حاوی کلش گندم (به وزن ۶/۸ کیلوگرم) تهیه و استریل شدند. سپس بسترها با اسپان تهیه شده از هیبریدها و والدین (به مقدار ۳۵ گرم) تلقیح گردیده و در دمای 22 ± 1 درجه سانتی‌گراد در محیط تاریک قرار داده شد. بسترها پس از پنجه‌دوانی در یک محیط مناسب قرار داده شدند و سپس رطوبت محیط به ۸۵-۹۰ درصد رسانده شد تا هیبریدها شروع به تولید گره‌های اولیه و سپس پین کرده و تبدیل به کلاهک‌های بالغ شوند. کلاهک در این مرحله از نظر تولید اسپور مورد آزمون قرار گرفتند.

آنالیز آماری

تحلیل و بررسی داده‌های این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن محاسبه شد. رسم نمودارها به وسیله نرم‌افزار Microsoft Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

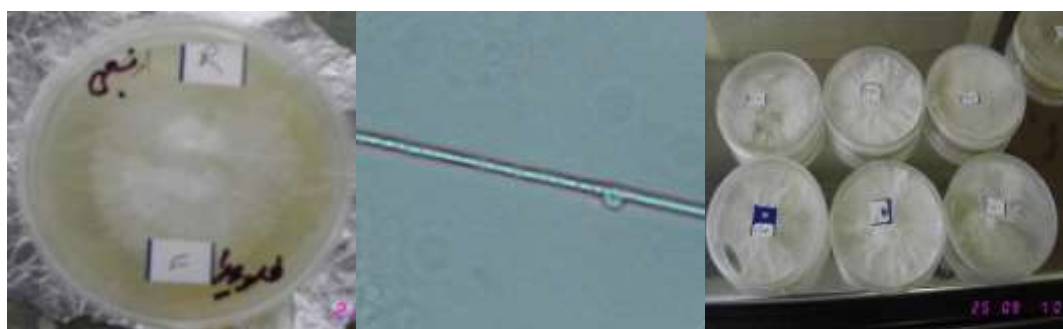
ایجاد هیبرید بین گونه‌ای

پس از رقیق کردن و کاشت اسپورهای سه گونه مورد مطالعه به تعدادی کافی منوکاریون از 'ارنجی'، 'فلوریدا' و 'قارچ زرد' تهیه

تعداد روز تا پنجه‌دوانی

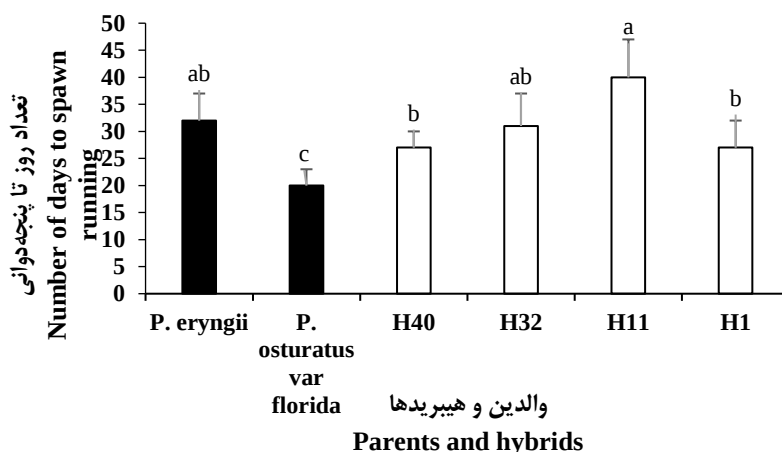
در بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری از لحاظ تعداد روز تا پنجه‌دوانی وجود داشت ($p < 0.01$) و 'ارنجی' به دلیل کندی رشد میسلیم، از تعداد روز تا پنجه‌دوانی طولانی‌تری نسبت به 'فلوریدا' برخوردار بود. این در حالی است که در بین هیبریدها، 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' از تعداد روز تا پنجه‌دوانی بیشتری نسبت به 'ارنجی' برخوردار بوده و تفکیک متجاوز در جهت منفی نشان دادند، ولی هیبرید 'H₄₀' با قرار گرفتن در بین دامنه والدین زودتر از سایر هیبریدها پنجه‌دوانی کرده و هیبرید رضایت‌بخشی از این لحاظ به نظر می‌رسد. لازم به ذکر می‌باشد که کمترین تعداد روز تا پنجه‌دوانی متعلق به 'فلوریدا' بوده، ولی باین‌حال این صفت از طریق دورگیری به هیبریدها انتقال پیدا نکرده است (شکل ۲). نتایج تحقیق تلاقی سه گونه قارچ صدفی *P. ostreatus*، *P. sapidus* و *P. pulmonarius* مشخص شد که سویه هیبریدی به‌دست‌آمده در این مطالعه تولید اسپان، وزن تازه میوه، راندمان بیولوژیکی و میزان تولید، عملکرد بسیار بهتری نسبت به سویه وحشی داشت (Adebayo et al., 2013).

شد. مونوکاریون‌ها در طی مدت زمان کوتاهی رشد کرده و قابل رؤیت شدند. ۳۰ مونوکاریون از 'فلوریدا'، ۱۰ مونوکاریون از 'ارنجی' و 'قارچ زرد' که از رشد مناسب برخوردار بودند، گزینش شد و از آن‌ها کلون تهیه گردید. از بین ۳۰۰ تلاقی (۱۰ × ۳۰) بین 'فلوریدا' و 'ارنجی' تنها چهار تلاقی سازگار و موفقیت‌آمیز به دست آمد که مطالعات میکروسکوپی نشان داد که قوص اتصال وجود داشته (شکل ۱) و بنابراین چهار دی‌کاریون از تلاقی 'فلوریدا' با 'ارنجی' به دست آمد. در سایر تلاقی‌های این دو گونه، در هم رفتن مونوکاریون‌ها و قوص اتصال مشاهده نشد. از بین ۱۰۰ تلاقی بین 'فلوریدا' با 'قارچ زرد' و 'ارنجی' با 'قارچ زرد'، تلاقی سازگار به دست نیامد و تکرار مجدد تلاقی‌ها نیز موفقیت‌آمیز نبود. در تلاقی بین دو گونه جدایه‌های تک اسپور، اسپورهای با رشد شعاعی سریع، انتخاب و با هم جفت شدند و نتایج تلاقی صورت‌گرفته نشان داد که دی‌کاریون‌هایی با بالاترین سرعت رشد میسلیم تشکیل شدند (Baral et al., 2018).



شکل ۱- تلاقی، قوص اتصال و میسلیم دی‌کاریون (به ترتیب از راست به چپ)

Figure 1- Cross, clamp connection, and dikaryon mycelium (from right to left, respectively)



شکل ۲- تعداد روز تا پنجه‌دوانی در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 2- Number of days to pinning in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

از کاشت تا برداشت بیشتر نسبت به هیبریدهای 'H₄₀'، 'H₁' و 'H₃₂' داشت و مشابه 'ارنجی' بود، از طرف دیگر اگرچه هیبرید 'H₃₂' دارای طول دوره رشد از کاشت تا برداشت کوتاه‌تر بود، لذا از این لحاظ هیبرید مطلوب به نظر می‌رسد، ولی با داشتن حداقل عملکرد، هیبرید رضایت‌بخشی برای اهداف تولیدی نمی‌باشد. درحالی‌که هیبرید 'H₄₀' با دارا بودن طول دوره رشد از کاشت تا برداشت کمتر از 'ارنجی' و 'فلوریدا' تفکیک متجاوز نشان داده و با دارا بودن عملکرد مطلوب در حد ارنجی، هیبرید مناسبی می‌باشد (شکل ۴).

تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر

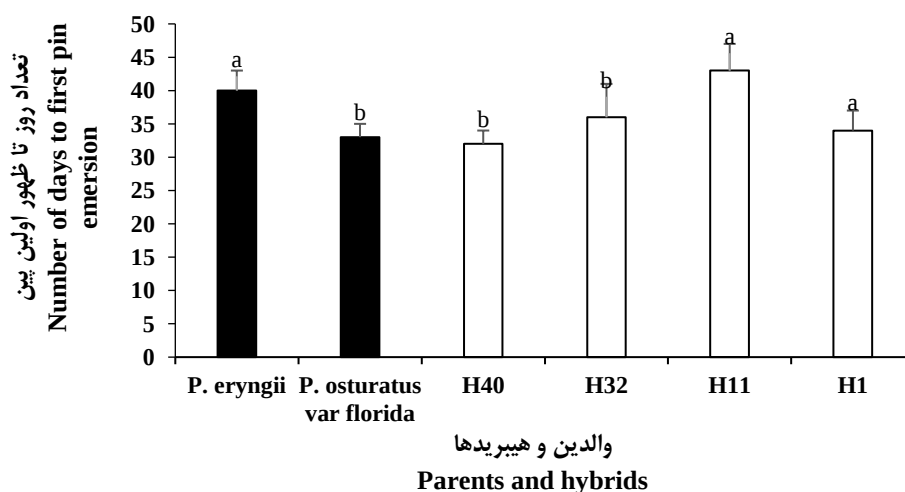
در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر مشاهده شد ($p < 0.01$). 'فلوریدا' با دارا بودن متوسط ۳۹ کلاهک در هر بستر از بیشترین متوسط تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر نسبت به 'ارنجی' و هیبریدها برخوردار بود که این امر به دلیل تشکیل تعداد گره‌های اولیه بیشتر و در نتیجه پین‌های تولیدی زیاد 'فلوریدا' نسبت به 'ارنجی'، و هیبریدها می‌باشد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین هیبریدها از نظر تعداد کلاهک تولیدی وجود نداشت و به‌طور متوسط ۱۸ کلاهک تولید کردند (شکل ۵). در بررسی سایر نتایج نیز هیبریدهایی با تعداد کلاهک بیشتر از یکی از والدین تولید شده است (Jaswal et al., 2014).

تعداد روز تا ظهور اولین پین

بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری دارای متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین بیشتری نسبت به 'فلوریدا' بود. بین 'فلوریدا' و هیبریدهای 'H₄₀'، 'H₃₂' و 'H₁' از لحاظ متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. که این خود بیان‌کننده به ارث رسیدن این صفت از 'فلوریدا' به این هیبریدها می‌باشد. این در حالی است که سرعت رشد بالای میسلیوم‌ها در 'H₄₀'، باعث کم شدن دوره پنجه‌دوانی (حداقل ۱۵ روز) نسبت به سایر هیبریدها و 'ارنجی' شده است. در بین هیبریدها، 'H₁' دارای بیشترین متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین نسبت به سایر هیبریدها بود (شکل ۳).

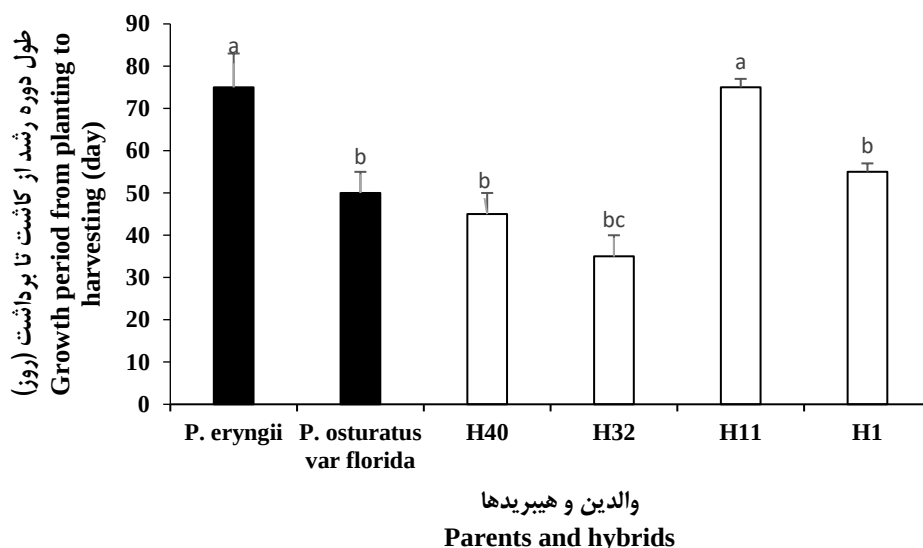
متوسط طول دوره رشد از کاشت تا برداشت

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ طول دوره رشد از کاشت تا برداشت اختلاف معنی‌داری نسبت به هم داشتند ($p < 0.01$). به‌طوری‌که طول دوره رشد از کاشت تا برداشت در 'فلوریدا' به علت قدرت تجزیه‌کنندگی بستر و در نتیجه سرعت بالای رشد میسلیوم‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کوتاه‌تر از 'ارنجی' بود. متوسط طول دوره رشد 'ارنجی' مساوی هیبرید 'H₁₁'، ولی از سایر هیبریدها به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر بود. این در حالی است که متوسط طول دوره رشد 'فلوریدا' کمتر از 'H₁₁' و 'H₁' و بیشتر از 'H₄₀' و 'H₃₂' بود. در بین هیبریدها، 'H₁₁' به‌طور قابل ملاحظه‌ای طول دوره رشد

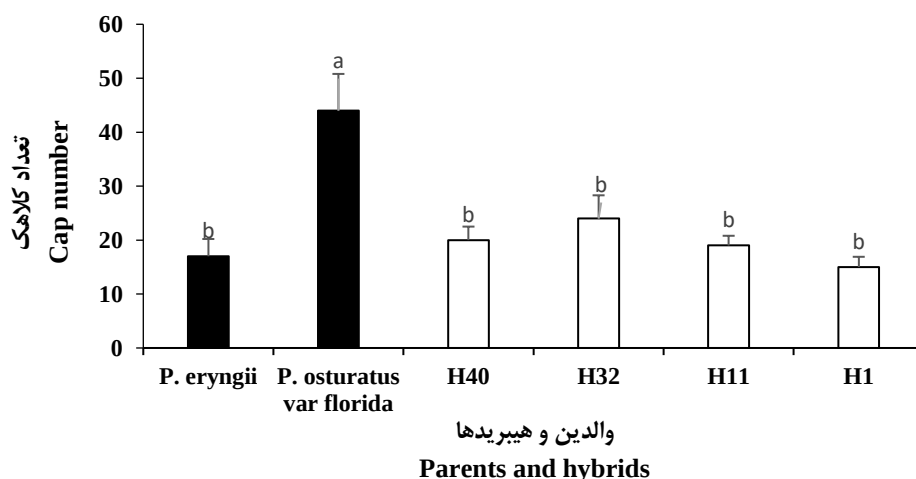


شکل ۳- تعداد روز تا ظهور اولین پین در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 3- The number of days to first pin emergence in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



شکل ۴- طول دوره رشد از کاشت تا برداشت در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 4- Growth period from planting to harvesting running in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

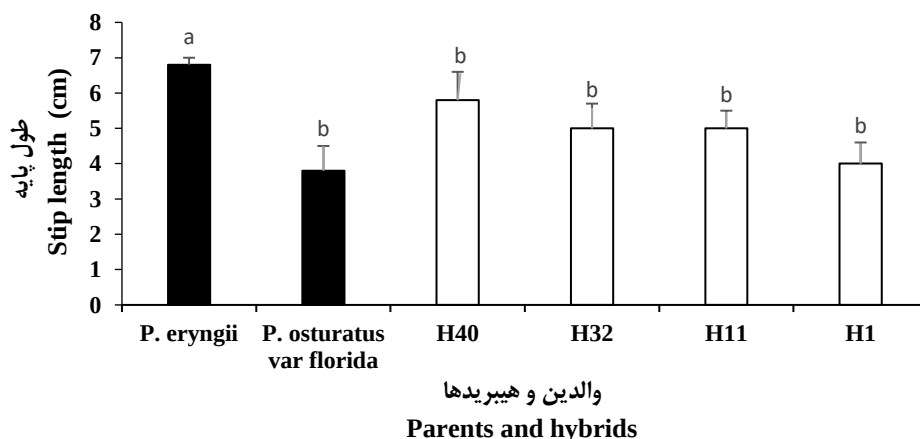


شکل ۵- تعداد کلاهک در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 5- Cap number in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

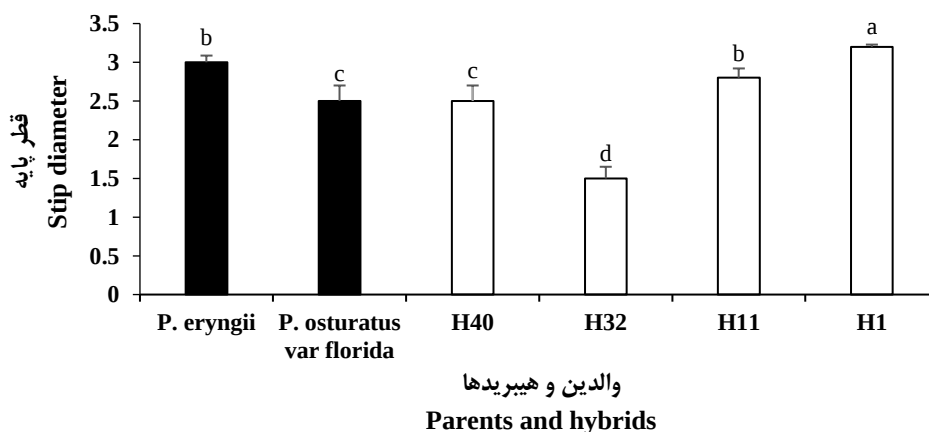
طول و قطر پایه

بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط طول پایه وجود داشت ($p < 0.01$). متوسط طول پایه در 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری بیشتر از هیبریدها و 'فلوریدا' بود. اختلاف معنی‌داری بین 'فلوریدا' و هیبریدها از نظر طول پایه مشاهده نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به احتمال زیادی این صفت از 'فلوریدا' به هیبریدها رسیده است. علاوه بر این اختلاف معنی‌داری بین هیبریدها نیز مشاهده نشد (شکل ۶). از لحاظ قطر پایه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). متوسط قطر پایه در 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری بیشتر از 'فلوریدا'

بود. متوسط قطر پایه در 'ارنجی' تفاوت معنی‌داری با هیبرید 'H11' نداشت، درحالی‌که متوسط قطر پایه 'ارنجی' بیشتر از هیبرید 'H32' و 'H11' و کمتر از هیبرید 'H1' بود. در بین هیبریدها نیز اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط قطر پایه وجود داشت. در بین هیبریدها 'H1' دارای متوسط قطر پایه بزرگ‌تری نسبت به هیبریدهای 'H40'، 'H32' و 'H11' بود (شکل ۷). در تحقیقی با استفاده از هیبریداسیون مون-مون، سویه‌ای با ماندگاری بالا در *Pleurotus eryngii* ایجاد کردند. سویه هیبریدی ایجادشده پس از یک دوره ۵۹ روزه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد، طبیعی باقی ماند. این مطالعه همبستگی ماندگاری با قطر محکم ساقه را نشان داد (Kim et al., 2013).



شکل ۶- طول پایه در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 6- Stiplength of parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



شکل ۷- قطر پایه در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 7- Stip diameter of parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

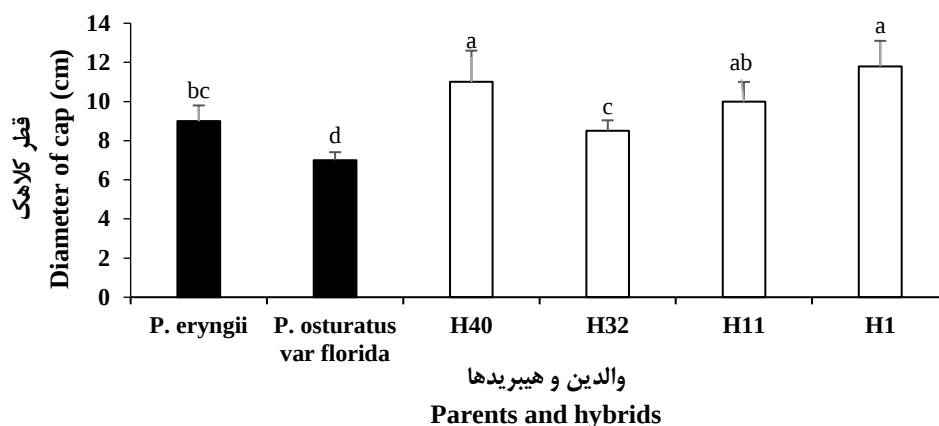
قطر کلاهک

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر متوسط قطر کلاهک اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). متوسط قطر کلاهک 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری ($9/05$ سانتی‌متر) بیشتر از 'فلوریدا' (هفت سانتی‌متر) بود. 'ارنجی' دارای متوسط قطر کلاهک کمتری نسبت به هیبریدهای 'H₄₀' و 'H₁' بود، این درحالی است که متوسط قطر کلاهک 'ارنجی' در مقایسه با هیبرید 'H₃₂' و 'H₁₁' تفاوت معنی‌داری نداشت. تمام هیبریدها متوسط قطر کلاهک بیشتری نسبت به 'فلوریدا' داشتند. در بین هیبریدها، 'H₄₀'، 'H₁' و 'H₁₁' تفاوت معنی‌داری از لحاظ متوسط قطر کلاهک نسبت به هم نداشتند، درحالی‌که هیبرید 'H₃₂' دارای متوسط قطر کلاهک کوچک‌تری در مقایسه با تمام هیبریدها بود. از طرف دیگر،

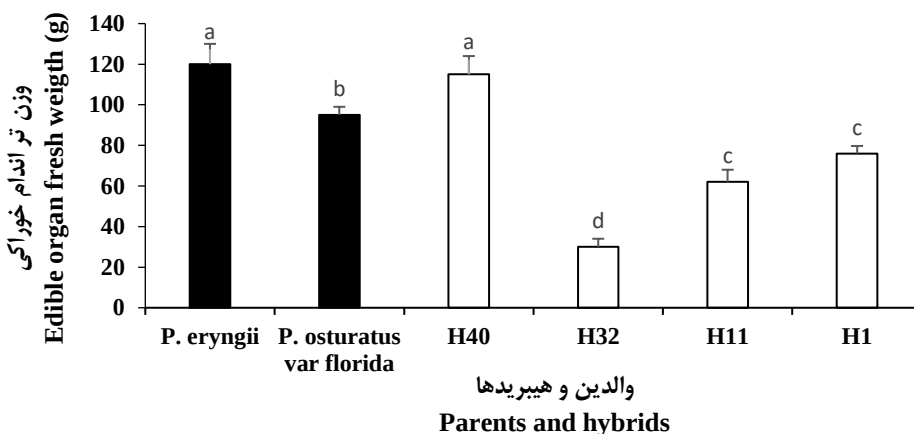
هیبریدهای 'H₁' و 'H₄₀' دارای متوسط قطر کلاهک بزرگ‌تر از والدین بوده و تفکیک متجاوز مثبت نشان دادند (شکل ۸).

وزن تر اندام خوراکی

در بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ متوسط وزن تر اندام خوراکی نیز اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$) به‌طوری‌که 'ارنجی' با داشتن متوسط وزن تر اندام خوراکی $120/5$ گرم، بیشترین وزن تر اندام خوراکی را به خود اختصاص داد. متوسط وزن تر اندام خوراکی 'ارنجی' تفاوت معنی‌داری با هیبرید 'H₄₀' نداشت. این درحالی است که هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' دارای متوسط وزن تر اندام خوراکی کمتر از 'ارنجی' و 'فلوریدا' بوده و تفکیک متجاوز در جهت منفی نشان دادند. در بین هیبریدها نیز تفاوت معنی‌داری از نظر متوسط وزن تر اندام خوراکی وجود داشت به‌طوری‌که هیبرید 'H₃₂' دارای کمترین متوسط وزن تر اندام خوراکی بود (شکل ۹).



شکل ۸- قطر کلاهک در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 8- Diameter of cap in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

شکل ۹- وزن تر اندام خوراکی در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

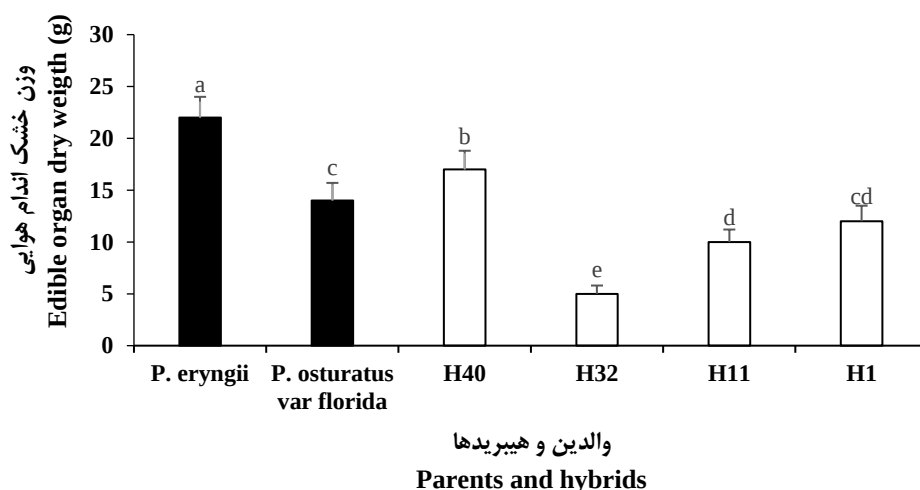
Figure 9- Edible organ fresh weight in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

متوسط عملکرد

متوسط عملکرد برداشت شده طی سه دوره از هر بستر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اختلاف معنی داری بین ژنوتیپها از لحاظ متوسط عملکرد وجود داشت ($p < 0.01$). 'فلوریدا' با داشتن متوسط عملکرد ۳۸۳۱ گرم به ازاء هر بستر از بالاترین عملکرد برخوردار بود و اختلاف معنی داری نسبت به 'ارنجی' با متوسط عملکرد ۲۰۸۱ گرم به ازای بستر و هیبریدهای تولیدی نشان داد. متوسط عملکرد هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' به طور معنی داری کمتر از 'فلوریدا'، 'ارنجی' و هیبرید 'H₄₀' بود و این هیبریدها از نظر ویژگی عملکرد، هیبرید نامناسبی شناخته شدند (شکل ۱۱). در تلاقی بین دو گونه *P. citrinopileatus* و *P. pulmonarius* ده مونوکاریون از هر والد به صورت ترکیبی با هم جفت گیری شدند. در مجموع، پنج هیبرید به دست آمد. یکی از هیبریدها در مقایسه با والدین، رشد میسیلیوم و عملکرد بالاتری نشان داد (Abdulgani et al., 2017).

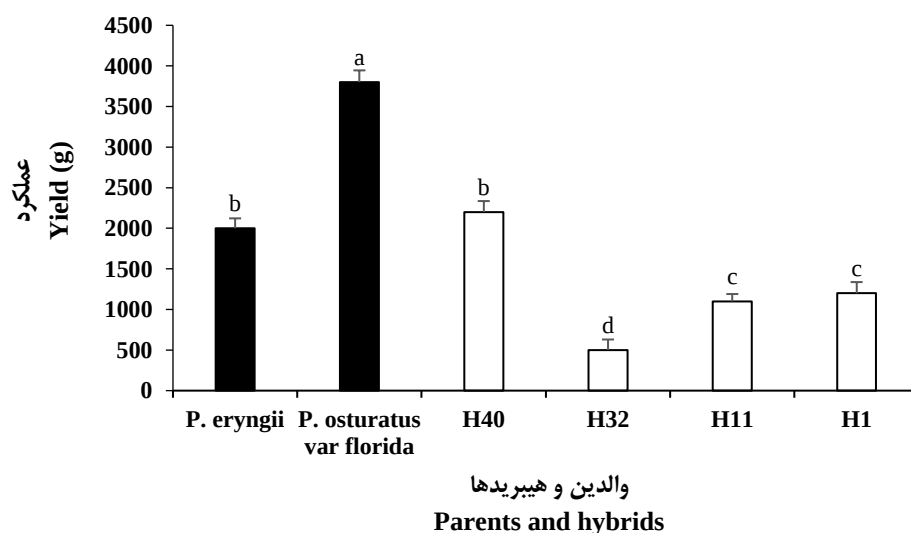
متوسط وزن خشک اندام خوراکی

ژنوتیپهای مورد مطالعه اختلاف معنی داری از لحاظ متوسط وزن خشک اندام خوراکی نیز داشتند ($p < 0.01$). 'ارنجی' با دارا بودن ۲۱/۵۳ گرم وزن خشک از بیشترین وزن خشک اندام خوراکی برخوردار بود و اختلاف معنی داری با فلوریدا و هیبریدها نشان داد. هیبریدها نیز اختلاف معنی داری از لحاظ متوسط وزن خشک اندام خوراکی نسبت به هم نشان دادند. هیبرید 'H₄₀' به طور معنی داری وزن خشک اندام خوراکی بیشتری نسبت به هیبریدهای 'H₃₂'، 'H₁₁' و 'H₁' داشت و حتی از وزن خشک اندام خوراکی بیشتری نسبت به فلوریدا نیز برخوردار بود که از این لحاظ هیبرید مطلوبی به نظر می رسد. کمترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به 'H₁₁' و 'H₃₂' بود که تفکیک متجاوز در جهت منفی نشان دادند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- وزن خشک اندام خوراکی در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 10- Edible organ dry weight in parental and hybrid strain of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



شکل ۱۱- عملکرد (گرم به ازای هر بستر شش کیلوگرمی) در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 11- Yield (g per 6 kg bed) in parental and hybrid strain of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

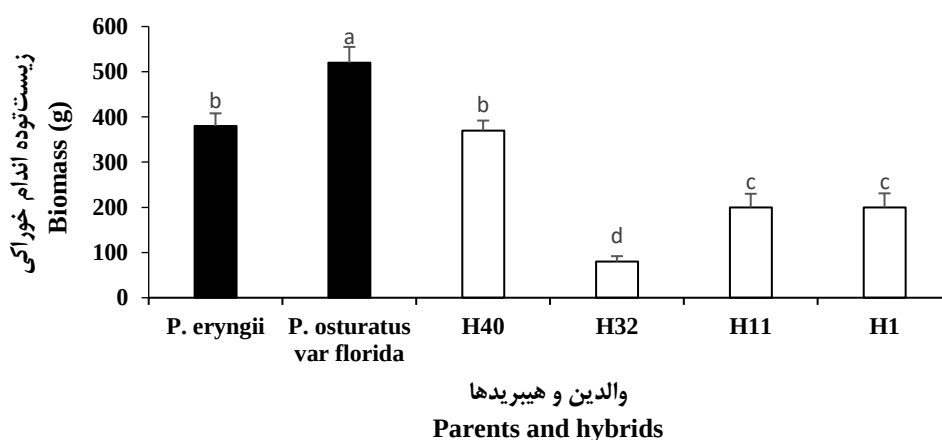
در حالی است که به علت کم بودن زیست توده اندام خوراکی هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' نسبت به سایر ژنوتیپ، می توان اظهار داشت که قدرت تجزیه کنندگی این هیبریدها پایین بوده و باید از سایر خصوصیات این هیبریدها استفاده کرد (شکل ۱۲).

دسته بندی ژنوتیپها براساس عملکرد (وزن تر و خشک) از لحاظ عملکرد (وزن تر و خشک)، هیبرید 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' شباهت زیادی با هم داشته و در خوشه واحدی قرار گرفتند. از طرف دیگر، هیبرید 'H₄₀' شبیه 'ارنجی' بود. در کل، هیبریدها و 'ارنجی' از نظر عملکرد در یک گروه قرار گرفتند. این درحالی است

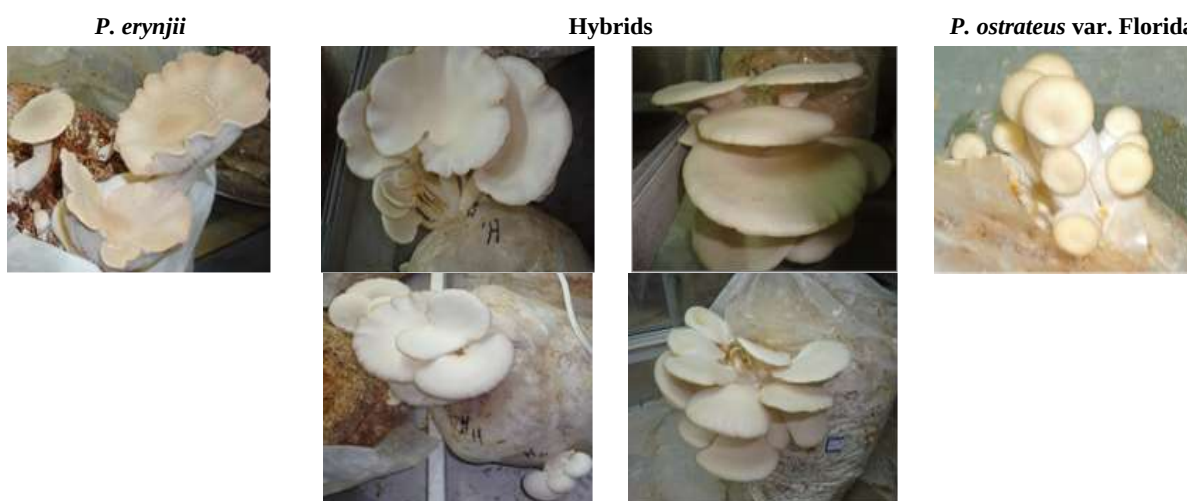
زیست توده اندام خوراکی (گرم به ازای هر بستر)

بین ژنوتیپها از لحاظ زیست توده اندام خوراکی اختلاف معنی داری وجود داشت ($p < 0.01$). زیست توده اندام خوراکی در 'فلوریدا' به طور معنی داری بیشتر از زیست توده اندام خوراکی در 'ارنجی' و هیبریدها بود و این امر نشان می دهد که قدرت تجزیه بستر در 'فلوریدا' نسبت به گونه 'ارنجی' و هیبریدهای آنها بیشتر می باشد. اختلاف معنی داری بین زیست توده اندام خوراکی 'ارنجی' و 'H₄₀' وجود نداشت، اما زیست توده اندام خوراکی 'ارنجی' به طور معنی داری بیشتر از هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' بود. بنابراین H₄₀ از لحاظ قدرت تجزیه بستر مشابه 'ارنجی' عمل کرده است. این

که 'فلوریدا' یک گروه مجزا را به خود اختصاص داد. نتیجه اینکه از لحاظ عملکرد هیبریدها مشابه 'ارنجی' بوده و صفات عملکرد بالا از 'فلوریدا' به هیبریدها منتقل نشد (شکل ۱۴).



شکل ۱۲- زیست توده (گرم به ازاء هر بستر شش کیلوگرمی) در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 12-Biomass (g per 6 kg bed) in parentl and hybrid strain of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



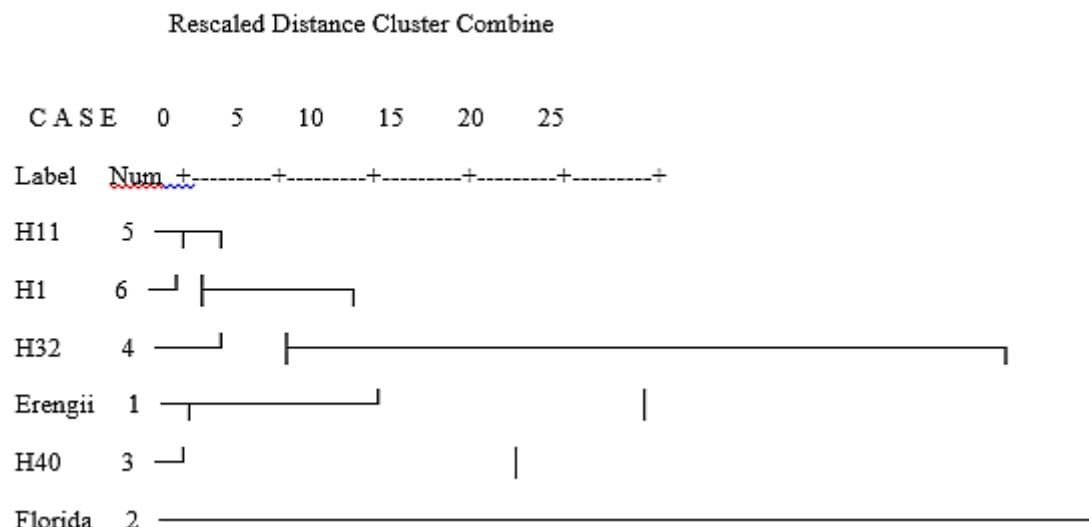
شکل ۱۳- تولید اندام خوراکی در والدین و هیبریدها
Figure 13- Produce of edible organ in parental and hybrid strains

نتیجه گیری

طول دوره کاشت کمتری برخوردار بودند، زودرس تر از والدین و سایر هیبریدها بودند. هیبرید 'H40' با دارا بودن وزن تر اندام خوراکی مشابه با 'ارنجی' یک هیبرید مناسب محسوب گردید. این در حالی است که بقیه هیبریدها از لحاظ این صفت نامطلوب بودند. هیبرید 'H40' عملکرد (وزن تر) و زیست توده بیشتری نسبت به هیبریدهای دیگر داشت و مشابه 'ارنجی' بود. حداقل اسپورزایی در هیبریدهای 'H1' و 'H11' مشاهده گردید که این مقدار اسپورزایی حتی کمتر از 'ارنجی' بود. هیبرید 'H40' هرچند از نظر برخی صفات هیبرید مطلوبی به نظر می رسد، اما از اسپورزایی زیاد و مشابه 'فلوریدا' برخوردار بود.

نتایج بررسی حاضر نشان داد که تلاقی بین قارچ زرد با 'فلوریدا' و 'ارنجی' با قارچ زرد موفقیت آمیز نبود. از بین ۳۰۰ تلاقی (۱۰ × ۳۰) بین 'فلوریدا' و 'ارنجی' چهار تلاقی سازگار و موفقیت آمیز به دست آمد که هیبریدهای 'H1'، 'H32'، 'H11' و 'H40' نام گذاری شدند. از لحاظ پنجه دوانی بین ژنوتیپها اختلاف قابل ملاحظه ای وجود داشت و هیبریدها از این لحاظ به 'ارنجی' شبیه بوده و در مدت زمان طولانی تری نسبت به 'فلوریدا' پنجه دوانی کردند. هیبرید 'H40' و 'H32' به خاطر اینکه از تعداد روز تا ظهور اولین پین و در نهایت از

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



شکل ۱۴- دسته بندی ژنوتیپ‌های قارچ خوراکی براساس عملکرد
Figure 14- Classification of mushroom genotypes based on yield

References

1. Abdulgani, R., Ching-Ching, L., Abdullah, N., & Vikineswary, S. (2017). Morphological and molecular characterization of *Pleurotus pulmonarius* (fr.) Quel hybrids with improved sporophore features and higher biological efficacy. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(4), 1814-9596.
2. Adebayo, E. A., Oloke, J. K., Yadav, A., Barooah, M., & Bora, T. C. (2013). Improving yield performance of *Pleurotus pulmonarius* through hyphal anastomosis fusion of dikaryons. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, 1029-1037. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1266-8>
3. Baral, D., Roy, A., Thapa, S., & Chettri, D. (2018). Selection of culture media and monokaryotic isolates of *Pleurotus flabellatus* and *P. sajor-caju* for their dikaryotization followed by performance testing of dikaryotic isolates on malt extract agar medium. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 26, 1-10.
4. Barh, A., Sharma, V. P., Annepu, S. K., Kamal, S., Sharma, S., & Bhatt, P. (2019). Genetic improvement in *Pleurotus* (oyster mushroom): A review. *3 Biotech*, 9(9), 322. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1854-x>
5. Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633-646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
6. Elbagory, M., El-Nahrawy, S., Omara, A. E. D., Eid, E. M., Bachheti, A., Kumar, P., Abou Fayssal, S., Adelodun, B., Bachheti, R. K., & Kumar, P. (2022). Sustainable bioconversion of wetland plant biomass for *Pleurotus ostreatus* var. florida cultivation: Studies on proximate and biochemical characterization. *Agriculture*, 12(12), 2095. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122095>
7. Goltapeh, E. M., Danesh, Y. R., Kamal, S., & Varma, A. (2009). Biology and molecular approaches in genetic improvement of cultivated button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Symbiotic Fungi: Principles and Practice*, chapter, 403-421.
8. Guo, Y., Chen, X., Gong, P., Wang, R., Qi, Z., Deng, Z., Han, A., Long, H., Wang, J., & Yao, W. (2023). Advances in postharvest storage and preservation strategies for *Pleurotus eryngii*. *Foods*, 12(5), 1046. <https://doi.org/10.3390/foods12051046>
9. Gupta, B., Niranjana Reddy, B. P., & Kotasthane, A. S. (2011). Molecular characterization and mating type analysis of oyster mushroom (*Pleurotus* spp.) using single basidiospores for strain improvement. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27, 1-9.
10. Jaswal, R. K., Sodhi, H. S., & Sharma, S. (2014). Characterization of interspecific hybrid dikaryons of the oyster mushrooms, *Pleurotus florida* PAU-5 and *P. sajor-caju* PAU-3 (higher Basidiomycetes) from India. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(4). <https://doi.org/10.1615/intjmedmushrooms.v16.i4.60>

11. Khan, S. M., Nawaz, A., Malik, W., Javed, N., Yasmin, T., ur Rehman, M., Qayyum, A., Iqbal, Q., Ahmad, T., & Khan, A. A. (2011). Morphological and molecular characterization of oyster mushroom (*Pleurotus* spp.). *African Journal of Biotechnology*, 10(14), 2638-2643. <https://doi.org/10.5897/AJB10.499>
12. Kim, M. K., Ryu, J. S., Lee, Y. H., & Kim, H. R. (2013). Breeding of a long shelf-life strain for commercial cultivation by mono-mono crossing in *Pleurotus eryngii*. *Scientia horticulturae*, 162, 265-270. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.028>
13. Kinge, T. R., Adi, E. M., Mih, A. M., Ache, N. A., & Nji, T. M. (2016). Effect of substrate on the growth, nutritional and bioactive components of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus florida*. *African Journal of Biotechnology*, 15(27), 1476-1486. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.15130>
14. Lin, P., Yan, Z. F., Kook, M., Li, C. T., & Yi, T. H. (2022). Genetic and chemical diversity of edible mushroom *Pleurotus* species. *BioMed Research International*, 2022(1), 6068185. <https://doi.org/10.1155/2022/6068185>
15. Mohamadhasani, F., & Rahimi, M. (2022). Growth response and mycoremediation of heavy metals by fungus *Pleurotus* sp. *Scientific Reports*, 12(1), 19947.
16. Rosnina, A. G., Tan, Y. S., Abdullah, N., & Vikineswary, S. (2016). Morphological and molecular characterization of yellow oyster mushroom, *Pleurotus citrinopileatus*, hybrids obtained by interspecies mating. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11274-015-1959-2>
17. Royse, D. J., Rhodes, T. W., Ohga, S., & Sanchez, J. E. (2004). Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technology*, 91(1), 85-91. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(03\)00151-2](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(03)00151-2)
18. Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1321-1337. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>
19. Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendrickx, P. M., Lavrijssen, B., Gao, W., Weijn, A., & Mes, J. J. (2011). Breeding and strain protection in the button mushroom *Agaricus bisporus*. Proceedings of the 7th International Conference of the World Society for Mushroom Biology and Mushroom Products, 04-07 October 2011, Arcachon, France, 7-15.
20. Törös, G. H. R. H., El-Ramady, H., & Prokisch, J. (2022). Edible mushroom of *Pleurotus* spp.: A case study of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.). *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 51-59.
21. Wang, Y., Wang, R., Mao, W. J., Gong, M., Gao, Y. N., Tang, L. H., Yang, R. F., Li, Y., & Zhou, C. L. (2016). A simple and efficient transformation system for the edible mushroom *Pleurotus eryngii*. *Mycoscience*, 57(5), 356-360. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2016.06.005>

Comparative Study of Pulse and Permanent Treatments of Nanosilver, Salicylic Acid and Some Essential Oils on Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bol.) 'Rosalin' Traits

M. S. Motaghayer¹, M. Azizi^{1*}, A. Tehranifar¹

1- Department of Horticulture Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: azizi@um.ac.ir)

Received: 24 August 2020

Revised: 15 April 2021

Accepted: 07 March 2022

Available Online: 07 March 2022

How to cite this article:

Motaghayer, M. S., Azizi, M., & Tehranifar, A. (2026). Comparative study of pulse and permanent treatments of nanosilver, salicylic acid and some essential oils on gerbera (*Gerbera jamesonii* Bol.) 'Rosalin' traits. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 217-236. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60101.0>

Introduction

Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus, *Asteraceae*) commonly known as Transvaal Daisy, is one of the ten most popular and important commercial cut flowers. Gerbera is a perennial, tropical, herbaceous plant with colorful and attractive flowers that are widely used as a decorative garden plant or cut flowers. The most important problem of the gerbera cut flowers is short vase life. The end of vase life of cut gerbera flowers is often due to bending of the scape. The aim of this study was to screen the effects of nanosilver and salicylic acid as pulse treatment and sucrose and thyme, clove and peppermint essential oils as permanent treatment on vase life and some physiological and biochemical traits of gerbera 'Rosalin' cut flowers.

Materials and Methods

This study was conducted as a factorial experiment based on completely randomized block design with three replications. The first factor was pulse treatments using nanosilver (NS) 5 and 10 mg.L⁻¹ (Nanocid Company, Iran), salicylic acid (SA) 50 and 100 mg.L⁻¹ (Merck Company) and distilled water as control, and the second factor was permanent treatments applying distilled water, sucrose 4% (Merck Company), peppermint (100 mg.L⁻¹), thyme (100 mg.L⁻¹) and clove (300 mg.L⁻¹) essential oils (EO) (Zardband Company, Iran). Pulse treatments were applied for 24 h. Treated stems were then stood into vases containing permanent treatments. Vase solutions were freshly prepared at the beginning of the experiment and not renewed during of the study. The measured traits were: flower vase life, flower water content (WC), relative fresh weight (RFW), water loss (WL), water uptake (WU), total soluble solid (TSS), superoxide dismutase (SOD) enzyme activity and malondialdehyde (MDA) amount (Biovision Colorimetric Assay Kit, USA). The experiment was conducted in the laboratory at 20-22°C, 40-50% RH, and 15 µmol.m⁻².s⁻¹ light intensity (cool white florescent tubes) under a daily light period of 12 hours. The obtained data were analyzed using MSTAT-C program and mean comparison was done using LSD range test.

Results and Discussion

The results showed that NS 10 mg.L⁻¹ with thyme EO 100 mg.L⁻¹ (14.25 days) and NS 10 mg.L⁻¹ followed by peppermint EO 100 mg.L⁻¹ (14 days) had the best effect on longevity and maintaining the water content of gerbera cv. 'Rosalin' cut flower, compared to other treatments. Flower WC was high (about 90%) except in 4% sucrose permanent treatment flowers which had negative effect and decreased more rapidly during the vase life period. Despite antimicrobial preservative application, RFW, WU, WL and TSS generally had a decreasing trend during the experiment. However, it was observed that flowers treated by NS 10 mg.L⁻¹ (0.86 g.g⁻¹), thyme (0.77



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60101.0>

g.g⁻¹) and peppermint (0.72 g.g⁻¹) EOs had the highest RFW on the eighth day of the experiment, but 4% sucrose (0.59 g.g⁻¹) permanent treatment reduced RFW during cut flower vase life. The highest WU was observed in SA 100 mg/L (67.28 g), NS 5 (61.31 g) and 10 mg/L (60.35 g) on the second day. According to the results of this research, pulsing by NS 5 and 10 mg.L⁻¹ and SA 100 mg.L⁻¹ resulted in the most WL on day two (64.24, 57.85 and 64.95 g respectively). TSS of the cut flowers decreased with time, however reduction rates were delayed in SA and NS treated flowers. On the eighth day of experiment, long-term treatment showed the greatest effect on TSS amount. Flowers treated by NS 10 mg.L⁻¹ followed by 4% sucrose and peppermint EO treatment had the highest TSS amount, respectively 3.50 and 3.17 Bx. As time passed, the activities of SOD enzyme increased, however, treated flowers showed significantly higher SOD activity compared to the control. Especially NS 10 mg.L⁻¹ pulse treatment, followed by thyme and peppermint EOs, indicated the highest amounts (241.43% and 233.94%) of SOD activity on the seventh day of the experiment. During the experiment, MDA increased in the flowers, so that the highest amount of MDA was detected in the control (67.30%) on the seventh day and the lowest was produced in NS 10 mg/L treated flowers followed by thyme (14.88%) and peppermint (19.44%) EOs. Due to the fact that these treatments had the best effects on flower vase life, these results are logical.

Conclusion

Based on the results of this study, new antimicrobial agents such as NS, thyme and peppermint EOs had a positive effect on flower vase life, WC, RFW and WU and reduced the rate of WL and TSS reduction in flowers. It might be due to this fact that these are very effective antimicrobial agents, inhibited the microbial growth and prevented bacterial plugging in conducting tissues. NS particles enter to cell, tissue and organs, so they can inhibit the respiration and electron transfer system and material transfer in microbial cell membrane. The application of natural phenolic compound like EOs reduced the accumulation of MDA and enhanced SOD enzyme activity. Therefore, due to the undesirable results of chemical preservative on human and environmental health, EOs can be very good substitutes for preserving cut flowers postharvest life.

Keywords: Cut flower, Nanoparticles, Peppermint essential oil, Thyme essential oil, Vase life

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص. ۲۳۶-۲۱۷

مطالعه مقایسه‌ای تیمارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت نانوسیلور، اسیدسالیسیلیک و برخی اسانس‌های گیاهی بر خصوصیات ژبررا (*Gerbera jamesonii* Bol.) رقم 'Rosalin'

مهر والسادات متغیر^۱ - مجید عزیزی^{۱*} - علی تهرانی‌فر^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

چکیده

ژبررا (*Gerbera jamesonii* Bol.) جزء ده گل شاخه بریده برتر دنیا است و استفاده از آن با توجه به گوناگونی رنگ و شکل، مورد توجه علاقه‌مندان به گل می‌باشد. با توجه به عمر پس از برداشت کوتاه این گل، پژوهش در مورد افزایش عمر گل بریده آن اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق، اثر تیمارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت بر عمر گلجای و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل بریده ژبررا رقم 'رزالین' (*Gerbera jamesonii* Bol cv 'Rosalin') مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد که در آن عامل اول ترکیب شیمیایی نانوسیلور (۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر)، اسید سالیسیلیک (۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و آب مقطر (شاهد) به صورت تیمار کوتاه‌مدت (۲۴ ساعته) و عامل دوم ساکارز (چهار درصد)، اسانس‌های گیاهی نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) (۱۰۰ میلی گرم در لیتر)، آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) (۱۰۰ میلی گرم در لیتر)، میخک هندی (*Eugenia caryophyllata* Thunb.) (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و آب مقطر (شاهد) به صورت تیمار دائمی اعمال گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تیمار کوتاه‌مدت نانوسیلور همراه با تیمارهای بلندمدت اسانس‌های آویشن باغی و نعنا فلفلی تأثیر مثبتی در ماندگاری (به ترتیب ۱۴/۲۵ و ۱۴ روز) گل بریده داشته و با حفظ طولانی‌تر خصوصیات فیزیولوژیکی همچون محتوای کلی آب و وزن تر نسبی گل، از طریق افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (به ترتیب ۲۴۱/۴۳ درصد و ۲۳۳/۹۴ درصد در روز هفتم سنجش) و کاهش سرعت افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدهید (به ترتیب ۱۴/۸۸ درصد و ۱۹/۴۴ درصد در روز هفتم) در گلچه‌ها موجب طولانی‌تر شدن عمر پس از برداشت گل بریده ژبررا رقم 'رزالین' گردید.

واژه‌های کلیدی: اسانس آویشن باغی، اسانس نعنا فلفلی، عمر گلجای، گل بریده، نانوذرات

مقدمه

بریده دارد. اگرچه گل‌های آن در برابر شرایط انتقال مقاوم هستند، اما عمر آن به دلیل پژمردگی سریع گلچه‌های شعاعی و خمیدگی گردن گل، بسیار کم و بسته به رقم حدود ۸-۳ روز می‌باشد (Aghajani & Jafarpour, 2016; Ansari et al., 2011; Kilic & Cetin, 2014; Nair et al., 2003; Perik et al., 2012; Van Son, 2007). استفاده از تیمارهای پس از برداشت و نگهدارنده‌ها در ماندگاری گل‌های بریده اهمیت دارد (Nair et al., 2003; Prashanth et al., 2010).

جذب ناکافی آب یکی از دلایل اصلی کمبود و پژمردگی و کاهش عمر گلجای محسوب می‌شود (Knee, 2000; Van Doorn, 2001). انسداد آوندی عامل اصلی عدم تعادل بین جذب آب و کاهش آب گیاه در اثر تبخیر و تعرق می‌باشد. ریزجانداران موجود در ظروف نگهداری گل‌های بریده شامل باکتری‌ها، مخمرها و کپک‌ها منجر به تولید ترکیبات سمی، بسته شدن آوند چوبی و به دنبال آن کاهش جذب آب

ژبررا (*Gerbera jamesonii* Bol.)، متعلق به خانواده کلاپرک^۲، گیاهی چندساله، علفی، گرمسیری، دارای گل‌های پرپر و کم‌پر، با دامنه وسیعی از رنگ‌ها و شکل‌های متنوع و زیبا، بومی آفریقای جنوبی و آسیا و جزء ده گل شاخه بریده برتر دنیا از نظر میزان تولید مصرف به شمار می‌رود و از نظر تجاری در جهان از محبوبیت زیادی برخوردار است (Dole & Wilkins, 2006; He et al., 2006; Nair et al., 2003).

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

مشهد، ایران

(Email: azizi@um.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60101.0>

2- Asteraceae

(*)- نویسنده مسئول:

1989). قندها فرایندهای اساسی مانند افزایش طول عمر گل‌ها، مانند حفظ وظایف و ساختمان میتوکندری‌ها، تنظیم میزان آب از طریق کنترل تعرق و افزایش جذب آب را به عهده دارند (Kaltaler & Steponkus, 1976). کاربرد کربوهیدرات خارجی می‌تواند نقش مهمی در افزایش عمر گلجای و شرایط پس از برداشت گل‌های بریده داشته باشد. اثر ساکارز در افزایش عمر گل‌های بریده با تعادل آبی گیاه مرتبط است و موجب بالا رفتن غلظت اسمزی، افزایش جذب آب و تورژسانس در گل‌ها می‌شود (Bhanusree et al., 2015; Prashanth et al., 2010; Reddy & Singh, 1996). در تحقیقات مشاهده شده است که ساکارز موجب افزایش عمر و حفظ کیفیت گلجای گل‌های نافرازگرای مریم رقم دابل (*Polianthes tuberosa* L. cv Double) می‌شود (Jowkar & Salehi, 2005; Motaghayer & Esna-Ashari, 2009).

ترکیب‌های شیمیایی زیادی همچون نیترات نقره، هیدروکسی کوپینولین سولفات و سیترات، برای جلوگیری از رشد ریزجاندانان در محلول‌های نگهدارنده گل‌های بریده استفاده شده که موجب افزایش عمر پس از برداشت و بهبود جذب آب می‌گردد (Ansari et al., 2011; Motaghayer & Esna-Ashari, 2009; Solgi et al., 2009; Nair et al., 2003; Van Ieperen et al., 2002; Ichimura et al., 1999; Nowak & Rudnicki, 1990). این در حالی است که این مواد، گران‌قیمت و جزء آلاینده‌های محیط زیست محسوب می‌شوند. استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی همچون اسانس‌های گیاهی می‌تواند جایگزین مناسبی برای این ترکیب‌های شیمیایی و مصنوعی باشد (Conner, 1993; Ziyaei Movahed et al., 2010). اسانس‌ها ترکیب‌های پیچیده فرار و معطری هستند که از متابولیسم ثانویه گیاهان به دست آمده و در قسمت‌های مختلف گیاه (برگ‌ها، ساقه‌ها، میوه‌ها و پوست) وجود دارند (Conner, 1993). در سال‌های اخیر از اسانس‌ها، به دلیل داشتن خواص ضد میکروبی (ضدباکتریایی، ضد ویروسی و ضد قارچی)، ضد سمی، حشره‌کشی و آنتی‌اکسیدانی، به عنوان افزودنی‌های خوراکی، طعم‌دهنده و نیز در صنایع عطرسازی و دارویی، بسیار استفاده می‌شود (Burt, 2004; Kalembe & Kunicka, 2003).

در آزمایش‌های متعددی، کاربرد اسانس‌های مختلف گیاهی بر افزایش عمر گل‌های شاخه بریده مورد بررسی قرار گرفته است. اسانس آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) (Thyme EO) به عنوان نگهدارنده در محلول گلجای باعث افزایش عمر گل بریده ژربا رقم دان (*Gerbera jamesonii* Bol cv 'Dune') (Solgi et al., 2009) و افزایش جذب محلول و حفظ کیفیت گل بریده ژربا رقم سوربت (*Gerbera jamesonii* Bol cv 'Sorbet') گردید (Dareini et al., 2014). اسانس میخک هندی (*Eugenia*

و کیفیت گل‌های بریده می‌شوند (He et al., 2006; Liu et al., 2009; Van Meeteren, 1978). باکتری‌های موجود در محلول گلجای باعث انسداد آوندها در سطح مقطع ساقه گل می‌گردد (Ferrante et al., 2007). استفاده از مواد ضدباکتری همچون نانوسیلور و اسید سالیسیلیک موجب افزایش عمر و کیفیت گل‌های شاخه بریده می‌شود (Van Ieperen et al., 2002; Loubaud & Van Doorn, 2004; Solgi et al., 2009; Vahdati Mashhadian et al., 2012).

ترکیبات نانوسیلور^۱ (NS) حاوی ذرات نقره در اندازه‌های ۱۰۰-۱۰ نانومتر بوده و برای جلوگیری بیشتر و مؤثرتر باکتری‌ها و سایر ریزجاندانان مورد استفاده قرار می‌گیرند. ذرات نقره موجود در این ترکیبات به صورت اکسید نقره با ظرفیت‌های مختلف می‌باشد. به دلیل سطح بالای یون نقره نسبت به حجم آن، ذرات نانوسیلور می‌توانند به شدت رشد باکتری‌ها و سایر ریزجاندانان را محدود کنند (Furno et al., 2004; Jiang et al., 2004; al., 2004). در سال‌های اخیر، ترکیبات نانوسیلور به عنوان یک عامل ضدباکتری و ضد عفونی کننده در بسیاری از صنایع مانند صنعت دارویی، تصفیه آب و ضد عفونی سبزیجات مورد استفاده قرار گرفته است (Alt et al., 2004; Liu et al., 2009; Rai et al., 2009). علاوه بر این تیمار نانوسیلور موجب افزایش عمر و کیفیت پس از برداشت گل‌های شاخه بریده شده است (Ansari et al., 2009; Danaee et al., 2013; Solgi et al., 2009; al., 2011).

اسید سالیسیلیک^۲ (SA) یک ترکیب طبیعی فنلی و تنظیم کننده رشد داخلی است که نقش مهمی در رشد، تکامل و دفاع از گیاه دارد (Ding, 2002). این ترکیب نقش مهمی در رشد و فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان همچون بیوسنتز اتیلن، هدایت روزنه‌ای، تنفس، پیری و فعال سازی سیستم‌های دفاع در برابر بیمارگرهای مختلف دارد و با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث ایجاد مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها، تأخیر در سنتز و عملکرد اتیلن و مهار پیری می‌گردد. امروزه نقش آن در افزایش عمر پس از برداشت گل‌های بریده مشخص شده است (An & Mou, 2011; Hayat et al., 2010; Mehdikhah et al., 2011; Jamshidi et al., 2012; Alaey et al., 2016; al., 2016).

پیری یک فرآیند هورمونی است و موجب تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌شیمیایی در غشاء سلولی می‌گردد و با کاهش سریع مقدار فسفولیپیدها و پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده، از هم پاشیدگی ماکرومولکول‌ها، افزایش فعالیت تنفسی و کاهش پایداری غشاء همراه است (Borochov & Woodson, 2009).

1- Nanosilver (NS)

2- Salicylic acid (SA)

انتقال به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، تا طول ۳۵ سانتی‌متر به‌طور یکسان زیر آب بازبرش شدند و در ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول گلجای مورد نظر قرار گرفتند (شکل ۱).

تیمارها و تهیه محلول‌های نگهدارنده

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و چهار شاخه گل در هر تکرار اجرا شد. عامل اول؛ تیمار کوتاه‌مدت (۲۴ ساعته): آب مقطر (شاهد)، اسید سالیسیلیک با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (شرکت مرک، آلمان) و نانوسیلور با غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (شرکت نانوسید، ایران). عامل دوم؛ تیمار بلندمدت (دائمی): آب مقطر (شاهد)، ساکارز چهار درصد (شرکت مرک، آلمان)، اسانس آویشن باغی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، اسانس نعنا فلفلی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اسانس میخک هندی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (شرکت زردبند، ایران). گل‌ها به مدت ۲۴ ساعت تحت تیمار کوتاه‌مدت قرار گرفته و سپس به محلول‌های گلجای حاوی تیمار دائمی منتقل شدند.

صفات مورد سنجش آزمایش عبارتند از عمر گلجای، محتوای کلی آب گل^۳، وزن تر نسبی گل^۴، میانگین کاهش آب روزانه^۵، میزان جذب محلول گلجای^۶، میزان مواد جامد محلول^۷، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز^۸ و مقدار مالون‌دی‌آلدهید^۹ موجود در گلبرگ.

عمر گلجای: عمر گل بریده ژبررا برابر مدت زمان شروع آزمایش تا زمانی که گل‌ها ارزش تجاری خود را از دست بدهند (خمیدگی یا شکستگی گردن ساقه گل، پژمردگی، تغییر رنگ یا جمع شدن گلچه‌های شعاعی)، در نظر گرفته شد (شکل ۲) (Solgi et al., 2009).

محتوای کلی آب گل (WC): پس از اتمام عمر گلجای، وزن تر (FW) و وزن خشک (DW) کل ساقه گل (۴۸ ساعت در دمای ۸۵ درجه آون) اندازه‌گیری و محتوای کلی آب گل محاسبه شد (معادله ۱) (TehraniFar et al., 2013).

وزن تر نسبی گل (RFW): نسبت وزن تر گل (گرم) در روز مورد نظر (W_t) به وزن تر (گرم) اولیه (W_0) (معادله ۲) (Solgi et al., 2009).

(Clove EO) (*caryophyllata* Thunb) (Kazemi et al., 2014). همچنین اسانس و عصاره گیاه میخک هندی موجب ماندگاری بیشتر و حفظ کیفیت گل ژبررا رقم اکو (*Gerbera jamesonii* Bol cv 'Ecco' (al., 2010). تحقیقات نشان داده که اسانس نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L. (Peppermint EO) موجب حفظ کیفیت و رنگ گل آلسترومریا (*Alstroemeria spp.*) (Babarabie et al., 2016)، تأخیر در پیری و حفظ کیفیت گلچه‌های گل مریم کالتیوار پرل (*Polianthes tuberosa* cv 'Pearl') (Hoseini & Korehpaz, 2015) و افزایش عمر گل‌های شاخه بریده رز یوتوپیا (*Rosa hybrida* cv 'Utopia') (Saghazadeh et al., 2014). دو روش برای تیمار گل‌های بریده وجود دارد: تیمار کوتاه‌مدت (Pulse treatment) و تیمار بلندمدت یا دائمی (Permanent treatment). تیمار کوتاه‌مدت می‌تواند توسط تولیدکننده گل انجام گیرد و عمر پس از برداشت و نیز کیفیت گل را در دوره انبارداری حفظ کند. تیمار بلندمدت توسط مصرف‌کننده و برای افزایش عمر گل بریده در شرایط عادی و محیط منزل به کار می‌رود (Abdel-Kader & Rogers, 1985; Arora & Singh, 2002; Nowak & Rudnicki, 1990).

در این پژوهش، تأثیر نانوسیلور و اسید سالیسیلیک به‌صورت تیمار کوتاه‌مدت و ساکارز و اسانس‌های گیاهی آویشن باغی، نعنا فلفلی و میخک هندی به‌صورت تیمار دائمی در افزایش عمر گلجای و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل‌های شاخه بریده ژبررا رقم 'رزالین' مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد گیاهی

گل‌های بریده ژبررا رقم 'رزالین' (*Gerbera jamesonii* Bol cv 'Rosalin') که در شرایط گلخانه استاندارد هیدروپونیک به‌طور یکنواخت رشد کرده بودند، از گلخانه تجاری شرکت گل‌آذین مقصود واقع در شهرک صنعتی توس شهر مشهد خریداری شدند. گل‌ها هنگام صبح، در مرحله کاملاً باز، زمانی که دو ردیف خارجی گلچه‌های شعاعی باز و دانه گرده مشاهده شد، برداشت گردید. برای برداشت، ساقه بریده نشد، بلکه کشیده شده و سپس انتهای ساقه^۲ برای آبیگری بهتر گل حذف گردید (Dole & Wilkins, 2006). ساقه‌های گل به ارتفاع ۳۷-۴۰ سانتی‌متر از روی بوته قطع و پس از

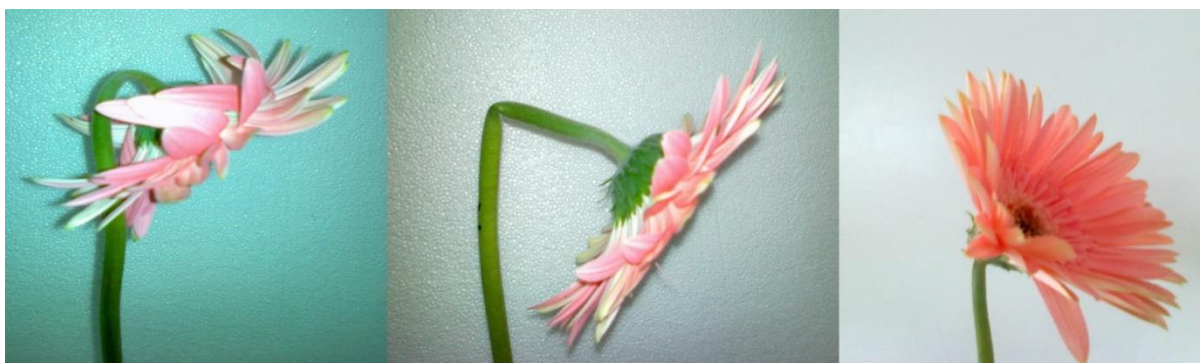
1- Lisianthus
2- Heel

3- Water content: WC
4- Relative fresh weight: RFW
5- Water loss: WL
6- Water uptake: WU
7- Total soluble solid: TSS
8- Superoxide dismutase: SOD
9- Malondialdehyde: MDA



شکل ۱- نحوه بازبرش گل بریده ژربرا رقم 'رزالین' زیر آب و تیمار با نانوسیلور (10 mg.L^{-1}) و اسانس‌های گیاهی
Figure 1- Re-cutting of gerbera cut flowers 'Rosalyn' under water and treatment with nanosilver (10 mg.L^{-1}) and plant essential oils

هنگام تیمار کوتاه‌مدت به‌منظور جلوگیری از واکنش نامناسب نانوسیلور با نور، محلول گلجای با کیسه پلاستیکی سیاه پوشیده شد.
During the short-term treatment, the vase solution was covered with a black plastic bag to prevent any adverse reaction of the nanosilver with light.



شکل ۲- علائم پایان یافتن عمر تجاری گل بریده ژربرا رقم 'رزالین': خمیدگی یا شکستگی گردن ساقه گل، پژمردگی، تغییر رنگ یا جمع شدن گلچه‌های شعاعی

Figure 2- Symptoms of the end of vase life in Gerbera cut flowers 'Rosaly': scape bending or neck breakage, wilting, discoloration or rolling of the ray florets

میزان جذب محلول گلجای (WU): تفاوت وزن محلول گلجای (گرم) در روز مورد نظر (S_t) نسبت به وزن محلول گلجای (گرم) در روز قبل (S_{t-1}) (معادله ۴) (He et al., 2006; Ziyaei, 2010; Movahed et al., 2010).

میانگین کاهش آب روزانه یا تبخیر و تعرق (WL): تفاوت وزن گل و محلول گلجای (گرم) در روز مورد نظر (C_t) نسبت به وزن گل و محلول گلجای (گرم) در روز قبل (C_{t-1}) (معادله ۳) (Jalili Marandi et al., 2011; Jamshidi et al., 2012).

داده‌های جمع‌آوری‌شده از مراحل مختلف تحقیق، به کمک نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عمر گلجای گل بریده ژبربا رقم 'رزالین'

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار کوتاه‌مدت نانوسیلور در هر دو غلظت بر عمر گل بریده ژبربا رقم 'رزالین' تأثیر بسیار معنی‌داری داشت و باعث افزایش عمر گلجای آن گردید (جدول ۱). تیمار کوتاه‌مدت نانوسیلور ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین اثر (۱۲/۲ روز) را داشت. تیمار کوتاه‌مدت اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۹/۸ روز) نیز در مقایسه با تیمار آب مقطر (۸/۱۳ روز) باعث بهبود عمر پس از برداشت گل بریده ژبربا رقم رزالین شد. البته اختلاف معنی‌داری بین نانوسیلور ۵ میلی‌گرم در لیتر و اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر وجود نداشت. تیمار دائمی اسانس آویشن باغی و نعنا فلفلی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، عمر گل بریده ژبربا را به‌ترتیب به ۱۰/۳۵ و ۹/۹۸ روز رساند (جدول ۱). البته این تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد (۱۰/۰۲ روز) نشان ندادند. گل‌های تیمار شده با ساکارز چهار درصد (۸/۵۵ روز) و اسانس میخک هندی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۸/۸۳ روز) کمترین عمر گلجای را داشتند.

در این آزمایش مشاهده شد که برهم‌کنش تیمارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت اثر معنی‌داری بر عمر گلجای گل بریده داشت، به‌صورتی‌که تیمارهای نانوسیلور ۱۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با اسانس آویشن باغی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۱۴/۲۵ روز) و تیمار نانوسیلور ۱۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با اسانس نعنا فلفلی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۱۴ روز) اختلاف بسیار معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند (جدول ۲). مشاهده شد که تیمار اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با ساکارز چهار درصد کمترین اثر (هفت روز) را در مقایسه با شاهد (۹/۵۸ روز) بر عمر پس از برداشت گل بریده ژبربا داشت.

نانوسیلور می‌تواند جایگزین نمک‌های نقره در محلول‌های نگهدارنده شود. ذرات نانوسیلور با ورود به داخل سلول، بافت یا اندام، می‌تواند مانع تنفس، عملکرد سیستم انتقال الکترون و انتقال مواد به غشای سلول میکروبی شوند (Paull & Lyons, 2008). تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که گل‌های تیمار شده با محلول نانوسیلور، عمر گلجای بیشتری داشتند. یون‌های نقره به‌دلیل اندازه کوچک‌تر، تماس بیشتری با فضای خارجی و تأثیر بیشتری بر محیط دارند. نانوسیلور در مقایسه با نمک‌های نقره، در غلظت کمتر خواص ضد میکروبی بیشتری از خود بروز می‌دهند (Ansari et al., 2011; Solgi et al., 2009).

میزان مواد جامد محلول در گلبرگ (TSS): دو گرم از

گلبرگ در هاون کوبیده و له شده و با استفاده از عصاره به‌دست‌آمده، مقدار مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دستی محاسبه شد. داده‌برداری جهت بررسی صفات محتوای کلی آب گل، وزن تر نسبی گل، میانگین کاهش آب روزانه یا تبخیر و تعرق، میزان جذب محلول گلجای و میزان مواد جامد محلول در گلبرگ در روزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ از شروع آزمایش صورت گرفت.

$$WC = (FW - DW / FW) \times 100 \quad (1)$$

$$RFW = W_t / W_0 \quad (2)$$

$$WL = C_{t-1} - C_t \quad (3)$$

$$WU = S_{t-1} - S_t \quad (4)$$

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در

گلبرگ: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از روش فتوشیمیایی ریزوگونزالز و همکاران (۲۰۰۲) انجام گرفت (Rios-Gonzalez et al., 2002). یک واحد از فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان مقدار آنزیم مورد نیاز برای ایجاد ۵۰ درصد مهار احیاء نیتروترازولیوم آبی در حضور ریوفلاوین، در طول موج ۵۶۰ نانومتر تعریف می‌شود. در این آزمایش از کیت تجاری SOD: K335-100 ساخت شرکت Biovision استفاده شد.

مقدار مالون‌دی‌آلدهید (MDA) موجود در گلبرگ:

پراکسیداسیون لیپیدها با برآورد مقدار مالون‌دی‌آلدهید موجود در یک گرم وزن تر بافت تعیین می‌شود. ترکیب مالون‌دی‌آلدهید محصول پراکسیداسیون لیپیدها در واکنش با اسید تیوباربتوریک است. غلظت مالون‌دی‌آلدهید با مقدار جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر (اصلاح با اختلاف جذب در ۶۰۰ نانومتر برای کدورت نامشخص انجام می‌شود) و با استفاده از ضریب خاموشی از $155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ محاسبه می‌گردد (Turkan et al., 2005). در این آزمایش از کیت تجاری MDA: K739-100 ساخت شرکت Biovision استفاده شد.

در بررسی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و مقدار مالون‌دی‌آلدهید، بهترین تیمار کوتاه‌مدت همراه با تیمارهای بلندمدت مقایسه شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. داده‌برداری در روزهای ۱، ۴ و ۷ از شروع آزمایش صورت گرفت.

گل‌ها در آزمایشگاه، در دمای حدود 21 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود 50 ± 5 درصد با شدت نور حدود ۱۵ میکرومول بر مترمربع با استفاده از لامپ‌های فلورسنت نور سفید و فتوپریود ۱۲ ساعت نگهداری شدند. در کل دوره آزمایش، محلول‌های دائمی تعویض نشده و هیچ بازبرشی انجام نگرفت تا بتوان به هدف مورد نظر که نگهداری گل در شرایط معمول خانگی است، رسید (Jowkar & Salehi, 2005; Motaghayer & Esna-Ashari, 2009).

جدول ۱- اثر تیمارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت بر میانگین عمر گلجای و محتوای کلی آب گل (WC) در گل بریده ژربرا رقم 'رزالین'
Table 1- Effect of pulse and permanent treatments on mean vase life and total flower water content (WC) in cut gerbera flowers 'Rosalin'

منابع تغییر S.O.V	عمر گلجای Vase life (day)	محتوای کل آب گل WC (%)
تیمار کوتاه‌مدت		
Puls treatment		
آب مقطر (شاهد) Distilled water (Control)	8.13 d	90.20 a*
اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹)	8.30 cd	89.91 a
اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹)	9.08 bc	88.93 b
نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹)	10.02 b	89 b
نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹)	12.20 a	89.04 b
تیمار بلندمدت		
Permanent treatment		
آب مقطر (شاهد) Distilled water (Control)	10.02 a	90.77 a
ساکارز ۴٪ Sucrose (4%)	8.55 b	83.68 b
اسانس نعنا فلفلی Peppermint EO	9.98 a	91 a
اسانس آویشن باغی Thyme EO	10.35 a	90.97 a
اسانس میخک هندی Clove EO	8.83 b	90.65 a

* ستون‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال یک درصد آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Columns with similar letters are not significantly different according to the LSD test at $p \leq 0.01$.

اگرچه تحقیقات نشان دادند که تیمار کوتاه‌مدت اسید سالیسیلیک همراه با تیمار دائمی نانوسیلور (Danaee et al., 2013) و نیز کاربرد اسید سالیسیلیک به صورت تیمار دائمی (Jamshidi et al., 2012) تأثیر معنی‌داری بر بهبود عمر گل بریده ژربرا داشته است، اما در این تحقیق تیمار کوتاه‌مدت اسید سالیسیلیک اثر چشمگیری بر عمر گل بریده ژربرا رقم رزالین نداشت. اگرچه ضیایی موحد و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که اسانس میخک هندی باعث افزایش عمر و حفظ کیفیت پس از برداشت گل بریده ژربرا می‌شود (Ziyaei Movahed et al., 2010)، اما در این تحقیق این ترکیب کمترین تأثیر را در عمر گلجای داشت. علی‌رغم نقش بسیار مهم ساکارز در افزایش عمر گل‌های بریده (Ansari et al., 2011)، این ترکیب اثر منفی در کیفیت و عمر گل بریده ژربرا رقم رزالین از خود نشان داد که دلیل اصلی آن می‌تواند رشد شدید باکتری در محلول گلجای باشد.

مطالعات مختلف خواص ضد میکروبی اجزای اصلی اسانس‌های آویشن باغی (Nikolić et al., 2014a)، نعنا فلفلی (Kazem et al., 2014b; Nikolić et al., 2014b) و میخک هندی (Boukaew et al., 2017) را نشان دادند. علاوه بر آن امینی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تیمار کوتاه‌مدت اسانس آویشن باغی همراه با آب مقطر بهترین تأثیر را در عمر گل بریده ژربرا رقم دان و ممانعت از کاهش وزن گل داشته است (Amini et al., 2014). آب‌گریزی^۱ مهم‌ترین خصوصیت اسانس آویشن باغی و نعنا فلفلی است. این خصوصیت باعث می‌شود که آن‌ها قادر به جداسازی اجزاء لیپیدی غشای سلولی باکتری و میتوکندری، اتصال به پروتئین‌های غشایی و آزادسازی لیپوپلی‌ساکاریدها^۲ و در نتیجه آسیب به ساختار دیواره سلولی باشند (Solgi et al., 2009).

1- Hydrophobicity
2- Lipopolysaccharides

جدول ۲- اثر متقابل تیمارهای مختلف بر میانگین عمر گلجای، محتوای کلی آب گل (WC)، وزن تر نسبی گل (RFW) و کل مواد جامد قابل حل (TSS) در گل بریده ژیرا رقم 'رزالین'

Table 2- The interaction effect of different treatments on mean vase life, total water content (WC), relative fresh weight (RFW), and total soluble solids (TSS) of cut Gerbera flowers 'Rosalin'

تیمار Treatment	عمر گلجای Vase life (day)	محتوای کلی آب گل Total water content (%)	وزن تر نسبی گل Relative fresh weight (day 8)	کل مواد جامد قابل حل Total soluble solids (day 6)	کل مواد جامد قابل حل Total soluble solids (day 8)
آب مقطر (شاهد) Distilled water (Control)	9.58 efg	90.95 ab	0.83 ab	3 abc	2 ef*
ساکارز ۴٪ / شاهد Control / Sucrose (4%)	8.08 i	86.15 c	0.82 ab	2.67 abc	2 ef
اسانس نعنا فلفلی / شاهد Control / Peppermint EO	7.83 ij	91.29 a	0.64 abc	2 bcd	0.70 h
اسانس آویشن باغی / شاهد Control / Thyme EO	8 i	91.39 a	0.66 abc	1 d	0.70 h
اسانس میخک هندی / شاهد Control / Clove EO	9.17 jk	91.21 a	0.46 c	2.67 abc	0.70 h
شاهد / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Control	9.04 fgh	91.31 a	0.65 abc	3 abc	2.67 cd
ساکارز ۴٪ / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	7 k	85.02 c	0.01 d	1.67 cd	0.70 h
اسانس نعنا فلفلی / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	8.08 i	91.09 a	0.62 abc	3.67 a	0.70 h
اسانس آویشن باغی / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	8.92 gh	90.97 a	0.64 abc	3.33 ab	2.33 de
اسانس میخک هندی / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Clove EO	8.42 hi	91.15 a	0.70 abc	3 abc	1.47 g
شاهد / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Control	9.83 def	90.54 ab	0.79 abc	2.83 abc	2 ef
ساکارز ۴٪ / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	8.58 hi	83.44 d	0.73 abc	3.33 ab	0.80 h
اسانس نعنا فلفلی / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	9.17 fgh	90.45 ab	0.65 abc	2.17 bcd	0.80 h
اسانس آویشن باغی / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	9.83 def	90.73 ab	0.79 abc	3 abc	2.33 de
اسانس میخک هندی / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Clove EO	8 i	89.46 b	0.48 c	2.33 abcd	0.70 h
شاهد / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Control	9.67 efg	90.55 ab	0.77 abc	2.17 bcd	1.67 fg
ساکارز ۴٪ / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	8.58 hi	82.68 d	0.49 bc	3.33 ab	3 bc
اسانس نعنا فلفلی / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	10.83 c	90.81 ab	0.87 a	2 bcd	1.67 fg
اسانس آویشن باغی / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	10.75 c	90.56 ab	0.85 a	2 bcd	1.83 fg
اسانس میخک هندی / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Clove EO	10.25 cde	90.42 ab	0.79 abc	3.17 ab	2.33 de
شاهد / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Control	11.92 b	90.52 ab	0.89 a	2.17 bcd	1.83 fg
ساکارز ۴٪ / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	10.50 cd	81.10 e	0.89 a	3.33 ab	3.50 a
اسانس نعنا فلفلی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	14 a	91.36 a	0.89 a	2.50 abc	3.17 ab
اسانس آویشن باغی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	14.25 a	91.22 a	0.89 a	2.50 abc	2.33 de
اسانس میخک هندی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Clove EO	10.33 cde	90.99 a	0.80 abc	2.83 abc	2.67 cd

* ستون‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال یک درصد آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Columns with similar letters are not significantly different according to the LSD test at $p \leq 0.01$.

محتوای کلی آب گل

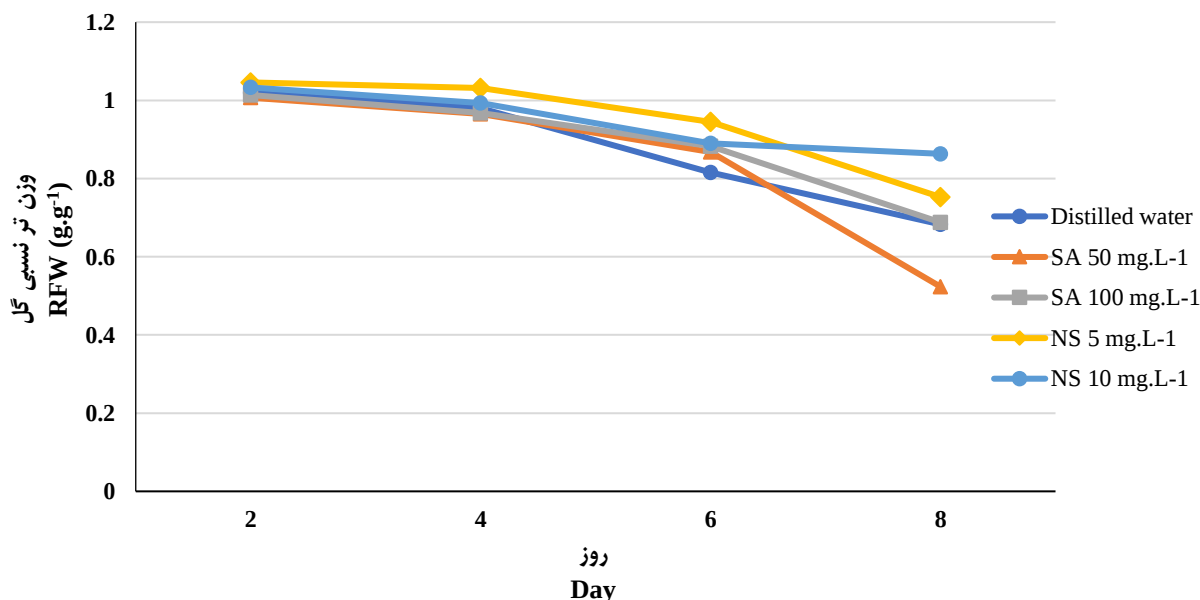
در تیمار کوتاهمدت اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر و آب مقطر (شاهد) نسبت به تیمارهای دیگر، محتوای کلی آب گل کمی بیشتر بود (جدول ۱). در تیمار بلندمدت ساکارز چهار درصد، محتوای کلی آب گل در دوره پس از برداشت گل سریع تر از سایر تیمارها کاهش یافت. به طور کلی، بررسی برهم کنش تیمارهای کوتاهمدت و بلندمدت نشان داد که ساکارز چهار درصد به ویژه پس از تیمار کوتاهمدت نانوسیلور ۱۰ میلی گرم در لیتر تأثیر نامناسبی بر عمر گل بریده داشت (جدول ۲).

گل های بریده به دلیل کاهش جذب آب در دوره پس از برداشت دچار کمبود آب و به دنبال آن کاهش ارزش تجاری می شوند. این کمبود آب حتی با قرار دادن شاخه گل در آب همچنان ادامه می یابد (Nazari Deljou et al., 2012). علت اصلی عارضه شکستگی ساقه گل های شاخه بریده ژربرا، کمبود آب گل ناشی از سختی جریان آب بین منبع دریافت آب و گلچه هاست. تصور می شود که برای دسترسی به آب، رقابتی بین سر گل و ساقه وجود دارد. افزایش مقاومت در مسیر جریان آب منجر به شکستگی ساقه می شود. این مقاومت توسط عوامل و فعالیت های میکروبی در محلول گلجای ایجاد می گردد (Balestra et al., 2005). از نتایج حاصل از این تحقیق چنین برداشت می شود که در تمام تیمارهای حاوی عوامل ضد میکروبی مانند نانوسیلور، اسید سالیسیلیک و اسانس های گیاهی آویشن باغی،

نعنا فلفلی و میخک هندی، محتوای کلی آب گل بالا بوده و روند کاهشی سریعی تا انتهای آزمایش نداشته است.

وزن تر نسبی گل (RFW)

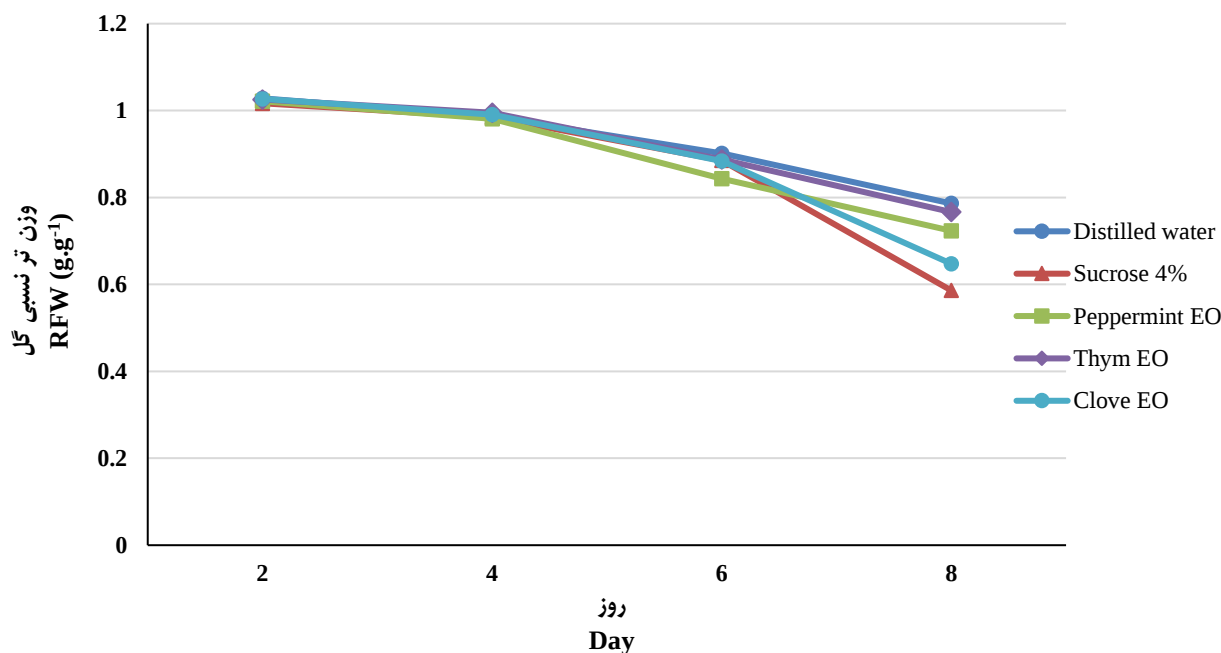
نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار کوتاهمدت نانوسیلور در مقایسه با سایر تیمارها موجب افزایش وزن تر نسبی گل در طی روزهای سنجش گردید (شکل ۳ و ۴). از روز چهارم، روند کاهشی وزن تر نسبی گل شروع شده که این کاهش در تیمارهای نانوسیلور ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر کمتر بوده و آب گل حفظ شد. در روز ششم سنجش، اختلاف معنی داری بین تیمارها وجود نداشت. اما در روز هشتم، علاوه بر تیمار کوتاهمدت، تیمارهای بلندمدت و نیز برهم کنش آن ها بر وزن تر نسبی گل مؤثر بودند (شکل ۳ و ۴، جدول ۲). به گونه ای که گل های بریده در تیمار کوتاهمدت نانوسیلور ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر (به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۸۶ گرم بر گرم) و تیمار بلندمدت شاهد، اسانس آویشن باغی و نعنا فلفلی (به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۷۷ و ۰/۷۲ گرم بر گرم) بیشترین و گل های تیمار شده با ساکارز چهار درصد کمترین (۰/۵۹ گرم بر گرم) وزن تر نسبی را داشتند. علاوه بر آن برهم کنش تیمارهای کوتاهمدت و بلندمدت در روز هشتم سنجش نشان داد که همه گل های تیمار شده با نانوسیلور ۱۰ میلی گرم بر لیتر بیشترین وزن تر نسبی گل را داشتند که البته نسبت به شاهد اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۲).



شکل ۳- اثر تیمارهای کوتاهمدت بر میانگین وزن تر نسبی گل (RFW) در روزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ آزمایش در گل بریده ژربرا رقم 'رزالین'
Figure 3- The effect of pulse treatments on the mean relative fresh weight (RFW) of flowers on days 2, 4, 6 and 8 of the experiment in cut flowers of Gerbera 'Rosalin'

گیاه حفظ شده و تعادل آبی به دلیل کند شدن روند کاهشی وزن تر نسبی گل‌ها بهبود می‌یابد. همچنین استحکام ساقه و گل و در نهایت عمر گل بریده افزایش پیدا می‌کند. نتایج این آزمایش با تحقیقات نایر و همکاران (۲۰۰۳) و سلگی و همکاران (۲۰۰۹) روی گل شاخه بریده ژربرا همخوانی دارد (Nair et al., 2003; Solgi et al., 2009).

