



نشریه علمی علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)



جلد ۳۹ شماره ۲

سال ۱۴۰۴

شماره پیاپی ۶۶

شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- تأثیر کاربرد برگ‌ی نفتالین استیک اسید بر خصوصیات کتبی و کیفی میوه سیب (*Malus domestica* L.) رقم زد
دلیش؛ در شرایط آب‌وهوایی زنجان..... ۱۷۵
فاطمه نکونام، افسانه صالحی
- ارزیابی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی توده‌های بومی موسیر ایرانی
۱۸۹.....
محسن محمدرضایی - معظم حسن پور اصل - جمال‌علی الفتی - محمد مهدی قیصری
- تأثیر پلیمر سوپر جاذب تحت تنش خشکی بر خصوصیات کتبی و کیفی گیاه دارویی سنبل الطیب
(*Valeriana officinalis* L.)..... ۲۰۵
مجید عزیزی - سمیه بیکی - زینب صفایی - میثم منصوری
- بررسی الگوی بیان ژن *AsFLC* و ارتباط آن با بیان ژن‌های *AsAPI*، *AsSOC1* و *AsAP2* در مسیر بهارش سیر
(*Allium sativum* L.) گلده، نیمه گلده و غیر گلده ایرانی ۲۱۹
فهیمة قائمی‌زاده - فرشاد دشتی
- بررسی اثر ضدقارچی برخی اسانس‌های گیاهان دارویی بر افزایش عمر انبارمانی و مشخصه‌های کیفی میوه انار
(*Punica granatum* L.)..... ۲۳۷
مینا بهرامی - مهدی جهانی - محمدحسین امینی فرد
- بررسی شاخص‌های فیتوشیمیایی درختان چنار (*Platanus orientalis*) واقع در چهار منطقه (۱، ۳، ۶ و ۱۱)
از خیابان ولیعصر تهران تحت شرایط اقلیمی و آلاینده‌های محیطی متفاوت ۲۵۳
غلامحسین همایونی - محمدرضا راجی - عبدالله احتشام نیا - مصطفی عالی فر
- تأثیر مایه‌زنی قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس گیاه بادرشویه
(*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش سرب و کادمیم..... ۲۷۵
مهدی مرادی - حسین نستری نصرآبادی - محمدناصر مودودی - وحید شمس‌آبادی
- پاسخ فیزیولوژیکی و رشد اولیه گیاهچه سه گیاه معطر بابونه کبیر (*Tanacetum parthenium*)، بومادران
(*Achillea millefolium*) و قبیج (*Zygophyllum eurypterum*) به تنش شوری..... ۲۸۹
مریم ایاسه - محسن کافی - مهدی خان سفید - مجید شکرپور - روح انگیز نادری
- تأثیر تیمار برون‌زاد ملاتونین بر نظام پاداکسندگی غیر آنزیمی، ارزش غذایی و کیفیت بصری میوه‌های بالغ عروسک
پشت پرده (*Physalis peruviana* L.)..... ۳۰۵
لیلا تقی پور - پریسا حیاتی - مهدی حسینی فرمی - پدرام عصار
- ارزیابی تحمل به خشکی در برخی ارقام تجاری بادام (*Prunus dulcis* Mill.) بر روی پایه رویشی GN..... ۳۲۱
سید اصغر موسوی - مریم تاتاری
- تأثیر تاریخ‌های کشت بر گیاه نرگس (*Narcissus tazetta* L.) تحت آبیاری و ریز جانداران مؤثر (EM)..... ۳۳۷
احمد اکرمی - حسن بیات - سعید دقیقی - محمد حسین امینی فرد
- مطالعه خصوصیات میوه و عملکرد تعدادی از ژنوتیپ‌های برتر و ارقام پکان (*Carya illinoensis*) در شرایط
آب‌وهوایی استان گلستان..... ۳۵۳
مینا غزایی یان - داراب حسنی - صدیقه زمانی - محمد ادیبی

نشریه علوم باغبانی

(علوم و صنایع کشاورزی)

26524

21/2015

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

جلد 39 شماره 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: مدیر مسئول:
رضا ولی زاده
سردبیر: علی تهرانی فر
اعضای هیئت تحریریه:

تغذیه نشخوارکنندگان (دانشگاه فردوسی مشهد)	آرویی، حسین
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)	عابدی، بهرام
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)	تهرانی فر، علی
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)	شور، محمود
علوم باغبانی (دانشگاه صنعتی اصفهان)	حقیقی، مریم
بخش بیولوژی (دانشگاه کوپن کانادا)	حسن زاده مبینی، سعید
موسسه کشاورزی و غذا (اوتاوا کانادا)	خانی زاده، شاهرخ
مرکز جهانی اصلاح و تولید بذر سبزی (تایوان)	خرزاعی، حمید
علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز (دانشگاه فردوسی مشهد)	داوری نژاد، غلامحسین
علوم باغبانی (دانشگاه شیراز)	راحی، مجید
علوم باغبانی (دانشگاه تهران)	زمانی، ذبیح اله
علوم باغبانی (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)	شریفانی، محمد مهدی
گیاهان دارویی (دانشگاه فردوسی مشهد)	عزیزی، مجید
علوم باغبانی (دانشگاه تهران)	عبادی، علی
گروه علوم باغبانی (دانشگاه آیداهوی آمریکا)	فلاحی، اسماعیل
ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)	فارسی، محمد
گلکاری و مهندسی فضای سبز (دانشگاه تهران)	کافی، محسن
فیزیولوژی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)	لاهوئی، مهرداد
دانشگاه کشاورزی و فناوری (توکیو ژاپن)	فوجی، یوشی هارو

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

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

پست الکترونیکی: Jhorts4@um.ac.ir

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 175 تأثیر کاربرد برگی نفتالین استیک اسید بر خصوصیات کمی و کیفی میوه سیب (*Malus domestica* L.) رقم زرد دلشز در شرایط آب و هوایی زنجان
فاطمه نکونام، افسانه صالحی
- 189 ارزیابی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی توده‌های بومی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در رویشگاه‌های استان اصفهان
محسن محمدرضایی - معظم حسن پور اصیل - جمالعلی الفتی - محمد مهدی قیصری
- 205 تأثیر پلیمر سوپر جاذب تحت تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی سنبل الطیب (*Valeriana officinalis* L.)
مجید عزیزی - سمیه بیکی - زینب صفایی - میثم منصوری
- 219 بررسی الگوی بیان ژن *AsFLC* و ارتباط آن با بیان ژن‌های *AsSOC1*، *AsAP1* و *AsAP2* در مسیر بهارش سیر (*Allium sativum* L.) گلده، نیمه گلده و غیر گلده ایرانی
فهیمه قائمی‌زاده - فرشاد دشتی
- 237 بررسی اثر ضد قارچی برخی اساس‌های گیاهان دارویی بر افزایش عمر انبارمانی و مشخصه‌های کیفی میوه انار (*Punica granatum* L.)
مینا بهرامی - مهدی جهانی - محمد حسین امینی فرد
- 253 بررسی شاخص‌های فیتوشیمیایی درختان چنار (*Platanus orientalis*) واقع در چهار منطقه (1، 3، 6 و 11) از خیابان ولیعصر تهران تحت شرایط اقلیمی و آلاینده‌های محیطی متفاوت
غلامحسین همایونی - محمد رضا راجی - عبدالله احتشام نیا - مصطفی عالی فر
- 275 تأثیر مایه‌زنی قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس گیاه بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش سرب و کادمیم
مهدی مرادی - حسین نستری نصرآبادی - محمد ناصر مودودی - وحید شمس‌آبادی
- 289 پاسخ فیزیوشیمیایی و رشد اولیه گیاهچه سه گیاه معطر بابونه کبیر (*Tanacetum parthenium*)، بومادران (*Achillea millefolium*) و قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) به تنش شوری
مریم ایاسه - محسن کافی - مهدی خان سفید - مجید شکرپور - روح انگیز نادری
- 305 تأثیر تیمار برون‌زاد ملاتونین بر نظام پادا کسندده غیر آنزیمی، ارزش غذایی و کیفیت بصری میوه‌های بالغ عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.)
لیلا تقی پور - پریسا حیاتی - مهدی حسینی‌فرهی - پدرام عصار
- 321 ارزیابی تحمل به خشکی در برخی ارقام تجاری بادام (*Prunus dulcis* Mill.) بر روی پایه رویشی GN
سید اصغر موسوی - مریم تاتاری
- 337 تأثیر تاریخ‌های کشت بر گیاه نرگس (*Narcissus tazetta* L.) تحت آبیاری و ریز جانداران مؤثر (EM)
احمد اکرمی - حسن بیات - سعید دقیقی - محمد حسین امینی فرد
- 353 مطالعه خصوصیات میوه و عملکرد تعدادی از ژنوتیپ‌های برتر و ارقام پکان (*Carya illinoensis*) در شرایط آب و هوایی استان گلستان
مینا غزایی بان - داراب حسنی - صدیقه زمانی - محمد ادیبی