در تیمار با ساکارز، به دلیل حضور عوامل میکروبی به‌ویژه باکتری‌ها و اثر محرک ساکارز بر رشد و تکثیر آن‌ها، انسداد آوندهای چوبی و به دنبال آن کاهش وزن تر نسبی گل بریده رخ می‌دهد. با توجه به اینکه عوامل ضد میکروبی در محلول گلجای، مانع بسته شدن آوندها می‌گردد، با کاربرد آن‌ها در محلول نگهدارنده، پتانسیل اسمزی



شکل ۴- اثر تیمارهای بلندمدت بر میانگین وزن تر نسبی گل (RFW) در روزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ آزمایش در گل بریده ژربرا رقم 'رزالین' *
Figure 4- The effect of permanent treatments on the mean relative fresh weight (RFW) of flowers on days 2, 4, 6 and 8 of the experiment in cut flowers of Gerbera 'Rosalin'

عوامل میکروبی به‌خصوص باکتری‌ها منجر به بسته شدن مسیر آوندها و کاهش جذب آب و محلول نگهدارنده می‌شود. با توجه به اینکه در تیمار اسید سالیسیلیک و نانوسیلور جذب محلول گلجای بیشتر بود، بیانگر آن است که در این تیمارها از رشد و تکثیر عوامل میکروبی جلوگیری و تعادل آبی گیاه حفظ شده است. این نتایج با یافته‌های نایر و همکاران (۲۰۰۳) و سلگی و همکاران (۲۰۰۹) روی گل‌های شاخه بریده ژربرا و تحقیقات جلیلی مرندی و همکاران (۲۰۱۱) بر گل شاخه بریده گلابول همخوانی دارد (Jalili Marandi et al., 2011; Nair et al., 2003; Solgi et al., 2009).

میانگین کاهش آب روزانه یا تعرق

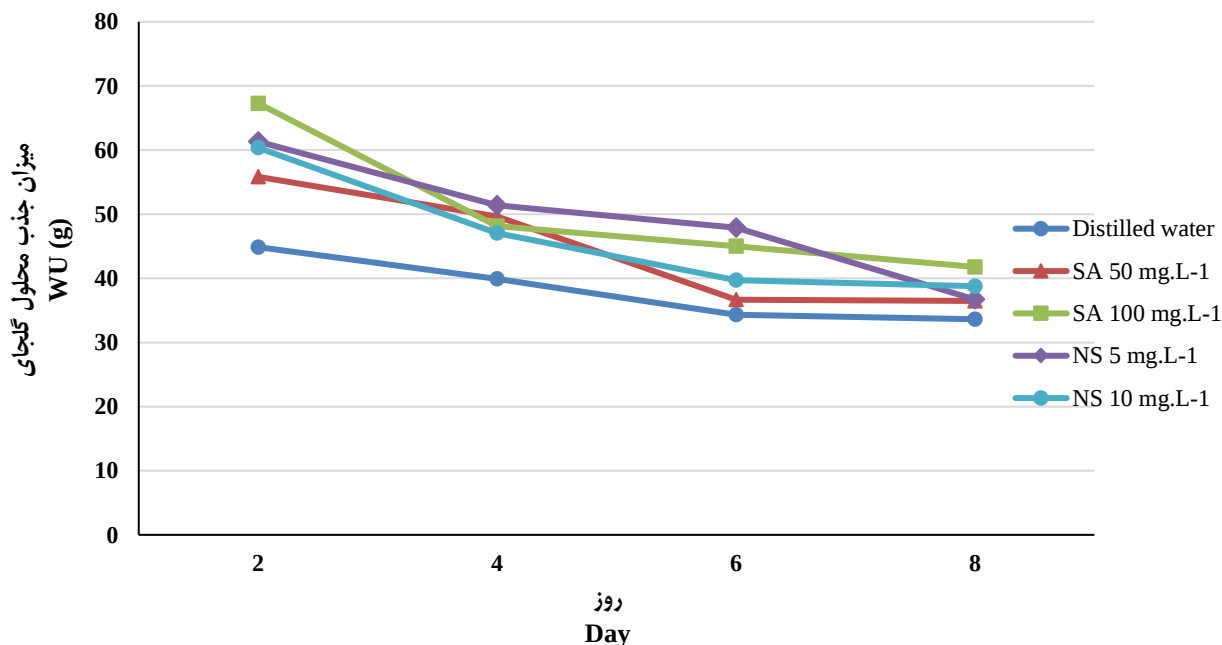
نتایج این آزمایش نشان داد که تیمارهای کوتاه‌مدت، تنها تا روز ششم بر کاهش آب روزانه اثر معنی‌دار داشتند (شکل ۶). در روز دوم سنجش، میانگین کاهش آب روزانه یا تعرق در تیمارهای نانوسیلور ۵

میزان جذب محلول گلجای (WU)

طبق نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش، در طول دوره سنجش تنها تا روز ششم، تیمار کوتاه‌مدت اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) و نانوسیلور (۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر) بر میزان جذب محلول گلجای مؤثر بودند (شکل ۵). بیشترین میزان جذب در روز دوم و به ترتیب در تیمارهای اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر (۶۷/۲۸ گرم)، نانوسیلور ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر (به ترتیب ۶۱/۳۱ و ۶۰/۳۵ گرم) مشاهده شد. علی‌رغم تأثیر و کاربرد عوامل ضد میکروبی، میزان جذب محلول گلجای روند کاهشی داشت. شاهد (۳۴/۳۴ گرم) کمترین میزان جذب محلول را به خود اختصاص داد. تیمارهای بلندمدت اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. تعادل آبی یکی از عوامل تعیین‌کننده عمر گلجای گل‌های بریده محسوب می‌شود (Da Silva, 2003). ساقه‌های ژربرا بسیار حساس به تنش آبی بوده و رشد

سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۵۱/۰۸ گرم) و نانوسیلور ۵ میلی‌گرم بر لیتر (۵۱/۸۰ گرم) بیشترین تعرق را داشته‌اند. تیمارهای بلندمدت اثر معنی‌داری بر این صفت نیز نداشتند.

و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (۶۴/۲۴ و ۵۷/۸۵ گرم) و در اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۶۴/۹۵ گرم) بیشترین میزان بود که نسبت به هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. میانگین کاهش آب روزانه یا تعرق در روزهای بعدی روند کاهشی داشته است. در روز ششم دو تیمار اسید



شکل ۵- اثر تیمارهای کوتاه‌مدت بر میانگین میزان جذب محلول گلجای (WU) در روزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ آزمایش در گل بریده ژربرا رقم 'روزالین'
Figure 5- The effect of pulse treatments on the mean water uptake (WU) of flowers on days 2, 4, 6 and 8 of the experiment in cut flowers of Gerbera 'Rosalin'

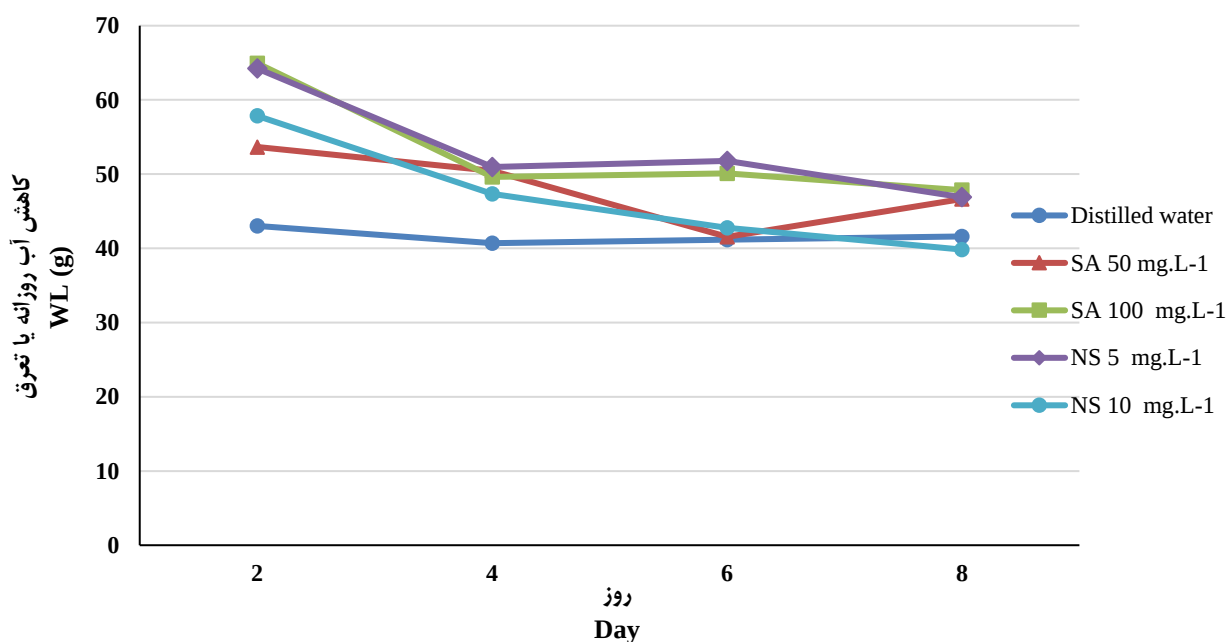
روز دوم سنجش، در گل‌های تیمار شده با اسید سالیسیلیک (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نانوسیلور (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین میزان مواد جامد محلول مشاهده شد، اما در روز هشتم تنها گل‌های تیمار شده با نانوسیلور ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲/۷۰ بریکس) دارای بالاترین میزان مواد جامد محلول بودند. در بررسی تیمارهای بلندمدت، در روز دوم ساکارز چهار درصد (۳/۱۰ بریکس) و اسانس آویشن باغی (۲/۸۷ بریکس) و در روز هشتم ساکارز چهار درصد (۲ بریکس) و اسانس آویشن باغی (۱/۹۱ بریکس) بیشترین میزان مواد جامد محلول را داشتند (شکل ۸). برهم‌کنش تیمارها تنها در روزهای ششم و هشتم سنجش معنی‌دار شد (جدول ۳). در روز ششم سنجش، تیمارهای اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسانس نعنا فلفلی (۳/۶۷ بریکس) و اسانس آویشن باغی (۳/۳۳ بریکس)، تیمار اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با ساکارز چهار درصد (۳/۳۳ بریکس) و اسانس آویشن باغی (۳ بریکس)، نانوسیلور ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با ساکارز چهار درصد (به‌ترتیب با ۳/۳۳ و ۳/۳۳ بریکس) بیشترین میزان مواد جامد محلول را نشان دادند. اما در روز هشتم گل‌های تیمار شده با نانوسیلور ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با

حدود ۹۹ درصد آب جذب شده توسط گیاه از طریق تعرق از گیاه خارج می‌گردد. تعرق باعث رشد و نمو گیاه می‌شود. هرچه سرعت تعرق بیشتر باشد، سرعت رشد و نمو گیاه نیز بیشتر است، زیرا همراه با ورود آب، املاح نیز وارد گیاه می‌شوند (Taiz & Zeiger, 2002). براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان تعرق در گل‌های بریده تیمار شده با عوامل ضد میکروبی نانوسیلور و اسید سالیسیلیک بالا است. بنابراین جذب آب، وزن تر نسبی، تعادل آبی گیاه و استحکام بافت ساقه و گلچه‌ها (تورژسانس) بالاتر بوده و به‌دنبال آن گیاه عمر گلجای بهتری نسبت به سایر تیمارها دارد. این یافته‌ها با تحقیقات این و همکاران (۲۰۱۰) بر گل شاخه بریده رز و تحقیقات تهرانی‌فر و همکاران (۲۰۱۳) بر برخی گل‌های شاخه بریده مطابقت داشت (In et al., 2010; Tehranifar et al., 2013).

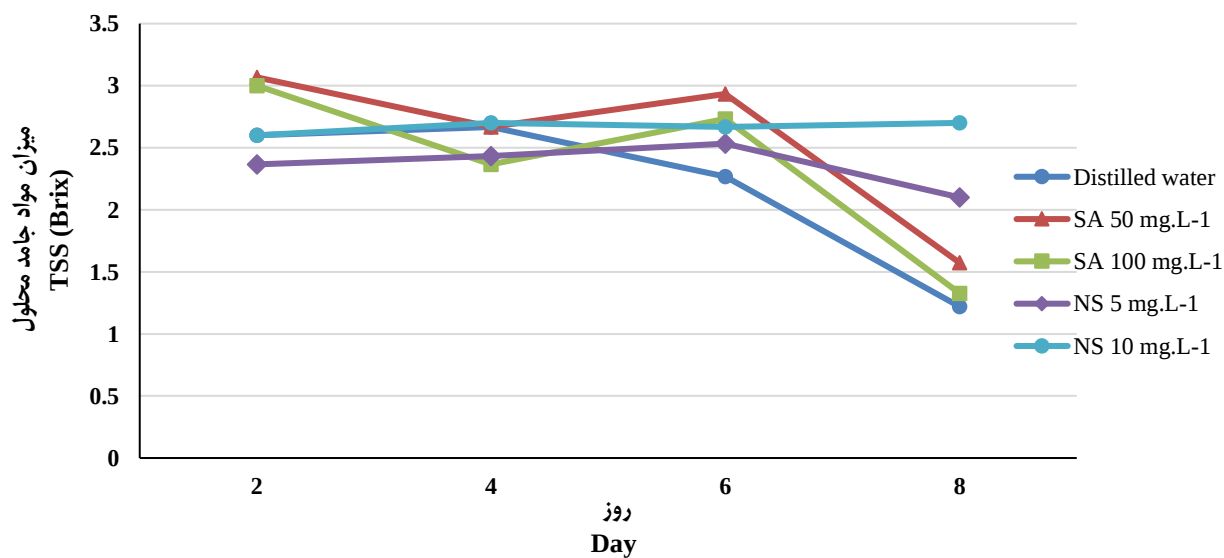
میزان مواد جامد محلول (TSS)

تیمارهای کوتاه‌مدت در روزهای دوم و هشتم سنجش و تیمارهای بلندمدت در روزهای دوم، چهارم و هشتم سنجش اثر معنی‌داری بر میزان مواد جامد محلول گلبرگ نداشتند (شکل ۷). در

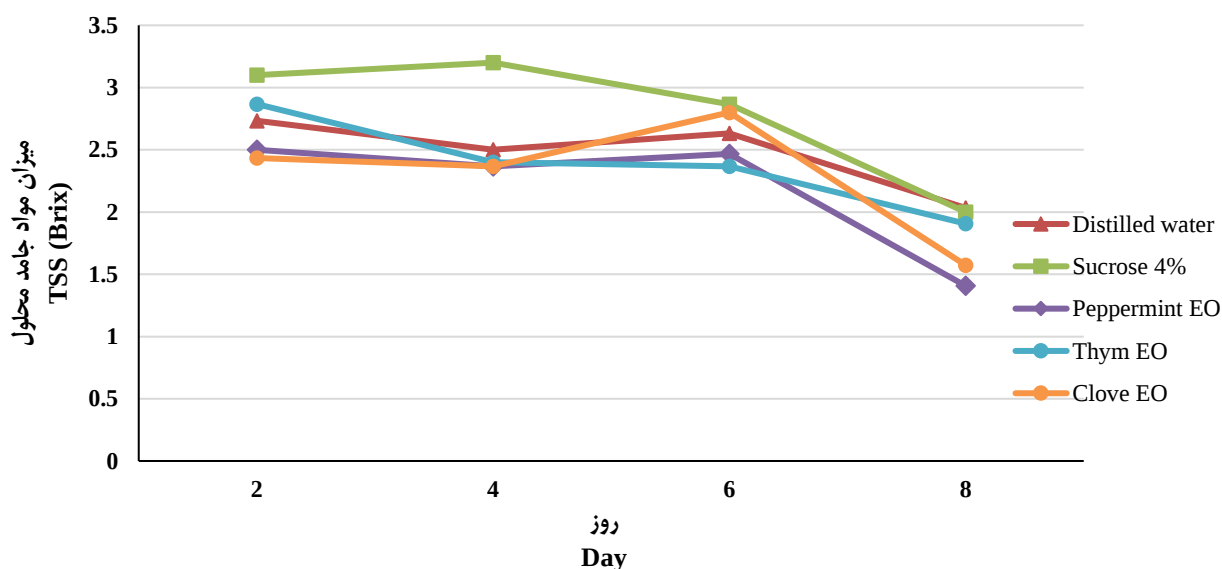
ساکارز چهار درصد و اسانس نعنا فلفلی (به‌ترتیب با ۳/۵۰ و ۳/۱۷ بریکس) بالاترین میزان مواد جامد محلول را داشتند.



شکل ۶- اثر تیمارهای کوتاه‌مدت بر میانگین کاهش آب روزانه یا تعرق (WL) در روزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ آزمایش در گل بریده ژربرا رقم 'رزالین'
Figure 6- The effect of pulse treatments on mean daily water loss or transpiration (WL) of flowers on days 2, 4, 6 and 8 of the experiment in cut flowers of Gerbera 'Rosalin'



شکل ۷- اثر تیمارهای کوتاه‌مدت بر میانگین میزان مواد جامد محلول (TSS) در روزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ آزمایش در گل بریده ژربرا رقم 'رزالین'
Figure 7- The effect of pulse treatments on mean total soluble solids (TSS) (Brix) of flowers on days 2, 4, 6 and 8 of the experiment in cut flowers of Gerbera 'Rosalin'



شکل ۸- اثر تیمارهای بلندمدت بر میانگین میزان مواد جامد محلول (TSS) در روزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ آزمایش در گل بریده ژربرا رقم 'رزالین'
Figure 8- The effect of permanent treatments on mean total soluble solids (TSS) (Brix) of flowers on days 2, 4, 6 and 8 of the experiment in cut flowers of Gerbera 'Rosalin'

فلفلی نشان دادند، این آنزیم بیشترین میزان فعالیت را در تیمار نانوسیلور و اسانس آویشن باغی و نعنا فلفلی داشت (جدول ۴). گیاهان امروزی دارای انواع و مقادیر مختلف آنتی اکسیدان هستند که از گیاه در برابر انواع اکسیژن فعال در سیتوپلاسم محافظت می کنند. فعال بودن آنزیم های آنتی اکسیدان مانع بیوسنتز اتیلن شده و از خسارت عوامل بیرونی جلوگیری می کند. آنتی اکسیدان ها موجب کاهش گونه های فعال اکسیژن حاصل از تجزیه هیدروژن پراکسید می شوند. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، رادیکال اکسیژن را به هیدروژن پراکسید تبدیل می کند و هیدروژن پراکسید توسط آنزیم کاتالاز و سایر پراکسیدازها شکسته می شود (Chang, 1984; Mortazavi et al., 2007). از آنجایی که گونه های رادیکال اکسیژن یکی از مهم ترین عوامل در پیری زودرس گلبرگ ها است و از سوی دیگر، آنزیم های آنتی اکسیدان از جمله آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سبب خنثی شدن اثر سمی رادیکال های آزاد اکسیژن می شوند، بنابراین فعالیت این آنزیم ها از پیری گلبرگ ها ممانعت می کند (Mortazavi et al., 2007). یکی از بهترین منابع آنتی اکسیدان طبیعی، ترکیبات فنلی موجود در اسانس های گیاهی است (Dorman et al., 2003). ویژگی آنتی اکسیدانی ترکیبات فنلی بیشتر ناشی از قدرت احیاکنندگی و ساختار شیمیایی آن ها است که آن ها را قادر به خنثی کردن رادیکال های آزاد، تشکیل کمپلکس با یون های فلزی و خاموش کردن مولکول های اکسیژن یگانه و سه گانه ساخته است (Ghaderi et al., 2011).

به طور کلی، در این آزمایش مشاهده شد که میزان مواد جامد محلول در تمام تیمارها، تا روز چهارم سنجش افزایش و سپس کاهش یافت. اما کاربرد ساکارز و مواد ضد عفونی کننده (اسید سالیسیلیک، نانوسیلور، اسانس نعنا فلفلی و اسانس آویشن باغی) در مقایسه با شاهد، مقدار مواد جامد محلول را افزایش داد. یک مشکل عمده در همه گل ها، کمبود اطلاعات در مورد توزیع قندهای محلول در بافت های مختلف گل و درون انواع سلول های مختلف است. هنگام پژمردگی گلبرگ های گل بریده علی رغم حضور قند در آن ها، ممکن است که میتوکندری ها دیگر قادر به جذب و یا استفاده از قندها نباشند. همچنین ممکن است که عمر گل بریده را محدود کند. گاهی با وجود غلظت بالای قند در واکوئول، سطح قند در سیتوسول پایین است. تصور می شود که این قندها برای تنفس در دسترس نباشد و تنها به عنوان حلال اسمزی عمل کنند (Van Doorn, 2001).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز طی دوره آزمایش به مرور افزایش یافت و بین تیمارها اختلاف معنی داری وجود داشت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، در تیمار کوتاه مدت نانوسیلور ۱۰ میلی گرم بر لیتر همراه با تیمار بلندمدت اسانس آویشن باغی و نعنا فلفلی مشاهده شد. با توجه به اینکه بیشترین عمر گل بریده را گل های تیمار شده با نانوسیلور ۱۰ میلی گرم بر لیتر همراه با اسانس آویشن باغی و نعنا

جدول ۳- اثر متقابل تیمارهای مختلف بر میانگین میزان مواد جامد محلول (TSS) در گل بریده ژیربا رقم 'رزالین'

Table 3- The interaction effect of different treatments on the mean total soluble solids (TSS) (Brix) in cut flowers of gerbera 'Rosalin'

تیمار Treatment	میزان مواد جامد محلول (روز ۶) TSS (day 6)	میزان مواد جامد محلول (روز ۸) TSS (day 8)
آب مقطر (شاهد) Distilled water (Control)	3 abc	2 ef*
ساکارز ۴٪ / شاهد Control / Sucrose (4%)	2.67 abc	2 ef
اسانس نعنا فلفلی / شاهد Control / Peppermint EO	2 bcd	0.70 h
اسانس آویشن باغی / شاهد Control / Thyme EO	1 d	0.70 h
اسانس میخک هندی / شاهد Control / Clove EO	2.67 abc	0.70 h
شاهد / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Control	3 abc	2.67 abc
ساکارز ۴٪ / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	1.67 cd	0.70 h
اسانس نعنا فلفلی / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	3.67 a	0.70 h
اسانس آویشن باغی / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	3.33 ab	2.33 de
اسانس میخک هندی / اسید سالیسیلیک (۵۰ میلی گرم بر لیتر) SA (50 mg.L ⁻¹) / Clove EO	3 abc	1.47 g
شاهد / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Control	2.83 abc	2 ef
ساکارز ۴٪ / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	3.33 ab	0.80 h
اسانس نعنا فلفلی / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	2.17 bcd	0.80 h
اسانس آویشن باغی / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	3 abc	2.33 de
اسانس میخک هندی / اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) SA (100 mg.L ⁻¹) / Clove EO	2.33 abcd	0.70 h
شاهد / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Control	2.17 bcd	1.67 fg
ساکارز ۴٪ / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	3.33 ab	3 bc
اسانس نعنا فلفلی / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	2 bcd	1.67 fg
اسانس آویشن باغی / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	2 bcd	1.83 fg
اسانس میخک هندی / نانوسیلور (۵ میلی گرم بر لیتر) NS (5 mg.L ⁻¹) / Clove EO	3.17 ab	2.33 de
شاهد / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Control	2.17 bcd	1.83 fg
ساکارز ۴٪ / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	3.33 ab	3.50 a
اسانس نعنا فلفلی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Peppermint EO	2.50 abc	3.17 ab
اسانس آویشن باغی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	2.50 abc	2.33 de
اسانس میخک هندی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Clove EO	2.83 abc	2.67 cd

* ستون‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال یک درصد آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Columns with similar letters are not significantly different according to the LSD test at $p \leq 0.01$.

جدول ۴- اثر متقابل تیمارهای مختلف بر میانگین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و مقدار مالون دی آلدیید (MDA) در گل بریده ژربرا 'Rosalin' رقم 'رزالین'

Table 4- The interaction effect of different treatments on the mean activity of superoxide dismutase (SOD) enzyme and malondialdehyde (MDA) content in cut flowers of Gerbera 'Rosalin'

تیمار Treatment	سوپراکسید دیسموتاز روز ۱ SOD (day 1)	سوپراکسید دیسموتاز روز ۴ SOD (day 4)	سوپراکسید دیسموتاز روز ۷ SOD (day 7)	مالون دی آلدیید روز ۱ MDA (day 1)	مالون دی آلدیید روز ۴ MDA (day 4)	مالون دی آلدیید روز ۷ MDA (day 7)
آب مقطر (شاهد) Distilled water (Control)	67.72 d	99.44 d	68.11 yD	28.15 a	39.81 a	67.30 a*
شاهد / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Control	175.56 c	204.33 c	163.17 b	4.38 b	18.31 b	32.24 b
ساکارز ۴٪ / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Sucrose (4%)	183.50 bc	207.50 c	154.17 b	5 b	19.99 b	29.74 b
اسانس نعنا فلفلی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) Peppermint EO	220.17 a	262.17 b	233.94 a	3.46 b	14.06 cd	19.44 c
اسانس آویشن باغی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Thyme EO	224.00 a	284.39 a	241.43 a	3.64 b	11.57 d	14.88 c
اسانس میخک هندی / نانوسیلور (۱۰ میلی گرم بر لیتر) NS (10 mg.L ⁻¹) / Clove EO	199.44 b	211.72 c	81.22 c	5.63 b	17.93 bc	32.15 b

* ستون‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال یک درصد آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Columns with similar letters are not significantly different according to the LSD test at $p \leq 0.01$.

مقدار مالون دی آلدیید (MDA) موجود در گلبرگ

طبق نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش، در طول دوره سنجش، مقدار مالون دی آلدیید در گلبرگ گل افزایش یافت، به‌صورتی‌که بیشترین میزان مالون دی آلدیید در روز هفتم سنجش و در تیمار آب مقطر مشاهده شد (جدول ۴). در روز هفتم آزمایش، کمترین مقدار مالون دی آلدیید در گل‌های تیمار شده با نانوسیلور ۱۰ میلی گرم بر لیتر همراه با اسانس آویشن باغی و نعنا فلفلی تولید شد که با توجه به اینکه این تیمارها بیشترین عمر گل بریده را داشتند، این نتایج منطقی است.

لیپیدها از جمله مهم‌ترین مولکول‌هایی هستند که مورد تهاجم رادیکال‌های آزاد قرار می‌گیرند. این فرآیند منجر به پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش حیات و مرگ سلولی می‌شود. در این میان، غشای سلول‌ها که غنی از اسیدهای چرب غیراشباع است، بیشتر از سایر قسمت‌های سلول به پراکسیداسیون حساس است. پراکسیداسیون لیپیدها منجر به کاهش سیالیت غشاء و از بین رفتن ساختمان و عملکرد آن می‌شود. مالون دی آلدیید محصول پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء است و غلظت آن در شاهد نسبت به سایر تیمارها در سطح بالاتری قرار دارد. تیمارهایی با کمترین غلظت مالون دی آلدیید بیشترین ماندگاری را داشتند. تجمع مالون دی آلدیید تخریب غشای پلاسمایی را سرعت می‌بخشد. میزان این ماده شاخص مقاومت

فیزیولوژیک و پیری محسوب می‌شود (Geng et al., 2009; Mates et al., 1999). زمانی که در گیاهان تعادل میان ایجاد رادیکال‌های اکسیژن و فعالیت خنثی‌سازی آن‌ها توسط آنتی‌اکسیدان‌ها از بین برود، آسیب اکسیداتیو بروز می‌کند که منجر به تخریب ساختار غشاء می‌شود. رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌توانند به‌واسطه آسیب اکسیداتیو به چربی پروتئین و اسیدهای نوکلئیک، در متابولیسم طبیعی گیاه مشکل ایجاد کنند (Parida & Das, 2005). هنگامی که گل‌های شاخه بریده در معرض تنش آبی ناشی از انسداد آوندها قرار می‌گیرند، معمولاً ساختار لیپیدهای خود را تغییر می‌دهند. در چنین شرایطی، پراکسیداسیون غشاهای لیپیدی نشان‌دهنده آسیب در سطح سلولی است و سطح مالون دی آلدیید تولیدشده طی این فرآیند به منزله یک شاخص آسیب اکسیداتیو است. به‌طور کلی، اسانس‌ها سبب کاهش معنادار مقدار مالون دی آلدیید می‌شوند. نقش اسانس‌ها در حفاظت گیاهان، نوعی سازوکار دفاعی آنتی‌اکسیدانی است که از ساختار غشای سلولی در مقابل پراکسیداسیون لیپیدها محافظت می‌کنند. این گروه از ترکیبات طبیعی، خواص آنتی‌اکسیدانی، توانایی خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پایداری دیواره و غشا سلولی دارند (Bradley & Min, 1992).

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که عوامل ضد میکروبی جدید مانند نانوسیلور و اسانس‌های آویشن باغی و نعنا فلفلی تأثیر مثبتی در

احتمالاً به این دلیل است که این ترکیب‌ها، عوامل ضد میکروبی بسیار مؤثری هستند که از رشد میکروبی جلوگیری کرده و مانع انسداد بافت‌های آوندی توسط باکتری‌ها می‌شوند. ذرات نانونقره (NS) به درون سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌ها نفوذ می‌کنند، بنابراین می‌توانند تنفس، سیستم انتقال الکترون و انتقال مواد در غشای سلولی میکروب‌ها را مختل کنند. استفاده از ترکیبات فنلی طبیعی مانند اسانس‌های گیاهی، تجمع مالون‌دی‌آلدئید (MDA) را کاهش و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) را افزایش می‌دهند. بنابراین، با توجه به اثرات نامطلوب نگهدارنده‌های شیمیایی بر سلامت انسان و محیط زیست، اسانس‌های گیاهی می‌توانند جایگزین‌های بسیار مناسبی برای حفظ عمر پس از برداشت گل‌های شاخه بریده باشند.

ماندگاری، حفظ خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل بریده ژربرا رقم رزالین دارد. با توجه به نتایج نامطلوب مواد شیمیایی نگهدارنده بر سلامت انسان و محیط زیست، اسانس‌های گیاهی از طریق افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاهش سرعت افزایش مالون‌دی‌آلدئید می‌توانند جایگزین بسیار مناسبی برای مواد شیمیایی نگهدارنده گل‌های بریده باشند.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این مطالعه، عوامل ضد میکروبی جدید مانند نانوذرات نقره (NS)، اسانس آویشن باغی و اسانس نعنا فلفلی، تأثیر مثبتی بر عمر گلجای، محتوای کلی آب (WC)، وزن تر نسبی (RFW) و جذب آب (WU) داشتند و میزان کاهش وزن (WL) و افت مواد جامد محلول (TSS) را در گل‌ها کاهش دادند. این امر

References

1. Abdel-Kader, H., & Rogers, M. N. (1985). Postharvest treatment of *Gerbera jamesonii*. In *III International Symposium on Postharvest Physiology of Ornamentals*, 181, 169-176. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1986.181.20>
2. Aghajani, N., & Jafarpour, M. (2016). Effects of pre-and postharvest treatments of silicon and rice hull ash on vase life of gerbera. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2016.58164>
3. Alaey, M., Babalar, M., Naderi, R., & Kafi, M. (2011). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on physio-chemical attributes in relation to vase life of rose cut flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 61(1), 91-94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.02.002>
4. Alt, V., Becher, T., Steinrucke, P., Wagener, M., Seidel, P., Dingeldein, E., Domann, E., & Schnettler, R. (2004). An *in vitro* assessment of the antibacterial properties and cytotoxicity of nanoparticulate silver bone cement. *Biomaterials*, 25(18), 4383-4391. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2003.10.078>
5. Amini, S., Jafarpour, M., & Asgari, K. (2014). Effect of temporary and permanent treatments of extracts of thyme and stevia on postharvest quality of gerbera cut flowers. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(8), 93-98.
6. An, C., & Mou, Z. (2011). Salicylic acid and its function in plant immunity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(6), 412-428. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2011.01043.x>
7. Ansari, S., Hadavi, E., Salehi, M., & Moradi, P. (2011). Application of microorganisms compared with nanoparticles of silver, humic acid and gibberellic acid on vase life of cut gerbera Good Timing. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 1(1), 27-33.
8. Arora, J. S., & Singh, K. (2002). Pre and post-harvest management of cut flowers. *Indian Horticulture*, 46: 20-23.
9. Babarabie, M., Zarei, H. & Varasteh, F. (2016). Potential of increasing the vase life and improvement of some physiological characteristics of alstroemeria cut flowers by using non-harmful compounds environmentally. *Journal of Chemical Health Risks*, 6(1), 1-8.
10. Balestra, G. M., Agostini, R., Bellincontro, A., Mencarelli, F., & Varvaro, L. (2005). Bacterial populations related to gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) stem break. *Phytopathologia Mediterranea*, 44(3), 291-299. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-1798
11. Bhanusree, M. R., Rao, N. H., Chandrika, M., Vinayakumari, M., Kumar, K. R., Shukla, G., & Chakravarty, S. (2015). Effect of sucrose on biochemical parameters of cut gerbera flowers (*Gerbera jamesonii* Bolus ex. Hook.) cv. Lamborgini. *Journal of Agriculture and Technology*, 2(1 & 2), 68-71.
12. Borochoy, A., & Woodson, R. (1989). Physiology and biochemistry of flower petal senescence. *Horticultural Review*, 11, 15-43. <https://doi.org/10.1002/9781118060841.ch2>
13. Boukaew, S., Prasertsan, P., & Sattayasamitsathit, S. (2017). Evaluation of antifungal activity of essential oils against aflatoxigenic *Aspergillus flavus* and their allelopathic activity from fumigation to protect maize seeds during storage. *Industrial Crops and Products*, 97, 558-566. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.005>

14. Bradley, D. G., & Min, D. B. (1992). Singlet oxygen oxidation of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 31(3), 211-236. <https://doi.org/10.1080/10408399209527570>
15. Burt, S. (2004). Essential oils: Their antimicrobial properties and potential applications in foods: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
16. Chang, H., Siegel, B. Z., & Siegel, S. M. (1984). Salinity-induced changes in isoperoxidases in taro *Colocasia esculenta*. *Phytochemistry*, 23(2), 233-235. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)80308-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)80308-8)
17. Conner, D. E. (1993). Naturally occurring compounds. p. 441-468. In: P. M. Davidson & A. L. Branen (Eds.) *Antimicrobials in Foods*. Marcel Dekker, New York.
18. Da Silva, J. A. T. (2003). The cut flower: postharvest considerations. *Journal of Biological Sciences*, 3(4), 406-442. <https://doi.org/10.3923/jbs.2003.406.442>
19. Danaee, E., Naderi, R., Kalatejari, S., & Ladan Moghadam, A. R. (2013). Evaluation the effect of nanosilver with salicylic acid and benzyladenine on longevity of gerbera flowers. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3(8), 682-690.
20. Dareini, H., Abdos, V., & Danaee, E. (2014). Effect of some essential oils on postharvest quality and vase life of gerbera cut flowers (*Gerbera jamesonii* cv. Sorbet). *European Journal of Experimental Biology*, 4(3), 276-280.
21. Ding, C. K., Wang, C. Y., & Gross, K. C. (2002). Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta*, 214(6), 895-901. <https://doi.org/10.1007/s00425-001-0698-9>
22. Dole, J. M., & Wilkins, H. F. (2006). *Floriculture: Principles & Species* (Second edition). NJ: Pearson/Prentice Hall. Upper Saddle River, U.S.A. 1023 p.
23. Dorman, H. J. D., Peltoketo, A., Hiltunen, R., & Tikkanen, M. J. (2003). Characterization of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected *Lamiaceae* herbs. *Food chemistry*, 83(2), 255-262. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00088-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00088-8)
24. Ferrante, A., Alberici, A., Antonacci, S., & Serra, G. (2007). Effect of promoter and inhibitors of phenylalanine ammonia-lyase enzyme on stem bending cut gerbera flowers. *International Conference on Quality Management in Supply Chains of Ornamentals*, 755, 471-476. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.755.64>
25. Furno, F., Morley, K. S., Wong, B., Sharp, B. L., Arnold, P. L., Howdle, S. M., Bayston, R., Brown, P. D., Winship, P. D., & Reid, H. J. (2004). Silver nanoparticles and polymeric medical devices: A new approach to prevention of infection. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 54(6), 1019-1024. <https://doi.org/10.1093/jac/dkh478>
26. Geng, X. M., Liu, J., Lu, J. G., Hu, F. R., & Okubo, H. (2009). Effects of cold storage and different pulsing treatments on postharvest quality of cut OT Lily 'Mantissa' flowers. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 54, 41-45. <https://doi.org/10.5109/14035>
27. Ghaderi, G. M., Mamashloo, S., Sadeghi, M. A., & Alami, M. (2011). Evaluation of antioxidant activity, reducing power and free radical scavenging of different extract of *Artemisia annua* L. *Journal on Plant Science Researches*, 21, 46-57. (in Persian)
28. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
29. He, S., Joyce, D. C., Irving, D. E., & Faragher, J. D. (2006). Stem end blockage in cut *Grevillea* 'Crimson Yu-lo' inflorescences. *Postharvest Biology and Technology*, 41(1), 78-84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.002>
30. Hoseini, S. P., & Korehpaz, S. (2015). Effect of peppermint essential oil and salicylic acid on quality and vase life of cut tuberose flowers (*Polianthes tuberosa* cv. Pearl). In: *Proceedings of Dubai 2nd International Conference on "Engineering and Technology, Computer, Basic and Applied Sciences"*. 18-19 December, Dubai, UAE.
31. Ichimura, K., Kojima, K., & Goto, R. (1999). Effect of temperature, 8-hydroxyquinoline sulphate and sucrose on the vase life of cut rose flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 15(1), 33-40. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00063-5)
32. In, B. C., Chang, M. K., Byoun, H. J., & Son, K. C. (2010). Effect of vase water temperature and leaf number on water relations and senescence of cut roses. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 28(4), 609-617.
33. Jalili Marandi, R., Hassani, A., Abdollahi, A., & Hanafi, S. (2011). Improvement of the vase life of cut gladiolus flowers by essential oils, salicylic acid and silver thiosulfate. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(20), 5039-5043.

34. Jamshidi, M., Hadavi, E., & Naderi, R. (2012). Effects of salicylic acid and malic acid on vase life and bacterial and yeast populations of preservative solution in cut gerbera flowers. *International Journal of AgriScience*, 2(8), 671-674.
35. Jiang, H., Manolache, S., Wong, A. C. L., & Denes, F. S. (2004). Plasma-enhanced deposition of silver nanoparticles onto polymer and metal surfaces for the generation of antimicrobial characteristics. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1411-1422. <https://doi.org/10.1002/app.20561>
36. Jowkar, M. M., & Salehi, H. (2005). Effects of different preservative solutions on the vase life of cut tuberose flowers at usual home conditions. In VIII International Symposium on *Postharvest Physiology of Ornamental Plants*, 669, 411-415. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.669.54>
37. Kalembe, D. A. A., & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*, 10(10), 813-829. <https://doi.org/10.2174/0929867033457719>
38. Kaltaler, R. E. L., & Steponkus, P. L. (1976). Factors affecting respiration in cut roses. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 101, 352-354. https://doi.org/10.21273/JASHS.101.4.352?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
39. Kazem Alvandi, R., Sharifan, A., & Aghazadeh Meshghi, M. (2011). Study of chemical composition and antimicrobial activity of peppermint essential oil. *Journal of Comparative Pathobiology Iran*, 353-363. (In Persian).
40. Kazemi, S., Hassanpour Asil, M., & Ghasemnezhad, M. (2014). Physiological effects of some essential oils in comparison with 8-hydroxyquinoline in cut lisianthus flowers (*Eustoma grandiflorum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(2), 185-195. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2014.51960>
41. Kilic, T., & Cetin, E. S. (2014). Determination of the effects of sage and balm extracts on vase life in gerbera cv. Rosalin. *Tarum Bilimleri Arasturma Dergisi*, 7(2), 13-15.
42. Knee, M. (2000). Selection of biocides for use in floral preservatives. *Postharvest Biology and Technology*, 18(3), 227-234. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00074-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00074-5)
43. Liu, J. P., He, S. G., Zhang, Z. Q., Cao, J. P., Lv, P. T., He, S. D., Cheng, G. P., & Joyce, D. C. (2009). Nanosilver pulse treatments inhibit stem end bacteria on cut gerbera cv. Ruikou flowers. *Postharvest Biology and Technology* 54, 59-62. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.004>
44. Loubaud, M., & Van Doorn, W. G. (2004). Wound-induced and bacteria-induced xylem blockage in roses, *Astilbe* and *Viburnum*. *Postharvest Biology and Technology*, 32(3), 281-288. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.12.004>
45. Mates, J. M., Perez-Gomez, C., & De Castro, I., N. (1999). Antioxidant enzymes and human diseases. *Clinical biochemistry*, 32(8), 595-603. [https://doi.org/10.1016/S0009-9120\(99\)00075-2](https://doi.org/10.1016/S0009-9120(99)00075-2)
46. Mehdikhah, M., Onsinejad, R., Ilkaee, M. N., & Kaviani, B. (2016). Effect of salicylic acid, citric acid and ascorbic acid on post-harvest quality and vase life of gerbera (*Gerbera jamesonii*) cut flowers. *Journal of Ornamental Plants*, 6(3), 181-191.
47. Mortazavi, N., Naderi, R., Khalighi, A., Babalar, M., & Allizadeh, H. (2007). The effect of cytokinin and calcium on cut flower quality in rose (*Rosa hybrida* L.) cv. Illona. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 5(3&4), 311-313.
48. Motaghayer, M. S., & Esna-Ashari, M. (2009). Effect of different concentrations of four preservative solutions on tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flower vase-life. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, 3(1), 59-61.
49. Nair, S. A., Singh, V., & Sharma, T. V. (2003). Effect of chemical preservatives on enhancing vase-life of gerbera flowers. *Journal of Tropical Agriculture*, 41, 56-58.
50. Nazari Deljou, M. J., Pour Youssef, M., Karamian, R., & Jaberian Hamedani, H. (2012). Effect of cultivar on water relations and postharvest quality of gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus ex. Hook f.) cut flower. *World Applied Science Journal*, 18(5), 698-703.
51. Nikolić, M., Glamočlija, J., Ferreira, I. C., Calhelha, R. C., Fernandes, Â., Marković, T., Marković, D., Giweli, A., & Soković, M. (2014)a. Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. *Industrial Crops and Products*, 52, 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.006>
52. Nikolić, M., Jovanović, K. K., Marković, T., Marković, D., Gligorićević, N., Radulović, S., & Soković, M. (2014)b. Chemical composition, antimicrobial, and cytotoxic properties of five Lamiaceae essential oils. *Industrial Crops and Products*, 61, 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.011>
53. Nowak, J., & Rudnicki, R. M. (1990). Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens and potted plants. Timber Press, Oregon, U.S.A. 210 p.
54. Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>

55. Paull, J., & Lyons, K. (2008). Nanotechnology: The next challenge for organics. *Journal of Organic Systems*, 3(1), 3-22.
56. Perik, R. R., Razé, D., Harkema, H., Zhong, Y., & Van Doorn, W. G. (2012). Bending in cut *Gerbera jamesonii* flowers relates to adverse water relations and lack of stem sclerenchyma development, not to expansion of the stem central cavity or stem elongation. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.06.009>
57. Prashanth, P., Sekhar, R. C., & Reddy, K. C. S. (2010). Influence of floral preservatives on scape bending, biochemical changes and postharvest vase life of cut gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus ex. Hook.). *Asian Journal of Horticulture*, 5(1), 1-6.
58. Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.002>
59. Reddy, B. S., & Singh, K. (1996). Effects of aluminium sulphate and sucrose on vase life of tuberose. *Journal-Maharashtra Agricultural Universities*, 21, 201-203.
60. Rios-Gonzalez, K., Erdei, L., & Lips, S. H. (2002). The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. *Plant Science*, 162(6), 923-930. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00040-7)
61. Saghazadeh, F., Khodadadi, M., & Mobasser, H. R. (2014). Effects of different concentrations of plant chemicals on vase life of rose varieties Utopia. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3(2), 152-154.
62. Solgi, M., Kafi, M., Taghavi, T. S., & Naderi, R. (2009). Essential oils and silver nanoparticles (SNP) as novel agents to extend vase-life of gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. Dune) flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 53, 155-158. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.003>
63. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. U.S.A. 690 P.
64. Tehranifar, A., Vahdati Mashhadian, N., Selahvarzi, Y., & Bayat, H. (2013). Treatment with salicylic acid extends the vase life of important commercial cut flowers. *Advanced Crop Science*, 3(6), 405-413.
65. Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F., & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168(1), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.032>
66. Vahdati Mashhadian, N., Tehranifar, A., Bayat, H., & Selahvarzi, Y. (2012). Salicylic and citric acid treatments improve the vase life of cut chrysanthemum flowers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(4), 879-887. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807073.2012.14.4.8.4>
67. Van Doorn, W. G. (2001). Role of soluble carbohydrates in flower senescence: A survey. *Acta Horticulturae*, 543, 179-183. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.543.21>
68. Van Ieperen, W., Van Meeteren, U., & Nijse, J. (2002). Embolism repair in cut flower stems: A physical approach. *Postharvest Biology and Technology*, 25(1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00161-2)
69. Van Meeteren, U. (1978.) Water relations and keeping quality of cut gerbera flowers. I. The cause of stem break. *Scientia Horticulturae*, 8(1), 65-74. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(78\)90071-7](https://doi.org/10.1016/0304-4238(78)90071-7)
70. Van Son, N. (2007). Response of gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus) varieties to micro-propagation. Master of Science Thesis in Horticulture (Agriculture). University of Agricultural Sciences, Dharwad, India.
71. Ziyaei Movahed, Z., Kafi, M., Khalighi, A., Azizi, M., & Sharifi, R. (2010). Investigation of the possibility in replacing natural ingredients (essential oil and extracts of Australian Cheesewood) instead of antibacterial chemicals ingredients in preservative solution of the Gerbera cut flower. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41, 337-345 (In Persian).

The Effect of Foliar Application of Salicylic Acid on Induced Salinity Tolerance in Hydroponic Culture of Shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.)

N. Farhadi^{1*}, M. Abdeslahian¹, S. Mottagi¹

1- Greenhouse and Controlled Environments Research Center (GCER), Horticultural Science Research Institute (HSRI), AREEO, Karaj, Iran

(* - Corresponding author's Email: n.farhadi@areeo.ac.ir; nasrin.farhadi88@gmail.com)

Received: 09 February 2025

Revised: 24 March 2025

Accepted: 26 May 2025

Available Online: 26 May 2025

How to cite this article:

Farhadi, N., Abdeslahian, M., & Mottagi, S. (2026). The effect of foliar application of salicylic acid on induced salinity tolerance in hydroponic culture of shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.). *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 237-250. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92108.1412>

Introduction

Currently, salinity stress is one of the most important challenges in the agriculture and is the main growth limiting factor of many plant species. Saline stress adversely affects the plant's physiological and biochemical process which leads to a considerable reduction of plant growth and yield. Shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) is a perennial plant from the Alliaceae family, which is one of the native and valuable plants of Iran and wildy grows in the slopes of the Zagros Mountain range. The nutritional and medicinal value of shallots is due to the presence of sulfur compounds, especially allicin in the bulbs.

Materials and Methods

The present study was conducted to investigate the effect of foliar application of salicylic acid on the changes in growth, physiological and biochemical traits of shallot under different levels of salinity stress in a factorial design based on a completely randomized design with three replications. The investigated treatments were four levels of salinity (0, 30, 60 and 90 mM NaCl) and four levels of salicylic acid (0, 1, 1.5 and 2 mM). Distilled water (control) and salicylic acid (1, 1.5 and 2 mM) were foliar sprayed on the whole plants at 4, 6 and 8 weeks after sowing date. At the end of the growing season (beginning of yellowing of the leaves of the plants), growth, physiological and biochemical traits were evaluated. Evaluation of lipid peroxidation, osmolality compounds and activity of antioxidant enzymes was carried out in the leaves of treated plants and the amount of pyruvate and allicin was measured in harvested shallot bulbs.

Results and Discussion

Various abiotic stresses restrict plant productivity, and many efforts have been made to reduce plant growth inhibition by alleviating the disorder's effects of these stresses. Exogenous application of plant growth regulators has been reported as an economic procedure to improve plant resistance to environmental stresses. It has been previously reported that salicylic acid as a signaling molecule alleviated the adverse effects of different stress conditions. In this experiment, shallot resistance to saline conditions was enhanced by the foliar spray of salicylic acid. The results showed a significant link between salicylic acid treatment and improvement of bulb biomass under saline conditions. Lipid peroxidation regards to accumulation of malondialdehyde and hydrogen peroxide increased with increasing salinity intensity. Also, saline stress significantly enhanced the proline and glycine betaine content in stressed plants of shallot. The plant antioxidant activity induced under stress conditions increased the total phenol content as well as the activity of catalase, peroxidase, ascorbate peroxidase and superoxide dismutase enzymes. The pyruvate and allicin content of the shallot bulb increased with



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92108.1412>

increasing salinity stress. The decreased in the photosynthetic pigments (total chlorophyll and carotenoids) led to a decrease in plant growth with the intensification of stress level. So that the lowest leaf area, fresh and dry weight of bulbs were obtained in severely salinity-stressed plants (90 mM NaCl). Foliar application of salicylic acid increased the antioxidant compounds (total phenol, pyruvate and allicin) and the activity of antioxidant enzymes (CAT, POX, APX and SOD) limited the accumulation of hydrogen peroxide and lipid peroxidation. The accumulated osmolyte compounds proline and glycine betaine were decreased in treated plant with salicylic acid. The treatment of salicylic acid considerably improved the chlorophyll and carotenoid content especially in salinity-stressed plants. Thus the application of salicylic acid, especially at a concentration of 2 mM, reduced the harmful effects of salinity stress on plant growth and bulb yield by increasing the photosynthetic pigments and consequently photosynthetic efficiency. Also increased growth in the treated plants with salicylic acid has been attributed to changes in the concentration of plant hormones, especially auxins and cytokinin's (the most important plant growth-stimulating hormones). Nevertheless, the growth reactions of treated plants to salicylic acid are different depending on the used concentration, the plant species and the growth stage at the treatment time.

Conclusion

In several studies, the effects of salicylic acid on plant growth enhancement under unfavorable environmental condition attributed to salicylic acid-induced changes in plant biochemical and physiological processes. Based on the obtained results, the salinity resistance of the shallot plant in response to salicylic acid is related to the increased antioxidant capacity of the stressed plants, which leads to the improvement of the photosynthetic pigments, and consequently plant growth and bulb biomass under saline condition. Although the present study was performed in the glass greenhouse, the obtained findings showed that salicylic acid application could also be a promising treatment for improving salinity tolerance of *A. hirtifolium* under field conditions.

Keywords: *Allium hirtifolium*, Salinity, Osmolality compounds, Antioxidant capacity

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص. ۲۵۰-۲۳۷

اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر افزایش مقاومت به شوری در کشت هیدروپونیک گیاه

موسیر (*Allium hirtifolium* Boiss.)نسرین فرهادی * - مژگان عبدشاهیان^۱ - سمانه متقی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌باشد، بنابراین استفاده از راهکارهایی جهت افزایش مقاومت گیاهان به شوری حائز اهمیت می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر افزایش مقاومت به شوری گیاه موسیر (*Allium hirtifolium* Boiss.) در قالب طرح فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل تنش شوری در چهار سطح (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول پاشی با اسید سالیسیلیک در چهار سطح (صفر، ۱ و ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار) می‌باشد. با افزایش سطح شوری، سطح برگ و رنگ‌ده‌های فتوسنتزی در گیاه موسیر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین وزن تر و خشک پیاز در گیاهان تحت تنش شدید شوری (۹۰ میلی‌مولار) ثبت گردید. تیمار شوری از زمان کشت پیازها اعمال شد و محلول پاشی اسید سالیسیلیک در چهار، شش و هشت هفته بعد از کاشت انجام گردید. مقدار ترکیبات اسمولیتی، فنل کل، آلیسین و پیروات و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با افزایش شدت تنش افزایش معنی‌داری نشان دادند. براساس نتایج حاصل، محلول پاشی اسید سالیسیلیک در افزایش مقاومت به شوری گیاه موسیر مؤثر بود، به‌طوری‌که از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از نظر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (فنل کل، پیروات و آلیسین) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز)، منجر به محدود شدن قابل توجه تجمع پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدها در موسیر گردید. براساس نتایج حاصل، مقاومت به شوری گیاه موسیر در واکنش به محلول پاشی اسید سالیسیلیک با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه در ارتباط می‌باشد که منجر به بهبود میزان رنگ‌ده‌های فتوسنتزی و در نتیجه عملکرد پیاز موسیر در شرایط شوری شد.

واژه‌های کلیدی: موسیر، شوری، ترکیبات اسمولیتی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

شوری یکی از عوامل بسیار مهم در محدود نمودن توسعه کشاورزی در سراسر جهان می‌باشد که در حال حاضر کشت گونه‌های مختلف گیاهی را در بسیاری از مناطق کشورمان و جهان تحت تأثیر قرار داده است و تأمین نیاز غذایی میلیون‌ها انسان را با چالش بسیار جدی مواجه کرده است. از این‌رو بررسی راهکارهای افزایش تحمل به شوری و به‌دنبال آن کم‌آبی در گیاهان زراعی بسیار با اهمیت می‌باشد (Saeidi et al., 2023). با توجه به اینکه رشد گیاه نتیجه توسعه

یکپارچه سلول‌های جوان است که به‌وسیله تقسیم مداوم مرستمی ایجاد می‌شود، شوری می‌تواند تقسیم و توسعه سلولی را در بافت‌های در حال رشد ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها محدود کند که همراه با کاهش رشد گیاه می‌باشد (Hosseini et al., 2021). تنش شوری سبب بروز تغییرات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاه می‌گردد (Negrao et al., 2017). با این‌وجود اثرات تنش شوری روی گیاهان مختلف با توجه به شرایط آب‌وهوایی، نوع گیاه و رقم، مرحله رشدی گیاه و سطح تغذیه‌ای آن متغیر است (Solouki et al., 2023). تنش شوری از طریق اختلال در تعادل یونی، کاهش آماس سلولی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب دی‌اکسید کربن و در نهایت کاهش راندمان فتوسنتز، تولید ماده خشک در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Desire & Arslan, 2021). به‌طور کلی، در شرایط شوری فشار اسمزی محیط اطراف

۱- پژوهشکده گلخانه و محیط‌های کنترل‌شده، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی

کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: n.farhadi@areeo.ac.ir;

nasrin.farhadi88@gmail.com

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92108.1412>

عملکرد پیاز و برخی تغییرات آنتی اکسیدانی و مواد مؤثره گیاه موسیر در واکنش به اعمال تنش شوری انجام گردید.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. پیازهای موسیر اکوتیپ زنجان از رویشگاه‌های طبیعی این گیاه در شهر زنجان (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی) تهیه گردید. پس از ضد فونی با قارچ کش کاپتان به غلظت دو در هزار، برای رفع خواب پیازها و تحریک جوانه‌زنی به مدت دو ماه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. با اندازه‌گیری وزن پیازها، تعداد کافی پیاز یکنواخت و یکدست انتخاب و به گلخانه منتقل گردید. تیمارهای مورد آزمایش شامل چهار سطح شوری (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و چهار سطح محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک (صفر، ۱ و ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار) بود. تیمار شوری از زمان کشت پیازها اعمال شد و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در چهار، شش و هشت هفته بعد از کاشت انجام شد. تیمارهای ۳۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب به عنوان تنش ملایم، متوسط و شدید در نظر گرفته شد.

اعمال تیمارها

برای اعمال تیمارها، ۵۲ گلدان پلاستیکی با قطر دهانه و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفتند که با یک کیلوگرم پرلیت دانه متوسط و کوکوپیت با نسبت سه به یک پر گردید. ۴۸ گلدان مربوط به تیمارهای مورد نظر بود و چهار گلدان نیز برای تعیین زمان آبیاری و نگهداری پتانسیل آب بستر کشت در محدوده ظرفیت زراعی (FC) در سطوح مختلف شوری در نظر گرفته شده بودند. پیازهای موسیر در عمق ۱۰ سانتی‌متری از سطح بستر کاشته شدند. سپس گلدان‌های شاهد با آب شهری (۵۶/۰ دسی‌زیمنس بر متر) و سایر گلدان‌ها با محلول سدیم کلرید مورد نظر تا رسیدن به ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای آبیاری گردید. به منظور تعیین دقیق زمان آبیاری، چهار گلدان کشت نشده نیز با آب شهری و محلول‌های نمک مورد بررسی در حد ظرفیت زراعی آبیاری و سپس توزین شدند. برای تأمین نیاز غذایی گیاهچه‌های موسیر از محلول غذایی هوگلند با هدایت الکتریکی ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر استفاده گردید. در طول دوره رشد با توزین مکرر گلدان‌های کشت نشده، کمبود آب از حد ظرفیت زراعی با محلول غذایی هوگلند جبران می‌شد. برای جلوگیری از افزایش میزان شوری واحدهای آزمایشی بر اثر محلول غذایی هوگلند، گلدان‌ها هر ۲۰ روز یک بار با آب شهری شسته شده و مجدداً

ریشه نسبت به سلول‌های ریشه گیاه افزایش می‌یابد و با افزایش مدت زمان قرارگیری گیاهان در شرایط تنش و افزایش شدت آن، پایداری و تراوایی غشاهای سلولی را تحت تأثیر قرار داده و منجر به تجمع نمک در ساقه و عدم توانایی گیاه در تحمل یون‌های تجمع‌یافته می‌شود (Kumar et al., 2022). گیاهان مختلف در مواجهه با تنش واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند و به دو صورت اجتناب و تحمل می‌توانند در برابر تنش اسمزی ناشی از شوری مقاومت کنند (Shams & Khadivi, 2023; Zhao et al., 2021). بسیاری از گونه‌های گیاهی با فعال کردن سیستم دفاعی خود شامل ظرفیت آنتی اکسیدانی (ترکیبات و آنزیم‌های آنتی اکسیدان) (Skrypnik et al., 2022; Kumar et al., 2022) و تجمع ترکیبات آلی مانند پرولین و گلاسیسین بتائین (Singh et al., 2022; Shams & Khadivi, 2023) در سلول‌های خود به تنش اسمزی واکنش نشان می‌دهند. استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی راهکار مناسبی برای غلبه بر بی‌نظمی‌های فیزیولوژیکی ایجادشده در گیاهان تحت تنش شوری می‌باشد. اسید سالیسیلیک یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است که در برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و نمو مانند جوانه‌زنی دانه، تقسیم سلولی، افزایش میزان کلروفیل، تنفس، واکنش به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و متابولیسم رادیکال‌های آزاد اکسیژن نقش دارد (Shanshan et al., 2023). در بسیاری از گونه‌های گیاهی تیمار با اسید سالیسیلیک از طریق تغییر واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی موجب افزایش مقاومت به تنش شوری شده است (Tavasolee et al., 2024; Shirzadi & Bideshki, 2018; Yousefvand et al., 2025).

موسیر با نام علمی *Allium hirtifolium* Boiss. چندساله از خانواده Alliaceae است که از جمله گیاهان بومی و با ارزش ایران می‌باشد و به صورت وحشی در مراتع و دامنه رشته کوه زاگرس می‌روید (Panahandeh et al., 2016). ارزش غذایی و دارویی موسیر به دلیل وجود ترکیبات گوگردی به ویژه آلیسین در پیاز موسیر می‌باشد. در حال حاضر، به دلیل بهره‌برداری‌های بی‌رویه و برداشت نادرست در بسیاری از مراتع، تراکم گیاه موسیر در واحد سطح به شدت پایین آمده است و از گونه‌های در خطر انقراض به شمار می‌رود (Farhadi & Alizadeh Salteh, 2017). از این رو، انجام تحقیقاتی در راستای بررسی واکنش این گیاه به شرایط محیطی مختلف در راستای حفظ و گسترش کشت آن اهمیت فراوانی دارد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، شناخت واکنش گیاه موسیر به شرایط مختلف محیطی نیازمند مطالعات و تحقیقات بیشتری است. بر همین اساس، این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات اسید سالیسیلیک بر

گلایسین بتائین نمونه‌های مورد مطالعه برحسب میکروگرم در گرم وزن خشک برگ استفاده شد (Grieve & Grattan, 1983).

فنل کل

مقدار فنل کل در نمونه‌های برگ گیاه موسیر با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو (Singleton & Rossi, 1965) در عصاره متانولی تهیه‌شده با متانول ۸۵ درصد اندازه‌گیری شد. ۱۰۰ میکرولیتر محلول روشناور حاصل از عصاره استخراج‌شده با آب مقطر رقیق شده و سپس معرف فولین-سیوکالتو به مخلوط واکنش اضافه گردید. پس از چهار دقیقه تاریکی، سدیم کربنات ۷/۵ درصد به محلول فوق افزوده شد و پس از ۳۰ دقیقه، جذب در ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. مقدار فنل کل برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در هر گرم وزن تازه براساس منحنی استاندارد اسید گالیک اندازه‌گیری گردید.

آلیسین

مقدار آلیسین در پیازهای موسیر براساس روش اسپکتروفتومتری با استفاده از ترکیب ۴-مرکاپتوپیریدین و کاهش جذب در طول موج ۳۲۴ نانومتر اندازه‌گیری شد و براساس میلی‌گرم در گرم وزن تر پیاز گزارش گردید (Miron et al., 2002).

پیرووات

مقدار پیرووات به‌عنوان شاخصی از تندی پیازهای موسیر با استفاده از ترکیب دی نیترو فنیل هیدرازین (DNPH) اندازه‌گیری شد (Anthon & Barrett, 2003). ابتدا داخل فالكون ۱۰۲۰ میکرولیتر آب مقطر و ۱۰۰۰ میکرولیتر محلول دی نیترو فنیل هیدرازین (۰/۱۲۵ گرم در یک لیتر اسید کلریدریک دو مولار) ریخته شد. سپس عصاره وزن مشخصی از پیاز موسیر را گرفته و ۲۰ میکرولیتر از آن داخل فالكون اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از این مدت، به هر یک از نمونه‌ها پنج میلی‌لیتر سود ۰/۶ مولار اضافه گردید. پس از مشاهده تغییر رنگ، میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت و مقدار پیرووات بر حسب میکرومول در هر گرم وزن تازه پیاز محاسبه شد.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز)، ۰/۵ گرم برگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (با pH برابر ۶/۸) در دمای چهار درجه سانتی‌گراد استخراج شد. عصاره حاصل به مدت ۲۰ دقیقه

تیمارهای شوری اعمال می‌گردید. در طول آزمایش از نور طبیعی در دوره رشد گیاهان استفاده گردید و دمای گلخانه در محدوده ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۷۰-۸۰ درصد متغیر بود. در انتهای فصل رشد (شروع زرد شدن برگ‌های بوته‌ها)، صفات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی پراکسیداسیون لیپیدی، ترکیبات اسمولیتی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ گیاهان تیمار شده انجام شد و مقدار پیرووات و آلیسین در پیازهای برداشت‌شده موسیر اندازه‌گیری گردید.

صفات مورد ارزیابی

صفات رشدی

در گیاهان تیمار شده ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و خشک پیاز اندازه‌گیری شد. پس از برداشت پیازها، وزن تر آن‌ها تعیین و سپس به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و دوباره توزین شدند (Hossaini, 1994).

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

ترکیبات اسمولیتی

برای اندازه‌گیری مقدار پرولین در برگ گیاه موسیر، از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) با استفاده از معرف نین‌هیدرین استفاده شد. استخراج عصاره گیاهی در محلول آبی سولفوسالسیلیک اسید سه درصد انجام و محلول روشناور حاصل از سانتریفیوژ با آب مقطر، معرف نین‌هیدرین و استیک‌اسید گلاسیال مخلوط شد. محلول حاصل یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس بلافاصله در داخل یخ سرد شده و به دمای اتاق رسید. به محلول حاصل دو میلی‌لیتر تولوئن افزوده شد که در این حالت دو فاز تشکیل شده و پرولین وارد فاز فوقانی رنگی (فاز تولوئن) گردید. هم‌زمان محلول‌های استاندارد پرولین (صفر تا پنج میکرومولار) تهیه شد. فاز فوقانی نمونه‌های گیاهی و محلول‌های استاندارد جدا شده و جذب آن‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. مقدار پرولین هر نمونه با استفاده از منحنی‌های استاندارد تهیه‌شده محاسبه و به‌صورت میکروگرم در گرم وزن تر برگ گزارش گردید.

برای اندازه‌گیری گلایسین بتائین، به ۰/۵ گرم برگ خشک‌شده، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر روی شیکر قرار داده شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل با یک میلی‌لیتر اسید سولفوریک دو نرمال مخلوط و در حمام آب یخ قرار گرفت و در نهایت ۰/۱ میلی‌لیتر از پتاسیم یدید و ید به مخلوط واکنش اضافه شد. مقدار جذب محلول حاصل در طول موج ۳۶۵ نانومتر قرائت گردید. از بتائین به‌عنوان استاندارد برای محاسبه مقدار

سانتریفیوژ و محلول رویی به عنوان عصاره آنزیمی برای اندازه گیری فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان استفاده گردید. اندازه گیری پروتئین محلول به منظور سنجش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان با استفاده از سرم آلبومین گاوی به عنوان استاندارد طبق روش بردفورد (Bradford, 1976) صورت گرفت.

کاتالاز: فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میلی مول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در طول موج ۲۴۰ نانومتر ارزیابی گردید. در این روش، آنزیم کاتالاز موجود در عصاره گیاهی با تجزیه پراکسید هیدروژن سبب کاهش جذب این ماده در طول موج مذکور شده و از تفاوت جذب در واحد زمان، فعالیت آنزیم اندازه گیری می شود. مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار، پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. میزان پراکسید هیدروژن تجزیه شده با در نظر گرفتن ضریب خاموشی (۳۹/۴ در میلی مول در سانتی متر) برحسب میلی مول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در یک دقیقه (Unit) در میلی گرم پروتئین محاسبه گردید (Aebi, 1983).

پراکسیداز: فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از آزمون گایاکول و براساس میزان تولید تتراگایاکول سنجش شد. واکنش با اضافه کردن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به محلول واکنش (بافر فسفات پتاسیم، پراکسید هیدروژن و محلول گایاکول) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد آغاز گردید. تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۹۰ ثانیه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت شد و فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی تتراگایاکول (۲۶/۶ در میلی مول در سانتی متر) برحسب میلی مول تتراگایاکول در دقیقه (Unit) در میلی گرم پروتئین محاسبه گردید (Chance & Maehly, 1955).

آسکوربات پراکسیداز: به منظور اندازه گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز از روش ناکانو و آسادا (Nakano & Asada, 1981) استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم با اضافه نمودن ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۰۰ میلی مولار به مخلوط واکنش شامل ۶۸۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی مولار، ۱۰۰ میکرولیتر اسید آسکوربیک ۱۰ میلی مولار، ۱۰۰ میکرولیتر EDTA ۱۰ میلی مولار و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی انجام گردید. کاهش در جذب مخلوط واکنش در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۱۲۰ ثانیه ثبت شد. فعالیت ویژه آنزیم براساس میلی مول آسکوربات اکسید شده در هر میلی گرم پروتئین در یک دقیقه با استفاده از ضریب خاموشی ۲/۸ در میلی مول در سانتی متر گزارش گردید.

سوپراکسید دیسموتاز: اندازه گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز براساس میزان تولید رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) به وسیله فتولیز ریپوفلاوین در محیط واکنش می باشد، که

متعاقب آن نیترو بلو تترازولیوم را به ترکیب ارغوانی دی فورمازان احیاء می کند. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در عصاره با درصد ممانعت تشکیل رنگ به وسیله آنزیم در محلول واکنش تعریف می شود. محلول واکنش شامل عصاره آنزیمی، بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار، متیونین ۱۲ میلی مولار، نیترو بلو تترازولیوم ۷۵ میکرومولار و سدیم کربنات ۵۰ میلی مولار بود که برای آغاز واکنش، ۳۰ میکرولیتر ریپوفلاوین یک میکرومولار به محلول واکنش اضافه گردید. یک واحد فعالیت آنزیم به عنوان مقدار آنزیم لازم جهت القای ۵۰ درصد ممانعت احیای نیترو بلو تترازولیوم در ۵۶۰ نانومتر تعریف می شود که با نمونه های شاهد بدون عصاره آنزیمی مقایسه گردید. نتایج برحسب واحد (Unit) در میلی گرم پروتئین در یک دقیقه گزارش شد (Giannopolitis & Ries, 1977).

پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید

جهت استخراج پراکسید هیدروژن، نمونه های گیاهی با تری کلرواستیک استخراج و به مدت ده دقیقه سانتریفیوژ گردید و عصاره حاصل به محلول واکنش شامل ۰/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی مولار (pH=7) و یک میلی لیتر پتاسیم یدید یک مولار اضافه شد. بعد از افزودن عصاره، نمونه ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نگهداری شده، سپس مقدار پراکسید هیدروژن در ۳۹۰ نانومتر براساس میکرومول در گرم تر گزارش گردید (Velikova et al., 2000).

میزان پراکسیداسیون لیپیدی براساس مقدار مالون دی آلدئید تشکیل شده در محلول واکنش محاسبه گردید. برای استخراج عصاره گیاهی از محلول تری کلرواستیک اسید استفاده شد. عصاره حاصل بعد از سانتریفیوژ به محلول تری کلرواستیک اسید حاوی تیوباربیتوریک اسید به نسبت ۱ به ۳ در داخل لوله های آزمایش ریخته شد. محلول در ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد و سپس سرد گردید. شدت جذب نور محلول حاصل در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب سایر رنگیزه های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر خوانده شد و از این مقدار کسر گردید. مقدار مالون دی آلدئید هر نمونه براساس نانومول در گرم وزن تر گزارش شد (Davey et al., 2005).

رنگیزه های فتوسنتزی

نمونه ها در استون ۸۰ درصد استخراج گردید و سپس به مدت ۲۴ ساعت در یخچال و شرایط تاریکی نگه داشته شدند. مراحل استخراج، به منظور جلوگیری از تخریب در دمای ۴ درجه سانتی گراد انجام گرفت. به وسیله اسپکتروفتومتر جذب کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در

کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک تأثیری بر تجمع پرولین و گلايسين بتائين در گیاهان بدون تنش نداشت. با این حال، تجمع این ترکیبات در برگ‌های گیاه موسیر تحت تنش شوری در واکنش به محلول پاشی اسید سالیسیلیک به میزان قابل توجهی کاهش داشت. محلول پاشی اسید سالیسیلیک به ویژه با غلظت دو میلی مولار اثر معنی داری در کاهش مقدار ترکیبات پرولین و گلايسين بتائين به ترتیب به میزان ۸/۲۶ و ۸/۰۶ درصد در برگ‌های گیاه موسیر تحت تنش شوری داشت (جدول ۱).

افزایش ترکیبات اسمولیتی از مهم‌ترین واکنش‌های دفاعی گونه‌های مختلف گیاهی در واکنش به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی می‌باشد (Zhao et al., 2021). گلايسين بتائين نقش مهمی در فعال شدن آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، محافظت از فتوسیستم‌ها و غشای سلولی در شرایط تنش اکسیداتیو دارد و تجمع آن در ارقام مقام به تنش شوری زیاد است (Shams & Khadivi, 2023). افزایش پرولین نیز همانند گلايسين بتائين نقش مهمی در تسریع واکنش گیاهان به تنش دارد و منجر به کاهش اثرات منفی تنش شوری بر رشد گیاه می‌شود. پرولین از ساختار روبیسکو با غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و تنظیم اسمزی محافظت می‌کند (Singh et al., 2022).

طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۸ و ۶۶۴ نانومتر قرائت شد و مقدار هر یک از آن‌ها بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر گیاه گزارش گردید (Lichtenthaler, 1987).

تجزیه آماری

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر میزان ترکیبات اسمولیتی گیاه موسیر تحت تنش شوری

در این پژوهش، میزان ترکیبات اسمولیتی اندازه گیری شده شامل پرولین و گلايسين بتائين در برگ‌های گیاه موسیر به طور معنی داری تحت تأثیر تنش شوری و تیمار اسید سالیسیلیک بود، همچنین اثرات متقابل این تیمارها بر مقدار این ترکیبات معنی دار بود. افزایش شدت تنش شوری، میزان پرولین و گلايسين بتائين را به ترتیب به میزان ۳۰/۶۸ و ۲۳/۶۰ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش افزایش داد.

جدول ۱- اثر اسید سالیسیلیک بر میزان اسمولیت‌ها، فنل کل و پیرووات در گیاه موسیر تحت سطوح مختلف تنش شوری

Table 1- The effect of salicylic acid on the osmolytes, total phenol and pyroval content of *Allium hirtifolium* under different levels of salinity stress

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	تنش شوری Salinity stress (mM NaCl)	پرولین Proline ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	گلايسين بتائين Glycine betaine ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$)	فنل کل Total phenol ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	پیرووات Pyroval ($\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)
0	0	0.352 k*	0.251 h	0.653 n	69.33 m
	30	0.378 h	0.273 f	0.673 k	73.43 l
	60	0.400 e	0.290 c	0.691 g	74.78 k
	90	0.460 a	0.310 a	0.711 e	75.98 g
1	0	0.351 k	0.247 i	0.662 m	69.39 m
	30	0.361 j	0.261 g	0.681 j	74.91 j
	60	0.390 f	0.281 e	0.701 f	75.90 h
	90	0.440 b	0.308 a	0.715 d	77.22 e
1.5	0	0.353 k	0.251 h	0.670 l	69.39 m
	30	0.359 j	0.260 g	0.689 h	76.37 f
	60	0.386 g	0.276 f	0.710 e	77.86 c
	90	0.436 c	0.299 b	0.720 c	77.98 b
2	0	0.353 k	0.250 hi	0.670 l	69.32 m
	30	0.360 j	0.258 g	0.684 i	75.27 i
	60	0.372 i	0.274 f	0.722 b	77.78 d
	90	0.422 d	0.285 d	0.739 a	79.42 a

* در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference based on DMRT test at the 5% of probability level.

(al., 2022) و موگوانیا و همکاران (Mugwanya et al., 2023) گزارش شده است. به نظر می‌رسد که تیمار اسید سالیسیلیک از طریق سازوکارهای دیگر موجب تعدیل اثرات تنش شوری شده که کاهش مقدار پرولین و گلايسين بتائين مؤید این مطلب می‌باشد. سنتز

در پژوهش حاضر، محلول پاشی اسید سالیسیلیک موجب کاهش مقدار هر دو ترکیب اسمولیتی مورد ارزیابی گردید. با این وجود، افزایش پرولین و گلايسين بتائين در گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش بیشتر توسط یوسفوند و همکاران (Yousefvand et

ترکیبات آنتی اکسیدانی از جمله ترکیبات مختلف فنلی موجب افزایش مقاومت گیاهان تحت تنش می گردد. افزایش مقدار ترکیبات فنلی در واکنش به محلول پاشی اسید سالیسیلیک به افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز نسبت داده می شود (Skrypnik et al., 2022). فنیل آلانین آمونیالیز، آنزیم اصلی در مسیر فنیل پروپانوییدی است که نقش کلیدی در متابولیسم فنل ها و بیوستز ترکیبات مختلف فنلی به ویژه فلاونوئیدها از فنیل آلانین دارد.

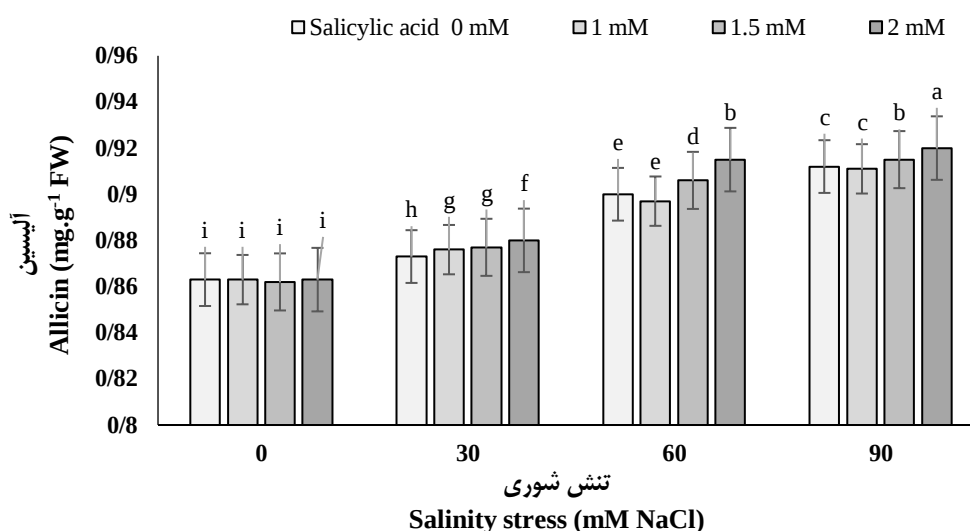
اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر مقدار آلپسین و پیرووات

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این است که تنش شوری، محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آن ها برای مقدار آلپسین و پیرووات پیاز موسیر معنی دار بود. با افزایش تنش شوری، مقدار آلپسین (شکل ۱) و پیرووات (جدول ۱) پیاز موسیر به ترتیب به میزان ۵/۶۸ و ۹/۵۹ درصد افزایش یافت و بیشترین مقدار این ترکیبات در پیازهای رشد یافته تحت تنش شدید (۹۰ میلی مولار) اندازه گیری شد. محلول پاشی با غلظت های مختلف اسید سالیسیلیک به طور قابل توجهی مقدار آلپسین (شکل ۱) و پیرووات (جدول ۱) را در تمام سطوح شوری افزایش داد. اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر تولید این ترکیبات با افزایش شدت تنش روند صعودی داشت، بنابراین بیشترین مقدار آلپسین (۰/۹۲ میلی گرم در گرم وزن تر پیاز) و پیرووات (۷۹/۴۲ میکرومولار در گرم وزن تر پیاز) در تیمار دو میلی مولار اسید سالیسیلیک تحت تنش شدید شوری حاصل شد (شکل ۱ و جدول ۱).

ترکیبات اسمولیتی برای گیاه هزینه بر بوده و در شرایط تنش گیاه برای حفظ حیات، بخشی از انرژی تولیدی را به جای رشد، صرف تولید ترکیباتی مانند پرولین و گلایسین بتائین می کند و تیمار اسید سالیسیلیک با تعدیل شرایط تنش مانع از صرف انرژی گیاه برای تولید ترکیبات اسمولیتی می شود (Yang et al, 2023).

اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر میزان فنل کل گیاه موسیر تحت تنش شوری

مقدار فنل کل برگ های گیاه موسیر به طور معنی داری تحت تأثیر تنش شوری و اسید سالیسیلیک بود و اثر متقابل تنش و محلول پاشی نیز بر مقدار این ترکیبات معنی دار بود. با افزایش شدت تنش، مقدار فنل کل افزایش معنی داری داشت و بیشترین مقدار آن (۰/۷۱۱ میلی گرم در گرم وزن تر) تحت تنش شدید شوری ثبت گردید. محلول پاشی اسید سالیسیلیک اثر معنی داری بر مقدار فنل کل در گیاهان موسیر رشد یافته در شرایط بدون تنش و سطوح مختلف تنش شوری داشت و بیشترین افزایش در مقدار این ترکیبات در گیاهان تیمار شده با دو میلی مولار اسید سالیسیلیک حاصل شد (جدول ۱). ترکیبات فنلی به عنوان آنتی اکسیدان های قوی با حذف گونه های فعال اکسیژن، نقش مهمی در حفاظت از گیاهان در برابر تنش های اکسیداتیو دارند. فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات فنلی به خواص احیاکنندگی و قدرت حذف گونه های فعال اکسیژن نسبت داده می شود (Ali, 2021). براساس یافته های کومار و همکاران (Kumar et al., 2022)، تیمار اسید سالیسیلیک از طریق تحریک مسیر بیوستز



شکل ۱- اثر اسید سالیسیلیک بر مقدار آلپسین پیاز موسیر تحت سطوح مختلف تنش شوری

Figure 1- The effect salicylic acid on allicin content of *Allium hirtifolium* bulb under different levels of salinity stress (DMRT, $p \leq 0.05$)

شوری افزایش تدریجی نشان دادند که پاسخ معمول بسیاری از گونه-های گیاهی به تنش‌های مختلف محیطی است (Desire & Arslan, 2021; Alam et al., 2022). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان در شرایط نامساعد محیطی می‌تواند در نتیجه افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد که سازوکار محافظتی سلول‌های گیاهی را برای کاهش آسیب اکسیداتیو فعال می‌کند. بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه در شرایط نامساعد محیطی با سازوکارهای دفاعی گیاهان در ارتباط می‌باشد (Solouki et al., 2023). فعالیت‌های آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در گیاه موسیر در واکنش به محلول پاشی اسید سالیسیلیک افزایش داشته است. در گونه‌های مختلف گیاهی محلول پاشی اسید سالیسیلیک با تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان منجر به تقویت سیستم‌های دفاعی شده و باعث افزایش مقاومت به تنش‌های مختلف محیطی شده است (Shanshan et al., 2023; Yang et al., 2023).

اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر میزان پراکسیداسیون لیپیدها گیاه موسیر تحت تنش شوری

آسیب اکسیداتیو تنش شوری در گیاه موسیر با بررسی میزان افزایش ترکیبات پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در برگ گیاهان تیمار شده ارزیابی شد. براساس نتایج آنالیز واریانس، اثرات تنش شوری و محلول پاشی و همچنین اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید معنی‌دار بود. افزایش سطح شوری باعث افزایش دو برابری میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید نسبت به شرایط بدون تنش گردید. محلول پاشی با اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری در کاهش اثرات منفی تنش شوری از نظر تجمع پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در برگ‌های گیاه موسیر در سطوح مختلف تنش شوری داشت (جدول ۳). تمام غلظت‌های اسید سالیسیلیک مورد استفاده در کاهش تجمع این ترکیبات در گیاهان تحت تنش شوری مؤثر بودند، با این وجود تیمار گیاهان با دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به ترتیب ۱۲/۴۵ و ۲۹/۰۶ درصد تجمع پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید را در گیاهان تحت تنش کاهش داد (جدول ۳). افزایش قابل توجه تجمع پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید به دلیل تنش شوری، نشان‌دهنده میزان آسیب شوری به غشای سلولی است که در گونه‌های مختلف گیاهی گزارش شده است (Solouki et al., 2023; Negrao et al., 2017).

در شرایط نامساعد محیطی، تخصیص منابع کربن برای متابولیسم ثانویه بیشتر از متابولیسم اولیه گیاه است که در این تغییرات به صورت کاهش زیست‌توده گیاهی و افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه تظاهر پیدا می‌کند (Shanshan et al., 2023). پیرووات و آلپسین به عنوان ترکیبات گوگردی دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال‌های آزاد هستند، بنابراین افزایش تجمع این ترکیبات یک سازوکار دفاعی برای اطمینان از بقای گیاه در شرایط نامساعد محیطی است (Mugwanya et al., 2023; Ali, 2021). افزایش مقدار پیرووات و آلپسین در پیاز گونه‌های مختلف آلیوم‌ها در سطوح مختلف تنش در واکنش به تیمار اسید سالیسیلیک به افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های درگیر در مسیر بیوسنتز این ترکیبات نسبت داده شده است (Yousefvand et al., 2022; Yousefvand, 2025). از طرف دیگر، تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک بر تولید پیرووات و آلپسین ممکن است در ارتباط با بهبود سطح هورمون‌های درگیر در مسیرهای بیوسنتز ترکیبات گوگردی باشد (Shama et al., 2016).

اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه موسیر تحت تنش شوری

نتایج تجزیه واریانس، اثر معنی‌دار تنش شوری، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آن‌ها را بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مورد ارزیابی (کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) را نشان می‌دهد. میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با افزایش شدت تنش، روند صعودی داشتند. تنش شدید شوری به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز را ۳/۲۳، ۷/۰۴، ۲۱/۵۳ و ۱۹/۶۱ درصد افزایش داد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان رشد یافته در شرایط غیرتنش در واکنش به محلول پاشی اسید سالیسیلیک تغییرات قابل توجهی نداشت. با این وجود در تمام سطوح تنش (ملایم، متوسط و شدید)، فعالیت آنزیم‌ها در واکنش به محلول پاشی با غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک افزایش یافت. تحت تنش ملایم، اسید سالیسیلیک در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار در افزایش فعالیت آنزیم‌های مورد ارزیابی مؤثرتر از سایر غلظت‌ها بود. با این وجود بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان تحت تنش متوسط و شدید در تیمار دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده گردید (جدول ۲). در پژوهش حاضر، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با افزایش شدت تنش

Table 2- The effect of salicylic acid on the antioxidant enzymes of *Allium hirtifolium* under different levels of salinity stress

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	تنش شوری Salinity stress (mM NaCl)	کاتالاز CAT (U.mg ⁻¹ protein)	پراکسیداز POX (U.mg ⁻¹ protein)	آسکوربات پراکسیداز APX (U.mg ⁻¹ protein)	سوپراکسید دیسموتاز SOD (U.mg ⁻¹ protein)
0	0	0.465 i*	0.739 ij	60.48 k	66.19 p
	30	0.470 h	0.742 h	63.94 j	68.30 l
	60	0.473 gh	0.761 efg	69.04 f	70.89 j
	90	0.480 de	0.791 cd	73.50 e	79.17 d
1	0	0.466 i	0.739 ij	60.23 kl	67.34 n
	30	0.477 efg	0.759 fg	64.99 i	70.04 k
	60	0.475 fg	0.764 e	73.40 e	71.13 i
	90	0.482 d	0.795 c	74.67 d	80.45 c
1.5	0	0.465 i	0.741 ij	60.28 kl	67.73 m
	30	0.478 def	0.763 ef	67.20 g	73.11 g
	60	0.479 de	0.787 d	74.86 cd	76.54 f
	90	0.493 c	0.826 b	74.99 c	83.99 b
2	0	0.466 i	0.730 j	60.18 m	67.02 o
	30	0.477 efg	0.756 g	66.01 h	72.43 h
	60	0.497 b	0.792 c	75.32 b	77.46 e
	90	0.513 a	0.848 a	83.52 a	86.42 a

* در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference based on DMRT test at the 5% of probability level.

جدول ۳- اثر اسید سالیسیلیک بر میزان پراکسیداسیون لیپیدی و رنگی‌های فتوسنتزی گیاه موسیر تحت سطوح مختلف تنش شوری
Table 3- The effect of salicylic acid on the amount of lipid peroxidation and photosynthetic pigments of *Allium hirtifolium* under different levels of salinity stress

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	تنش شوری Salinity stress (mM NaCl)	پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide (μM.g ⁻¹ FW)	مالون دی آلدئید Malondialdehyde (nM.g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW)	کاروتنوئیدها Carotenoids (mg.g ⁻¹ FW)
0	0	9.20 l*	20.10 ij	4.49 d	0.240 c
	30	13.41 h	20.62 h	4.25 f	0.221 e
	60	16.78 d	35.03 e	3.90 j	0.201 i
	90	21.93 a	56.91 a	3.47 m	0.190 k
1	0	9.11 m	20.23 ij	4.67 b	0.254 b
	30	12.42 i	20.40 hi	4.47 d	0.239 c
	60	15.88 e	29.95 f	3.99 i	0.208 g
	90	20.66 b	49.44 b	3.57 l	0.193 j
1.5	0	8.18 n	19.92 j	4.73 a	0.263 a
	30	12.21 k	20.45 hi	4.44 de	0.240 c
	60	15.63 f	29.86 f	4.10 h	0.213 f
	90	20.66 b	46.87 c	3.69 k	0.204 h
2	0	8.19 n	20.10 ij	4.60 c	0.256 b
	30	12.27 j	20.40 hi	4.41 e	0.236 d
	60	14.82 g	28.04 g	4.15 g	0.221 e
	90	19.30 c	40.37 d	3.72 k	0.211 f

* در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference based on DMRT at the 5% of probability level.

با بهبود ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه، غشای سلولی گیاهان را در برابر پراکسیداسیون لیپید حفظ می کند که به صورت کاهش در مقدار تجمع پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید ظاهر می یابد (Naeem et al., 2020). از طرف دیگر، طبق گزارش کوچ و همکاران (Koche et al., 2021) کاهش پراکسیداسیون لیپیدی در واکنش به تیمار اسید

در پژوهش حاضر، کاهش مقدار پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدی در گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک در نتیجه افزایش سنتز ترکیبات آنتی اکسیدانی (فنل کل، پیروات و آلیسین) و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) است. اسید سالیسیلیک

سالیسیلیک در ارتباط با کاهش انتقال و تجمع هورمون آبسزیک اسید در سلول های گیاهی تحت تنش می باشد.

اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر رنگیزه های فتوسنتزی گیاه موسیر تحت تنش شوری

میانگین مربعات اثر شوری و اسید سالیسیلیک و همچنین اثر متقابل آن ها برای مقدار رنگیزه های فتوسنتزی (کلروفیل کل و کاروتنوئیدها) در برگ گیاه موسیر معنی دار بود. مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای برگ ها با افزایش سطح شوری کاهش یافت و کمترین مقدار کلروفیل کل (۳/۴۷ میلی گرم در گرم وزن تر) و کاروتنوئیدها (۰/۱۹ میلی گرم در گرم وزن تر) در گیاهان رشد یافته تحت تنش شدید (۹۰ میلی مولار) ثبت شد. اگرچه تیمار اسید سالیسیلیک، مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را در گیاهان بدون تنش و تحت تنش شوری بهبود بخشید، اما افزایش رنگیزه های فتوسنتزی در واکنش به تیمار محلول پاشی در گیاهان تحت تنش بیشتر بود. گیاهانی که با دو میلی مولار اسید سالیسیلیک تحت تنش شدید تیمار شدند، به ترتیب ۷/۲۰ و ۱۱/۰۵ درصد محتوای کلروفیل و کاروتنوئید بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشتند (جدول ۳). کاهش مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در گیاهان تنش دیده به اکسیداسیون نوری رنگدانه ها و تجزیه کلروفیل در نتیجه تنش اکسیداتیو نسبت داده می شود (Desire & Arslan, 2021). آسیب فتوسیستم ها و تجزیه کلروفیل در نتیجه افزایش فعالیت کلروفیلاز در واکنش به تنش ناشی از شوری منجر به کاهش غلظت رنگیزه های فتوسنتزی می گردد (Negrao et al., 2017). تیمار اسید سالیسیلیک با بهبود سیستم دفاعی گیاه از طریق افزایش ترکیبات آنتی اکسیدانی (جدول ۱) و آنزیم های آنتی اکسیدانی (جدول ۲) از غشای سلولی تیلاکوئیدها در برابر پراکسیداسیون لیپیدها محافظت می کند (جدول ۳) و در نتیجه آسیب وارد شده به رنگدانه ها را کاهش می دهد (Alam et al., 2022).

اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر رشد گیاه موسیر تحت تنش شوری

تیمارهای شوری و اسید سالیسیلیک و همچنین اثرات متقابل آن ها به طور معنی داری صفات رشدی مورد ارزیابی (سطح برگ، وزن تر و خشک پیاز) در گیاه موسیر را تحت تأثیر قرار دادند. تعداد پیازهای جدید تشکیل شده در موسیر تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار نگرفت و در همه تیمارها در هر گیاه تنها یک پیاز تشکیل شده بود. افزایش شوری منجر به کاهش قابل توجه سطح برگ گیاه

موسیر گردید. سطح برگ در گیاهان رشد یافته در شرایط تنش شدید شوری، ۳۳/۵۸ درصد کمتر از گیاهان رشد یافته در شرایط بدون تنش بود. اگرچه تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر سطح برگ گیاهان بدون تنش معنی دار بود، اما اثر اسید سالیسیلیک به ویژه در غلظت دو میلی مولار در افزایش سطح برگ با افزایش شدت تنش بارزتر بود (جدول ۴). وزن تر و خشک پیاز موسیر با افزایش شدت شوری به طور معنی داری کاهش یافت، به طوری که کمترین وزن تر (۶۹/۸۳ گرم) و خشک (۱۸/۷۱ گرم) پیاز در گیاهان رشد یافته در شرایط ۹۰ میلی مولار حاصل شد. کاربرد اسید سالیسیلیک در بهبود زیست توده پیاز موسیر در هر دو شرایط غیرتنش و تنش شوری کارآمد بود و با افزایش شدت تنش، اثر تیمار محلول پاشی در بهبود وزن تر و خشک پیاز بارزتر گردید. محلول پاشی اسید سالیسیلیک توانست اثر منفی تنش را بر وزن تر و خشک پیاز موسیر را به ترتیب به میزان ۶/۴ و ۱۷/۵۳ درصد کاهش دهد (جدول ۴).

کاهش رشد موسیر تحت شوری ممکن است با کاهش فعالیت مریستم و افزایش طول سلول به دلیل تغییر در رابطه آب گیاه و فعال شدن برخی آنزیم های هیدرولیز دیواره سلولی همراه باشد که جذب آب و مواد مغذی در این شرایط کاهش می یابد (Hosseini et al., 2021). کاهش وزن تر و خشک پیاز موسیر در شرایط تنش شوری در ارتباط با کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش رنگیزه های فتوسنتزی است. در پژوهش حاضر، بهبود زیست توده پیاز موسیر در واکنش به محلول پاشی اسید سالیسیلیک به دلیل افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاهان تحت تنش بوده که منجر به کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و بهبود مقدار رنگیزه های فتوسنتزی می باشد. بهبود عملکرد گیاهان موسیر، سیر و پیاز در واکنش به تیمار اسید سالیسیلیک به ترتیب بیشتر توسط سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2023)، توسلی و همکاران (Tavasolee et al., 2024) و ساتیامورتی و همکاران (Sathiyamurthy et al., 2017) گزارش شده است. افزایش رشد در گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک به تغییرات در غلظت هورمون های گیاهی به ویژه اکسین ها و سیتوکینین ها (مهم ترین هورمون های محرک رشد گیاه) نسبت داده شده است (Shirzadi & Bideshki, 2018). باین وجود، واکنش های رشدی گیاهان به اسید سالیسیلیک بسته به غلظت استفاده شده، گونه گیاهی و مرحله رشد در زمان تیمار متفاوت می باشد (Shama et al., 2016).

Table 4- The mean comparison of the effect salicylic acid on growth traits of *Allium hirtifolium* under different levels of salinity stress

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	تنش شوری Salinity stress (mM NaCl)	تعداد پیاز Bulb number (per plant)	سطح برگ Leaf area (cm ² . plant ⁻¹)	وزن تر پیاز موسیر Bulb fresh weight (g . plant ⁻¹)	وزن خشک پیاز موسیر Bulb dry weight (g . plant ⁻¹)
0	0	1	498.33 b*	90.25 cd	32.06 c
	30	1	449.00 d	89.92 d	29.20 d
	60	1	408.00 f	77.38 g	21.43 g
	90	1	331.00 i	69.83 i	18.71 h
1	0	1	503.33 b	94.02 ab	35.50 ab
	30	1	443.00 d	92.43 bc	31.25 c
	60	1	409.00 f	77.16 g	23.28 f
	90	1	335.33 i	70.53 i	19.91 gh
1.5	0	1	520.00 a	95.61 a	36.87 a
	30	1	454.66 d	94.20 ab	34.60 b
	60	1	426.66 e	79.66 f	24.99 ef
	90	1	348.66 h	73.43 h	21.24 g
2	0	1	515.66 a	93.36 ab	35.74 ab
	30	1	474.33 c	93.61 ab	34.20 b
	60	1	443.33 d	81.92 e	26.51 e
	90	1	383.00 g	75.16 gh	23.79 f

* در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Values followed by the same letter in each trait have no significant difference based on DMRT at the 5% of probability level.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که رشد و زیست توده پیاز موسیر تحت تأثیر تنش ملایم شوری (۳۰ میلی مولار) قرار نگیرد، ولی افزایش شدت تنش تأثیر منفی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و رشد گیاه موسیر داشت و تنش در سطوح متوسط و شدید به طور قابل توجهی وزن تر و خشک پیاز موسیر را کاهش داد. نتایج نشان داد که محلول پاشی با اسید سالیسیلیک می تواند به عنوان یک ترکیب بیوشیمیایی کارآمد برای افزایش تحمل به شوری گیاه موسیر استفاده شود. بیشترین تأثیر قابل توجه اسید سالیسیلیک بر شاخص های رشدی، فیزیولوژیکی و

فیتوشیمیایی گیاه موسیر در شرایط تنش متوسط و شدید مشاهده شد. تقویت سیستم آنتی اکسیدانی از طریق افزایش فنل کل، ترکیبات گوگردی و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی در پاسخ به تیمار اسید سالیسیلیک باعث افزایش بهبود فعالیت فتوسنتزی و زیست توده پیاز گیاه موسیر در سطوح مختلف تنش شوری گردید. بنابراین در شرایط شوری، محلول پاشی گیاه موسیر با اسید سالیسیلیک در غلظت دو میلی مولار می تواند علاوه بر حفظ زیست توده پیاز موسیر تحت تنش منجر به افزایش مقدار آلبسین و در نتیجه بهبود خواص آنتی اکسیدانی پیاز تولید شده شود.

References

- Aebi, H. (1983). Catalase. In: H. Bergmeyer (ed). Methods of Enzymatic Analysis. Verlag Chemie, Weinheim, Germany, 3, 273-277.
- Alam, P., Balawi, T. A., & Faizan, M. (2022). Salicylic acid's impact on growth, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity of *Triticum aestivum* when exposed to salt. *Molecules*, 23, 28(1), 100. <https://doi.org/10.3390/molecules28010100>
- Ali, B. (2021). Salicylic acid: An efficient elicitor of secondary metabolite production in plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 31, 101884. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101884>
- Anthon, G. E., & Barrett, D. M. (2003). Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1210-1213. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1525>
- Bates, L. E., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Chemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. In: S. P. Colowick & N. O. Kaplan (eds). Methods in Enzymology. Academic Press, New York, 2, 764-775.

8. Davey, M. W. E., Stals, B., Panis, J., & Keulemans, R. L. (2005). High throughput determination of malon dialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*, 347, 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2005.09.041>
9. Desire, M., & Arslan, H. (2021). The effect of salicylic acid on photosynthetic characteristics, growth attributes, and some antioxidant enzymes on parsley (*Petroselinum crispum* L.) under salinity stress. *Gesunde Pflanzen*, 73, 435-444. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00565-3>
10. Farhadi, N., & Alizadeh Salteh, S. (2017). The Effect of forchlorfenuron on bulblet formation, antioxidant characteristics and phytochemicals compounds of Persian shallot (*Allium hirtifolium*). *Journal of Horticultural Science*, 31(3), 565-576. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v31i3.56997>
11. Giannopolitis, C., & Ries, S. (1977). Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59, 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
12. Grieve, C. M., & Grattan, S. R. (1983). Rapid assay for the determination of water-soluble quaternary ammonium compounds. *Plant Soil*, 70, 303-307. <https://doi.org/10.1007/BF02374789>
13. Hossaini, Z. (1994). Common Methods in Food Analysis. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. No. 261, 210 pp. (In Persian)
14. Hosseini, Z., Zare-Bavani, M., & Zare, A. (2021). Investigation of some biochemical responses to salt stress in edible onion (*Allium cepa* L.) cultivars. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(2), 101-118. (In Persian). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2021.118177.1160>
15. Koche, D., Gandhi, R., Rathod, S., & Shirsat, R. (2021). An update on role of salicylic acid (SA) in abiotic stress tolerance in crop plants: A review. *Agricultural and Biological Research*, 37, 216-225.
16. Kumar, S., Abass Ahanger, M., Alshaya, H., Latief Jan, B., & Yerramilli, V. (2022). Salicylic acid mitigates salt induced toxicity through the modifications of biochemical attributes and some key antioxidants in *Capsicum annum*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1337-1347. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.028>
17. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
18. Miron, T., Shin, I., Feigenblat, G., Weiner, L., Mirelman, D., Wilchek, M., & Rabinkov, A. (2002). A spectrophotometric assay for alliin, alliinase (alliin lyase) with a chromogenic thiol: Reaction of 4-mercaptopyridine with thiosulfinates. *Analytical Biochemistry*, 307, 76-83. [https://doi.org/10.1016/S0003-2697\(02\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0003-2697(02)00010-6)
19. Mugwanya, M., Kimera, F., Abdelnaser, A., & Sewilam, H. (2023). Coping with water stress: Ameliorative effects of combined treatments of salicylic acid and glycine betaine on the biometric traits and water-use efficiency of onion (*Allium cepa*) cultivated under deficit drip irrigation. *Biomolecules*, 9, 13(11), 1634. <https://doi.org/10.3390/biom13111634>
20. Naeem, M., Basit, A., & Ahmad, I. (2020). Effect of salicylic acid and salinity stress on the performance of tomato plants. *Gesunde Pflanzen*, 72, 393-402. <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00521-7>
21. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867-280. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
22. Negrao, S., Schmockel, S., & Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119, 1-11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>
23. Panahandeh, J., Farhadi, N., Motallebi Azar, A., & Alizadeh Salteh, S. (2016). Evaluation of persian shallot (*Allium hirtifolium*) ecotypes for phytochemical components and antioxidant activity. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 2, 217-226. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2016.109399>
24. Saeidi, R., Zarrabi, M. M., & Babaei, D. (2023). Effect of salicylic acid spraying on shallot yield under salinity stress conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 37, 269-284. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/jwra.2023.363044.1002>
25. Sathiyamurthy, V. A., Saraswathi, T., Tamilselvi, N. A., Sobha Thingalmanian, K., Beaulah, A., Rohini, N., & Arumugam, T. (2017). Effect of salicylic acid on growth, yield and storage quality of onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4, 78-86.
26. Shama, M., Moussa, S., & Abo El Fadel, N. (2016). Salicylic acid efficacy on resistance of garlic plants (*Allium sativum*, L.) to water salinity stress on growth, yield and its quality. *Alexandria Science Exchange Journal*, 37, 165-174.
27. Shams, M., & Khadivi, A. (2023). Mechanisms of salinity tolerance and their possible application in the breeding of vegetables. *BMC Plant Biology*, 14, 23(1), 139. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04152-8>
28. Shanshan, C., Chun-Bo, Z., Rui-Min, R., & Jun-Hai, J. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1141918. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141918>

29. Shirzadi, M. H., & Bideshki, A. (2018). The effect of salicylic acid and methyl jasmonate on growth parameters and bulb yield of field – grown onion under drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 8, 47-60. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/JCPP.8.2.47>
30. Singh, P., Choudhary, K. K., Chaudhary, N., Gupta, S., Sahu, M., Tejaswini, B., & Sarkar, S. (2022). Salt stress resilience in plants mediated through osmolyte accumulation and its crosstalk mechanism with phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1006617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1006617>
31. 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. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
32. Skrypnik, L., Golovin, A., & Savina, T. (2022). Effect of salicylic acid on phenolic compounds, antioxidant and antihyperglycemic activity of Lamiaceae plants grown in a temperate climate. *Frontiers in Bioscience*, 14(1), 3. <https://doi.org/10.31083/j.fbe1401003>
33. Solouki, A., Berna-Sicilia, J. Á., Martínez-Alonso, A., Ortiz-Delvaso, N., Bárzana, G., & Carvajal, M. (2023). Onion plants (*Allium cepa* L.) react differently to salinity levels according to the regulation of aquaporins. *Heliyon*, 17, 9(3), e13815. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13815>
34. Tavasolee, A., Ghassemi, S., Ghassemi-Golezani, K., Farhangi-Abriz, S., Bybordi, A., & Khosravi, H. (2024). The effects of plant growth-promoting bacteria, foliar sprays of salicylic acid and silicon on growth parameters of garlic under salt stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(1), 83-96. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.366374.669603>
35. Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant system in acid rain treated bean plants: Protective role of exogenous poly amines. *Plant Science*, 151, 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
36. Yang, H., Fang, R., Luo, L., Yang, W., Huang, Q., Yang, C., Hui, W., Gong, W., & Wang, J. (2023). Uncovering the mechanisms of salicylic acid-mediated abiotic stress tolerance in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1226041. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1226041>
37. Yousefvand, P., Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., & Mastinu, A. (2022). Salicylic acid stimulates defense systems in *Allium hirtifolium* grown under water deficit stress. *Molecules*, 11(10), 3083. <https://doi.org/10.3390/molecules27103083>
38. Yousefvand, P., Sohrabi, Y., Mastinu, A., Heidari, G., & Weisany, W. (2025). Optimizing growth, yield, and water use efficiency of *Allium hirtifolium* with salicylic acid under water stress conditions. *Heliyon*, 11, e41550. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41550>
39. Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 4609. <https://doi.org/10.3390/ijms22094609>

Improving the Growth and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Cv. 240) under the Cover of Supplementary Light and Dissolved Phosphorus and Calcium

L. Ajdanian¹, H. Arouei^{1*}, M. Azizi¹

1- Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: aroeie@um.ac.ir)

Received: 06 January 2021

Revised: 15 April 2021

Accepted: 05 February 2022

Available Online: 05 February 2022

How to cite this article:

Ajdanian, L., Arouei, H., & Azizi, M. (2026). Improving the growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Cv. 240) under the cover of supplementary light and dissolve phosphorus and calcium. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 251-262. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60433.0>

Introduction

As an artificial light source, LED bulbs can help to grow better and faster greenhouse products. Meanwhile, blue and red light are important for plant growth. The quality of light in terms of color and wavelength can affect the morphological structure of the plants. Therefore, the use of additional lights in winter, when light exposure is less than normal, can improve plant growth and flowering. It is also advisable to change the quality of light by using artificial light sources in controlled environments such as greenhouses in order to change the quantity and quality of agricultural products, especially fruits.

Materials and Methods

In this research, the effect of complementary light and nutrition (commercial Calfomyth solution containing high calcium phosphorus and calcium elements along with micronutrient elements) as a pot experiment under non-soil culture conditions in the greenhouse, in the form of split-based plots experiment A completely randomized design with 3 light treatments including: natural light (control), 60% red light + 40% light blue and 90% red light + 10% blue light, and 2 nutritional treatments including: non-spraying with commercial fertilizer, Calfomyth and spraying A concentration of 2,000 in 3 replicates was established and implemented. The traits that were studied in this experiment are: 1- leaf number (count of leaves), 2- plant height by meter, with accuracy 0.01 m, 3- diameter with caliber with accuracy 0.01 mm, 4- Number of flowers (counting), 5- Time of flowering until the product reaches (counting the number of days), 6- Performance: Whole and red ripe fruits were planted and weighed separately from the total fruit weight Per plant was obtained in grams per plant. Statistical analysis was performed using JMP8 software and comparison of means was done using LSD test at 1% and 5% probability levels.

Results and Discussion

The results showed that the application of additional light on fruit yield, stem diameter and plant height, yield time and leaf number ($p \leq 0.05$) were significant. Spraying with Calfomyth could have a significant effect on stem diameter and number of leaves. In the traits such as fruit yield, number of flowers and leaves, the interaction effect of feeding and supplementary light was also significant. The highest elevation was observed for 60% red + 40% blue (25.38 m) and the lowest for light control treatment (20.72 m). Also, the shortest arrival time was 90% red + 10% water treatment in 29 days and the maximum time to reach the product was 45 days. The highest number of leaves belonged to 60% red + 40% blue treatment, as well as spraying with Calfomyth (118), the highest number of flowers (50) was related to 90% red + 10% blue and Calfomyth treatment, and the smallest



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60433.0>

number (15) was related to control treatment. Also, the highest yield (3553 g of fruit per plant) was obtained in Calfomyth treatment with 90% red + 10% blue treatment and the lowest yield (434 g fruit per plant) The control was light and non-foliar treatment. Although light is an important source of photosynthesis, photosynthesis can also be related to a series of optical regulators and optical sensors. Blue and red light cause different optical sensors and expression of genes, each of which can have a positive or negative effect on plant growth and development. Therefore, it can be concluded that the presence of both wavelengths (blue and red) is necessary for conducting, and for this reason, more research is now focused on achieving an appropriate optical composition.

Conclusion

In this research, all of the morphological traits examined in the tomato (*Lycopersicon esculentum*) plant were subjected to additional exposure by LED bulbs, each of which had a special effect on their receptors in the plant. Maximize growth and yield in the plant. As expected, blue light on vegetative traits and red light were more effective on reproductive traits. It can be said that the existence of both wavelengths (blue and red) is essential for the better and complete growth of the plant. In addition to the positive effect of wavelengths, the positive effect of leaf spraying can also be observed, which, along with the neodymium, could improve growth. The results of this study showed that the performance and growth under the cover of LED light (red and blue combination) were superior to natural conditions. Therefore, it could be suggested that the use of these lamps, as well as spraying with Calfomyth commercial fertilizer, could be feasible for better production in controlled conditions (greenhouse). It seems that application of complementary lights with proper nutrition can improve the performance and growth of tomato plants in greenhouse conditions.

Keywords: Calcium, Calfomyth, LED bulbs, Wavelengths

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص. ۲۶۲-۲۵۱

بهبود رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم ۲۴۰ (*Lycopersicon esculentum* cv. 240) تحت

پوشش نور تکمیلی و محلول‌پاشی فسفر و کلسیم

لادن آزدانیان^۱ - حسین آروئی^{۱*} - مجید عزیزی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

به‌عنوان یک منبع نور مصنوعی، لامپ‌های LED می‌توانند به رشد بهتر و سریع‌تر محصولات گلخانه‌ای کمک شایانی کنند. در این بین، نور آبی و قرمز برای رشد گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. در این تحقیق، اثر متقابل نور تکمیلی و تغذیه‌به‌صورت یک آزمایش گلدانی تحت شرایط کشت بدون خاک در گلخانه بر روی گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' (*Lycopersicon esculentum* cv. 240)، در قالب آزمایش کرت‌های خردشده برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار نوری شامل نور طبیعی (شاهد)، ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی و ۹۰ درصد نور قرمز + ۱۰ درصد نور آبی و دو تیمار تغذیه شامل عدم محلول‌پاشی با کود تجاری کالفومیت (محلول تجاری کالفومیت حاوی عناصر فسفر و کلسیم در غلظت بالا به همراه عناصر ریزمغذی) و محلول‌پاشی با غلظت دو در هزار در سه تکرار پایه‌ریزی و اجرا شد. نتایج بدست‌آمده نشان داد که کاربرد نور تکمیلی بر عملکرد میوه، قطر ساقه و ارتفاع بوته، مدت زمان رسیدن محصول و تعداد برگ ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی (۲۵/۳۸ متر) و کمترین آن در تیمار نوری شاهد (۲۰/۷۲ متر) مشاهده شد. همچنین کوتاه‌ترین زمان رسیدن مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی در مدت ۲۹ روز و بیشترین زمان صرف‌شده تا رسیدن محصول مربوط به شاهد در ۴۵ روز بود. محلول‌پاشی با کالفومیت توانست بر قطر ساقه و تعداد برگ اثر معنی‌داری بگذارد. در صفاتی مانند عملکرد میوه، تعداد گل و برگ اثر متقابل تغذیه و نور تکمیلی نیز معنی‌دار بود. بیشترین تعداد برگ مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی و همچنین محلول‌پاشی با کالفومیت (۱۱۸ عدد) بود. همچنین بیشترین تعداد گل (۵۰ عدد) مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی و کالفومیت و کمترین تعداد گل (۱۵ عدد) مربوط به تیمار شاهد بود. از لحاظ عملکردی، بیشترین عملکرد (۳۵۵۳ گرم میوه در بوته) در تیمار محلول‌پاشی‌شده با کالفومیت به همراه تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی حاصل شد و کمترین آن (۴۳۴ گرم میوه در بوته) مربوط به تیمار نوری شاهد و عدم محلول‌پاشی بود. به نظر می‌رسد که کاربرد نورهای تکمیلی به همراه تغذیه مناسب می‌تواند عملکرد و رشد و توسعه گیاه گوجه‌فرنگی را در شرایط گلخانه بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: طول موج، کالفومیت، کلسیم، لامپ‌های LED

مقدمه

داشتن مقادیر بالایی آنتی‌اکسیدان، ویتامین‌ها و ترکیبات فنولیکی در جهان به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده می‌باشد (Giovannelli, 1999). گوجه‌فرنگی از لحاظ میزان سطح زیرکشت و تولید در کشور، جایگاه دوم را دارد (Baneh & Taheri, 2009). اگرچه نور یک منبع مهم برای فتوسنتز محسوب می‌گردد، اما فتوسنتز می‌تواند وابسته به یکسری تنظیم‌کننده‌های نوری و حسگرهای نوری نیز باشد. نور آبی و قرمز باعث به کار انداختن حسگرهای نوری متفاوت و بیان ژن‌هایی می‌شوند که هرکدام از آن‌ها می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر رشد و توسعه گیاه بگذارد (O'Carrigan et al., 2014). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که وجود هر دو طول موج (آبی و قرمز) برای گیاه ضروری می‌باشد و به همین علت، در حال حاضر بیشتر تحقیقات بر

در میان سبزی‌های گلخانه‌ای، گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) به‌منظور مصرف تازه‌خوری، مهم‌ترین کشت گلخانه‌ای در بسیاری از کشورهای اروپایی بوده (Taragola & Lierde, 1998) و مصرف سرانه آن در برخی کشورها به ۴۰ کیلوگرم در سال می‌رسد (Atherton & Rudich, 1986). همچنین گوجه‌فرنگی به علت

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

(*)- نویسنده مسئول: (Email: aroiee@um.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60433.0>)

نشان داد که سرعت رشد، گل‌دهی و میوه‌دهی در گیاهی که تحت پوشش نور مصنوعی آبی و قرمز بود، بسیار بیشتر از گروه شاهد بود. آن‌ها اظهار داشتند که نیاز گیاهان به طول موج‌های مختلف، متفاوت است. اما در بین طول موج‌ها، قرمز و آبی بیشترین نیاز گیاه را برطرف می‌کنند. نور آبی باعث افزایش رشد رویشی گیاه، ساقه و برگ‌ها می‌شود، اما نور قرمز باعث افزایش رشد زایشی، گل‌دهی و میوه‌دهی خواهد شد. تحقیقات بسیار زیادی در رابطه با نقش مهم فسفر در گیاهان و اثرات منفی بر رشد و فتوسنتز آن‌ها در صورت مواجهه با کمبود فسفر انجام گرفته است (Lefsrud et al., 2008; Turnbull et al., 2014; Zhang et al., 2007). فسفر یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بعد از نیتروژن است. اگرچه میزان فسفر مورد نیاز گیاه در مقایسه با مقدار سایر عناصر اصلی کم است، با این حال این عنصر جزء عناصر پُرنیاز محسوب می‌شود. این عنصر در تمام فرآیندهای بیوشیمیایی، در ترکیبات انرژی‌زا و سازوکارهای انتقال انرژی دخالت دارد. علاوه بر این فسفر جزئی از پروتئین سلول بوده و نقش ویژه‌ای به عنوان جزئی از هسته پروتئین سلول، غشاء سلولی و نوکلئوتیدها (DNA و RNA) که مسئول فرآیندهای تکثیر و رشد هستند، ایفا می‌کند. علاوه بر این فسفر از اجزای بسیاری از ترکیبات سلولی است و نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای کلیدی شامل فتوسنتز، تنفس، نگهداری و انتقال انرژی، تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول بازی می‌کند. فسفر کافی برای تشکیل و رشد ریشه‌های اولیه مورد نیاز است. همچنین فسفر، کیفیت محصولات را بهبود می‌دهد و برای تشکیل دانه لازم است (Mullins, 2009). برای گیاهان، دو عنصر فسفر و بور جزء مواد غذایی ضروری بوده و گزارش‌ها نشان‌دهنده تعامل بین این دو ماده و اهمیت آن‌ها برای رشد در بسیاری از گیاهان زراعی می‌باشد (Gunes & Alpaslan, 2000). افزایش میزان فسفر باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) شد و همچنین جذب فسفر توسط اندام هوایی افزایش یافت (Marschner et al., 2007). علاوه بر این کاربرد میزان بالایی از فسفر با افزایش عملکرد اسفناج و همچنین زودرسی محصول همراه بوده است (Okamoto et al., 1996). کلسیم یک عنصر مهم است که در سه درصد از پوسته زمین یافت می‌شود. کلسیم برای تولید محصولات کشاورزی از جمله محصولات باغبانی مثل گیاهان گلدار مفید می‌باشد. کلسیم در فعالیت‌های مختلف گیاه درگیر می‌شود (Robichaux, 2008) و سهم مهمی در استحکام ساختاری دیواره‌های سلولی گیاه دارد و به خوبی یک تنظیم‌کننده بسیار مهم رشدونمو در گیاهان می‌باشد. کلسیم نقش حیاتی در تشکیل دیواره سلولی و قابلیت انعطاف‌پذیری آن را دارد. این عنصر یک بخش مهم دیواره سلولی می‌باشد که

روی رسیدن به یک ترکیب نوری مناسب متمرکز شده است (Massa et al., 2008). اوکاموتو و همکاران (Okamoto et al., 1996) گزارش کردند که وجود نور آبی و قرمز با هم برای فتوسنتز ضروری و لازم می‌باشد، به طوری که کلروفیل هر دو این طول موج را جذب می‌کند، همچنین اظهار داشتند که وجود نور آبی برای ریخت‌شناسی و سلامت کلی گیاه لازم و مفید می‌باشد. کیفیت نور از نظر رنگ و طول موج می‌تواند ساختار ریخت‌شناختی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Li et al., 2013). نسبت نور آبی به قرمز در هنگام استفاده از لامپ‌های LED بسیار حائز اهمیت می‌باشد، چرا که با داشتن هر دو طول موج می‌توان رشد گیاه و تولید میوه را تا بیش از ۲۰ درصد نسبت به زمانی که از هر طول موج به تنهایی استفاده شود، افزایش داد (Brown et al., 1995; Goto, 2003; Lefsrud et al., 2008; XiaoYing et al., 2011; Yorio et al., 1998). بنابراین استفاده از نورهای تکمیلی در فصل زمستان، زمانی که تابش نور کمتر از حد معمول است می‌تواند باعث بهبود رشد و گل‌دهی گیاه شود (Hertogh, 1989; Miller & Langhans, 1989). همچنین تغییر کیفیت نور به صورت استفاده از منابع نور مصنوعی در محیط‌های کنترل‌شده مانند گلخانه‌ها جهت تغییر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، به خصوص سبزی‌هایی که میوه دارند، امروزه در جهان قابل توصیه است (Li et al., 2013). گوجه‌فرنگی از لحاظ نیاز نوری جزء گیاهان پرتوقع محسوب می‌شود، بنابراین کمبود نور به خصوص در ماه‌های زمستان باعث کاهش رشد و نمو شده و تشکیل گل و میوه را مختل می‌نماید. در سال‌های اخیر، لامپ‌های LED به عنوان منابع جدید نور برای تولید گیاه در محیط‌های کنترل‌شده و همچنین جهت بررسی تغییرات گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. از نظر فیزیولوژیکی، محققان معتقدند که عملکرد فوتونی نور قرمز و آبی به تنهایی برای رشد گیاهان کافی است (Kim et al., 2004). به عبارت دیگر، در صورتی که گیاه تنها در یکی از محیط‌های خالص نور قرمز یا آبی و نه هر دو قرار گیرد، امکان رشد کامل گیاه فراهم می‌شود. البته برخی هم اعتقاد دارند که در صورت استفاده از نور قرمز، درصد کمی نور آبی حتی ۱۰ درصد برای رشد کامل گیاه لازم است (Massa et al., 2008; Yorio et al., 2001). کاربرد نور تکمیلی سبب افزایش میزان رشد رویشی، وزن تر، وزن خشک و کیفیت کاهو (*Lactuca sativa* L.) شده است (Gaudreau, 1994). در رابطه با گوجه‌فرنگی، استفاده از نورهای تکمیلی سبب افزایش تعداد میوه در بوته و در نتیجه عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی شد (Dorais et al., 1991; Giacomelli, 1987). ژو و همکاران (Xu et al., 2016) نشان دادند که نتایج مقایسه دو گروه گوجه‌فرنگی، که یکی از آن‌ها با سیستم نوری LED و دیگری بدون سیستم نوری تیمار شده بود،

جهت تغذیه از محلول غذایی هوکاموس (Hochmuth & Hochmuth, 1990) (جدول ۲) استفاده شد. درصد عناصر غذایی با توجه به مراحل رشدی در این محلول غذایی تغییر می‌کرد و توسط پمپ و سیستم آبیاری قطره‌ای در اختیار گیاهان قرار داده شد. بعد از انتقال گیاهچه و ۲۰ روز پس از استقرار آن‌ها، محلول‌پاشی با کالفومیت هر ۱۴ روز یک بار صورت گرفت، همچنین جهت اعمال تیمارهای نوری در ابتدای انتقال گیاهچه در هر واحد آزمایشی، مجموعه‌ای از لامپ‌های LED با شدت نور ۵۰۰۰ لوکس در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از سطح گیاه با طول موج‌های آبی و قرمز استفاده شد (فاصله لامپ‌ها از گیاه به وسیله گیره‌های فلزی در مراحل مختلف رشدی گیاه قابل تنظیم بود). در واحد آزمایشی شاهد، لامپ‌های LED زرد و سفید (آفتابی) مورد استفاده قرار گرفتند. مدت روشنایی لامپ‌ها جهت افزایش طول دوره روشنایی از زمان غروب به مدت چهار ساعت (از ۶ عصر تا ۱۰ شب) برای تمام واحدها به‌طور یکسان توسط یک تایمر اعمال گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار JMP8 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد. صفاتی که در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند، عبارتند از تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد گل، زمان گل‌دهی تا رسیدن محصول، عملکرد بود.

نتایج و بحث

تعداد برگ

استفاده از نورهای تکمیلی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر به‌کارگیری محلول کالفومیت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل این دو عامل نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۳)، بیشترین تعداد برگ مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی و همچنین محلول‌پاشی با کالفومیت (۱۱۸ عدد) بود و کمترین تعداد برگ در تیمار نوری شاهد و عدم محلول‌پاشی کالفومیت (۳۶ عدد) مشاهده شد. پژوهشگران معتقدند که نور آبی در طیف گسترده‌ای از فرآیندهای گیاهی مانند عملکرد فتوسنتزی برگ‌ها و ساختارهای ریخت‌شناختی گیاه دخیل می‌باشد که می‌تواند باعث افزایش تعداد برگ در طیف وسیعی از گیاهان شود (Brown et al., 1995; Hogewoning et al., 2010; Matsuda et al., 2004, 2008; Bukhov et al., 1995).

به‌واسطه برقراری ارتباطات ساختاری درون ماتریکس پکتینی موجب استحکام در ساختار این دیواره می‌شود (Li et al., 2012). علت اصلی بروز بیماری‌های فیزیولوژیک در درختان میوه و سبزیجات میوه‌ای، کمبود کلسیم در میوه‌ها بوده که محلول‌پاشی برگی کلسیم در اصلاح کمبود کلسیم مؤثر است (Royers et al., 2004). بیشترین نوع کمبود کلسیم در میوه‌ها و سبزی‌ها، به‌صورت اختلال در بافت‌ها ذخیره‌ای در طول رشد یا در حین انبارمانی مانند پوسیدگی گلگاه در گوجه‌فرنگی و لکه تلخ در سیب بروز می‌کند که این عوارض با محلول‌پاشی کلسیم کاهش می‌یابند (Cooke, 1982). به‌کارگیری کلسیم سبب افزایش تعداد گل و میوه در بوته توت‌فرنگی شد که در نهایت افزایش عملکرد را به دنبال داشت (Mass, 1984). در رابطه با تأثیر کاربرد کلسیم گزارش شده است که این کاربرد می‌تواند وزن تک میوه و عملکرد را در گوجه‌فرنگی افزایش دهد (Dong et al., 2005). بر این اساس، با توجه به اهمیت عناصری مثل کلسیم و فسفر و همچنین نقش مهم ریزمغذی‌ها در رشد و توسعه گیاه با استفاده از کود تجاری کالفومیت و نور تکمیلی، تحقیق حاضر با هدف بررسی و تعیین بهترین شرایط برای رشدونمو گوجه‌فرنگی پایه‌ریزی گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کلسیم و فسفر به همراه نور تکمیلی، تحقیق حاضر به‌صورت یک آزمایش گلدانی تحت شرایط کشت بدون خاک در گلخانه، در قالب آزمایش کرت‌های خردشده برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار نوری شامل نور طبیعی (شاهد)، ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی و ۹۰ درصد نور قرمز + ۱۰ درصد نور آبی و دو تیمار تغذیه شامل عدم محلول‌پاشی با کود تجاری کالفومیت (مخلوطی از کلسیم و فسفر به همراه سایر ریزمغذی‌ها)، (جدول ۱) و محلول‌پاشی با غلظت دو در هزار با سه تکرار در محل گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا و میانگین دمای شبانه‌روز ۱۵-۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰-۴۰ درصد در دی ماه سال ۱۳۹۵ پایه‌ریزی و اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل ۱۸ گلدان بود، و در مجموع ۵۴ گلدان وجود داشت. در هر گلدان، یک عدد نشاء گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' کاشته شد. گلدان‌های مورد استفاده از نوع پلاستیکی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر بودند. بستر کشت گیاه، مخلوطی شامل ۴۰ درصد پیت ماس به همراه ۴۰ درصد کوکوپیت و حدود ۲۰ درصد پرلایت بود.

جدول ۱- ترکیبات محلول غذایی کالفومیت

Table 1- Composition of Calfomith nutrient solution

ترکیبات Composition	مقادیر Values
نیترژن کل (N) Total nitrogen (N)	3% w/w equivalent to 4.2% W/V at 20 °C
نیترژن نیتراتی (N) Nitric nitrogen (N)	1.7% w/w equivalent to 2.38% W/V at 20 °C
نیترژن اورهای (N) Ureic nitrogen (N)	1.3% w/w equivalent to 1.82% W/V at 20 °C
پنتاکسید فسفر (P ₂ O ₅) محلول در آب Phosphorus pentoxide (P ₂ O ₅) soluble in water	23% w/w equivalent to 32.2% W/V at 20 °C
اکسید کلسیم (CaO) محلول در آب Calcium oxide (CaO) soluble in water	5% w/w equivalent to 7% W/V at 20 °C
ترکیبات Composition	مقادیر Values
بور (B) محلول در آب Boron (B) soluble in water	0.1% w/w equivalent to 0.14% W/V at 20 °C
بور (B) محلول در آب Boron (B) soluble in water	0.1% w/w equivalent to 0.14% W/V at 20 °C

جدول ۲- محلول غذایی مورد استفاده در مراحل رشدی مختلف گیاه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Table 2- The nutritional solution used in different growth stages of the tomato cv. Hybrid 240

عنصر غذایی (ppm) Nutrition (ppm)	انتقال نشا تا خوشه اول Transplant to first cluster	خوشه اول تا خوشه دوم First cluster to second cluster	خوشه دوم تا خوشه سوم Second cluster to third cluster	خوشه سوم تا خوشه پنجم Third cluster to fifth cluster	خوشه پنجم تا پایان دوره رشد Fifth cluster to termination
نیترژن (N)	70	80	100	120	150
فسفر (P)	50	50	50	50	50
پتاسیم (K)	120	120	150	150	200
کلسیم (Ca)	150	150	150	150	150
منیزیم (Mg)	40	40	40	50	50
گوگرد (S)	50	50	50	60	60
آهن (Fe)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
مس (Cu)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
منگنز (Mn)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
روی (Zn)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
بور (B)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
مولیبدن (Mo)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
هدایت الکتریکی Ec (dS.m-1)	0.7	0.9	1.3	1.5	1.5

تحقیق حاضر نیز مطابقت داشت. میزان غلظت فسفر، میزان فتوسنتز برگ را از طریق آنتی پورتهی که خروج تریوز فسفات را از استروما به سیتوسل آسان می‌کند تحت تأثیر قرار می‌دهد که این عامل سبب افزایش میزان رشد خواهد شد (Wissuwa et al., 2005). در شرایط محیطی متفاوت، افزایش میزان فسفر در اغلب موارد منجر به افزایش

داچر و باگی (Dougher & Bugbee, 1998) اعلام کردند که تعداد و میزان کلروفیل برگ‌های کاهو و همان نسبت تعداد برگ تحت پوشش نور آبی افزایش داشته است. همچنین ضخامت برگ و تعداد آن در گیاه فلفل (*Capsicum annum* L.) نیز در زیر نور آبی افزایش یافت (Schuerger et al., 1997) که این نتایج با نتایج

دستخوش تغییر خواهند شد و افزایش می‌یابند که خود منجر به افزایش رشد خواهد شد. از دلایل این امر می‌توان به افزایش رشد ریشه‌ها و هدایت هیدرولیکی آن‌ها (Singh et al., 2006)، آبدار شدن برگ‌ها و افزایش هدایت روزنه‌ای در آن‌ها (Radin, 1984) و در نهایت قطور شدن ساقه‌ها و بهبود و تسریع در انتقال مواد شیره پرورده اشاره نمود.

تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده نور تکمیلی و تغذیه بر تعداد گل معنی‌دار نبود، اما اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. به‌طوری‌که بیشترین تعداد گل (۵۰ عدد) مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی و محلول‌پاشی کالقومیت بود و کمترین تعداد (۱۵ عدد) مربوط به شاهد است (شکل ۲). دریم و همکاران (Deram et al., 2014) اظهار داشتند که نور قرمز باعث افزایش گل‌دهی در گوجه‌فرنگی خواهد شد، زیرا نور قرمز بر زمان گل‌دهی و تحریک گل‌دهی در بوته‌ها تأثیرگذار می‌باشد (Xiaoying et al., 2012).

مدت زمان گل‌دهی تا رسیدن محصول

استفاده از نور تکمیلی توانست در سطح احتمال یک درصد بر مدت زمان رسیدن محصول از زمان گل‌دهی تا رسیدگی کامل اثر معنی‌دار بگذارد (جدول ۳). کوتاه‌ترین زمان رسیدن مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی در مدت ۲۹ روز و بیشترین زمان صرف‌شده تا رسیدن محصول مربوط به شاهد در ۴۵ روز بود. به‌طور کلی طول موج‌های مختلف نوری توانستند در خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی و همچنین قابلیت گل‌دهی و فتوسنتز گیاهی اثرات گوناگونی بگذارند (Ménard et al., 2006). بنابراین با حساسیتی که فیتوکروم‌های گیاهی به نور قرمز دارند، می‌توان گل‌دهی را در آن‌ها تحریک یا متوقف نمود که هرچه سرعت گل‌دهی در گیاه افزایش یابد و اولین گل با گذشت زمان کمتری ظاهر شود، به همان میزان می‌توان مدت زمان کوتاه‌تری را تا رسیدن محصول طی کرد که با نتایج سایر محققان هم‌خوانی دارد (Deram et al., 2014; Xiaoying et al., 2012).

عملکرد میوه تازه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده (جدول ۳) نشان داد که کاربرد نور تکمیلی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد میوه اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل نور تکمیلی و تغذیه اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' داشت. با توجه به شکل ۱، بیشترین

سرعت توسعه برگ، اندازه سلول‌ها و تعداد واکوئل در هر سلول شده است. همچنین بیان شده است که تعداد برگ در گیاهانی که تحت تأثیر کمبود فسفر هستند نیز کاهش می‌یابد (Matar et al., 1992).

ارتفاع بوته

با توجه به بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد نورهای تکمیلی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی (۲۵/۳۸ درصد) و کمترین آن در تیمار نوری شاهد (۲۰/۷۲ درصد) مشاهده شد. در سطح کلروپلاست، نور آبی با بیان ویژگی‌هایی مانند نور خورشید، ظرفیت فتوسنتزی بالایی دارد (XiaoYing et al., 2011). در بررسی‌های صورت‌گرفته، فتوسنتز تحت تأثیر نور آبی افزایش می‌یابد که این نتیجه احتمالاً به این دلیل است که کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها به‌طور خاص به نور آبی حساس هستند و فیتوکروم‌ها به‌طور خاص به نور قرمز حساس هستند و این افزایش فتوسنتز باعث رشد رویشی بیشتر در گیاه خواهد شد. ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' در تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی افزایش داشت که این نتیجه با نتایج سایر محققان مطابقت نداشت، چرا که آن‌ها معتقدند که نور آبی یک بازدارنده رشد برای ساقه محسوب می‌شود (Dougher & Bugbee, 2001; Yorio et al., 1998). احتمالاً افزایش رشد ساقه در تیماری که نسبت نور آبی بیشتری داشته است، مربوط به کاهش طول میان‌گره و افزایش تعداد گره‌ها در ساقه بوده است که میزان جیبرلین را کاهش داده، اما میزان سایتوکینین را به‌عنوان یک هورمون محرک رشد افزایش داده است. همان‌طور که کارا و همکاران (۱۹۹۶) اظهار داشتند که با بالا رفتن میزان فتوسنتز در برگ‌های تیمار نور آبی، سایتوکینین‌ها فعال می‌شوند (Kara et al., 1997).

قطر ساقه

قطر ساقه نیز به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال پنج درصد) تحت تأثیر کاربرد نور تکمیلی و تغذیه با محلول کالقومیت قرار گرفت (جدول ۳). اما اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نشد. به‌طوری‌که بیشترین قطر ساقه در به‌کارگیری تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی به‌میزان ۱۴/۳۲ میلی‌متر حاصل گردید، همچنین بیشترین قطر ساقه (۱۳/۹۵ میلی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی با کالقومیت حاصل شد. گلوواتا (Geowacka, 2004) گزارشی منطبق بر نتایج این تحقیق داشت که قطر ساقه تحت پوشش نور آبی افزایش می‌یابد. نتایج محققان نشان می‌دهد که در شرایطی که میزان فسفر در اختیار گیاه مناسب باشد، علاوه‌بر افزایش عملکرد، تعداد و اندازه سلول‌ها

نوری در دستگاه فیتوکروم را دارد (Urbonavičiūtė et al., 2007). همچنین دریم و همکاران (Deram et al., 2014) گزارش‌هایی مبنی بر افزایش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' در تیمار نوری قرمز داشتند. فسفر با اثری که روی آسیمیلات‌های برگ می‌گذارد باعث افزایش فرآورده‌های فتوسنتزی و در نهایت میزان رشد و عملکرد خواهد شد. بر اساس گزارش‌های پاپادوپولوس (Papadopoulos, 2003)، به‌کارگیری کلسیم در محلول‌های غذایی می‌تواند بیشترین عملکرد و تعداد میوه را در بوته‌های گوجه‌فرنگی داشته باشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

عملکرد (۳۵۵۳ گرم میوه در بوته) در تیمار محلول‌پاشی‌شده با کالفومییت به همراه تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی حاصل شد. همچنین کمترین عملکرد (۴۳۴ گرم میوه در بوته) مربوط به تیمار نوری شاهد و عدم محلول‌پاشی بود. افزایش عملکرد تحت تأثیر نور قرمز می‌تواند نشان‌دهنده اثر این نور بر رنگدانه فیتوکروم باشد که باعث گل‌دهی در گیاه می‌شود. به‌طور کلی، گیاهان به شدت نور کم قرمز هم حساس می‌باشند، بنابراین با حساسیتی که فیتوکروم‌های گیاهی به نور قرمز دارند می‌توان گل‌دهی را در آن‌ها تحریک یا متوقف نمود. به همین علت در تمامی چراغ‌های مربوط به گل‌دهی از نور قرمز استفاده می‌شود، نور قرمز توانایی کنترل تغییرات

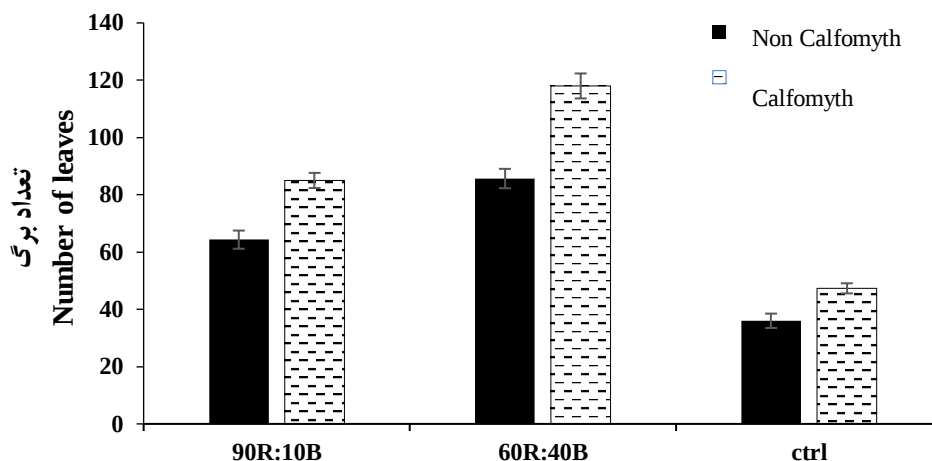
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نور تکمیلی و تغذیه بر عملکرد، کلروفیل کل، مدت زمان تا رسیدن محصول، قطر ساقه، ارتفاع بوته و تعداد برگ گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Table 3- Analysis of variance (ANOVA) of the effect of supplemental lighting and nutrition on yield, total chlorophyll, days to harvest, stem diameter, plant height, and leaf number of tomato cv. Hybrid 240

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد گل Flower number	مدت زمان تا رسیدن محصول Days to harvest	عملکرد میوه Fruit yield
خطای عامل اصلی Main plot error	6	34.83 ^{ns}	4.98 ^{ns}	0.71 ^{ns}	46.5 ^{ns}	2.33 ^{ns}	7163.0 ^{ns}
نور تکمیلی Supplemental lighting	2	5447.05 ^{**}	40.42 [*]	2.52 [*]	9.5 ^{ns}	402.88 ^{**}	8993785 [*]
تغذیه Nutrition	1	2069.38 ^{**}	0.12 ^{ns}	2.71 [*]	24.5 ^{ns}	0.88 ^{ns}	394586 [*]
نور تکمیلی × تغذیه Lighting × Nutrition	2	166.05 [*]	4.44 ^{ns}	0.15 ^{ns}	179.16 [*]	0.87 ^{ns}	874052 [*]
خطای عامل فرعی Sub-plot error	6	22.17	2.9	0.24	13.27	2.55	181138

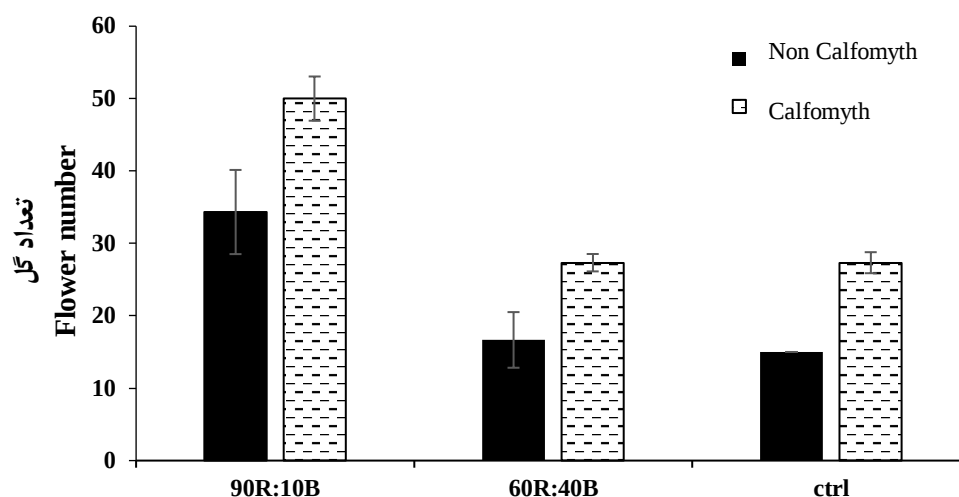
ns و * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

ns, * and ns indicate significance at the 1%, 5% probability levels, and non-significance, respectively.



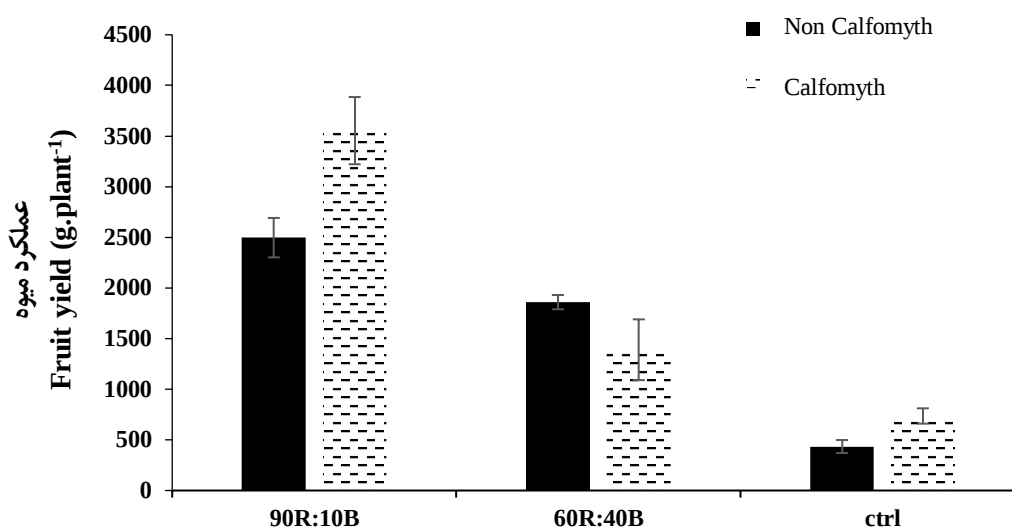
شکل ۱- اثر متقابل نور تکمیلی × تغذیه بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Figure 1- The interaction effect of complementary light × nutrition on leaf number of tomato cv. Hybrid 240 (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۲- اثر متقابل نور تکمیلی × تغذیه بر تعداد گل گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Figure 2- The interaction effect of complementary light × nutrition on flower number of tomato cv. Hybrid 240 (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۳- اثر متقابل نور تکمیلی × تغذیه بر عملکرد میوه تازه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Figure 3- The interaction effect of complementary light × nutrition on fresh fruit yield of tomato cv. Hybrid 240 (LSD, $p \leq 0.05$)

نتیجه‌گیری

طول موج (آبی و قرمز) برای رشد بهتر و کامل گیاه ضروری و لازم می‌باشد. در این بین، علاوه بر اثر مثبت طول موج‌ها، اثر مثبت محلول‌پاشی برگ‌ها را نیز می‌توان مشاهده کرد که به همراه نور تکمیلی توانست رشد را بهبود بخشد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که عملکرد و رشد تحت پوشش نور LED (ترکیب قرمز و آبی) نسبت به شرایط طبیعی برتری داشت. همچنین محلول‌پاشی برگ‌ها توسط فسفر و کلسیم توانست نتیجه بهتری را نسبت به عدم محلول‌پاشی در بر داشته باشد. بنابراین می‌توان پیشنهاد داد که

در این تحقیق، تمامی صفات ریخت‌شناختی بررسی شده در گیاه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' تحت تأثیر نوردهی تکمیلی توسط لامپ‌های LED قرار گرفتند که هرکدام از طول موج‌ها اثر خاص و ویژه‌ای بر گیرنده‌های خودشان در گیاه اعمال کرده بودند که در نهایت میزان رشد و عملکرد را در گیاه افزایش دادند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، نور آبی بر روی صفات رویشی و نور قرمز بیشتر بر روی صفات زایشی اثرگذار بودند. می‌توان چنین گفت که وجود هر دو

استفاده از این لامپ‌ها به همراه محلول‌پاشی با کالقومیت برای تولید اقتصادی بهتر در شرایط کنترل‌شده (گلخانه) می‌تواند امکان‌پذیر باشد. در صورتی که هدف از کشت، بهبود رشد زایشی و گل‌دهی باشد، می‌توان تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی را پیشنهاد داد و اگر هدف از کشت توسعه برگ و رشد رویشی گیاه باشد، بهتر است از تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی استفاده نمود. به هر میزانی که درصد نور آبی بالا رود، رشد رویشی بهبود می‌یابد. همچنین کاربرد عناصری همچون فسفر و کلسیم در سطح گسترده‌ای می‌تواند باعث بهبود رشد و عملکرد در تمام ابعاد رویشی و زایشی شود

که کاربرد آن، بهترین نتیجه را نسبت به عدم کاربرد در پی خواهد داشت.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از مؤسسه کشاورزی عنبری (تولید و توزیع بذور اصلاح‌شده) به‌ویژه جناب آقای علی عنبری که در تهیه بذور گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' و همچنین محلول تجاری کالقومیت همکاری داشتند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

1. Brown, C. S., Schuerger, A. C., & Sager, J. C. (1995). Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(5), 808-813. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.5.808>
2. Cooke, G. W. (1982). *Fertilizing for maximum yield* (3rd ed.). London, England: Granada Publishing Limited. P 465.
3. Deram, P., Lefsrud, M. G., & Orsat, V. (2014). Supplemental lighting orientation and red-to-blue ratio of light-emitting diodes for greenhouse tomato production. *HortScience*, 49(4), 448-452. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.4.448>
4. Dong, C. X., Zhou, J. M., Fan, X. H., Wang, H. Y., Duan, Z. Q., & Tang, C. (2005). Application methods of calcium supplements affect nutrient levels and calcium forms in mature tomato fruits. *Journal of Plant Nutrition*, 27(8), 1443-1455. <https://doi.org/10.1081/PLN-200025861>
5. Dorais, M., Gosselin, A., & Trudel, M. J. (1991). Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light. *Scientia Horticulturae*, 45(3-4), 225-234. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(91\)90067-9](https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90067-9)
6. Dougher, T. A., & Bugbee, B. (2001). Differences in the Response of Wheat, Soybean and Lettuce to Reduced Blue Radiation. *Photochemistry and Photobiology*, 73(2), 199-207. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)0730199DITROW2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)0730199DITROW2.0.CO2)
7. Dougher, T. A., & Bugbee, B. G. (1998). Is blue light good or bad for plants? *Life Support & Biosphere Science*, 5(2), 129-136.
8. Gaudreau, L. (1994). Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. *HortScience*, 29(11), 1285-1289. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.11.1285>
9. Giacomelli, G. (1987). Lettuce and tomato intercropping system with supplemental lighting. *Soilless Culture*, 3(1), 39-50.
10. Giovanelli, G. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1583-1588. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199909\)79:12<1583::AID-JSFA405>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12<1583::AID-JSFA405>3.0.CO;2-J)
11. Goto, E. (2003). Effects of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environment Control in Biology*, 41(2), 121-132. <https://doi.org/10.2525/ecb1963.41.121>
12. Gunes, A., & Alpaslan, M. (2000). Boron uptake and toxicity in maize genotypes in relation to boron and phosphorus supply. *Journal of Plant Nutrition*, 23(4), 541-550. <https://doi.org/10.1080/01904160009382038>
13. Geowacka, B. (2004). The effect of blue light on the height and habit of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) transplant. *Folia Horticulturae*, 16(2), 3-10.
14. Baneh, H. D., & Taheri, M. A. H. D. I. (2009). Effects of foliar application of nutrient elements on fruit set and quantitative and qualitative traits of Keshmeshi grape cultivar. *Seed and Plant Production Journal*, 25(1), 103-115.
15. Hertogh, A. A. (1989). *Holland Bulb Forcers Guide*. Hillegom, The Netherlands: International Flower Bulb Center.
16. Hochmuth, G. J., & Hochmuth, R. C. (1990). *Nutrient solution formulation for hydroponic (perlite, rockwool, NFT) tomatoes in Florida*. Gainesville, FL, USA: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. SSVEC-44.
17. Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010). Blue light dose responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under

- different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 3107-3117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
18. Atherton, J. G., & Rudich, J. (Eds.). (1986). *The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement*. London, UK: Chapman and Hall. 661 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4>
19. Kara, A., Kotov, A., & Bukhov, N. (1997). Specific distribution of gibberellins, cytokinins, indole-3-acetic acid, and abscisic acid in radish plants closely correlates with photomorphogenetic responses to blue or red light. *Journal of Plant Physiology*, 151(1), 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(97\)80035-1](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(97)80035-1)
20. Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617-1622. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617>
21. Lefsrud, M. G., Kopsell, D. A., & Sams, C. E. (2008). Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience*, 43(7), 2243-2244. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2243>
22. Li, C., Tao, J., Zhao, D., You, C., & Ge, J. (2012). Effect of calcium sprays on mechanical cell wall fractions of Herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) inflorescence stems. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 4704-4713. <https://doi.org/10.3390/ijms13044704>
23. Li, H., Tang, C., & Xu, Z. (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, 150, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009>
24. Marschner, P., Solaiman, Z., & Rengel, Z. (2007). Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(1), 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.06.014>
25. Maas, J. L. (Ed.). (1984). *Compendium of Strawberry Diseases*. St. Paul, MN, USA: American Phytopathological Society in cooperation with Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. 138 p.
26. Massa, G. D. Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951-1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
27. Matar, A., Torrent, J., & Ryan, J. (1992). Soil and fertilizer phosphorus and crop responses in the dryland Mediterranean zone. *Advances in Soil Science*, 81-146. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2844-8_3
28. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., Goto, E., & Kurata, K. (2004). Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. *Plant and Cell Physiology*, 45(12), 1870-1874. <https://doi.org/10.1093/pcp/pch203>
29. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2008). Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, 49(4), 664-670. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn041>
30. Miller, W. B., & Langhans, R. W. (1989). Reduced irradiance affects dry weight partitioning in Easter lily. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(2), 306-309. <https://doi.org/10.21273/JASHS.114.2.306>
31. Mullins, G. L. (2009). *Phosphorus, Agriculture and the Environment*. Blacksburg, VA, USA: Virginia Cooperative Extension, Virginia Polytechnic Institute and State University.
32. Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T., & Gosselin, A. (2006). Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. In *V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*; Lillehammer, Norway. *Acta Horticulturae*, 711, 291-296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.39>
33. Bukhov, N. G., Drozdova, I. S., & Bondar, V. V. (1995). Light response curves of photosynthesis in leaves of sun-type and 9-shade-type plants grown in blue or red light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 30(1), 39-41. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(95\)07124-K](https://doi.org/10.1016/1011-1344(95)07124-K)
34. O'Carrigan, A., Hinde, E., Lu, N., Xu, X. Q., Duan, H., Huang, G., & Chen, Z. H. (2014). Effects of light irradiance on stomatal regulation and growth of tomato. *Environmental and Experimental Botany*, 98(65-73). <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.007>
35. Okamoto, K., Yanagi, T., Takita, S., Tanaka, M., Higuchi, T., Ushida, Y., & Watanabe, H. (1996). *Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source*. In: *International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems*. (1996). Narita, Japan. *Acta Horticulturae*, 440, 111-116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.440.20>
36. Papadopoulos, A. P. (2003). Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. *Canadian Journal of Plant Science*, 83(4), 903-912. <https://doi.org/10.4141/P02-140>
37. Radin, J. W. (1984). Stomatal responses to water stress and to abscisic acid in phosphorus-deficient cotton plants. *Plant Physiology*, 76(2), 392-394. <https://doi.org/10.1104/pp.76.2.392>
38. Robichaux, M. B. (2008). *The effect of calcium or silicon on potted miniature roses or poinsettias* (M.S. thesis). Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, Louisiana, USA.

39. Royers, D. L., Berner, R. A. M., Tabor, I. P., Beerling, N. J., & Beerling, D. J. (2004). CO₂ as a primary driver of Phanerozoic climate. *GSA Today*, 14(3), 4-10. [https://doi.org/10.1130/1052-5173\(2004\)014<4:CAAPDO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/1052-5173(2004)014<4:CAAPDO>2.0.CO;2)
40. Schuerger, A. C., Brown, C. S., & Stryjewski, E. C. (1997). Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany*, 79(3), 273-282. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0341>
41. Singh, V., Pallaghy, C. K., & Singh, D. (2006). Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to water stress: II. Water relations, free and bound water and leaf expansion rate. *Field Crops Research*, 96(2), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.06.011>
42. Taragola, N., & Van Lierde, D. (2000). Competitive strategies in the sector of greenhouse tomato production in Belgium. In *XXV International Horticultural Congress, Part 14: Horticultural Economics at Micro and Macro Level, International Trade and Marketing*; Brussels, Belgium. *Acta Horticulturae*, 524, 193-200. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.524.17>
43. Turnbull, T. L., Warren, C. R., & Adams, M. A. (2007). Novel mannose sequestration technique reveals variation in subcellular orthophosphate pools do not explain the effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Eucalyptus globulus* seedlings. *New Phytologist*, 176(4), 849-861. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02229.x>
44. Urbonavičiūtė, A., Pinho, P., Samuolienė, G., Duchovskis, P., Vitta, P., Stonkus, A., & Halonen, L. (2007). Effect of short-wavelength light on lettuce growth and nutritional quality. *Sodininkystė ir Daržininkystė*, 26, 157-165.
45. Wissuwa, M., Gamat, G., & Ismail, A. M. (2005). Is root growth under phosphorus deficiency affected by source or sink limitations? *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1943-1950. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri189>
46. XiaoYing, L., ShiRong, G., ZhiGang, X., XueLei, J., & Tezuka, T. (2011). Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes. *HortScience*, 46(2), 217-221. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.2.217>
47. Xiaoying, L., Shirong, G., Taotao, C., Zhigang, X., & Tezuka, T. (2012). Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology*, 11(22), 6169-6177.
48. Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., & Lin, H. (2016). The research on LED supplementary lighting system for plants. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(18), 7193-7201. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.05.056>
49. Yorio, N. C., Wheeler, R. M., Goins, G. D., Sanwo-Lewandowski, M. M., Mackowiak, C. L., Brown, C. S., Sager, J. C., Stutte, G.W.; & Sager, J. C. (1998). Blue light requirements for crop plants used in bioregenerative life support systems. *Life Support & Biosphere Science*, 5(2), 119-128.
50. Yorio, N. C. Goins, G. D., Kagie, H. R., Wheeler, R. M., Sager, J. C., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36(2), 380-383. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.2.380>
51. Zhang, S. Jiang, H., Zhao, H., Korpelainen, H., & Li, C. (2014). Sexually different physiological responses of *Populus cathayana* to nitrogen and phosphorus deficiencies. *Tree Physiology*, 34(4), 343-354. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu025>

Research Article

Vol. 40, No. 2, Summer 2026, p. 263-280

Morphophysiological and Phytochemical Responses of Basil (*Ocimum basilicum*) to Light Spectra and Foliar Ascorbic Acid Application

S. Tafakhori¹, V. Akbarpour^{1*}, M. K. Souri¹

1- Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(* - Corresponding author's Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir, v_akbarpour60@yahoo.com)

Received: 20 May 2025

Revised: 25 July 2025

Accepted: 03 August 2025

Available Online: 16 August 2025

How to cite this article:

Tafakhori, S., Akbarpour, V., & Souri, M. K. (2026). Morphophysiological and Phytochemical Responses of Basil (*Ocimum basilicum*) to Light Spectra and Foliar Ascorbic Acid Application. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 263-280. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93634.1431>

Introduction

Basil (*Ocimum basilicum* L.), a warm-season herbaceous plant from the Lamiaceae family, is a valuable medicinal and culinary herb widely used in pharmaceutical, cosmetic, and food industries. Its aromatic leaves and mucilaginous seeds, beneficial for soothing sore throats, make it a significant crop in West Asia and the Middle East. As global populations grow, greenhouse and urban farming, such as vertical farming systems, have gained prominence to ensure year-round production (Massa, 2006). However, basil's growth and productivity are often limited during low-light conditions, particularly in colder seasons. To address this, artificial lighting, particularly light-emitting diodes (LEDs), has emerged as a powerful tool due to their ability to deliver specific wavelengths, high photoelectric conversion efficiency, and optimal photosynthetically active radiation (PAR) efficiency (80–100%) (Darko et al., 2014). LEDs allow precise control over light quality and intensity, enhancing plant biomass and secondary metabolite production. Additionally, ascorbic acid, a potent antioxidant, plays a critical role in detoxifying reactive oxygen species (ROS) and improving plant growth under stress conditions (Shigeoka et al., 2002). Previous studies have shown that specific light spectra, particularly red and blue combinations, enhance terpenoid and phenolic content in basil (Rihan et al., 2020; Rafiei et al., 2023). Similarly, foliar application of ascorbic acid has been reported to improve growth and mitigate environmental stresses in various plants (Yadollahi et al., 2016; Esmailpour et al., 2023). This study investigates the combined effects of LED light spectra and ascorbic acid foliar application on the morphophysiological and phytochemical traits of basil under controlled conditions, aiming to optimize its production in low-light environments.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the summer of 2024 at the Horticulture Laboratory of the University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. A split-plot design based on a randomized complete block with three replications was employed. The main factor consisted of four LED light treatments: three blue-to-red ratios (75:25 [BBBR], 50:50 [BBRR], 25:75 [BRRR]) and full-spectrum white light (FFFF). Red light was set at 660 nm, and blue light at 440 nm, with a photoperiod of 16 hours light and 8 hours darkness daily. The sub-factor included two levels of ascorbic acid foliar application (0.5 g.L⁻¹ weekly and no application). Basil seeds were sown in plastic pots filled with a 1:1 mixture of perlite and cocopeat and fertilized using Hoagland's solution via fertigation. Morphophysiological traits, including stem diameter, number of lateral branches, leaf count, fresh and dry shoot weight, root fresh and dry weight, and root volume, were measured. Phytochemical traits, such as antioxidant activity (DPPH method, measured at 517 nm), total phenolic content (Folin-Ciocalteu method, measured at 765 nm), and flavonoid content (aluminum chloride method, measured at 415 nm), were assessed using a spectrophotometer (UV-1800PC, Shimadzu, Japan). Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), and means were compared using appropriate statistical tests.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93634.1431>

Results and Discussion

The results demonstrated that the red-blue (75:25) light treatment significantly enhanced several morphophysiological traits compared to full-spectrum light, increasing stem diameter by 8%, lateral branches by 26%, leaf count by 15%, fresh leaf weight by 39%, and dry shoot weight by 25%. Foliar application of ascorbic acid further amplified these traits, with increases of 23%, 21%, 20%, 44%, and 31%, respectively. The combination of red-blue (75:25) light and ascorbic acid resulted in the highest stem height, root dry weight, and root volume, indicating a synergistic effect. These findings align with previous research showing that red light promotes stem elongation and biomass accumulation through gibberellin synthesis, while blue light regulates cellular expansion via cryptochromes (Hosseini et al., 2019; Kaiser et al., 2019). Ascorbic acid likely enhanced growth by acting as a coenzyme in photosynthesis and hormone biosynthesis, increasing carbohydrate production and nutrient uptake (Barkosky and Einhellig, 2003). For phytochemical traits, the red-blue (50:50) light without ascorbic acid yielded the highest antioxidant activity, suggesting that balanced light spectra stimulate defense mechanisms. The red-blue (75:25) light increased phenolic content by 12% and flavonoid content by 28% compared to full-spectrum light, consistent with studies showing that blue light enhances phenylpropanoid biosynthesis via phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activation (Rafiei et al., 2023). However, ascorbic acid did not significantly increase flavonoid content, possibly due to metabolic saturation or suppression of defense responses at high antioxidant levels (Azoz et al., 2016). These results highlight the importance of tailored light spectra and nutritional interventions for optimizing basil's growth and secondary metabolite production.

Conclusion

This study confirms that LED light spectra, particularly the red-blue (75:25) combination, significantly improve basil's morphophysiological traits, including stem diameter, leaf count, and biomass, under low-light conditions. Foliar application of ascorbic acid enhances these effects, promoting root development and overall plant growth. While specific light spectra alone can boost antioxidant activity and phenolic content, ascorbic acid's influence is more pronounced on growth than on flavonoid accumulation. These findings provide a practical framework for optimizing basil production in controlled environments, such as greenhouses and vertical farms, by integrating light quality management with ascorbic acid supplementation. This approach offers a cost-effective strategy to enhance both the quantity and quality of basil, supporting sustainable agricultural practices.

Keyword: Antioxidant, Basil, Flavonoid, LED Light Spectra, Medicinal plants

پاسخ مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به طیف‌های نوری

مختلف و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک

سروش تفاخری^۱ ID - وحید اکبرپور^{۱*} ID - محمد کاظم سوری^۱ ID

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۲

چکیده

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) از جمله گیاهان سبزی-دارویی ارزشمند و متعلق به فصل گرم است که در شرایط نور پایین فصل سرد، با افت رشد و عملکرد مواجه می‌شود. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نور LED و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک روی برخی از صفات مورفولوژیک و رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان، در سال ۱۴۰۳ به صورت گلدانی و در قالب طرح کرت‌های خرد شده برپایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل چهار ترکیب طیفی نور (آبی-قرمز به نسبت‌های ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و نور کامل) و عامل فرعی، محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در دو سطح (کاربرد غلظت ۰/۵ در هزار و عدم کاربرد) بود. نتایج نشان داد که تیمار نور قرمز-آبی (۷۵:۲۵) موجب بهبود معنی‌دار صفاتی چون قطر ساقه (۸ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۲۶ درصد)، تعداد برگ (۱۵ درصد)، وزن تر برگ (۳۹ درصد) و وزن خشک بوته (۲۵ درصد) در مقایسه با شاهد شد. محلول‌پاشی اسید آسکوربیک نیز اثر افزایشی قابل توجهی در این صفات داشت، به طوری که قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، وزن تر برگ، و وزن خشک بوته به ترتیب ۲۳ درصد، ۲۱ درصد، ۲۰ درصد، ۴۴ درصد و ۳۱ درصد افزایش یافتند. همچنین بیشترین حجم و وزن خشک ریشه در تیمار تلفیقی نور آبی-قرمز (۷۵:۲۵) و اسید آسکوربیک مشاهده شد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار نور قرمز-آبی (۵۰:۵۰) بدون محلول‌پاشی و بیشترین فلاونوئید نیز در تیمار قرمز-آبی (۷۵:۲۵) حاصل گردید. نتایج نشان داد که ترکیب طیف‌های نوری منتخب همراه با کاربرد اسید آسکوربیک، راهکاری مؤثر برای بهبود عملکرد و کیفیت ریحان در شرایط نور محدود می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، ریحان، فلاونوئید، طیف‌های نور ال ای دی، گیاه دارویی

مقدمه

به دلیل رشد روزافزون جمعیت، بشر به سمت کشاورزی گلخانه‌ای و شهری مثل کشت‌های عمودی روی آورده است تا بتواند محصولات کشاورزی را در تمام طول سال تولید کند (Massa, 2006).

رویکرد جهانی به بهره‌گیری از گیاهان دارویی و ترکیبات طبیعی در صنایع داروسازی، آرایشی-بهداشتی و غذایی، و توجه فزاینده جامعه، سیاست‌گذاران و صنایع داخلی به این منابع، لزوم اجرای پژوهش‌های بنیادی و کاربردی وسیع در این زمینه را آشکار می‌سازد.

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران است که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌تواند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشد (Safidkon, 2008). به دلیل مشکلات جدی که استفاده بیش از حد مواد شیمیایی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به منظور افزایش عملکرد محصولات به وجود آورده‌اند، امروزه پژوهشگران به دنبال راهکارهای جدید برای تولید غذایی بیشتر هستند (Darabi et al., 2021). ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به عنوان محصول فصل گرم و یکی از گیاهان سبزی-دارویی ارزشمند محسوب می‌شود. این گیاه به صورت گیاه علفی، یک‌ساله، معطر دارای ساقه منشعب و متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است. همچنین ریحان یکی از مهم‌ترین سبزی‌های تازه‌خوری به خصوص در کشورهای غرب آسیا و خاورمیانه می‌باشد که علاوه بر برگ، بذرها دارای موسیلاژ آن نیز برای گلودرد

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir,

v_akbarpour60@yahoo.com

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93634.1431>

کاربرد دارد (Omidbeigi, 2011). تحقیقات انجام گرفته روی ارقام محلی ریحان در ایران نشان داد که این گیاه دارای ترکیبات فنلی بسیار متنوعی می باشد که در بین آن ها رزماریک اسید بیشترین فراوانی را دارد (Javanmardi et al., 2002). ترکیبات فنلی این گیاه از خاصیت آنتی اکسیدانی بالایی برخوردار است. به طور کلی، ریحان را بیشتر به خاطر اسانس آن می شناسند. مطالعات اخیر نشان دهنده نقش مثبت لامپ های LED در منبع نوری گیاهان بر افزایش رشد و مقاومت گیاه است. این اثرات می تواند به دلیل طول موج های خاص نورهای LED و راندمان بالای تبدیل فتوالکتریک آن ها باشد. همچنین LED قادر به شبیه سازی تقلید و شدت طول موج نور خورشید در طول روز هستند، و در میان سیستم های نورپردازی مصنوعی، حداکثر بازده PAR (تابش های فعال فتوسنتزی) $(1-80\%)$ درصد) را نشان می دهند. بنابراین از طریق کنترل ترکیب این طیف ها و تعدیل شدت نور، مقدار و کیفیت نور ضروری برای مراحل رشد مختلف گیاه عرضه می گردد. از این رو زیست توده و محصولات متابولیسم گیاهان کاشته شده می تواند اصلاح گردد (Darko et al., 2014). اندازه کوچک، دوام، طول عمر طولانی، دمای تابشی سرد و نیز فراهم آوردن امکان طول موج های خاص برای گیاه مورد نظر، LED را به منظور پرورش گیاهان نسبت به بسیاری از منابع نوری دیگر برتری داده است (Abraham et al., 2004). گیاهان برای کاهش دادن اثر مخرب گونه های اکسیژن فعال، سازوکارهای متفاوتی دارند. از جمله این سازوکارها می توان به سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی اشاره کرد. این سیستم شامل سیستم آنزیمی و غیر آنزیمی است. در این میان، اسید آسکوربیک از جمله مهم ترین آنتی اکسیدان های گیاهی است (Shigeoka et al., 2002). گیاهان در پاسخ به افزایش تولید رادیکال های آزاد سعی می کنند تا ظرفیت و فعالیت سیستم های دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی را افزایش دهند (Gressel & Galun, 1994). اسید آسکوربیک (ASA) یک مولکول کوچک قابل حل در آب است که دارای خاصیت آنتی اکسیدانی بالایی بوده و برای سمیت زدایی و خنثی کردن گونه های فعال اکسیژن به ویژه پراکسید هیدروژن نقش دارد. برخی از پژوهشگران اظهار داشتند که نسبت های نورهای آبی و قرمز (۱ : ۲) همراه با طول موج آبی ۴۳۵ نانومتر در افزایش ترپنوئیدهای ریحان مؤثر واقع شد (Rihan et al., 2020). مزاری و همکاران (Mazari et al., 2022) دریافتند که اثر نور مادون قرمز بر گیاه ریحان باعث افزایش ارتفاع ساقه و در نهایت منجر به افزایش وزن تر و خشک این گیاه شد. در پژوهشی، نورهای LED قرمز + آبی در ژنوتیپ سبز و LED قرمز در ژنوتیپ بنفش با تقویت سازوکارهای حمایتی مانند کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء،

افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، ترکیبات فنلی و رنگزه های فتوسنتزی، در بهبود وضعیت گیاه ریحان در هر دو شرایط شاهد نوری و شوری نقش بسزایی داشته اند (Rafiei et al., 2023). همچنین در پژوهشی روی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) تحت تنش خشکی با طیف های نوری قرمز و آبی به نسبت های (۱ : ۲) ترکیبات فنلی افزایش پیدا کرد (Ahmadi et al., 2019). در دو گونه گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris*)، ترپنوئیدها در نور قرمز مونوکرومیک افزایش پیدا کردند. درحالی که فقط در گونه *T. migircus* در طیف های نوری آبی و قرمز به نسبت های (۱ : ۲) افزایش ترپنوئیدها مشاهده شد (Tohidi et al., 2020). در مطالعه ای، پیش تیمار دو ژنوتیپ گیاه بادرنجبویه با طول موج های مختلف نور LED، تحمل این گیاه را به تنش خشکی افزایش داده است (Ahmadi et al., 2019). حیدری زاد و همکاران (Heidarizad et al., 2014) با بررسی سه کلون نعنای فلفلی (*Mentha × piperita*) در طیف های نوری مختلف LED دریافتند که بالاترین وزن گیاه در طیف های نوری قرمز و آبی، بیشترین اسانس در طیف نوری قرمز و بیشترین فعالیت آنزیم های کاتالاز، گلوکاتایون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز در طیف نوری آبی به دست آمد. بررسی ها نشان داد که بین سه گونه نعنای معمولی، نعنای فلفلی و پونه در محیط های نوری مختلف همراه با محیط گلخانه، بهترین ترکیب نوری برای رشد و پرورش این سه گونه، نور قرمز و ترکیب قرمز و آبی برای رشد طبقاتی است (Khezayi et al., 2021). نتایج پژوهش های دیگر نشان داد که کاربرد همزمان یا جداگانه اسید سالسیلیک و اسید آسکوربیک تحت شرایط تنش سرب در گیاه ریحان، باعث افزایش قابل توجه محتوای کلروفیل و کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شد (Gheysari et al., 2015). یدالهی و همکاران (Yadollahi et al., 2016) در آزمایشی با بررسی اثر اسید آسکوربیک بر کاهش سمیت آرسنیک در گیاه ریحان گزارش نمودند که اثر اسید آسکوربیک بر درصد اسانس، شاخص کلروفیل، کاروتنوئید، کربوهیدرات، کاتالاز و پراکسیداز معنی دار بود و در نتیجه می توان محلول پاشی اسید آسکوربیک را برای بهبود رشد و کاهش تجمع آرسنیک استفاده کرد. براساس نتایج به دست آمده، مصرف اسید آسکوربیک و سیلیسیم به عنوان تیمار خارجی می تواند با تأثیر بر مسیرهای ویژه به خصوص آنزیم های کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و همچنین آسکوربات پراکسیداز افزایش یابد (Asadi et al., 2019). همچنین محلول پاشی اسید آسکوربیک بر گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی باعث بهبود رشد این گیاه شد (Esmailpour et al., 2023). باتوجه به اینکه ریحان یکی از گیاهان دارویی-سبزی ارزشمند و اقتصادی فصل گرم می باشد و احتمال می رود که در فصل

سی سی محلول رادیکال DPPH ۱۰ میکرومولار مخلوط شد. به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی انکوبه گردید. سپس جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800PC، شیماتزو ژاپن) محاسبه شد (Afshari & Rahim, 2021).

$$\text{Inhibition (\%)} = [(Ac-As)/Ac] \times 100 \quad (۱)$$

فنل کل

جهت سنجش محتوای فنل کل از معرف فولین سیو کالتیو استفاده شد. به این صورت که ابتدا به ۲۰ میکرولیتر از عصاره برگ ریحان، ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیو کالتیو افزوده شد. سپس ۱/۶ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید و پس از پنج دقیقه استراحت به مخلوط مورد نظر اضافه شد. در ادامه، ۳۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات یک مولار افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۴۰ درجه نگهداری شد. در نهایت، جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800PC، شیماتزو ژاپن) اندازه گیری شد و میزان فنل کل براساس میزان معادل میلی گرم اسید گالیک در گرم عصاره محاسبه شد (Slinkard & Singleton, 1977).

$$Y = 1/1X + 0.03 \quad (۲)$$

فلاونوئید

اندازه گیری فلاونوئید کل برگ با استفاده از روش آلومینیوم کلرید و پتاسیم استات بر روی ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی انجام شد. و ۱/۵ میلی لیتر متانول، ۰/۱ میلی لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی لیتر پتاسیم استات یک مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. نمونه بعد از نیم ساعت تاریکی در طول موج ۴۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800PC، شیماتزو ژاپن) قرائت شد. در نمونه شاهد نیز به جای عصاره، از متانول خالص استفاده شد (Chang et al., 2002). برای رسم منحنی کالیبراسیون از کوئرتستین به عنوان استاندارد استفاده شد.

$$Y = 0.2X - 0.01 \quad (۳)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4، مقایسه میانگین توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Microsot Excel انجام شد.

گرم سال با شرایط نامساعد محیطی نظیر تنش دمای بالا مواجه شود و در فصل سرد سال با کمبود نور مواجه شود. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر طیف‌های نوری و اسید آسکوربیک بر گیاه ریحان بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر طیف‌های نوری و اسید آسکوربیک بر گیاه ریحان، آزمایشی در واحد کشت طبقاتی آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با دمای ۱۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب طی روز و شب و رطوبت نسبی ۵۰-۶۰ درصد انجام گرفت. طرح آزمایشی مورد استفاده به صورت کرت‌های خرد شده برپایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، طیف‌های مختلف نور LED به عنوان نور مصنوعی، در سه نسبت نور آبی به قرمز شامل 3B:1R-B:R-1B:3R و نور کامل (FFFF) بود. نور قرمز (۶۶۰ نانومتر) و نور آبی (۴۴۰ نانومتر)، ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در هر شبانه‌روز مورد استفاده قرار گرفتند. عامل فرعی شامل کاربرد اسید آسکوربیک در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) بود. اسید آسکوربیک در غلظت ۰/۵ در هزار و به صورت محلول‌پاشی برگ‌ی از مرحله چهار برگی شروع و به صورت هفته‌ای یک‌بار تا مرحله توسعه برگ جوان (مرحله بیبی‌گرین، حدود ۲۰ الی ۴۵ روز بعد از جوانه‌زنی) اعمال شد. پس از تهیه بذر از شرکت پاکان بذر اصفهان، کشت در گلدان‌های پلاستیکی که با مخلوطی از پرلیت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱ پر شده، انجام گردید و تغذیه با محلول هوگلند به صورت کود آبیاری انجام شد.

صفات مورفوفیزیولوژیک

بذرها در تاریخ ۲۵ تیرماه ۱۴۰۳ کشت شدند و پس از یک هفته، تمام گیاهان شروع به جوانه‌زنی کردند. هشتم مرداد ماه اولین محلول‌پاشی با تیمار اسید آسکوربیک انجام شد. سایر محلول‌پاشی‌ها به فاصله یک هفته از محلول‌پاشی قبل انجام گرفت. برداشت و اندازه‌گیری‌ها در تاریخ ۱۱ شهریور ماه ۱۴۰۳ به صورت بیبی‌گرین ریحان بودند. قطر ساقه با استفاده از کولیس، ارتفاع ساقه با خط‌کش، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی بوته با استفاده از ترازوی دیجیتال دقیق و حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج براساس جابه‌جایی آب اندازه‌گیری و ثبت گردید.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه، از روش DPPH استفاده شد. به این صورت که یک سی سی از عصاره با یک

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژیک

نتیجه تجزیه واریانس داده‌های آماری نشان داد که اثر متقابل تیمارهای مورد استفاده بر صفات ارتفاع ساقه و وزن خشک ریشه در سطح یک درصد و وزن تر ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثر طیف‌های نوری مورد مطالعه بر صفات قطر ساقه، تعداد برگ و وزن تر برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شدند، در حالی که اثر طیف‌های

نوری مورد مطالعه بر صفات تعداد شاخه جانبی، ارتفاع ساقه، وزن خشک بوته، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تیمار اسید آسکوربیک در سطح پنج درصد باعث تأثیر معنی‌دار بر ارتفاع ساقه گردید، در حالی که اثر این تیمار بر سایر صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر طیف‌های نوری و اسید اسکوربیک برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ریحان
Table 1- ANOVA (mean of squares) for the effect of light spectra and ascorbic acid on some morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع ساقه Stem height	وزن تر بوته Fresh weight of plants	وزن خشک بوته Dry weight of plants	وزن تر ریشه Root fresh weight	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root dry weight
بلوک Block	2	0.602	2.041	2.791	31.330	12.980	0.056	0.160	0.030	0.001
طیف‌های نوری Light spectra	3	0.566 *	17.667**	7.833*	20.385**	16.011*	0.678**	1.440**	0.037 ^{ns}	0.008**
خطای اصلی Main error	6	0.358	1.792	5.024	37.073	8.429	0.107	0.286	0.042	0.001
اسید آسکوربیک Ascorbic acid	1	6.827**	24**	48.167**	26.460*	51.802**	0.570**	2.672**	1**	0.001**
طیف‌های نوری × اسید آسکوربیک Light × ascorbic acid	3	0.294 ^{ns}	0.333 ^{ns}	1.167 ^{ns}	38.628**	4.250 ^{ns}	0.049 ^{ns}	0.270*	0.039 ^{ns}	0.004**
خطا Error	8	0.138	0.375	1.542	2.355	2.250	0.016	0.046	0.042	0.0003
ضریب تغییرات C.V (%)		9.11	7.34	8.32	5.46	18.58	15.71	18.56	25.50	16.23

*, **, و ^{ns}: به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

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

قطر ساقه

مقایسه میانگین اثر ساده طیف‌های نوری بر قطر ساقه نشان داد که بیشترین قطر ساقه مربوط به طیف نوری قرمز ۷۵ درصد و آبی ۲۵ درصد (3R:1B) بود (جدول ۲). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که در دو وارته سبز و بنفش ریحان، ضخیم‌ترین ساقه‌ها در تیمار نور

قرمز و نازک‌ترین ساقه‌ها در تیمار نور آبی مشاهده شد (Hosseini et al., 2019). در آزمایشی دیگر، سطح مقطع ساقه نعنا فلفلی به‌طور معنی‌داری در محیط نور قرمز بیشتر از بقیه بود (Khezayi et al., 2021). همین‌طور بیشترین میزان قطر ساقه در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) در طیف نور کامل گزارش گردید (Moradi et

بالاترین میزان قطر ساقه تحت محلول‌پاشی اسید آسکوربیک به دست آمد (Boroumand & Safari, 2015). بیشترین میزان قطر ساقه به دست آمده در شرایط تنش، همراه با کاربرد برون‌زای اسید آسکوربیک در گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) به دست آمد (Farahvash et al., 2015). اسید آسکوربیک باعث تولید قندها در گیاه می‌گردد و در نتیجه باعث افزایش رشد و در نهایت منجر به افزایش قطر ساقه می‌شود (Barkosky & Einhellig, 2003).

کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022) نیز گزارش کردند که بیشترین قطر ساقه در کاهو (*Lactuca sativa*) مربوط به نورهای قرمز و کامل بود. دلیل افزایش قطر ساقه می‌تواند این باشد که نورهای LED باعث افزایش میزان خالص فتوسنتز و در نتیجه باعث رشد و افزایش قطر ساقه می‌گردد (Kuno et al., 2017). مقایسه میانگین اثر ساده اسید آسکوربیک بیانگر این است که مصرف این ترکیب در غلظت نیم در هزار باعث افزایش ۳۰ درصدی قطر ساقه نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). در گیاه همیشه‌بهار،

جدول ۲- اثر ساده تیمار طیف‌های نوری بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ریحان

Table 2- The main effect of light spectra treatments on morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum*)

فاکتور اصلی	قطر ساقه	تعداد شاخه	تعداد برگ	وزن تر بوته	وزن خشک بوته
Main factor	Stem diameter (cm)	Number of lateral branches	Number of leaves	Fresh weight of plant (g)	Dry weight of plant (g)
BBRB	13.68 ^{b*}	10.83 ^a	16.33 ^a	8.69 ^{ab}	1.19 ^a
FFFF	4.10 ^{ab}	8.00 ^b	13.83 ^b	5.97 ^b	0.40 ^d
RBRB	4.05 ^{ab}	7.00 ^c	14.16 ^b	7.76 ^{ab}	0.70 ^c
RRBR	4.43 ^a	7.50 ^{ab}	15.33 ^{ab}	9.84 ^a	0.95 ^b

* در هرستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند

* Means within each column followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$)

تعداد برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمار طیف نوری نشان داد که بیشترین تعداد برگ در نور ۷۵ درصد آبی ۲۵ درصد قرمز (BBRB) تولید شد که دارای افزایش حدود ۱۸ درصدی نسبت به نور کامل بود (جدول ۲). بیشترین میزان تعداد برگ مریم‌گلی در نور قرمز به دست آمد (Moradi et al., 2023). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022)، بیشترین تعداد برگ در هر بوته در کاهو را در تیمار ۸۰ درصد آبی و ۲۰ درصد قرمز مشاهده نمودند. دلیل این امر، سازگاری توزیع مناسب انرژی طیفی آن با جذب کلروفیل است و در نتیجه میزان خالص فتوسنتز افزایش می‌یابد. علاوه بر این نسبت طیف‌های LED اهمیت زیادی در تعداد برگ دارد (Kuno et al., 2017). بیشترین تعداد برگ به دست آمده در گیاه بادرنجبویه مربوط به نورهای قرمز و ترکیب نورهای قرمز و آبی بود (Ahmadi et al., 2019). افزایش رشد گیاهان در معرض نورهای LED نشان‌دهنده اهمیت نور در رشد گیاهان است. زیرا نور نه تنها منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز، بلکه همچنین سیگنال کلیدی تنظیم‌کننده رشدنمو است (Ding et al., 2011). بهترین ویژگی نورهای LED، قابلیت تنظیم طیف‌های خاص نوری است و کیفیت نور را از طریق ایجاد آبخار سیگنال بر بیان ژن‌های گیرنده نوری مانند فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها اثر می‌گذارد (Chen et al., 2016). همچنین LEDها سبب جذب مواد مغذی در گیاهان می‌شوند (Kopsell et al., 2017). آزمایش‌ها

تعداد شاخه‌های جانبی

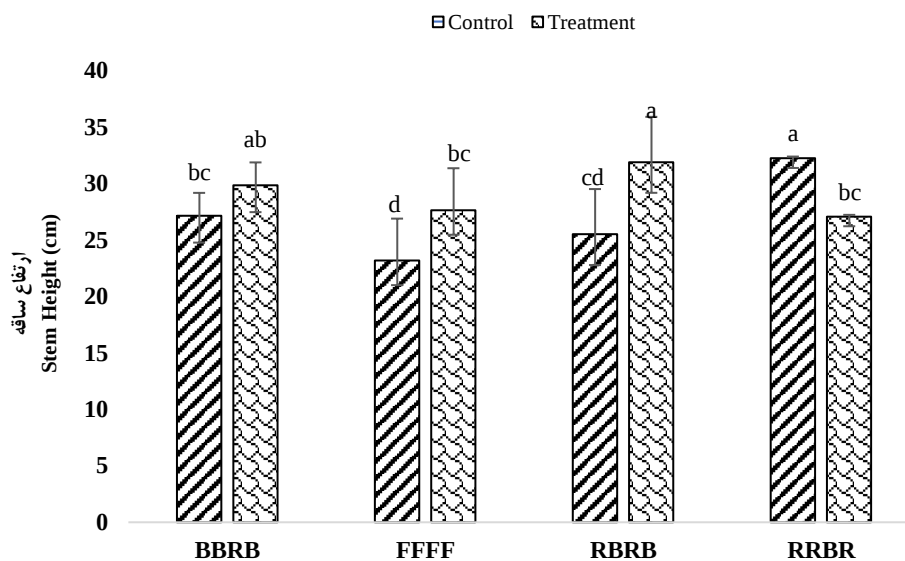
براساس نتایج به دست آمده، مقایسه میانگین برای تیمار طیف‌های نوری نشان داد که بیشترین اختلاف معنی‌دار در تیمار نوری ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز (BBRB) به دست آمد (جدول ۲). بیشترین تعداد ساقه گیاه پونه در محیط نوری قرمز-آبی حاصل گردید (Khezayi et al., 2021). پژوهشگران بیان کردند که دلیل افزایش تعداد ساقه، ناشی از تغییرات هورمونی مانند جیبرلین (نور قرمز) و اکسین (نور آبی) در گیاه می‌باشد که نتایج را به این سمت سوق داده است (Ouyang et al., 2015). نتایج تحقیقات نشان داد که بیشترین تعداد ساقه در بادرنجبویه در نور قرمز و قرمز + آبی بود (Ahmadi et al., 2019). همچنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک می‌تواند باعث افزایش حدود ۲۷ درصدی تعداد شاخه‌های جانبی نسبت به شاهد در ریحان گردد (جدول ۳). اسید آسکوربیک یک مولکول کوچک قابل حل در آب بوده که به وسیله کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌هایی که در فرآیند فتوسنتز و تنفس شرکت دارند به صورت یک کوآنزیم عمل نموده و به عنوان یک کوفاکتور تنظیم رشد شناخته شده است. این ترکیب می‌تواند بر بیشتر فرایندهای بیولوژیکی تأثیرگذار باشد (Dowlatabadi et al., 2009). همچنین با توان فیزیولوژیک زیاد می‌تواند فرآیند ماده‌سازی به‌ویژه ساخت قندها را در جهتی القاء کند که در نهایت رشد تأمین گردد (Barkosky & Einhellig, 2003).

تیمار نور آبی منجر به کاهش رشد رقم‌های سبز و بنفش ریحان گردید (Hosseini et al., 2019). در مطالعه‌ای بیان شد که بیشترین ارتفاع سه نوع ژنوتیپ پرورش‌یافته نونا در نورهای مصنوعی، مربوط به محیط نوری قرمز و سفید بود (Khezayi et al., 2021). محققان دریافتند که نور آبی مانع رشد سلولی می‌شود و می‌تواند بیان ژن‌هایی که باعث کشیدگی ساقه می‌شوند را کنترل کند (Banerjee & Batschauer, 2005; Sabzalain et al., 2014; Shimazaki et al., 2007). طول موج آبی باعث کوتاه شدن میان‌گره‌های گیاه می‌گردد، درحالی‌که دریافت نور مادون قرمز دور توسط رنگیزه‌های نوری منجر به افزایش طول میان‌گره‌ها می‌شود. بنابراین تعادل بین طیف آبی و قرمز برای برخی گیاهان بسیار لازم است (Wheeler et al., 1991). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که نور آبی با تأثیرگذاری بر کریپتوکروم‌های گیرنده نور که مسئول کنترل ارتفاع گیاه هستند باعث کاهش طول میان‌گره‌ها و کاهش طول ساقه گردید (Kaiser et al., 2019; Naznin et al., 2019). نور قرمز، ارتفاع گیاه چای چینی (*Rehmannia glutinosa*) و قاصدک را بهبود بخشید (Manivannan et al., 2015; Ryu et al., 2012). بیشترین ارتفاع در گیاه مریم‌گلی در نور قرمز به دست آمد (Moradi et al., 2023).

نشان داد که نورهای قرمز و آبی بهترین طول موج برای تقویت رشد گیاه است و ترکیب مناسب نورهای قرمز و آبی باعث تسریع فتوسنتز و رشد گیاهان دارویی می‌شود (Liu et al., 2019; Zhang et al., 2020). پاسخ‌های گیاهی به طیف‌های مختلف نوری متفاوت بوده و پاسخ‌های گونه‌های گیاهی نیز متفاوت می‌باشد (Abidi et al., 2013). همچنین تحت تأثیر اثر ساده اسید آسکوربیک، صفت تعداد برگ در شرایط محلول‌پاشی ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند (جدول ۳). اسید آسکوربیک، ساخت قندهای گیاهی را به سمتی سوق می‌دهد که موجب رشد گیاه می‌گردد (Barkosky & Einhellig, 2003).

ارتفاع ساقه

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار طیف نوری و اسید آسکوربیک بر ارتفاع ساقه نشان داد که بیشترین ارتفاع مربوط به گیاهان شاهد رشدیافته در حضور طیف نوری قرمز-آبی (۷۵:۲۵) بود که با گیاهان محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک در حضور طیف نوری قرمز آبی (۵۰:۵۰) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). نتایج تحقیقات نشان داد که نور قرمز بطور کلی ارتفاع گیاهان و رشد را افزایش می‌دهد (Heo et al., 2012). گزارش شده است که



شکل ۱- اثر متقابل تیمار طیف‌های نوری^۱ × اسید آسکوربیک بر ارتفاع ساقه ریحان

Figure 1- Interaction effect of light spectra × ascorbic acid on stem height of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)

۱- (FFFF, BBRB, RBRB, RRBR) به ترتیب به نورهای کامل، ۷۰ درصد آبی، ۳۰ درصد قرمز، ۵۰ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی اشاره دارد)

کاهو، بیشترین وزن کاهو در نورهای قرمز و آبی به دست آمد (Johkan et al., 2010). از سوی دیگر، نتایج بررسی رشد گیاه کاهو در نورهای مختلف نشان داد که وزن تر بوته در ترکیب نورهای قرمز و آبی بیشتر از سایر تیمارها بود. کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022)، اظهار داشتند که طیف نوری قرمز:آبی (۹۰:۱۰) و قرمز-آبی (۷۰:۳۰) منجر به تولید بیشترین وزن تر کاهو شد. در همین راستا، نتایج تحقیقات نشان داد که نور قرمز به طور کلی وزن تر را افزایش داد (Son & Oh, 2013). در پژوهشی دیگر، وزن تر نعنای زیر نور قرمز به صورت معنی داری بیشتر از محیط نور آبی بود (Martineau et al., 2012). بیشترین وزن تر به دست آمده در گیاه مریم گلی در تیمار نوری ۷۰ درصد آبی و ۳۰ درصد قرمز مشاهده شد (Moradi et al., 2023). اضافه کردن نور آبی سبب افزایش زیست توده در کاهو، گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) و کلم (*Brassica oleracea*) می شود (Kaiser et al., 2019). دلیل افزایش وزن تر، اثرگذاری فتوتترین ها و فیتوکروم ها در تشکیل کلروفیل، باز شدن روزنه و فعالیت فتومورفوژن می باشد. در نتیجه افزایش فتوسنتز، تجمع مواد زیاد شده و وزن گیاه افزایش می یابد. محروم کردن گیاهان از نور آبی منجر به فتوسنتز ناکارآمد می شود. بنابراین نور آبی می تواند کارایی فتوسنتز را با تنظیم دهانه روزنه جذب بیشتر CO_2 و سرکوب تنفس نوری افزایش دهد (Hiyama et al., 2017). بیشترین وزن تر به دست آمده در گیاه بادرنجبویه در نور قرمز + آبی حاصل گردید (Ahmadi et al., 2019).

مقایسه میانگین اثر ساده تیمار اسید آسکوربیک نشان داد که این تیمار باعث افزایش ۴۴ درصدی وزن بوته نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). در شاهی، اسید آسکوربیک موجب افزایش وزن تر گردید (Khodabakhsh & Chaparzadeh, 2015). قربانی و همکاران (Ghorbanli et al., 2010) دریافتند که بیشترین وزن تر سیاهدانه در تیمار اسید آسکوربیک به دست آمد. فرحوش و همکاران (Farahvash et al., 2015)، اعلام نمودند که بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار اسید آسکوربیک تحت شرایط تنش به دست آمد. از سوی دیگر، اسید آسکوربیک با نقش کوفاکتوری در فتوسنتز گیاه و در سنتز اتیلن، جیبرلین و آنتوسیانین به عنوان عاملی برای کاهش اثر منفی تنش های شناخته شده است (Chen & Gallie, 2004). براساس گزارش های موجود، نوعی سیستم آنتی اکسیدان که سبب تولید مجدد اسید آسکوربیک می شود، در حفاظت گیاهان در مقابل تنش های اکسیداتیو ناشی نقش دارد. اسید آسکوربیک با افزایش جذب نیتروژن از طریق سنتز ملات و تبادل آن با نیترات می تواند به افزایش رشد گیاه کمک کند (Azzedine et al., 2011). همچنین در

فریدی و همکاران (Faridi et al., 2022) بیشترین ارتفاع در میکروگرین های تربچه (*Raphanus sativus*) را در نور قرمز گزارش نمودند. هنگامی که گیاهان در معرض نسبت کمی از نور قرمز قرار می گیرند، فیتوکروم تا حدی غیرفعال شده و از فاکتورهای برهم کنش با فیتوکروم (Pif) جدا می شوند که به علت تجمع و بیان ژن های دخیل در رشد و تحرک سنتز جیبرلین ها منجر به افزایش طول ساقه می گردد. بررسی ها همچنین نشان داد که نور قرمز منجر به تقسیم و طولیل شدن سلولی شده، درحالی که نور آبی از تقسیم و بسط سلولی جلوگیری می کند (Bugbee, 2016). شاخص های رشدی گل انگشتانه (*Digitalis purpurea*) در تیمارهای نوری ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی در مقایسه با گیاهان تیمار شده با نسبت کمتر نور قرمز حداکثر بودند (Verma et al., 2018). بیشترین ارتفاع به دست آمده در گیاه همیشه بهار مربوط به محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید آسکوربیک بود (Boroumand & Safari, 2015). فتحی و همکاران (Fathi et al., 2014)، در کاربرد اسید آسکوربیک در گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) تحت شرایط تنش اعلام کردند که این تیمار به صورت برونزا باعث افزایش ارتفاع شد. عرب و همکاران (Arab et al., 2012)، بیان داشتند که بیشترین ارتفاع گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در اثر محلول پاشی اسید آسکوربیک به دست آمد. قربانی و همکاران (Ghorbanli et al., 2010) نیز بیان کردند که اسید آسکوربیک به صورت برونزا باعث افزایش رشد گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa*) تحت شرایط شوری گردید. بیشترین ارتفاع به دست آمده در کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) در شرایط محلول پاشی اسید آسکوربیک به دست آمد (Mohammadi et al., 2022). این افزایش ارتفاع می تواند به این علت باشد که اسید آسکوربیک به عنوان یک کوآنزیم باعث افزایش رشد گیاه می شود (Dowlatabadi et al., 2009).

وزن تر بوته

مقایسه میانگین اثر طیف های نوری نشان داد که بیشترین اختلاف معنی داری در نور ۷۵ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی (RRBR) بود (جدول ۲) رفیعی و همکاران (Rafiei et al., 2023) در مطالعه ای روی گیاه ریحان در شرایط نوری نشان دادند که بیشترین وزن تر ریحان در ترکیب نورهای قرمز و آبی و نور آبی به دست آمد. همچنین وزن تر سه گونه نعنای در محیط های نوری قرمز، قرمز + آبی به طور معنی داری از سه محیط دیگر بیشتر بودند (Khezayi et al., 2021). در نعنای فلفلی، بیشترین وزن گیاه در محیط نور قرمز و آبی حاصل شد (Heydarizad et al., 2014). در تحقیق دیگری روی

نورهای قرمز و آبی با فعال سازی فیتوکرومها و کریپتوکرومها، فعالیت فتوسنتزی را افزایش داده و از طریق تنظیم بیان ژن ها و افزایش سنتز هورمون ژبیرلین، وزن تر و خشک گیاه را به طور معناداری بالا می‌برند. (Ouyang et al., 2015).

نتایج اثر ساده محلول پاشی اسید آسکوربیک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۳). تحقیقات نشان داده است که به کارگیری اسید آسکوربیک در شرایط خشکی در گیاه کلزا باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید (Ghorbanli et al., 2010). در گیاه بابونه آلمانی در شرایط تنش با اعمال تیمار برون‌زای اسید آسکوربیک، بیشترین وزن ماده خشک گیاه به دست آمد (Fathi et al., 2014). قربانلی و همکاران (Ghorbanli et al., 2010) دریافتند که بیشترین وزن خشک سیاهدانه در تیمار اسید آسکوربیک در شرایط تنش شوری به دست آمد. اسید آسکوربیک کوفاکتور مهم در بیوسنتز هورمون‌های گیاهی از جمله جبرلین بوده و از این طریق می‌تواند در افزایش تقسیم و گسترش سلول و رشد گیاه ایفای نقش نموده و موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه گردد (Pourghasemian & Moradi, 2017). که این نتایج با نتیجه تحقیق حاضر همسو است.

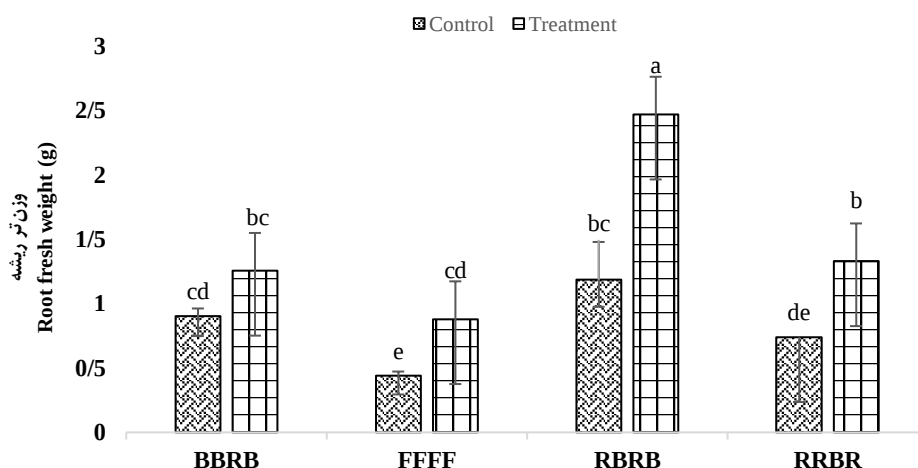
وزن تر ریشه

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار طیف نوری و اسید آسکوربیک بر وزن تر ریشه بیانگر این است که بیشترین وزن مربوط به گیاهان تیمار شده با اسید آسکوربیک در حضور طیف نوری قرمز-آبی (۵۰:۵۰) بود (شکل ۲).

سنتز گلیکوپروتئین‌های اکستنسین از هیدروکسی پرولین دیواره نقش دارد. اسید آسکوربیک یکی از ترکیبات مهم در حفظ حالت ردوکس سلولی می‌باشد که در شرایط تنش در عملکرد مناسب سلول دخالت می‌کند. این ترکیب به عنوان کوفاکتور مهم در بیوسنتز برخی هورمون‌های گیاهی از جمله جبرلین می‌تواند سبب افزایش تقسیم و توسعه سلولی و رشد گیاه گردد (Taqi et al., 2011). در پژوهشی بیان شد که بهبود رشد گیاه کلزا (*Brassica napus*) در حضور اسید آسکوربیک می‌تواند به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن باشد که با از بین بردن انواع اکسیژن‌های فعال موجب بهبود رشد گردید. بررسی‌ها نشان داد که آسکورات و آسکورات اکسیداز موجود در دیواره سلولی مستقیم و غیرمستقیم در دو عامل فوق و در نتیجه کنترل رشد دخالت دارد. همچنین آسکورات در تقسیم سلولی و تنظیم آن از طریق انتقال سریع یاخته‌ها از فاز G1 به فاز S چرخه سلولی دخالت دارند. اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک به عنوان اسیدهای آلی، نقش مهمی در ایجاد تغییرات فیزیولوژیک در گیاه و رشدونمو آن دارند.

وزن خشک بوته

اثر ساده مقایسه میانگین نشان داد که نور ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز (BBRB) بیشترین وزن خشک را بین طیف‌های نوری داشتند (جدول ۲). وزن خشک سه گونه نعنای در محیط‌های نوری قرمز، قرمز + آبی به طور معنی‌داری نسبت به سه محیط دیگر بیشتر بودند (Khezayi et al., 2021). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در طیف نوری قرمز ۳۰ آبی ۷۰ درصد مشاهده شد (Moradi et al., 2023). بیشترین وزن خشک به دست آمده در گیاه بادنجمبویه در نور قرمز + آبی حاصل شد (Ahmadi et al., 2019).



شکل ۲- اثر متقابل اسید آسکوربیک × طیف‌های نوری بر وزن تر ریشه ریحان

Figure 2- Interaction effect of light spectra × ascorbic acid on root fresh weight of basil basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)

همچنین گیاهانی که به صورت برونزا با اسید آسکوربیک با حضور نور آبی-قرمز (۷۵:۲۵) تیمار شدند دارای بیشترین وزن خشک ریشه‌ای بودند (جدول ۲).

بیشترین مقدار وزن خشک ریشه گیاه مریم‌گلی در نور ۷۰ قرمز ۳۰ درصد آبی و همچنین قرمز ۵۰ و آبی ۵۰ درصد به دست آمد (Moradi et al., 2023). در گیاه بادرنجویه، بیشترین وزن خشک ریشه در نور آبی حاصل شد (Ahmadi et al., 2019) از دلایل افزایش هورمون‌های اکسین و جیبرلین در نور می‌تواند این باشد که نور قرمز بر هورمون جیبرلین و نور آبی بر هورمون اکسین تأثیرگذار هستند. بنابراین این دو هورمون باعث افزایش وزن در کل گیاه می‌گردد (Ouyang et al., 2015). اسید آسکوربیک در شرایط تنش باعث افزایش وزن خشک ریشه کلزا گردید (Ghorbanli et al., 2010). اسید آسکوربیک بر افزایش وزن تر و خشک ریشه و وزن تر اندام هوایی مرزه نقش دارد (Kordbacheh, 2021). اسید آسکوربیک به عنوان یک کوآنزیم باعث ساخته شدن هورمون جیبرلین شده و این هورمون باعث افزایش وزن کل گیاهی به دلیل تجمع مواد فتوسنتزی می‌شود (Taqi et al., 2011) که با نتایج این پژوهش هم‌سو می‌باشد.

صفات فیتوشیمیایی

جدول تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی ریحان تحت تأثیر تیمارها نشان داد که اثر متقابل تیمارهای طیف نوری و اسید آسکوربیک در سطح یک درصد بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنول‌ها اختلاف معنی‌دار ایجاد کرد. علاوه بر این، اثر اصلی تیمار طیف‌های نوری و تیمار اسید آسکوربیک بر میزان فلاونوئید به ترتیب در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. (جدول ۴).

بیشترین وزن تر ریشه در گیاه مریم‌گلی در تیمار نور ۷۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی مشاهده شد. (Moradi et al., 2023). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2022).

بیشترین وزن ریشه گیاه کاهو در تیمارهای نور قرمز خالص، نور کامل، ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی و ۸۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد آبی مشاهده شد. نورهای قرمز و آبی با اثربخشی بر ژن‌های تولیدکننده جیبرلین و اکسین باعث افزایش وزن تر و خشک کل گیاه می‌گردد (Kaiser et al., 2019). در گیاه کلزا، تیمار اسید آسکوربیک در شرایط تنش باعث افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه شد (Ghorbanli et al., 2010). خدابخش و چاپارزاده (Khodabakhsh & Chaparzadeh, 2015) بیان داشتند که وزن تر ریشه شاهی با تیمار اسید آسکوربیک منجر به ساخته شدن هورمون‌های رشدی مثل جیبرلین و اکسین و باعث افزایش وزن گیاه می‌شود و در نتیجه وقتی وزن گیاه بالا رود، وزن ریشه هم به همان نسبت افزایش می‌یابد (Pourghasemian & Moradi, 2017). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج به دست آمده توسط این پژوهشگران هم‌راستا می‌باشد.

حجم ریشه

مقایسه میانگین اثر ساده نشان داد که گیاهان تیمار شده با اسید آسکوربیک دارای حجم ریشه بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده بودند (جدول ۳). اسید آسکوربیک به عنوان کوفاکتور با افزایش سنتز هورمون ژیببرلین، وزن گیاه را افزایش می‌دهد. این افزایش وزن می‌تواند به دلیل افزایش حجم ریشه و بهبود ثبات گیاه در خاک باشد. (Taqi et al., 2011).

وزن خشک ریشه

اثر متقابل تیمار طیف نوری و اسید آسکوربیک بر وزن خشک ریشه نشان داد که گیاهان شاهد طیف نوری قرمز-آبی (۷۵:۲۵) و

جدول ۳- اثر ساده تیمار اسید آسکوربیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ریحان

Table 3- The main effect of ascorbic acid treatment on morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum*)

فاکتور فرعی Sub factor	قطر ساقه Stem diameter (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaf	وزن تر بوته Fresh weight of plant (g)	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g)	حجم ریشه Root volume (ml)
عدم محلول‌پاشی Control	3.53 ^{b*}	7.33 ^b	13.5 ^b	6.6 ^b	0.66 ^b	0.6 ^b
محلول‌پاشی Treatment	4.6 ^a	9.33 ^a	16.33 ^a	9.54 ^a	0.97 ^a	1.01 ^a

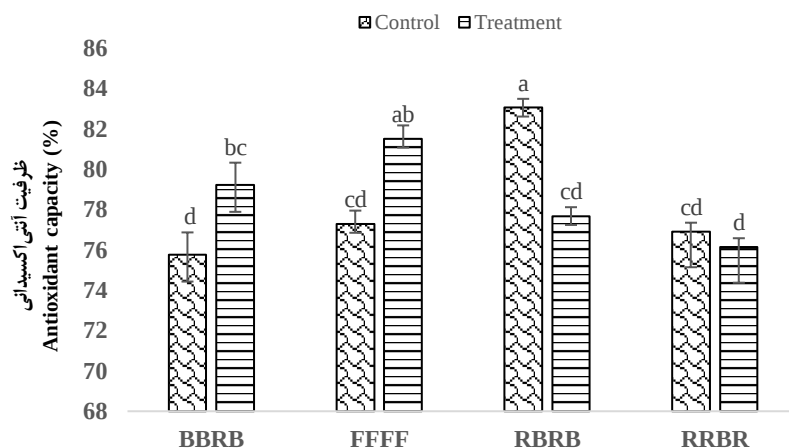
* در هرستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند

* Means within each column followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$)

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر طیف‌های نوری و اسید اسکوربیک بر برخی صفات فیتوشیمیایی گیاه ریحان
Table 4- ANOVA (mean of squares) for the effect of light spectra and ascorbic acid on some phytochemical traits of basil (*Ocimum basilicum*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoid
بلوک Block	2	8.672	0.998	0.002
طیف‌های نوری Light spectra	3	18.491*	30.023**	0.243**
خطای اصلی Main error	6	1.143	0.441	0.483
اسید اسکوربیک Ascorbic acid	1	0.343 ^{ns}	0.131 ^{ns}	7.747*
طیف‌های نوری × اسید اسکوربیک Light × ascorbic acid	3	11.371**	21.315**	0.559 ^{ns}
خطا Error	8	2.589	0.291	0.01
ضریب تغییرات CV (%)		2.05	11.68	5.27

*, **, ^{ns} و ^{ns}: به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار
*, ** and ^{ns}: significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, and non-significant, respectively



شکل ۳- اثر متقابل طیف‌های نوری × اسید اسکوربیک بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان
Figure 3- Interaction effect of light spectra × ascorbic acid on antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum*)(DMRT, $p \leq 0.05$)

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دو تیمار نشان داد که بیشترین اختلاف معنی‌داری مربوط به تیمار گیاهان شاهد طیف نوری ۵۰ درصد قرمز و ۵۰ درصد آبی (RBRB) بودند (شکل ۳). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که نور قرمز باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه اسطوخودوس شد (Naznin et al., 2019). همچنین یافته‌های دیگر نشان داد که نورهای قرمز باعث افزایش میزان آنتی‌اکسیدان در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) گردید که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق هم‌راستا می‌باشد (Wu et al., 2017).

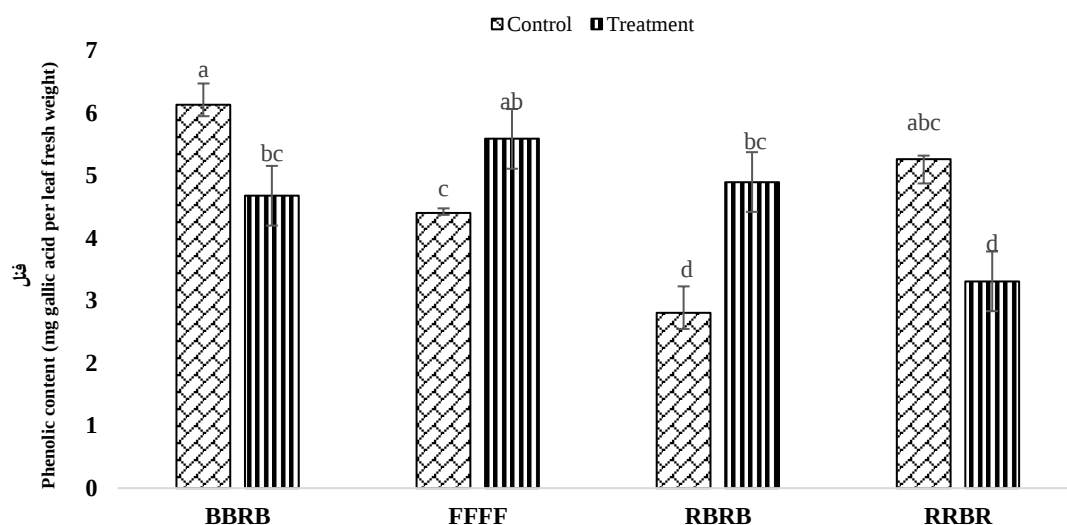
نور آبی بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در کلون‌های نعنا فلفلی داشت. دلیل این موضوع این‌طور بیان شد که نور آبی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه گردد، ولی این تأثیر به‌شدت به ژنوتیپ گیاه بستگی دارد. از آنجایی که نور شدید قرمز و آبی برای گیاه نعنا می‌تواند نوعی تنش محسوب گردد، احتمالاً افزایش محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه نعنا می‌تواند در جلوگیری از تولید و تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن نقش داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که برخی نعنایان در کلون‌های اصفهان تحت تأثیر نور آبی و کلون‌های قزوین تحت تأثیر نورهای

جهت خنثی‌سازی اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در پراکسید کردن لیپیدها پروتئین‌ها حتی اسیدنوکلئیک‌ها نیز بیشتر است (Emam & Helal, 2008).

محتوی فنل

مقایسه میانگین‌ها بیانگر این است که گیاهان شاهد تیمار طیف نوری آبی-قرمز (۷۵:۲۵) دارای افزایش حدود ۳۹ درصدی میزان فنل نسبت به ریحان‌های شاهد در نور کامل بودند (شکل ۴).

قرمز قرار گرفتند. اینکه چه سازوکارهایی موجب می‌شود که این ترکیبات برخی با نور قرمز و برخی با نور آبی واکنش دهند، هنوز مشخص نیست (Heydarizad et al., 2014). احتمالاً این طول موج‌ها با برخی از ژن‌ها مرتبط است که مسئول نهایی افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه می‌گردد (Sabzalian et al., 2014). نتایج کاربرد اسید آسکوربیک در شرایط تنش در گیاه مرزنجوش نشان داد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه افزایش یافت (Salahvarzi et al., 2011). هرچه میزان ترکیبات و آنزیم‌های مؤثر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه بیشتر باشد، توانایی گیاه در



شکل ۴- اثر متقابل طیف‌های نوری «اسید آسکوربیک بر میزان فنل گیاه ریحان

Figure 4- Interaction effect of light spectra $\times$ ascorbic acid on total phenolic content of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)

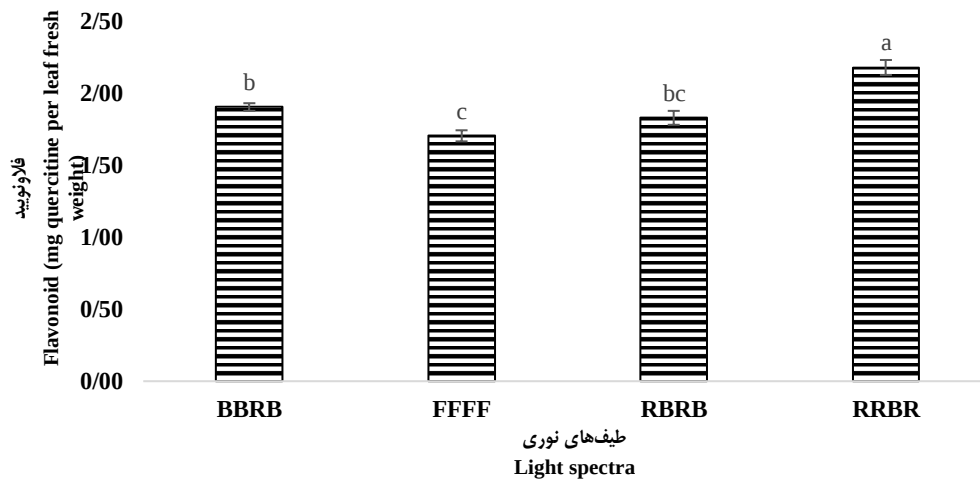
و آلودگی بیمارگرها) و محرک‌های مختلف برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه استفاده شده است، زیرا بیوستنز فنیل پروپانویدها از مسیر شیکیمات می‌گذرد و توسط یک گروه آنزیمی هدایت می‌شود که اولین مرحله در تولید فنیل پروپانویدها عمل آمین‌زدایی توسط آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (PAL) بر روی L- فنیل آلانین است که منجر به ساخت ترکیبات فنلی از اسید سینامیک می‌شود (Iijima et al., 2004). انواع تنش‌ها از عوامل مؤثر در افزایش بیان و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز هستند که منجر به ترکیبات فنلی در گیاه می‌شوند (Sgarbi, 2003). پژوهشگران دریافته‌اند که پیش‌تیمار گیاهان آربیدوپسیس با نورهای LED آبی و قرمز قبل از تنش زخم باعث افزایش ترکیبات فنلی کل و افزایش بیان نسبی ژن فنیل آلانین آمونیالیز شده است (Mirza-Hosseini et al., 2020).

یافته‌ها نشان داد که محتوای فنل کل جوانه‌های کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) رشد یافته در نور آبی در مقایسه با شاهد بیشتر بود (Qian et al., 2016). رفیعی و همکاران (Rafiei et al., 2023) گزارش دادند که بیشترین میزان فنل ریحان تحت شرایط نوری در LEDهای قرمز + آبی بودند. بیشترین میزان فنل به‌دست‌آمده در میکروگرین‌های گیاه ترپچه در نور آبی بیشتر از نور قرمز بود (Faridi et al., 2022). این یافته‌ها با نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر همسو می‌باشد. همچنین دلیل افزایش ترکیبات فنلی که توسط محققان بیان شد می‌تواند این باشد که ترکیبات فنلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از طریق غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد لیپیدی و یا از طریق جلوگیری از تجزیه شدن هیدروپراکسیدها به رادیکال‌های آزاد نشان می‌دهند. در مطالعات پیشین از تنش‌های محیطی (درجه حرارت بالا و پایین، خشکسالی، شوری، اشعه فرابنفش

محتوی فلاونوئید

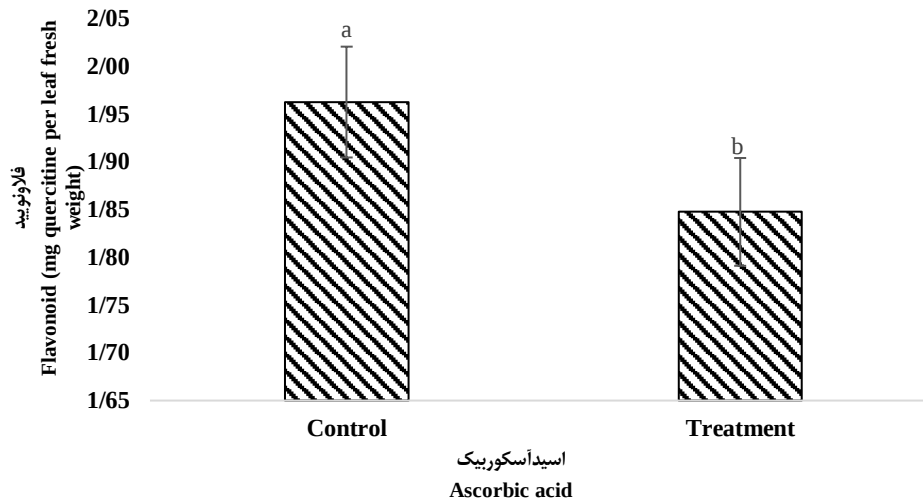
اثر ساده طیف‌های نوری بیانگر این است که طیف نوری قرمز-آبی (۷۵:۲۵) باعث افزایش ۲۸ درصدی فلاونوئید نسبت به نور کامل گردید (شکل ۵). بیشترین میزان به‌دست‌آمده فلاونوئید در گیاه ریحان در کارخانه گیاهی در نور قرمز آبی حاصل شد (Chutimanukul et al., 2022). یکی از کارهای عمده فلاونوئیدها در سلول برگ مراقبت

از تنش فتواکسیداتیو می‌باشد. بیشترین میزان فلاونوئید در گیاه ترپچه در نور قرمز مشاهده شد که با یافته‌های حاصل از این پژوهش همسو می‌باشد (Faridi et al., 2022). یکی از دلایل افزایش میزان فلاونوئید می‌تواند این باشد که نور یک فاکتور غیرزنده است که بر بیان ژن فلاونوئید و تجمع و ساخت آن نقش دارد (Huche et al., 2016).



شکل ۵- اثر ساده طیف‌های نوری بر میزان فلاونوئید گیاه ریحان

Figure 5- The simple effect of light spectra on flavonoid content of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۶- اثر ساده اسید آسکوربیک بر میزان فلاونوئید گیاه ریحان

Figure 6- The simple effect of ascorbic acid on flavonoid content of basil (*Ocimum basilicum*) (DMRT, $p \leq 0.05$)

که مسیرهای متابولیکی دچار اشباع شده و یا افزایش بیش از حد آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند اسید آسکوربیک منجر به اختلال در تعادل اکسیداتیو شده و پاسخ‌های دفاعی گیاه را سرکوب می‌کند. همچنین این تیمار سمیت نسبی یا تنش فیزیولوژیکی ایجاد کرد که به جای

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک نتوانست باعث افزایش میزان فلاونوئید گردد (شکل ۶). محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در ریحان نشان داد که در غلظت‌های بالا می‌تواند منجر به کاهش میزان فلاونوئید گردد. از دلایل آن می‌تواند این باشد

نظیر قطر ساقه، تعداد برگ، وزن تر و خشک بوته و حجم ریشه شد. همچنین این ترکیبات نوری و شیمیایی بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی مانند فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل و فلاونوئید اثرات متفاوتی داشتند، به‌طوری‌که برخی ترکیبات نوری به‌تنهایی اثرات قوی‌تری نسبت به کاربرد اسید آسکوربیک نشان دادند. این نتایج راهکار عملی و مؤثری برای بهینه‌سازی تولید ریحان در محیط‌های کنترل‌شده مانند گلخانه‌ها و سیستم‌های کشت عمودی ارائه می‌دهد و نشان‌دهنده اهمیت مدیریت کیفیت نور و تغذیه گیاهی در ارتقای کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی است.

تحریک سنتز ترکیبات ثانویه، منجر به کاهش آن‌ها شد. (Azoz et al., 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از طیف‌های نوری LED با نسبت‌های مختلف قرمز و آبی، به‌ویژه ترکیب ۷۵:۲۵ قرمز به آبی، به‌طور قابل توجهی رشد و عملکرد ریحان را در شرایط نور محدود بهبود بخشید. افزودن محلول پاشی اسید آسکوربیک به این شرایط نوری، اثرات مثبت را تقویت کرده و منجر به افزایش صفات رشدی

References

- Abidi, F., Girault, T., Douillet, O., Guillemain, G., Sintès, G., Laffaire, M., Ben Ahmed, H., Smiti, S., Huche Thelie, L., & Leduc, N. (2013). Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. *Plant Biology* 15(3), 67-74. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00603.x>
- Abraham, E. M., Huang, B., Bonos, S. A., & Meyer, W. A. (2004). Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, Kentucky bluegrass, and their hybrids. *Crop Science*, 44(5), 1746-1753. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1746>
- Afshari, M., & Rahimalekmaadi, M. (2021). Assessment of phenolic compounds, essential oil, and antioxidant activity of yarrow (*Achillea millefolium* L.) during growth stages. *Plant Process and Function*, 6, 15-25. (In Persian)
- Ahmadi, T., Shabani, L., & Sabzalian, M. R. (2019). Improvement in drought tolerant of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pre-treatment of LED lighting. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139(3), 548-557. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.021>
- Arab, S., Firoozabadi, M., Asghari, H., Gholami, A., & Rahimi, M. (2012). Effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application on some traits of safflower under drought stress. Paper presented at the 12th Congress of Crop Science and Plant Breeding, Islamic Azad University, Karaj, Iran. 14-16 September. (In Persian) <https://doi.org/10.22055/ppd.2016.11845>
- Asadi, B., Cheniany, M., & Lahouti, M. (2019). Comparative study the effect of the external treatments of silicon and ascorbic acid on antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Plant Process and Function*; 7(27), 135-150. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2322727.1397.7.27.13.4>
- Azoz, S. N., El-Taher, A. M., Boghdady, M. S., & Nasser, D. M. (2016). The impact of foliar spray with ascorbic acid on growth, productivity, anatomical structure of volatile and fixed oils of basil plant. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(4), 549-565.
- Azzedine, F., Cherroucha, H., & Baka, M. (2011). Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7(1), 27-37.
- Banerjee, R., & Batschauer, A. (2005). Plant blue-light receptors. *Planta*, 220(3), 498-502. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1418-z>
- Barkosky, R. R., & Einhellig, F. A. (2003). Allelopathic interference of plant-water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 44(1), 58-53.
- Boroumand, M. A., & Safari, V. R. (2015). Study of the effect of foliar application of ascorbic acid and thiamine on some morphological traits of calendula. Paper presented at the 9th Congress of Horticultural Science. January. 1-4. (In Persian)
- Bugbee, B. (2016). In toward an optimal spectral quality for plant growth and development: The importance of radiation capture. *Acta Horticulturae*, 1134(1), 1-12.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colometric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Chen, X. L., Xue, X. Z., Guo, W. Z., Wang, L. C., & Qiao, X. J. (2016). Growth and nutritional properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and supplemental light provided by light-emitting diode. *Scientia Horticulturae*, 200, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.007>
- Chen, Z., & Gallie, D. R. (2004). The Ascorbic acid redox state controls guard cell signaling and stomatal movement. *The Plant and Cell*, 16, 1143-1162. <https://doi.org/10.1105/tpc.021584>

16. Chutimanukul, P., Jindamol, H., Thongtip, A., Korinsak, S., Romyanon, K., & Toojinda, T. (2022). Physiological responses and variation in secondary metabolite content among Thai holy basil cultivars (*Ocimum tenuiflorum* L.) grown under controlled environmental conditions in a plant factory. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1008917. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008917>
17. Darabi, A., Moghaddam, M., & Shoor, M. (2021). Morphophysiological responses of basil to carbon dioxide and ethanol nutrition. *Plant Nutrition Research*, 4(1), 129-142. (In Persian). <https://doi.org/10.22070/HPN.2021.14222.1134>
18. Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., & Sabzalian, M. R. (2014). Photosynthesis under artificial light: The shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(6), 2013-2043. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0243>
19. Dowlatabadi, A., Modarres Sanavi, S. A. M., & Sharifi, M. (2009). Effect of drought stress and ascorbic acid foliar spray on the activity of antioxidant enzymes and some biochemical changes in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Iranian Journal of Biology*, 22(3), 407-421.
20. Ding, Z., Galvan-Ampudia, C. S., Demarsy, E., Langowski, L., Kleine-Vehn, J., Fan, Y., Morita, M. T., Tasaka, M., Fankhauser, C., Offringa, R., & Friml, J. (2011). Light-mediated polarization of the PIN3 auxin transporter for the phototropic response in *Arabidopsis*. *Nature Cell Biology*, 13(4), 447-452. <https://doi.org/10.1038/ncb2208>
21. Esmailpour, B., Moradi, M., Torabi, M., & Ahadzadeh, M. (2023). Effect of ascorbic acid on morphological and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum*) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(4), 568-588. (In Persian)
22. Emam, M. M., & Helal, N. M. (2008). Vitamins minimize the salt-induced oxidative stress hazards. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2, 1110-1119.
23. Farahvash, F., Mirshakari, B., Farzanian, M., & Hosseinzadeh, E. M. (2015). Effect of zinc sulfate and ascorbic acid on some morphophysiological traits of purple coneflower (*Echinacea purpurea*) under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(1), 57-78. (In Persian)
24. Faridi, T., Maleki, H., Torabi, M., & Heydarnajhad, R. (2022). Study of the effects of growth medium and light quality on the morphology and nutritional quality of radish microgreens. *Iranian Journal of Vegetable Science*, 12(2), 43-56. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.553294.1205>
25. Fathi, A., Fouladvand, S., Askari, F., Imani, M., & Mehdinia, J. (2014). Effect of salinity and ascorbic acid on growth characteristics of German chamomile (*Chamomilla recutita*). *Desert Margin Research*, 11(3), 197-208. (In Persian)
26. Gheysari, S., Nematpour, F., & Afshar, A. (2015). Effect of salicylic acid and ascorbic acid on photosynthetic pigments and antioxidant enzyme activities in basil (*Ocimum basilicum*) under lead stress. *Plant Research Journal*, 28(4), 814-825. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1394.28.4.13.4>
27. Gressel, J. and Galun, E. 1994. Genetic controls of photooxidant tolerance. In: Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defence Systems in Plants (Foyer, C.H. and Mullineaux, P.M. Eds.). CRC Press, Boca Raton, USA 25(2): 237-273.
28. Ghorbanli, M., Hashemi, N., & Peyvandi, M. (2010). Effect of salinity and ascorbic acid on physiological responses of black cumin (*Nigella sativa*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26(3), 370-388. (In Persian)
29. Heidarizad, P., Zahedi, M., & Sabzalian, M. (2014). Effect of LED light on plant performance, essential oil percentage, and antioxidant enzyme activity in peppermint. *Plant Process and Functions*, 3(8), 13-24. (In Persian)
30. Heo, J. W., Kang, D. H., Bang, H. S., Hong, S. G., Chun, C. H., & Kang, K. K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 30(1), 6-12.
31. Hiyama, A., Takemiya, A., Munemasa, S., Okuma, E., Sugiyama, N., Tada, Y., Murata, Y., & Shimazaki, K. I. (2017). Blue light and CO₂ signals converge to regulate light-induced stomatal opening. *Nature Communications*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01237-5>
32. Hosseini, A., Zare Mehrjerdi, M., Aliniaiefard, S., & Seif, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(3), 741-752. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00647-7>
33. Huche-Thelier, L., Crespel, L., Le Gourrierrec, J., Morel, P., Sakr, S., & Leduc, N. (2016). Light signaling and plant responses to blue and UV radiations-perspectives for applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.009>
34. Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2019). Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse grown tomatoes, but only to an optimum. *Frontiers in Plant Science*. 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002>

35. Iijima, Y., Rikanati, R. D., Fridman, E., Gang, D. R., Bar, E., Lewinsohn, E., & Pichersky, E. (2004). The biochemical and molecular basis for the divergent in the biosynthesis of terpenes and phenylpropenes in the peltate gland of three cultivars of basil. *Plant Physiology*, 136, 3724-36. <https://doi.org/10.1104/pp.104.051318>
36. Javanmardi J., Khalighi A., Kashi A., Bais H. P., & Vivanco, J. M. (2002). Chemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicines in Iran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 5878-5883.
37. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *American Society for Horticultural Science*, 45, 1809-1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
38. Karimi, M., Niayifar, S., Mohammadian, M., Hami, E., Seifi, M., Rouzban, M., & Mousavi, H. (2022). Effect of different light spectra on the growth and morphology of lettuce in plant factory systems. *Agricultural Systems and Mechanization Research*, 23(83), 69-86. (In Persian)
39. Khezayi, M., Rafiei, F., Sabzalian, M., & Houshmand, S. (2021). Effect of different LED light spectra on morphophysiological traits of three mint species. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 461-471. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.298413.1771>
40. KhodaBakhsh, A., & Chaparzadeh, N. (2015). Role of ascorbic acid in mitigating oxidative stress caused by salinity in garden cress. *Plant Research Journal*, 28(1), 175-185. (In Persian)
41. Kopsell, D. A., Sams, C. E., & Morrow, R. C. (2017). Interaction of light quality and fertility on biomass, shoot pigmentation and xanthophyll cycle flux in Chinese kale. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 911-917. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7814>
42. Kordbacheh, H. (2021). Effect of foliar application of ascorbic acid and salicylic acid on growth indices and enzyme activity of summer savory (*Satureja hortensis*). *Iranian Journal of Plant and Biotechnology*, 2(16), 11-18. (In Persian)
43. Kuno, Y., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J., & Ohdoi, K. (2017). Effects of irradiation patterns and light quality of red and blue light-emitting diodes on growth of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. "Greenwave"). *Environmental Control in Biology*, 55, 129-135. <https://doi.org/10.2525/ecb.55.129>
44. Liu, Y., Ren, X., & Jeong, B. R. (2019). Supplementary light source affects growth, metabolism, and physiology of *Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC. Seedlings. *BioMed Research International*, 2019, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2019/6283989>
45. Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C. H., & Jeong, B. R. (2015). Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 56(6), 105-113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>
46. Martineau, V., Lefsrud, M., Naznin, M. T., & Kopsell, D. A. (2012). Comparison of lightemitting diode and high-pressure sodium light treatments for hydroponics growth of Bostonlettuce. *HortScience*, 47, 477-482. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.4.477>
47. Massa, G. D. (2006). Plant growth lighting for space life support: A review. *Gravitational and Space Research*, 19, 19-30.
48. Mazari, H., Delshad, M., & Alinia, S. (2022). Effects of far-red light addition to photosynthetically active radiation spectrum on growth and morphology of basil (*Ocimum basilicum*) under controlled environment. *Plant Production Research*, 30(1), 149-164. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2022.20312.2943>
49. Mirzahosseini, Z., Shabani, L., & Sabzalian, M. R. (2020). LED lights increase an antioxidant capacity of *Arabidopsis thaliana* under wound-induced stresses. *Functional Plant Biology*, 47, 853-864. <https://doi.org/10.1071/fp19343>
50. Mohammadi, A., Tadayyon, M. R., & Karimzadeh, H. (2022). Effect of potassium sulfate and ascorbic acid on quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline soil conditions. *Journal of Crop and Horticultural Products Production and Processing*, 12(1), 15-30. (In Persian)
51. Moradi, M., Abedi, M., Arviei, H., Ali Niayifar, S., & Ghasemi Bezdi, K. (2023). Effect of different light spectra on photosynthetic performance, growth indices, and essential oil content of sage (*Salvia officinalis* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 37(3), 821-841. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78806.1211>
52. Naznin, M. T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Azad, M. O. K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*, 8(4), 1-12. <https://doi.org/10.3390/plants8040093>
53. Omidbeigi, R. (2011). Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 3, 6th ed.. Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, Iran. 397 p. (In Persian)
54. Ouyang, F., Mao, J., Wang, J., Zhang, S., & Li, Y. (2015). Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. *Plos One*, 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127896>

55. Pourghasemian, N., & Moradi, R. (2017). Assessing effect of drought stress and ascorbic acid application on some growth and bio-chemical parameters of marigold (*Calendula officinalis* L). *Journal of Plant Process and Function*, 6(19), 77-88.
- Qian, H., Liu, T., Deng, M., Miao, H., Cai, C., Shen, W., & Wang, Q. (2016). Effects of light quality on main healthpromoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. *Food Chemistry*, 196(3), 1232-1238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.055>
57. Rafiei, M., Shabani, L., & Sabzalian, M. (2023). Effect of LED light priming on growth indices, antioxidant enzymes, and total phenolic compounds in basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Plant Process and Function*, 12(54), 259-274. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6>
58. Rihan, H. Z., Aldarkazali, M., Mohame, S. J., McMulki, N. B., Jbara, M. H., & Fulle, M. P. (2020). A novel new light recipe significantly increases the growth and yield of sweet basil (*Ocimum basilicum*) grown in plant factory system. *Agronomy*, 10(8), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070934>
59. Ryu, J. H., Seo, K. S., Choi, G. L., Rha, E. S., Lee, S. C., Choi, S. K., Kong, S. Y., & Bae, C. H. (2012). Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion (*Taraxacum officinale*). *The Korean Journal of Plant Resources*, 25(6), 731-738. <https://doi.org/10.7732/kjpr.2012.25.6.731>
60. Sabzalian, M. R., Zahedi, M., Agharokh, M., Sahba, M. R., & Schoefs, B. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 879-886. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0209-6>
61. Sgarbi, E., Fornasiero, R. B., Lins, A. P., & Bonatti, P. M. (2003). Phenol metabolism is differentially affected by ozone in two cell lines from grape (*Vitis vinifera* L.) leaf. *Plant Science*, 165, 951-7. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00219-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00219-X)
62. Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55. <https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49>
63. Shimazaki, K., Doi, M., Assmann, S. M., & Kinoshita, T. (2007). Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, 58(1), 219-247. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105434>
64. Salahvarzi, Y., Goldani, M., Nabati, J., & Alirezaei, M. (2011). Effect of exogenous application of ascorbic acid on phytochemical changes in marjoram under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(2), 159-167. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008482.1390.42.2.6.9>
65. Son, K. H., & Oh, M. M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *Horticulture Science*, 48(8), 988-995. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988>
66. Safidkon, F. (2008). Strategic research program on medicinal plants. Forests and Rangelands Research Institute, Agricultural Extension, Education and Research Organization, Ministry of Jihad Agriculture.
67. Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tami, M., & Miyagawa, Y. (2002). Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany*, 53(3), 1305-1319.
68. Taqi, A. K., Mazid, M., & Firoz, M. (2011). A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *Journal of Agrobiolgy*, 28(2), 97-111.
69. Tohidi, B., Rahimmalek, M., Arzani, A., & Sabzalian, M. R. (2020). Thymol, carvacrol and antioxidant accumulation in thymus species in response to different light spectra emitted by light-emitting diodes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 12(55), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125521>
70. Verma, S. K., Gantait, S., Jeong, B. R., & Hwang, S. J. (2018). Enhanced growth and cardenolides production in *Digitalis purpurea* under the influence of different LED exposures in the plant factory. *Scientific Reports*, 8, 18009. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36113-9>
71. Yadollahi, P., Asghari, M. R., Bagheri, A., Kheiri, N., & Amiri, A. (2016). Effect of ascorbic acid on some physiological and biochemical traits of basil under arsenic toxicity. *Plant Production Technology*, 16(1), 207-217. (In Persian). <https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1775>
72. Wu, M. C., Hou, C. Y., Jiang, C. M., Wang, Y. T., Wang, C. Y., Chen, H. H., & Chang, H. M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101(2), 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>
73. Wheeler, R. M., Mackowiak, C. L., & Sager, J. C. (1991). Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting. *Agronomy Journal*, 83(5), 903-906. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050024x>
74. Zhang, S., Ma, J., Zou, H., Zhang, L., Li, S., & Wang, Y. (2020). The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops and Products*, 158, 112959. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112959>

Investigating the Effect of Humic Acid and Potassium Silicate Fertilizers on Growth Indicators, Yield and Essential Oil of Cumin (*Cuminum cyminum* L.)

M. H. Aminifard^{1,2*}, L. Asdollahi¹, H. Bayat¹

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

2- Regional Plant Research Center, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

(*- Corresponding author's Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir)

Received: 01 June 2025

Revised: 08 September 2025

Accepted: 13 September 2025

Available Online: 13 September 2025

How to cite this article:

Aminifard, M. H., Asdollahi, L., & Bayat, H. (2026). Investigating the effect of humic acid and potassium silicate fertilizers on growth indicators, yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 281-296. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93814.1433>

Introduction

Cumin (*Cuminum cyminum* L.) is one of the most important domestic herbs in Iran and is one of the earliest spices used by humans. Due to its characteristics such as short growing season, low water requirement, non-interruption of growth season with other agricultural products as well as high economic justification for other crops and export, it has found a special place in arid and semi-arid areas. Organic and chemical fertilizers are necessary for each other and both types of fertilizers are needed to create favorable conditions to improve quantitative and qualitative traits. Overuse of chemical fertilizers has caused several problems in agriculture including changes in the soil structure, contamination of underground waters, and heavy metal toxicity. Agricultural scientists suggest replacing chemical fertilizers with organic products to reduce negative effects on the environment and soil properties. In recent years, neglecting the importance of organic matters to improve soil fertility has led to an increase in chemical fertilizer use in Iran. Organic matter, due to its positive effects on soil, is identified as one of the important pillars of soil productivity. However, more than 60 percent of agricultural soils in Iran contain less than one percent of organic matter. Therefore, the objective of this study was to investigate the influence of humic acid and potassium silicate on morphology parameters and the essential oil yield of cumin.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of humic acid and potassium silicate on the growth and yield of Birjand cumin, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with replication in the research field of the Faculty of Agriculture, Birjand University in 2023. The first factor included humic acid at three levels (0, 5, and 10 kg.ha⁻¹) and the second factor was potassium silicate at three levels (0, 2, and 4 per thousand). Humic acid fertilizer was applied with irrigation water at the three-leaf stage, tillering and after fruit formation of cumin. Potassium silicate fertilizer was applied as a foliar spray at the three-leaf stage, tillering and after fruit formation of cumin. After the crop ripened, the plant height, number of lateral shoots per plant, number of umbels per plant, number of umbels per umbel, number of seeds per umbel, 1000-seed weight, seed yield, percentage and yield of essential oil were measured.

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that the use of potassium silicate and humic acid had a significant effect on the vegetative (plant height, number of lateral shoots), reproductive (number of umbels per plant, number of umbels per umbel, number of seeds per umbel, 1000 weight seed and seed yield) and essential oil characteristics of cumin, such that the highest plant height (15.27 cm) and the number of lateral shoots (3.77)



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93814.1433>

were obtained from the use of 2 per thousand potassium silicate and the highest fresh and dry plant weight was obtained from the use of 4 per thousand potassium silicate. The results of the interaction of treatments showed that the highest 1000-seed weight, seed yield and essential oil yield were obtained from the use of 4 per thousand potassium silicate and 10 kg.ha⁻¹ humic acid, and the highest plant height, number of umbels and number of seeds per umbel were obtained from the use of 2 per thousand potassium silicate and 5 kg.ha⁻¹ humic acid.

Conclusion

In general, the results indicated a positive effect of potassium silicate and humic acid on cumin yield and yield components. Therefore, according to the findings of this study, it seems that simultaneous use of potassium silicate (4 per thousand) and humic acid (10 kg.ha⁻¹) can be used to improve the seed yield and essential oil of cumin.

Keywords: Chemical fertilizer, Medicinal plant, Organic fertilizer, Silica

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص. ۲۹۶-۲۸۱

بررسی تأثیر اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

محمد حسین امینی فرد^۱  - لیلا اسدالهی^۱ - حسن بیات^۱ 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

چکیده

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از جمله مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین گیاهان دارویی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. به‌منظور بررسی اثر اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر رشد و عملکرد زیره سبز آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۴۰۲ انجام شد. عامل اول شامل اسید هیومیک در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل دوم پتاسیم سیلیکات در سه سطح (صفر، دو و چهار در هزار) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف پتاسیم سیلیکات و اسید هیومیک بر خصوصیات رویشی، زایشی و اسانس زیره سبز معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته و تعداد ساقه فرعی از مصرف دو در هزار پتاسیم سیلیکات و بیشترین وزن تر و خشک بوته از مصرف چهار در هزار پتاسیم سیلیکات به دست آمد. نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد اسانس از مصرف چهار در هزار پتاسیم سیلیکات و ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و بیشترین ارتفاع بوته، تعداد چترک و تعداد دانه در چترک از مصرف دو در هزار پتاسیم سیلیکات و ۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، به‌نظر می‌رسد که استفاده هم‌زمان از پتاسیم سیلیکات (چهار در هزار) و اسید هیومیک (۱۰ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند برای بهبود بخشیدن به عملکرد دانه و اسانس زیره سبز مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیلیس، کود آلی، کود شیمیایی، گیاه دارویی

مقدمه

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L. متعلق به خانواده چتریان^۲ و دارای ۲n=۱۴ کروموزوم است (Jafari et al., 2017; Bhatt et al., 2017). این گیاه یک‌ساله یکی از قدیمی‌ترین فرآورده‌های طبیعی معطر و علفی است که دارای خواص دارویی و غذایی متعدد است. زیره سبز همچنین در صنایع نوشیدنی، غذایی، دارویی، عطری و لوازم بهداشتی کاربرد وسیعی دارد (Bhatt et al., 2017) و برای درمان بیماری‌های مختلفی مانند تشنج، صرع و دیابت

مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bayati et al., 2020). یکی از الزامات گیاهان دارویی، توجه به مواد مغذی مورد نیاز آن‌هاست (Mohammadi et al., 2015). کودهای آلی به‌عنوان یک جزء کلیدی کشاورزی پایدار، کمک زیادی به بهبود حاصلخیزی خاک می‌کند. استفاده از کودهای آلی می‌تواند باعث افزایش کیفیت گیاه و کاهش آلودگی محیطی ناشی از کود شیمیایی شود (Li et al., 2017).

اسید هیومیک به‌عنوان یک کود آلی برای افزایش بهره‌وری و کیفیت گیاهان دارویی و معطر استفاده می‌شود (El-Banna & Fouda, 2018; Hassan, 2019). اسید هیومیک حاوی حدود ۶۰ درصد کربن آلی است که نقش مهمی در رشد ریزجاندانان خاک دارد (Sible et al., 2021). اسید هیومیک علاوه بر کربن آلی حاوی نیتروژن، اکسیژن، هیدروژن و گوگرد است. اسیدهای هیومیک چندین نقش مهم ایفا می‌کنند، مانند افزایش فعالیت‌های فیزیکی و

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- مرکز پژوهشی گیاهان ویژه منطقه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93814.1433>
2- Apiaceae

بیوشیمیایی خاک از طریق بهبود ساختار، بافت، ظرفیت نگهداری آب و جمعیت میکروبی (Nardi et al., 2017; Fuentes et al., 2018; Shah et al., 2018)، افزایش در دسترس بودن مواد مغذی خاک به‌ویژه ریزمغذی‌ها با کلاته کردن و انتقال مشترک ریز مغذی‌ها به گیاهان (Yang et al., 2021)، اسیدهای هیومیک همچنین با افزایش هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند اکسین و سیتوکینین که به مقاومت در برابر تنش، متابولیسم مواد مغذی و فتوسنتز کمک می‌کنند، رشد محصول را افزایش می‌دهند (Laskosky et al., 2020; Nardi et al., 2021). محققان افزایش عملکرد زیره در نتیجه استفاده از اسید هیومیک (چهار لیتر در هکتار، ۳۰۰ میلی گرم در لیتر) را گزارش کردند (Nasiri Dehsorkhi et al., 2018; Rahghoshahi et al., 2022). کاربرد شش گرم در مترمربع اسید هیومیک سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه و وزن خشک گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) شد (Nassif et al., 2023). افزایش غلظت محلول پاشی اسید هیومیک از صفر به سه درصد باعث افزایش ۶۹/۲۸ درصدی عملکرد اسانس نعناع (*Mentha* sp) شد (Alavi et al., 2023).

علاوه بر کودهای آلی، کودهای شیمیایی نیز یکی از مهم‌ترین نهادهای کشاورزی است که استفاده مدیریت‌شده از آن‌ها به‌منظور افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌عنوان سریع‌ترین رویکرد رفع نیازهای تغذیه‌ای گیاه در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه بسیار مرسوم و موفقیت‌آمیز بوده است (Al-Taai, 2021). پتاسیم یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی و پرمصرف شیمیایی در رشدونمو گیاهان است. پتاسیم در فتوسنتز گیاهان، فعال شدن آنزیم، سنتز پروتئین و سایر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی شرکت می‌کند (Amtmann et al., 2006). کمبود پتاسیم باعث اختلال مستقیم در این فعالیت‌ها می‌گردد که منجر به کاهش سرعت رشد گیاه، تسریع پیری برگ‌ها و حتی پژمردگی دائمی گیاه می‌شود (Pujos & Morard, 1997). علاوه بر این، پتاسیم مقاومت گیاه را در برابر عوامل تنش‌زا مانند خشکی، شرایط قلیایی و شوری افزایش می‌دهد (Zahoor et al., 2017).

پتاسیم سیلیکات یکی از کودهای شیمیایی غنی از پتاسیم و سیلیکون بسیار محلول است. این ماده در سیستم‌های تولید کشاورزی عمدتاً به‌عنوان یک ماده اصلاح‌کننده سیلیس استفاده می‌شود و دارای مقادیر کمی پتاسیم است (Abou-Baker et al., 2011). سیلیکون یک ماده مغذی ضروری گیاه در نظر گرفته نمی‌شود. با این حال، در چندین گونه گیاهی سبب مقاومت به بیماری، تحمل به تنش غیرزیستی و تغییر صفات ریخت‌شناختی شده است (Mattson & Leatherwood, 2010). سیلیکون نقش مهمی در بهبود رشد،

افزایش فتوسنتز، راندمان تبخیر و ترقق، افزایش استحکام برگ‌ها، غلظت کلروفیل در سطح برگ و کیفیت محصول دارد (Talebi et al., 2015). طی مطالعه‌ای که روی سیاهدانه انجام شد مشخص گردید که با مصرف هشت میلی‌لیتر در لیتر پتاسیم سیلیکات بیش‌ترین ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه و عملکرد دانه حاصل شد (El-Sarhan & Shehata, 2019). سرهان و شهاتا (Sarhan & Shehata, 2019) نشان دادند که پتاسیم سیلیکات (سه سانتی‌متر مکعب در لیتر) به‌طور قابل توجهی بر ارتفاع بوته و وزن خشک گیاه در هر بوته زینان رومی (*Trachyspermum ammi* L.) تأثیر می‌گذارد. محلول پاشی ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم سیلیکات بر بوته‌های ریحان (*Ocimum basilicum* L.) باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه در هر بوته نسبت به شاهد (بدون محلول پاشی) شد. علاوه بر این محلول پاشی پتاسیم سیلیکات باعث افزایش معنی‌دار رشد ریحان فرانسوی و درصد اسانس گردید (Massoud et al., 2024).

استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی به‌همراه کودهای آلی رویکرد پایدار برای استفاده کارآمد از عناصر غذایی است که باعث افزایش کارایی کودهای شیمیایی، بهبود خواص فیزیکی خاک و کاهش تلفات مواد مغذی می‌گردد (Mahmood et al., 2017). سهرابی و همکاران (Sohrabi et al., 2021) در آزمایشی که با هدف بررسی اثر کودهای آلی، بیولوژیکی و شیمیایی بر اجزاء عملکرد و عملکرد روغن دانه سیاهدانه انجام دادند، گزارش کردند که کاربرد سطوح مختلف کودهای آلی و شیمیایی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک و دانه گیاه سیاهدانه در مقایسه با شاهد شد. براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام‌شده توسط محققان، استفاده از اسید هیومیک با کود NPK به‌طور قابل توجهی وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیل گندم دوروم (*Triticum durum*) و *Stevia rebaudiana* را بهبود بخشید (El-Bassiouny et al., 2014; Mohammad et al., 2019). با توجه به لزوم مدیریت تغذیه گیاهی در راستای افزایش و پایداری تولید و حفظ محیط زیست، این تحقیق با هدف بررسی توانایی کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی بر عملکرد گیاه دارویی زیره سبز و همچنین یافتن تلفیقی مناسب از کودها به‌منظور افزایش کمیت و کیفیت این گیاه دارویی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در زمستان ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. قبل از کاشت، پنج نمونه خاک از مکان‌های مختلف انتخاب گردید. سپس، آن‌ها را ترکیب کرده و یک نمونه مرکب از آن‌ها تهیه و سپس برخی از ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Chemical and physical characteristics of experiment soil

هدایت الکتریکی EC (mS.cm ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	منیزیم Mg (meq.L ⁻¹)	کلسیم Ca (meq.L ⁻¹)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	ازت N (%)	بافت Texture	pH
12.74	0.25	45	35	7.89	276.2	0.031	لومی-شنی Loam-sand	7.7

اوایل شهریور ماه پس از رسیدگی فیزیولوژیکی محصول، جهت تعیین تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، دو خط کناری هر کرت آزمایشی به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و از دو خط میانی به تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارتفاع بوته به‌وسیله خط‌کش با دقت یک میلی‌متر از سطح خاک اندازه‌گیری شد. تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چترک پنج بوته انتخابی شمارش گردید. برای محاسبه وزن تر بوته، بعد از مطمئن شدن از نبود خاک روی سطوح آن‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. سپس بوته‌ها داخل پاکت درون آون با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن هزار دانه، پنج نمونه ۱۰۰ تایی از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و پس از خشک نمودن در هوای آزاد، وزن هزار دانه محاسبه گردید. به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، کل چترهای برداشت‌شده در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه از سطح یک مترمربع جدا شده و با دست عملیات خرمن‌کوبی و بوجاری انجام و دانه‌ها جدا گردید. وزن دانه به‌وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد.

به‌منظور سنجش اسانس از دانه‌های برداشت‌شده از هر کرت، ۳۰ گرم بذر توزین و اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با بخار آب توسط دستگاه کلونجر به مدت سه ساعت انجام شد و درصد و عملکرد اسانس مربوط به هر نمونه طبق معادله ۱ تعیین شد (Rivandi et al., 2020).

$$(1) \quad \text{درصد اسانس} = \frac{\text{وزن اسانس}}{\text{وزن نمونه خشک گیاه در کلونجر}} \times 100$$

$$(2) \quad \text{عملکرد ماده خشک} = \left(\text{گرم متر در مربع} \right) \times \text{درصد اسانس}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار آماری SAS 9.1 انجام شد و میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

به‌منظور بررسی اثر اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر رشد و عملکرد زیره سبز توده بیرجند، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل اسید هیومیک در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل دوم شامل کود پتاسیم سیلیکات در سه سطح (صفر، دو و چهار در هزار) بود. کود اسید هیومیک از شرکت گیاه پرینان اطلس ساخت کشور چین تهیه شد. کود پتاسیم سیلیکات حاوی ۱۰ درصد پتاسیم محلول (K₂O) و ۲۴ درصد سیلیسیم (SiO₂) محلول بود. کود اسید هیومیک نیز دارای ۶۰ درصد اسید هیومیک، هشت درصد اسید فولیک و هشت درصد پتاسیم بود. زمین محل اجرای آزمایش ابتدا شخم زده شد و سپس از لولر برای مسطح کردن زمین استفاده شد. در نهایت، کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵×۳ (۴/۵ مترمربع) ایجاد گردید و جهت آبیاری نیز جوی‌های لازم ایجاد شد. فاصله بین بلوک‌ها سه متر و بین کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. بذرها، از توده محلی بیرجند و از کشاورزان این شهرستان تهیه گردید. درصد جوانه‌زنی بذرها، بالای ۹۰ درصد بود. کاشت بذرها به‌صورت ردیفی در تاریخ ۲۷ بهمن ۱۴۰۲ انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مرحله سه برگی برای رسیدن به تراکم مناسب تنک انجام گردید. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر شش روز یک بار تا آخر فصل رشد انجام شد. از زمان کاشت تا نمونه‌برداری، وجین و مبارزه با علف‌های هرز نیز صورت گرفت. کود اسید هیومیک همراه آب آبیاری به‌مقدار ۲/۲۵ و ۴/۵ گرم پس از غرقاب شدن کرت مورد استفاده قرار گرفتند. اولین کود آبیاری در مرحله سه برگی در تاریخ ۱۷/۱۱/۱۴۰۳، دومین کود آبیاری در مرحله پنجه‌زنی در تاریخ ۰۷/۰۲/۱۴۰۳ و سومین کود آبیاری بعد از تشکیل میوه در تاریخ ۲۹/۰۲/۱۴۰۳ انجام شد.

کود پتاسیم سیلیکات به‌صورت محلول‌پاشی با مقادیر دو و چهار در هزار آب اعمال شدند. برای شاهد، محلول‌پاشی با آب مقطر انجام گردید. در مرحله سه برگی اولین محلول‌پاشی در تاریخ ۲۰/۰۱/۱۴۰۳ اعمال شد. مرحله دوم محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی در تاریخ ۰۹/۰۲/۱۴۰۳ و مرحله سوم محلول‌پاشی بعد از تشکیل میوه در تاریخ ۲۹/۰۲/۱۴۰۳ انجام گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر ساده پتاسیم سیلیکات و اثر متقابل اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات قرار گرفت. اثر ساده اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر این شاخص نداشت (جدول ۲). نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که مصرف پنج کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و دو در هزار پتاسیم سیلیکات سبب بیش‌ترین ارتفاع بوته در زیره سبز شد (جدول ۵). مشخص شده است که اسید هیومیک می‌تواند به افزایش رشد ساقه اصلی کمک کند (Eyheraguibel et al., 2008). طبق گزارش‌ها، طول ساقه صفتی است که بیشترین پاسخ را به کاربرد اسید هیومیک دارد (Ulukan, 2008). اثر تسریع‌کننده اسید هیومیک بر رشد ساقه می‌تواند با تأثیر آن بر فعالیت H-ATPase ریشه و توزیع نیترات در سرتاسر ریشه‌ها و ساقه‌ها مرتبط باشد که به نوبه خود توزیع سیتوکینین‌ها، پلی آمین‌ها و اسید آسبیزیک را تغییر می‌دهد (Rubio et al., 2009). همچنین اسید هیومیک از طریق تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و نیز با افزایش قدرت کلات‌کنندگی و جذب عناصر غذایی بر افزایش رشد و ارتفاع گیاه مؤثر است (Nardi et al., 2002). در مطالعه‌ای مشخص شد که مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک طول ساقه گل شاخه بریده مریم (Polianthes tuberosa) را در مقایسه با شاهد بهبود بخشید (Babarabie et al., 2020). کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته گیاه

ریحان شد که این افزایش طولی گیاه احتمالاً به دلیل خاصیت شبه‌اکسینی مواد هیومیکی باشد (Befrozfar et al., 2013). تجزیه و تحلیل اسید هیومیک بر ارتفاع بوته سیاهدانه نشان داد که هرگونه افزایش در میزان اسید هیومیک استفاده‌شده باعث افزایش ارتفاع بوته گردید (Aiyafar et al., 2015).

پتاسیم سیلیکات یک منبع سیلیکون و پتاسیم بسیار محلول است، که با تأمین مقادیر کمی پتاسیم به گیاهان و خاک فوایدی می‌بخشد و بیش‌تر به‌عنوان یک اصلاح‌کننده سیلیس در سیستم‌های تولید کشاورزی استفاده می‌شود (Abou-Baker et al., 2011). سیلیکون و پتاسیم باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Talebi et al., 2015). افزایش ارتفاع گیاه به نقش سیلیکون در افزایش جذب آب و مواد غذایی مانند فسفر و پتاسیم نسبت داده می‌شود (Xie et al., 2014; Cooke & Leishman, 2016). در نتایجی مشابه، استفاده از پتاسیم سیلیکات به‌صورت محلول‌پاشی (دو گرم در لیتر در دو نوبت) به‌طور قابل توجهی ارتفاع ریحان فرانسوی را نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) افزایش داد (Massoud et al., 2024). ال لیتی و همکاران (El-Leithy et al., 2019) نیز نشان دادند که بیش‌ترین ارتفاع بوته سیاهدانه با محلول‌پاشی هشت میلی‌لیتر در لیتر پتاسیم سیلیکات به دست آمد. پژوهشگران افزایش رشد و عملکرد دانه گیاه زینان را با کاربرد مقدار کودهای شیمیایی و آلی به‌صورت هم‌زمان، به علت افزایش NPK قابل دسترس گیاه گزارش کردند (Akbarinia et al., 2004).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر صفات رویشی زیره سبز
Table 2- ANOVA (mean of squares) for the effect of humic acid and potassium silicate on vegetative traits of cumin

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Lateral shoot number	وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن خشک بوته Plant dry weight
تکرار Replication	2	2.39 ^{ns}	0.25 ^{ns}	65682.85 ^{**}	35951.16 ^{**}
پتاسیم سیلیکات Potassium silicate (PS)	2	5.73 [*]	1.81 ^{**}	826706.72 ^{**}	45537.44 ^{**}
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	2.39 ^{ns}	0.92 [*]	245584.08 ^{**}	134700.13 ^{**}
PS×HA	4	8.42 ^{**}	0.25 ^{ns}	17967.35 ^{ns}	9798.07 ^{ns}
خطا Error	16	1.15	0.25	1.18	6326.47
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.49	15.62	6.76	10.11

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
^{ns}، * and **: non-significant, and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۳- اثرات ساده پتاسیم سیلیکات و اسید هیومیک بر صفات رویشی زیره سبز
Table 3- Simple effect of potassium silicate and humic acid on vegetative traits of cumin

	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی در بوته Lateral shoot number in plant	وزن تر بوته Plant fresh weight (g)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)
پتاسیم سیلیکات				
Potassium silicate (In thousand)				
0	13.77 b*	3.00 b	740.00 c	547.6 c
2	15.27 a	3.77 a	1104.20 b	817.53 b
4	14.05 b	3.00 b	1341.73 a	993.83 a
اسید هیومیک				
Humic acid (kg.ha ⁻¹)				
0	13.77 a	2.88 b	921.48 b	682.22 b
5	14.61 a	3.44 a	1020.49 b	755.31 b
10	14.72 a	3.44 a	1243.95 a	920.99 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Mean followed by similar letters in each column, are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر ساده اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر تعداد شاخه فرعی در بوته بود. اثر متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر شاخص مذکور نداشت (جدول ۲). مصرف ۵ و ۱۰ کیلوگرم اسید هیومیک سبب افزایش ۱۶/۲۷ درصدی تعداد شاخه فرعی در بوته نسبت به شاهد شد. بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در بوته از مصرف دو در هزار پتاسیم سیلیکات به دست آمد (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک به‌طور مکرر رشد و عملکرد گیاه را از طریق نقش آن در تنظیم چرخه کربن و آزادسازی مواد غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و گوگرد افزایش می‌دهد. علاوه‌بر این، رشد گیاه را از طریق جذب عناصر اصلی و فرعی، فعال‌سازی و یا مهار آنزیم، تغییر در نفوذپذیری غشاء، سنتز پروتئین و در نهایت فعال‌سازی تولید زیست‌توده تحریک می‌کند (Ulukan, 2008). آياس و گولسر (Ayas & Gulser, 2005) گزارش کردند که اسید هیومیک تولید زیست‌توده و شاخه‌های جانبی گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) را از طریق افزایش محتوای نیتروژن و میزان بقای برگ‌ها افزایش می‌دهد. کاربرد شش گرم در مترمربع اسید هیومیک سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه و وزن خشک گیاه سیاهدانه شد (Nassif et al., 2023). محلول‌پاشی شش لیتر در هکتار اسید هیومیک، تعداد شاخه فرعی زیره سبز را ۱۳/۴ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایش داد (Varnaseri Ghandali et al., 2020). افزایش کارایی فتوسنتزی در حضور سیلیسیم، ناشی از تغییرات مثبت در ویژگی‌های فراساختاری برگ، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت کاتالیزوری آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز است. علاوه‌بر این، سیلیسیم با افزایش ضخامت و استحکام دیواره‌های سلولی موجب توسعه سیستم آوندی گیاه می‌گردد (Meena et al., 2014). بهبود ساختار سیستم آوندی، با تسهیل انتقال آب و مواد مغذی، وضعیت فیزیولوژیک گیاه

را بهبود بخشیده (Farouk & Omar, 2020) و بدین ترتیب، شرایط لازم برای افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته زیره سبز را فراهم آورده است. در گیاه جعفری (*Petroselinum crispum*)، محلول-پاشی پنج میلی‌لیتر در لیتر پتاسیم سیلیکات و پنج میلی‌لیتر در لیتر عصاره جلبک سبب افزایش تعداد شاخه در بوته شد (Ayyat & Abdel-Mola, 2020). تعداد شاخه در بوته کلزا (*Brassica napus*) با افزایش غلظت پتاسیم سیلیکات افزایش یافت که دلیل آن را تأثیر پتاسیم سیلیکات بر رشد گیاه دانستند (El-Samie et al., 2022). همچنین سایر محققان نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (Abdel-Latif et al., 2019; Abd Allah et al., 2021).

وزن تر و خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر و خشک بوته معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک بوته نداشت (جدول ۲). نتایج نشان داد که مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک سبب بیش‌ترین وزن تر و خشک بوته زیره سبز توده بیرجند شد. بیش‌ترین وزن تر و خشک بوته از مصرف چهار در هزار پتاسیم سیلیکات حاصل شد (جدول ۳).

تأثیر اسید هیومیک از طریق افزایش سبزینه و دیگر رنگیزه‌های نورساختی مانند کاروتنوئیدها و افزایش سرعت نورساخت و کربوهیدرات‌ها موجب تحریک جذب عناصر غذایی و افزایش زیست‌توده ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌شود (Nardi et al., 2002). اسید هیومیک از طریق افزایش محتوای نیتروژن رشد، ارتفاع، تعداد برگ‌ها و عملکرد را افزایش می‌دهد (Ayas & Gulser, 2005). گزارش شده است که بالاترین سطح اسید هیومیک آزمایش‌شده (چهار درصد) منجر به بلندترین گیاهان و بالاترین مقادیر

وزن تر و خشک گیاه شاهی در مقایسه با شاهد و سایر سطوح اسید هیومیک آزمایش شده بود (Hafez, 2018). شهابا و همکاران (Shehata et al., 2012) روی خیار (*Cucumis sativus* L.) و ال-قمری و همکاران (El-Ghamry et al., 2009) در مورد باقلا (*Vicia faba* L.) نتایج مشابهی را گزارش کردند. آن‌ها افزایش صفات رشد رویشی را پس از کاربرد اسید هیومیک ثبت کردند. عبدالموگود و همکاران (Abdel-Mawgoud et al., 2007) بیان کردند که کاربرد اسید هیومیک با بهبود تخلخل خاک، نقش مؤثری در تهویه، افزایش تنفس ریشه و تسهیل گسترش آن در بستر کشت ایفا می‌کند. این امر ممکن است نشان‌دهنده افزایش رشد گیاه باشد. افزایش رشد رویشی را می‌توان با نقش کود پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های مختلف و افزایش فرآیند فتوسنتز و در نتیجه تحریک و افزایش رشد گیاه توضیح داد (EL Sayed & EL Morsy, 2012). سیلیکون می‌تواند وزن خشک را از طریق دو سازوکار تحت تأثیر قرار دهد: ۱- حفظ یکپارچگی ساختارهای کلروپلاست و کلروفیل، در نتیجه فتوسنتز، که منجر به افزایش جذب نور می‌شود (Bayanati et al., 2023; Rastogi et al., 2021; Silva et al., 2012) و ۲- افزایش ظرفیت ذخیره آب با افزایش سطح بیان ژن آکوپورین به‌ویژه ژن‌های SbPIP در ریشه (Yin et al., 2013) و افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه (Liu et al., 2014). مصرف ۱۰۰ تا ۱۵۰ پی‌پی‌ام پتاسیم سیلیکات، وزن خشک شاخساره گل جعفری (*Tagetes erecta* L.) را افزایش داد (Chalki et al., 2022). مهدوی و همکاران (Mahdavi et al., 2018) با ارزیابی اثر محلول‌پاشی سیلیس (صفر و یک میلی‌مولار) بر ویژگی‌های کمی و کیفی نعنای عنوان نمودند که در غلظت یک میلی‌مولار سیلیکون، وزن خشک اندام هوایی و کربوهیدرات‌ها در گیاه بیش‌تر از شاهد بود.

تعداد چتر در بوته

بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که اثر پتاسیم سیلیکات بر تعداد چتر در بوته معنی‌دار بود. اثر متقابل پتاسیم سیلیکات و اسید هیومیک بر شاخص مذکور معنی‌دار بود. اما اثر ساده اسید هیومیک بر شاخص مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین تعداد چتر در بوته مربوط به تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و دو در هزار پتاسیم سیلیکات بود (جدول ۵).

نتایج محققان در گیاه زیره سیاه (*Carum carvi* L.) نشان داد که بیش‌ترین تعداد چتر در هر بوته از مصرف کود اسید هیومیک ۱۲/۴۲ و کم‌ترین تعداد آن از عدم مصرف کود با ۱۴/۲۵ به دست آمد و نسبت به شاهد با ۲۲ درصد افزایش نشان دادند (Nourihoseini

et al., 2016). حیدری و خلیلی (Heidari & Khahlil, 2014) گزارش دادند که تیمار اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر تعداد کپسول در بوته در چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) داشت. در گیاه سیاهدانه مشخص شد که در روش استفاده از اسید هیومیک، مصرف بیش‌تر اسید هیومیک تأثیر بهتری بر عملکرد گیاه و اجزای آن دارد (Aiyafar et al., 2015).

بیشترین تعداد گل‌آذین در بوته گل جعفری از مصرف پتاسیم سیلیکات (پنج میلی‌لیتر در لیتر) و عصاره جلبک (پنج میلی‌لیتر در لیتر) حاصل شد (Ayyat & Abdel-Mola, 2020). محلول‌پاشی هشت سانتی‌متر مکعب در لیتر پتاسیم سیلیکات، تعداد گل در بوته گلرنگ را نسبت به شاهد افزایش داد (Attia & Elbohy, 2019). گزارش شده است که هم منابع سیلیسیم خاک و هم محلول‌پاشی به همراه پتاسیم به‌طور قابل توجهی طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰۰ دانه گندم را در مقایسه با شاهد بدون کاربرد سیلیس افزایش دادند (Jeer et al., 2021). همچنین کاربرد سیلیسیم باعث افزایش عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله گندم شد (White et al., 2017).

تعداد چترک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده اسید هیومیک و اثر متقابل پتاسیم سیلیکات و اسید هیومیک بر تعداد چترک معنی‌دار بود. اما اثر ساده پتاسیم سیلیکات بر شاخص مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین تعداد چترک مربوط به تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و عدم مصرف پتاسیم سیلیکات بود که با تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و دو در هزار پتاسیم سیلیکات اختلاف معنی‌دار آماری نداشت (جدول ۵).

اسید هیومیک و فولیک منجر به تشکیل کمپلکس‌های پایدار و کمپلکس‌های نامحلول و محلول با ریزمغذی‌ها و همچنین افزایش جذب عناصری مانند آهن و روی می‌شوند (Nardi et al., 2002). در آزمایشی مشابه، اسید هیومیک روی گندم دوروم اعمال شد و باروری سنبله را افزایش داد. به همین ترتیب، فعالیت فتوسنتزی گیاه را با افزایش عملکرد آنزیم روبیسکو افزایش داد (Delfine et al., 2005). محلول‌پاشی اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین صفات مذکور از غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد (Vafaahd et al., 2024). غلظت پتاسیم در اندام هوایی و دانه گندم با کاربرد سیلیسیم افزایش یافت که به گیاه اجازه داد تا پتانسیل آب را در گیاه حفظ کند و باعث عملکرد و زیست‌توده بالاتر شود (Ahmad et al., 2016).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر صفات زایشی زیره سبز
Table 4- ANOVA (mean of squares) for the effect of humic acid and potassium silicate on reproductive traits of cumin

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد چترک Number of of umbellet	تعداد دانه در چترک Number of seed in umbellet	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	3.00 ^{ns}	0.03 ^{ns}	2.33 ^{ns}	0.009 ^{ns}	578.04 *	0.0389 ^{ns}	0.0164 ^{ns}
پتاسیم سیلیکات Potassium silicate (PS)	2	15.44 **	0.03 ^{ns}	8.77 **	1.186 **	17444.6 **	0.4237 **	0.0619 **
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	4.33 ^{ns}	5.59 **	2.77 ^{ns}	0.008 ^{ns}	23434.3 **	1.3944 **	0.2374 **
PS×HA	4	9.11 *	3.98 **	4.55 *	1.070 **	12600.5 **	0.5192 **	0.0407 **
خطا Error	16	2.41	0.82	1.16	0.008	165.02	0.0403	0.0072
ضریب تغییرات CV (%)	-	22.93	16.27	10.34	3.91	5.20	14.72	24.47

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
^{ns}, * and **: non-significant, and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

تعداد دانه در چترک

نتایج حاصل از بررسی تعداد دانه در چترک نشان داد که اثر ساده پتاسیم سیلیکات و اثر متقابل اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر این شاخص معنی‌دار بود. اما اثر ساده اسید هیومیک بر شاخص مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در چترک از تیمار عدم مصرف اسید هیومیک و مصرف چهار در هزار پتاسیم سیلیکات به دست آمد که اختلاف معنی‌دار آماری با تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و دو در هزار پتاسیم سیلیکات و تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و چهار در هزار پتاسیم سیلیکات نداشت (جدول ۵).

تأثیر مثبت اسید هیومیک بر اجزای عملکرد می‌تواند عمدتاً به دلیل افزایش سطح سیتوکینین‌های درون‌زا و اکسین باشد که احتمالاً منجر به بهبود عملکرد می‌شود (Moraditochaee, 2012). علاوه بر این، تیمارهای سیلیسیوم احتمالاً به دلیل کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش فعالیت کاتالاز و پتاسیم سیلیکات به‌طور قابل توجهی کیفیت میوه را از طریق افزایش مخزن آنتی‌اکسیدانی در میوه بهبود می‌بخشد (Tesfay et al., 2011). تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه در بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه سیاهدانه با افزایش میزان کاربرد محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات به‌طور تدریجی افزایش یافت که تفاوت معنی‌داری با شاهد در دو فصل داشتند (El-Leithy et al., 2019). این بهبود ممکن است به دلیل نقش سیلیکون در افزایش رشد گیاه از طریق ترویج

فرآیندهای فیزیولوژیکی مطلوب گیاه باشد (Korndorfer & Lepesch, 2001). در گیاه سیاهدانه، بیش‌ترین تعداد دانه در بوته (۳۱۳/۵۴) با کاربرد سه کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار و کم‌ترین تعداد دانه در بوته (۱۹۵/۲۵) در شاهد (بدون مصرف) به دست آمد (Ariaifar et al., 2015).

وزن هزاردانه

در این آزمایش مشاهده گردید که اثر ساده پتاسیم سیلیکات و اثر متقابل پتاسیم سیلیکات و اسید هیومیک بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود. اما اثر ساده اسید هیومیک بر شاخص مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین وزن هزاردانه از مصرف پنج کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و دو در هزار پتاسیم سیلیکات و تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و چهار در هزار پتاسیم سیلیکات به دست آمد (جدول ۵).

نتایج نشان داد که با افزایش مقدار اسید هیومیک مصرفی، میزان وزن هزار دانه افزایش یافت که بیش‌تر به دلیل افزایش جذب عواملی مانند نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس است (Harper et al., 2000). مصرف اسید هیومیک، وزن هزار دانه زیره سیاه را بهبود بخشید (Nourihoseini et al., 2016). اسید هیومیک سبب تداوم بافت‌های فتوسنتزکننده می‌شود و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد و نیز از طریق تأثیرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر

بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ، افزایش عملکرد گیاهان را در پی دارد (Naderi et al., 2002). پتاسیم سیلیکات، وزن ۱۰۰۰ دانه گندم را ۱۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Osman et al., 2017). اثرات کودهای سیلیکات بر عملکرد دانه مربوط به رسوب عنصر در زیر اپیدرم برگ است که منجر به دفاع با سازوکار فیزیکی، افزایش ظرفیت فتوسنتز و کاهش تلفات تعرق می‌شود (Korndorfer et al., 2001). کاربرد سیلیکون در گیاه باعث افزایش راندمان فتوسنتزی برگ، بهبود خصوصیات رشد و تولید عملکرد دانه بیش‌تر در غلات زراعی می‌شود (Shashidhar et al., 2008). افزایش فعالیت‌های فتوسنتز باعث بهبود شرایط رشد و عملکرد دانه ژنوتیپ کلزا تیمار شده با پتاسیم سیلیکات شد (Artyszak, 2018).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل پتاسیم سیلیکات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که از مصرف چهار در هزار پتاسیم سیلیکات و ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک بیش‌ترین عملکرد دانه حاصل شد (جدول ۵).

برای تأیید نتایج این آزمایش، آریافر و فروزنده (Ariafar & Forouzandeh, 2017) گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه در زیره سبز را بهبود بخشید. این مطالعه نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه با کاربرد سه کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار به دست آمد که منجر به افزایش ۳۳/۲۴ درصدی نسبت به گروه شاهد بدون مصرف اسید هیومیک شد. سایر محققان نیز افزایش عملکرد زیره در نتیجه استفاده از اسید هیومیک را گزارش کردند (Nasiri Dehsorkhi et al., 2018; Rahghoshahi et al., 2022). مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از مواد هیومیک باعث افزایش جذب مواد غذایی و بهبود رشد گیاه گردید (Celik et al., 2011). افزایش خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی در گیاهان تغذیه‌شده با اسید هیومیک به تأثیر آن بر بهبود جذب عناصر غذایی (Zn و Fe، Cu، N)، محتوای کلروفیل و فتوسنتز بستگی دارد. به گفته چن و آویاد (Chen & Aviad, 1990)، اسید هیومیک با افزایش رشد گیاه از جمله ریشه، سطح برگ، زیست‌توده گیاهی و نفوذپذیری بافت و همچنین با بهبود سرعت فتوسنتز و جذب مواد غذایی، عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد.

سیلیکون با سرعت بخشیدن به رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک و کاهش تعرق باعث افزایش کیفیت دانه و در نهایت عملکرد می‌شود. نتایج مشابه در پژوهش‌های صورت‌گرفته حاکی از تأثیر

مثبت پتاسیم سیلیکات بر رشد و عملکرد دانه در گونه‌های زراعی است (Gugala et al., 2017; Kalandyk et al., 2014). پتاسیم سیلیکات، منبعی از پتاسیم است که نقش مهمی در افزایش سرعت فتوسنتز و افزایش کربوهیدرات‌های ذخیره‌شده و پرکننده‌های دانه ایفا می‌کند (Szczerba et al., 2009). این اثرات مثبت از جمله کاربردهای سیلیکون در بهبود عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) است که توسط حکیم و همکاران به دست آمده است (Hakim et al., 2012). کاربرد کودهای شیمیایی و آلی در کنار هم باعث تأمین قسمتی از عنصرهای مورد نیاز گیاه، افزایش قابلیت جذب عنصرهای غذایی و افزایش کارایی جذب عنصرها از کود شیمیایی شد (Noorgholipour et al., 2010) که با توجه به یافته‌های پژوهش‌های یادشده می‌توان گفت که تیمار برهم‌کنش کود آلی و کود شیمیایی به‌دلیل جذب عنصرهای غذایی باعث افزایش عملکرد شد.

درصد و عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار اثرات ساده و متقابل پتاسیم سیلیکات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر درصد و عملکرد اسانس بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیش‌ترین درصد اسانس از مصرف ۱۰ کیلوگرم اسید هیومیک و عدم مصرف پتاسیم سیلیکات به دست آمد. بیش‌ترین عملکرد اسانس از مصرف ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و چهار در هزار پتاسیم سیلیکات حاصل شد (جدول ۵).

اسید هیومیک، مخلوط پیچیده‌ای از اسیدهای آلی معطر است که حاوی عناصری مانند گوگرد، نیتروژن، فسفر و فلزات مختلف مانند کلسیم، منیزیم، مس و روی است. از نظر بیولوژیکی، اسید هیومیک مشابه سایر کودهای آلی مانند کمپوست، ورمی کمپوست و کودهای آلی عمل می‌کند. مطالعات قبلی نشان داده است که استفاده از کودهای آلی می‌تواند درصد اسانس را در گیاهان دارویی افزایش دهد (Badran & Safwat, 2004). عیافر و همکاران (Aiyafar et al., 2015) گزارش کردند که افزودن اسید هیومیک به‌میزان سه کیلوگرم در هکتار منجر به بالاترین درصد اسانس در زیره سیاه شد، درحالی‌که گروه شاهد (بدون اسید هیومیک) کم‌ترین درصد اسانس را نشان دادند. محققان در گیاه دارویی زنیان (*Carum copticum* L.) بیش‌ترین مقدار اسانس را از طریق کاربرد اسید هیومیک و نیتروکسین به دست آوردند (Barghamadi & Najafi, 2015). افزایش غلظت محلول‌پاشی اسید هیومیک از صفر به سه درصد باعث افزایش ۶۹/۲۸ درصدی عملکرد اسانس نعنای شد (Alavi Asl et al., 2023).

سیلیسیم ممکن است از طریق بهبود رشد سلولی، جذب یون و تراکم و اندازه غده روغنی برگ، بازده اسانس‌ها را افزایش دهد (Talebi et al., 2018). علاوه بر این، به نظر می‌رسد که پایداری لیپیدها در غشای سلولی در گیاهان تیمار شده با پتاسیم سیلیکات بیش‌تر از گیاهان تیمار نشده است (Agarie et al., 1998; Wang et al., 2013). بهبود محتوای روغن آفتابگردان (*Helianthus annuus*) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) در نتیجه استفاده از سیلیکون، پتاسیم و پتاسیم سیلیکات گزارش شده است

جدول ۵- اثر متقابل کود سیلیکات پتاسیم × اسید هیومیک بر صفات مورد بررسی در زیره سبز
Table 5- The interaction effect of potassium silicate × humic acid on the studied traits in cumin

پتاسیم سیلیکات Potassium silicate (per thousand)	اسید هیومیک Humic Acid (kg.ha ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد چترک Number of umbellet	تعداد دانه در چترک Number of seed in umbellet	وزن هزار دانه 1000- Seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.m ⁻²)
0	0	13.00 cde*	5.33 b	4.33 c	9.00 b	1.61 d	170.0 e	0.8 d	0.13 d
	5	12.83 de	6.00 b	7.33 a	9.66 b	2.37 b	224.22 c	0.99 cd	0.25 cd
	10	15.5 ab	5.33 b	5.00 bc	10.33 ab	1.76 cd	197.33 d	2.23 a	0.44 b
2	0	16.00 a	6.00 b	4.66 bc	12.00 a	2.36 b	270.37 b	1.14 cd	0.26 cd
	5	16.16 a	7.66 b	7.00 a	12.00 a	2.93 a	282.96 b	1.18 c	0.33 cb
	10	13.66 bcde	11.00 a	5.00 bc	10.66 ab	2.34 b	291.19 b	1.14 cd	0.37 bc
4	0	12.33 e	5.66 b	5.66 abc	8.66 b	2.94 a	127.41 f	1.1 cd	0.14 d
	5	14.83 abcd	5.66 b	5.00 bc	9.66 b	1.78 c	284.44 b	1.68 b	0.47 b
	10	15.00 abc	6.33 b	6.33 ab	12.00 a	2.93 a	372.07 a	1.99 ab	0.70 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Mean followed by similar letters in each column, are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

نتایج آزمون تأثیر سطوح مختلف کود اسید هیومیک و پتاسیم سیلیکات بر عملکرد و اسانس زیره سبز نشان داد که تیمارهای کودی بر اکثر صفات به‌صورت ساده یا ترکیبی اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند و باعث بهبود صفات مورد اندازه‌گیری شدند، به‌طوری‌که بیشترین خصوصیات رویشی و زایشی از مصرف چهار در هزار پتاسیم

سیلیکات و ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد. بنابراین، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد که استفاده هم‌زمان از پتاسیم سیلیکات (چهار در هزار) و اسید هیومیک (۱۰ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند برای بهبود بخشیدن به عملکرد دانه و اسانس زیره سبز مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. AbdAllah, A. M., Mohamed, T. S., Mohamed, M. S., & Noreldin, T. (2021). Alleviation of water deficiency effect by application of potassium silicate to faba bean intercropped with sugar beet in sandy soil. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 48(1), 1-18.
2. Abdel-Latif, A. A., Ibrahim, N. M., & Ismail, S. A. (2019). Effect of foliar application of potassium silicate and some postharvest treatments on growth, productivity and storability of Garlic. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 27(1), 761-773.
3. Abdel-Mawgoud, A. M. R., EL-Greudy, N. H. M., Helmy, Y. I., & Singer, S. M. (2007). Responses of tomato plants different rates of humic based fertilizer and NPK fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, 3, 169-174.
4. Abou-Baker, N. H., Abd-Eladl, M., & Abbas, M. M. (2011). Use of silicate and different cultivation practices in alleviating salt stress effect on bean plants. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 769-781.

5. Agarie, S., Hanaoka, N., Ueno, O., Miyazaki, A., Kubota, F., Agata, W., & Kaufman, P. B. (1998). Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Production Science*, 1(2), 96-103. <https://doi.org/10.1626/pps.1.96>
6. Ahmad, M., El-Saeid, M. H., Akram, M. A., Ahmad, H. R., Haroon, H., & Hussain, A. (2016). Silicon fertilization—a tool to boost up drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) crop for better yield. *Journal of Plant Nutrition*, 39(9), 1283-1291. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1105262>
7. Aiyafar, S., Poudineh, H. M., & Forouzandeh, M. (2015). Effect of humic acid on qualitative and quantitative characteristics and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. *DAV International Journal of Science*, 4(2), 90-102.
8. Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidkan, F., Rezaei, M. B., & Sharifi Ashourabadi, A. (2004). Study on the effect of different rates of chemical fertilizer, manure and mixture of them on seed yield and main, compositions of essential oil of ajowan (*Trachyspermum copticum*). *Pajouhesh & Sazandegi*, 61(1), 32-41.
9. Alavi Asl, S. A., Majidian, M., Modares Sanavy, S. A. M., & Esfahani, M. (2023). Effect of wood vinegar and humic acid on morphological and biochemical traits, antioxidant enzymes, and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 163-176. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2023.356625.654990>
10. Al-Taai, S. H. H. (2021). The effect of fertilizer uses on environmental pollution: A review. *Review of International Geographical Education Online*, 11(5), 3620-3529.
11. Amtmann, A., Hammond, J. P., Armengaud, P., & White P. J. (2006). Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus. *Advances in Botanical Research*, 43, 209-257. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(05\)43005-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(05)43005-0)
12. Ariafar, S., & Forouzandeh, M. (2017). Evaluation of humic acid application on biochemical composition and yield of black cumin under limited irrigation condition. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 86, 13.
13. Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—a literature review in Europe. *Plants*, 7, 54. <https://doi.org/10.3390/plants7030054>
14. Artyszak, A., & Kucin'ska, K. (2016). Silicon nutrition and crop improvement: Recent advances and future perspective. In *Silicon in Plants*. D. K. Tripathi, V. P. Singh, P. Ahmad, D. K. Chauhan & S. M. Prasad (Eds.). CRC Press: London, UK. New York, NY, USA. pp. 297-319.
15. Attia, K. E., & Elbohy, N. F. (2019). The influence of spraying with potassium silicate and irrigation with saline water in sandy soil on *Calendula officinalis* L. *The Future Journal of Biology*, 2, 39-56.
16. Ayas, H., & Gulser F. (2005). The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach (*Spinacia oleracea* Var. Spinoza). *Journal of Biological Science*, 5(6), 801-804. <https://doi.org/10.3923/jbs.2005.801.804>
17. Ayyat, A. M., & Abdel-Mola, M. A. M. (2020). Response of *Tagetes patula* plants to foliar application of potassium silicate and seaweed extract under various irrigation intervals. *Scientific Journal of flowers and Ornamental Plants*, 7(4), 513-526.
18. Babarabie, M., Zarei, H., Badeli, S., Danyaei, A., & Ghobadi, F. (2020). Humic acid and folic acid application improve marketable traits of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 10(1), 85-91. <https://doi.org/10.22034/JPPB.2020.12526>
19. Badran, F. S., & Safwat, M. S. (2004). Response of fennel plants to organic manure and bio-fertilizers in replacement of chemical fertilization. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 82, 247.
20. Barghamadi, K., & Najafi, S. (2015). Effect of different levels of nitroxin and humic acid on quantitative properties and essential oil of ajowan (*Carum copticum* (L.) C. B. Clarke). *Journal of Horticultural Science*, 29(3), 321-341. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.22523>
21. Bayanati, M., Mohammad Al-Tawaha, A. R., Bayanati, M., Rasouli, M., & Asgari Lajayer, B. (2023). Conferring drought and salinity stress tolerance in horticultural crops by Si application. *Silicon*, 15(14), 5833-5843. <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02489-1>
22. Bayati, P., Karimmojeni, H., & Razmjoo, J. (2020). Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, 155(1), 112764. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112764>
23. Befrozfar, M. R., Habibi, D., Asgharzadeh, A., Sadeghi-Shoae, M., & Tookallo, M. (2013). Vermicompost, plant growth promoting bacteria and humic acid can affect the growth and essence of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Annual Biological Research*, 4, 8-12.
24. Bhatt, J., Kumar, S., Patel, S., & Solanki, R. (2017). Sequence-related amplified polymorphism (SRAP) markers based genetic diversity analysis of cumin genotypes. *Annals of Agrarian Science*, 15(4), 434-438. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.09.001>

25. Celik, H., Katkat, A. V., Asik, B. B., & Turan, M. A. (2011). Effect of foliar applied humic acid to dry weight and mineral nutrient uptake of maize under calcareous soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(1), 29-38. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.528490>
26. Chalki, A. B., Shoor, M., Kakhki, S. F. F., & Abedi, B. (2022). Evaluation of potassium silicate applying to reduce adverse effects of salinity on marigold plant (*Tagetes erecta* L.'nana'). *Journal of Plants Ornamental*, 12(2), 57-166.
27. Chen, Y., & Aviad, T. (1990). Effect of humic substances on plant growth. In: P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm & P. R. Bloom (Eds.). *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. pp. 161-187. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., USA.
28. Cooke, J., & Leishman, M. R. (2016). Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: A meta-analysis. *Functional Ecology*, 30(8), 1340-1357. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12713>
29. Dar, J. S., Cheema, M. A., Rehmani, M. I. A., Khuhro, S., Rajput, S., Virk, A. L., & Hessini, K. (2021). Potassium fertilization improves growth, yield and seed quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress at different growth stages. *Plos One*, 16(9), e0256075. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256075>
29. Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., & Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, 25, 183-191. <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
30. El-Banna, H., & Fouda, K. (2018). Effect of mineral, organic, biofertilizers and humic acid on vegetative growth and fruit yield quality of caraway plants (*Carum carvi* L.). *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 9(5), 237-241.
31. El-Bassiouny, H. S. M., Bakry, B. A., Attia, A. A. E. M., & Abd Allah, M. M. (2014). Physiological role of humic acid and nicotinamide on improving plant growth, yield, and mineral nutrient of wheat (*Triticum durum*) grown under newly reclaimed sandy soil. *Agricultural Sciences*, 05, 687-700. <https://doi.org/10.4236/as.2014.58072>
32. El-Ghamry, A. M., Abdel-Hai, K. M., & Ghoneen, K. M. (2009). Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2), 731-739.
33. El-Leithy, A. S. I., Abdallah, S. A. S., & Ali, M. A. M. (2019). Effect of soil application with nitrogen levels and potassium silicate foliar spray on growth and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *SINAI Journal of Applied Sciences*, 8(2), 185-198.
34. El-Samie, A., El-Aref, K. A. O., El-Said, M. A. A., & Ahmed, H. A. (2022). Impact of foliar spraying with potassium silicate and planting dates on the productivity and quality of canola plants (*Brassica napus* L.). *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 5(3), 29-40.
35. El-Sayed, H. E. A., & El Morsy, A. H. A. (2012). Response of productivity and storability of garlic (*Allium sativum* L.) to some potassium levels and foliar spray with mepiquat chloride (PIX). *International Research Journal of Agriculture Science and Soil Science*, 2(7), 298-305.
36. Eyheraguibel, B., Silvestre, J., & Morard, P. (2008). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*, 99(5), 10-25. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.082>
37. Farahani, H., Sajedi, N. A., Madani, H., Changizi, M., & Naeini, M. R. (2021). Effect of potassium silicate on water use efficiency, quantitative traits and essential oil yield of damask rose (*Rosa damascena* Miller) under water deficit stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(1), 171-182. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.289865.1727>
38. Farouk, S., & Omar, M. M. (2020). Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(3), 1307-1331. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10071-x>
39. Fuentes, M., Baigorri, R., González-Gaitano, G., & García-Mina, J. M. (2018). New methodology to assess the quantity and quality of humic substances in organic materials and commercial products for agriculture. *Journal of Soils Sediments*, 18, 1389-1399. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1514-2>
40. Gugala, M., Sikorska, A., Zarzecka, K., Kapela, K., & Mystkowska, I. (2017). The effect of sowing method and biostimulators on autumn development and overwintering of winter rape. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 16, 111-120.
41. Hafez, Y. (2018). Effect of humic acid soil application and foliar spray of some nutrient elements on growth, yield and chemical composition of *Lepidium sativum* plant. *Journal of Productivity and Development*, 23(3), 607-625.
42. Hakim, Y., Khan, A., Shinwari, Z., Kim, D., Waceas, M., Kamran, M., & Junglee, I. (2012). Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv "Gopumbyeo") plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. *Pakistan Journal of Botany*, 44(3), 891-897.

43. Harper, S. M., Kerven, G. L., Edwards, D. G., & Ostatek Boczynski, Z. (2000). Characterization of fulvic and humic acids from leaves of eucalyptus comalduensis and from decomposed hay. *Soil Biochemistry*, 32, 1331-1336. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00021-3)
44. Hassan, A. A. (2019). Effects of irrigation water salinity and humic acid treatments on caraway plants. *Journal of Plant Production*, 10(7), 523-528.
45. Heidari, M., & Kahlil, S. (2014). Effect of humic acid and phosphorus fertilizer on seed and flower yield, photosynthetic pigments and mineral elements concentration in sour tea (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2), 191-199. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1393.45.2.3.2>
46. Jafari, S., Sattari, R., & Ghavamzadeh, S. (2017). Evaluation of the effect of 50 and 100 mg doses of *Cuminum cyminum* essential oil on glycemic indices, insulin resistance and serum inflammatory factors on patients with diabetes type II: A double-blind randomized placebo-controlled clinical trial. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(3), 332-338. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.08.004>
47. Jeer, M., Yele, Y., Sharma, K. C., & Prakash, N. B. (2021). Exogenous application of different silicon sources and potassium reduces pink stem borer damage and improves photosynthesis, yield and related parameters in wheat. *Silicon*, 13(3), 901-910. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00481-7>
48. Kalandy, A., Waligorski, P., & Dubert, F. (2014). Application of biostimulators in alleviation of effects of drought and other environmental stresses in common soybean (*Glycine max*. L. Merr.). *Episteme*, 22, 267-274.
49. Khaled, H., & Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil Water Research*, 6(1), 21-29. <https://doi.org/10.17221/4/2010-SWR>
50. Korndorfer, G. H., & Lepsch, I. (2001). Effect of silicon on plant growth and crop yield. *Studies in Plant Science*, 8, 133-147. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80011-2](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80011-2)
51. Laskosky, J. D., Mante, A. A., Zvomuya, F., Amarakoon, I., & Leskiw, L. (2020). A bioassay of long-term stockpiled salvaged soil amended with biochar, peat, and humalite. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3, 1-11. <https://doi.org/10.1002/agg2.20068>
52. Li, S., Li, J., Zhang, B., Li, D., Li, G., & Li, Y. (2017). Effect of different organic fertilizers application on growth and environmental risk of nitrate under a vegetable field. *Scientific Reports*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17219-y>
53. Liu, P., Yin, L., Deng, X., Wang, S., Tanaka, K., & Zhang, S. (2014). Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in silicon-induced improved root water uptake under osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 4747-4756. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru220>
54. Mahdavi, M., Esmailpour, B., & Fatemi, H. (2018). Effect of silicon nutrition on growth and physiology of spearmint (*Mentha spicata*) under cadmium stress condition. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 49(1), 185-198. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.218536.1110>
55. Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., & Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*, 17(1), 22-32. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162017005000002>
56. Massoud, H. Y., Farag, A. A., El-Gamal, S., & El-Nabawy, S. A. (2024). Effect of different drip irrigation rates and potassium silicate spray on growth and essential oil production of french basil. *Journal of Plant Production*, 15(1), 1-9. <https://doi.org/10.21608/JPP.2024.254953.1292>
57. Mattson, N. S., & Leatherwood, W. R. (2010). Potassium silicate drenches increase leaf silicon content and affect morphological traits of several floriculture crops grown in a peat-based substrate. *Horticulture Science*, 45(1), 43-47. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.1.43>
58. Meena, V. D., Dotaniya, M. L., Coumar, V., Rajendiran, S., Ajay, Kundu, S., & Subba Rao, A. (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84(3), 505-518. <https://doi.org/10.1007/s40011-013-0270-y>
59. Mohamadnia, R., Rezaei Nejad, A., & Bahrami Nejad, S. (2018). Effect of irrigation interval and silicon on some morpho-physiological and biochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(1), 37-45. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJHS.2017.217636.1109>
60. Mohammad, M. H., Meawad, A. A. A., El-Mogy, E. E. A. M., & Abdelkader, M. (2019). Growth, yield components and chemical constituents of *Stevia rebaudiana* Bert. as affected by humic acid and NPK fertilization rates. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 46(1), 13-26.
61. Mohammadi, G. R., Chatrnour, S., Jalali-Honarmand, S., & Kahrizi D. (2015). The effects of planting arrangement and phosphate biofertilizer on soybean under different weed interference periods. *Acta Agriculturae Slovenica*, 105(2), 313-322. <https://doi.org/10.14720/aas.2015.105.2.14>
62. Moraditochaei, M. (2012). Effects of humic acid foliar spraying and nitrogen fertilizer management on the yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Iran. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(4), 289-293.

63. Naderi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1527-1536. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8)
64. Nardi, S., Ertani, A., & Francioso, O. (2017). Soil-root cross-talking: The role of humic substances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180, 5-13. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600348>
65. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1527-1536. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8)
66. Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26, 2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>
67. Nasiri Dehsorkhi, A., Makarian, H., Vernaseri Qandali, V., & Salari, N. (2018). The effect of humic acid and vermicompost application on yield and yield components of *Cumin cyminum* L. *Journal of Crop Applied Research*, 31(1), 93-113. (In Persian).
68. Nassif, A. H., Abd, R. M., & Al-Zubaidi, N. A. J. (2023). Improving the growth of black cumin (*Nigella sativa* L.) by humic acid and *Trichoderma harzianum* as biofertilizer. *Modern Phytomorphology*, 17, 37-40.
69. Noorgholipour, F., Samavat, S., & Tehrani, M. (2010). The necessity of combined use of chemical and organic fertilizers in sustainable agricultural systems. The First Congress on Fertilizer Challenges in Iran: Half a Century of Fertilizer Use, Tehran, Iran. (in Persian)
70. Nourihoseini, S. M., Khorassani, R., Astarai, A. R., Rezvani Moghadam, P., Zabihi, H. R., (2016). Effect of different fertilizer resources and humic acid on some morphological criteria, yield and antioxidant activity of black zira seed (*Bunium persicum* Boiss.). *Applied Field Crops Research*, 29(4), 88-105. (In Persian).
71. Osman, M. E., Mohsen, A. A., Elfeky, S. S., & Mohamed, W. (2017). Response of salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) to potassium humate treatment and potassium silicate foliar application. *Egyptian Journal of Botany*, 57(7th International Conf.), 85-102.
72. Pujos, A., & Morard, P. (1997). Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. *Plant and Soil*, 189(2), 189-196. <https://doi.org/10.1023/A:1004263304657>
73. Rahghoshahi, M., Panahi Kord Laghari, K., & Rahimi, M. (2022). Study on humic acid and algae effects on grain yield and agronomical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(2), 286-300. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.356393.3079>
74. Rastogi, A., Yadav, S., Hussain, S., Kataria, S., Hajhashemi, S., Kumari, P., & Brestic, M. (2021). Does silicon really matter for the photosynthetic machinery in plants...?. *Plant Physiology and Biochemistry*, 169, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.004>
75. Rivandi, H., Rezvan, S., Jami Moeini, M., Sinaki, J. M., Damavandi, A., & Sanjani, S. (2020). Evaluation of quantity and quality yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes in different planting date under Sabzevar climatic conditions. *Journal of Agroecology*, 12(2), 227-240. <https://doi.org/10.22067/jag.v12i2.78488>
76. Rubio, V., Bustos, R., Irigoyen, M. L., Cardona-Lopez, X., Rojas-Triana, M., & Paz-Ares, J. (2009). Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology*, 69(4), 361-73. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9380-y>
77. Sarhan, M. G. R., & Shehata, A. M. (2023). Evaluating the impact of biochar and foliar application of potassium silicate on the growth and productivity of ajwain (*Trachyspermum ammi* L.) plant under water stress in the newly reclaimed soil conditions. *Egyptian Journal of Horticulture*, 50(2), 247-263.
78. Shah, Z. H., Rehman, H. M., Akhtar, T., Alsamadany, H., Hamooh, B. T., Mujtaba, T., Daur, I., Al Zahrani, Y., Alzaharani, H. A. S., Ali, S., Yang, S. H., & Chung, G. (2018). Humic substances: Determining potential molecular regulatory processes in plants. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00263>
79. Shashidhar, H. E., Chandrashekar, N., Narayanaswamy, C., Mehendra, A. C., & Prakash, N. B. (2008). Calcium silicate as silicon source and its interaction with nitrogen in aerobic rice. Silicon in Agriculture: 4th International Conference 26-31 Oct., South Africa, 93.
80. Shehata, S. A., Fawzy, Z. F., & El-Ramady, H. R. (2012). Response of cucumber plants to foliar application of chitosan and yeast under greenhouse conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(4), 63-71.
81. Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11, 1297. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071297>
82. Silva, O. N., Lobato, A. K. S., Ávila, F. W., Costa, R. C. L., Oliveira Neto, C. F., Santos Filho, B. G., & Andrade, I. P. (2012). Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. *Plant Soil Environmental*, 58(11), 481-486. <https://doi.org/10.17221/213/2012-PSE>
83. Sohrabi Rinani, R., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Astarai, A. (2021). Effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, yield components and oil yield of black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 13(1), 23-38. <https://doi.org/10.22067/jag.v12i1.22652>

84. Szczerba, M., Britto, D., & Kronzucher, H. (2009). K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. *Journal of Plant Physiology*, 166, 447-466. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.12.009>
85. Talebi, M., Moghaddam, M., & Pirbalouti, A. G. (2018). Methyl jasmonate effects on volatile oil compounds and antioxidant activity of leaf extract of two basil cultivars under salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(2), 34-40. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2611-1>
86. Talebi, S., Majd, A., Mirzai, M., Jafari, S., & Abedini, M. (2015). The study of potassium silicate effects on qualitative and quantitative performance of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Biological Forum-An International Journal*, 7(2), 1021-1026.
87. Tesfay, S. Z., Bertling, I., & Bower, J. P. (2011). Effects of postharvest potassium silicate application on phenolics and other anti-oxidant systems aligned to avocado fruit quality. *Postharvest biology and Technology*, 60(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.12.011>
88. Ulukan, H. (2008). Effect of soil-applied humic acid at different sowing times on some yield components in wheat hybrids. *International Journal of Botany*, 4(3), 164-175. <https://doi.org/10.3923/ijb.2008.164.175>
89. Vafaahd, F., Khalesro, S., Zareei, S., & Heidari, G. (2024). Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to digested fertilizer and humic acid in the sustainable agricultural system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(4), 99-112. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.51374.2867>
90. Varnaseri Ghandali, V., Nasiri Dehsorkhi, A., Makarian, H., & Haghighat jou, P. (2020). Effects of vermicompost and humic acid application on the uptake of macro-elements, seed, and essential oil yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35(6), 950-966. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.125423.2521>
91. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
92. White, B., Tubana, B. S., Babu, T., Mascagni Jr, H., Agostinho, F., Datnoff, L. E., & Harrison, S. (2017). Effect of silicate slag application on wheat grown under two nitrogen rates. *Plants*, 6(4), 47. <https://doi.org/10.3390/plants6040047>
93. Xie, Z., Song, F., Xu, H., Shao, H., & Song, R. (2014). Effects of silicon on photosynthetic characteristics of maize (*Zea mays* L.) on alluvial soil. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 718716. <https://doi.org/10.1155/2014/718716>
94. Yang, F., Tang, C., & Antonietti, M. (2021). Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews Journal*, 50, 6221-6239.
95. Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K., & Oka, M. (2013). Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of Sorghum bicolor. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 3099-3107. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1343-5>
96. Zadegan, K., Monem, R., & Pazoki, A. (2023). Silicon dioxide nanoparticles improved yield, biochemical attributes, and fatty acid profile of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) under different irrigation regimes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(3), 3197-3208. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01297-1>
97. Zahoor, R., Dong, H., Abid, M., Zhao, W., Wang, Y., & Zhou Z. (2017). Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. *Environmental & Experimental Botany*, 137, 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.002>

Research Article

Vol. 40, No. 2, Summer 2026, p. 297-316

Effect of Seedling Tray Cell Volume and Light Quality on Growth, Photosynthetic Parameters and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) Seedling

F. Ghaemizadeh¹ , F. Dashti¹ 

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(* - Corresponding author's Email: f.ghaemizadeh@basu.ac.ir)

Received: 08 June 2025
Revised: 15 September 2025
Accepted: 27 September 2025
Available Online: 27 September 2025

How to cite this article:

Ghaemizadeh, F., & Dashti, F. (2026). Effect of seedling tray cell volume and light quality on growth, photosynthetic parameters and quality of onion (*Allium cepa* L.) seedling. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 297-316. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93976.1435>

Introduction

Onion (*Allium cepa* L.) is a vegetable with great nutritional value. In recent years, the cultivation of onion seedlings has expanded due to the rising production costs and limited water resources. The growth of high-quality seedlings is crucial for achieving optimal and high crop yield. Light quality is a significant factor influencing seedling quality, as it markedly affects the morphological and photosynthetic responses of plants. Currently, LED lights are employed in growth chambers to enhance seedling development. Another important factor influencing seedling growth is the cell volume of the seedling tray. Larger cells offer a more suitable environment for the optimal growth of seedlings; however, increasing the volume of the seedling tray may impose spatial constraints for producers. The aim of this study is to evaluate the effect of various tray cell volumes in combination with different light conditions to improve the growth and quality characteristics of onion (*Allium cepa* L.) seedlings.

Materials and Methods

To this end, an experiment was conducted in a factorial design comprising two levels of cell volume (28 cc and 18 cc) and three levels of light composition (75% red: 25% blue, 50% red: 50% blue and 25% red: 75% blue), with three replications, using the Azar Shahr onion cultivar (red and long-day onion). Seed were cultured in the growing substrates (2 coco peat: 4 perlite). After the emergence of the first true leaf (with a leaf length of approximately 5 centimeters), the plants were transferred to a growth chamber equipped with LED lamps and subjected to light treatments for a duration of 45 days. Ultimately, after the seedlings were removed from the growth chamber, various growth parameters were measured, including seedling height, length of the longest true leaf, root length, Pseudostem diameter and length, fresh and dry weight, photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid), Fv/Fm, photosynthesis rate, stomatal conductance, sub-stomatal CO₂ concentration, transpiration rate, total carbohydrate content and total phenolic content. At the end of the experiment, data analysis was performed using SAS software (version: 9.1).

Results and Discussion

According to the results, in the 18 cc cell compared to the 28 cc cell and at all light treatment, seedling length, length of the longest leaf and Pseudostem length increased and root length, fresh and dry weight decreased. However, in the 18cc cell, using a 75% red: 25% blue light treatment resulted in the highest quality seedlings with a length of 25.5 cm, Pseudostem diameter (2.13 mm), Pseudostem length (3.4 mm) and dry weight (34 mg). At all light levels, cell volume reduction resulted in a decrease in photosynthetic pigments (amount of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid), Fv/Fm, a decrease in substomatal carbon dioxide, photosynthetic rate, soluble carbohydrates and phenol content. However, the highest levels of these parameters were observed in the small cell, in the 75% red: 25% blue light treatment. At all it seems that, using a



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93976.1435>

smaller cell volume reduces the root's access to oxygen, water and nutrients, leading to reduced root growth and some seedling quality parameters. Also, reducing the cell volume increases the number of plants per tray. This increased density reduces the seedling's access to the appropriate light treatment. However, using an appropriate light treatment can improve growth and physiological parameters. Overall, in the smaller cell with high planting density, the use of the 75% red: 25% blue light combination can lead to improved growth and increased seedling quality. Under red light treatment, plants have smaller stomata and can more effectively control the process of stomatal opening and closing. In this light, in addition to the entry of carbon dioxide, a smaller amount of water is lost, which also increases water consumption efficiency. Therefore, combining red and blue light can offset the negative effects of red and blue light and increase the rate of photosynthesis. However, the response of different plant species to different ratios of red to blue light may vary.

Conclusion

In conclusion, our findings indicate that utilizing trays with smaller cell volumes (which allows for higher planting densities) can be economically beneficial and space-efficient. However, to ensure optimal onion seedling quality, it is crucial to implement a light composition of 75% red and 25% blue during the growth period.

Keywords: Carbohydrate, LED, Photosystem II efficiency, Red onion cv. Azar Shahr

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص. ۲۹۷-۳۱۶

اثر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر رشد، شاخص‌های فتوسنتزی و کیفیت نشاء پیاز (*Allium cepa* L.)

فهیمة قائمی زاده^۱ * - فرشاد دشتی^۱ 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵

چکیده

استفاده از حجم مناسب سلول سینی نشاء و کیفیت نور می‌تواند منجر به بهبود کیفیت نشاء پیاز شود. بدین منظور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل شامل دو سطح حجم سلول (۲۸ و ۱۸ سی‌سی) و سه سطح ترکیب نوری (۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی، ۵۰ درصد قرمز: ۵۰ درصد آبی، ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز) و در سه تکرار روی پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' اجرا شد. پس خروج اولین برگ حقیقی (طول برگ‌لپه‌ای حدود پنج سانتی‌متر)، گیاهان به اتاقک رشد مجهز به لامپ‌های ال‌ای‌دی منتقل و به مدت ۴۵ روز تحت تیمار نوری قرار گرفتند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با ۲۸ سی‌سی و در تمامی سطوح نوری، طول نشاء، طول پهنک بلندترین برگ و طول ساقه مجازی افزایش و طول ریشه، وزن تر و وزن خشک کاهش یافت. اما در سلول ۱۸ سی‌سی استفاده از تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی، بالاترین کیفیت نشاء با طول ۲۵/۵ سانتی‌متر، قطر ساقه مجازی ۲/۱۳ میلی‌متر، طول ساقه مجازی ۳/۴ میلی‌متر و وزن خشک ۳۴ میلی‌گرم را منجر شد. اگرچه در تمام سطوح نوری کاهش حجم سلول منجر به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، Fv/Fm، کاهش دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، نرخ فتوسنتز، کربوهیدرات محلول و میزان فنل شد. اما بالاترین میزان این شاخص‌ها در سلول کوچک، در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی مشاهده شد. در مجموع، به نظر می‌رسد که در سلول کوچک‌تر با تراکم کاشت بالا، استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی می‌تواند منجر به بهبود رشد و افزایش کیفیت نشاء گردد.

واژه‌های کلیدی: پیاز 'قرمز آذرشهر'، کارایی فوتوسیستم II، کربوهیدرات، LED

مقدمه

امروزه تولید سبزی‌ها در سطح جهان به‌عنوان حرفه‌ای اشتغال‌زا و پردرآمد، در بهبود سطح اقتصاد عمومی کشورها بسیار مؤثر است. پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.) نیز یک سبزی با ارزش غذایی فراوان برای مردم در سراسر جهان محسوب می‌شود و پس از سیب زمینی از نظر سطح زیرکشت در رتبه دوم قرار دارد (FAO, 2023). پیاز در سراسر جهان رشد کرده و با توجه به اینکه برای تشکیل پیاز به طول روز حساس است، انواع مختلفی از آن بسته به عرض جغرافیایی منطقه کشت وجود دارد (Stützel & Chen, 2020).

در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش هزینه‌های تولید نظیر افزایش قیمت بذر و محدودیت در منابع آب، نشاکاری پیاز گسترش یافته است. کشت نشاء به علت کاهش طول دوره رشد و زودرسی، امکان

انتخاب گیاهان قوی و سالم جهت کاشت، عدم نیاز به عمل‌گرینش و یا تنک کردن، کاهش نهاده‌های کشاورزی و افزایش عملکرد محصول، نسبت به روش بذرکاری ارجحیت دارد (Leskovar & Vavrina, 1999; Yilmaz et al., 2014; Izadkhah et al., 2011). در کشورهای توسعه‌یافته، استفاده از نشاکاری در پیاز متداول بوده و تحقیقات متعددی روی این روش صورت گرفته است. در انگلستان محصول برداشت‌شده از کشت نشاء در یک آزمایش (۴۵ تن در هکتار) و در مقایسه با کشت بذر (۱۵ تن در هکتار) بیشتر بود و محصول آن نیز دو هفته زودتر برداشت گردید (Brewster, 2008).

در تولید سبزی‌های نشایی، پرورش نشاء با کیفیت برای دستیابی به یک عملکرد خوب، تولید محصول با کیفیت و افزایش باروری بسیار مهم است (Johkan et al., 2010). کیفیت و شدت نور از عوامل مؤثر بر رشد و کیفیت نشاء می‌باشند (Jiao et al., 2007) و به‌طور کارآمدی می‌توانند منجر به بهبود پاسخ‌های ریخت‌شناختی و فتوسنتزی گیاه شود (Matsuda et al., 2016). امروزه از لامپ‌های

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*)- نویسنده مسئول: f.ghaemizadeh@basu.ac.ir (Email: f.ghaemizadeh@basu.ac.ir)

گیاه گوجه‌فرنگی، ترکیب طیف قرمز و آبی، تعداد روزنه در واحد سطح برگ را افزایش داد (XiaoYing et al., 2011). در تره‌فرنگی نیز استفاده از نور ترکیبی سفید و آبی منجر به بهبود رشد و افزایش محتوای کربوهیدرات محلول و محتوای ترکیبات کوگردی شد (Gao et al., 2021). در شالوت (*Allium cepa* var. *aggregatum*)، استفاده از نور ترکیبی ۲ به ۱ قرمز به آبی منجر به افزایش ارتفاع و وزن گیاه گردید (Zhang et al., 2019).

از دیگر عوامل مؤثر بر رشد نشاء، حجم مطلوب سلول‌ها در سینی نشاء است. سلول‌های بزرگ‌تر فضای مناسب‌تری جهت رشد مطلوب‌تر گیاهچه فراهم می‌کند. اما با افزایش حجم زیاد سینی نشاء محدودیت‌هایی جهت تأمین فضا برای تولیدکننده‌ها ایجاد می‌شود. تراکم بالای سینی نشاء (افزایش تعداد سلول‌ها در هر سینی) از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است، اما به دلیل رقابت نوری، ساقه نشاء طویل و آبکی شده و از سویی دیگر با توجه به محدود شدن میزان دسترسی ریشه به آب، مواد غذایی و اکسیژن، کیفیت و قدرت رشدی ریشه کاهش می‌یابد (Salari et al., 2022). کاهش حجم سلول سینی نشاء در فلفل منجر به کاهش میزان کلروفیل و نرخ فتوسنتز (Zakaria et al., 2020) و در گوجه‌فرنگی باعث کاهش رشد و کیفیت نشاء و کاهش نرخ فتوسنتز گردید (Salari et al., 2022). در پژوهشی دیگر، بذور گوجه‌فرنگی در سینی نشاء در سه اندازه ۷۲، ۱۰۵ و ۱۲۸ خانه کشت شدند. براساس نتایج حاصل، کاشت در سینی ۱۰۵ سلول، طول نشاء را افزایش داد، اما بالاترین وزن خشک برگ و ریشه در سینی نشاء ۷۲ خانه مشاهده شد (Salari et al., 2022).

پیاز یک محصول مهم اقتصادی در دنیا و ایران می‌باشد. باین‌حال براساس مطالعات صورت‌گرفته تاکنون هیچ پژوهشی در ارتباط با تأثیر کیفیت نور بر رشد و ویژگی‌های کیفی این محصول صورت نگرفته است. از این‌رو با توجه به نیاز صنعت کشاورزی به تولید نشاء با کیفیت و سالم، این پژوهش بر آن است تا با بررسی حجم‌های مختلف سلول سینی نشاء همراه با ترکیب‌های مختلف نوری، رشد و ویژگی‌های کیفی نشاء پیاز را افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

تیمارها و نمونه گیاهی

در این تحقیق، اثر کیفیت نور و حجم سلول‌های سینی نشاء به‌صورت آزمایش فاکتوریل (شامل دو حجم مختلف سلول سینی نشاء و سه سطح تیمار نوری) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار روی پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد.

LED (Light-emitting diodes) به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان منبع نور مصنوعی مورد نیاز گیاهان در کشت‌های گلخانه‌ای استفاده می‌شود (Simlat et al., 2016). این منابع نوری در سیستم‌های تولید گیاهی در مقایسه با سایر منابع نور مصنوعی تطبیق‌پذیری و کارایی انرژی بالاتری داشته و محبوبیت بیشتری پیدا کرده است (Agarwal & Gupta, 2018)، به‌طوری‌که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان تنها منبع نور در پرورش نشاء در اتاقک رشد و یا به‌عنوان روشنایی تکمیلی در سیستم‌های تولید گلخانه‌ای استفاده کرد.

طول موج‌های مختلف نور منجر به بروز پاسخ‌های مختلف آناتومیک، ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی در گیاهان می‌شوند. نحوه بروز این تغییرات در گیاه نیز متناسب با گونه، رقم، سن و نوع طول موج مورد استفاده متفاوت می‌باشد. این‌گونه پاسخ‌های نوری در فناوری‌های کشت گیاه بسیار مهم و مورد توجه است و تنظیم هدفمند طیف‌های نوری می‌تواند منجر به بهبود رشدونمو گیاه شود (Simlat et al., 2016; Fan et al., 2013; Lin et al., 2013).

پژوهش‌های گوناگونی در ارتباط با تأثیر کیفیت نور بر رشد و کیفیت نشاء محصولات نظیر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*)، کاهو (*Lactuca sativa*)، کلم (*Brassica oleracea*)، اسفناج (*Spinacia oleracea*) و تره‌فرنگی (*Allium ampeloprasum*) صورت گرفته است (Gao et al., 2023; Hernandez et al., 2016; Pardo et al., 2013; Pardo et al., 2014). در نشاء فلفل دلمه‌ای، تیمار ترکیبی نور قرمز و آبی (با نسبت برابر) منجر به افزایش وزن تر و خشک، طول ساقه، کلروفیل کل و کاروتنوئید شد (Ahmadi, 2020). در پژوهشی دیگر، کاربرد نور آبی در نشاء فلفل منجر به کوتاه‌تر شدن میان‌گره‌ها و کاهش ارتفاع بوته گردید، درحالی‌که نور قرمز منجر به برگ‌های بزرگ‌تر و میان‌گره‌های کشیده‌تر شد (Liu et al., 2022). تابش نور آبی بر نشاء کلم چینی (*Brassica rapa subsp. pekinensis*) محتوای اسیدآسکوربیک را افزایش و منجر به کاهش گونه‌های فعال اکسیژن گردید (Kang et al., 2020). استفاده از نور ترکیبی آبی و قرمز در نشاء اسفناج در مقایسه با نورهای تک طول موج منجر به بهبود رشد و افزایش محتوای کلروفیل، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد. باین‌حال، محتوای کاروتنوئید کل در تیمار تک طول موج قرمز بیشتر بود (Agarwal & Gupta, 2018). در پژوهشی دیگر، بهترین کیفیت نشاء گوجه‌فرنگی در نسبت‌های ۳۰ به ۷۰ و ۵۰ به ۵۰ از نور آبی به قرمز مشاهده شد و گیاهانی که تحت نور تک رنگ آبی و یا قرمز رشد کردند، سرعت رشد پایین‌تر و نیز ارتفاع نامناسبی داشتند (Hernandez et al., 2016). همچنین در

پهنک برگ تا انتهای برگ) و طول ریشه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری طول و قطر ساقه مجازی از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده گردید. به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک کل نشاء نیز ابتدا نمونه‌ها توزین شدند، سپس نمونه‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری و مجدد وزن گردید.

سنجش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی

به‌منظور سنجش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، ابتدا ۰/۲ گرم از برگ‌های تازه با ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی به‌طور کامل هم‌وزن شدند. سپس نمونه‌ها پنج دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از آن، مایع شناور هر نمونه جدا و به آن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد افزوده شد. در نهایت، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a، b و کاروتنوئید اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید به‌ترتیب از معادله‌های ۱ تا ۴ استفاده شد (Porra, 2002).

$$(1) \quad a = (12/25 \times A_{663}) - (2/69 \times A_{645}) \quad \text{کلروفیل}$$

$$(2) \quad b = (25/8 \times A_{645}) - (4/68 \times A_{663}) \quad \text{کلروفیل}$$

$$(3) \quad \text{کلروفیل کل} = ((20/21 \times A_{645}) + (8/02 \times A_{663}))$$

$$(4) \quad \text{کاروتنوئید} = ((1000 \times A_{470}) - (2.27 \times cha) - (81.4 \times chb))$$

اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص فلورسانس کلروفیل یا حداکثر عملکرد کوانتومی فوتوسنتز II (Fv/Fm) از دستگاه فلوئومتر (مدل POS-30, OPTIC-senses, ساخت انگلستان) استفاده شد. بدین منظور، ۴۵ روز پس از انتقال گیاهان به اتاقک رشد و در اتمام دوره آزمایش، ابتدا برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته توسط گیره‌های مخصوص دستگاه برای ۳۰ دقیقه پوشانیده شدند تا در تاریکی کامل قرار بگیرند. سپس قرائت بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ صورت گرفت (Miralles et al., 2011).

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مرتبط با فتوسنتز، از دستگاه فتوسنتز متر (IRGA ADC BioScientific LCI Ultra Compact Ltd, Herts, ساخت انگلستان) استفاده شد. این اندازه‌گیری در بازه زمانی ساعت ۹ تا ۱۱ صبح انجام گردید. در این راستا، برگ مورد نظر در معرض نور کافی قرار گرفتند. سپس ویژگی‌های مختلف فتوسنتزی نظیر نرخ فتوسنتز برحسب میکرومول CO₂ بر مترمربع بر ثانیه، هدایت روزنه‌ای برحسب میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه، نرخ تعرق برحسب میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه و CO₂ زیر روزنه‌ای (میلی‌مول) اندازه‌گیری شد (Vahdati & Leslie, 2013).

تیمارها شامل دو حجم مختلف سلول سینی نشاء به‌عنوان عامل اول (سینی ۱۲۸ تایی با ابعاد ۲۱ × ۲۱ × ۴۱ میلی‌متر و حجم ۱۸ سی‌سی برای هر سلول و سینی ۱۰۵ تایی با ابعاد ۳۰ × ۳۰ × ۴۹ میلی‌متر و حجم ۲۸ سی‌سی برای هر سلول) و سه سطح ترکیب نوری به‌عنوان عامل دوم (شامل نور ال‌ای‌دی ۵۰ درصد آبی: ۵۰ درصد قرمز، ۲۵ درصد آبی: ۷۵ درصد قرمز و ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز) بود.

برای آماده‌سازی مواد گیاهی، ابتدا بذور پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' در آبان ماه ۱۴۰۳ در سینی‌های نشاء با ترکیب کوکوپیت و پرلیت به‌نسبت ۶ به ۴ کشت شدند. در هر سلول دو عدد بذر کشت شده و تا هنگام خروج گیاهان با آب مقطر آبیاری شد. به‌محض خروج برگ لپه‌ای از بستر کاشت، گیاهچه‌ها با محلول غذایی هوگلند آبیاری و به یک گیاه در سلول تنک شدند. پس از اینکه طول برگ لپه‌ای به پنج سانتی‌متر رسید (شروع خروج اولین برگ حقیقی)، سینی‌ها به اتاقک رشد منتقل و تحت تیمار نوری قرار گرفتند. ۴۵ روز پس از رشد گیاهان در اتاقک رشد و هنگامی که نشاءها به اندازه قابل کاشت (حدود ۱۵ سانتی‌متر و دارای دو برگ حقیقی کاملاً توسعه‌یافته) رسیدند، گیاهان از اتاقک رشد خارج و صفاتی نظیر شاخص‌های رشدی، رنگدانه‌ها و شاخص‌های فتوسنتزی، فنل کل و کربوهیدرات محلول ارزیابی شدند.

نحوه اعمال تیمار نوری

به‌منظور اعمال تیمار نوری از اتاقک رشد ۱۰۰۰ لیتری مجهز به سیستم تنظیم نور، دما و رطوبت نسبی استفاده شد. برای ایجاد درصد‌های مورد نظر از طیف‌های نوری آبی و قرمز از لامپ‌های ال‌ای‌دی (ساخت کشور چین) با طیف قرمز (۶۲۵ نانومتر، محدوده شار نوری ۳۰-۲۵ لومن و محدوده ولتاژ ۳/۲-۳ ولت) و طیف آبی (۴۶۷ نانومتر، محدوده شار نوری ۲۰-۱۵ لومن و محدوده ولتاژ ۳/۴-۳/۲ ولت) استفاده گردید. هر طبقه از اتاقک رشد برای اعمال تیمار یک ترکیب نوری در نظر گرفته شد. فاصله منبع نوری تا گیاهچه در هر طبقه ۳۰ سانتی‌متر بود. شدت نور 280 ± 10 میکرومول بر مترمربع در ثانیه، مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت و مدت زمان تاریکی هشت ساعت، دما طی دوره کشت طی روز 25 ± 1 درجه سانتی‌گراد و در شب 16 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد تنظیم شد. علت استفاده از اتاقک رشد ممانعت از ورود سایر طیف‌های نوری خارج از موارد مورد بررسی طی آزمایش و بررسی دقیق طیف‌های مورد بررسی بر ویژگی‌های نشاء پیاز بود.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی

پس از خروج گیاهچه از بستر کاشت، شاخص‌های رشدی نظیر طول نشاء، طول پهنک بلندترین برگ حقیقی (از حفره بین غلاف و

اندازه‌گیری فنل کل و کربوهیدرات محلول

به‌منظور سنجش میزان فنل کل، ابتدا عصاره گیاهی تهیه شد. برای تهیه عصاره گیاهی ۰/۳ گرم از نمونه تازه برگ با ۳ سی‌سی متانول ۸۵ درصد در هاون چینی ساییده شد. پس از ۳۰ دقیقه شیک کردن در سرعت ۱۱۰ دور در دقیقه، نمونه‌ها ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از سانتریفیوژ، قسمت بالایی نمونه جدا و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس میزان فنل کل طبق روش سینگلتون و روسی (Singleton & Rossi, 1965) و با استفاده از فولین-سیکالتو (folin-ciocaltcu) اندازه‌گیری شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، میزان جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-1280 شیمادزو-ژاپن) قرائت شد. از منحنی استاندارد اسیدگالیک برای تعیین غلظت فنل کل استفاده گردید. در نهایت، غلظت فنل کل به واحد میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم بافت تازه با استفاده از معادله ۵ محاسبه گردید.

$$(۵) \times (1000/\text{غلظت فرمول در منحنی استاندارد}) = \text{فنل کل}$$

$100 \times (\text{وزن نمونه} / \text{حجم عصاره})$
به‌منظور اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد خرد شد. سپس عصاره رویی با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به حجم رسانده شد و عصاره به‌دست‌آمده به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت، ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره الکلی با سه میلی‌لیتر آنترون مخلوط شد و لوله‌های آزمایش در یک حمام آب گرم در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند تا یک ماده رنگی به دست آید. پس از خنک کردن نمونه‌ها، خوانش در طول موج ۶۲۵ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام شد. در نهایت، کربوهیدرات محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (Irigoyen et al., 1992). برای استاندارد کربوهیدرات کل از گلوکز استفاده شد و محلول‌هایی با غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر آن ایجاد شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های رشد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های رشدی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر طول نشاء، طول پهنک بلندترین برگ، طول ریشه، طول و قطر ساقه مجازی و وزن تر در سطح یک درصد و اثر ساده کیفیت نور بر وزن خشک نشاء در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه بین دو حجم مختلف سلول سینی نشاء (۲۸ و ۱۸ سی‌سی) در این پژوهش نشان داد که با کاهش حجم سلول سینی نشاء به ۱۸ سی‌سی، طول نشاء و طول پهنک بلندترین برگ پیاز افزایش یافت. این روند افزایشی در تمامی ترکیب‌های مختلف نوری مشاهده شد (جدول ۲). در مقایسه بین ترکیبات مختلف نوری در هر دو حجم مختلف سلول سینی، بالاترین طول نشاء در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کمترین میزان این شاخص نیز مربوط به تیمار نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی بود. اما در ارتباط با شاخص طول پهنک بلندترین برگ این روند کمی متفاوت بود، به‌طوری‌که بالاترین طول برگ در هر دو حجم سلول سینی نشاء در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و کمترین میزان در ترکیب نوری ۵۰ درصد آبی : ۵۰ درصد قرمز مشاهده شد (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست‌آمده، طول ریشه در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با سلول ۲۸ سی‌سی به‌طور معنی‌داری کمتر بود. ترکیبات مختلف نوری در سلول ۱۸ سی‌سی بر طول ریشه نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. اما در سلول ۲۸ سی‌سی طول ریشه با استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در مقایسه با سایر ترکیبات نوری به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (جدول ۲). در ارتباط با قطر ساقه مجازی، در مجموع حجم سلول سینی تأثیری بر این شاخص نداشت و تفاوت معنی‌داری بین سلول ۱۸ سی‌سی و ۲۸ سی‌سی مشاهده نشد. باین‌حال این روند در ترکیب‌های مختلف نوری متفاوت بود. استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در سلول ۱۸ سی‌سی به‌طور قابل توجهی قطر ساقه مجازی را در مقایسه با سلول ۲۸ سی‌سی افزایش داد، به‌طوری‌که در مجموع، بالاترین قطر ساقه مجازی در این ترکیب نوری و در سلول ۱۸ سی‌سی مشاهده شد. کمترین میزان قطر ساقه مجازی در سلول ۱۸ سی‌سی و در تیمار نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی به دست آمد. در ترکیب نوری ۲۵ درصد آبی : ۷۵ درصد قرمز نیز تفاوت معنی‌داری از نظر قطر ساقه مجازی بین دو حجم مختلف سلول سینی نشاء مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج همچنین نشان داد که کاهش حجم سلول سینی نشاء (۱۸ سی‌سی) منجر به افزایش طول ساقه مجازی گردید. در هر سه ترکیب نوری نیز بالاترین طول ساقه

مجازی مربوط به سلول ۱۸ سی‌سی بود. مقایسه بین ترکیب‌های مختلف نوری نشان داد که در تیمار ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز، طول ساقه مجازی در مقایسه با دو تیمار دیگر بالاتر بود. کمترین طول ساقه مجازی نیز مربوط به تیمار ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی بود. این روند هم در سلول ۱۸ سی‌سی و هم در سلول ۲۸ سی‌سی مشاهده شد (جدول ۲).

براساس نتایج به‌دست‌آمده، با کاهش حجم سلول سینی نشاء، وزن تر و خشک کاهش یافت. در هر سه ترکیب نوری نیز کمترین میزان وزن تر و خشک نشاء در سلول ۱۸ سی‌سی مشاهده شد. در سلول ۱۸ سی‌سی، بالاترین میزان این دو شاخص مربوط به تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و تیمار نوری ۲۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما در تیمار ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی، کمترین میزان وزن تر و خشک نشاء مشاهده شد. تأثیر ترکیب‌های مختلف نوری بر وزن تر نشاء در سلول ۲۸ سی‌سی مشابه با سلول ۱۸ سی‌سی بود، اما در ارتباط با وزن خشک روند کمی تفاوت داشت. به‌طوری‌که بین سه تیمار مختلف نوری تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۲).

سن نشاء، طول نشاء و قطر ساقه مجازی از جمله مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی نشاء با کیفیت در پیاز است. براساس پژوهش‌های

صورت‌گرفته، یک نشاء مناسب در پیاز دارای طول ۲۰ سانتی‌متر و قطر دو تا سه سانتی‌متر طی دوره پرورش ۲ تا ۲/۵ ماه می‌باشد (Liu & Woong 1996; Singh, 1993; Izadkhah et al., 2011). در پژوهش حاضر، یک دوره زمانی دو ماهه برای دستیابی به نشاء با کیفیت پیاز در نظر گرفته شد. نتایج نشان دادند که کاهش حجم سلول سینی نشاء منجر به کاهش طول ریشه، وزن تر و خشک و افزایش طول نشاء و طول ساقه مجازی در پیاز گردید. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مبنی بر کاهش شاخص‌های رشدی طی کاهش حجم سلول سینی نشاء در فلفل و گوجه‌فرنگی مطابقت دارد (Zakaria et al., 2020; Salari et al., 2022). نتایج سایر محققان نیز نشان داده است که با محدود شدن رشد ریشه از یک سو و عدم دریافت نور کافی از سوی دیگر، فتوسنتز و در نهایت وزن خشک نشاء نیز کاهش می‌یابد (Poorter et al., 2012). در تولید تجاری نشاء، کاهش حجم سلول‌ها و افزایش تراکم کاشت در هر سینی از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است اما می‌تواند منجر به کاهش کیفیت نشاء نیز شود. زیرا با کاهش فضای رشد، میزان دسترسی ریشه به آب، اکسیژن و مواد غذایی محدود شده و از سوی دیگر با افزایش تراکم رقابت نوری بین گیاهان افزایش یافته و منجر به تولید نشاء با کیفیت پایین می‌گردد.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های رشدی نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'

Table 1- ANOVA for the effect of cell tray volume and light quality on growth parameter of red onion cv. Azar Shahr transplant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		طول نشاء Seedling length	طول پهنک Blade length	طول ریشه Root length	طول ساقه مجازی Pseudostem length	قطر ساقه مجازی Pseudostem diameter	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight
کیفیت نور Light quality (a)	2	35.7**	18**	1.98**	0.023*	45.5**	51800**	55.21 ^{ns}
حجم سلول سینی نشاء Cell tray volume (b)	1	0.001 ^{ns}	18**	0.0001 ^{ns}	0.008 ^{ns}	480.5**	16200**	0.5 ^{ns}
a×b	2	40.95**	73**	21.66**	0.0005 ^{ns}	96.5**	15000**	480.5**
اشتباه آزمایشی Error	12	0.192	0.25	0.072	0.004	0.25	858.5	17.4
ضریب تغییر CV (%)	-	1.7	2.8	5.8	3.3	1.5	5	11.1

^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار. **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

^{ns} and **: non- significant and significant at p<0.01 respectively.

جدول ۲- اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء × کیفیت نور بر شاخص‌های رشدی نشاء پیاز رقم 'قرمز اذرشهر'
Table 2- The interaction effect of cell tray volume × light quality on growth parameter of red onion cv. Azar Shahr transplant

تیمار نوری Light treatment	حجم سلول سینی نشا Cell tray volume	شاخص های رشد Growth parameter					وزن تر نشا Fresh weight (mg)	وزن خشک نشا Dry weight (mg)
		طول نشاء Seedling length (cm)	طول پهنک بلند ترین برگ Leaf length (cm)	طول ریشه Root length (cm)	قطر ساقه مجازی Pesodostem diameter (mm)	طول ساقه مجازی Pesodostem length (mm)		
۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی 75% Red : 25% Blue	۱۸ سی سی 18 cc	25.5 ^{a*}	22.5 ^a	3 ^d	2.13 ^a	34.5 ^c	595 ^b	34 ^b
	۲۸ سی سی 28 cc	22.9 ^b	19.5 ^d	7.25 ^a	2.06 ^{ab}	32 ^d	655 ^a	44.25 ^a
۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی 25% Red : 25% Blue	۱۸ سی سی 18 cc	25 ^a	20.5 ^b	3.25 ^d	2.02 ^{ab}	41.5 ^a	565 ^b	34.4 ^b
	۲۸ سی سی 28 cc	20.9 ^b	17 ^c	6.3 ^b	2.03 ^{ab}	39.5 ^b	625 ^a	44.05 ^a
۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی 50% Blue : 50% Red	۱۸ سی سی 18 cc	21.8 ^b	18.5 ^c	3.4 ^d	1.9 ^c	30.5 ^c	405 ^d	23.5 ^c
	۲۸ سی سی 28 cc	16.1 ^c	13.5 ^e	4.6 ^c	1.98 ^{bc}	21.5 ^f	495 ^c	44.15 ^a

* Same letters show no significant difference and different letters show significant difference at $p \leq 0.01$ based on Duncan's multiple range test.
* حروف مشابه عدم اختلاف معنی دار و حروف غیر مشابه اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد نشان می‌دهند.

ساقه مجازی و وزن تر و خشک نشاء نیز به مراتب کمتر بود (جدول ۱). تأثیر طیف‌های مختلف نوری بر وزن تر و خشک نشاء متناسب با گونه گیاهی و مراحل رشدی گیاه تا حدودی متفاوت است (Kaiser et al., 2019). در گیاهانی نظیر مریم گلی، نشاء خیار و نشاء گوجه‌فرنگی نسبت نوری ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی منجر به افزایش وزن تر و خشک شد (Moradi et al., 2022, Hernandez et al., 2015, Hernandez & Kubota, 2016; et al.) که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. اما در شالوت، استفاده از نسبت ۱:۱ از نور قرمز به آبی در مقایسه با نسبت ۲ به ۱ قرمز به آبی تأثیر بیشتری بر افزایش وزن خشک داشت (Zhang et al., 2019). تفاوت‌های مشاهده‌شده می‌تواند به میزان نسبت نور قرمز به آبی، مدت زمان و مرحله رشدی اعمال تیماری نوری و گونه گیاهی وابسته باشد (Zhang et al., 2019).

پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که طیف‌های مختلف نوری اثرات متفاوتی بر شاخص‌های رشدی گیاهان داشتند. نور قرمز با افزایش رشد و تقسیم سلولی منجر به افزایش ارتفاع، وزن تر و خشک، سطح برگ و در نهایت بهبود رشدی گیاه شده است (Wang et al., 2011; Savvides et al., 2010; Johkan et al., 2009; et al.). نور آبی نیز به‌تنهایی با تنظیم بیان ژن‌های سرکوب‌کننده رشد سلولی از رشد و تقسیم سلولی جلوگیری می‌کند (Banerjee et al., 2025). باین حال تحقیقات نشان داده است که استفاده از نورهای ترکیبی قرمز و آبی در مقایسه با نورهای تک طیف قرمز و یا آبی تأثیر بهتری بر رشد و عملکرد گیاه دارند و این به‌دلیل اثرات سینرژیک طیف‌های مختلف نوری روی یکدیگر است (Stutte et al., 2009; Hogewoning et al., 2010). در این میان، بهبود رشد گیاه در محیط نوری با درصد بیشتر نور قرمز مربوط به طول موج نور قرمز می‌باشد که با حداکثر جذب کلروفیل و فیتوکروم‌ها و افزایش ظرفیت فتوسنتزی مطابقت دارد، هرچند پاسخ گونه‌های مختلف گیاهی به نسبت متفاوت خواهد بود (Kaiser et al., 2019).

در مجموع، به نظر می‌رسد که به‌منظور بهبود شرایط اقتصادی و استفاده بهینه از فضا در پرورش نشاء می‌توان از سینی نشاء با حجم سلول کمتر و تراکم بالاتر در ترکیب با تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی استفاده کرد. اگرچه استفاده از تراکم بالا ممکن است کیفیت نشاء را کاهش دهد، اما می‌توان با استفاده از ترکیب نوری مناسب طی رشد، این اثر را جبران کرد. در پژوهش حاضر نیز استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در تراکم کشت بالا منجر به بهبود صفات رویشی شد که نشان از کارآمدی این ترکیب نوری در پرورش نشاء پیاز می‌باشد.

اگرچه کاهش حجم سلول سینی نشاء ممکن است کیفیت نشاء را کاهش دهد، اما ممکن است کیفیت نور ضمن پرورش نشاء تا حدودی به بهبود شاخص‌های رشدی نشاء کمک کند. در پژوهش حاضر، کاهش حجم سلول منجر به کاهش کیفیت نشاء پیاز شد، اما روند این تغییرات در ترکیبات مختلف نوری متفاوت بود. در مقایسه بین سه تیمار نوری در سلول‌های کوچک سینی نشاء، بالاترین طول نشاء (۲۵/۵ سانتی‌متر)، طول بلندترین پهنک (۲۲/۵ سانتی‌متر)، بالاترین قطر ساقه مجازی (۲/۱۳ سانتی‌متر) و بیشترین وزن تر و خشک نشاء در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مبنی بر افزایش رشد طولی نشاء در ترکیبات نوری با نسبت بالاتر نور قرمز به آبی در گوجه‌فرنگی، مریم گلی (*Salvia officinalis*)، خیار (*Cucumis sativus*) و شالوت نیز مطابقت داشت (Moradi et al., 2022; Zhang et al., 2019; Hernandez & Kubota, 2015). نور ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی در گوجه‌فرنگی منجر به افزایش رشد طولی نشاء و در مریم گلی بالاترین ارتفاع گیاه و طول برگ را در بر داشت (Hernandez et al., 2016; Moradi et al., 2022). در شالوت نیز استفاده از تیمار نوری ۲ به ۱ از نور قرمز به آبی به‌طور قابل توجهی ارتفاع گیاه را افزایش داد (Zhang et al., 2019).

مقایسه بین سه تیمار نوری همچنین نشان داد که اگرچه از نظر طول نشاء تفاوت معنی‌داری بین ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی وجود نداشت، اما در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی قطر ساقه مجازی بیشتر و طول ساقه مجازی کمتر بود که می‌تواند به‌عنوان یک نشاء مطلوب در درپياز در نظر گرفته شود. طول نشاء در این تیمار کمی بیشتر از طول نشاء مناسب در پیاز بود، اما بالاترین قطر ساقه مجازی را نیز داشت و کشیدگی طول ساقه مجازی در آن کمتر بود. نکته قابل توجه در این است که استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی، قطر ساقه مجازی را در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با ۲۸ سی‌سی نیز افزایش داد، به‌طوری‌که در مجموع، بالاترین کیفیت نشاء از نظر طول و قطر ساقه مجازی در سلول ۱۸ سی‌سی و این ترکیب نوری یافت شد. این یافته با نتایج گائو و همکاران (Gao et al., 2023) مبنی بر تأثیر بیشتر نور آبی در مقایسه با نور قرمز بر افزایش طول ساقه مجازی در تره‌فرنگی نیز مطابقت دارد.

بالاترین میزان وزن تر و خشک در سلول ۱۸ سی‌سی بدون تفاوت معنی‌دار در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز مشاهده شد. در تیمار ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی اگرچه طول نشاء و کشیدگی آن کمتر بود، اما قطر

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر رنگی‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به رنگی‌های فتوسنتزی در **جدول ۳** نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (**جدول ۳**). براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سلول ۱۸ سی‌سی در مقایسه با سلول ۲۸ سی‌سی و در ترکیب نوری ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی به‌طور معنی‌داری کمتر بود. اما در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی تفاوت معنی‌داری در محتوای رنگی‌های فتوسنتزی بین دو حجم ۱۸ سی‌سی و ۲۸ سی‌سی مشاهده نشد (**شکل ۱**). نتایج نشان داد که در سلول بزرگ‌تر (۲۸ سی‌سی) تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد آبی : ۷۵ درصد قرمز از نظر محتوای رنگی‌های فتوسنتزی وجود نداشت. اما در سلول کوچک‌تر (۱۸ سی‌سی) بالاترین محتوای رنگی‌های فتوسنتزی در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و کمترین میزان آن‌ها در تیمار نوری ۵۰ درصد آبی : ۵۰ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی، ۷۵ درصد قرمز (بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر) مشاهده شد (**شکل ۱**).

براساس پژوهش‌های صورت‌گرفته در نشاء فلفل، با کاهش حجم سلول سینی نشاء، میزان دسترسی ریشه به اکسیژن و در نهایت کارایی فتوسنتز در واحد سطح برگ نیز کاهش یافت. کاهش در ظرفیت فتوسنتزی، کاهش میزان سنتز رنگ‌دانه‌ها را نیز در بر داشت. تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که کاهش سرعت فتوسنتز منجر به کاهش میزان کلروفیل برگ نیز می‌گردد (*Zakaria et al., 2020*). در پژوهش حاضر تنها در ترکیب نوری ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ درصد آبی و با کاهش حجم سلول سینی نشاء، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کاهش یافت. بالاترین میزان این رنگی‌ها در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد و کاهش حجم سلول سینی تأثیری بر محتوای رنگی‌های فتوسنتزی نداشت. تأثیر طیف‌های مختف نور بر میزان رنگی‌های فتوسنتزی وابسته به نوع گونه گیاهی متفاوت است. در شالوت در نسبت نوری ۲ به ۱ از نور قرمز به آبی در مقایسه با نسبت ۱ به ۱ از نور قرمز به آبی محتوای کلروفیل بالاتر بود (*Zhang et al., 2019*). این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر در پیاز مطابقت داشت. در نشاء گوجه‌فرنگی (*Hernandez et al., 2016*) و گیاه مریم گلی (*Moradi et al., 2022*) تفاوتی در محتوای رنگدانه در ترکیبات مختلف نوری قرمز به آبی مشاهده نشد. اما در نشاء خیار با افزایش نسبت نور آبی به قرمز، میزان رنگ‌دانه‌ها افزایش یافت (*Hernandez & Kubota, 2015*).

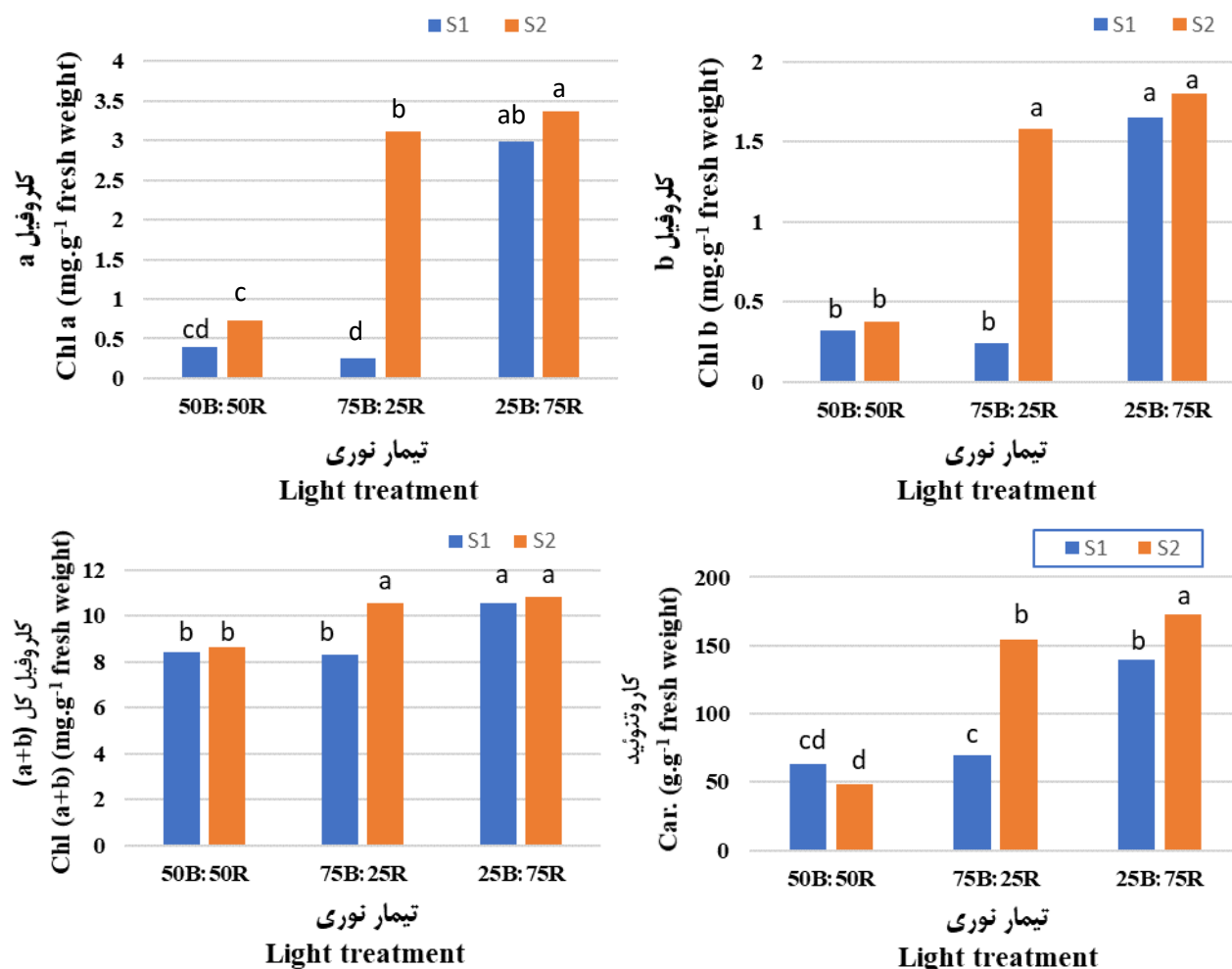
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر رنگی‌های فتوسنتزی، محتوای فنل و کربوهیدرات نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'

Table 1- ANOVA for the effect of cell tray volume and light quality of seedling tray on photosynthetic pigments, phenol and carbohydrate of red onion cv. Azar Shahr transplant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Chl (a+b)	کارتنوئید Carotenoid	فنل Phenol	کربوهیدرات Carbohydrate
کیفیت نور Light quality (a)	2	10.33**	2.9096**	7.193**	15017.98**	6169.41**	2283.53**
حجم سلول سینی نشاء Cell tray volume (b)	1	6.342**	1.2033**	3.624**	689.56*	1480.21**	808.77**
a×b	2	3.103**	0.7643**	2.015**	6059.953**	2147.33**	1220.24**
اشتباه آزمایشی Error	12	0.0404	0.0341	0.04509	90.89730	5.40640	10.70642
ضریب تغییر CV (%)	-	11.08	18.5	2.2	8.81	1	5.3

ns: عدم اختلاف معنی‌دار. **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: non- significant and significant at p<0.01 respectively.



شکل ۱- میزان رنگدانه‌های نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر' رشد یافته تحت تاثیر اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × حجم مختلف سلول سینی نشاء

Figure 1- Photosynthetic pigments content in the red onion cv. Azar Shahr transplant grown under interaction effect of different light spectra × different cell volume of seedling tray (DMRT, p < 0.01)

حجم هر سلول سینی نشاء به ترتیب در S1 و S2 ۱۸ میلی‌لیتر و ۲۸ میلی‌لیتر می‌باشد.

S1 and S2 show 18 cc and 28 cc cell volume, respectively

با یافته‌های مرادی و همکاران (Moradi et al., 2022) مبنی بر افزایش میزان کاروتنوئید در ترکیب نوری ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی و کمترین میزان در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی در گیاه مریم گلی هم‌خوانی داشت. تحقیقات نشان می‌دهد که نور قرمز روی بیان ژن‌های مؤثر بر تولید هورمون‌های رشد مؤثر بوده و در ترکیب با نور آبی اثر سینرژیک داشته و بر توسعه کلروپلاست و تشکیل کلروفیل مؤثر است. در مجموع، استفاده از نورهای ترکیبی قرمز آبی، اثرات مثبتی بر تولید رنگدانه‌ها، افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نهایت بهبود عملکرد و رشد گیاه دارد (Hogewoning et al., 2010). در مجموع، به نظر می‌رسد که استفاده از نور ترکیبی ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در هر دو حجم سینی نشاء و به‌ویژه

با کاهش حجم سلول سینی نشاء (۱۸ سی‌سی) محتوای کاروتنوئید در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۲۵ درصد آبی : ۷۵ درصد قرمز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. اما در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی تفاوتی در محتوای کاروتنوئید بین دو حجم مختلف سلول نشاء مشاهده نشد. با این حال بالاترین میزان کاروتنوئید در سلول کوچک ۱۸ سی‌سی در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی صورت گرفت (شکل ۱). در تریچه *Raphanus sativus* var. *Sativus* بیشترین میزان کاروتنوئید در ترکیب نوری ۲ به ۱ از نور قرمز به آبی و کمترین میزان در ترکیب ۱ به ۱ از نور قرمز به آبی مشاهده شد (Shamsi Roodbarsar et al., 2023) که با یافته‌های پژوهش حاضر در پیاز مطابقت دارد. این نتایج

زمانی که استفاده از حجم سلول کوچکتر صرفه اقتصادی دارد، می‌تواند بالاترین راندمان را در تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی داشته باشد.

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های فتوسنتزی در **جدول ۴** نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر غلظت CO_2 زیر روزنه، نرخ تعرق، هدایت روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز در سطح یک درصد و اثر ساده کیفیت نور بر کارایی فتوسیستم II معنی‌دار بود (**جدول ۴**). در پژوهش حاضر، میزان کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m) در حجم کوچک‌تر سلول سینی نشاء (۱۸ سی‌سی) در مقایسه با سلول بزرگ‌تر (۲۸ سی‌سی) و در تمامی سطوح نوری کمتر بود، هرچند این تفاوت معنی‌دار نبود (**شکل ۲**). کاهش حجم سلول سینی نشاء، میزان دسترسی ریشه به مواد غذایی و اکسیژن را محدود کرده و در نهایت منجر به کاهش رشد ریشه و میزان کلروفیل می‌گردد. تنش واردشده ناشی از حجم سلول سینی می‌تواند میزان F_v/F_m را نیز به دلیل تخریب کلروفیل کاهش دهد (**Salari et al., 2022**). کاهش حجم سلول سینی نشاء در گوجه‌فرنگی با کاهش میزان نسبت F_v/F_m و نرخ فتوسنتز همراه بود که با نتایج پژوهش حاضر در پیاز مطابقت دارد. کاهش کارایی فتوسیستم II منجر به کاهش شاخص‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی نشاء نیز می‌شود (**Salari et al.,**

2022). البته در برخی گیاهان، کاهش حجم سلول تأثیری بر محتوای کلروفیل نداشته است (**Oh et al., 2014; Li et al., 2016**). در فلفل، کاهش حجم سلول تأثیری بر میزان این شاخص نداشته است (**Salari et al., 2022**) که مغایر با نتایج پژوهش حاضر در پیاز است. البته ذکر این نکته حائز اهمیت است که در مراحل اولیه رشد، تراکم کاشت در سینی‌های نشاء با حجم سلول پایین تأثیر چندانی بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه ندارد، اما با توجه به طولانی مدت بودن دوره پرورش نشاء در پیاز تراکم بالا می‌تواند میزان جذب نور را کاهش داده و باعث کاهش میزان نرخ فتوسنتز شود (**Li et al., 2016**).

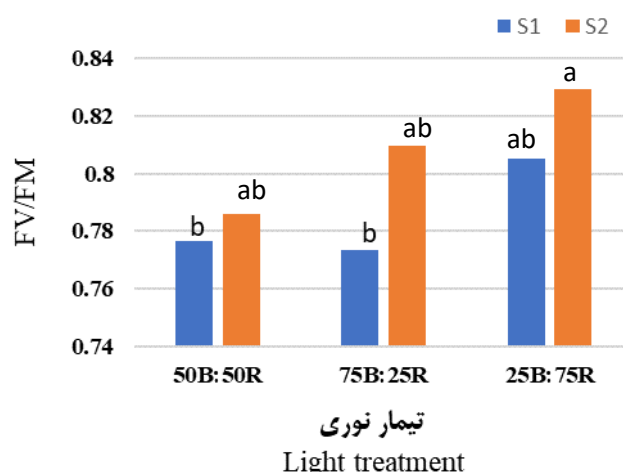
اگرچه کاهش حجم سلول سینی نشاء منجر به کاهش میزان کارایی فتوسیستم II در نشاء پیاز شد، اما نتایج نشان داد که استفاده از یک تیمار نوری مناسب می‌تواند به‌طور کارآمدی این کاهش را به حداقل برساند. در پژوهش حاضر، بالاترین میزان F_v/F_m در حجم سلول کوچک‌تر سینی نشاء در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد (**شکل ۲**). بالاتر بودن میزان F_v/F_m به‌معنای فعال بودن مرکز واکنش فتوسیستم II و بالا بودن کارایی سیستم انتقال الکترون می‌باشد. چنانچه میزان این شاخص کاهش یابد، احیای کوئینون A در مجموعه کلروفیل به‌خوبی صورت نگرفته و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش می‌یابد. نور قرمز منجر به افزایش بیان ژن‌های مرتبط با کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور در فتوسیستم II و افزایش کارایی این فتوسیستم می‌شود.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر شاخص‌های فتوسنتزی نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'
Table 4- ANOVA for the effect of cell tray volume and light quality on photosynthetic parameters of red onion cv. Azar Shahr transplant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		نرخ فتوسنتز Photosynthesis rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	نرخ تعرق Transpiration rate	CO_2 زیر روزنه Sub-stomatal CO_2 concentration	کارایی فتوسیستم II F_v/f_m
کیفیت نور Light quality (a)	2	2.695**	0.00285**	1.54478**	21153.12**	0.002449*
حجم سلول سینی نشاء Cell tray volume (b)	1	8.0601**	0.0001125*	0.49005**	27848.0**	0.00000139 ^{ns}
a×b	2	1.0704**	0.00285**	1.62251**	29948.37**	0.00110835 ^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	12	0.00951	0.0000125	0.00174	7.0833	0.000613
ضریب تغییر CV (%)	-	2.8	10.8	4.9	1.04	3

^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار، **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: non- significant and significant at $P < 0.01$ respectively.



شکل ۲- اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × حجم سلول سینی نشاء بر شاخص فلوروسانس کلروفیل (Fv/Fm) نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'
Figure 2- The interaction effect of different light spectra × different cell volume of seedling tray on Fv/Fm of the red onion cv. Azar Shahr transplant (p < 0.01)

S1 و S2: به ترتیب نشان‌دهنده حجم ۱۸ میلی‌لیتر و ۲۸ میلی‌لیتر برای هر سلول سینی نشاء می‌باشد.
S1 and S2: show 18 cc and 28 cc cell volume respectively.

(Guo et al., 2023). تحقیقات نشان داده است که اگرچه نسبت بالاتر نور قرمز به آبی، میزان Fv/Fm را افزایش می‌دهد، اما افزایش بیش از اندازه نور قرمز اثر مخربی بر این شاخص نیز دارد (Borowski et al., 2015). از سوی دیگر، در برخی گیاهان، واکنش متفاوتی گزارش شده که با یافته‌های پژوهش حاضر در پیاز مغایرت دارد. در نشاء خیار، استفاده از نور تک طول موج آبی در مقایسه با نور ترکیبی قرمز: آبی با نسبت برابر و نور تک طول موج قرمز، کارایی بالاتری داشته است (Miao et al., 2016). در پژوهشی دیگر، استفاده از نور ترکیبی قرمز و آبی در خیار تفاوتی در کارایی فتوسنتز II مشاهده نشده است (Hogewoning et al., 2010).

براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، با کاهش حجم سلول سینی نشاء و در تیمار ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز، میزان هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق کاهش یافت. در سلول ۱۸ سی‌سی و در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز: ۲۵ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز: ۵۰ درصد آبی این روند کمی متفاوت بود، به طوری که میزان هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق افزایش یافت (شکل ۳). در سلول ۱۸ سی‌سی تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف نوری بر هدایت روزنه‌ای مشاهده نشد، اما بالاترین میزان نرخ تعرق در تیمار نوری ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز مشاهده شد (شکل ۳).

در سلول سینی ۱۸ سی‌سی میزان دی‌اکسید زیر روزنه در هر سه تیمار نوری کمتر از سلول ۲۸ سی‌سی بود. در مقایسه بین ترکیبات نوری مختلف، در سلول ۱۸ سی‌سی بالاترین میزان این شاخص در نور ترکیبی ۷۵ درصد آبی: ۲۵ درصد قرمز و کمترین میزان این

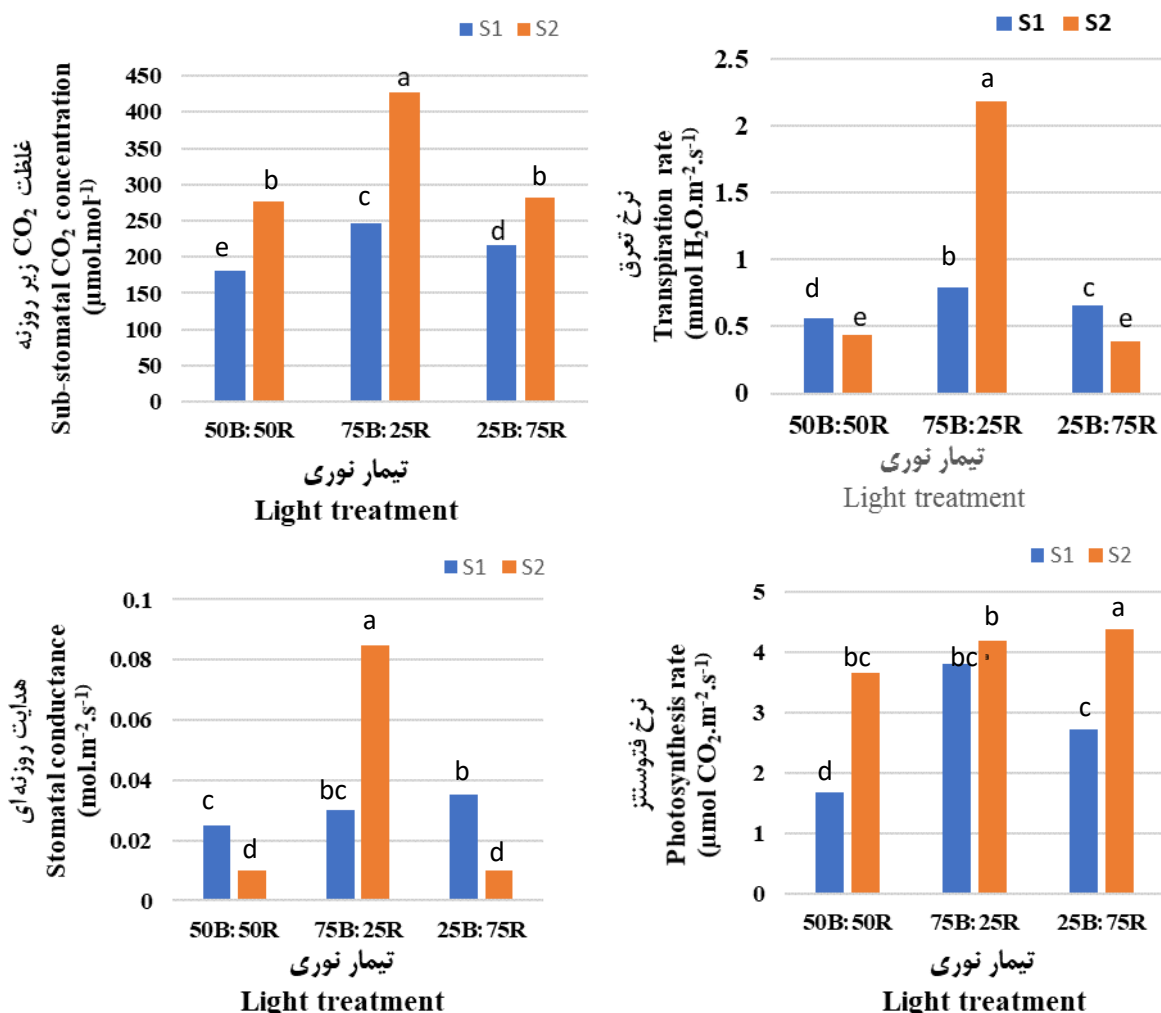
اما افزایش بیش از اندازه طول موج باعث اختلال در عملکرد فتوسنتز II شده و همچنین با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای در نهایت ظرفیت فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (Zlatev & Yordanov, 2004). استفاده از نور ترکیبی با نسبت مناسب نور قرمز به آبی، اختلال حاصل از شدت بالای نور قرمز را بهبود بخشیده و منجر به افزایش Fv/Fm و در نهایت افزایش کارایی فتوسنتز II می‌شود (Taulavuori et al., 2018).

تأثیر طیف‌های مختلف نور بر فلوروسانس کلروفیل در گیاهان مختلف متفاوت است (Moradi et al., 2023). در تحقیق حاضر، میزان این شاخص در نسبت بالاتر نور قرمز به آبی افزایش معنی‌داری یافت که با یافته‌های سایر محققان مبنی بر افزایش Fv/Fm در مریم‌گلی، شاهی (*Lepidium sativum*) و اسفناج (*Spinacia oleracea*) مطابقت داشت (Moradi et al., 2023; Ajdanian et al., 2020; Matsuda et al., 2008). در مریم‌گلی، کارایی عملکرد کوانتومی فتوسنتز II در ترکیب تیماری ۷۰ درصد قرمز: ۳۰ درصد آبی به بیشترین میزان خود رسید. در حالی که در ترکیب تیماری ۵۰ درصد آبی: ۵۰ درصد قرمز و ۷۰ درصد آبی: ۳۰ درصد قرمز تفاوتی نداشتند (Moradi et al., 2023). در شاهی نیز در ترکیب نوری ۶۰ درصد قرمز: ۴۰ درصد آبی در مقایسه با مقدار ۹۰ درصد قرمز: ۱۰ درصد آبی، این شاخص بالاتر بود (Ajdanian et al., 2020). در کاهو نیز بالاترین میزان این شاخص در ترکیب نوری ۹: ۳ قرمز به آبی مشاهده شد (Chen et al., 2022). در کشت درون شیشه‌ای اریکیده نیز نسبت بالاتر نور قرمز به آبی در مقایسه با نسبت‌های برابر کارایی فتوسنتز II شاخص نیز بالاتر بود (Lee et al., 2009).

شاخص در تیمار نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی مشاهده شد (شکل ۳).

با کاهش حجم سلول سینی نشاء و افزایش تراکم کاشت، میزان نرخ فتوسنتز در همه تیمارهای نوری کاهش یافت و در تیمار نوری

۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی به کمترین میزان خود رسید (شکل ۳). بالاترین میزان نرخ فتوسنتز در حجم سلول ۱۸ سی سی در ترکیب نوری ۲۵ درصد قرمز : ۷۵ آبی و ۷۵ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی و بدون تفاوت معنی دار با یکدیگر مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳- اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × ابعاد مختلف سلول سینی نشاء بر غلظت CO₂ زیر روزنه، نرخ تعرق، هدایت روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز در نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'

Figure 3- The interaction effect of different light spectra × cell volume of seedling tray on sub-stomatal CO₂ concentration, transpiration rate, stomatal conductance and photosynthesis rate of the red onion cv. Azar Shahr transplant ($p < 0.01$)

S1 و S2: به ترتیب نشان دهنده حجم ۱۸ میلی لیتر و ۲۸ میلی لیتر برای هر سلول سینی نشاء می باشد.
S1 and S2: show 18 cc and 28 cc cell volume respectively.

2009). از سوی دیگر، تراکم بالا در سینی نشاء با سلول کوچکتر منجر به رقابت نوری و عدم دریافت بهینه تیمار نوری نیز می گردد. مقایسه بین دو حجم مختلف سلول سینی نشان داد که با افزایش حجم سلول و کاهش تراکم سینی در تیمار نوری ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز به دلیل دریافت بالاتر این ترکیب نوری، روزنه‌ها بازتر و در

به نظر می رسد که کاهش حجم سلول سینی نشاء و تنش حاصل منجر به بسته شدن روزنه، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نهایت کاهش میزان دی اکسید کربن زیر روزنه شده است. تحقیقات نشان داده است که کاهش میزان دی اکسید کربن زیر روزنه می تواند به دلیل بسته بودن روزنه‌ها و یا افزایش میزان تثبیت دی اکسید کربن باشد (Igbal et al.,

این نور، ورود پتاسیم به سلول روزنه تسهیل و با خروج پروتون از آن‌ها، روزنه باز می‌شود (Mott, 2009). در نور قرمز، گیاهان روزنه کوچک‌تری داشته و می‌توانند به‌صورت مؤثرتری روند باز و بسته شدن روزنه را کنترل کنند. در این نور علاوه بر وارد شدن دی‌اکسید کربن، مقدار کمتری آب از دست رفته و باعث کارایی مصرف آب نیز می‌شود. از این رو ترکیب نور قرمز با آبی می‌تواند اثرات منفی هر یک از نورها را تعدیل و نرخ فتوسنتز را افزایش دهد. هرچند واکنش گونه‌های مختلف گیاهی به نسب‌های مختلف نور قرمز به نور آبی ممکن است متفاوت باشد (Doheny-Adams et al., 2012).

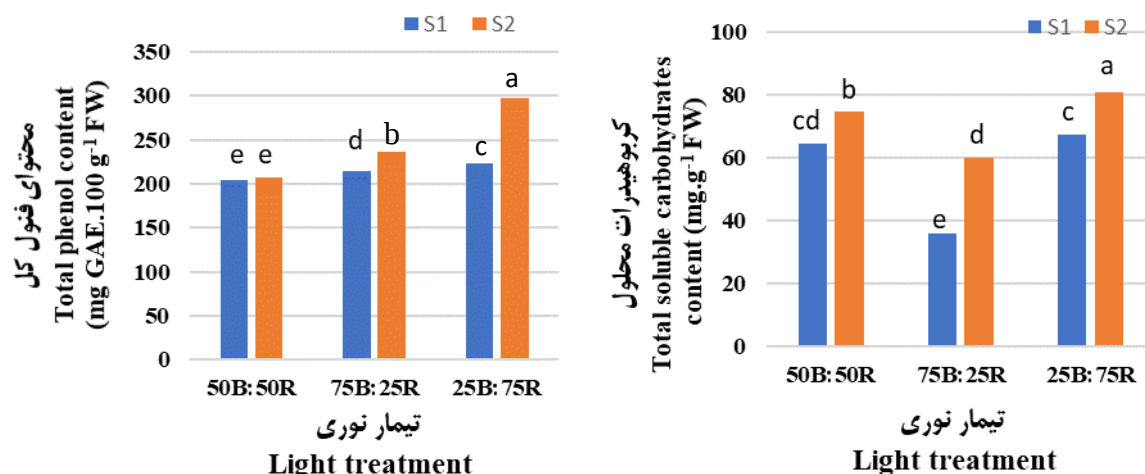
در پژوهش حاضر، اگرچه در سلول کوچک‌تر استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز میزان هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسیدکربن زیر روزنه را افزایش داد، اما در نهایت بالاترین میزان نرخ فتوسنتز بین این تیمار نوری و تیمار ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز (بدون تفاوت معنی‌دار) مشاهده شد.

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر میزان فنل کل و کربوهیدرات

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل حجم سلول سینی نشاء و کیفیت نور بر میزان فنل کل و کربوهیدرات در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه بین دو حجم مختلف سلول سینی نشاء نشان داد که با کاهش حجم سلول در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز و ۲۵ درصد آبی و در ترکیب نوری ۷۵ درصد آبی و ۲۵ درصد قرمز، میزان ترکیبات فنلی کاهش می‌یابد.

نتیجه هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق افزایش می‌یابد. در تیمار نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی نیز با کاهش تراکم در سینی، دریافت نور افزایش یافته و به دلیل تأثیر بازدارندگی نور قرمز بر باز شدن روزنه‌ها، این دو کاهش یافت (شکل ۳). در مجموع، به نظر می‌رسد که در سلول کوچک‌تر سینی نشاء بتوان با استفاده از یک تیمار نوری مناسب شاخص‌های فتوسنتزی را بهبود بخشید.

در خیار، هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق در ترکیب نوری با نسبت بالاتر نور آبی نسبت به قرمز، بیشتر از سایر نسبت‌های نوری بود (Hernandez & Kubota, 2015). که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر تأثیر نور ترکیبی ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز بر باز شدن روزنه‌ها مطابقت دارد. در خیار، نرخ فتوسنتز نیز در ترکیب نوری با نسبت بالاتر نور قرمز به آبی و یا نسبت بالاتر نور آبی به قرمز در مقایسه با نسبت‌های برابر نور قرمز به آبی بالاتر بود (Hernandez & Kubota, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در گوجه‌فرنگی روند متفاوتی مشاهده شد. در این گیاه، ترکیبات مختلف نوری تأثیر یکسانی بر هر سه شاخص هدایت روزنه‌ای، نرخ تعرق و نرخ فتوسنتز داشتند (Hernandez et al., 2016). اما در پژوهشی دیگر در گوجه‌فرنگی، میزان نرخ فتوسنتز و کربوهیدرات در ترکیب نوری با نسبت ۳ به ۱ از نور قرمز به آبی بالاتر بود که با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت (Li et al., 2016). تحقیقات نشان داده است که تیمار گیاهان با نور تک طول موج آبی با افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش تعرق و کاهش فتوسنتز خالص همراه است (Aliniaieifard & Seifi Kalhor, 2017). در گیاهان تیمار شده با



شکل ۴- اثر متقابل طیف‌های مختلف نوری × حجم مختلف سلول سینی نشاء بر محتوای فنل کل و کربوهیدرات نشاء پیاز رقم 'قرمز آذرشهر'
Figure 4- The interaction effect of different light spectra × cell volume of seedling tray on total soluble carbohydrates content and total phenolic content of the red onion cv. Azar Shahr transplant (DMRT, $p < 0.01$)

S1 و S2: به ترتیب نشان‌دهنده حجم‌های ۱۸ و ۲۸ میلی‌لیتر برای هر سلول سینی نشاء می‌باشد.

S1 and S2: show 18 cc and 28 cc cell volume respectively.

کمترین میزان کربوهیدرات در تیمار ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز مشاهده شد (شکل ۴).

محققان نشان داده‌اند که کیفیت نور از طریق تنظیم متابولیسم کربوهیدرات در فرآیندهای مختلف رشدی و فیزیولوژیکی نقش مهمی دارند. مطالعات قبلی نشان داده است که نور آبی با افزایش سنتز پیرووات کیناز، سنتز پروتئین را افزایش می‌دهد، درحالی‌که نور قرمز می‌تواند تجمع محصولات فتوسنتزی و نشاسته را افزایش دهد (Heo et al., 2006; Wu et al., 2007). استفاده از نورهای ترکیبی قرمز و آبی به‌طور مؤثری عملکرد فتوسنتز را افزایش داده و منجر به افزایش محتوای کربوهیدرات می‌شود. اگرچه میزان نسبت نور قرمز به آبی متناسب با گونه گیاهی متفاوت است، اما اغلب تحقیقات نشان داده است که بالاترین کارایی در نسبت بالاتر نور قرمز به آبی به دست می‌آید و افزایش نور آبی می‌تواند نتیجه عکس داشته و منجر به کاهش وزن نیز گردد (Verma et al., 2018). در گوجه‌فرنگی تحقیقات نشان داده است که افزایش فعالیت آنزیم‌های ساکارز سینتاز و ساکارز فسفات سینتاز ناشی از نور ترکیبی با نسبت بالای نور قرمز منجر به تجمع گلوکز و فروکتوز در گیاه می‌گردد (Li et al., 2017). پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با تأثیر نور ترکیبی بر محتوای کربوهیدرات انجام شده است که با نتایج پژوهش حاضر در پیاز هم‌خوانی دارد. در مریم گلی، بالاترین محتوای کربوهیدرات در ترکیب نوری ۵۰ درصد آبی : ۵۰ درصد قرمز و ۷۰ درصد قرمز : ۳۰ درصد آبی مشاهده شد (Moradi et al., 2023). در نشاء گوجه‌فرنگی، بالاترین میزان کربوهیدرات در نسبت نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و سپس در ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی مشاهده شد (Li et al., 2017). در شاهی نیز نسبت بالای نور قرمز به نور آبی نیز منجر به افزایش محتوای کربوهیدرات شد (Ajdanian et al., 2020). افزایش محتوای کربوهیدرات در نسبت‌های بالای نور قرمز در گیاهانی نظیر کلم، سویا (*Glycine max*) و تربچه نیز گزارش شده است (Wang et al., 2009; Lin et al., 2013). استفاده از نور ترکیبی با نسبت بالای نور قرمز در گیاهان خانواده آپیاسه نظیر شوید (*Anethum graveolens*) و جعفری (*Petroselinum crispum*) نیز میزان ساکارز را افزایش داد (Bliznikas et al., 2012).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، حجم سلول سینی نشاء همراه با تیمار نور ترکیبی بر ویژگی‌های رشدی، فتوسنتزی و کیفیت نشاء پیاز مؤثر بود. نتایج نشان داد که استفاده از حجم کوچک‌تر سلول سینی نشاء امکان دسترسی ریشه به اکسیژن، آب و

اما در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی، تفاوتی در محتوای فنل کل در دو حجم مختلف سلول مشاهده نشد (شکل ۴). بالاترین میزان فنل در سلول ۱۸ سی‌سی در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و کمترین میزان فنل در ترکیب نوری ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی مشاهده شد (شکل ۴).

به نظر می‌رسد که با افزایش حجم سلول سینی نشاء، امکان رشد ریشه به‌دلیل دسترسی به اکسیژن، آب و مواد غذایی افزایش یافته و به‌طور مؤثری ظرفیت فتوسنتزی را افزایش می‌دهد (Shopova & Cholakov, 2014). از سوی دیگر، با افزایش حجم سلول سینی نشاء، تراکم گیاهان در هر سینی کاهش یافته و میزان دسترسی هر گیاه به نور افزایش می‌یابد. همان‌طور که اشاره شد، افزایش ظرفیت فتوسنتزی امکان تولید پیش‌ماده اولیه مواد فنلی را نیز افزایش می‌دهد (Connor et al., 2005). از این‌رو با کاهش حجم سلول سینی نشاء، حجم ریشه کاهش یافته و امکان دستیابی به نور کافی کاهش می‌یابد. در این شرایط، استفاده از یک ترکیب نوری مناسب می‌تواند بر بهبود کیفیت نشاء مؤثر باشد.

طیف‌های مختلف نور می‌تواند با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های دخیل در سنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی میزان این مواد را در گیاهان افزایش دهند. افزایش بیان ژن‌های مرتبط با تولید ترکیبات فنلی تحت نور آبی و قرمز نیز در گیاه *Salvia miltiorrhiza* گزارش شده است (Zhang et al., 2020). اگرچه استفاده از نور آبی به‌تنهایی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاز و تولید ترکیبات فنلی شود، اما تحقیقات نشان داده است که گیاهان رشدیافته در نورهای ترکیبی با نسبت بالاتر قرمز به آبی به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های اولیه مورد نیاز جهت سنتز ترکیبات فنلی تأثیر بیشتری در تولید این متابولیت دارند (Connor et al., 2005). در پژوهش حاضر نیز بالاترین میزان ترکیبات فنل در نور ترکیبی ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی مشاهده شد که با یافته‌های سایر محققان مبنی بر افزایش ترکیبات فنلی در ترکیب نوری ۷۰ قرمز : ۳۰ آبی در مریم گلی مطابقت داشت (Moradi et al., 2023). استفاده از نورهای ترکیبی قرمز و آبی در ریحان و تعدادی از گیاهان زینتی نیز منجر به افزایش میزان ترکیبات فنلی می‌گردد که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Jakubczyk et al., 2024; Ouzounis et al., 2014).

در تمامی طیف‌های نوری با کاهش حجم سلول سینی نشاء محتوای کربوهیدرات کاهش یافت. در سلول ۱۸ سی‌سی بالاترین میزان کربوهیدرات در ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد (بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر) و

II، افزایش نرخ فتوسنتز، محتوای فنل و کربوهیدرات و در نهایت بهبود رشد در نشاء پیاز شد. به‌طوری‌که در یک سلول ۱۸ سی‌سی با ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی، یک نشاء مناسب به طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۲/۱۳ میلی‌متر حاصل شد. اما در همین ترکیب نوری در سلول ۲۸ سی‌سی، کیفیت نشاء به‌ویژه از نظر قطر ساقه مجازی پایین‌تر بود. در مجموع، نتایج نشان داد که چنانچه به دلایل اقتصادی و با هدف بهینه‌سازی استفاده از فضا از سینی‌هایی با حجم سلول کمتر (تراکم بالاتر کشت) استفاده کنیم، می‌توانیم با ترکیب نوری ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی کیفیت نشاء را افزایش دهیم.

مواد غذایی را کاهش داده و منجر به کاهش رشد ریشه و برخی از شاخص‌های کیفی نشاء می‌شود. از سوی دیگر، با کاهش حجم سلول، تعداد گیاهان در هر سینی نیز افزایش می‌یابد. این افزایش تراکم امکان دسترسی گیاهچه به ترکیب نوری مناسب را کاهش می‌دهد. با این حال استفاده از یک ترکیب نوری مناسب می‌تواند شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی را بهبود ببخشد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، در حجم سلول ۱۸ سی‌سی استفاده از ترکیب نوری ۷۵ درصد قرمز : ۲۵ درصد آبی در طی دوره پرورش نشاء در مقایسه با ترکیب ۷۵ درصد آبی : ۲۵ درصد قرمز و ۵۰ درصد قرمز : ۵۰ درصد آبی منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، بهبود کارایی فتوسنتز

References

- Ahmadi, Gh. (2020). Effect of supplemental LED light on growth characteristics and quality of pepper (*Capsicum annum* L.) seedling. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture. Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (In Persian).
- Ajdanian, L., Babaei, M., & Aroiee, H. (2020). Investigation of photosynthetic effects, carbohydrate and starch content in cress (*Lepidium sativum*) under the influence of blue and red spectrum. *Heliyon*, 6(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05628>
- Agarwal, A., & Gupta, S. D. (2018). Impact of light-emitting diodes (LEDs) on the growth and physiological status of spinach (*Spinacia oleracea* L.) seedlings. *New Biotechnology*, 44, S104. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.05.988>
- Aliniaiefard, S., & Seifi Kalhor, M. (2017). Effects of blue light on photosynthesis of *Tradescantia virginiana* plants grown in different VPDs. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(2), 420-428. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1396.30.2.16.7>
- Banerjee, R., & Batschauer, A. (2005). Plant blue-light receptors. *Planta*, 220(3), 498-502. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1418-z>
- Bliznikas, Z., Arturas, G., Samuoliene, G., Viršilė, A., Brazaitytė, A. J. J., & Duchovskis, P. A. N. (2012). Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant and nutritional properties of green vegetables. *Acta Horticulture*, 939, 85-91. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.939.10>
- Borowski, E., Michalek, S., Rubinowska, K., Hawrylak-Nowak, B., & Grudzinski, W. (2015). The effects of light quality on photosynthetic parameters and yield of lettuce plants. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 14(5). <https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-d6f9a902-eb2e-4042-ba68-a3124f691dca>
- Brewster, J. L. (2008). Onions and Other Vegetable Allium. CAB International. U K. 236 p. <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/book/10.1079/9781845933999.0000#>.
- Chen, D., Zhang, J., Zhang, Z., Wan, X., & Hu, J. (2022). Analyzing the effect of light on lettuce Fv/Fm and growth by machine learning. *Scientia Horticulturae*, 306, 111444. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111444>
- Connor, A. M., Finn, C. E., & Alspach, P. A. (2005). Genotypic and environmental variation in antioxidant activity and total phenolic content among blackberry and hybrid berry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(4), 527-533. <https://www.ars.usda.gov/ARSPUserFiles/1718/pdf/2005/connorjash2005tpc.pdf>
- Doheny-Adams, T., Hunt, L., Franks, P. J., Beerling, D. J., & Gray, J. E. (2012). Genetic manipulation of stomatal density influences stomatal size, plant growth and tolerance to restricted water supply across a growth carbon dioxide gradient. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367, 547-555. <https://doi.org/10.1098%2Frstb.2011.0272>
- Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>
- FAO. (2023). <http://www.faostat.fao.org/>. Access date 3 June 2025.
- Gao, S., Liu, X., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., & Xu, K. (2021). Comparison of the effects of LED light quality combination on growth and nutrient accumulation in green onion (*Allium fistulosum* L.). *Protoplasma*, 258, 753-763. <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01593-y>

15. Guo, Y., Zhong, Y., Mo, L., Zhang, W., Chen, Y., Wang, Y. C., & Meng, X. (2023). Different combinations of red and blue LED light affect the growth, physiology metabolism and photosynthesis of in vitro-cultured *Dendrobium nobile* 'Zixia'. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 64(3), 393-407. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00491-x>
16. Heo, J. W., Lee, C. W., & Paek, K. Y. (2006). Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. *Journal of Plant Biology*, 49, 286-290. <https://doi.org/10.1007/BF03031157>
17. Hernandez, R., & Kubota, C. (2015). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, 121(1), 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>
18. Hernandez, R., Eguchi, T., Devenci, M., & Kubota, C. (2016). Tomato seedling physiological responses under different percentages of blue and red photon flux ratios using LEDs and cool white fluorescent lamps. *Journal of Scientia Horticulturae*, 213, 270-280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.005>
19. Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010). Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 3107-3117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
20. Iqbal, N., Ashraf, M., & Ashraf, M. Y. (2009). Influence of exogenous glycine betaine on gas exchange and biomass production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water limited conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, 420-426. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00381.x>
21. Irigoyen, J., Einerich, D., & Sánchez- Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
22. Izadkhah M., Tajbakhsh M., & Amernia., R. (2011). Effects of different size and age of transplants on marketable and biological yield, harvest index and some qualitative characters of long – day and intermediate- day onion (*Allium cepa* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 24(2), 203-215. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i2.7999>
23. Jakubczyk, K., Szymczykowski, K., Melkis, K., Maciejewska-Markiewicz, D., Nowak, A., Muzykiewicz-Szymańska, A., & Skonieczna-Żydecka, K. (2024). The role of light in enhancing the nutritional and antioxidant qualities of basil, mint and lemon balm. *Foods*, 13(23), 3954. <https://doi.org/10.3390/foods13233954>
24. Jiao, Y., Lau, O. S., & Deng, X. W. (2007). Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nature Reviews: Genetics*, 8(3), 217-230. <https://doi.org/10.1038/nrg2049>
25. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, A. S., & Yoshihara, T. (2010). Blue light emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45, 1809-1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>
26. Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2019). Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse grown tomatoes, but only to an optimum. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002>
27. Kang, C. H., Yoon, E. K., Muthusamy, M., Kim, J. A., Jeong, M. J., & Lee, S. I. (2020). Blue LED light irradiation enhances L-ascorbic acid content while reducing reactive oxygen species accumulation in Chinese cabbage seedlings. *Scientia Horticulturae*, 261, 108924. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108924>
28. Lee, Y. I., Fang, W., & Chen, C. C. (2009, November). Effect of six different LED light qualities on the seedling growth of Paphiopedilum orchid in vitro. In VI International Symposium on Light in Horticulture 907. pp. 389-391. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.65>
29. Leskovar, D. I., & Vavrina, C. S. (1999). Onion growth and yield are influenced by transplant tray cell size and age. *Scientia Horticulturae*, 80(3-4), 133-143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00256-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00256-8)
30. Li, G., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2016). The response of the root apex in plant adaptation to iron heterogeneity in soil. *Frontiers in Plant Science*, 344, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00344>
31. Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F., & Wang, X. (2017). Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Scientia Horticulturae*, 225, 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.053>
32. Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W., & Yang, C. M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>
33. Liu F., & Woong, C. (1996). Effect of plug size and seedling age on growth and development of onion (*Allium cepa* L.). *Bulletin of National Pingtung Polytechnic - Institute*, 5(2), 1-6. <https://worldveg.tind.io/record/24836>

34. Liu, X., Shi, R., Gao, M., He, R., Li, Y., & Liu, H. (2022). Effects of LED light quality on the growth of pepper (*Capsicum* spp.) seedlings and the development after transplanting. *Agronomy*, 12(10), 2269. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102269>
35. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2008). Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, 49, 664-670. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn041>
36. Matsuda, R., Yamano, T., Murakami, K., & Fujiwara, K. (2016). Effects of spectral distribution and photosynthetic photon flux density for overnight LED light irradiation on tomato seedling growth and leaf injury. *Scientia Horticulturae*, 198, 363-369. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.045>
37. Miao, Y. X., Wang, X. Z., Gao, L. H., Chen, Q. Y., & Mei, Q. U. (2016). Blue light is more essential than red light for maintaining the activities of photosystem II and I and photosynthetic electron transport capacity in cucumber leaves. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(1), 87-100. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61202-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61202-3)
38. Miralles, J., Martínez-Sánchez, J. J., Franco, J. A., & Bañón, S. (2011). Rhamnus alaternus growth under four simulated shade environments: Morphological, anatomical and physiological responses. *Scientia Horticulturae*, 127(4), 562-570. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.005>
39. Moradi, M., Aruei, M., Abedy, B., Aliniaiefard, S., Ghasemi-Bezdi, K. (2022). Induction of morph-physiological and biochemical alternation of *Salvia Officinalis* L. by manipulating light spectrum. *Journal of Plant Production Research*, 30(3), 101-121. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/JOPP.2022.20733.2977>.
40. Moradi, M., Abedi, B., Arouiee, H., Aliniaiefard, S., & Ghasemi Bezdi, K. (2023). Effect of different light spectral on photosynthetic performance, growth indicators and essential oil content of *Salvia officinalis* L. *Journal of Horticultural Science*, 37(3), 821-841. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78806.1211>
41. Mott, K. A. (2009). Opinion: Stomatal responses to light and CO₂ depend on the mesophyll. *Plant Cell Environment*, 32, 1479-1486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02022.x>
42. Oh, J. H., Park, Y. G., Park, J. E., & Jeong, B. R. (2014). Effect of cell size on growth and development of plug seedlings of three indigenous medicinal plants. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(2), 71-76. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2014.23.2.71>
43. Ouzounis, T., Fretté, X., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. O. (2014). Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *Journal of Plant Physiology*, 171, 1491-1499. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.012>
44. Pardo, G. P., Aguilar, C. H., Martinez, F. R., Pacheco, A. D., Martinez, L. C., & Ortiz, E. M. (2013). High intensity LED light in lettuce seed physiology (*Lactuca sativa* L.). *Acta Agrophysica*, 665-677. <https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-0f5bb9a7-74eb-4ee6-86c9-6e7ba2787604>
45. Pardo, G. P., Aguilar, C. H., Martinez, F. R., Pacheco, C. D., Gonzalez, M. M., & Canseco, M. M. (2014). Effect of light-emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. *Annual Research and Review in Biology*, 4, 2983-2994. <https://www.researchgate.net/profile/Arturo-Dominguez-Pacheco/publication/282729687>
46. Poorter, H., Böhler, J., van Dusschoten, D., Climent, J., & Postma, J. A. (2012). Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 39, 839-850. <https://doi.org/10.1071/FP12049>
47. Porra, R. J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73(1-3), 149-156. <https://doi.org/10.1023/A:1020470224740>
48. Salari, A., Jafari, L., & Yavari, A. (2022). The effect of tray cell volume and humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplant (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Plant Production Research*, 225-245. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19524.2879>
49. Savvides, A., Fanourakis, D., & Van Ieperen, W. (2011). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1135-1143. <https://doi.org/10.1093/jxb/err348>
50. Shamsi Roodbarsar, P., Mousavi Seyedi, S. R., Kalantari, D., & Ghasemi, K. (2023). Evaluation of the effects of artificial light on some plant characteristics in the design and construction of a small-scale plant factory. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(2), 213-226. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.2022.73522.1070>
51. 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. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
52. Simlat, M., S'lezak, P., Mo's, M., Warchol, M., Skrzypek, E., & Ptaka, A. (2016). The effect of light quality on the seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Scientia Horticulturae*, 211, 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.009>

53. Stützel, H., & Chen, T. W. (2020). Models of vegetable growth and development. In *The Physiology of Vegetable Crops*. pp. 94-116. Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786393777.0094>
54. Stutte, G. W., Edney, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with lightemitting diodes. *Horticultural Sciences*, 44, 79-82. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79>
55. Taulavuori, K., Pyysalo, A., Taulavuori, E., & Julkunen-Tiitto, R., (2018). Responses of phenolic acid and flavonoid synthesis to blue and blue-violet light depends on plant species. *Environmental and Experimental Botany*, 150, 183-187. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.016>
56. Singh, R. S. (1993). Studies on the effect of different transplanting dates on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). *Current Agriculture*, 17(1-2), 41-45. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19950308647/>
57. Shopova, N., & Cholakov, D. (2014). Effect of the age and planting area of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings for late field production on the physiological behavior of plants. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20, 173-177. <https://www.researchgate.net/profile/Nikolina-Shopova/publication/274387675>
58. Vahdati, K., & Leslie, C. (Eds.). (2013). Abiotic stress: Plant responses and applications in agriculture. BoD-Books on Demand. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=euacDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq>
59. Verma, S. K., Gantait, S., Jeong, B. R., & Hwang, S. J. (2018). Enhanced growth and cardenolides production in *Digitalis purpurea* under the influence of different LED exposures in the plant factory. *Scientific Reports*, 8, 18009. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36113-9>
60. Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2009). Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 96(1), 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010>
61. Wu, M. C., Hou, C. Y., Jiang, C. M., Wang, Y. T., Wang, C. Y., Chen, H. H., & Chang, H. M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101, 1753-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.010>
62. XiaoYing, L., ShiRong, G., ZhiGang, X., XueLei, J., & Tezuka, T. (2011). Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes. *HortScience*, 46(2), 217-221. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.2.217>
63. Yilmaz, E., Sonmez, I., & Demir, H. (2014). Effects of zeolite on seedling quality and nutrient contents of cucumber plant (*Cucumis sativus* L. CV. Mostar F1) grown in different mixtures of growing media. *Communication in Soil Science and Plant. Analysis*. <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.950425>
64. Zhang, Y., Wang, X. R., & Chen, J. (2019). Effects of light quality and photoperiod of light emitting LED on growth and biomass accumulation of shallot. *Journal of Horticulture and Forestry*, 11(5), 78-83. <https://doi.org/10.5897/JHF2019.0586>
65. Zhang, S., Ma, J., Zou, H., Zhang, L., Li, S., & Wang, Y. (2020). The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops and Products*, 158, 112959. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112959>
66. Zakaria, N. I., Ismail, M. R., Awang, Y., Megat Wahab, P. E., & Berahim, Z. (2020). Effect of root restriction on the growth, photosynthesis rate, and source and sink relationship of chilli (*Capsicum annum* L.) grown in soilless culture. *BioMed Research International*, 2020, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2020/2706937>
67. Zlatev, Z. S., & Yordanov, I. T. (2004). Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30, 3-18.

Research Article

Vol. 40, No. 2, Summer 2026, p. 317-332

Improving the Resistance to Oxidative Stress and Enhancing Quality and Vase Life of Cut Tuberose (*Polianthes tuberosa*) Flowers using Antimicrobial and Antioxidant Compounds

M. Mohammadi¹, D. Hashemabadi^{1*}, B. Kaviani¹

1- Department of Horticultural Science, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

(*- Corresponding author's Email: hashemabadi@iau.ac.ir)

Received: 14 June 2025

Revised: 09 September 2025

Accepted: 11 October 2025

Available Online: 11 October 2025

How to cite this article:¹

Mohammadi, M., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2026). Improving the resistance to oxidative stress and enhancing quality and vase life of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flowers using antimicrobial and antioxidant compounds. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 317-332. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94068.1439>

Introduction

Cut tuberose flowers face challenges such as reduced vase life and postharvest quality deterioration. This problem is mainly caused by various factors such as dehydration, vascular blockage due to bacterial growth, ethylene accumulation and oxidative stress, which lead to a reduction in the postharvest lifespan of flowers. To address these challenges, the use of chemical and natural compounds has been considered an effective method to extend postharvest longevity and maintain the quality of cut flowers. Aluminum sulfate helps to preserve the freshness of cut flowers by reducing microbial growth, improving water uptake and preventing vascular blockage. The use of aluminum sulfate in vase solutions has shown to increase of the postharvest lifespan in certain cut flowers, such as roses, gardenias and lisianthus. Plant essential oils (containing phenol), possess antioxidant, antibacterial and antifungal properties. They can inhibit microbial growth in vase solutions and prevent cellular damage caused by reactive oxygen species (ROS) or free radicals. The positive effects of certain essential oils on extending the vase life of some cut flowers, including gerberas, roses and alstroemerias, have been reported. Cobalt chloride prevents vascular blockage caused by bacterial agents in stems and maintains a high-water flow rate, leading to improved water uptake by cut flowers. This salt can also extend vase life by inhibiting ethylene production, preventing its accumulation and reducing respiration. The beneficial effect of cobalt chloride on increasing the vase life of some ornamental cut flowers, including roses, carnations, tuberose, gladiolus and chrysanthemums, has been reported. 8-Hydroxyquinoline sulfate (8-HQS) is an inhibitor of ethylene production and reduces respiration rate. In cut flowers such as dendrobium, gerbera and gladiolus, 8-HQS extended the vase life by preventing microbial growth, reducing respiration rate and enhancing water absorption. This study aimed to investigate the effects of aluminum sulfate, *Eryngium* spp. essential oil, cobalt chloride and 8-HQS on the postharvest longevity of cut tuberose flowers (*Polianthes tuberosa*).

Materials and Methods

Cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flowers were obtained from a commercial producer in Tehran Province. To standardize the stem length, all flowers were recut at a 60 cm distance under water and immediately transported to the postharvest laboratory at the Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Rasht Branch, to prevent dehydration. Upon arrival, the flowers were placed in distilled water to maintain hydration. For the experiment, five cut flowers were placed in each 2-liter plastic vase and then treated with specific concentrations of the experimental factors. The study was conducted based on a completely randomized block design with three replications. The effects of different concentrations of aluminum sulfate (50, 100 and 150 mg.L⁻¹), *Eryngium*



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94068.1439>

essential oil (10, 20 and 40%), cobalt chloride (200, 300 and 400 mg.L⁻¹) and 8-HQS (100, 200 and 400 mg.L⁻¹) on cut flowers parameters such as vase life, water uptake, fresh weight loss, chlorophyll content, malondialdehyde (MDA) as an indicator of lipid peroxidation, bacterial colony count and antioxidant enzyme activity were evaluated. Thus, the present experiment consisted of 12 treatments, 3 replications and 5 flower stems per replication, totaling 36 experimental units (plots). Treatments were applied permanently, with each treatment prepared based on a 500 mL volume in the plastic vase. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and means were compared by the LSD at $P < 0.05$ using the SAS ver. 9.2 software.

Results and Discussion

The results showed that treatment with aluminum sulfate significantly increased vase life and prevented fresh weight loss. Aluminum sulfate improved water uptake and preserved chlorophyll content, thereby enhancing the longevity of the flowers. *Eryngium* essential oil also had a positive effect on maintaining flower quality due to its antimicrobial and antioxidant properties. Results of the variance analysis showed that treatments with aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-HQS significantly increased the vase life of tuberose cut flowers ($P < 0.01$). The effect of treatments was significant for most traits. The longest vase life (12 and 11.50 days) was observed in aluminum sulfate at 100 and 50 mg.L⁻¹, respectively, while the control treatment had a vase life of only 8 days. The highest water uptake was observed in treatments with aluminum sulfate (100 mg.L⁻¹), 8-HQS (200 mg.L⁻¹) and *Eryngium* essential oil (10 mg.L⁻¹). The control treatment had the highest bacterial population at the stem base (33 CFU.mL⁻¹) and vase solution (73 CFU.mL⁻¹). 8-HQS (400 mg.L⁻¹) showed the lowest bacterial population at the stem base (4 CFU.mL⁻¹). Just some treatments were selected for measurement of enzymes activity. Among the selected treatments, *Eryngium* essential oil (20 mg.L⁻¹) exhibited the highest peroxidase (POD) enzyme activity, while the control treatment (0.07 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh weight) had the lowest. The control treatment (9.47 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh weight/min) showed the highest catalase (CAT) enzyme activity, while cobalt chloride (300 mg.L⁻¹, 1.84 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh weight.min⁻¹) had the lowest. Aluminum sulfate can partially reduce ethylene production and respiration rate in cut flowers. It primarily acts as an antimicrobial agent, indirectly extending vase life. Some studies suggest aluminum may moderately reduce lipid peroxidation in cell membranes. The aluminum ion may interact with cell walls, enhancing tissue rigidity and delaying wilting. Studies on roses, peonies and gladiolus confirmed that aluminum sulfate delays senescence by inhibiting microbial growth, preventing bacterial blockage and improving water uptake. Plant essential oils (e.g., in tuberose, chrysanthemum, gerbera, gladiolus and carnation) extend postharvest life due to their antimicrobial and antioxidant properties, reducing microbial load in vase solutions and ethylene production. 8-HQS, as a disinfectant, extended vase life in peonies, dendrobium and gladiolus by inhibiting bacteria, enhancing water uptake, delaying senescence, suppressing ethylene and reducing respiration rate. Increased POD activity in treated flowers indicates enhanced antioxidant defense, crucial for neutralizing free radicals and mitigating oxidative stress. Reduced CAT activity in treated tuberose flowers may result from lower ROS production, direct inhibition of enzyme activity, hormonal/metabolic signaling changes and delayed oxidative stress and senescence.

Conclusion

These findings suggest that the use of these compounds particularly aluminum sulfate at the concentration of 100 and 50 mg.L⁻¹ can be an effective method to improve the postharvest longevity and quality of cut tuberose flowers.

Keywords: Antioxidant activity, Lipid peroxidation, Ornamentals quality, Vase life, Water uptake

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص. ۳۳۲-۳۱۷

بهبود مقاومت به تنش اکسیداتیو و افزایش کیفیت و ماندگاری گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) با ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی

محسن محمدی^۱ - داود هاشم‌آبادی^{۱*} - بهزاد کاویانی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق (*Eryngium spp.*)، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر پس از برداشت گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) انجام شد. گل‌های شاخه‌بریده مریم به دلیل اهمیت زینتی و اقتصادی بالا، با چالش‌هایی مانند کاهش عمر گلجای و افت کیفیت پس از برداشت مواجه هستند. این مشکل عمدتاً ناشی از عوامل مختلفی مانند کم‌آبی، انسداد آوندها به دلیل رشد باکتری‌ها، تجمع اتیلن و تنش‌های اکسیداتیو است. پژوهش حاضر شامل ۱۳ تیمار از سطوح مختلف ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی (سولفات آلومینیوم در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ اسانس چوچاق در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد؛ کلرید کبالت در سه سطح ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در سه سطح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ و یک شاهد)، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. عمر گلجای، جذب آب، کاهش وزن تر، محتوای کلروفیل، میزان مالون‌دی‌آلدهید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها، تعداد کلونی‌های باکتری و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیمار با سولفات آلومینیوم در غلظت‌های ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری عمر گلجای را افزایش داده و از کاهش وزن تر جلوگیری کرد. سولفات آلومینیوم با بهبود جذب آب و حفظ محتوای کلروفیل، به افزایش ماندگاری گل‌ها کمک کرد. اسانس چوچاق به ویژه در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نیز به دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، تأثیر مثبتی بر حفظ کیفیت گل‌ها داشت. یافته‌ای این آزمایش راهکارهای جدیدی را برای صنعت گل‌های زینتی ارائه می‌کند و نشان می‌دهد که استفاده از این ترکیبات می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود عمر پس از برداشت و کیفیت گل‌های شاخه‌بریده مریم مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداسیون لیپیدها، جذب آب، عمر گلجای، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کیفیت گل‌های زینتی

مقدمه

آوندها به دلیل رشد باکتری‌ها، تجمع اتیلن و تنش‌های اکسیداتیو است که منجر به پژمردگی، تغییر رنگ و کاهش جذابیت گل‌ها می‌شود (Nguyen & Ha, 2024). برای مقابله با این چالش‌ها، استفاده از ترکیبات شیمیایی و طبیعی به عنوان روشی مؤثر برای افزایش عمر پس از برداشت و حفظ کیفیت گل‌های شاخه‌بریده مورد توجه قرار گرفته است.

سولفات آلومینیوم با کاهش رشد میکروبی، جلوگیری از رشد باکتری‌ها، کاهش pH محلول گلجای، افزایش جذب آب، تأخیر در پیری و کاهش انسداد آوندهای گل‌های شاخه‌بریده از جمله گل سرخ (Put et al., 1992)، لیسیانثوس (*Eustoma grandiflora*) (Farokhzad et al., 2008) و گل صد تومانی (*Paeonia*) (Nguyen & Lim, 2021) به حفظ شادابی گل‌ها کمک می‌کند. استفاده از سولفات آلومینیوم در محلول گلجای باعث افزایش طول

گل‌های شاخه‌بریده به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زینتی، نقش به سزایی در صنعت گل‌کاری و اقتصاد جهانی ایفا می‌کنند. گل مریم (*Polianthes tuberosa*) از خانواده مارچوبه (*Asparagaceae*)، به دلیل زیبایی چشم‌نواز، عطر دل‌انگیز و نمادین بودن در فرهنگ‌های مختلف، از محبوب‌ترین گل‌های شاخه‌بریده در جهان محسوب می‌شود. با این حال، یکی از چالش‌های اصلی در زمینه گل‌های شاخه‌بریده، کاهش عمر پس از برداشت و افت کیفیت آن‌ها است. این مشکل عمدتاً ناشی از عوامل مختلفی مانند کم‌آبی، انسداد

۱- گروه علوم باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: hashemabadi@iau.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94068.1439>

عمر پس از برداشت برخی گل‌های شاخه‌بریده مانند رز (*Rosa* sp.) (Put et al., 1992; Ichimura et al., 2006; Seyf et al., 2012)، گاردنیا (Çelikel et al., 2020) و لیسیانثوس (Farokhzad et al., 2010; Kiamohammadi et al., 2008) شد.

اسانس‌های گیاهی، محصولات طبیعی و آلی استخراج‌شده از گیاهان معطر و دارویی هستند که دارای خواص مختلف آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و ضدقارچی می‌باشند و می‌توانند از رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها در محلول گلجای جلوگیری کرده و از تخریب سلولی ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) یا رادیکال‌های آزاد جلوگیری کنند (Manfredini et al., 2017; Solgi, 2018; Nguyen & Lim, 2021; El-Sayed & El-Ziat, 2021). در حال حاضر، استفاده از اسانس‌های گیاهی در محلول‌های گلجای گل‌های شاخه‌بریده بسیار مرسوم است. این اسانس‌ها به دلیل دارا بودن مقادیر بالای ترکیبات فنلی مانند اوژنول، کارواکرول و تیمول، آلدئیدها، ترپن‌ها، الکل‌ها و فلاونوئیدها، فعالیت‌های ضد میکروبی قابل توجهی در برابر برخی قارچ‌ها و باکتری‌ها از خود نشان می‌دهند (Solgi et al., 2009; El-Sayed & El-Ziat, 2021). اسانس آویشن (*Thymes*)، عمر گلدانی گل‌های بریده ژربرا (*Gerbera jamesonii*) و آلسترومریا (*Alstroemeria* sp.) را افزایش و آلودگی باکتریایی در انتهای ساقه را کاهش داد (Solgi et al., 2009; Mousavi Bazaz & Tehranifar, 2011). استفاده از چندین اسانس مانند اکالیپتوس (*Eucalyptus*)، دارچین (*Cinnamomum*)، علف لیمو (*Cymbopogon*)، نناع (*Mentha*) و میخک (*Dianthus*)، کیفیت ساقه‌های گل رز را پس از برداشت بهبود بخشید (Manfredini et al., 2017). همچنین عمر گلدانی گل میخک بریده با افزودن تیمول افزایش یافت (Solgi, 2018). اسانس گیاه چوچاق (*Eryngium planum*) از خانواده Apiaceae دارای ترکیبات فعالی مانند ترپن‌ها و فنل‌ها است که خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی دارند (Hosseini et al., 2012). در گل‌های شاخه‌بریده، این اسانس می‌تواند با کاهش تولید اتیلن و کاهش رشد باکتری‌ها در محلول نگهدارنده، از انسداد آوندها جلوگیری کند و جذب آب را بهبود بخشد که در نهایت با حفظ شادابی و کاهش پژمردگی باعث افزایش عمر گلجای می‌شود (Norouzi Khatibi et al., 2012). مطالعات نشان دادند که استفاده از اسانس‌های گیاهی مانند چوچاق در محلول نگهدارنده گل‌های شاخه‌بریده می‌تواند عمر پس از برداشت آن‌ها را افزایش دهد (Norouzi Khatibi et al., 2012).

کلرید کبالت از انسداد آوندی ایجادشده توسط عوامل باکتریایی در ساقه‌ها جلوگیری می‌کند و با حفظ نرخ جریان آب بالا در ساقه‌ها منجر به جذب آب قابل توجه توسط گل‌های بریده می‌شود. این نمک

همچنین به‌عنوان یک ترکیب شیمیایی، با مهار تولید اتیلن و جلوگیری از تجمع آن و کاهش تنفس، می‌تواند عمر گلجای را افزایش دهد (Aslmoshtaghi et al., 2014). اثر مثبت کلرید کبالت روی افزایش عمر گلجای برخی گیاهان زینتی شاخه‌بریده از جمله رز (Aslmoshtaghi et al., 2014)، میخک (Jamali & Rahemi, 2011)، مریم (Mohammadi et al., 2012)، گلابول (*Gladiolus*) (Murali & Reddy, 1993) و داودی (*Chrysanthemum*) (Nabigol et al., 2006) گزارش شد. کلرید کبالت، عمر گلدانی گل شاخه‌بریده داودی را در مقایسه با شاهد پنج تا هفت روز افزایش داد (Nabigol et al., 2006).

۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌عنوان یک ماده ضدباکتری و ضدقارچ، به‌طور گسترده‌ای در صنعت گل‌های شاخه‌بریده برای افزایش عمر گلجای استفاده می‌شود (Rabiza-Swider et al., 2020; Nguyen & Lim, 2021). نمک‌های ۸-هیدروکسی کوئینولین از رشد باکتری‌ها جلوگیری کرده، پیری را به تأخیر انداخته و جذب آب را در گل‌های ژربرا افزایش داد (Nguyen & Lim, 2021). این نمک یک بازدارنده قوی تولید اتیلن و کاهنده سرعت تنفس است (Dung et al., 2017). در گل‌های بریده دندروبیوم (*Dendrobium*) و گلابول، ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با جلوگیری از رشد میکروبی، کاهش سرعت تنفس و افزایش جذب آب باعث افزایش عمر گلدانی شد (Dung et al., 2017).

با توجه به اهمیت اقتصادی گل‌های شاخه‌بریده و نیاز به توسعه روش‌های مؤثر برای افزایش عمر پس از برداشت، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر پس از برداشت و کیفیت گل شاخه‌بریده مریم طراحی شد. در این تحقیق، تأثیر این ترکیبات بر شاخص‌هایی مانند عمر گلجای، جذب آب، کاهش وزن تر، محتوای کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. امید است که نتایج این مطالعه بتواند راهکارهای مؤثری را برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده ارائه دهد و به توسعه روش‌های نوین در صنعت گل‌کاری کمک کند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

گل‌های شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) از یک تولیدکننده تجاری معتبر در استان تهران تهیه شدند. گل‌ها در هنگام صبح و در مرحله تجاری (با یک متر طول و دارای ۲۰-۳۰ جفت گلچه) انتخاب و برداشت شدند. پس از برداشت، به‌منظور یکسان

میزان تبخیر با قرار دادن گلبهای حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در نقاط مختلف اتاق و اندازه‌گیری مقدار کاهش آب در پایان عمر گلجای هر شاخه گل، مقدار تبخیر محاسبه شد.

کاهش وزن تر

با توجه به میزان وزن تر اولیه (W1)، وزن تر نهایی (W2) و وزن بازبرش‌های انجام‌شده (W3) در طی عمر گلجای، مقدار کاهش وزن تر برحسب گرم به‌ازای هر شاخه گل طبق معادله ۲ محاسبه شد.

$$(2) \quad W1 - (W2 + W3) = \text{کاهش وزن تر}$$

درصد ماده خشک

به این منظور، در پایان عمر گلجای، وزن تر گل‌ها اندازه‌گیری شد (FW) و گل‌ها داخل آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید (DW). پس از توزین، مجدداً گل‌ها در آون قرار گرفتند و ۲۴ ساعت بعد توزین شدند. از آنجایی که تغییر وزنی در گل‌های خشک‌شده طی ۲۴ ساعت اول و دوم مشاهده نشد، از قرار دادن گل‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در آون خودداری گردید. به عبارت دیگر، در ۲۴ ساعت اول نمونه‌ها کاملاً خشک شدند. درصد ماده خشک گل‌های شاخه‌بریده با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید.

$$(3) \quad \frac{DW}{FW} \times 100 = \text{درصد ماده خشک}$$

اندازه‌گیری پروتئین گلبرگ

با رؤیت اولین علائم پژمردگی گل‌های شاهد در اتاق عمر گلجای، یک شاخه از هر پلات خارج شد و گلبرگ‌ها توسط دستگاه خشک‌کن خشک شدند و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری گردید. سپس مقدار پروتئین موجود در گلبرگ‌ها اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976). برای عصاره‌گیری، از ۰/۵ گرم بافت گلبرگ استفاده شد. نمونه‌های گلبرگ به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۲۴ ساعت داخل مخلوط اسیدها (۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک + ۶ گرم اسیدسالسیلیک + ۱۸ میلی‌لیتر آب اکسیژنه) نگهداری شدند. پس از آن، عمل هضم نمونه‌ها تا زمان بی‌رنگ شدن نمونه‌ها انجام شد. نمونه‌های بی‌رنگ‌شده پس از صاف شدن با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. از این نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری نیتروژن به کمک دستگاه کج‌دال استفاده شد. پس از اتمام عمل کج‌دال (تغییر رنگ نمونه‌ها از ارغوانی به زرد)، تیتیر نمونه‌ها با اسیدسولفوریک ۰/۵ نرمال تا زمان ارغوانی شدن نمونه‌ها انجام گردید. سپس از عدد حاصل جهت اندازه‌گیری نیتروژن و سپس پروتئین به کمک معادله‌های ۴ و ۵ استفاده گردید.

$$(4) \quad \frac{V}{W} \times \frac{100}{D.M} \times (a - b) \times t \times 0.56 = \text{نیتروژن (درصد)}$$

کردن طول گل‌ها، همه آن‌ها از فاصله ۶۰ سانتی‌متری و در سمت ساقه بازبرش شدند و بلافاصله برای ارزیابی صفات به آزمایشگاه پس از برداشت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت منتقل گردید و در آب مقطر قرار داده شدند تا از کم‌آبی جلوگیری شود. برای انجام آزمایش، پنج گل شاخه‌بریده درون هر گلدان پلاستیکی به حجم دو لیتر قرار داده شدند و سپس با غلظت‌های مشخصی از فاکتورهای آزمایشی تیمار گردید.

طرح و تیمارهای آزمایشی

این مطالعه برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سولفات آلومینیوم (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، اسانس چوچاق (۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد)، کلرید کبالت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات (۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. از آب مقطر به‌عنوان شاهد استفاده شد. بنابراین، آزمایش حاضر دارای ۱۲ تیمار، سه تکرار و در هر تکرار پنج شاخه گل و در مجموع ۳۶ پلات آزمایشی بود (شکل ۱). تیمارها به‌صورت دائمی استفاده شدند و هر تیمار براساس ۵۰۰ میلی‌لیتر از حجم گلدان پلاستیکی بود. این آزمایشگاه دارای دمای 21 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود (Hashemabadi, 2006).

اندازه‌گیری شاخص‌ها

عمر گلجای

عمر گلجای در پایان آزمایش براساس شاخص پژمردگی ظاهری یا پیری برگ و پژمردگی گل در نظر گرفته شد (Nabigol et al., 2006). بنابراین، طول عمر هر یک از چهار شاخه گل موجود در هر گلجای که طول عمرهای متفاوتی داشتند، اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان طول عمر گلجای آن تیمار تلقی گردید (شکل ۱).

جذب محلول

با توجه به حجم اولیه محلول گلجای (۵۰۰ میلی‌لیتر)، حجم باقیمانده محلول گلجای (A) و میزان تبخیر اتاق (B) در پایان آزمایش و وزن تر گل‌ها در روز اول (C)، جذب محلول بر حسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر با استفاده از معادله ۱ به دست آمد (Mohammadi & Hashemabadi, 2016).

$$(1) \quad \text{جذب محلول} = \frac{(A+B)}{C} - 500$$



شکل ۱- اتاق پس از برداشت حاوی گل‌های شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) قرار داده‌شده در ظروف گلجای پرشده با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات (A)؛ گل شاخه‌بریده سالم مریم در محلول گلجای (B)؛ گل شاخه‌بریده پژمرده مریم (C)

Figure 1- Postharvest room containing cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flowers put in vase pots filled with aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate (A); healthy cut tuberose flower in vase solution (B); wilted cut tuberose flower (C)

قطره از آب موجود در قطعات مذکور روی صفحه شیشه‌ای رفرتومتر مدل N-1a ساخت شرکت ATAGO ژاپن ریخته شد و درجه بریکس آن قرائت گردید. از تفریق درجه بریکس روز اول و روز آخر، کاهش درجه بریکس محاسبه گردید.

کلروفیل کل برگ

به منظور استخراج رنگیزه کلروفیل، در روز پنجم یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و مقدار کلروفیل کل برگ‌ها با استفاده از روش مزمودار و مزمودار (Mazumdar & Majumder, 2003) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۰/۵ گرم از بافت برگ با ۵۰ میلی‌لیتر

که در آن، t: غلظت اسید مصرفی جهت تیتراسیون برحسب مول در لیتر، a: میزان اسید مصرفی جهت نمونه برحسب میلی‌لیتر، b: میزان اسید مصرفی جهت شاهد برحسب میلی‌لیتر، v: حجم عصاره حاصل از عمل هضم برحسب میلی‌لیتر، w: وزن نمونه گیاهی جهت هضم برحسب گرم و D.M: درصد ماده خشک گیاه هستند.

$$(5) \quad \text{نیتروژن} \times 6.25 = \text{پروتئین (درصد)}$$

کاهش درجه بریکس

برای اندازه‌گیری درجه بریکس، از بازبرش‌های کوچک انتهایی شاخه‌ها در روز اول و روز آخر عمر گلجای استفاده شد. یک یا دو

انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، شمارش شدند (Liu et al., 2009).

مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

با رؤیت اولین علائم پژمردگی گل‌های شاهد در اتاق عمر گلجای، مالون‌دی‌آلدئید اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پراکسیده شدن لیپیدها، مالون‌دی‌آلدئید به عنوان محصول واکنش پراکسیده شدن اسیدهای چرب غشاء، در تیمارهای گلچین (نانوذرات مس در غلظت پنج میلی‌گرم در لیتر، نیترات مس در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سولفات مس در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اندازه‌گیری شد (Heath & Parker, 1968). برای اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ از شاخه گل جدا و به کمک نیتروژن مایع عصاره‌گیری شد. به عصاره حاصل، یک میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه نمونه‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتی‌فیوژ (۱۴۰۰ دور در دقیقه) گردید. محلول رویی نمونه‌ها توسط سمپلر جدا و مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد عمل سانتی‌فیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) انجام شد. پس از آن به محلول رویی، ۱۰۰۰ میکرولیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۲۰ درصد و ۰/۵ درصد تیوباربوتیریک اسید (TBA) اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه داخل حمام آب جوش (۹۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و سپس به یخ منتقل شد. پس از این مرحله، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتی‌فیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) گردید. ماده قرمز رنگ رویی جدا شد و میزان جذب ماده قرمز رنگ MDA – تیوباربوتیک اسید (MDA-TBA) تولید شده به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر و جذب سایر رنگیزه‌های اختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید.

اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز (CAT)

بافت گیاهی در یک بافر مناسب (بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار در اسیدیته ۷) خرد و هموژنیزه شده، سپس سانتی‌فیوژ گردید تا عصاره شفاف به دست آید. عصاره حاصل به محلول حاوی هیدروژن پراکسید (H_2O_2) ۱۵ میلی‌مولار و EDTA ۰/۵ میلی‌مولار اضافه گردید. کاتالاز، H_2O_2 را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کند. کاهش غلظت H_2O_2 به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان کاهش جذب در واحد زمان نشان‌دهنده فعالیت کاتالاز است و براساس میکرومول H_2O_2 تجزیه شده در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان می‌شود (Abe, 1984).

استون ۸۰ درصد (۸۰ میلی‌لیتر استون و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) در هاون چینی عصاره‌گیری شد. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. سپس مقدار رنگیزه کلروفیل به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۰ و ۶۴۳ نانومتر قرائت شد و در انتها مقدار کلروفیل کل برگ برحسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر با کمک معادله ۶ محاسبه گردید.

$$(6) \quad (A660) \times \frac{16}{8} - (A660) \times \frac{12}{7} = \text{کلروفیل کل}$$

کاروتنوئید گلبرگ

به منظور استخراج رنگیزه کاروتنوئید، در روز پنجم یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و رنگیزه کاروتنوئید گلبرگ با استفاده از روش مزومدار و مجومدار (Mazumdar & Majumder, 2003) اندازه‌گیری شد. روز پنجم، اولین علائم پژمردگی در برخی گلبرگ‌ها مشاهده شد، ولی هنوز گل پژمرده محسوب نمی‌شود. بدین منظور، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ با ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (۸۰ میلی‌لیتر استون و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) در هاون چینی عصاره‌گیری شد. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. سپس مقدار رنگیزه به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۴۰، ۴۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد و در نهایت مقدار کاروتنوئید گلبرگ (Car.) برحسب میکروگرم در هر گرم وزن تر با کمک معادله ۷ محاسبه گردید.

$$(7) \quad \text{Car.} = 4.69 \times A440 - 0.268 \times (20.2) A645 + (8.02) A663$$

شمارش باکتری انتهای ساقه

برای شمارش جمعیت باکتریایی انتهای ساقه، ۲۴ ساعت پس از تیمار پالس، حدود دو سانتی‌متر (۰/۵ گرم) از ته ساقه بریده شد. نمونه سه مرتبه با آب دیونیزه شسته شد تا بار میکروب سطح آن کاهش یابد. سپس نمونه در هاون چینی کاملاً خرد و له شد و با محلول نرمال سالین ۰/۹ درصد رقیق گردید. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول روی پتری‌دیش‌های حاوی محیط کشت نوترینت آگار پهن شد و کلنی‌های باکتری ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد شمارش شدند (Liu et al., 2009).

شمارش باکتری محلول گلجای

برای شمارش جمعیت باکتریایی محلول گلجای، ۲۴ ساعت پس از تیمار پالس، دو میلی‌لیتر از محلول گلجای توسط سرنگ برداشته شد و با دو میلی‌لیتر محلول نرمال سالین ۰/۹ درصد رقیق شد. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول روی پتری‌دیش‌های حاوی محیط کشت نوترینت آگار پهن گردید و کلنی‌های باکتری ۲۴ ساعت پس از

اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

بدین منظور، با رؤیت اولین علائم پژمردگی گل‌های شاهد در اتاق عمر گلجای، از تیمارهای گلچین، یک شاخه گل خارج گردید و از گلبرگ‌های آن جهت ارزیابی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش اسپکتروفتومتری استفاده شد (Giannopolitis & Ries, 1997). مقدار پنج گرم بافت گلبرگ با نیتروژن مایع آسیاب و به دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. سپس ۰/۵ گرم از نمونه منجمدشده با بافر فسفات پتاسیم و پلی وینیل پلی پیرولیدین (PVP) در اسیدپته ۷ رقیق شد. پس از همسان کردن، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (۱۴۰۰۰ دور در دقیقه) گردید. محلول رویی به آرامی برداشته شد و تا زمان اندازه‌گیری فعالیت SOD در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. نمونه‌های شاهد که فاقد آنزیم بودند نیز تهیه شدند. در نهایت، میزان جذب نمونه‌ها برحسب واحد آنزیم در هر گرم وزن تر در دقیقه در طول موج ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.2 و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱ و ۲) نشان داد که تیمار با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده مریم را افزایش داد. اثر تیمارها روی جذب آب، پروتئین گلبرگ، کاروتنوئید گلبرگ، تعداد کلونی‌های باکتری‌ها در انتهای ساقه و آنزیم پراکسیداز و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گل‌های شاخه‌بریده مریم در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمارها روی کاهش وزن تر، درصد ماده خشک، تعداد کلونی‌های باکتری‌ها در محلول گلجای و مالون‌دی‌آلدئید گل‌های شاخه‌بریده در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود. از طرف دیگر، اثر تیمارها روی درجه بریکس و کاهش شاخص کلروفیل گل معنی‌دار نبود.

عمر گلجای

بیشترین عمر گلجای (۱۲ و ۱۱/۵۰ روز)، به‌ترتیب در تیمار سولفات آلومینیوم با غلظت‌های ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد، درحالی‌که شاهد تنها هشت روز عمر گلجای داشت (جدول ۳). کمترین عمر گلجای (۷/۶ روز)، در تیمار ۸-هیدروکسی کوئینولین

سولفات با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با کلرید کبالت با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نیز عمر گلجای کمی داشتند. تیمارهای کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری عمر گلجای را در مقایسه با شاهد افزایش دادند (جدول ۳).

جذب آب

بیشترین جذب آب (۱/۶۹، ۱/۶۵ و ۱/۶۳ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر) به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اسانس چوچاق مشاهده شد. این تیمارها باعث افزایش دو تا سه برابری جذب آب نسبت به برخی تیمارها گردید. کمترین مقدار جذب آب (۰/۶۶ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر)، در تیمار کلرید کبالت با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۳).

پروتئین گلبرگ

تیمارهای کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری محتوای پروتئین گلبرگ‌ها را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. بیشترین محتوای پروتئین گلبرگ‌ها (۳۸/۰۷ درصد) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم مشاهده شد. این تیمار باعث افزایش حدود ۶۰ درصدی محتوای پروتئین نسبت به شاهد شد. بنابراین، کمترین محتوای پروتئین از گلبرگ‌های گل‌های شاخه‌بریده شاهد استخراج شد (جدول ۳).

درجه بریکس

بیشترین درجه بریکس (۲/۷۸، ۲/۶۵، ۲/۶۳ و ۲/۶۱) به‌ترتیب در تیمارهای کلرید کبالت با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سولفات آلومینیوم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. کمترین درجه بریکس (۱/۲۰) از شاهد به دست آمد (جدول ۳).

کاهش وزن تر

کاهش وزن تر در گل‌های تیمار شده با کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. کمترین کاهش وزن تر (۱۷/۵۳ و ۱۸/۸۸ گرم)، به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم مشاهده شد. این تیمار باعث کاهش ۴۵ درصدی کاهش وزن تر نسبت به شاهد گردید. بیشترین کاهش وزن تر (۳۴/۹۳ گرم) در شاهد به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر گلجای و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گل شاخه بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 1- ANOVA for the effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on vase life and some physiologic parameters of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلونی باکتری محلول گلجا Bacterial colony in vase solution	کلونی باکتری انتهای ساقه Bacterial colony at the end of stem	کاروتنوئید گلبرگ Petal carotenoid	کاهش شاخص کلروفیل Decrease of chlorophyll index	درصد ماده خشک Dry material percentage	کاهش وزن تر Decrease of fresh weight	درجه بریکس °Brix	میزان پروتئین گلبرگ Petal protein content	جذب آب Water uptake	عمر گلجای Vase life
تیمارها Treatments	12	951.3*	302**	0.269**	0.957ns	94.11*	79.9*	0.666ns	56.3**	0.039**	7.11**
خطا Error	26	430.6	102.2	0.001	1.12	77.946	21.4	1.011	0.81	0.011	1.25
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	91.7	68.8	6.91	36.4	26.3	19.0	45.3	2.92	7.18	11.5

*, ** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی داری

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

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر میزان مالون دی آلدئید و فعالیت پراکسیداز و کاتالاز گل شاخه بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 2- ANOVA for the effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on the content of MDA and activity of POD and CAT of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	آنزیم کاتالاز CAT	آنزیم پراکسیداز POD	مالون دی آلدئید MDA
تیمارها Treatments	4	27.89**	0.011**	12.186*
خطا Error	10	3.73	0.001	5.07
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	31.68	25.22	12.97

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

* and **: significant at the probability levels of 5% and 1%, respectively

کاروتنوئید گلبرگ

ماده خشک

تیمارهای کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به طور معنی داری محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. بیشترین محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها (۰/۹۷ و ۰/۸۵ میکروگرم در هر گرم وزن تر) به ترتیب در تیمارهای سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و اسانس چوچاق با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد. این تیمارها باعث افزایش چند برابری محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها نسبت به شاهد گردید. کمترین محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها (۰/۰۷ میکروگرم در هر گرم وزن تر) نیز در شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

بیشترین ماده خشک (۴۲/۰۴ و ۴۰/۶۸ درصد) به ترتیب در تیمارهای سولفات آلومینیوم با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر و اسانس چوچاق با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر به دست آمد. کمترین ماده خشک از شاهد به دست آمد (جدول ۳).

کاهش شاخص کلروفیل

بیشترین (۳/۹۸) و کمترین (۲/۱۳) کاهش شاخص کلروفیل، به ترتیب در تیمارهای ۲۰۰ میلی گرم در لیتر ۸-هیدروکسی کوئینولین و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیوم به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر گلجای و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 3- The effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on vase life and some physiologic parameters of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

تیمارها Treatments	کلونی بakterی محلول گلجا Bacterial colony in vase solution (Log 10 CFU.ml ⁻¹)	کلونی بakterی انتهای ساقه Bacterial colony at the end of stem (Log 10 CFU.ml ⁻¹)	کاروتنوئید گلبرگ Petal carotenoid (μg.g ⁻¹ F.W.)	کاهش شاخص کلروفیل Decrease of chlorophyll index	ماده خشک Dry material (%)	کاهش وزن تر Decrease of fresh weight (g)	درجه بریکس °Brix	میزان پروتئین گلبرگ Petal protein content (%)	جذب آب Water uptake (ml.g ⁻¹ F.W.)	عمر گلجای Vase life (day)
A ₁	11.33e	12.00d	0.55e	3.21a	42.04a	18.88cd	2.63a	30.10g	1.52a-e	11.50ab
A ₂	11.00e	6.67e	0.97a	2.13a	37.69b	17.53d	2.65a	38.07a	1.69a	12.00a
A ₃	35.00b	13.33d	0.25j	3.57a	32.94bc	26.96a-d	2.13a	28.02m	1.57a-e	9.50b-d
C ₁	19.00d	17.67c	0.27i	3.66a	32.86bc	29.42a-c	2.78a	28.50l	0.66f	8.00de
C ₂	22.00c	15.67c	0.23k	2.86a	27.66d	19.99b-d	2.12a	29.10j	1.53a-e	10.66a-c
C ₃	18.00de	12.67d	0.40g	2.67a	31.61c	27.00a-d	1.95a	31.10d	1.40de	9.00c-e
E ₁	40.00b	32.00a	0.41f	2.40a	34.21bc	25.47a-d	1.99a	30.08h	1.63a-e	9.00c-e
E ₂	13.67e	10.33de	0.65d	2.15a	34.83b	22.36b-d	2.20a	33.10b	1.51a-e	10.50a-c
E ₃	36.67b	24.00b	0.85b	2.99a	40.68a	21.55b-d	1.57a	32.60c	1.42c-e	10.66a-c
H ₁	5.67f	7.67e	0.75c	3.01a	31.04c	30.19ab	2.61a	31.07e	1.58a-e	10.00a-d
H ₂	7.00ef	6.67e	0.35h	3.98a	37.96b	23.29b-d	2.64a	30.75f	1.65a-c	10.66a-c
H ₃	2.00g	4.00f	0.20l	2.29a	32.23c	18.94cd	2.36a	29.83i	1.46b-e	7.16f
شاهد Control	73.00a	33.00a	0.07m	2.89a	27.42d	34.93a	1.20a	29.05k	1.38e	8.00de

حروف مشترک هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

A₁, A₂ و A₃: به ترتیب سولفات آلومینیوم در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ C₁, C₂ و C₃: به ترتیب کلرید کبالت در غلظت‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ E₁, E₂ و E₃: به ترتیب اسانس چوچاق در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر؛ H₁, H₂ و H₃: به ترتیب ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% probability level by LSD test.

A₁, A₂ and A₃: aluminum sulfate at the concentrations of 50, 100 and 150 mg.L⁻¹, respectively; C₁, C₂ and C₃: cobalt chloride at the concentrations of 200, 300 and 400 mg.L⁻¹, respectively; E₁, E₂ and E₃: *Eryngium* essential oil at the concentrations of 10, 20 and 40 mg.L⁻¹, respectively; H₁, H₂ and H₃: 8-hydroxyquinoline sulfate at the concentrations of 100, 200 and 400 mg.L⁻¹, respectively.

جمعیت باکتری انتهایی ساقه

خود اختصاص دادند. تیمارهای حاوی غلظت‌های مختلف ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بیشترین اثر را روی کاهش تعداد باکتری‌ها داشتند. جدا از این تیمارها، تیمار سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش قابل توجه تعداد کلنی‌های باکتری‌ها (۱۱) در محلول گلجا شدند (جدول ۳).

پراکسیداسیون لیپیدها

میزان مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها در گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات کمتر از شاهد بود. کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید (۱۴/۱۰) نانومول در هر گرم وزن تر) در تیمار ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. علاوه بر این شاهد دارای بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید (۱۸/۹۲) نانومول در هر گرم وزن تر) بود (جدول ۴).

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، شاهد با ۳۳ کلنی در هر میلی‌لیتر، بیشترین جمعیت باکتریایی و تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با چهار کلنی در هر میلی‌لیتر، کمترین جمعیت باکتریایی در انتهایی ساقه را به خود اختصاص دادند. در مجموع، تیمارهای حاوی غلظت‌های مختلف ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بیشترین اثر را روی کاهش تعداد باکتری‌ها داشتند. جدا از این تیمارها، تیمار سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش قابل توجه تعداد کلنی‌های باکتری‌ها (۶/۶۷) در انتهایی ساقه شدند.

جمعیت باکتری محلول گلجا

شاهد با ۷۳ کلنی در هر میلی‌لیتر، بیشترین جمعیت باکتریایی و تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با دو کلنی در هر میلی‌لیتر، کمترین جمعیت باکتریایی در محلول گلجا را به

جدول ۴- تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر میزان مالون‌دی‌آلدهید و فعالیت پراکسیداز و کاتالاز گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 4- The effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on the content of MDA and activity of POD and CAT in cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

تیمارها Treatments	آنزیم کاتالاز CAT ($\mu\text{mol.g}^{-1} \text{ F.W.min}^{-1}$)	آنزیم پراکسیداز POD ($\mu\text{mol.g}^{-1} \text{ F.W.}$)	مالون‌دی‌آلدهید MDA ($\text{nmol.g}^{-1} \text{ F.W.}$)
شاهد Control	9.47a	0.07b	18.92a
A ₂	2.53bc	0.11b	18.06ab
C ₂	1.84c	0.19a	16.69ab
H ₂	3.83bc	0.09b	14.10b
E ₂	5.57b	0.20a	18.87a

حروف مشترک هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

A₂: سولفات آلومینیوم در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ C₂: کلرید کبالت در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ H₂: ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ E₂: اسانس چوچاق در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% probability level by LSD test.

A₂: aluminum sulfate at the concentrations of 100 mg.L⁻¹; C₂: cobalt chloride at the concentrations of 300 mg.L⁻¹; H₂: 8-hydroxyquinoline sulfate at the concentrations 200 mg.L⁻¹; E₂: *Eryngium* essential oil at the concentrations of 20 mg.L⁻¹.

فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD)

فعالیت آنزیم پراکسیداز در گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با تیمارهای منتخب کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. از بین تیمارهای منتخب، تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اسانس چوچاق با ۰/۲۰ میکرومول در هر گرم وزن تر بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را داشت که البته نسبت به تیمار کلرید کبالت تفاوت معنی‌داری نداشت. علاوه‌بر این شاهد با ۰/۰۷ میکرومول بر هر گرم وزن تر، کمترین فعالیت این آنزیم را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

فعالیت آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز در گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با تیمارهای منتخب کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. از بین تیمارهای منتخب، شاهد با ۹/۴۷ میکرومول در هر گرم وزن تر در دقیقه بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز را داشت. تیمار کلرید کبالت با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۱/۸۴ میکرومول در هر گرم وزن تر در دقیقه، کمترین فعالیت این آنزیم را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری عمر پس از برداشت و کیفیت گل‌های شاخه‌بریده

مریم را بهبود بخشید. این بهبود به‌ویژه در تیمارهای سولفات آلومینیوم بیشترین تأثیر را داشت. سولفات آلومینیوم، علاوه‌بر خاصیت ضد میکروبی، با بهبود جذب آب (مانعت از کاهش وزن تر) و حفظ محتوای کلروفیل، به افزایش ماندگاری گل‌ها کمک کرد. استفاده از غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اسانس چوچاق نیز تأثیر مثبتی بر حفظ کیفیت گل‌ها داشت. اسانس چوچاق همانند اغلب اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهان دارویی به‌دلیل داشتن خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، نقش مؤثری در این ارتباط داشت. ۸-هیدروکسی کوئینولین در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثر مناسبی روی عمر گلجای داشت، اما استفاده از بالاترین غلظت آن (۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در محلول گلجای مناسب نبود و حتی عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد نیز کمتر کرد. دو غلظت از سه غلظت کاربردی کلرید کبالت (۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) برای افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده مناسب نبودند.

سولفات آلومینیوم می‌تواند تا حدی تولید اتیلن و فرآیند تنفس را در گیاهان شاخه‌بریده کاهش دهد، اما سازوکار اثر آن به‌طور مستقیم مرتبط با مهار اتیلن نیست. در عوض، این ترکیب بیشتر به‌عنوان یک ماده ضد میکروبی و کاهنده pH عمل می‌کند که به‌طور غیرمستقیم بر طول عمر گل‌های شاخه‌بریده تأثیر می‌گذارد (Nguyen & Lim, 2021). در pH پایین‌تر، حباب‌های هوا (امبولی) و مواد موسیلاژی کمتری در آوندها تشکیل می‌شود، بنابراین عملکرد سیستم آوندی بهبود می‌یابد (Hassanpour Asil et al., 2004). سولفات آلومینیوم در آب باعث اسیدی شدن محیط می‌شود که از رشد ریزجانداران مسدودکننده آوندها جلوگیری می‌کند (Nguyen & Lim, 2021). این میکروب‌ها با مسدود کردن آوندها، جذب آب را مختل می‌کنند.

سولفات آلومینیوم با کاهش اسیدیته گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده رز باعث تثبیت رنگدانه‌های آنتوسیانین شد و عمر گلدانی را افزایش داد (Hassanpour Asil et al., 2004).

در پژوهش حاضر، کاربرد اسانس چوچاق نسبت به شاهد موجب بهبود عمر گلجای شد. اثر مثبت اسانس‌های مختلف گیاهی بر افزایش عمر پس از برداشت گیاهان زینتی مختلف گزارش شده است (Manfredini et al., 2017; Banjaw et al., 2017; Solgi, 2018; Nguyen & Lim, 2021; El-Sayed & El-Ziat, 2021). اثر مثبت اسانس آویشن بر افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده لیسپانتوس (Pourianejad et al., 2014; Bayat et al., 2013)، نرگس ژربرا (Narcissus) (Sardoei et al., 2014)، داودی (Hashemi et al., 2016; Hashemabadi et al., 2015; Bidarigh, 2013; Nermeen et al., 2016) و میخک (Babarabie et al., 2016) و اسانس رزماری بر میخک (Basiri et al., 2011) و اسانس‌های رزماری و نعنای بر آلسترومریا (Babarabie et al., 2015) گزارش شده است. اسانس‌های گیاهی، طول عمر گلدانی گل‌های مریم (Saini et al., 1994)، ژربرا (Solgi et al., 2009)، گلابول (Hegazi & Gan, 2009) و میخک (Bayat et al., 2011) را افزایش دادند. گزارش‌های زیادی در ارتباط با اثر اسانس چوچاق بر عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده وجود ندارد. تأثیر مثبت اسانس چوچاق روی افزایش عمر گلجای داودی گزارش شد (Norouzi Khatibi et al., 2012). اسانس‌ها با دارا بودن خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش بار میکروبی در محلول گلجای و ته ساقه می‌شوند. این ترکیبات همچنین موجب کاهش تولید اتیلن (هورمون پیری) می‌شوند (Solgi, 2018).

در پژوهش حاضر، ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در غلظت‌های متوسط اثر مناسبی روی افزایش عمر گلجای داشت، اما استفاده از بالاترین غلظت آن (۴۰۰ میلی گرم در لیتر) مناسب نبود و حتی عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد نیز کمتر کرد. ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به عنوان یک ماده ضد عفونی کننده، عمر گلجای برخی گل‌های شاخه‌بریده مانند گل صد تومانی (Rabiza-Świder et al., 2020)، دندروبیوم و گلابول (Dung et al., 2017) را افزایش داد. افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با نمک‌های ۸-هیدروکسی کوئینولین به دلیل نقش این نمک‌ها در ممانعت از رشد باکتری‌ها، افزایش جذب آب، تأخیر در پیری، بازدارندگی از تولید اتیلن و کاهش سرعت تنفس است (Dung et al., 2017; Nguyen & Lim, 2021).

این امر به حفظ جریان آب و مواد مغذی در ساقه کمک کرده و از پژمردگی زودرس جلوگیری می‌کند (Liao et al., 2001). در پژوهش حاضر، اثر مثبت سولفات آلومینیوم روی کاهش تعداد کلونی باکتری انتهای ساقه و محلول گلجای نشان داده شد. این ماده با حفظ سلامت بافت‌های گیاهی، میزان تنفس سلولی را کاهش می‌دهد، زیرا گیاه تحت تنش کمتری قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، با حفظ جریان آب و مواد مغذی، گیاه انرژی کمتری صرف مقابله با تنش کم‌آبی می‌کند، بنابراین سرعت تنفس سلولی کاهش یافته و فرآیند پیری کندتر می‌شود (Hassanpour Asil et al., 2004). برخی مطالعات نشان دادند که آلومینیوم ممکن است به صورت محدود، پراکسیداسیون لیپیدها در غشای سلولی را کاهش دهد (البته این اثر بستگی به غلظت دارد) (Fan et al., 2022). در پژوهش حاضر، سولفات آلومینیوم نسبت به شاهد، پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش نداد. یون آلومینیوم ممکن است طی تعامل با دیواره سلولی، استحکام بافت‌ها را افزایش دهد و از پژمردگی زودرس جلوگیری کند (Li et al., 2022). غلظت‌های بالای سولفات آلومینیوم می‌تواند سمیت سلولی ایجاد کند و اثر معکوس داشته باشد. در پژوهش حاضر، بالاترین غلظت مورد استفاده سولفات آلومینیوم اثر قابل توجهی روی افزایش عمر گلجای نداشت. سولفات آلومینیوم در غلظت ۲۰۰-۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، اسیدیته آب را به ۴/۵ کاهش داد و رشد باکتری‌های عامل انسداد آوندها (مثل *Pseudomonas* spp.) را مهار کرد (Li et al., 2022). گل‌های تیمار شده با سولفات آلومینیوم کاهش معنی داری در تولید اتیلن (تا ۳۰ درصد نسبت به شاهد) نشان دادند. این ترکیب با حفظ یکپارچگی غشای سلولی، از نشت الکترولیت‌ها و پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کرد (Li et al., 2022). مطالعه روی گل‌های شاخه‌بریده رز، گل صد تومانی (*Eustoma grandiflorum*) و گلابول نشان داد که سولفات آلومینیوم از طریق کاهش رشد میکروبی، پیشگیری رشد باکتریایی و افزایش جذب آب، پیری را به تأخیر انداخت و عمر گلجای این گل‌ها را افزایش داد (Seyf et al., 2012; Nguyen & Lim, 2021). محلول‌های گلجای حاوی یک نگهدارنده تجاری گل، یا ترکیب اسیدسیتریک، سوکروز و سولفات آلومینیوم، عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده گاردنیا و لیسپانتوس را حدود دو برابر گل‌های شاهد (نگهداری شده در آب مقطر) افزایش دادند (Farokhzad et al., 2008; Kiamohammadi et al., 2020; Çelikel et al., 2010). سولفات آلومینیوم به عنوان یک ترکیب مؤثر برای حفظ طول عمر گلدانی چندین نوع گل بریده توصیه شده است (Seyf et al., 2012; Çelikel et al., 2020; Nguyen & Lim, 2021) و در محلول‌های نگهدارنده تجاری به عنوان ماده ضد میکروبی استفاده می‌شود (Seyf et al., 2012).

کاهش میزان مالون دی آلدئید در گل های تیمار شده با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات نشان دهنده کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب غشای سلولی است. این اثر می تواند به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی این ترکیبات و توانایی آن ها در خنثی سازی رادیکال های آزاد باشد (El-Sayed & El-Ziat, 2021). این نتایج با مطالعاتی که نشان داده اند ترکیبات حاوی کبالت، آلومینیوم و اسانس های گیاهی می توانند از تخریب غشای سلولی جلوگیری کنند، مطابقت دارد.

افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در گل های تیمار شده با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات نشان دهنده تقویت سیستم دفاع آنتی اکسیدانی گیاه است. این آنزیم نقش کلیدی در خنثی سازی رادیکال های آزاد و کاهش تنش اکسیداتیو دارد (El-Sayed & El-Ziat, 2021). این یافته با مطالعاتی که نشان داده اند اسانس های گیاهی و ترکیبات حاوی آلومینیوم و کبالت می توانند فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش دهند، هم خوانی دارد. کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در گل های شاخه بریده مریم که با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات تیمار شده اند، می تواند به دلایل کاهش تولید ROS، اثر بازدارندگی مستقیم این ترکیبات بر فعالیت آنزیم، تغییر در سیگنال دهی هورمونی یا متابولیسم و کاهش پیری و تنش اکسیداتیو باشد (El-Sayed & El-Ziat, 2021). کاتالاز آنزیمی است که هیدروژن پراکسید (H_2O_2) را به آب و اکسیژن تجزیه می کند. اگر این ترکیبات با مهار تنفس یا کاهش تنش اکسیداتیو، تولید H_2O_2 و سایر ROS ها را کاهش دهند، فعالیت کاتالاز نیز به عنوان یک پاسخ تطبیقی کم می شود (Banjaw et al., 2017). یون های فلزی (آلومینیوم و کبالت) می توانند با جایگزینی در جایگاه فعال آنزیم یا ایجاد تغییرات ساختاری، فعالیت کاتالاز را کاهش دهند. اسانس ها ممکن است بر مسیرهای سیگنالینگ مرتبط با پیری گل تأثیر بگذارند و متابولیسم آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند کاتالاز را تغییر دهند. در نهایت، اگر این ترکیبات به حفظ یکپارچگی غشای سلولی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها کمک کنند، نیاز به فعالیت آنتی اکسیدانی (از جمله کاتالاز) کاهش می یابد (Banjaw et al., 2017).

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می دهد که استفاده از سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات می تواند به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود عمر پس از برداشت و کیفیت گل های شاخه بریده مریم مورد استفاده قرار گیرد. این ترکیبات

بهبود جذب آب و کاهش وزن تر در گل های تیمار شده با همه غلظت های سولفات آلومینیوم و برخی غلظت های اسانس چوچاق و یک غلظت ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات می تواند به دلیل اثرات مثبت این ترکیبات بر حفظ یکپارچگی غشای سلولی و کاهش تخریب سلولی باشد. این نتایج با مطالعاتی که نشان داده اند ترکیبات حاوی آلومینیوم می توانند جذب آب را در گیاهان بهبود بخشند، مطابقت دارد (Nguyen & Lim, 2021). اسانس چوچاق نیز به دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی، از تخریب سلولی جلوگیری کرده و جذب آب را بهبود می بخشد. در لیسیانئوس همه تیمارهای اسانس های گیاهی وزن تر نسبی بیشتری نسبت به شاهد داشتند (Bayat et al., 2013). استفاده از ترکیبات ضد میکروبی مانند اسانس ها با جلوگیری از رشد باکتری ها و تشکیل انسداد آوندی، هدایت آب را بهبود می بخشد (Bayat et al., 2013).

در پژوهش حاضر، همه تیمارها باعث تحریک بیشتر تولید ماده خشک و پروتئین نسبت به شاهد شدند. افزایش مقدار پروتئین گلبرگ و ماده خشک در گل های شاخه بریده مریم که با ترکیبات سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات تیمار شده اند، می تواند به دلایل کاهش تنفس، ممانعت از تخریب پروتئین ها توسط آنزیم های پروتئولیتیک (مانند پروتئازها)، ممانعت از فعالیت عوامل فساد باکتریایی، حفظ یکپارچگی غشای پلاسمایی و کاهش اتلاف آب (با تقویت ساختار دیواره سلولی و کاهش نشت یونی و در نتیجه حفظ تورژسانس سلولی)، اثر ضداتیلنی و تأخیر در پیری (مانند تأخیر در تجزیه پروتئین ها و کلروفیل)، افزایش فعالیت آنزیم های سنتز پروتئین و کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ مواد آلی (با جلوگیری از تخریب ماکرومولکول هایی مانند پروتئین ها و کربوهیدرات ها با کاهش گونه های فعال اکسیژن (ROS)) باشد (El-Sayed & El-Ziat, 2021).

افزایش محتوای کلروفیل در گل های تیمار شده با سولفات آلومینیوم و اسانس چوچاق می تواند به دلیل اثرات آنتی اکسیدانی این ترکیبات باشد. سولفات آلومینیوم با کاهش تنش های اکسیداتیو، از تخریب کلروفیل جلوگیری می کند. این یافته با مطالعاتی که نشان داده اند ترکیبات حاوی آلومینیوم می توانند محتوای کلروفیل را در گیاهان حفظ کنند، هم خوانی دارد (Hassanpour Asil et al., 2004). اسانس چوچاق نیز به دلیل خواص آنتی اکسیدانی، از تخریب کلروفیل ناشی از تولید رادیکال های آزاد جلوگیری می کند. دو غلظت کلرید کبالت و دو غلظت ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات نیز مانع از کاهش شاخص کلروفیل شدند. این دو ترکیب نیز خواص آنتی اکسیدانی و آنتی میکروبی دارند.

روش‌های نوین در این زمینه کمک کنند. استفاده از ترکیبات طبیعی (مانند اسانس چوچاق) و مواد شیمیایی کم‌خطر (مثل سولفات آلومینیوم) به‌عنوان جایگزین‌های پایدار برای مواد سنتزی در صنعت گل‌های شاخه‌بریده، با هدف بهبود ماندگاری، کاهش آلودگی‌های میکروبی و افزایش مقاومت به تنش‌های پس از برداشت، می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات بیشتر روی بهینه‌سازی دزها، ترکیبات هیبریدی و سازوکارهای مولکولی باشد. توسعه این روش‌ها می‌تواند به کاهش ضایعات گل‌ها و افزایش صادرات کمک کند. استفاده از نانوفناوری در رهایش ترکیبات و اسانس‌های گیاهی ترکیبی نیز حائز اهمیت است.

با جلوگیری از رشد باکتری‌ها، بهبود جذب آب، حفظ محتوای کلروفیل، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، به افزایش ماندگاری و کیفیت گل‌ها کمک می‌کنند. در مجموع، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات آلومینیوم به‌طور معنی‌داری عمر گلجای را افزایش داد و با بهبود جذب آب و حفظ محتوای کلروفیل، به افزایش ماندگاری گل‌ها کمک کرد. این تیمار به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار برای افزایش عمر گلجای پیشنهاد می‌شود. اسانس چوچاق نیز به‌دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، تأثیر مثبتی بر حفظ کیفیت گل‌ها داشت. این یافته‌ها می‌توانند راهکارهای جدیدی را برای صنعت گل‌های زینتی ارائه دهند و به توسعه

References

1. Abey, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods of Enzymology*, 105, 121-126. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
2. Aslmoshtaghi, E., Jafari, M., & Rahemi, M. (2014). Effects of daffodil flowers and cobalt chloride on vase life of cut rose. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(2), 1-6.
3. Babarabie, M., Zarei, H., & Varasteh, F. (2015). The effect of rosemary essential oils and thymol on vase life and some physiological characteristics of alstroemeria cut flowers. *International Journal of Agriculture and Bioscience*, 4(3), 122-126.
4. Babarabie, M., Zarei, H., & Varasteh, F. (2016). Potential of increasing the vase life and improvement of some physiological characteristics of *Alstroemeria* cut flowers by using non-harmful compounds environmentally. *Journal of Chemical Health Risks*, 6(1), 1-8.
5. Banjaw, D. T., Lemma, D. T., & Megersa, H. G. (2017). Review on effect of essential oil on vase life of cut flowers. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 7(11), 25-28.
6. Basiri, Y., Zarei, H., Mashayekhy, K., & Pahlavany, M. H. (2011). Effect of rosemary extract on vase life and some qualitative characteristics of cut carnation flowers (*Dianthus caryophyllus* cv. 'White Librity'). *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2(14), 261-265.
7. Bayat, H., Azizi, M., Shoor, M., & Mardani, H. (2011). Effect of ethanol and essential oils on extending vase-life of carnation cut flower (*Dianthus caryophyllus* cv. 'Yellow Candy'). *Notulae Scientia Biologicae*, 3(4), 100-104. <https://doi.org/10.15835/nsb346266>
8. Bayat, H., Geimadil, R., & Abdollahi Saadabad, A. (2013). Treatment with essential oils extends the vase life of cut flowers of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2, 163-169. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2013.108590>
9. Bidarigh, S. (2015). Improvement vase life of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.) cut flowers using essential oils of geranium, eucalyptus and myrtus. *Journal of Ornamental Plants*, 5(4), 213-221.
10. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dyebinding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
11. Çelikel, F. G., Reid, M. S., & Jiang, C. Z. (2020). Postharvest physiology of cut *Gardenia jasminoides* flowers. *Scientia Horticulturae*, 261, 108983. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108983>
12. Dareini, H., Abdosi, V., & Danaee, E. (2014). Effect of some essential oils on postharvest quality and vase life of gerbera cut flowers. *European Journal of Experimental Biology*, 4(3), 276-280.
13. Dung, C. D., Seaton, K., & Singh, Z. (2017). Influence of type and concentration of sugars, supplemented with 8-hydroxyquinoline sulphate, on the vase life of waxflower. *Folia Horticulturae*, 29(1), 39-49. <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0005>
14. El-Sayed, I. M., & El-Ziat, R. A. (2021). Utilization of environmentally friendly essential oils on enhancing the postharvest characteristics of *Chrysanthemum morifolium* Ramat cut flowers. *Heliyon*, 7, e05909. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05909>
15. Fan, K. C., Xu, J., Khaldun, A. B. M., Chen, Y., Chen, L., & Yan, X. (2022). Physiological effects induced by aluminium and fluoride stress in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231, 113192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113192>

16. Farokhzad, A. R., Khalighi, A., Mostofi, Y., & Naderi, R. (2008). Effect of some chemical treatments on quality and vase life of lisianthus (*Eustoma grandiflora*) cut flowers. *Acta Horticulturae*, 768, 479-486. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.768.64>
17. Giannopolitis, C., & Ries, S. (1997). Superoxid desmutase. I: Occurence in higher plant. *Plant Physiology*, 59, 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
18. Hashemabadi, D. (2006). Evaluation of the effect of 1-MCP on vase life of cut carnation cv. 'Tempo' flower. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, 131 p. (In Persian)
19. Hashemabadi, D., Abedini-Aboksari, H., Sedaghatthoor, S., & Kaviani, B. (2016). Geranium (*Pelargonium graveolens*) extract and mechanical treatment improve water relation, enzyme activity and longevity of cut chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura) flowers. *Acta Scientiarum Polonurum Hortorum Cultus*, 15(5), 185-203.
20. Hashemi, M., Mirdehghan, S. H., & Farahmand, H. (2013). The effects of thymol, menthol and eugenol on quality and vase-life of chrysanthemum cut flowers. *Iran Agricultural Research*, 32(2), 55-70. <https://doi.org/10.22099/iar.2014.2005>
21. Hassanpour Asil, M., Hatamzadeh, A., & Nakhai, F. (2004). Study on the effect of temperature and various chemical treatments to increase vase life of cut rose flower "Baccara". *Agricultural Sience Research Journal of Guilan Agriculture Faculty*, 1(4), 121-129. (In Persian)
22. Heath, R. L., & Parker, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stiochiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
23. Hegazi, M. A., & Gan, E. (2009). Influences of some essential oils on the vase-life of *Gladiolus hybrida* L. spikes. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Science*, 3, 19-24. <https://doi.org/10.5455/ijavms.20101124115729>
24. Hosseini, N., Akbari, M., Ghafarzadegan, R., Changizi Ashtiyani, S., & Shahmohammadi, R. (2012). Total phenol, antioxidant and antibacterial activity of the essential oil and extracts of *Ferulago angulata* spp. *Journal of Medicinal Plants*, 11(43), 80-89. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2012.11.43.9.9>
25. Ichimura, K., Taguchi, M., & Norikoshi, R. (2006). Extension of the vase life in cut roses by treatment with glucose, isothiazolinonic germicide, citric acid and aluminum sulphate solution. *Japan Agrictural Research Quarterly*, 40, 263-269. <https://doi.org/10.6090/jarq.40.263>
26. Jamali, B., & Rahemi, M. (2011). Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 5(15), 147-152.
27. Kiamohammadi, M., Golchin, A., & Hashemabadi, D. (2010). The effects of different floral preservative solutions on keeping quality of cut lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Acta Horticulturae*, 877, 1749-1755. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.877.240>
28. Li, W., Ullah, S., Xu, Y., Bai, T., Ye, S., Jiang, W., & Yang, M. (2022). Effects of elevated aluminum concentration and distribution on root damage, cell wall polysaccharides, and nutrient uptake in different tolerant *Eucalyptus* clones. *International Journal of Molecular Science*, 23, 13438. <https://doi.org/10.3390/ijms232113438>
29. Liao, L. J., Lin, Y. H., Huang, K. L., & Chen, W. Sh. (2001). Vase life of *Eustoma grandiflorum* as affected by aluminum sulfate. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 42, 35-38.
30. Liu, J., He, S., Zhang, Z., Cao, J., Lv, P., He, S., Cheng, G., & Joyce, D. C. (2009). Nano-silver pulse treatments inhibit stem-end bacteria on cut gerbera cv. Ruikou flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 54(1), 59-62. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.004>
31. Manfredini, M. G., Paiva, P. D. O., Almeida, E. F. A. A., Nascimento, A. M. P., Sales, T. S. S., & Santos, L. O. (2017). Postharvest quality of essential oil treated roses. *Ornamental Horticulture*, 23(2), 192-199. <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v23i2.993>
32. Mazumdar, B. C., & Majumder, K. (2003) Methods on Physicochemical Analysis of Fruits. University College of Agriculture, Calcutta University. 187 p.
33. Mohammadi, M., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2012). Effect of cobalt chloride on vase life and post-harvest quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *European Journal of Experimental Biology*, 2(6), 2130-2133.
34. Mohammadi, R., & Hashemabadi, D. (2016). Improvement postharvest longevity of alstroemeria (*Alstroemeria hybrida*) by sucrose, honey and citric acid. *Plant Ecophysiology*, 204-218. (In Persian).
35. Mousavi Bazaz, A., & Tehranifar, A. (2011). Effect of ethanol, methanol and essential oils as novel agents to improve vase-life of *Alstroemeria* flowers. *Journal of Biology and Environmental Science*, 5(14), 41-46.
36. Murali, T. P., & Reddy, T. V. (1993). Postharvest life of gladiolus as influenced by sucrose and metal salts. *Acta Horticulturae*, 343, 313-320. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.343.76>

37. Nabigol, A., Naderi, R., Babalar, M., & Kafi, M. (2006). The effect of some chemical treatments and cold storage on the vase life of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37(4), 801-809. (In Persian)
38. Nahrabadi, L. K., Rood, N., Danyaei, A., Babarabie, M., & Shadbash, M. (2015). The effect of *Eucalyptus* and *Rosa damascena* essences with sucrose on vase life and physiological characteristics of cut Gerbera cv. 'Alain Ducasse'. *Journal of Ornamental Plants*, 5(4), 205-212.
39. Nermeen, S. T., Emara, Kh. S., & Olfat, B. S. (2010). Prolonging vase life of carnation flowers using natural essential oils and its impact on microbial profile of vase solutions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8), 3559-3574.
40. Nguyen, T., & Ha, S. (2024). The potential postharvest treatments to delay flower senescence and improve *Botrytis* resistance in cut peony flowers. *Horticulturae*, 10, 1352. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121352>
41. Nguyen, T. K., & Lim, J. H. (2021). Do eco-friendly floral preservative solutions prolong vase life better than chemical solutions? *Horticulturae*, 7, 415. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100415>
42. Norouzi Khatibi, M., Hashemabadi, D., & Shafiei, M. R. (2012). Improvement of vase life and postharvest quality of cut chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.) flower using *Eryngium* essential oil. 3th Congress on Agricultural Science and Food Industries, Fasa, Iran. (In Persian)
43. Pourianejad, F., Hasanzadeh, N., & Kalatejarei, S. (2014). The effect of herbal essential oil in preservative solution, on quantitative, vase life, bacteria-induced stem xylem blockage of lisianthus var. Echo. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 36(2), 174-181. <http://dx.doi.org/10.17503/Agrivita-2014-36-2-p174-181>
44. Put, H. M. C., Clerckx, A. C. M., & Boeckstein, A. (1992). Aluminium sulphate restricts migration of *Bacillus subtilis* in xylem of cut roses: A scanning electron microscope study. *Scientia Horticulturae*, 51(3-4), 261-274. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90124-U](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90124-U)
45. Rabiza-Swider, J., Skutnik, E., Jedrzejuk, A., & Rochala-Wojciechowska, J. (2020). Nanosilver and sucrose delay the senescence of cut snapdragon flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 165, 111165. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111165>
46. Saini, R. S., Yamdaqni, R., & Sharma, S. K. (1994). Effect of some chemicals on keeping quality and vase life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers. *Pakistan Journal of Society Science*, 42, 376-378.
47. Sardoei, A. S., Mohammadi, G. A., & Shahdadneghad, M. (2014). Interaction effect of temperature and thyme essential oil on vase life of cut narcissus flowers. *European Journal of Experimental Biology*, 4(2), 82-87.
48. Seyf, M., Khalighi, A., Mostofi, Y., & Naderi, R. (2012). Effect of sodium nitroprusside on vase life and postharvest quality of a cut rose cultivar (*Rosa hybrida* 'Utopia'). *Journal of Agricultural Science*, 4, 174-181. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n12p174>
49. Solgi, M. (2018). The application of new environmentally friendly compounds on postharvest characteristics of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Brazilian Journal of Botany*, 41(3), 515-522. <https://doi.org/10.1007/s40415-018-0464-x>
50. Solgi, M., Kafi, M. T., Taghavi, S., & Naderi, R. (2009). Essential oils and silver nanoparticles (SNP) as novel agents to extend vase-life of gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. 'Dune') flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 53, 155-158. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.003>

Producing and Comparing Qualitative and Quantitative Traits of Half-Sib Families with Parents in Short-Day Onions (*Allium cepa* L.)

A. Darabi^{1*}, Z. Abbasi²

- 1- Crop and Horticultural Science Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
(* - Corresponding author's Email: darabi6872@yahoo.com)

Received: 18 June 2025
Revised: 06 September 2025
Accepted: 28 September 2025
Available Online: 28 September 2025

How to cite this article:

Darabi, A., & Abbasi, Z. (2026). Producing and comparing qualitative and quantitative traits of half-sib families with parents in short-day onions (*Allium cepa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 333-348. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94114.1440>

Introduction

Onion (*Allium cepa* L.) is one of the most important vegetables in Iran and is cultivated in 51,499 hectares. The cultivated area of this crop in the short-day southern regions is 25,964 hectares, which is equivalent to more than 50% of the cultivated onion area in Iran. Commercial short-day onion cultivars are cultivated in most of these regions, so a large amount of currency is spent to import short-day onion seed. In addition, the increase in the currency rate in recent years has increased the cost of onion production in short-day southern regions. Therefore, it is very important to produce and introduce short-day onion cultivars. This research was conducted to produce half-sib families through open pollination among nine superior onion cultivars. The best half-sib families were selected in terms of bulb yield and storability.

Materials and Methods

This project was carried out in Isfahan and Khuzestan during three crop years (2020-2023). During two crop years of 2020-2022, a polycross genetic design was carried out among nine short-day onion cultivars (Sahar, Paliz, Saba, Savanasweet, Goldeneye, Duster, Impriaterize, Primavera, and Texas Early Grano) in the Isfahan location (Dastgerd Agriculture Research Station), and half-sib families were produced. The progenies of half-sib families along with their parents were evaluated in a randomized complete block design (RCBD) with 18 treatments and three replications in Khuzestan location (Behbahan Agriculture Research Station) during the crop year of 2022-2023. Seeds were sown in the nursery in early October, and seedlings were transplanted (at the two- or three-leaf stage) in late September. The earliest bulb time was estimated using the bulb ratio and statistical technique of cusums. The studied traits included leaf number and height, bolting percentage, bulb yield, days to maturity, mean bulb weight, mean bulb diameter and height, skin number, total soluble solids, dry matter, and bulb storage losses. Bulbs were harvested when 50-80% of the foliage top had fallen and collapsed. To calculate dry matter content of the bulb, 10 bulbs were randomly selected from each plot and their weight was determined. After drying complete samples in the oven (65 °C) and fixing weights (about 72 h), samples were weighed again, and dry matter was calculated. After harvesting and curing, bulbs were stored under uncontrolled storage conditions (no heating, cooling, or ventilation systems), and after 3 months, postharvest bulb storage losses were determined. The results were analyzed using SPSS v.26. software. Means of significant differences among treatments were determined at the 0.05 probability level using Duncan's test. Correlation coefficients among traits were calculated using the Pearson method.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94114.1440>

Results and Discussion

Bulbing occurred in the studied genotypes in a photoperiod of less than 13 h; therefore, all progenies and their parents were short-day genotypes. Palize cultivar produced the highest yield. The difference in bulb yield among this cultivar and Sahar, Saba, Savana sweet, and Goldeneye cultivars and Saba and Texas Early Grano half-sib families was not significant. The doubling bulb was not observed in the studied genotypes. The highest bulb dry matter percentage was found in Texas Early Grano cultivar. The decrease in the percentage of bulb dry matter in the Saba cultivar and Savanasweet half-sib families was not significant compared with the Texas Early Grano cultivar. The highest skin number was recorded in the Texas Early Grano cultivar. The decrease in the number of skins in Sahar, Primavera, and Saba cultivars was not significant as compared with that in Texas Early Grano cultivar. The lowest bulb storage losses were observed in Sahar cultivar. The differences in this trait among Paliz, Primavera, and Texas Early Grano cultivars and Paliz, Savanasweet, Duster, Primavera, and Texas Early Grano half-sib families were not significant in comparison to Sahar cultivar. The correlation coefficients among bulb yield with leaf number and height, mean bulb weight and diameter were positive and significant at 1% probability level. Differences in days to maturity were not significant in all genotypes; therefore, final progeny selection was made with emphasis on bulb yield and storage losses. According to these results and comparison of days to maturity, yield and bulb storage losses in progenies half -sib with maternal parent and parents' mean the half-sib, progenies of Saba, Daster, and Texas Early Grano were selected.

Conclusion

The results showed that Texas Early Grano, Saba, and Duster half-sib families with high bulb yields (from 65.18 to 68.29 t.ha⁻¹) and good storability (storage bulb losses from 11.79% to 15.41%) are promising genotypes for introducing as short-day indigenous onion cultivars.

Keywords: Bolting, Selection, Storability, Yield

تولید و مقایسه خصوصیات کمی و کیفی فامیل‌های نیمه‌خواهری با والدین در پیاز (*Allium cepa* L.) روز کوتاه

عبدالستار دارابی^{۱*} - زهرا عباسی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

چکیده

هدف اصلی از اجرای برنامه‌های اصلاحی، تغییر و بهبود ژنتیکی صفات مورد نظر در گونه منتخب گیاهی و تولید ارقام با پتانسیل تولید بیشتر است. برای ایجاد ارقام آزاد گرده‌افشان، روش پلی‌کراس گزینه‌ای مناسب، کم‌هزینه و آسان است که منجر به تولید فامیل‌های نیمه‌خواهری می‌شود. از این‌رو، برای تولید فامیل‌های نیمه‌خواهری، بذور نه رقم انتخابی پیاز (*Allium cepa* L.) روز کوتاه (هشت هیبرید 'سحر'، 'پالیز'، 'صبا'، 'ساوانا سوئیت'، 'گلدن‌آی'، 'داستر' و 'ایمپراتریز' و رقم آزادگرده‌افشان 'نگزاس ارلی گرانو') در اوایل آذرماه سال ۱۳۹۹ در گلخانه مرکز تحقیقات اصفهان کشت شدند. پس از اجرای طرح ژنتیکی پلی‌کراس در خزانه در قالب نقشه مربع لاتین، فامیل‌های نیمه‌خواهری در سال ۱۴۰۰ تهیه شدند. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ خصوصیات کمی و کیفی نتاج به همراه والدین در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل ۱۸ تیمار با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان مقایسه شدند. رقم 'پالیز' حداکثر عملکرد (۷۹/۳۱ تن در هکتار) را تولید نمود، ولی افزایش عملکرد این رقم نسبت به ارقام 'سحر'، 'صبا'، 'ساوانا سوئیت' و 'گلدن‌آی' و فامیل‌های نیمه‌خواهری 'صبا' و 'نگزاس ارلی گرانو' معنی‌دار نشد. رقم 'نگزاس ارلی گرانو' بیشترین درصد ماده خشک سوخ (۸/۸۷) را به خود اختصاص داد. کاهش این صفت در ارقام 'صبا' و 'پریمورا' و ژنوتیپ نیمه‌خواهری 'ساوانا سوئیت' در مقایسه با این رقم قابل توجه نبود. از نظر انبارمانی، کمترین میزان ضایعات (۹/۷۴ درصد) در رقم 'سحر' ثبت شد. اختلاف این صفت در ارقام 'پالیز'، 'صبا'، 'پریمورا' و 'نگزاس ارلی گرانو' و فامیل‌های نیمه‌خواهری 'پالیز'، 'ساوانا سوئیت'، 'داستر'، 'پریمورا' و 'نگزاس ارلی گرانو' در مقایسه با رقم مزبور قابل ملاحظه نبود. براساس این نتایج و مقایسه تاریخ رسیدگی، عملکرد و ضایعات انباری سوخ در نتایج نیمه‌خواهری با والد مادری و میانگین والدین و با تأکید بر دو معیار عملکرد و خاصیت انبارمانی، نتاج نیمه‌خواهری 'نگزاس ارلی گرانو'، 'صبا' و 'داستر' انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: انبارمانی، انتخاب، بولتینگ، عملکرد

مقدمه

در اوراسیا و بخش کوچکی از آمریکا پیدا نمود. یافته‌های حاصل از قبرهای قدیمی مصر نشان می‌دهد که تاریخچه پیاز حداقل به ۲۸۰۰-۳۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد. کشت پیاز در هندوستان حدود ۶۰۰ سال قبل از میلاد مسیح شروع شد و یونانی‌ها و رومی‌ها حدود ۴۰۰-۳۰۰ سال قبل از میلاد در مورد پیاز و سیر مطالبی را به نگارش درآورده‌اند، از آنجا پیاز وارد اروپا شد و متعاقب آن در قرن هفدهم وارد آمریکا و در قرن نوزدهم وارد آسیا گردید (Darabi, 2016a). پیاز به دلیل عطر و طعم و همچنین داشتن مقدار قابل توجهی ویتامین، مواد معدنی و عناصر ریزمغذی، ارزش غذایی فراوانی دارد. مطالعات علمی علاوه بر ارزش غذایی، اثر دارویی و سلامتی بخش پیاز را به خصوص در درمان بیماری‌های عروق کرونری قلب و کاهش کلسترول و پیشگیری و درمان برخی از سرطان‌ها اثبات

پیاز (*Allium cepa* L.) گیاهی تک‌لپه‌ای از جنس آلیوم است. سابقه کشت این محصول به ۵۰۰۰ سال پیش و یا بیشتر برمی‌گردد. تصور می‌شود که این گیاه برای اولین بار در مناطق کوهستانی ازبکستان، تاجیکستان، شمال ایران، افغانستان و پاکستان کشت و کار شده باشد (Darabi, 2016a). اکثر گونه‌های جنس آلیوم را می‌توان

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: darabi6872@yahoo.com

کرده‌اند (Shah Murad et al., 2018). هدف اصلی از اجرای برنامه‌های اصلاحی، تغییر و بهبود ژنتیکی صفات مورد نظر در گونه منتخب گیاهی و تولید ارقام با پتانسیل تولید بیشتر است. ارقام تجاری پیاز شامل ارقام آزادگرده‌افشان و هیبرید هستند. روش‌های اصلاحی مختلفی برای ایجاد ارقام آزادگرده‌افشان معرفی شده است. یکی از روش‌های مناسب، کم‌هزینه و آسان برای ایجاد جمعیت متنوع اولیه، روش پلی‌کراس است که منجر به تولید فامیل‌های نیمه‌خواهری می‌شود. در این روش بعد از انجام تلاقی، در نتاج حاصله والد مادری مشخص، ولی والد پدری نامشخص و مخلوطی از دانه‌های گرده کلیه ژنوتیپ‌های والدین است (Kearsey & Pooni, 1996). نکته حائز اهمیت اینکه در بلوک ایزوله، هر رقم باید در شرایط مساوی با ارقام دیگر کشت شود تا بتواند ابری از گرده از کل ژنوتیپ‌ها را دریافت کند. بنابراین لازم است که ژنوتیپ‌ها به‌طور تصادفی در بلوک تلاقی مرتب شوند (Falconer & Mackay, 1996). طرح آزمایشی مربع لاتین به‌عنوان مناسب‌ترین طرح برای اجرای آزمایش پلی‌کراس پیشنهاد شده است تا اطمینان حاصل شود که کلیه ژنوتیپ‌ها شانس مساوی با همدیگر در خزانه پلی‌کراس را دارند (Acquaah, 2012). با ارزیابی این افراد در طی چند نسل انتخاب توده‌ای و یا دوره‌ای، فراوانی ژن‌های مطلوب در راستای صفت خاص مورد نظر و یا مجموعه کلی صفات مهم افزایش می‌یابد تا در نهایت جمعیت اصلاح‌شده به‌عنوان رقم آزادگرده‌افشان معرفی شود (Kearsey & Pooni, 1996). از محدودیت‌های روش پلی‌کراس می‌توان به این نکته اشاره نمود که چون دانه‌های گرده به کمک حشرات و باد به مادگی گل‌های والد مادری منتقل شده و تلاقی صورت می‌گیرد، در صورتی که شرایط ایزوله رعایت نشود، احتمال انتقال گرده از خارج خزانه و آلودگی ژنتیکی وجود دارد (Falconer & Mackay, 1996).

در یک پژوهش با استفاده از طرح ژنتیکی پلی‌کراس برای هشت ژنوتیپ برتر ایرانی و یک رقم خارجی پیاز، صفات مختلف زراعی و عملکرد سوخ ارزیابی شد. نتایج نشان داد که افزایش عملکرد و برخی از صفات در بعضی از فامیل‌های نیمه‌خواهری نسبت به والد اصلی بهبود یافته است (Mansouri et al., 2008). در مطالعه مالور و همکاران (Mallor et al., 2011)، ابتدا تنوع ژنتیکی ۱۵ لاین مختلف حاصل از رقم آزادگرده‌افشان پیاز معمول منطقه برای صفات تندی (اسید پیرویک)، مواد جامد محلول کل و اندازه سوخ بررسی شد. سپس براساس میزان اسید پیرویک لاین‌ها به چهار گروه طبقه‌بندی شدند و طرح پلی‌کراس بین پنج سوخ از هر گروه به‌طور جداگانه صورت گرفت و پس از بذری ۲۰ خانواده در قالب طرح آزمایشی برای صفات کمی و کیفی به‌ویژه صفت تندی ارزیابی شدند و

عکس‌العمل به انتخاب و وراثت‌پذیری مورد انتظار محاسبه گردید. بر طبق نتایج، برای صفات مختلف بین گروه‌ها تفاوت‌های معنی‌داری به دست آمد. در یک پژوهش دیگر به‌منظور اصلاح رقم محلی پیاز بورنواکس، بذور جمع‌آوری‌شده از کشاورزان از نظر صفات مختلف ارزیابی شد و تعداد ۲۰ سوخ که از نظر درصد ماده خشک و عملکرد بالاتر بودند در طرح ژنتیکی پلی‌کراس مطالعه شد. نتایج حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بالا در خانواده‌های مورد مطالعه با وراثت‌پذیری بالا در برخی از صفات مانند عملکرد و مواد جامد محلول بود که نشان‌دهنده برتری این صفات در انتخاب این نوع رقم محلی برای اصلاح بود (Gashua et al., 2013). یو و همکاران (Yoo et al., 2020) با انتخاب دوره‌ای در پیازهای روزکوتاه، ارقامی با تندی کم (شیرین) را تولید نمودند. در یک تحقیق، ۱۵ ژنوتیپ پیاز با اسامی سحر، سوپر پرفکت، پالیز، صبا، وانی، ارلی سوپرسلکت، ساوانا سوئیت، گلدن‌آی، داستر، هیبرید ۶۳۲۶، ایمپراتریز، پریماورا، سیروس و تگزاس‌ارلی‌گرانو و جمعیت بهبودیافته پیاز بهبهان در دو منطقه بهبهان و اصفهان برای صفات کمی و کیفی ارزیابی شدند. براساس نتایج این تحقیق، تعداد هشت هیبرید: سحر، پالیز، صبا، ساوانا سوئیت، گلدن‌آی، داستر و ایمپراتریز، پریماورا و رقم آزادگرده‌افشان تگزاس‌ارلی‌گرانو که از نظر عملکرد سوخ و خاصیت انبارمانی برتر بودند برای تولید فامیل‌های نیمه‌خواهری (مطالعه‌شده در این پژوهش) انتخاب گردید (Abbasi et al., 2022; 2023). مهاجان و گوپتا (Mahajan et al., 2023) گزارش نمودند که برای اصلاح پیازهای روزکوتاه در هندوستان، ژرم‌پلاس‌های بومی تنوع بیشتری در مقایسه با ژرم‌پلاس‌های وارداتی داشتند. بنک و همکاران (Benke et al., 2025) با مطالعه ۲۰ لاین پیاز اصلاح‌شده روزکوتاه نتیجه‌گیری نمودند که رنگ پوست سوخ و خاصیت انبارمانی این لاین‌ها مشابه بوده، ولی اختلاف میزان مواد جامد محلول کل آن‌ها نسبت به هم معنی‌دار بود.

در ایران، پیاز با سطح زیرکشت ۵۱۴۹۹ هکتار، یکی از محصولات پر مصرف سبزی‌ها بوده که در سبد خرید روزانه مردم قرار دارد. سطح زیرکشت این محصول در مناطق روزکوتاه جنوب کشور ۲۵۹۶۴ هکتار بوده که معادل بیش از ۵۰ درصد از سطح زیرکشت این محصول در کل کشور می‌باشد (Agricultural Statistics, 2024). تاکنون ارقام بومی اصلاح‌شده با عملکرد زیاد و قابلیت انبارمانی بالا برای کشت در مناطق روزکوتاه کشور تولید و معرفی نشده‌اند. لذا در قسمت اعظم این مناطق، ارقام روزکوتاه وارداتی کشت می‌شوند. این موضوع علاوه بر خروج مبالغ هنگفتی ارز از کشور، به سبب افزایش نرخ ارز در سال‌های اخیر سبب افزایش هزینه‌های تولید شده است. برای حل این مشکل، ضرورت تولید و معرفی ارقام روزکوتاه بومی احساس

۲۰ درصد کپسول‌ها، در فاصله زمانی ۴ تا ۲۵ تیرماه ۱۴۰۱، برداشت بذور از هر ژنوتیپ در هر تکرار جداگانه به صورت دستی انجام شد. پس از خشک شدن گل‌آذین‌ها در آزمایشگاه (در شرایط سایه)، بوجاری به کمک الک و پنکه صورت گرفت. بوجاری نهایی با دستگاه انجام شد. در پایان، بذور پلی‌کراس حاصل از هر ژنوتیپ با مخلوط مقدار مساوی از بذورهای تکرارهای مختلف که خانواده‌های نیمه-خواهری را تشکیل می‌دادند، جمع‌آوری شدند.

مرحله دوم: ارزیابی فامیل‌های نیمه‌خواهری حاصل از طرح ژنتیکی پلی‌کراس

این بررسی به مدت یک سال زراعی با ۱۸ تیمار (ژنوتیپ) و سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} : 30'$ عرض شمالی و $14^{\circ} : 50'$ طول شرقی اجرا گردید. محل آزمایش دارای اقلیم گرم و نیمه‌خشک با ارتفاع ۳۲۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۳۴۱ میلی‌متر می‌باشد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی عبارت از نه‌والد تجاری مورد استفاده در مرحله اول آزمایش و نه فامیل نیمه‌خواهری حاصل از طرح ژنتیکی پلی‌کراس بودند که به صورت نشایی کشت شدند. بذور در اواسط مهر ماه در خزانه روی خطوطی به فاصله ۱۰ و به عمق یک سانتی متر کشت شدند. میزان مصرف بذر ۱۰ گرم در مترمربع بود. و نشاها (در مرحله دو تا سه برگی) و در اوایل دی ماه به زمین اصلی منتقل گردید. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به اینکه آستانه تحمل پیاز به شوری خاک $1/8$ دسی‌زیمنس بر متر و pH مناسب برای این گیاه شش تا هفت می‌باشد، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که خاک مزرعه برای رشدونمو گیاه پیاز از لحاظ این دو خصوصیت نسبتاً مناسب بود (Darabi, 2016a)، ولی برای تولید عملکرد مطلوب، مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک کافی نبود. لذا این عناصر براساس نتایج آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب مصرف گردید و میزان آن عبارت بود از ۶۹ کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم K_2O از منبع پتاسیم سولفات در هکتار که در هنگام تهیه زمین به‌طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط گردید. کود نیتروژنه لازم نیز به‌میزان ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در سه نوبت، یک سوم آن قبل از کاشت و دو سوم بقیه در دو نوبت ۴۵ روز بعد از انتقال نشاء و اوایل سوخته‌دهی به‌صورت سرک مصرف شد (Darabi, 2016a). هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به طول چهار متر بود. فاصله خطوط کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۱۰ سانتی‌متر منظور گردید. تاریخ تشکیل سوخ با شاخص نسبت تشکیل سوخ (حداکثر قطر سوخ تقسیم بر حداقل قطر گردن) مشخص گردید (Darabi, 2009). برای این منظور از ۱۵ روز بعد از انتقال نشاء تا هنگام برداشت به فواصل ۱۵ روز، پنج گیاه به‌طور

می‌شود. در این راستا، این پژوهش به‌منظور تولید فامیل‌های نیمه‌خواهری از طریق آزادگرده‌افشانی بین نه‌رقم برتر پیاز و سپس انتخاب بهترین فامیل‌های نیمه‌خواهری از نظر عملکرد و خاصیت انبارمانی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این بررسی به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۲) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دستگرد (اصفهان) و ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان (خوزستان) و در دو مرحله اجرا گردید.

مرحله اول: اجرای طرح ژنتیکی پلی‌کراس و تهیه فامیل‌های نیمه‌خواهری (۱۳۹۹-۱۴۰۱)

بذور فامیل‌های نیمه‌خواهری در ایستگاه تحقیقات دستگرد (اصفهان) تهیه شدند. این ایستگاه در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان واقع شده است و دارای طول جغرافیایی 49° شرقی و عرض 31° شمالی با ارتفاع از سطح دریا ۱۶۰۰ متر، متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۳ میلی‌متر می‌باشد. به‌منظور اجرای این تحقیق در اوایل آذرماه سال ۱۳۹۹ جهت تولید نشاء، بذور نه‌رقم انتخابی پیاز روزکوتاه (هشت رقم هیبرید 'سحر'، 'پالیز'، 'صبا'، 'ساوانا سوئیت'، 'گلدن آی'، 'داستر' و 'ایمپراتریز' و رقم آزادگرده‌افشان 'تگزاس ارلی گرانو') در سینی‌های نشاء مجزا در داخل گلخانه کشت شد. بستر کشت شامل کوکوپیت، پیت‌ماس و پرلیت به نسبت مساوی بود. در حین تولید نشاء و برحسب ضرورت عناصر ماکرو به‌صورت محلول پاشی در اختیار نشاها قرار گرفت. نشاها در اوایل اسفند ماه ۱۳۹۹ در مرحله دو تا سه برگی به زمین اصلی منتقل شدند. در اوایل تیرماه ۱۴۰۰، سوخ‌ها در زمان افتادگی ۵۰ تا ۸۰ درصد برگ‌ها و شروع خشک شدن آن‌ها برداشت و در انبار نگهداری گردید. در مهرماه سال ۱۴۰۰، سوخ‌های سالم و درشت در خزانه پلی-کراس در مزرعه در قالب نقشه مربع لاتین 3×3 با ۲۵ تکرار، به‌منظور اطمینان از گرده‌افشانی یکنواخت، (از هر ژنوتیپ یک سوخ در هر تکرار) با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها داخل تکرار و فاصله ۸۰ سانتی‌متر بین تکرارها کاشته شدند تا بهاره‌سازی در طول زمستان برای رشد زایشی فراهم گردد. با توجه به اینکه در مجموع از هر ژنوتیپ ۲۵ بوته در آزمایش وجود داشت، شرایط گرده‌افشانی بین ژنوتیپ‌ها به‌خوبی فراهم شد. در اردیبهشت‌ماه هم‌زمان با باز شدن گلچه‌ها برای انتقال گرده گل‌ها بین بوته‌ها از مگس خانگی استفاده شد. با توجه به اینکه هر بوته از چند ساقه گل‌دهنده و گل‌آذین تشکیل شده و گل‌دهی هم در ارقام مختلف تقریباً هم‌زمان بود، بنابراین گرده‌افشانی به‌خوبی صورت گرفت. در زمان باز شدن حدود

و پس از تمیز و خرد کردن، در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند (Darabi & Ghenevati, 2020). به منظور اندازه گیری درصد مواد جامد محلول کل، ۱۰ سوخ به طور تصادفی از هر پلات انتخاب و با چکاندن چند قطره عصاره سوخ بر روی منشور دستگاه رفاکتومتر مدل ABBE (ساخت آلمان)، این صفت اندازه گیری (Darabi, 2025) و برحسب درجه بریکس (درصد وزن مواد جامد موجود در یک محلول به وزن کل محلول) بیان شد.

بعد از برداشت برای عمل آوری، سوخ ها به مدت دو هفته در مزرعه و در سایه قرار گرفته و سپس به انبار کنترل نشده فاقد سیستم سرمایش، گرمایش و تهویه به منظور ارزیابی خاصیت انبارمانی منتقل شدند. طرح آماری مورد استفاده بلوک های کامل تصادفی شامل ۱۸ تیمار با سه تکرار بود. برای این منظور، ۱۰ کیلوگرم سوخ سالم و یکنواخت از هر تیمار به طور تصادفی انتخاب و درون جعبه مشبک پلاستیکی به مدت سه ماه نگهداری شدند. در مدت انبارمانی، محدوده تغییرات دما بین ۳۲ تا ۳۹/۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی بین ۲۷ تا ۵۸ درصد بود. بعد از سه ماه درصد ضایعات سوخ تعیین گردید. برای این منظور، وزن ضایعات سوخ در هر تیمار آزمایشی نسبت به وزن کل تیمار (۱۰ کیلوگرم) محاسبه و برحسب درصد بیان شد. علاوه بر این، براساس میزان ضایعات، مطابق با روش کو (Ko, 2001) ژنوتیپ ها در چهار گروه انبارمانی خوب (میزان ضایعات کمتر از ۳۰ درصد)، انبارمانی متوسط (میزان ضایعات بین ۳۱ تا ۵۰ درصد)، انبارمانی ضعیف (میزان ضایعات بین ۵۱ تا ۷۰ درصد) و انبارمانی بسیار ضعیف (میزان ضایعات بیشتر از ۷۰ درصد) طبقه بندی شدند. در انتها به وسیله نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ تجزیه واریانس بر روی نتایج حاصله انجام گرفت. برای مقایسه میانگین ها از آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید و ضرایب همبستگی بین صفات به روش پیرسون محاسبه گردید.

تصادفی از هر کرت انتخاب و حداکثر قطر غلاف و یا سوخ (بعد از تشکیل سوخ) و حداقل قطر گردن با استفاده از ریزسنج (کولیس) اندازه گیری شد. در مراحل اولیه رشد گیاه، نسبت تشکیل سوخ حدود یک می باشد. در هنگام تشکیل سوخ، قطر سوخ خیلی سریع افزایش و در نتیجه نسبت فوق نیز زیاد می شود، وقتی این نسبت از ۲ بیشتر گردید به عنوان زمان شروع تشکیل سوخ در نظر گرفته شد. زمان تشکیل سوخ را می توان با یک شاخص قابل اعتماد، حساس و غیرتخریبی معروف به مجموع تجمعی تخمین زد. در این روش در هر دوره نمونه برداری، اختلاف تجمعی بین میانگین نسبت تشکیل سوخ (پنج گیاه) و نسبت تشکیل سوخ گیاهانی که سوخ در آن ها تشکیل نشده است (معمولاً ۱/۲ در نظر گرفته می شود) محاسبه می گردد. سپس در یک نمودار در هر نمونه برداری، مجموع تجمعی اختلاف نسبت تشکیل سوخ با ۱/۲، نسبت به محور زمان رسم شد (Darabi, 2009). قبل از تشکیل سوخ، نوسانات نسبت تشکیل سوخ قابل ملاحظه نمی باشد، ولی بعد از تشکیل سوخ، این نسبت به سرعت افزایش می یابد و در نتیجه مقدار عددی مجموع تجمع نیز به سرعت زیاد می شود. زمان تشکیل سوخ را می توان اولین نقطه ای دانست که مقدار مجموع تجمعی به سرعت افزایش می یابد. به منظور اندازه گیری تعداد و ارتفاع برگ، پنج بوته در هر کرت به طور تصادفی انتخاب و در اواسط اردیبهشت ماه تعداد برگ در هر بوته شمارش و ارتفاع برگ از محل طوقه در سطح زمین تا انتهای طول ترین برگ با خط کش اندازه گیری گردید. همچنین تعداد بوته های به گل رفته در هر پلات آزمایشی نسبت به تعداد کل بوته در همان پلات محاسبه و برحسب درصد ثبت شد. سوخ ها در زمان افتادگی ۵۰ تا ۸۰ درصد برگ ها و شروع خشک شدن آن ها برداشت شدند. از نظر تقویم زمانی، سوخ ها از ۲۷ اردیبهشت تا اول خرداد ماه برداشت گردید. بعد از برداشت، تعداد ۱۰ سوخ از هر تیمار به طور تصادفی انتخاب و قطر و ارتفاع سوخ (به وسیله کولیس) تعیین و تعداد پوست شمارش گردید. برای تعیین درصد ماده خشک سوخ، ۱۰ سوخ از هر تیمار به طور تصادفی انتخاب

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties on the site of experimental field

کربن آلی Organic C (%)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت Texture
0.75	170	3	7.7	2.4	لوم رسی سیلتی Silty clay loam

نتایج و بحث

تاریخ تشکیل سوخ

تاریخ تشکیل سوخ یکی از عامل های مهم و مؤثر در عملکرد پیاز می باشد. اگرچه عوامل محیطی از قبیل دما، شدت و کیفیت نور،

نیروژن، آبیاری و عامل های گیاهی از قبیل اندازه و سن گیاه و تنظیم کننده های رشد در تشکیل سوخ دخالت دارند، ولی یکی از مهم ترین عوامل مؤثر در تشکیل سوخ، طول روز می باشد. در این پژوهش، طول روز با استفاده از دو شاخص نسبت تشکیل سوخ و

‘پریمورا’، ‘تگزاس‌ارلی‌گرانو’، ‘صبا’، ‘گلدن‌آی’، ‘ایمپراتیز’ و ‘ساوانا سوئیت’ مطابقت دارد. در فامیل‌های نیمه‌خواهری سوخ از تاریخ ۷ فروردین با طول روز ۱۲ ساعت و ۳۸ دقیقه در ژنوتیپ نیمه‌خواهری ‘پریمورا’ تا ۱۴ فروردین با طول روز ۱۲ ساعت و ۵۱ دقیقه در ژنوتیپ نیمه‌خواهری ‘تگزاس‌ارلی‌گرانو’ تشکیل شد (جدول ۲)، یعنی در همه فامیل‌های نیمه‌خواهری مورد مطالعه، سوخ نیز در طول روز کمتر از ۱۳ ساعت تشکیل شده و این نتایج همانند والدین-شان روز کوتاه می‌باشند. عدم وجود اختلاف قابل ملاحظه در تاریخ تشکیل سوخ در فامیل‌های نیمه‌خواهری در مقایسه با والدین نشان‌دهنده این نکته است که زمان تشکیل سوخ در گیاهان از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار است.

مجموع تجمعی تاریخ تشکیل سوخ تخمین زده شد. این دو شاخص به دلیل سهولت و تخریب نشدن گیاه، متداول‌ترین روش‌ها در تاریخ تشکیل سوخ هستند. در این پژوهش، سوخ در والدین از تاریخ ۶ فروردین با طول روز ۱۲ ساعت و ۳۵ دقیقه در رقم ‘تگزاس‌ارلی-گرانو’ تا تاریخ ۱۳ فروردین با طول روز ۱۲ ساعت و ۴۹ دقیقه در رقم ‘ایمپراتیز’ تشکیل گردید (جدول ۲). با توجه به اینکه اگر سوخ در یک رقم در طول روز کمتر از ۱۳ ساعت تشکیل شود، آن رقم روز کوتاه محسوب می‌گردد (Darabi & Ghenevati Moghadam, 2020)، می‌توان نتیجه‌گیری نمود همان‌گونه که توسط شرکت‌های تولیدکننده گزارش شده است، این ارقام روز کوتاه می‌باشند. این نتایج با گزارش دارابی (Darabi, 2020) مبنی بر روز کوتاه بودن ارقام

جدول ۲- تاریخ و طول روز تشکیل سوخ در ژنوتیپ‌های پیاز روز کوتاه
Table 2- Bulbing date and day length during bulbing in short-day onion genotypes

ژنوتیپ Genotype	تاریخ تشکیل سوخ Bulbing date	طول روز Day length	ژنوتیپ Genotype	تاریخ تشکیل سوخ Bulbing date	طول روز Day length
‘سحر’ Sahar	۸ فروردین 27 Mar.	12:40	نیمه‌خواهری ‘گلدن‌آی’ Golden eye half-sib	۹ فروردین 28 Mar.	12:41
نیمه‌خواهری ‘سحر’ Sahar half-sib	۹ فروردین 28 Mar.	12:41	‘داستر’ Duster	۱۱ فروردین 30 Mar.	12:46
‘پالیز’ Paliz	۱۱ فروردین 30 Mar.	12:46	نیمه‌خواهری ‘داستر’ Golden eye half-sib	۱۱ فروردین 30 Mar.	12:46
نیمه‌خواهری ‘پالیز’ Paliz half-sib	۱۳ فروردین 1 Apr.	12:49	‘ایمپراتیز’ Imprateriz	۸ فروردین 27 Mar.	12:40
‘صبا’ Saba	۹ فروردین 28 Mar.	12:41	نیمه‌خواهری ‘ایمپراتیز’ Imperateriz half-sib	۸ فروردین 27 Mar.	12:40
نیمه‌خواهری ‘صبا’ Paliz half-sib	۹ فروردین 28 Mar.	12:41	‘پریمورا’ Primavera	۱۱ فروردین 30 Mar.	12:46
‘ساوانا سوئیت’ Savanasweet	۷ فروردین 26 Mar.	12:38	نیمه‌خواهری ‘پریمورا’ Primavera half-sib	۱۳ فروردین 1 Apr.	12:49
نیمه‌خواهری ‘ساوانا سوئیت’ Savanasweet half-sib	۶ فروردین 25 Mar.	12:35	‘تگزاس‌ارلی‌گرانو’ Texas Early Grano	۸ فروردین 27 Mar.	12:40
‘گلدن‌آی’ Golden eye	۱۴ فروردین 2 Apr.	12:51	نیمه‌خواهری ‘تگزاس‌ارلی‌گرانو’ Texas Early Grano half-sib	۱۱ فروردین 30 Mar.	12:46

خصوصیات کمی

اقلیمی نسبت داد. ارزیابی تعداد برگ نشان داد که اثر تکرار و ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هماهنگ با این نتایج، وجود اختلاف معنی‌دار بین تعداد برگ در ارقام پیاز توسط اوک و دیربیا-شیفر (Aweke & Diriba-Shiferaw, 2024) و چودهاری و همکاران (Choudhary et al., 2022) گزارش شده است. همانند ارتفاع برگ، حداکثر تعداد برگ مربوط به رقم ‘پالیز’ بود. کاهش این صفت در رقم ‘سحر’ و فامیل نیمه‌خواهری ‘تگزاس‌ارلی‌گرانو’ در مقایسه با رقم مزبور معنی‌دار نشد (جدول ۳). در جنوب کشور، تاریخ رسیدگی یکی از معیارهای مهم انتخاب ارقام پیاز می‌باشد. زیرا در صورت تأخیر در برداشت، قیمت به‌شدت کاهش

سطح برگ بستگی به ارتفاع و تعداد برگ دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تکرار بر ارتفاع برگ معنی‌دار نبود، ولی اثر ژنوتیپ بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. حداکثر ارتفاع برگ به رقم ‘پالیز’ مربوط بود. کاهش ارتفاع برگ در رقم ‘سحر’ در مقایسه با این رقم معنی‌دار نشد (جدول ۳). در این بررسی بسته به ژنوتیپ، ارتفاع برگ از ۵۳/۸۰ تا ۷۳/۴۰ سانتی‌متر متغیر بود. دارابی (Darabi, 2020)، ارتفاع برگ را برای ارقام وارداتی از ۶۵/۶۰ تا ۷۳/۴۰ سانتی‌متر گزارش نمود. علت این اختلاف را می‌توان به متفاوت بودن ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این دو پژوهش و اختلاف در شرایط

خواهد یافت، به طوری که در برخی از سال‌ها کشاورزان از برداشت محصول صرف نظر می‌کنند. نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود که اثر تکرار و ژنوتیپ بر این صفت معنی‌دار نشد. تعداد روز از کاشت تا رسیدن در ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده بین ۲۰۹ تا ۲۱۲ متغیر بود (جدول ۳). دوره رسیدگی پیاز اصلاح‌شده بهبهان ۲۴۴ روز گزارش گردید (Darabi, 2016b). که نسبت به طول دوره رشدونمو ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده در این پژوهش طولانی‌تر می‌باشد. علت این موضوع را می‌توان به دیررس بودن پیاز اصلاح‌شده بهبهان نسبت داد. برخلاف این نتایج، کرامر (Cramer, 2003) مدت زمان دوره رشدونمو را برای رقم‌های هیبرید و آزادگرده‌افشان به ترتیب ۱۴۱ و ۱۵۱ روز گزارش نمود که نسبت به مدت زمان دوره رشدونمو در این پژوهش بسیار کوتاه‌تر است. علت این اختلاف را علاوه بر متفاوت بودن رقم‌های مورد بررسی، می‌توان به طولانی بودن دوره رشد کند پیاز در خوزستان به دلیل پایین بودن دما در این مرحله نسبت داد (Darabi, 2009).

بولتینگ^۱ (گل‌دهی زود هنگام و یا پیش‌گل‌دهی) یکی از مشکلات مهم تولید پیاز در کشت پاییزه در جنوب کشور می‌باشد. در اثر بولتینگ، مرکز سوخ سخت و سفت شده و از بازاری‌پسندی آن کاسته می‌شود. سن گیاه و چند عامل محیطی بر بولتینگ مؤثرند، میزان پیش‌گل‌دهی بسته به رقم و شرایط محیطی فصل رشد متفاوت می‌باشد (Darabi, 2020). اثر تکرار بر این صفت معنی‌دار نبود، ولی همچنان که توسط محققان مختلف از جمله دارابی و یعقوبی (Darabi & Yaghubi, 2022) گزارش شده، در این بررسی نیز اثر ژنوتیپ بر این صفت معنی‌دار شد. بیشترین درصد بولتینگ به 'رقم صبا' (۸۴/۰ درصد) تعلق داشت. کاهش این صفت در فامیل‌های نیمه‌خواهری 'ایمپراتریز' (۳۰/۰ درصد) و 'تگزاس‌ارلی‌گرنو' (۳۰/۰ درصد) در مقایسه با رقم 'صبا' معنی‌دار نشد. بولتینگ در سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده نشد. باید توجه نمود که میزان بولتینگ در این سه ژنوتیپ در مقایسه با نتایج سایر پژوهش‌ها در کشت پاییزه در مناطق روزکوتاه جنوب کشور بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی می‌باشد، چنانچه درصد بولتینگ در توده‌های محلی جنوب کشور از ۲/۲۴ تا ۳۰/۵۵ درصد و در ۱۵ رقم وارداتی از ۵/۵۱ تا ۸/۵۹ گزارش شده است (Darabi, 2020; Darabi & Ghenevati Moghadam, 2020). عملکرد سوخ در واحد سطح به‌عنوان شاخص مهم اقتصادی و در واقع هدف اصلی تولید پیاز می‌باشد. در این پژوهش، اثر تکرار بر این صفت معنی‌دار نشد، ولی اثر ژنوتیپ بر عملکرد سوخ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که ژنوتیپ‌های مورد بررسی پیاز از نظر ظرفیت تولید متفاوت هستند که علت را می‌توان به ترکیب ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت داد. تفاوت

عملکرد پیاز در بین ژنوتیپ‌های پیاز توسط سایر محققان نیز گزارش شده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (Aragie et al., 2021; Miruts et al., 2023). رقم 'پالیز' حداکثر عملکرد را تولید نمود، ولی افزایش عملکرد این رقم نسبت به ارقام 'سحر'، 'صبا'، 'ساوانا سویت' و 'گلدن آی' و فامیل‌های نیمه‌خواهری 'صبا' و 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' معنی‌دار نشد (جدول ۳). علت بالا بودن عملکرد در این ژنوتیپ‌ها را می‌توان به بالا بودن شاخص سطح برگ (تعداد و ارتفاع برگ) در ژنوتیپ‌های مزبور نسبت داد (جدول ۳). با افزایش شاخص سطح، جذب نور افزایش یافته، کربوهیدرات بیشتری تولید و ساکارز زیاده‌تری توسط سوخ جذب خواهد شد و در نتیجه عملکرد افزایش خواهد یافت (Darabi, 2016b). هماهنگ با این نتایج، بالا بودن عملکرد رقم صبا در بهبهان و اصفهان به ترتیب توسط دارابی (Darabi, 2020) و عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2025) گزارش شده است. ارزیابی روابط همبستگی نیز مشخص نمود که رابطه عملکرد با تعداد و ارتفاع برگ (به ترتیب $r=0/445$ و $r=0/591$) مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. هماهنگ با این نتایج، مانل و همکاران (Manel et al., 2024) نیز ارتباط مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را بین عملکرد و تعداد و ارتفاع برگ گزارش نمودند.

از نظر تتوریک، عملکرد پیاز از حاصل‌ضرب تراکم در وزن متوسط سوخ به دست می‌آید و در صورت ثابت بودن تراکم در اثر عملیات داشت، عملکرد پیاز تحت تأثیر وزن متوسط سوخ قرار می‌گیرد. چنین رابطه‌ای در این پژوهش نیز مشاهده شد، به طوری که حداکثر متوسط وزن سوخ در رقم 'پالیز' که بیشترین محصول را تولید نمود، مشاهده گردید. ارقام 'سحر'، 'صبا'، 'ساوانا سویت' و فامیل نیمه‌خواهری 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' که از نظر عملکرد در گروه برتر (a) گرفته بودند، از نظر وزن متوسط سوخ نیز در این گروه قرار گرفتند. کمترین متوسط وزن سوخ نیز به رقم 'داستر' که کمترین عملکرد را به خود اختصاص داده بود، مشاهده شد (جدول ۴). به همین دلیل، همبستگی عملکرد با وزن متوسط سوخ مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($r=0/771$). هماهنگ با این نتایج، آنانتارادی و همکاران (Anantha Raddy et al., 2022) با همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد و متوسط وزن سوخ مواجه شدند.

در پیاز عملکرد بالا به‌تنهایی تضمین‌کننده موفقیت در تولید نبوده، بلکه باید سایر خصوصیات سوخ از جمله قطر سوخ و قطر گردن و شکل سوخ مطابق با سلیقه مصرف‌کننده باشد. معمولاً سوخ‌هایی با قطر متوسط (۴۰-۶۹ سانتی‌متر، ترجیح داده می‌شوند) (Darabi & Khajehzadeh, 2022).

جدول ۳- تعداد و ارتفاع برگ، روز تا رسیدن و عملکرد سوخ در ژنوتیپ‌های پیاز روز کوتاه
Table 3- Leaf number and height, days to maturity and bulb yield in short-day onion genotypes

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع برگ Leaf height (cm)	تعداد برگ Leaf number	روز تا رسیدن Days to maturity (day)	عملکرد سوخ Bulb yield (t.ha ⁻¹)
‘سحر’ Sahar	69.47± 2.50 ab*	11.20±0.53 abc	210±1.53 a	70.50±8.80 abc
نیمه‌خواهری ‘سحر’ Sahar half-sib	57.20±1.70 def	9.33±0.50 de	210±1.73 a	56.16±8.50 cde
‘پالیز’ Paliz	73.40±2.90 a	12.37±0.75 a	211±1.73 a	79.31±8.80 a
نیمه‌خواهری ‘پالیز’ Paliz half-sib	53.87±1.70 f	8.87±0.81 f	211±2.08 a	57.51±2.5 bcd
‘صبا’ Saba	63.10±0.70 b-e	10.33±0.61 bcd	209±0 a	69.27±6.50 a-d
نیمه‌خواهری ‘صبا’ Sabahalf-sib	63.73±4.00 bcd	10.07±0.64 b-e	211±1.16 a	66.46±4.70 a-d
‘ساوانا سوئیت’ Savanasweet	63.40±6.30 b-e	10.60±0.80bcd	209±0a a	71.83±2.20 ab
نیمه‌خواهری ‘ساوانا سوئیت’ Savanasweet half-sib	6.0.60±0.70 c-f	10.07±1.36b-e	211±0.58 a	74.22±3.40 bcd
‘گلدن آی’ Golden eye	59.07±2.80 def	10.60±0.35 bcd	210±1.73 a	66.46±12.80 a-d
نیمه‌خواهری ‘گلدن آی’ Golden eye half-sib	62.20±1.70 b-e	10.07±0.31 b-e	210±1.53 a	60.44±4.40 bcd
‘داستر’ Duster	55.53± 3.40 ef	10.13±1.03 b-e	211±2.00 a	55.19±4.50 d
نیمه‌خواهری ‘داستر’ Golden eye half-sib	62.73±1.30 b-e	9.80±0.53 cde	209±0 a	65.18±5.30 bcd
‘ایمپراتریز’ Imprateriz	63.60± 2.00 bcd	9.47±0.99 cde	209±0 a	63.00±1.30 bcd
نیمه‌خواهری ‘ایمپراتریز’ Imprateriz half-sib	61.07±6.30 c-f	10.60±0.35 bcd	210±1.73 a	63.30±3.9 bcd
‘پریماورا’ Primavera	57.87±4.50 def	9.60±0.60 cde	209±0.0.58 a	63.19±1.60 bcd
نیمه‌خواهری ‘پریماورا’ Primavera half-sib	64.13±3.60 bcd	10.05±1.13 b-e	212±0.58 a	61.29±9.50 bcd
‘تگزاس ارلی گرانو’ Texas Early Grano	60.40 ±6.90 c-f	10.70±0.64 bc	211±0.58 a	63.83±9.60 bcd
نیمه‌خواهری ‘تگزاس ارلی گرانو’ Texas Early Grano half-sib	67.60±7.40 bcd	11.37±1.22 ab	211±1.73 a	68.29±7.60 a-d

* میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

معنی‌دار نشد (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های حوسامانی و همکاران (Hosmani et al., 2010) هم‌خوانی دارد. به نظر می‌رسد ارقامی که به دلیل شاخص سطح برگ بالا، مواد فتوسنتزی زیادتری تولید می‌کنند، این مواد را به اندام ذخیره‌ای فرستاده که در نهایت از طریق افزایش قطر سوخ موجب افزایش وزن سوخ و عملکرد خواهند شد. در

مشابه با وزن سوخ تیمارهایی با عملکرد بالا، قطر متوسط سوخ بیشتری را نیز به خود اختصاص دادند، به‌طوری‌که همانند حداکثر وزن سوخ، بیشترین قطر سوخ نیز به رقم ‘پالیز’ تعلق یافت. از نظر این صفت، اختلاف این رقم با ارقام ‘سحر’، ‘صبا’، ‘ساوانا سوئیت’ و ‘تگزاس ارلی گرانو’ و فامیل‌های نیمه‌خواهری ‘تگزاس ارلی گرانو’

تعیین شکل سوخ و بازارپسندی آن بسیار مهم و تعیین کننده می باشد. همسو با نتایج تحقیق دارابی و خواجهزاده (Darabi & Khajehzadeh, 2022)، در این پژوهش نیز اختلاف معنی داری بین زئوتیپ های مورد مطالعه مشاهده گردید. بیشترین ارتفاع سوخ مربوط به رقم 'پالیز' بود. کاهش ارتفاع سوخ در رقم 'سحر'، 'صبا'، 'ساوانا سوئیت'، 'پریمورا'، 'تگزاس ارلی گرانو' و فامیل های نیمه خواهری 'داستر' و 'تگزاس ارلی گرانو' در مقایسه با رقم 'پالیز' معنی دار نشد (جدول ۴).

این راستا، ارزیابی روابط همبستگی مشخص نمود که همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال یک درصد بین قطر سوخ با تعداد و ارتفاع برگ (به ترتیب ۰/۷۲۱ و ۰/۵۹۹) و عملکرد با قطر سوخ (۰/۵۷۵) وجود دارد. وجود رابطه مثبت و معنی دار بین قطر سوخ و تعداد و ارتفاع برگ توسط موسوی زاده (Mousavizadeh, 2019) نیز مشاهده شده است. رابطه قطر و وزن متوسط سوخ نیز مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی دار (۰/۵۳۹) بود. وجود چنین رابطه ای بین وزن و قطر سوخ توسط مانل و همکاران (Manel et al., 2024) نیز گزارش شده است. ارتفاع سوخ یکی از عواملی است که در

جدول ۴- وزن، قطر و ارتفاع سوخ و قطر گردن در ژنوتیپ های پیاز روز کوتاه

Table 4- Bulb weight, diameter and height and neck diameter in short-day onion genotypes

ژنوتیپ Genotype	وزن سوخ Bulb weight (g)	قطر سوخ Bulb diameter (mm)	ارتفاع سوخ Bulb height (cm)	قطر گردن Neck diameter (mm)
'سحر' Sahar	242.80±20.00 ab*	80.02±5.10 ab	67.98±8.10 a	7.87±0.07 ef
نیمه خواهری 'سحر' Sahar half-sib	185.40±10.30 d	65.29±5.00 d	62.79±4.00 a-d	10.85±1.30 abc
'پالیز' Paliz	254.80±32.00 a	85.17±19.00 a	69.74±2.50 a	9.72±0.7 bcd
نیمه خواهری 'پالیز' Paliz half-sib	196.38±8.50 cd	65.18±4.00 d	61.06±2.80 bcd	9.95±0 a-d
'صبا' Saba	3238.60±10.8 ab	79.07±2.50 abc	67.32±5.70 abc	7.69±0.30 ef
نیمه خواهری 'صبا' Saba half-sib	198.60±8.30 cd	76.51±2.90 bc	62.02±3.20 bcd	9.71±0.20 bcd
'ساوانا سوئیت' Savanasweet	227.00±4.90 abc	79.80±2.00 ab	66.97±4.40 abc	11.12±0.60 ab
نیمه خواهری 'ساوانا سوئیت' Savanasweet half-sib	195.90±14.50 cd	72.02±4.00 cd	61.15±2.50 bcd	9.02±1.60 de
'گلدن آی' Golden eye	213.70±28.80 bcd	77.04±5.20 bc	57.32±5.50 bcd	10.39±1.00 a-d
نیمه خواهری 'گلدن آی' Golden eye half-sib	195.80±13.30 cd	75.99±2.40 bc	60.52±1.60 bcd	10.09±0.60 a-d
'داستر' Duster	180.40±29.00 d	65.98±4.50 d	61.50±1.10 bcd	11.57±0 a
نیمه خواهری 'داستر' Golden eye half-sib	201.50±5.80 cd	76.45±2.270 bc	62.41±2.50 a-d	9.38±1.20 cd
'ایمپراتریز' Imprateriz	192.30±7.00 cd	75.23±2.700 bc	62.02±4.10 bcd	10.96±1.40 ab
نیمه خواهری 'ایمپراتریز' Imprateriz half-sib	198.70±16.00 cd	75.60±2.40 bc	61.48±2.70 bcd	10.39±1.40 a-d
'پریمورا' Primavera	192.20±13.80 cd	75.17±1.76 bc	64.87±3.40 a-d	11.10±0.70 ab
نیمه خواهری 'پریمورا' Primavera half-sib	203.44±23.50 cd	77.38±3.80 bc	59.90±1.40 cd	10.18±0.90 a-d
'تگزاس ارلی گرانو' Texas Early Grano	199.50±24.20 cd	76.94±5.90 bc	67.92±3.10 ab	7.30±0.60 f
نیمه خواهری 'تگزاس ارلی گرانو' Texas Early Grano half-sib	225.90±6.70 abc	79.91±4.40 ab	66.71±1.80 abc	9.03±0.10 de

* میانگین های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability level using Duncan's Multiple Range Test.

ماده خشک بین ۶/۴۶ تا ۸/۸۷ درصد متغیر بود. امین‌پور و همکاران (Aminpour et al., 2012) درصد ماده خشک سوخ را در ۱۶ رقم روز کوتاه وارداتی بین ۶/۶۰ تا ۹/۳۶ گزارش نمودند که اختلاف قابل ملاحظه‌ای با درصد ماده خشک در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ندارد، ولی این صفت در توده‌های بومی روز کوتاه به مقدار قابل توجهی نسبت به ارقام روز کوتاه وارداتی بیشتر است، به طوری که درصد ماده خشک سوخ در شش ژنوتیپ بومی جنوب کشور بین ۱۰/۵۸ تا ۱۳/۹۹ درصد متغیر بود (Darabi & Khajehzadeh, 2022).

در این آزمایش، روند تغییرات درصد مواد جامد محلول کل سوخ مشابه با روند تغییرات درصد ماده خشک سوخ بود و هماهنگی گزارش امین‌پور و همکاران (Aminpour et al., 2012) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($r=0/445$) بین این دو عامل مشاهده گردید. همانند درصد ماده خشک سوخ، بیشترین مقدار مواد جامد محلول کل مربوط به رقم تگزاس‌ارلی‌گرانو بود. کاهش این صفات در ارقام ایمپراتریز، گلدن‌آی، سحر و صبا و فامیل‌های نیمه‌خواهری پالیز، ساوانا سوئیت، داستر، پریمورا و تگزاس‌ارلی‌گرانو در مقایسه با رقم تگزاس‌ارلی‌گرانو معنی‌دار نبود (جدول ۵).

انبارمانی

سوخ پیاز یک اندام ذخیره‌ای بوده، در نتیجه پیاز برای انبار کردن نسبت به سبزی‌های دیگر مناسب‌تر است. اما میزان ضایعات پیاز در مناطق گرمسیری بسیار زیاد می‌باشد. از طرف دیگر، انبارداری پیاز به دلیل لزوم عرضه سوخ به بازار در تمام طول سال ضروری است. - به دلیل بالا بودن هزینه نگهداری سوخ در انبار کنترل‌شده، به‌ویژه در تابستان، تحقیقات زیادی در رابطه با انبارمانی پیاز در شرایط گرم صورت گرفته است (Darabi, 2018). انبارمانی پیاز، یک فرآیند پیچیده بوده و عوامل متعددی در آن دخالت دارند که می‌توان آن‌ها را به عوامل مؤثر در طول دوره رشدونمو گیاه در مزرعه (قبل از برداشت)، عوامل مرتبط با فرآیندهای بعد از برداشت و فرآیندهای فیزیولوژیک تقسیم‌بندی نمود (Petropoulos et al., 2017). بنابراین اولین مرحله در افزایش عمر انبارمانی، انتخاب رقم مناسب است، زیرا اختلاف معنی‌داری بین ارقام پیاز از نظر عمر انباری وجود داشته و همه ارقام برای انبارمانی مناسب نمی‌باشند. از صفات مهم پیاز که بر عمر انباری مؤثر هستند، می‌توان قطر گردن، تعداد و ضخامت لایه‌های پوست، درصد ماده خشک سوخ و تندی سوخ را نام برد (Petropoulos et al., 2017).

قطر گردن از اهداف مهم اصلاحی محسوب می‌شود. قطر گردن از صفات مهم در بازاریابی سوخ بوده و معمولاً مصرف‌کنندگان پیازهایی با گردن بسته را ترجیح می‌دهند. علاوه بر این، بسته بودن گردن باعث جلوگیری از ورود عوامل بیماری‌زا به درون سوخ و در نتیجه افزایش خاصیت انبارمانی آن خواهد شد (Darabi, 2018). هماهنگی با گزارش راتان و همکاران (Ratan et al., 2017)، در این پژوهش نیز اثر ژنوتیپ بر قطر گردن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. کمترین قطر گردن به رقم 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' مربوط بود. افزایش این صفت در ارقام 'سحر' و 'صبا' در مقایسه با این رقم معنی‌دار نشد (جدول ۴). در این تحقیق، قطر گردن بین ۷/۳۰ تا ۱۱/۵۷ میلی‌متر متغیر بود. برای قطر گردن بسته به ژنوتیپ و شرایط اقلیمی، اعداد متفاوتی گزارش شده است. دارابی (Darabi, 2021)، قطر گردن را برای ارقام وارداتی روز کوتاه بین ۹/۷۶ تا ۱۲/۲۱ میلی‌متر و برای ژنوتیپ‌های بومی روز کوتاه بین ۱۰/۸۷ تا ۱۷/۱۵ میلی‌متر گزارش نمود (Darabi, 2024).

تعداد لایه‌های پوست خشک خارجی و چسبندگی آن به گوشت از عوامل مؤثر در کاهش ضایعات سوخ و در نتیجه افزایش انبارمانی این محصول است. پوست خشک خارجی سوخ، فلس‌های داخلی را از صدمه دیدن و بیماری‌ها حفظ می‌کند و از خشک شدن آن‌ها جلوگیری می‌کند و تأثیر به‌سزایی در خاصیت انبارمانی دارد (Darabi, 2018). نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود که اثر تکرار بر این صفت معنی‌دار نشد. در این بررسی نیز اثر ژنوتیپ بر تعداد پوست در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین تعداد پوست مربوط به رقم 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' گرانو بود. بالا بودن تعداد پوست در رقم 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' توسط دارابی (Darabi, 2024) نیز گزارش شده است. از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری بین این رقم و ارقام 'سحر'، 'صبا' و 'پریمورا' فامیل نیمه‌خواهری 'گلدن‌آی' مشاهده نشد (جدول ۵).

صفات کیفی

درصد ماده خشک سوخ از عوامل مهم کیفیت پیاز بوده و نقش بسزایی در تولید فرآورده‌ها و خاصیت انبارمانی این محصول ایفا می‌کند. در این تحقیق، اختلاف بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین درصد ماده خشک مربوط به رقم 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' بود. کاهش درصد ماده خشک در فامیل نیمه‌خواهری 'ساوانا سوئیت' در مقایسه با رقم 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' معنی‌دار نبود (جدول ۵). در این بررسی، درصد

جدول ۵- تعداد پوست، میزان ماده خشک سوخ، مواد جامد محلول کل و ضایعات انباری سوخ در ژنوتیپ‌های پیاز روز کوتاه

Table 5- Skin number bulb, dry matter amount, total soluble solid, and storage bulb losses in short-day onion genotypes

ژنوتیپ Genotype	تعداد پوست Skin number	ماده خشک سوخ Bulb dry meter (%)	مواد جامد محلول کل Total bulb soluble solid (°Brix)	ضایعات انباری سوخ Bulb storage losses (%)
‘سحر’ Sahar	2.73±0.12 abc*	7.77±0.41 bcd	8.10±0.36 abc	9.74±2.00 f
نیمه‌خواهری ‘سحر’ Sahar half-sib	2.57±0.06 cd	6.83±0.49 def	7.60±0.96 abc	14.74±2.00 cde
‘پالیز’ Paliz	2.60±0.20 bcd	6.75±0.44 def	8.23±0.25 bc	14.37±1.90 c-f
نیمه‌خواهری ‘پالیز’ Paliz half-sib	2.27±0.12 ef	6.87±0.67 def	7.70±0.36 abc	11.82±1.50 def
‘صبا’ Saba	2.80±0.10 ab	7.97±0.39 abc	7.10±0.36 c	11.91±1.60 def
نیمه‌خواهری ‘صبا’ Paliz half-sib	2.60±0 bcd	7.31±0.69 c-f	7.67±0.76 abc	15.41±2.00 cde
‘ساوانا سوئیت’ Savanasweet	2.13±0.12 f	26.56±0.42 ef	7.10±0.61 c	35.31±1.30 a
نیمه‌خواهری ‘ساوانا سوئیت’ Savanasweet half-sib	2.60±0 bcd	8.54±0.75 ab	7.67±0.75 abc	14.02±2.50 c-f
‘گلدن آی’ Golden eye	2.40±0.10 de	6.70±0.53 ef	7.67±0.61 abc	23.60±2.70 b
نیمه‌خواهری ‘گلدن آی’ Golden eye half-sib	2.20±0.10 ef	6.77±0.12 def	7.40±0.53 bc	16.99±2.40 c
‘داستر’ Duster	2.07±0.12 f	6.46±0.39 f	6.93±0.12 c	27.29±3.40 b
نیمه‌خواهری ‘داستر’ Golden eye half-sib	2.57±0.15 cd	7.47±0.47 c-f	7.73±0.64 abc	11.79±2.70 def
‘ایمپراتریز’ Imprateriz	2.53±0.12 cd	6.91±0.45 def	8.60±0.50 ab	16.23±3.70 cd
نیمه‌خواهری ‘ایمپراتریز’ Imprateriz half-sib	2.53±0.23 cd	6.79±0.61 def	7.03±0.81 c	16.99±2.40 c
‘پریمورا’ Primavera	2.67±0.15 abc	6.68±0.66 ef	7.43±0.12 bc	12.59±2.60 c-f
نیمه‌خواهری ‘پریمورا’ Primavera half-sib	2.53±0.06 cd	7.19±0.58 c-f	7.73±0.31 abc	12.15±2.10 c-f
‘تگزاس ارلی گرانو’ Texas Early Grano	2.87±0.12 a	8.87±0.78 a	8.87±0.12 a	10.77±2.30 ef
نیمه‌خواهری ‘تگزاس ارلی گرانو’ Texas Early Grano half-sib	2.60±0.20 bcd	7.53±0.60 cde	8.57±0.50 ab	13.87±2.60 c-f

* میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability level using Duncan's Multiple Range Test

‘پریمورا’ و ‘تگزاس ارلی گرانو’ در مقایسه با رقم ‘سحر’ معنی‌دار نشد (جدول ۵). بالا بودن قابلیت انبارمانی ارقام ‘صبا’ (Darabi, 2021) و ‘تگزاس ارلی گرانو’ (Darabi, 2024) در سایر آزمایش‌ها نیز مشاهده شده است. نکته قابل توجه اینکه در اکثر ژنوتیپ‌هایی که از نظر قابلیت انبارمانی در گروه برتر (f) قرار گرفته‌اند، از نظر درصد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تکرار بر ضایعات سوخ معنی‌دار نشد، ولی اثر ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. کمترین مقدار ضایعات مربوط به رقم ‘سحر’ بود. افزایش این صفت در ارقام ‘پالیز’، ‘صبا’، ‘پریمورا’، ‘تگزاس-ارلی گرانو’ و فامیل‌های نیمه‌خواهری ‘پالیز’، ‘ساوانا سوئیت’، ‘داستر

ماده خشک سوخ نیز در گروه برتر (a) قرار دارند، ولی این ژنوتیپ‌ها ممکن است از لحاظ تعداد پوست و قطر گردن در گروه برتر قرار نگرفته باشد (جدول ۴ و ۵). بنابراین هماهنگ با گزارش عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2022) می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که نقش درصد ماده خشک سوخ در قابلیت انبارمانی سوخ بیشتر از قطر گردن و تعداد پوست می‌باشد. میزان ضایعات انباری بعد از سه ماه انبارمانی برای ۱۵ ژنوتیپ پیاز روزکوتاه در بهبهان بین ۴/۴۹ تا ۱۹/۸۴ درصد گزارش شده است (Darabi, 2018). در صورتی که میزان ضایعات انبارمانی بعد از سه ماه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بین ۹/۷۴ تا ۳۵/۳۱ درصد بود (جدول ۵). علت اختلاف در این دو پژوهش، علی‌رغم یکی بودن محل آزمایش را می‌توان به متفاوت بودن ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و همچنین اختلاف در شرایط اقلیمی در هنگام اجرای این دو تحقیق نسبت داد. تقسیم‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس روش کو (Ko, 2001) مشخص نمود که به استثنای رقم داستر که در گروه متوسط قرار گرفت، سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر انبارمانی در گروه خوب قرار گرفتند.

عکس‌العمل در نتاج نیمه‌خواهری ژنوتیپ‌ها نسبت به والدین و نسبت به میانگین جامعه

در برنامه‌های اصلاحی، بهبود ژنتیکی ژنوتیپ‌ها به توانایی تغییرات ژنتیکی آن‌ها بستگی دارد. شناسایی موفقیت‌آمیز والدینی که به‌خوبی ترکیب شوند و نتاج امیدبخش تولید کنند، عمده‌تاً به عملکرد ژنی بستگی دارد که این صفت را کنترل می‌کند (Tabassum et al., 2007). از آنجایی که واریانس ژنتیکی در بین خانواده‌های نیمه‌خواهری با واریانس ژنتیکی افزایشی مرتبط است (Nguyen & Sleper, 1983)، تنوع قابل توجه در بین خانواده‌های نیمه‌خواهری برای اکثر صفات نشان داد که این صفات را واریانس ژنتیکی عمده‌تاً افزایشی کنترل می‌کند و این تنوع بالا بین خانواده‌های نیمه‌خواهری برای اکثر صفات، پتانسیل بالا برای دستاوردهای ژنتیکی این صفات را نشان می‌دهد. بنابراین این صفات را می‌توان با انتخاب دوره‌ای یا توده‌ای بهبود بخشید. در این پژوهش، نتاج نیمه‌خواهری دارای برخی از صفات ظاهری مطلوب بودند، به‌طوری‌که در هیچ‌یک از نتاج نیمه‌خواهری، بولتینگ یا مشاهده نگردید و یا میزان آن بسیار پایین بود. صفت ناپسند دوقلوبی و یا چندقلوبی که از عوارض مهم فیزیولوژیک پیاز است و ژنتیک در بروز این عارضه سهم مهمی دارد (Darabi, 2016a) این صفت در هیچ‌کدام از نتاج ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری رؤیت نشد. علاوه بر این، رنگ پوست و گوشت نتاج همه ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری یک‌نواخت (به‌ترتیب زرد و سفید) و ناخالصی از نظر رنگ پوست و گوشت در آن‌ها مشاهده نگردید، لذا ژنوتیپ‌های

برتر براساس سه صفت مهم دیگر یعنی تاریخ رسیدگی، عملکرد سوخ و خاصیت انبارمانی انتخاب شدند. از نظر صفت تاریخ رسیدگی، بین ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری سحر، پالیز، گلدن‌آی و تگزاس‌ارلی‌گرانو و والدین مادری تفاوتی مشاهده نشد. در بین نتاج نیمه‌خواهری، 'پریماورا' نسبت به والد مادری سه روز دیررس‌تر بود. همه ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری نسبت به میانگین والدین کمی دیررس‌تر بودند (از ۰/۲۲ تا ۲/۲۲ روز) (جدول ۶). این تغییرات اندک در تاریخ رسیدگی در بین همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه (چند روز زودرس‌تر یا دیررس‌تر) قابل توجه نبوده و همه نتاج نیمه‌خواهری از نظر این صفت، وضعیت مطلوبی داشتند. بنابراین از جمله معیارهای اصلی انتخاب ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری، دو صفت مهم دیگر یعنی عملکرد سوخ و خاصیت انبارمانی بود. عملکرد سوخ در سه ژنوتیپ نیمه‌خواهری 'داستر'، 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' و 'ایمپراتریز' به‌ترتیب معادل ۹/۹۹، ۴/۴۶ و ۰/۳۰ تن در هکتار نسبت به والدین مادری افزایش نشان دادند. در سایر ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری، عملکرد نسبت به والدین مادری از ۱/۹۰ (در 'پریماورا') تا ۲۱/۶۲ تن در هکتار (در 'پالیز') کمتر بود. عملکرد همه ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری به‌استثنای 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' نسبت به میانگین والدین از ۰/۴۴ تن در هکتار در رقم 'صبا' تا ۱۰/۷۴ تن در هکتار در رقم 'سحر' کاهش نشان داد (جدول ۶). درصد ضایعات انباری در چهار ژنوتیپ نیمه‌خواهری 'سحر'، 'صبا'، 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' و 'ایمپراتریز' نسبت به والدین مادری به‌ترتیب ۵، ۳/۵، ۳/۱ و ۰/۷۶ درصد بیشتر بود. میزان ضایعات انباری در رقم 'داستر' ۱۵/۵۲ درصد و در 'ساواناسویت' تا ۲۱/۲۹ درصد در مقایسه با والدین مادری کمتر بود. این صفت در همه ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری نسبت به میانگین کل والدین کاهش یافت. این کاهش از ۱ درصد ('ایمپراتریز' و 'گلدن‌آی') تا ۶/۱۷ درصد ('داستر') متغیر بود (جدول ۶). برتری قابل توجه در تعدادی از خانواده‌های نیمه‌خواهری برای صفت انبارمانی (مثلاً کاهش ۲۱/۲۹ درصدی میزان ضایعات انباری برای فامیل نیمه‌خواهری 'گلدن‌آی') نشان از تجمع فراوانی ژن‌های مطلوب برای این صفت دارد. براساس این نتایج مشخص شد که ژنوتیپ نیمه‌خواهری 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' از نظر عملکرد سوخ در بین همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در گروه برتر (a) قرار گرفته و عملکرد آن نسبت به والد مادری و میانگین والدین افزایش نشان داد. اگرچه میزان ضایعات انباری این ژنوتیپ نسبت به والد مادری اندکی بیشتر بود، اما نسبت به میانگین والدین کمتر بود (جدول ۶). نتاج نیمه‌خواهری 'صبا' از نظر عملکرد سوخ در بین همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز در گروه برتر (a) قرار گرفت و کاهش عملکرد آن در مقایسه با والد مادری و میانگین والدین قابل ملاحظه نبود. میزان ضایعات انباری این نتاج نسبت به والد مادری خود افزایش

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری 'تگزاس‌ارلی‌گرانو'، 'صبا' و 'داستر' با عملکرد بالا (بین ۶۵/۱۸ تا ۶۸/۲۹ تن در هکتار) و انبارمانی مناسب (ضایعات بین ۱۱/۷۹ تا ۱۵/۴۱ درصد) گزینه‌های امیدبخشی برای معرفی ارقام بومی روزکوتاه و کاهش وابستگی به واردات هستند. با توجه به تنوع اقلیمی جنوب کشور، پیشنهاد می‌شود که این ژنوتیپ‌ها علاوه بر بهبهان در سایر مناطق روزکوتاه جنوب کشور از لحاظ عملکرد، خاصیت انبارمانی و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده بررسی شوند.

ناچیزی را نشان داد و نسبت به میانگین والدین کمتر بود (جدول ۶). ژنوتیپ نیمه‌خواهری 'داستر' اگرچه از نظر عملکرد سوخ در گروه برتر قرار نگرفت، ولی اختلاف عملکرد آن با دو ژنوتیپ نیمه‌خواهری ('صبا' و 'تگزاس‌ارلی‌گرانو') که در گروه برتر قرار گرفتند، بسیار جزئی و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). از طرف دیگر، ژنوتیپ مزبور از نظر میزان ضایعات انباری در میان همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در گروه برتر (f) قرار داشت و بیشترین کاهش را در بین نتایج نیمه‌خواهری نسبت به میانگین والدین نشان داد (جدول ۶). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در این پژوهش، نتایج نیمه‌خواهری 'صبا'، 'تگزاس‌ارلی‌گرانو' و 'داستر' ژنوتیپ‌های برتر می‌باشند.

جدول ۶- اختلاف تاریخ رسیدگی، عملکرد و ضایعات انباری سوخ در نتایج نیمه‌خواهری پیاز روزکوتاه با والد مادری و میانگین والدین
Table 6- Differences of maturity day, yield and bulb storage losses in progenies half-sib of short-day onion with maternal parent and parents mean

نتایج نیمه‌خواهری Progenies half-sib	تاریخ رسیدگی Days to maturity		عملکرد Yield		ضایعات انباری سوخ Bulb storage losses	
	والد مادری Maternal parent	میانگین والدین Parents mean	والد مادری Maternal parent	میانگین والدین Parents mean	والد مادری Maternal parent	میانگین والدین Parents mean
'سحر' Sahar	0	0.22	-14.34	-10.74	5	-3.25
'پالیز' Paliz	0	1.22	-21.62	-9.32	-2.55	-6.17
'صبا' Saba	2	1.22	-2.81	-0.44	3.50	-2.58
'کلدن آی' Golden eye	2	1.22	-12.61	-7.68	-21.29	-3.97
'ساوانا سوییت' Savanasweet	0	0.22	-6.02	-6.46	-6.61	-1
'داستر' Duster	-1	0.22	9.99	-1.72	-15.52	-6.22
'ایمپراتریز' Imprateriz	1	0.22	0.30	-3.6	0.76	-1
'پریمورا' Primavera	3	2.22	-1.90	-5.61	-0.04	-5.44
'تگزاس‌ارلی‌گرانو' Texas Early Grano	0	1.22	4.46	1.39	3.1	-4.12

References

- Abbasi, Z., Darabi, A., & Emad Shahmansouri, A. (2022). Evaluation of short day onion (*Allium cepa* L.) genotypes for quantity and quality traits. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 55(4), 379-390. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/jhpr.2022.5163.1271>
- Abbasi, Z., Darabi, A., & Bocianowski, J. (2023). Multivariate analysis of short day onion (*Allium cepa* L.) genotypes by canonical variate analysis and mahalanobis distances. *Sustainability*, 15, 3217. <https://doi.org/10.3390/su15043217>
- Abbasi, Z., Darabi, A., & Rostam Forodi, B. (2025). Evaluation of flowering characteristics, bulb yield and quality in commercial cultivars of short-day onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Plant Production Research*, 32(1), 181-197. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2024.22649.3165>
- Acquaah, G. (2012). Principles of Plant Genetics and Breeding. 2nd Ed. Wiley-Blackwell, Oxford.

5. Agricultural Statistics. (2024). Agricultural Statistics, First volume, Field Crops, 2022-2023. Agriculture, Programing and Economic Deputy, Statistics and Information Technology Office. pp. 62.
6. Aminpour, R, Mobli, M., & Mortazav Bak, A. (2012). Study of quantitative and qualitative characteristics of short day onion cultivars in Isfahan. *Journal of Horticultural Science*, 25(4), 404-410. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11608>.
7. Anantha Raddy, M., Vasudev Naik, P., Jaiparakash Narayan, R. P., Pampanna, Y., Govindappa , M. R. E., & Mahantesh, Y. G. (2022). Correlation and path analysis in onion genotypes under Nort-Eastern dry zone of Karnataka. *The Pharma Innnoovation Journal*, 11(8), 2114-2117.
8. Aragie, E., Alemayehu, M., & Abate, A. (2023). Influences of seedling age and variety on the growth and bulb yield of onion in Northwest Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 9132446, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2023/9132446>
9. Aweke, A., & Diriba-Shiferaw, G. (2024). Growth, yield and economic advantage of onion (*Allium cepa* L.) varieties in response to NPSB fertilizer and planting pattern. *International Journal of Horticulture, Agriculture and Food Science (IJHAF)*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.22161/ijhaf.8.1>
10. Benke, A. P., Mahajan , V., & Mokat, D. N. (2025). Unraveling the biochemical diversity in short-day onion genotypes. *Horticulturae*, 11, 484. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050484>
11. Choudhary, G., Bairwa, L. N., Garhwal, O. P., Soni, A. K., Choudhary, M. R., Yadav, D. K., Singh, S. P., Meena, K. K., & Bairwa, S. K. (2022). Growth and yield increments of onion (*Allium cepa* L.) with transplanting dates, cultivars and zinc in semi-arid conditions of Rajasthan. *Biological Forum – An International Journal*, 14(3), 794-797.
12. Cramer, C. (2003). Comparison of open-pollinated and hybrid onion varieties for New Mexico. *HortTecnology*, 11, 119-123. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.11.1.119>
13. Darabi, A. (2009). Study of bulbing physiology in important local populations of Iranian onion in Behbahan and Karaj province. Ph.D. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.
14. Darabi, A. (2016a). Physiology and Production of Onion. Publication of Agricultural Education. Karaj. 276 p.
15. Darabi, A. (2016b). The study of effect of planting date and density on marketable yield and bulb characteristics of an onion population from Behbahan. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(18), 301-314. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.18.301>
16. Darabi, A. (2018). Storability evaluation of short day onion populations and cultivars in non-controlled storage. *Iranin Journal of Horticultural Science*, 49(1), 105-116. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.219739.1118>
17. Darabi, A. (2020). Comparison the qualitative and quantitative characteristics of open-pollinated and hybrid short day onion cultivars in Khuzestan climatic conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(3), 691-703. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJHS.2019.283423.1665>
18. Darabi, A. (2021). Comparative postharvest losses of short day onion (*Allium cepa* L.) cultivars in uncontrolled storage conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3), 1-16. (In Persian with English abstract).
19. Darabi, A. (2024). Bulb storability and thrips tolerance of some onion genotypes in non-controlled storage. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 25(1), 423-440. (In Persian with English abstract).
20. Darabi, A. (2025). The effects of planting patterns and density on yield and monetary benefits in intercropping of onion and lettuce. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(1), 71-87. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jcpp.15.1.22317>
21. Darabi, A., & Ghenevati Moghadam, A. (2020). Study the bulbing date and morphological characters of landrace populations and onion commercial cultivars in Khuzestan region. *Journal of Plant Production*, 27(2), 1-18. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/JOPP.2020.15491.2390>
22. Darabi, A., & Khajehzadeh, Y. (2022). Investigating the quantitative and qualitative characteristics and resistance to thrips of onion genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(3), 101-115. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jcpp.12.3.22315>
23. Darabi, A., & Yaghubi, V. (2022). Study the Effects of planting methods on qualitative and quantitative characteristics and economic benefit of Short-day onion genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(3), 497-510. (In Peraian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807154.1401.23.3.7.9>
24. Falconer, D. S. ,& Mackay, T. F. C. (1996). Introduction to Quantitative Genetics. 4th Ed. Pearson Prentice Hall, Harlow, England, 433 p.
25. Gashua, I. B., Simon, S. Y., Bashir, L. U., & Kadams, A. M. (2013). Inheritance studies of some quantitative traits in onion (*Allium cepa* L.) *International Journal of Biosciences*, 3(4), 135-141. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.4.135-141>

26. Hosmani, R. M., Patil, B. C., & Ajjappalvera, P. S. (2010). Genetic variability and character association studies in onion (*Allium cepa* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Science* 23(2), 302-305.
27. Kearsey, M. J., & Pooni, H. S. (1996). The genetical analysis of quantitative traits. Chapman & Hall, London. <https://doi.org/10.1201/9781003062806>
28. Ko, S. S. (2001). Identification of good storability in short-day onion and its mechanism of resistance to *Aspergillus niger*. Ph.D. Thesis. Natl. Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, Republic of China.
29. Mahajan, V., Amar, J., & Gupta, A. J. (2023). Onion: Breeding and genomics. *Vegetable Science*, 50, 244-260.
30. Mallor, C., Balcells, M., Mallor, F., & Sales, E. (2011). Genetic variation for bulb size, soluble solids content and pungency in the spanish sweet onion variety Fuentes de Ebro. Response to selection for low pungency. *Plant Breeding*, 130(1), 55-59. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01737.x>
31. Manel, N. V., Kale, V. S., & Karande, P. J. (2024). Correlation and path analysis in rabi onion (*Allium cepa* L.) genotypes. *Biological Forum – An International Journal*, 6(3), 56-58.
32. Mansouri, S. M., Mobli, M., Ebadi, R., & Rezai, A. (2008). Polycross effects on agronomical characteristics and yield of nine onion genotypes in Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*, 12(45), 615-625. (In Persian with English abstract).
33. Miruts, F., Beshir, B., & Ejersa, G. (2021). Farmer preferred and financially feasible onion varieties for scaling: evidence from the central rift valley in Ethiopia. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*, 31, 45-56.
34. Mousavizadeh, S. A. (2019). Genetic variability, correlation and path analysis in Iranian onion landraces. *Journal of Horticultural Science*, 33(1), 29-39. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i1.65006>
35. Nguyen, H. T., & Sleper, D. A. (1983). Theory and application of half-sib mating in forage grass breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 64, 187-196. <https://doi.org/10.1007/BF00303763>
36. Petropoulos, S. A., Ntatsi, G., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Long-term storage of onion and the factors that affect its quality: A critical review. *Food Reviews International*, 33(1), 62-83. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1137312>
37. Ratan, D. R., Gowda, V., & Himanshu, P. (2017). Evaluation of different onion (*Allium cepa* L.) genotypes for yield and quality parameters in kharif season under bengaluru condition, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 2393-2398.
38. Shah Murad, S., Khalid Niaz, K., Ali, A., & Aslam, A. (2018). Ginger and onion: New and novel considerations. *Pharmacy & Pharmacology International Journal*, 6, 49-52. <https://doi.org/10.15406/ppij.2018.06.00154>
39. Tabassum, M. I., Muhammad Saleem, M. S., Muhammad Akbar, M. A., Ashraf, M. Y., & Naeem Mahmood, N. M. (2007). Combining ability studies in maize under normal and water stress conditions. *Journal of Agriculture Research*, 45, 261-269.
40. Yoo, K. S., Pike, L. M., Patil, B. S., & Lee, E. J. (2020). Developing sweet onions by recurrent selection in a short-day onion breeding program. *Scientia Horticulturae*, 266, 109269. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109269>



Influence of Ripening Process on Quantitative and Qualitative Fruit Characteristics of Two Lesser-Known Melon (*Cucumis melo* L.) Accessions

E. SoleimanyFard¹, K. Mashayekhi¹, S. J. Mousavizadeh¹, M. Zarei^{2*}

1- Department of Horticulture Science, Faculty of Plant Production, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran

2- Department of Plant Production, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

(* - Corresponding author's Email: mehdizarei@gonbad.ac.ir)

Received: 12 July 2025
Revised: 31 August 2025
Accepted: 14 September 2025
Available Online: 14 September 2025

How to cite this article:

SoleimanyFard, E., Mashayekhi, K., Mousavizadeh, S. J., & Zarei, M. (2026). Influence of ripening process on quantitative and qualitative fruit characteristics of two lesser-known melon (*Cucumis melo* L.) accessions. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 349-366. (In Persian).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94365.1445>

Introduction

Melon (*Cucumis melo* L., Cucurbitaceae family) is an important commercial fruit crop that is extensively grown throughout the world due to its generally very good adaptation to climate and soil. The quality of melon fruits represents a combination of a wide range of physical characteristics (fruit size, shape, texture, firmness, etc.) and chemical compositions (acidity, sugars, vitamins, phenolic compounds, etc.), which are very important for consumer acceptability and marketability. On the other side, high-quality fruit must be achieved in the field because after harvesting time all fruit attributes can only be preserved, not improved. Hence, harvesting time plays an essential role in determining quality and marketability as well as storage life of melon fruits. Moreover, the accurate determination of harvesting time and ripening stages of melon fruit have widespread application to improve its management. Despite the increasing consumption and the cultivation of various melon accessions in different regions of Iran, the physical characteristics and chemical compositions of some fruit melon accessions (particularly lesser-known accessions) during fruit ripening have not yet been evaluated in detail. With this background, the specific objectives of the study were, primarily, to monitor and compare the changes of physicochemical traits, total phenolics and antioxidant activity of two Iranian melon accessions ('Chagherchah' and 'Zamchah') during the ripening process and, secondly, to determine the optimal harvesting time to achieve maximum fruit quality and marketability.

Materials and Methods

In order to evaluate the influence of ripening process on quantitative and qualitative fruit properties of two lesser-known melon accessions ('Chagherchah' and 'Zamchah') have grown in Gonbad Kavous, the experiment was conducted according to a factorial design based on a completely randomized design with 4 replicates (five fruits per replication) during two years (2023-2024). The developing fruits were hand-harvested at five different developing stages from 10 days after fruit set up to fruit ripening (namely, 10, 20, 30, 40, and 50 days after fruit set) during June and July. Data from two years were combined and analyzed by Statistical Analysis System (SAS) software using analysis of variance and differences among means were determined for significance at $P \leq 0.05$ using Tukey's test. Pearson correlation analysis was performed to identify the relationship between the different physical and chemical characteristics.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94365.1445>

Results and Discussion

The findings of this experiment confirmed that there were significant differences among the different harvest times in all measured factors for both accessions. The fresh weight and dimensions of fruit, thickness and percentage of pulp increased throughout fruit ripening and reached to the maximum values at last harvesting stage, while fruit firmness, peel thickness, percentages of peel and seed showed a descending trend in the same period. At full maturation stage, the both melon accessions exhibited the highest total soluble solids and pH, along with the lowest titratable acidity, resulting in the highest maturity index. As the ripening proceeded, levels of ascorbic acid, total phenolics, and antioxidant activity incremented, and reaching the peaks on 30th day after fruit set, but afterward mentioned factors reduced dramatically until the end of the harvesting period. Also, significant differences of all measured parameters were statistically detected among two melon accessions. At full maturation stage, the fruit fresh weight, fruit firmness, total soluble solids, titratable acidity, ascorbic acid, total phenolics, and antioxidant activity were varied from 2438.12 ('Zamcheh') to 2941.17 g ('Chaghercheh'), 14.02 ('Zamcheh') to 20.66 N ('Chaghercheh'), 13.17 ('Chaghercheh') to 15.23 °Brix ('Zamcheh'), 0.59 ('Zamcheh') to 0.79 mg.100 g⁻¹ FW ('Chaghercheh'), 17.80 ('Zamcheh') to 19.47 mg.100 g⁻¹ FW ('Chaghercheh'), 21.34 ('Zamcheh') to 22.48 mg.100 g⁻¹ FW ('Chaghercheh'), and 22.26 ('Zamcheh') to 24.08% ('Chaghercheh'), respectively. Also, the antioxidant activity was positively correlated with total phenolics ($r = 0.936$) and ascorbic acid ($r = 0.869$).

Conclusion

Overall, the data of this study revealed the degree of maturity and the variety are main parameters controlling the quantitative and qualitative characteristics of melon fruit. The both accessions showed identical evolution trends throughout their growth and development. The period between 40 and 50 days after fruit set seemed to be the most active time of fruit ripening in both accessions, which growers can maximize marketability, nutritional value and quality of melon fruit by choosing the ideal harvest. In general, the both accessions are potential source of bioactive compounds and antioxidant activity that can be regarded as an important nutrient for dietary and health of human.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan and Gonbad Kavous University for their cooperation.

Keywords: Antioxidant activity, Growth and development, Physical properties, Total phenolics

تأثیر فرآیند رسیدن بر خصوصیات کمی و کیفی میوه دو توده ملون (*Cucumis melo* L.)

کم تر شناخته شده

الناز سلیمانی فرد^۱ - کامبیز مشایخی^۱ - سید جواد موسوی زاده^۱ - مهدی زارعی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر فرآیند رسیدن بر خصوصیات کمی و کیفی میوه دو توده ملون (*Cucumis melo* L.) کم تر شناخته شده ('چاقرچه' و 'زامچه')، آزمایشی به صورت فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار طی دو سال انجام شد. نتایج نشان داد که بین زمان های مختلف برداشت در تمام صفات اندازه گیری شده در هر دو توده تفاوت معنی داری وجود داشت. در هر دو توده، وزن تر، طول و قطر میوه، ضخامت گوشت و درصد گوشت میوه طی دوره رشد و نمو میوه به طور معنی داری افزایش یافتند، در حالی که سفتی بافت میوه، ضخامت پوست، درصد پوست و درصد بذر روند کاهشی معنی داری از خود نشان دادند. همچنین میزان مواد جامد محلول، درجه اسیدی و شاخص طعم طی دوره رسیدگی میوه در هر دو توده به طور معنی داری افزایش یافتند، در حالی که مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در همین دوره روند کاهشی معنی داری داشت. با پیشرفت رسیدن میوه، سطوح اسید آسکوربیک، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی روند افزایشی از خود نشان دادند، به طوری که طی ۳۰ روز پس از تشکیل میوه به حداکثر میزان خود رسیدند، اما پس از آن تا پایان دوره برداشت به طور معنی داری کاهش یافتند. همچنین بین دو توده ملون مورد بررسی در تمامی صفات اندازه گیری شده تفاوت معنی داری وجود داشت، به طوری که بیشترین وزن تر، طول و قطر میوه، سفتی بافت میوه، ضخامت پوست، ضخامت گوشت، درصد پوست، درصد بذر، اسیدیته قابل تیتراسیون، اسید آسکوربیک، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در 'چاقرچه' ثبت گردید. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی مثبت و بسیار معنی داری با فنل کل ($r = 0.936$) و اسید آسکوربیک ($r = 0.869$) داشت. با توجه به داده ها، درجه رسیدگی و نوع توده، شاخص های اصلی و مهم کنترل کننده خصوصیات کمی و کیفی میوه ملون می باشند. همچنین این نتایج، بینش علمی در مورد زمان برداشت برای به حداکثر رساندن ارزش غذایی و بازارپسندی دو توده ملون ارائه می دهد.

واژه های کلیدی: خصوصیات فیزیکی، رشد و نمو، فعالیت آنتی اکسیدانی، فنل کل

مقدمه

یکی از مهم ترین گونه های تیره کدوئیان *Cucumis melo* L. است. *Cucumis melo* L. گونه ای دیپلوئیدی ($2n = 2x = 24$) با تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی گسترده است که به آن ها ملون^۲ نیز گفته می شود (Grumet et al., 2007). ملون ها به دلیل ارزش اقتصادی و تغذیه ای بالا یکی از میوه های محبوب در جهان است که اغلب در

نواحی نیمه گرمسیری و گرمسیری سراسر جهان کشت می شوند (Wang et al., 2023; Chisari et al., 2008). میوه های ملون حاوی مقادیر قابل توجهی از ویتامین ها، قندهای محلول در آب، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنلی، اسیدهای آمینه، مواد معدنی، فیبرها و سایر مواد مغذی مفید می باشند که برای رژیم غذایی انسان ضروری هستند (Ismail et al., 2010; Koubala et al., 2016; Vishwakarma et al., 2017; Zhang et al., 2020; Manchali et al., 2021; Mallek-Ayadi et al., 2022; Singh et al., 2022). اخیراً، فعالیت های آنتی اکسیدانی، ضد التهابی و ضد میکروبی میوه های ملون نیز گزارش شده است (Ezzat et al., 2019; Wang et al., 2023).

کیفیت میوه های ملون ترکیبی از طیف گسترده ویژگی های فیزیکی (اندازه میوه، شکل، بافت، سفتی و غیره) و ترکیبات شیمیایی

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
(*) نویسنده مسئول: mehdizarei@gonbad.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94365.1445>
1- Melon

مطلوب می‌باشند. با این حال، اکثر مردم ایران و جهان از پتانسیل اقتصادی و تغذیه‌ای این توده‌ها آگاه نمی‌باشند.

با وجود افزایش مصرف و کشت انواع مختلف ملون در مناطق مختلف ایران، هنوز ویژگی‌های فیزیکی و ترکیبات شیمیایی برخی از انواع ملون (به‌ویژه توده‌های کم‌تر شناخته‌شده) طی دوره رشدونمو میوه به‌طور دقیق ارزیابی نشده است. علاوه بر این، تعیین دقیق زمان برداشت و مراحل رسیدن میوه ملون کاربرد گسترده‌ای برای بهبود مدیریت کشت‌وکار (مانند آبیاری، کوددهی، مدیریت آفات و بیماری‌ها و غیره) آن نیز دارد. با این پیشینه، اهداف این تحقیق، ۱) ارزیابی و مقایسه تغییرات خصوصیات کمی و کیفی میوه دو توده ملون کم‌تر شناخته‌شده ایرانی ('زامچه' و 'چاقچه') طی فرآیند رسیدن و ۲) تعیین زمان دقیق برداشت جهت دستیابی به حداکثر کیفیت و بازاریابی میوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق روی توده‌های 'زامچه' و 'چاقچه' در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه گنبدکاووس طی دو سال (۱۴۰۳-۱۴۰۲) اجرا گردید. این مزرعه در شمال شرقی ایران با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۵۲ متر از سطح دریا قرار دارد. بدین منظور، بذور توده‌های مورد نظر در اواسط فروردین‌ماه در سینی‌های پلاستیکی در گلخانه کشت و پس از تشکیل دو الی چهار برگ حقیقی، گیاهچه‌ها به مزرعه منتقل شدند. گیاهچه‌های هر توده در چهار ردیف ۵۰ متری، با فاصله نیم متر روی ردیف و دو متر بین ردیف‌ها کشت شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در **جدول ۱** ارائه شده است. گیاهان تحت آبیاری قطره‌ای و روش‌های استاندارد کشت (مانند هرس، تنک کردن، کوددهی و غیره) جهت تولید میوه تجاری پرورش داده شدند. به‌منظور دستیابی به نمونه‌های همگن، تقریباً ۵۰۰ گل در مرحله گل‌دهی کامل برای هر توده علامت‌گذاری و گرده‌افشانی شدند. میوه‌ها در پنج مرحله مختلف رشدونمو شامل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روز پس از تشکیل میوه^۳ (با فواصل ۱۰ روز یک‌بار) برداشت شدند. در هر زمان نمونه‌برداری (۲۰ میوه)، میوه‌ها براساس اندازه، شکل، رنگ پوست و عدم وجود لکه به‌صورت دستی جمع‌آوری و بلافاصله پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شدند.

(اسیدیت، قندها، ویتامین‌ها، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، ترکیبات فرار و غیره) است که جهت بازاریابی و پذیرش مصرف‌کننده بسیار مهم می‌باشد (Miccolis & Saltveit, 1991; Villanueva et al., 2004; Beaulieu & Lea, 2007; Ghanbarian et al., 2007; Güler et al., 2013; Falah et al., 2014; Pontes et al., 2021; Vanoli et al., 2023). از طرف دیگر، کیفیت بالای میوه باید در مزرعه حاصل شود، چرا که پس از برداشت، خصوصیات میوه بهبود نمی‌یابند، بلکه تنها می‌توانند حفظ شوند. بنابراین، زمان برداشت نقش کلیدی در تعیین کیفیت، بازاریابی و همچنین ماندگاری میوه‌های ملون دارد (Villanueva et al., 2004; Seo et al., 2018; Zulfikar et al., 2020; Vanoli et al., 2023). گزارش‌های مختلف نیز تغییرات قابل توجه صفات فیزیکی و ترکیبات شیمیایی میوه انواع مختلف ملون‌ها را طی فرآیند رسیدن نشان داده‌اند (Miccolis & Saltveit, 1991; Villanueva et al., 2004; Burger et al., 2009; Ghanbarian et al., 2007; Beaulieu & Lea, 2007; Chisari et al., 2008; Koubala et al., 2016; Zulfikar et al., 2020; Pontes et al., 2021; Li et al., 2025). این شاخص‌ها می‌توانند اطلاعات مهمی را در اختیار مصرف‌کننده جهت تشخیص میوه‌ای با کیفیت بالاتر قرار دهند. بنابراین، درک این تغییرات در طول دوره رسیدن میوه جهت بهینه‌سازی زمان برداشت برای دستیابی به میوه‌ای با کیفیت و مورد قبول مصرف‌کننده ضروری است.

ایران یکی از تولیدکنندگان و صادرکنندگان مهم ملون در جهان است که به‌دلیل تنوع و کیفیت بالای توده‌های آن شناخته شده است. با این وجود، برخی از توده‌های ملون با منشأ ایرانی مانند 'زامچه'^۱ و 'چاقچه'^۲ به‌خوبی شناخته نشده‌اند. این توده‌ها به‌طور گسترده در استان گلستان (شهرستان گنبدکاووس و ترکمن صحرا) کشت و درآمد مهمی برای کشاورزان محلی محسوب می‌شوند. میوه 'زامچه' با شکل کروی، سطح صاف و براق، رنگ پوست زرد با نوارهای سبز روشن، و رنگ گوشت زرد مایل به کرم مشخص می‌شود. میوه 'چاقچه' تقریباً بیضوی شکل، سطح ناصاف و کمی زبر، رنگ پوست سبز روشن با نوارهای سبز تیره نامنظم، و رنگ گوشت کرم مایل به سبز کم‌رنگ است (**شکل ۱**). هر دو توده در برابر تنش‌های غیرزیستی (تنش خشکی و شوری) و زیستی (از جمله پژمردگی فوزاریومی و سفیدک پودری) مقاوم بوده و عملکرد نسبتاً بالایی دارند. توده‌های 'زامچه' و 'چاقچه' به‌دلیل میوه‌های تازه، ترد، شیرین، خوش طعم و معطر بسیار محبوب بوده، و از این رو برای تازه‌خوری و فرآوری بسیار

2- 'Zamchek'

3- 'Chagherchek'

4- Day after fruit set (DAFS)



شکل ۱- دو توده ملون مورد مطالعه شامل 'زامچه' (سمت راست) و 'چاقرچه' (سمت چپ)
Figure 1- The two melon accessions studied, namely 'Zamcheh' (right) and 'Chaghercheh' (left)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil on experimental site

درجه اسیدی	هدایت الکتریکی	ماسه	لای	رس
pH	EC (dS.m ⁻¹)	Sand (%)	Lay (%)	Clay (%)
7.2	3.1	8	64	28
پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیترژن کل	کربن آلی	مواد خنثی شونده
Acceptable potassium (ppm)	Acceptable phosphorus (ppm)	Total nitrogen (%)	Organic carbon (%)	Neutralizing agents (%)
356	13.4	0.14	1.44	8.5

وزن تر بیان شدند (AOAC, 2002). درجه اسیدی (pH) با استفاده از pH متر دیجیتال (Model Metrohm 780, Herisau, Switzerland) ثبت گردید. شاخص طعم از تقسیم مواد جامد محلول بر اسیدیته قابل تیتراسیون محاسبه شد.

اسید آسکوربیک، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی

اسید آسکوربیک با استفاده از اسپکتروفتومتر^۷ (Model Cecil CE2041, Cambridge, UK) در طول موج ۵۱۲ نانومتر اندازه گیری و نتایج به صورت میلی گرم (اسید آسکوربیک) در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شدند (Rahman et al., 2007). فنل کل به روش فولین سیوکالتیو^۸ تعیین و نتایج به صورت میلی گرم (اسیدگالیک) در ۱۰۰ گرم وزن تر محاسبه گردید (Singleton et al., 1999). فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH^۹ در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Model Cecil CE2041, Cambridge, UK) اندازه گیری شد (Ismail et al., 2009).

آنالیز آماری

این آزمایش به صورت فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار (پنج میوه در هر تکرار) طی دو سال (۱۴۰۲-۱۴۰۳) اجرا

خصوصیات فیزیکی

وزن تر میوه ها با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه گیری شد. طول و قطر میوه، طول و قطر حفره داخلی بذر، ضخامت پوست و ضخامت گوشت میوه به وسیله کولیس دیجیتال (Model Mitutoyo, Japan) ثبت گردید. سفتی بافت میوه توسط پنترومتر^۵ دستی (با قطر هشت میلی متر) در چهار طرف استوایی هر میوه تعیین و نتایج به صورت نیوتن بیان شدند (Ghanbarian et al., 2007). پس از جداسازی و توزین پوست، گوشت و بذر میوه و نسبت آن به وزن کل هر میوه به صورت درصد پوست، گوشت و بذر میوه تعیین شدند. درصد رطوبت گوشت با استفاده از توزین وزن معینی از گوشت و قرار دادن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت محاسبه گردید (AOAC, 2002).

مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، درجه اسیدی و شاخص طعم

میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفاکتومتر^۶ دیجیتال (Model Erma RHB-32, Tokyo, Japan) تعیین و نتایج براساس درجه بریکس گزارش شدند. مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون با استفاده از اسیدسنج دیجیتال (Model GMK 855, South Korea) اندازه گیری و نتایج به صورت میلی گرم (اسیدسیتریک) در ۱۰۰ گرم

7- Spectrophotometer

8- Folin-Ciocalteu

9- 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)

5- Penetrometer

6- Refractometer

گردید. عامل‌های مورد بررسی شامل زمان برداشت (پنج زمان) و توده (دو توده) بودند. داده‌های آزمایش‌های دو سال برای تجزیه و تحلیل با یکدیگر ترکیب شدند، و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ آنالیز و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین از همبستگی پیرسون برای شناسایی رابطه بین خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی

تغییرات وزن تر، طول، قطر و نسبت طول به قطر میوه دو توده ملون طی مراحل مختلف رشد در جدول ۲ ارائه شده است. داده‌های این تحقیق نشان داد که وزن تر میوه در هر دو توده به‌طور معنی‌داری طی دوره رشدونمو افزایش یافت، به‌طوری‌که در 'زامچه' از ۲۹۷/۴۱ به ۲۴۳۸/۱۲ (گرم) و در 'چاقرچه' از ۴۷۱/۵۱ به ۲۹۴۱/۱۷ (گرم) افزایش یافت. در هر دو توده، طول و قطر میوه طی سه زمان اول برداشت به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند، درحالی‌که پس از آن تا پایان دوره برداشت روند افزایشی غیرمعنی‌داری داشتند. همچنین نسبت طول به قطر میوه در هر دو توده با پیشرفت رشد میوه روند کاهشی از خود نشان داد. بر این اساس، شکل میوه در هر دو توده با پیشرفت رشد میوه از حالت کشیده به گرد تغییر می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات اخیر حاکی از وجود روندهای مشابهی برای

وزن تر، طول، قطر و نسبت طول به قطر میوه در سایر توده‌های ملون طی دوره رشدونمو میوه می‌باشند (Miccolis & Saltveit, 1991; Villanueva et al., 2004; Ghanbarian et al., 2007; Ahmed, 2009; Koubala et al., 2016). این مطالعه مطابقت دارد. افزایش فصلی وزن تر و ابعاد میوه، الگوی معمول رشد میوه است که برای بسیاری از محصولات میوه‌ای دیگر نیز صدق می‌کند. مطابق با داده‌ها، هر دو نوع ملون طی دوره رشدونمو میوه، منحنی‌های رشد سیگموئیدی را از خود نشان دادند، که با گزارش‌های مک‌کالوم و همکاران (McCullum et al., 1988) نیز هم‌خوانی دارد. این افزایش‌ها در وزن تر و ابعاد میوه را می‌توان به تقسیم و طولیل شدن سلول‌ها و همچنین تجمع مواد مغذی در میوه‌ها نسبت داد (Ghanbarian et al., 2007; Koubala et al., 2016). طبق جدول ۲، اختلاف معنی‌داری بین دو توده ملون مورد بررسی از نظر وزن تر، طول، قطر و نسبت طول به قطر میوه وجود داشت. با توجه به نتایج، بیشترین وزن تر، طول، قطر و نسبت طول به قطر میوه در توده 'چاقرچه' مشاهده شد. بنابراین، می‌توان گفت که رابطه نزدیکی بین وزن میوه و ابعاد میوه وجود دارد. پونتس و همکاران (Pontes et al., 2021) اظهار داشتند که تغییرات وزن تر، طول، قطر و نسبت طول به قطر میوه ملون به نوع توده آن بستگی دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

جدول ۲- تأثیر فرآیند رسیدن بر وزن تر میوه، طول میوه، قطر میوه، نسبت طول به قطر میوه و سفتی میوه دو توده ملون

Table 2- Effect of ripening process on fruit fresh weight (FW), fruit length (FL), fruit diameter (FD), fruit length/diameter (FL/D), and fruit firmness (FF) of two melon accessions

توده‌ها Accessions	روزها پس از تشکیل میوه Days after fruit set	وزن تر میوه FW (g)	طول میوه FL (mm)	قطر میوه FD (mm)	طول/قطر میوه FL/D	سفتی میوه FF (N)
'چاقرچه' 'Chagherche'	10	471.51±28.74 ^{h*}	142.59±7.70 ^c	81.56±4.51 ^f	1.79±0.18 ^a	41.71±2.20 ^a
	20	1266.61±32.67 ^f	181.53±8.95 ^b	124.35±7.19 ^{de}	1.46±0.10 ^b	39.72±1.95 ^{ab}
	30	2158.62±44.09 ^d	225.51±5.81 ^a	167.95±5.69 ^{abc}	1.34±0.08 ^b	35.43±3.13 ^{abc}
	40	2698.06±39.55 ^b	238.80±8.15 ^a	181.49±6.82 ^{ab}	1.32±0.13 ^b	29.25±2.55 ^{cd}
	50	2941.17±29.70 ^a	244.36±8.66 ^a	189.78±8.72 ^a	1.28±0.09 ^{bc}	20.66±2.12 ^{ef}
'زامچه' 'Zamcheh'	10	297.41±28.05 ⁱ	95.58±6.31 ^d	76.83±5.46 ^f	1.25±0.15 ^{bc}	35.48±3.04 ^{abc}
	20	902.87±40.28 ^g	139.60±6.84 ^c	113.67±9.29 ^e	1.23±0.11 ^c	33.09±2.10 ^{bc}
	30	1409.54±27.04 ^e	174.25±8.87 ^b	145.18±6.36 ^{cd}	1.20±0.10 ^c	28.44±3.16 ^{cd}
	40	2125.61±30.09 ^d	187.78±6.93 ^b	159.99±8.61 ^{bc}	1.17±0.06 ^{cd}	22.28±2.64 ^{de}
	50	2438.12±22.64 ^c	190.05±8.63 ^b	164.26±6.97 ^{abc}	1.16±0.08 ^{cd}	14.02±2.10 ^f

داده‌های دو سال با یکدیگر ترکیب شدند.

*در هر ستون میانگین‌هایی (۴۰ میوه) که دارای حروف متفاوت می‌باشند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

Data of two years were combined.

*Means of 40 fruits in each column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) based on Tukey test; $\pm$ SD.

۴۱/۷۱ به ۲۰/۶۶ (نیوتن) کاهش یافت. الگوهای مشابهی از روند کاهشی معنی‌دار سفتی بافت میوه طی دوره رسیدگی برای سایر توده‌های ملون نیز گزارش شده است (Miccolis & Saltveit, 1991).

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، سفتی بافت میوه در هر دو توده طی دوره رشدونمو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که در 'زامچه' از ۳۵/۴۸ به ۱۴/۰۲ (نیوتن) و در 'چاقرچه' از

از آن تا پایان دوره برداشت روند افزایشی غیرمعنی‌داری داشتند. در مقابل، نسبت طول به قطر حفره داخلی بذر در هر دو توده با پیشرفت رشد میوه، روند کاهشی از خود نشان داد (جدول ۳). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ضخامت گوشت میوه طی دوره رشدونمو در هر دو توده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که ضخامت پوست روند کاهشی معنی‌داری داشت (جدول ۳). این تغییرات طی مراحل اولیه رشدونمو میوه از ۱۰ تا ۳۰ روز پس از تشکیل میوه قابل توجه بود، درحالی‌که پس از آن روندی نسبتاً تدریجی داشتند. به نظر می‌رسد که این تغییرات بسته به مرحله رسیدن، به‌دلیل افزایش سرعت رشد میوه در زمان‌های فوق‌الذکر باشد. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، بین دو توده مورد بررسی از نظر طول، قطر و نسبت طول به قطر حفره داخلی بذر، ضخامت پوست و ضخامت گوشت میوه اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن‌ها در 'چاقرچه' مشاهده شد. پونتس و همکاران (Pontes et al., 2021) نشان دادند که طول و قطر حفره داخلی بذر و همچنین ضخامت گوشت میوه بین توده‌های ملون به‌طور معنی‌داری متفاوت بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

1991; Ghanbarian et al., 2007; Beaulieu & Lea, 2007; Nishiyama et al., 2008). نیشیاما و همکاران (Chisari et al., 2007) اظهار داشتند که سفتی بافت میوه یکی از شاخص‌های مهم رسیدن و کیفیت میوه است، که نقش مؤثری در انتخاب میوه از جانب مصرف‌کننده و همچنین ارزیابی قابلیت نگهداری آن دارد. بیشتر میوه‌ها با شروع فرآیند رسیدن، به‌دلیل از بین رفتن دیواره سلولی میوه، سفتی خود را از دست می‌دهند. چیساری و همکاران (Chisari et al., 2008) نتیجه گرفتند که نرم شدن میوه ملون طی دوره رشدونمو، در نتیجه عملکرد آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی مانند پلی‌گالاکتوروناز و پکتین متیل‌استراز است. همچنین نتایج نشان داد که بین دو توده ملون مورد بررسی از نظر سفتی بافت میوه تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در 'چاقرچه' ثبت گردید (جدول ۲). داده‌های حاصل از این مطالعه با یافته‌های گزارش‌شده توسط میکولیس و سالتویت (Miccolis & Saltveit, 1991)، قنبریان و همکاران (Ghanbarian et al., 2007) و چیساری و همکاران (Chisari et al., 2008) مطابقت دارد.

طبق نتایج جدول ۳، طول و قطر حفره داخلی بذر در هر دو توده طی سه زمان نمونه‌برداری اولیه (از ۱۰ تا ۳۰ روز پس از تشکیل میوه) به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند، درحالی‌که صفات ذکرشده پس

جدول ۳- تأثیر فرآیند رسیدن بر طول حفره داخلی بذر، قطر حفره داخلی بذر، نسبت طول به قطر حفره داخلی بذر، ضخامت گوشت و ضخامت پوست دو توده ملون

توده‌ها Accessions	روزها پس از تشکیل میوه Days after fruit set	طول حفره داخلی SCL (mm)	قطر حفره داخلی SCT (mm)	طول/قطر SCL/D	ضخامت گوشت PT (mm)	ضخامت پوست PeT (mm)
'چاقرچه' 'Chagherche'	10	118.41±2.08 ^{e*}	59.75±4.10 ^{fg}	1.98±0.08 ^a	20.86±1.92 ^d	2.87±0.04 ^a
	20	138.70±2.92 ^c	82.89±4.88 ^{de}	1.67±0.08 ^{ab}	39.72±1.74 ^c	2.77±0.05 ^{ab}
	30	174.73±2.47 ^b	114.88±5.42 ^{abc}	1.52±0.07 ^{bc}	49.21±1.87 ^b	2.70±0.03 ^b
	40	182.44±2.50 ^{ab}	124.58±6.12 ^{ab}	1.46±0.07 ^{bc}	53.32±1.42 ^{ab}	2.68±0.05 ^b
	50	189.30±2.78 ^a	131.38±5.90 ^a	1.44±0.08 ^{bc}	55.31±1.69 ^a	2.64±0.02 ^{bc}
'زامچه' 'Zamcheh'	10	69.46±2.89 ^g	54.23±4.23 ^g	1.34±0.07 ^{bc}	19.71±1.91 ^d	2.50±0.04 ^{cd}
	20	93.30±3.10 ^f	78.81±4.62 ^{ef}	1.21±0.09 ^c	38.17±1.50 ^c	2.35±0.03 ^{de}
	30	127.76±3.01 ^{de}	94.96±5.34 ^{cde}	1.35±0.08 ^{bc}	48.78±2.09 ^b	2.27±0.04 ^{ef}
	40	133.75±2.69 ^{cd}	103.82±5.87 ^{bcd}	1.30±0.06 ^{bc}	52.72±1.83 ^{ab}	2.21±0.05 ^{ef}
	50	136.46±3.08 ^{cd}	106.17±6.04 ^{bc}	1.28±0.08 ^c	54.05±1.62 ^a	2.18±0.03 ^f

داده‌های دو سال با یکدیگر ترکیب شدند.

*در هر ستون میانگین‌هایی (۴۰ میوه) که دارای حروف متفاوت می‌باشند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

Data of two years were combined.

*Means of 40 fruits in each column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) based on Tukey test; $\pm$ SD.

جدول ۴- تأثیر فرایند رسیدن بر وزن تر گوشت، درصد گوشت، وزن تر پوست، درصد پوست، وزن تر بذر، درصد بذر و درصد رطوبت گوشت دو توده ملون
Table 4- Effect of ripening process on pulp fresh weight (PFW), pulp percentage (PP), peel fresh weight (PeFW), peel percentage (PeP), seed fresh weight (SFW), seed percentage (SP), and pulp moisture (PM) of two melon accessions

توده‌ها Accessions	روزها پس از تشکیل میوه Days after fruit set	وزن تر گوشت PFW (g)	درصد گوشت PP (%)	درصد پوست PeFW (g)	وزن تر پوست PeP (%)	درصد بذر SFW (g)	وزن تر بذر SP (%)	درصد رطوبت گوشت PM (%)
'چاقرجه' 'Chagherche'	10	238.87±26.69 ^{ab}	50.63±1.92 ^g	152.10±27.02 ^{de}	32.43±2.04 ^a	80.53±17.35 ^d	16.92±0.98 ^a	93.75±1.82 ^a
	20	708.49±37.89 ^f	55.92±1.47 ^g	395.21±22.45 ^b	31.23±2.31 ^{ab}	162.90±18.35 ^b	12.83±0.92 ^b	92.11±2.03 ^{abc}
	30	1333.80±35.61 ^d	61.78±2.12 ^{ef}	617.57±29.05 ^a	28.61±2.42 ^{abc}	207.25±12.67 ^a	9.60±0.67 ^{cd}	90.72±1.92 ^{abcd}
	40	1825.98±32.34 ^b	67.67±1.77 ^{cde}	632.95±31.58 ^a	23.46±1.80 ^{abcde}	229.12±20.14 ^a	8.49±0.74 ^{de}	88.18±1.96 ^{cde}
	50	2069.09±38.39 ^a	70.34±2.19 ^{bcd}	635.56±32.65 ^a	21.61±1.92 ^{cde}	236.52±17.25 ^a	8.04±0.69 ^{def}	84.45±1.78 ^e
'زامچه' 'Zamcheh'	10	188.06±31.24 ^g	63.38±2.05 ^{def}	73.78±20.76 ^e	24.43±2.42 ^{abcd}	35.57±14.91 ^e	12.18±0.83 ^{bc}	94.18±2.10 ^a
	20	604.93±33.80 ^f	66.82±1.50 ^{cde}	202.40±39.67 ^d	22.62±2.19 ^{bcde}	95.53±12.38 ^{cd}	10.55±0.75 ^{bcd}	92.78±2.14 ^{ab}
	30	1002.93±42.71 ^e	71.21±2.09 ^{bc}	300.36±26.66 ^c	21.25±2.03 ^{cde}	106.25±15.36 ^{cd}	7.53±0.63 ^{def}	91.19±1.98 ^{abc}
	40	1624.27±28.89 ^e	76.41±2.10 ^{ab}	369.53±24.93 ^{bc}	17.44±1.87 ^{de}	121.80±19.12 ^e	5.73±0.60 ^{ef}	88.54±1.77 ^{bcd}
	50	1932.79±45.68 ^{ab}	79.40±2.02 ^a	379.41±35.09 ^{bc}	15.56±1.66 ^e	125.91±18.98 ^e	5.17±0.58 ^f	86.28±1.64 ^{de}

داده‌های دو سال با یکدیگر ترکیب شدند.

*مقدار هر ستون میانگین‌هایی (۴۰ میوه) که دارای حروف متفاوت می‌باشند براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

Data of two years were combined.

*Means of 40 fruits in each column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) based on Tukey test; $\pm$ SD.

مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، درجه اسیدی و شاخص طعم

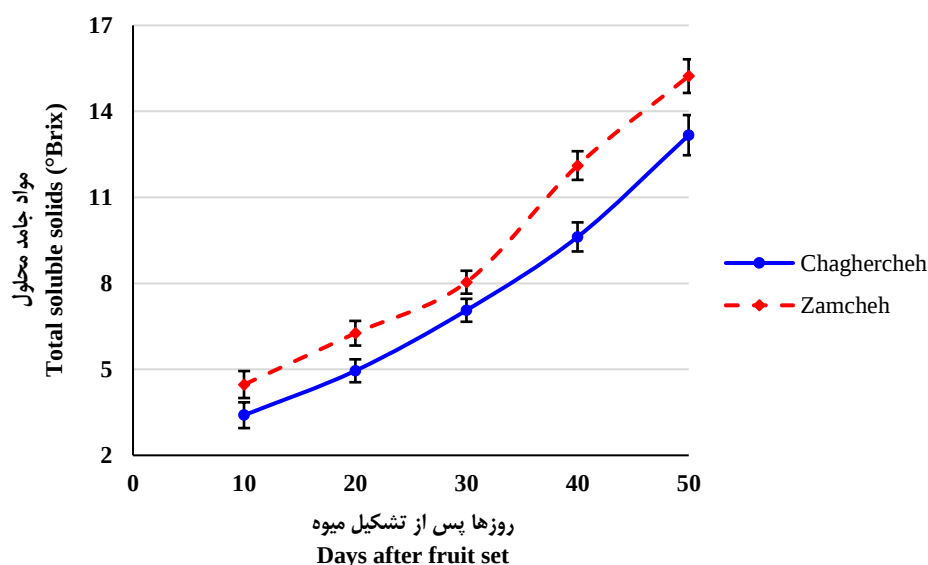
در هر دو توده، افزایش معنی‌داری از نظر مواد جامد محلول طی دوره رشدونمو میوه مشاهده شد، به‌طوری‌که در 'چاق‌رچه' از ۳/۴۰ تا ۱۳/۱۷ (بریکس) و در 'زامچه' از ۴/۴۷ تا ۱۵/۲۳ (بریکس) افزایش یافت (شکل ۲). الگوهای مشابهی از افزایش معنی‌دار مواد جامد محلول طی دوره رسیدگی برای سایر توده‌های ملون نیز گزارش شده است (Miccolis & Saltveit, 1991; Villanueva et al., 2004; Ghanbarian et al., 2007; Beaulieu & Lea, 2007; Chisari et al., 2008; Pontes et al., 2021). این افزایش می‌تواند به‌دلیل هیدرولیز نشاسته به قندهای محلول طی دوره رسیدن میوه باشد.

اسیدیته قابل تیتراسیون در هر دو توده از ۱۰ تا ۳۰ روز پس از تشکیل میوه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، اما پس از آن به‌طور معنی‌داری به سطوح پایین‌تر از مقادیر اولیه خود کاهش یافت (شکل ۳). هم‌چنین هر دو توده، کاهش معنی‌داری در درجه اسیدی از ۱۰ تا ۳۰ روز پس از تشکیل میوه از خود نشان دادند، درحالی‌که پس از آن مقادیر درجه اسیدی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در پایان دوره برداشت به بالاترین میزان خود رسید (شکل ۴). نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات اخیر حاکی از وجود روندهای مشابهی در اسیدیته قابل تیتراسیون و درجه اسیدی طی دوره رشدونمو میوه سایر توده‌های ملون می‌باشد (Villanueva et al., 2004; Ghanbarian et al., 2007; Beaulieu & Lea, 2007; Chisari et al., 2008; Aminah & Anna, 2011; Koubala et al., 2016; Pontes et al., 2021) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. بورگر و همکاران (Burger et al., 2003) گزارش نموده‌اند که تغییرات اسیدیته قابل تیتراسیون و درجه اسیدی طی دوره رسیدن میوه با تغییرات سطوح اسیدهای آلی مرتبط است. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد که اسیدیته قابل تیتراسیون با درجه اسیدی همبستگی معکوس دارد، که با گزارش‌های قنبریان و همکاران (Ghanbarian et al., 2007) و پونتس و همکاران (Pontes et al., 2021) نیز هم‌خوانی دارد. در هر دو توده، شاخص طعم به‌طور معنی‌داری با پیشرفت رشدونمو میوه افزایش یافت (شکل ۵) که با نتایج مطالعات گذشته مطابقت دارد (Villanueva et al., 2004; Ghanbarian et al., 2007). افزایش شاخص طعم طی دوره رسیدن میوه را می‌توان به افزایش میزان مواد جامد محلول و کاهش سطح اسیدیته قابل تیتراسیون نسبت داد (Miller et al., 2020).

در هر دو توده، درصد گوشت میوه طی دوره رشدونمو به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که درصد پوست و بذر میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (جدول ۴). گزارش‌های حاصل از تحقیقات اخیر روی توده‌های مختلف ملون حاکی از روند افزایشی درصد گوشت و هم‌چنین روند کاهشی درصد پوست و بذر طی دوره نمو میوه است (Villanueva et al., 2004; Ghanbarian et al., 2007; Koubala et al., 2016) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. طبق نتایج جدول ۴، تفاوت‌های معنی‌داری بین دو توده ملون از نظر درصد گوشت، پوست و بذر میوه وجود داشت. بیشترین درصد گوشت (میانگین ۷۱/۵۱ درصد) در 'زامچه' ثبت شد، درحالی‌که 'چاق‌رچه' بیشترین درصد پوست (میانگین ۲۷/۴۷ درصد) و بذر (میانگین ۱۱/۱۸ درصد) را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

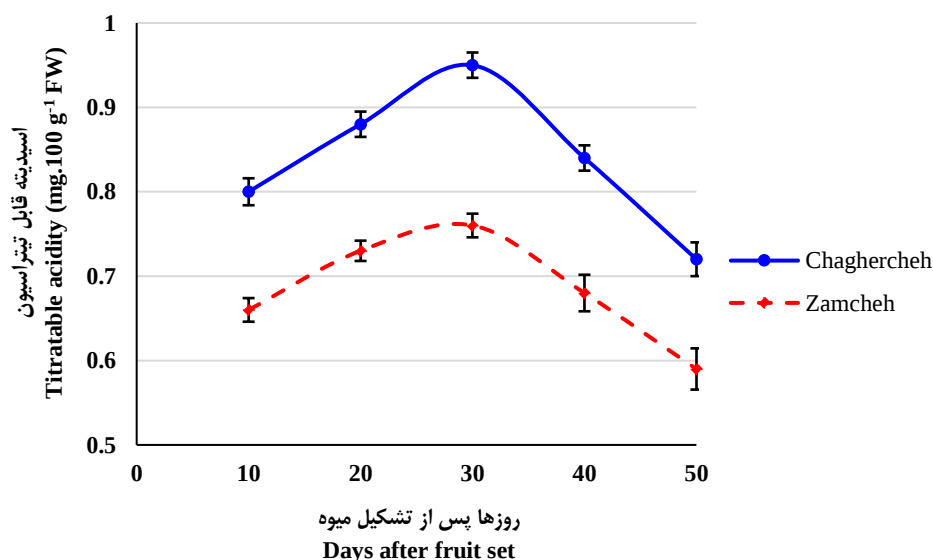
با توجه به داده‌های مشاهده‌شده در این مطالعه، بیش از نیمی از وزن کل میوه در بسیاری از مراحل رشدونمو در هر دو توده مربوط به گوشت میوه بود. به عبارت دیگر، درصد گوشت میوه با درصد پوست و بذر همبستگی معکوس داشت که با نتایج گزارش‌شده توسط ویلانوا و همکاران (Villanueva et al., 2004) و قنبریان و همکاران (Ghanbarian et al., 2007) هم‌خوانی دارد. نتایج این آزمایش تأیید کرد که، درصد رطوبت گوشت طی دوره رشدونمو میوه در هر دو توده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴)، که با گزارش‌های محققان قبلی (Villanueva et al., 2004; Ghanbarian et al., 2007; Koubala et al., 2016) مطابقت دارد. این کاهش درصد رطوبت گوشت طی مراحل رسیدن میوه ممکن است به‌دلیل تجمع مواد مغذی ذخیره‌شده در گوشت میوه باشد. هم‌چنین اختلاف معنی‌داری بین دو توده از نظر درصد رطوبت گوشت میوه مشاهده شد و بالاترین میزان آن در 'زامچه' به دست آمد (جدول ۴). نتایج مشابهی از نظر درصد رطوبت گوشت میوه برای سایر توده‌های ملون نیز گزارش شده است (Villanueva et al., 2004; Ghanbarian et al., 2007).

معمولاً اندازه میوه یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار در انتخاب مصرف‌کننده و مقبولیت در نگاه اول است، ازاین‌رو 'چاق‌رچه' با داشتن میوه‌های درشت‌تر، برای مصرف تازه‌خوری بیشتر مورد توجه می‌باشد. هم‌چنین میوه‌های 'چاق‌رچه' به‌دلیل سفتی بافت میوه و ضخامت پوست بالاتر، برای حمل‌ونقل به بازارهای دوردست نیز مناسب است. در مقابل، میوه‌های 'زامچه' با داشتن درصد گوشت بالاتر و درصد پوست و بذر کمتر، برای فرآوری و صنعت مواد غذایی بسیار مطلوب است. بنابراین، هر دو توده پتانسیل بالایی جهت توسعه کشت‌وکار در آینده را دارند.



شکل ۲- تأثیر فرآیند رسیدن بر مواد جامد محلول دو توده ملون

Figure 2- Effect of ripening process on total soluble solids of two melon accessions (Tukey, $P \leq 0.05$) (bars = $\pm$ SD)

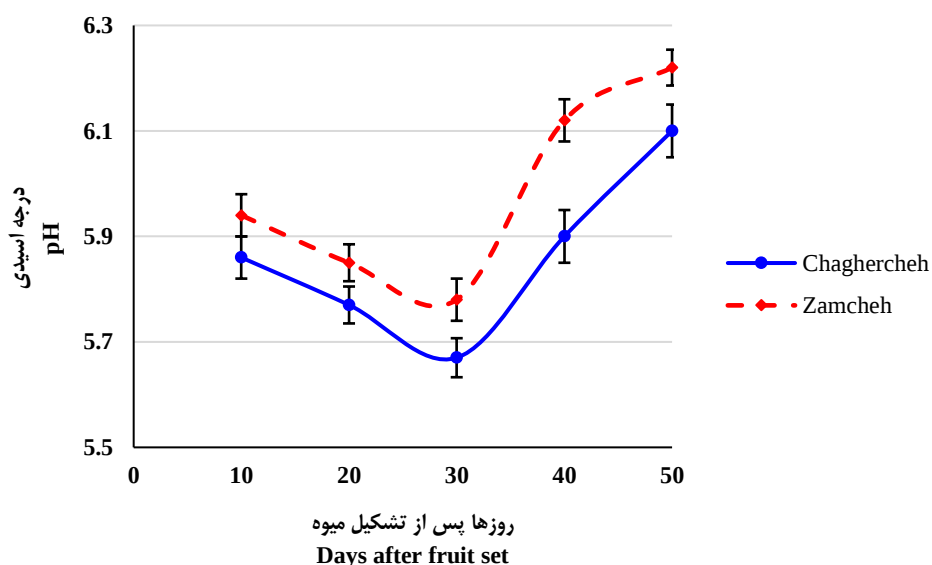


شکل ۳- تأثیر فرآیند رسیدن بر اسیدیته قابل تیتراسیون دو توده ملون

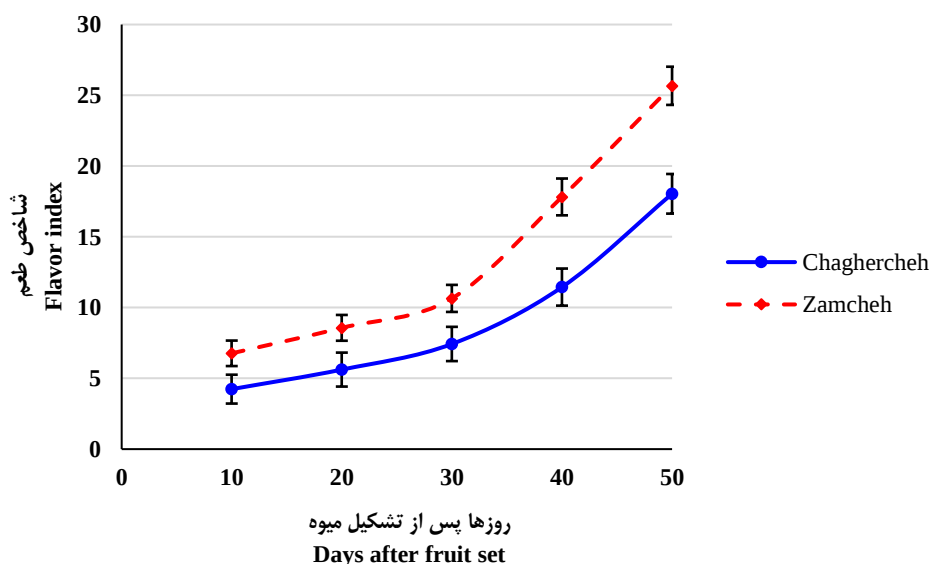
Figure 3- Effect of ripening process on titratable acidity of two melon accessions (Tukey, $P \leq 0.05$) (bars = $\pm$ SD)

Beaulieu & Lea, 2007; Chisari et al., 2008; Tomaz et al., 2009; Kolayli et al., 2010; Aminah & Anna, 2011; Güler et al., 2013; Bianchi et al., 2016; Li et al., 2019; Pontes et al., 2021; Mallek-Ayadi et al., 2022) که با مطالعه حاضر مطابقت دارند. بنابراین، نوع توده در تعیین میزان مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، درجه اسیدی و شاخص طعم میوه ملون نقش مهمی ایفا می‌کند. همچنین با توجه به داده‌ها، هر دو توده مورد بررسی به دلیل داشتن میزان مواد جامد محلول و شاخص طعم بالا و همچنین اسیدیته قابل تیتراسیون و درجه اسیدی پایین، برای مصرف تازه‌خوری و تولید آب‌میوه مناسب می‌باشند.

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه، بین دو توده مورد بررسی از نظر مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، درجه اسیدی و شاخص طعم تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بیشترین میزان مواد جامد محلول، درجه اسیدی و شاخص طعم در 'زامچه' مشاهده شد، درحالی‌که 'چاقرچه' بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون را به خود اختصاص داد (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). تحقیقات اخیر مقادیر متفاوتی از مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، درجه اسیدی و شاخص طعم برای توده‌های مختلف ملون نیز گزارش نموده‌اند (Villanueva et al., 2004, Ghanbarian et al., 2007;)



شکل ۴- تأثیر فرآیند رسیدن بر درجه اسیدی دو توده ملون
Figure 4- Effect of ripening process on pH of two melon accessions (Tukey, $P \leq 0.05$) (bars = $\pm$ SD)

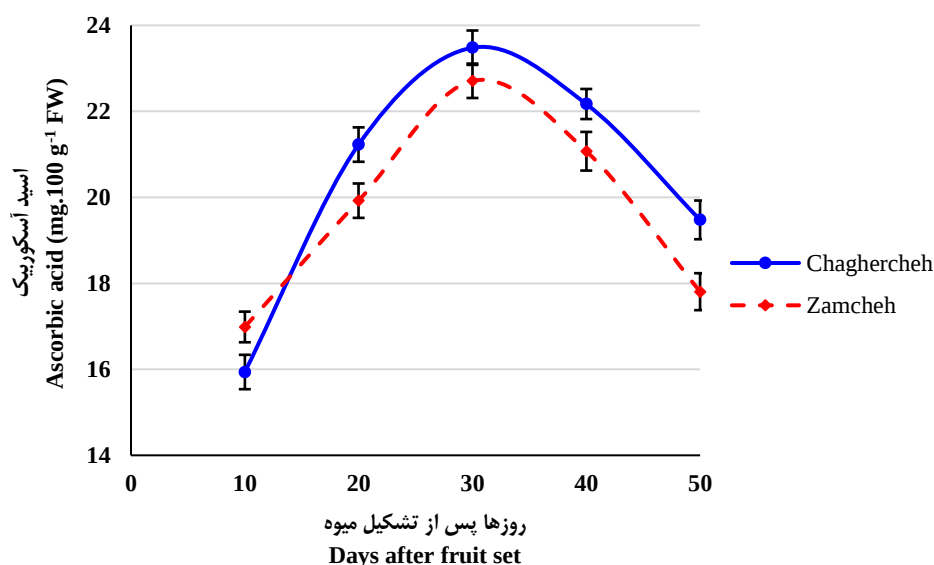


شکل ۵- تأثیر فرآیند رسیدن بر شاخص طعم دو توده ملون
Figure 5- Effect of ripening process on flavor index of two melon accessions (Tukey, $P \leq 0.05$) (bars = $\pm$ SD)

به‌طور معنی‌داری متفاوت بود (شکل ۶). در ۵۰ روز پس از تشکیل میوه، مقدار اسید آسکوربیک در 'چاقرچه' به‌میزان ۱۹/۴۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر و در 'زامچه' به‌میزان ۱۷/۸۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر ثبت گردید. مطالعات قبلی نیز مقادیر متفاوتی از اسید آسکوربیک را برای توده‌های مختلف ملون ارائه نموده‌اند (Fundo et al., 2018; Miller et al., 2020; Mallek-Ayadi et al., 2022; Pontes et al., 2021).

اسید آسکوربیک

طی دوره رشدونمو میوه، تفاوت معنی‌داری از نظر میزان اسید آسکوربیک هر دو توده مشاهده شد. در هر دو توده، مقدار اسید آسکوربیک از ۱۰ تا ۳۰ روز پس از تشکیل میوه به‌سرعت افزایش یافت، اما پس از آن تا پایان دوره برداشت روند نزولی نشان داد (شکل ۶). الگوهای مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Beaulieu & Lea., 2007; Koubala et al., 2016; Zulfikar et al., 2020). هم‌چنین غلظت اسید آسکوربیک در هر دو توده



شکل ۶- تأثیر فرآیند رسیدن بر اسید آسکوربیک دو توده ملون

Figure 6- Effect of ripening process on ascorbic acid of two melon accessions (Tukey, $P \leq 0.05$) (bars = $\pm$ SD)

مشاهده شد که این اختلاف ممکن است به دلیل تفاوت در بیان ژن‌های دخیل در سنتز یا متابولیسم اسید آسکوربیک باشد.

فصل کل

با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده در این تحقیق، میزان فنل کل طی دوره رشدونمو میوه در هر دو توده به‌طور معنی‌داری تغییر نمود. در هر دو توده با پیشرفت رسیدن میوه، غلظت فنل کل افزایش یافت و در ۳۰ روز پس از تشکیل میوه به اوج خود رسید، اما پس از آن تا پایان دوره برداشت به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (شکل ۷). مطالعات اخیر هم‌چنین بیان نموده‌اند که مقدار فنل کل در سایر توده‌های ملون طی دوره رشد میوه به‌طور قابل توجهی متفاوت است (Koubala et al., 2016; Chisari et al., 2008; Aminah & Anna, 2011; Motomura et al., 2018). علاوه بر این، تفاوت معنی‌داری از نظر میزان فنل کل بین دو توده مورد بررسی مشاهده شد، به‌طوری‌که در آخرین مرحله برداشت، میزان فنل کل در 'چاقرچه' (۲۲/۴۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) بیشتر از 'زامچه' (۲۱/۳۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) بود (شکل ۷). در تحقیقات اخیر، مقادیر متفاوتی از فنل کل برای توده‌های مختلف ملون نیز گزارش شده است (Chisari et al., 2008; Ismail et al., 2010; Koubala et al., 2016; Miller et al., 2020; Mallek-Ayadi et al., 2022; Wang et al., 2023). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مهم توده در تعیین میزان فنل کل در میوه ملون می‌باشد.

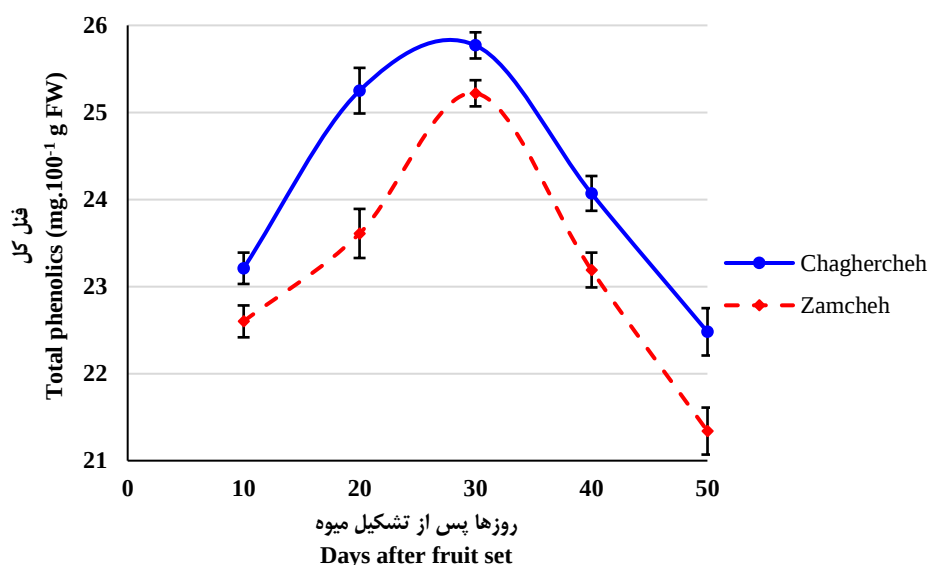
اسید آسکوربیک به دلیل ویژگی آنتی‌اکسیدانی قوی، نقش‌های بیولوژیکی بسیاری را در گیاهان، به‌ویژه به‌عنوان یک جاذب مهم گونه‌های فعال اکسیژن^۱ طی دوره رشدونمو میوه ایفا می‌کند (Zheng et al., 2022; Arabia et al., 2024). گونه‌های فعال اکسیژن در مراحل مختلف رشدونمو میوه از جمله (۱) مرحله آغاز فرآیند رسیدن میوه که با افزایش تنفس میتوکندریایی همراه است، (۲) تبدیل کلروپلاست‌ها به کروموپلاست‌ها که منجر به تغییر رنگ میوه می‌شود، و (۳) مراحل پایانی رسیدن میوه، تولید می‌شوند (Wheeler et al., 2015; Maruta et al., 2016; Munoz & Munne-Bosch, 2018; Decros et al., 2019). از این رو، کاهش محتوای اسید آسکوربیک در مراحل پایانی رسیدن میوه می‌تواند به دلیل افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن باشد که باعث اکسیداسیون اسید آسکوربیک می‌شوند. این اکسیداسیون با افزایش بیان آنزیم آسکوربات پراکسیداز^۲ و تبدیل اسید آسکوربیک به اسید مونودهیدروآسکوربیک^۳ و اسید دهیدروآسکوربیک^۴ حاصل می‌شود (Van Aken, 2021; Zheng et al., 2022; Arabia et al., 2024). در واقع، اسید آسکوربیک از طریق فرآیند اکسیداسیون از تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند. طبق نتایج، تفاوت معنی‌داری از نظر سطح اسید آسکوربیک بین دو توده

10- Reactive Oxygen Species (ROS)

11- Ascorbate Peroxidase

12- Monodehydroascorbic Acid

13- Dehydroascorbic Acid



شکل ۷- تأثیر فرآیند رسیدن بر فنل کل دو توده ملون

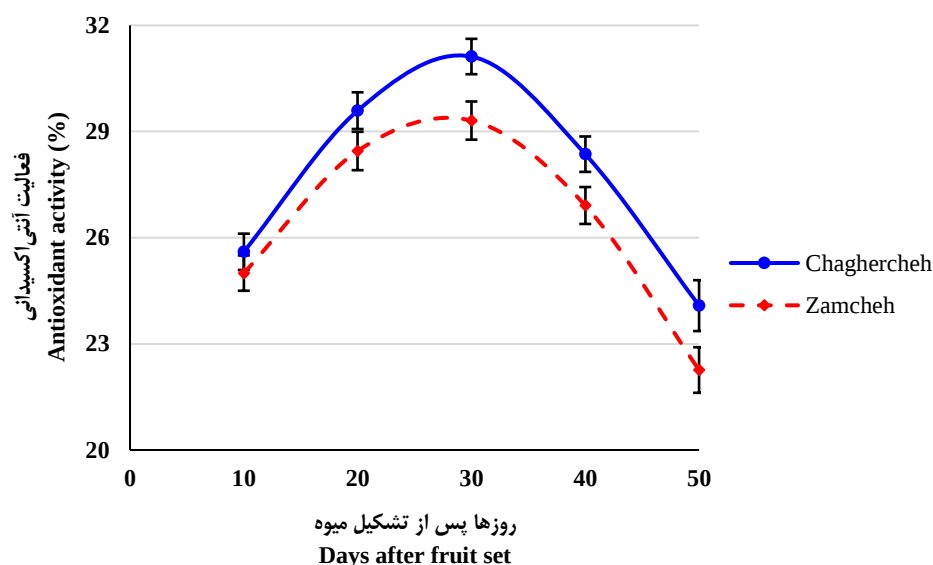
 Figure 7- Effect of ripening process on total phenolics of two melon accessions (Tukey, $P \leq 0.05$) (bars = $\pm$ SD)

فعالیت آنتی اکسیدانی

تغییرات معنی داری از نظر فعالیت آنتی اکسیدانی طی فرآیند رسیدن میوه در هر دو توده ثبت شد، به طوری که فعالیت آنتی اکسیدانی طی سه مرحله اول برداشت (از ۱۰ تا ۳۰ روز پس از تشکیل میوه) روند افزایشی از خود نشان داد، درحالی که پس از آن تا پایان دوره برداشت به طور چشم گیری کاهش یافت (شکل ۸). مطالعات قبلی نشان داده اند که فعالیت آنتی اکسیدانی در طول دوره رشدونمو میوه در سایر توده های ملون نیز به طور قابل توجهی متفاوت بود (Aminah & Anna, 2011; Koubala et al., 2016; Zulfikar et al., 2020). همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، اختلاف معنی داری بین دو توده از نظر فعالیت آنتی اکسیدانی وجود داشت، به طوری که فعالیت آنتی اکسیدانی در 'چاقرچه' بیشتر از 'زامچه' ثبت گردید. چندین محقق نیز مقادیر متفاوتی از فعالیت آنتی اکسیدانی را برای توده های مختلف ملون گزارش نموده اند (Aminah & Anna, 2011; Maietti et al., 2012; Koubala et al., 2016; Motomura et al., 2018; Zulfikar et al., 2020; Miller et al., 2020; Manchali et al., 2021; Wang et al., 2023). بنابراین می توان گفت که، نوع توده نقش مهمی در میزان فعالیت آنتی اکسیدانی میوه ملون ایفا می کند.

ترکیبات فنلی معمولاً در پاسخ های دفاعی به تنش های زیستی و غیرزیستی در گیاهان نقش دارند (Kumar et al., 2023). علاوه بر این، آن ها نقش های حیاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله رشد، باروری، رنگ گیری، عطر و طعم میوه نیز ایفا می کنند (Balasundram et al., 2006). در سال های اخیر، ترکیبات فنلی توجه فرآیندهای را به خود جلب کرده اند، این ترکیبات نه تنها نقش های حیاتی در گیاهان ایفا می کنند، بلکه به دلیل خواص آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد التهابی نیز برای تغذیه و سلامت انسان حیاتی هستند (Dai & Mumper, 2010; Derong et al., 2016; Matsumura et al., 2023). در مراحل اولیه رشد میوه، میزان فنل کل روند صعودی داشت که این افزایش ممکن است به دلیل فعالیت بالای آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز^۱ باشد که منجر به بیوسنتز فنیل پروپانویید^۲ می شود و در نتیجه به تشکیل ترکیبات فنلی کمک می کند. درحالی که غلظت فنل کل با پیشرفت در رشدونمو میوه کاهش یافت که احتمالاً به دلیل کاهش سنتز ترکیبات فنلی یا افزایش بیان آنزیم های دخیل در کاتابولیسم ترکیبات فنلی و تبدیل آن ها به سایر مواد می باشد (Machado et al., 2013; Zhang et al., 2022). علاوه بر دوره رشدونمو میوه، تفاوت در میزان فنل کل به شدت به توده بستگی داشت که این امر ممکن است به تفاوت در بیوسنتز متابولیت های ثانویه فنلی در هر دو توده مربوط باشد (Wang et al., 2023).

14- Phenylalanine Ammonia-Lyase
15- Phenylpropanoid



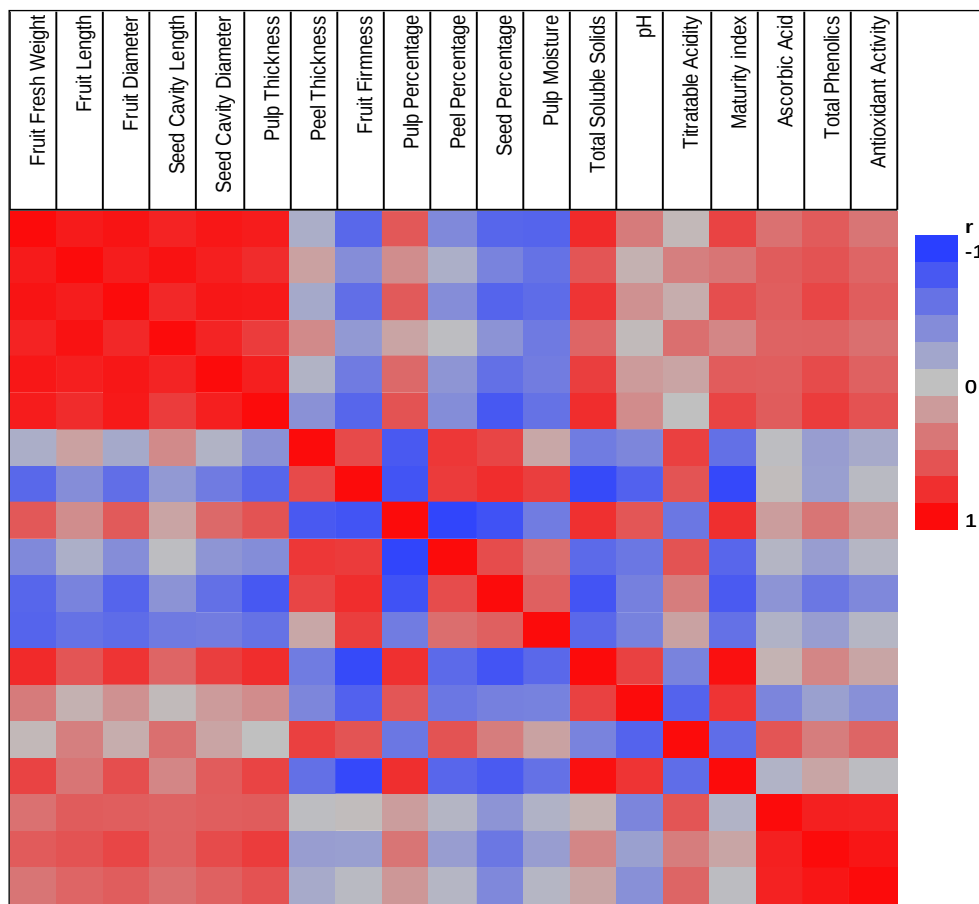
شکل ۸- تأثیر فرآیند رسیدن بر فعالیت آنتی اکسیدانی دو توده ملون
Figure 8- Effect of ripening process on antioxidant activity of two melon accessions (Tukey, $P \leq 0.05$) (bars = $\pm$ SD)

به طور قابل توجهی متفاوت بود که می توان آن را با تفاوت در میزان مواد آنتی اکسیدانی مانند اسید آسکوربیک و ترکیبات فنلی مرتبط دانست.

آنالیز همبستگی

نتایج ضرایب همبستگی پیرسون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو توده ملون در مراحل مختلف رسیدن (طی دو سال) در شکل ۹ ارائه شده است. وزن تر میوه همبستگی مثبت و بسیار معنی داری با طول میوه ($r = 0.909$)، قطر میوه ($r = 0.948$)، طول حفره داخلی بذر ($r = 0.886$)، قطر حفره داخلی بذر ($r = 0.933$) و ضخامت گوشت ($r = 0.902$) داشت. هم چنین شاخص طعم با مواد جامد محلول ($r = 0.967$) و درجه اسیدی ($r = 0.827$) همبستگی مثبت و معنی داری، در حالی که با اسیدیته قابل تیتراسیون ($r = -0.852$) و سفتی بافت میوه ($r = -0.926$) همبستگی منفی و معنی داری از خود نشان داد. نتایج به دست آمده نشان داد که فعالیت آنتی اکسیدانی با فنل کل ($r = 0.936$) و اسید آسکوربیک ($r = 0.869$) همبستگی مثبت و معنی داری داشت. یافته های مشابهی توسط لی و همکاران (Li et al., 2011)، میلر و همکاران (Miller et al., 2020) و وانگ و همکاران (Wang et al., 2023) گزارش شده است.

آنتی اکسیدان ها، چه طبیعی و چه مصنوعی، مهم ترین ترکیباتی هستند که رادیکال های آزاد را از بین می برند (Zehiroglu & Sarikaya, 2019). آنتی اکسیدان های طبیعی مانند ویتامین ها، کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی، اجزای تشکیل دهنده بسیاری از میوه ها و سبزیجات هستند که اغلب به عنوان یک شاخص مهم برای کیفیت در نظر گرفته می شوند (Shebis et al., 2013; Zehiroglu & Sarikaya, 2019; Miller et al., 2020). آنتی اکسیدان ها به دلیل اثرات چشم گیری که در پیشگیری از بیماری های مختلف ناشی از تنش اکسیداتیو مانند سرطان، کم خونی و بیماری های قلبی-عروقی دارند، توجه فزاینده ای را به خود جلب کرده اند (Vaibhav et al., 2011). داده های این تحقیق تأیید کرد که روند تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانی طی دوره رشد و نمو میوه با روند تغییرات در میزان اسید آسکوربیک و فنل کل همخوانی دارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که فعالیت آنتی اکسیدانی با اسید آسکوربیک و فنل کل همبستگی نزدیکی دارد که با گزارش های قبلی نیز مطابقت دارد (Dai & Mumper, 2010; Matsumura et al., 2023). از این رو، بالا بودن فعالیت آنتی اکسیدانی در مراحل اولیه رشد میوه به دلیل افزایش سنتز اسید آسکوربیک و فنل کل می باشد. در حالی که فعالیت آنتی اکسیدانی با پیشرفت در رسیدن میوه روند نزولی از خود نشان داد که احتمالاً مربوط به کاهش میزان اسید آسکوربیک و فنل کل باشد. با توجه به نتایج مشاهده شده در این مطالعه، فعالیت آنتی اکسیدانی بین دو توده



شکل ۹- نقشه حرارتی ضرایب همبستگی پیروسون بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو توده ملون

Figure 9- Heat map of Pearson's correlation coefficients among physical and chemical characteristics of two melon accessions
Gradient color barcodes at the right indicate the minimum value in blue and the maximum in red

نتیجه گیری

جهت صادرات و مصارف داخلی توصیه می شود. همچنین هر دو توده منبع بالقوه ای از ترکیبات زیست فعال و فعالیت آنتی اکسیدانی هستند که می توانند به عنوان یک ماده مغذی مهم برای رژیم غذایی و سلامت انسان در نظر گرفته شوند. در مجموع، مطالعه حاضر مبنای علمی برای ایجاد برنامه های برداشت بهینه، تعیین کیفیت میوه، انتخاب توده های برتر و مطلوب ملون برای کشت تجاری، توسعه صنعت فرآوری میوه و احتمالاً کمک به اصلاحگران ملون برای ایجاد و مدیریت مجموعه های ژرم پلاسما فراهم می کند. با این حال، از آنجایی که انواع توده های مختلف ملون در ایران وجود دارد که به صورت تازه خوری یا فرآوری شده مصرف می شوند، مطالعات بیشتری در مورد خواص فیزیکی و شیمیایی آنها مورد نیاز است.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و دانشگاه گنبد کاووس به خاطر همکاری هایشان اعلام می دارند.

یافته های این پژوهش نشان داد که فرآیند رسیدن به طور معنی داری بر خصوصیات کمی و کیفی میوه ملون تأثیر می گذارد. این تغییرات، از زمان تشکیل میوه تا رسیدن آن، به وضوح مراحل رشد و نمو میوه ملون را نشان می دهد. هر دو توده روند تکاملی نسبتاً یکسانی را در طول دوره رشد و نمو میوه از خود نشان دادند. به نظر می رسد که دوره بین ۴۰ تا ۵۰ روز پس از تشکیل میوه، فعال ترین زمان رسیدن میوه در هر دو توده باشد که پرورش دهندگان می توانند با انتخاب زمان برداشت ایده آل، بازارپسندی، ارزش غذایی و کیفیت میوه ملون را به حداکثر برسانند. همچنین بین دو توده ملون مورد بررسی در تمامی صفات اندازه گیری شده اختلاف معنی داری وجود داشت. از آنجایی که هر دو توده مورد ارزیابی در این تحقیق در یک مکان با استفاده از شیوه های زراعی مشابه کشت شدند، اختلاف در شاخص های مورد بررسی نشان دهنده تفاوت ژنتیکی بالا بین دو توده می باشد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، هر دو توده به دلیل داشتن خصوصیات کمی و کیفی نسبتاً بالا برای کشت و کار آینده

References

- Ahmed, O. K. (2009). Evaluation of objective maturity indices for muskmelon (*Cucumis melo*) cv. "Galia". *Journal of King Abdulaziz University-Science*, 21(2), 317-326.
- Aminah, A., & Anna, P. K. (2011). Influence of ripening stages on physicochemical characteristics and antioxidant properties of bitter melon (*Momordica charantia*). *International Food Research Journal*, 18(3), 895-900.
- AOAC. (2002). Official Methods of Analysis. 17th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Arlington.
- Arabia, A., Munne-Bosch, S., & Munoz, P. (2024). Ascorbic acid as a master redox regulator of fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 207, 112614. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112614>
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
- Beaulieu, J. C., & Lea, J. M. (2007). Quality changes in cantaloupe during growth, maturation, and in stored fresh-cut cubes prepared from fruit harvested at various maturities. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(5), 720-728. <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.5.720>
- Bianchi, T., Guerrero, L., Gratacós-Cubarsí, M., Claret, A., Argyris, J., Gracia-Mas, J. & Hortós, M. (2016). Textural properties of different melon (*Cucumis melo* L.) fruit types: Sensory and physical-chemical evaluation. *Scientia Horticulturae*, 201, 46-56. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.028>
- Burger, Y., Paris, H. S., Cohen, R., Katzir, N., Tadmor, Y., Lewinsohn, E., & Schaffer, A. A. (2009). Genetic diversity of *Cucumis melo*. *Horticultural Reviews*, 35, 165-198. <http://doi.org/10.1002/9780470527238.ch3>
- Burger, Y., Saar, U., Distelfeld, A., Katzir, N., Yeselson, Y., Shen, S., & Schaffer, A. A. (2003). Development of sweet melon (*Cucumis melo*) genotypes combining high sucrose and organic acid content. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(4), 537-540. <http://doi.org/10.21273/JASHS.128.4.0537>
- Chisari, M., Silveira, A. C., Barbagallo, R. N., Spagna, G., & Arte's, F. (2008). Ripening stage influenced the expression of polyphenol oxidase, peroxidase, pectin methylesterase and polygalacturonase in two melon cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(5), 940-946.
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15, 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Decros, G., Baldet, P., Beauvoit, B., Stevens, R., Flandin, A., Colombi'e, S., Gibon, Y., & P'etriacq, P. (2019). Get the balance right: ROS homeostasis and redox signalling in fruit. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1091. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01091>
- Derong, L., Mengshi, X., Jingjing, Z., Zhuohao, L., Baoshan, X., Xindan, L., Maozhu, K., Liangyu, L., Qing, Z., Yaowen, L., Hong, C., Wen, Q., Hejun, W., & Saiyan, C. (2016). An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. *Molecules*, 21, 1374. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>
- Ezzat, S. M., Raslan, M., Salama, M. M., Menze, E. T., & El Hawary, S. S. (2019). In vivo anti-inflammatory activity and UPLC-MS/MS profiling of the peels and pulps of *Cucumis melo* var. *Cantalupensis* and *Cucumis melo* var. *Reticulatus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 237, 245-254. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.03.015>
- Falah, M. A. F., Khuriyati, N., Safitri, R. M., & Revulaningtyas, I. R. (2014). Quality evaluation of fresh and fresh-cut melon (*Cucumis melo* L) fruit in a tropical environment. *International Journal of Agricultural Technology*, 10(5), 1201-1211.
- Fundo, J. F., Miller, F. A., Garcia, E., Santos, J. R., Silva, C. L. M., & Brandão, T. R. S. (2018). Physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity in juice, pulp, peel and seeds of cantaloupe melon. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 292-300. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9640-0>
- Ghanbarian, D., Shojaei, Z. A., Ebrahimi, A., & Yuneji, S. (2007). Physical properties and compositional changes of two cultivars of cantaloupe fruit during various maturity stages. *Iran Agricultural Research*, 25(2), 117-125. <https://doi.org/10.22099/IAR.2008.191>
- Grumet, R., Katzir, N. L., Little, H. A., Portnoy, V., & Burger, Y. (2007). New insights into reproductive development in melon (*Cucumis melo* L.). *The International Journal of Developmental Biology*, 1(2), 253-264.
- Güler, Z., Karaca, F., & Yetisir, H. (2013). Volatile compounds and sensory properties in various melons, which were chosen from different species and different locations, grown in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 16(1), 168-179. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.528110>
- Ismail, H. I., Chan, K. W., Mariod, A. A., & Ismail, M. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (*Cucumis melo*) methanolic extracts. *Food Chemistry*, 119, 643-647. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.023>

21. Ismail, H. K., Mehmet, A., & Hacer, C. (2009). Antioxidant capacity, total phenolics and some chemical properties of semi matured apricot cultivars grown in Malatya, Turkey. *World Applied Sciences Journal*, 6(4), 519-523.
22. Kolayli, S., Kara, M., Tezcan, F., Erim, F. B., Sahin, H., Ulusoy, E., & Aliyazicioglu, R. (2010). Comparative study of chemical and biochemical properties of different melon cultivars: Standard, hybrid, and grafted melons. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 9764-9769. <https://doi.org/10.1021/jf102408y>
23. Koubala, B. B., Bassang'na, G., Yapo, B. M., & Raihanatou, R. (2016). Morphological and biochemical changes during muskmelon (*Cucumis melo* var. Tibish) fruit maturation. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 4(1), 18-28. <https://doi.org/10.11648/j.fns.20160401.14>
24. Kumar, K., Debnath, P., Singh, S., & Kumar, N. (2023). An overview of plant phenolics and their involvement in abiotic stress tolerance. *Stresses*, 3, 570-585.
25. Li, F., Xu, B. T., Xu, X. R., Gan, R. Y., Zhang, Y., Xia, E. Q., & Li, H. B. (2011). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, 129, 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079>
26. Li, J., Ren, D., Lin, T., Yan, W., Su, Z., Zhang, K., Xu, L., Ma, G., & Zhu, P. (2025). Gibberellin-dependent pulp pigmentation in CPPU-induced parthenocarpic melon fruit: Insights from metabolome and transcriptome analysis. *Scientia Horticulturae*, 339, 113851. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113851>
27. Li, M., Han, D., & Liu, W. (2019). Non-destructive measurement of soluble solids content of three melon cultivars using portable visible/near infrared spectroscopy. *Biosystems Engineering*, 188, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.003>
28. Machado, M., Felizardo, C., Fernandes-Silva, A. A., Nunes, F. M., & Barros, A. (2013). Polyphenolic compounds, antioxidant activity and l-phenylalanine ammonia-lyase activity during ripening of olive cv. "Cobrançosa" under different irrigation regimes. *Food Research International*, 51, 412-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.056>
29. Maietti, A., Tedeschi, P., Stagno, C., Bordiga, M., Travaglia, F., Locatelli, M., Arlorio, M., & Brandolini, V. (2012). Analytical traceability of melon (*Cucumis melo* var. reticulatus): Proximate composition, bioactive compounds, and antioxidant capacity in relation to cultivar, plant physiology state, and seasonal variability. *Journal of Food Science*, 77, C646-C652. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02712.x>
30. Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N., Baklouti, S., & Kechaou, N. (2022). Bioactive compounds from *Cucumis melo* L. fruits as potential nutraceutical food ingredients and juice processing using membrane technology. *Food Science and Nutrition*, 10, 2922-2934. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2888>
31. Manchali, S., Murthy, K. N. C., Vishnuvardana, & Patil, B. S. (2021). Nutritional composition and health benefits of various botanical types of melon (*Cucumis melo* L.). *Plants*, 10, 1755. <https://doi.org/10.3390/plants10091755>
32. Maruta, T., Sawa, Y., Shigeoka, S., & Ishikawa, T. (2016). Diversity and evolution of ascorbate peroxidase functions in chloroplasts: more than just a classical antioxidant enzyme. *Plant and Cell Physiology*, 57, 1377-1386. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv203>
33. Matsumura, Y., Kitabatake, M., Kayano, S., & Ito, T. (2023). Dietary phenolic compounds: their health benefits and association with the gut microbiota. *Antioxidants*, 12, 880. <https://doi.org/10.3390/antiox12040880>
34. McCollum, T. G., Huber, D. J., & Cantliffe, D. J. (1988). Soluble sugar accumulation and activity of related enzymes during muskmelon fruit development. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 113(3), 399-403. <https://doi.org/10.21273/JASHS.113.3.399>
35. Miccolis, V., & Saltveit, M. E. J. (1991). Morphological and physiological changes during Fruit growth and maturation of seven melon cultivars. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 116(6), 1025-1029.
36. Miller, F. A., Fundo, J. F., Garcia, E., Santos, J. R., Silva, C. L. M., & Brandao, T. R. S. (2020). Physicochemical and bioactive characterisation of edible and waste parts of "Piel de Sapo" melon. *Horticulturae*, 6(60), 1-10. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040060>
37. Motomura, Y., Sugawara, J., Aikawa, T., Nara, K., & Nishizawa, T. (2018). Changes in free and bound phenolic contents and antioxidant activities of melon flesh dried at different stages of fruit growth. In Proceedings of the 3rd Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education and Extension (APS), Ho Chi Minh City, Vietnam. pp. 505-510, December.
38. Munoz, P., & Munn'e-Bosch, S. (2018). Photo-oxidative stress during leaf, flower and fruit development. *Plant Physiology*, 176, 1004-1014. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01127>
39. Nishiyama, K., Guis, M., Rose, J.K., Kubo, Y., Bennett, K. A., Wangjin, L., Kato, K., Ushijima, K., Nakano, R., Inaba, A., Bouzayen, M., Latche, A., Pech, J. C., & Bennett, A. B. (2007). Ethylene regulation of fruit softening and cell wall disassembly in α larentais melon. *Journal of Experimental Botany*, 58, 1281-1290. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl283>

40. Pontes, F. M., Sarmiento, J. D. A., Melo, N. J. D. A., Medeiros, E. V. D., Morais, P. L. D., & Nunes, G. H. D. S. (2021). Physical and chemical properties, pectinases activity, and cell wall pectin of acidulus, momordica, inodorus and cantalupensis melons with different ripening degree at harvest. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(2), 12062. <https://doi.org/10.15835/nbha49212062>
41. Rahman, M. M., Rahman Khan, M. M., & Hosain, M. M. (2007). Analysis of vitamin C (ascorbic acid) contents in various fruits and vegetables by UV-spectrophotometry. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 42(4), 417-424.
42. Seo, M. H., Tilahun, S., Park, D. S., Melaku, A., & Jeong, C. S. (2018). Effect of ripening conditions on the quality and storability of muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits. *Horticultural Science and Technology*, 36(5), 741-755. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20180073>
43. Shebis, Y., Iluz, D., Kinel-Tahan, Y., Dubinsky, Z., & Yehoshua, Y. (2013). Natural antioxidants: Function and sources. *Food and Nutrition Sciences*, 4(6), 643-649. <https://doi.org/10.4236/fns.2013.46083>
44. Singh, J., Metrani, R., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., Ravishankar, S., Brierley, P., Leskovar, D. L., Turini, T. A., Schultheis, J., Coolong, T., Guan, W., & Patil, B. S. (2022). Profiling carotenoid and sugar contents in unique *Cucumis melo* L. cultigens harvested from different climatic regions of the United States. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, 104306. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104306>
45. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. S. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteau reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [http://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](http://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
46. Tomaz, H. V. D., Aroucha, E. M. M., Nunes, G. H. D., Neto, F. B., & Queiroz, R. F. (2009). Postharvest quality of different yellow melon hybrids stored under refrigeration. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31, 987-994. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000400011>
47. Vaibhav, D. A., Arunkumar, W., Abhijit, M. P., & Arvind, S. (2011). Antioxidants as an immunomodulatory: An expanding research avenue. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 1, 8-10.
48. Van Aken, O. (2021). Mitochondrial redox systems as central hubs in plant metabolism and signaling. *Plant Physiology*, 186, 36-52. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab101>
49. Vanoli, M., Cortellino, G., Picchi, V., Buccheri, M., Grassi, M., Lovat, F., Marinoni, L., Levoni, P., Torricelli, A., & Spinelli, L. (2023). Non-destructive determination of ripening in melon fruit using time-resolved spectroscopy. *Advances in Horticultural Science*, 37(1), 75-82.
50. Villanueva, M. J., Tenorio, M. D., Esteban, M. A., & Mendoza, M. C. (2004). Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. *Food Chemistry*, 87, 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.009>
51. Vishwakarma, V. K., Gupta, J. K., & Upadhyaya, P. K. (2017). Pharmacological importance of *Cucumis melo* L.: An overview. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(3), 8-12.
52. Wang, Y., Gao, H., Guo, Z., Peng, Z., Li, S., Zhu, Z., Grimi, N., & Xiao, J. (2023). Free and bound phenolic profiles and antioxidant activities in melon (*Cucumis melo* L.) pulp: comparative study on six widely consumed varieties planted in Hainan province. *Foods*, 12, 4446. <https://doi.org/10.3390/foods12244446>
53. Wheeler, G., Ishikawa, T., Pornsaksit, V., & Smirnoff, N. (2015). Evolution of alternative biosynthetic pathways for vitamin C following plastid acquisition in photosynthetic eukaryotes. *Elife*, 13(4), e06369. <https://doi.org/10.7554/eLife.06369>
54. Zehiroglu, C., & Sarikaya, S. B. O. (2019). The importance of antioxidants and place in today's scientific and technological studies. *Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 4757-4774. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03952-x>
55. Zhang, H., Pu, J., Tang, Y., Wang, M., Tian, K., Wang, Y., Luo, X., & Deng, Q. (2022). Changes in phenolic compounds and antioxidant activity during development of 'Qiangcuili' and 'Cuihongli' fruit. *Foods*, 11, 3198. <https://doi.org/10.3390/foods11203198>
56. Zhang, X., Bai, Y., Wang, Y., Wang, C., Fu, J., Gao, L., Liu, Y., Feng, J., Swamy, M. K., Yogi, M., Rudramurthy, G. R., Purushotham, B., & Deng, Y. (2020). Anticancer properties of different solvent extracts of *Cucumis melo* L. seeds and whole fruit and their metabolite profiling using HPLC and GC-MS. *BioMed Research International*, 24, 5282949. <https://doi.org/10.1155/2020/5282949>
57. Zheng, X., Gong, M., Zhang, Q., Tan, H., Li, L., Tang, Y., Li, Z., Peng, M., & Deng, W. (2022). Metabolism and regulation of ascorbic acid in fruits. *Plants*, 11(12), 1602. <https://doi.org/10.3390/plants11121602>
58. Zulfikar, M., Widya, F. S., Wibowo, W. A., Daryono, B. S., & Widiyanto, S. (2020). Antioxidant activity of melon fruit (*Cucumis melo* L. 'GMP') ethanolic extract. *The 6th International Conference on Biological Science*, 2260(1), 040029. <https://doi.org/10.1063/5.0015748>

Contents

Utilization Effect of Superabsorbent Nano-Polymer, Grow-More, Iron and Zinc Fertilizers on the Functional Quality and Quantity of Agave (<i>Agave americana</i> cv. <i>Marginata</i>) under Drought Stress	183
M. Yadegari	
Cross Compatibility of Three Oyster Mushroom Species (<i>Pleurotus</i> sp.) and Evaluation of the Characteristics of the Resulting Hybrids	203
M. Taghavi Sharabiani, A. Motallebi-Azar, J. Panahandeh, A. Jahanian	
Comparative Study of Pulse and Permanent Treatments of Nanosilver, Salicylic Acid and Some Essential Oils on <i>Gerbera</i> (<i>Gerbera jamesonii</i> Bol.) ‘Rosalin’ Traits	217
M. S. Motaghayer, M. Azizi, A. Tehranifar	
The Effect of Foliar Application of Salicylic Acid on Induced Salinity Tolerance in Hydroponic Culture of Shallot (<i>Allium hirtifolium</i> Boiss.)	237
N. Farhadi, M. Abdesahian, S. Mottagi	
Improving the Growth and Yield of Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Cv. 240) under the Cover of Supplementary Light and Dissolved Phosphorus and Calcium	251
L. Ajdanian, H. Arouei, M. Azizi	
Morphophysiological and Phytochemical Responses of Basil (<i>Ocimum basilicum</i>) to Light Spectra and Foliar Ascorbic Acid Application	263
S. Tafakhori, V. Akbarpour, M. K. Souri	
Investigating the Effect of Humic Acid and Potassium Silicate Fertilizers on Growth Indicators, Yield and Essential Oil of Cumin (<i>Cuminum cyminum</i> L.)	281
M. H. Aminifard, L. Asdollahi, H. Bayat	
Effect of Seedling Tray Cell Volume and Light Quality on Growth, Photosynthetic Parameters and Quality of Onion (<i>Allium cepa</i> L.) Seedling	297
F. Ghaemizadeh, F. Dashti	
Improving the Resistance to Oxidative Stress and Enhancing Quality and Vase Life of Cut Tuberose (<i>Polianthes tuberosa</i>) Flowers using Antimicrobial and Antioxidant Compounds	317
M. Mohammadi, D. Hashemabadi, B. Kaviani	
Producing and Comparing Qualitative and Quantitative Traits of Half-Sib Families with Parents in Short-Day Onions (<i>Allium cepa</i> L.)	333
A. Darabi, Z. Abbasi	
Influence of Ripening Process on Quantitative and Qualitative Fruit Characteristics of Two Lesser-Known Melon (<i>Cucumis melo</i> L.) Accessions	349
E. SoleimanyFard, K. Mashayekhi, S. J. Mousavizadeh, M. Zarei	

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol. 40

No. 2 Summer 2026

Published by: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Editor in charge: Valizadeh,R.(Ruminant Nutrition) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Tehranifar,A. (Horticultural Sciences) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Arouiee, H.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Abedi, B.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Tehraniifar,A.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Shoor, M.	Horticultural Sciences	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Haghighi, M.	Horticultural Sciences	Prof. Isfahan University of Technology
Hassanzadeh Mobini , S	Phytotron Facility Manager	Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Queen's University 'Kingston, Canada
Khanizadeh,SH.	Research Scientist	Bioproducts and Bioprocesses, Agriculture and Agri-Food Canada
Khazaei, H	Plant Breeding	Plant Breeding, AVRDC - The World Vegetable Center
Davarynejad, GH.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
M. Rahemi	Horticultural Sciences	Shiraz University
Zamani, Z.	Horticultural Sciences	University of Tehran, Iran
Sharifani, M.M.	Horticultural Sciences	Gorgan University of Agricultural Science & Natural Resources
Azizi, M.	Medicinal Plants	Ferdowsi University of Mashhad
Ebadi,A.	Horticultural Sciences	Tehran University
Fallahi,E.	Horticultural Sciences	Department of Plant Sciences, University of Idaho
Farsi, M.	Plant Breeding and Genetics	Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Floriculture and landscaping	Tehran University
Fujii, Y.	Agricultural	Tokyo University of Agriculture and Technology, International Environmental and Agricultural Sciences

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O.BOX: 91775- 1163

Tel: +98-0511- 38804621

Fax: +98-0511- 8787430

E-Mail: Jhorts4@um.ac.ir

Web Site: <https://jhs.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol. 40

No. 2

2026

Journal of Horticultural Science

(Agricultural Science and Technology)



ISSN:2008-4730

Contents

- Utilization Effect of Superabsorbent Nano-Polymer, Grow-More, Iron and Zinc Fertilizers on the Functional Quality and Quantity of Agave (*Agave americana* cv. Marginata) under Drought Stress..... 183**
M. Yadegari
- Cross Compatibility of Three Oyster Mushroom Species (*Pleurotus* sp.) and Evaluation of the Characteristics of the Resulting Hybrids 203**
M. Taghavi Sharabiani, A. Motallebi-Azar, J. Panahandeh, A. Jahanian
- Comparative Study of Pulse and Permanent Treatments of Nanosilver, Salicylic Acid and Some Essential Oils on Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bol.) 'Rosalin' Traits..... 217**
M. S. Motaghayer, M. Azizi, A. Tehranifar
- The Effect of Foliar Application of Salicylic Acid on Induced Salinity Tolerance in Hydroponic Culture of Shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) 237**
N. Farhadi, M. Abdeslahian, S. Mottagi
- Improving the Growth and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Cv. 240) under the Cover of Supplementary Light and Dissolved Phosphorus and Calcium 251**
L. Ajdarian, H. Arouei, M. Azizi
- Morphophysiological and Phytochemical Responses of Basil (*Ocimum basilicum*) to Light Spectra and Foliar Ascorbic Acid Application 263**
S. Tafakhori, V. Akbarpour, M. K. Sour
- Investigating the Effect of Humic Acid and Potassium Silicate Fertilizers on Growth Indicators, Yield and Essential Oil of Cumin (*Cuminum cyminum* L.)..... 281**
M. H. Aminifard, L. Asdollahi, H. Bayat
- Effect of Seedling Tray Cell Volume and Light Quality on Growth, Photosynthetic Parameters and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) Seedling 297**
F. Ghaemizadeh, F. Dashti
- Improving the Resistance to Oxidative Stress and Enhancing Quality and Vase Life of Cut Tuberose (*Polianthes tuberosa*) Flowers using Antimicrobial and Antioxidant Compounds 317**
M. Mohammadi, D. Hashemabadi, B. Kaviani
- Producing and Comparing Qualitative and Quantitative Traits of Half-Sib Families with Parents in Short-Day Onions (*Allium cepa* L.) 333**
A. Darabi, Z. Abbasi
- Influence of Ripening Process on Quantitative and Qualitative Fruit Characteristics of Two Lesser-Known Melon (*Cucumis melo* L.) Accessions 349**
E. SoleimanyFard, K. Mashayekhi, S. J. Mousavizadeh, M. Zarei