The Effect of Foliar Application of NAA on Quantitative and Qualitative Properties of 'Red Delicious' Apple (*Malus domestica* L.) Fruit under Climatic Conditions of Zanjan

F. Nekounam^{1*}, A. Salehi¹

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

(*- Corresponding author's Email: Nekounam@znu.ac.ir)

Received: 18 December 2023
Revised: 02 March 2024
Accepted: 13 April 2024
Available Online: 13 April 2024

How to cite this article:

Nekounam, F., & Salehi, A. (2025). The effect of foliar application of NAA on quantitative and qualitative properties of 'Red Delicious' apple (*Malus domestica* L.) fruit under climatic conditions of Zanjan. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 173-186. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85956.1312>

Introduction

Apple (*Malus domestica* L.) is one of the most popular temperate fruits in the world as well as Iran. One of the challenges in managing apple orchards is excessive fruit formation or excessive fruit drop especially in the pre-harvest stage, which affects the performance and marketable product. Therefore, the control fruit set is required to help regular fruit production. Currently, the application of synthetic auxins as plant growth regulators are successfully practiced and mainly used in various countries, including all aspects of modern apple production to control and manipulate vegetative growth and regulation of flowering, reduce immature fruit drop, fruit maturity, firmness, and manage apple harvest. Among the auxin-type growth regulators, NAA is a synthetic auxin analogue that may down-regulate abscission-related genes and reduce the sensitivity of the abscission zone to ethylene. It has long been used to reduce or totally prevent pre-harvest fruit drops, to preserve fruit flesh firmness, and to prevent starch degradation in apples. Therefore, this experiment was conducted to evaluate the effects of foliar application of NAA at different days after full bloom on controlling fruit drop and enhancing the physical and biochemical attributes of 'Red Delicious' apple fruits. The findings presented here may improve understanding of the impact of this plant growth regulator on apple quality and contribute to developing strategies to reduce postharvest losses.

Materials and Methods

In order to study the effect of NAA on controlling fruit drop, fruit yield and quality, a factorial experiment based on randomized complete blocks design with three replication was conducted under Zanjan climatic conditions during 2023. Ten year-old 'Red Delicious' Standard apple trees grafted on M.9 rootstock were used as plant material. Treatments consisted of different concentration of NAA (15, 30, 50 and 75 mg.L⁻¹) sprayed at different days after full bloom (10, 25 and 40 DAFB). The date of full bloom was 04/22/2023. The fruit growth pattern was based on fruit weight and diameter during DAFB. According to fruit growth pattern, fruit were harvested at physiological maturity stage. Fruit number per replicate, fruit weight, diameter and shape index, fruit firmness, total soluble solids content and taste index were measured. Also, fruit drop percentage, fruit yield as well as fruit efficiency was estimated.

Results and Discussion

Advanced knowledge of apple fruit development from fruitlet to maturity is crucial for optimal prediction of year-to-year yields and fruit quality. Apple fruit growth has been defined as sigmoidal increase in fruit diameter



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85956.1312>

or fresh weight. Studying two fruit growth patterns based on fruit weight and diameter data showed that fruit weight is a more appropriate indicator for drawing fruit growth patterns, and according to that, the fruits were harvested at the physiological maturity stage. Foliar spray of NAA during different DAFB showed different significant effects on fruit drop and yield efficiency. The highest rate of fruit drop (95.7 % and 85.9 %) was observed with foliar application of NAA at 10 and 25 DAFB, respectively, but its application at 40 DAFB reduced fruit drop by 46.9% compared to the control, and correspondingly the fruit yield increased by 22% compared to the control treatment. The lowest number and weight of fruits per unit shoot cross sectional area was observed in trees treated with different concentrations of NAA at 10 DAFB. The maximum fruit length (72.3 mm), diameter (75.8 mm), weight (180 g) and fruit volume (240 cm³) were obtained with application of 75 mg L⁻¹ NAA at 10 DAFB. The foliar spray of NAA at 10 DAFB significantly increased the fruit density, flash firmness and TSS. But their use in 25 and 40 DAFB had no significant effect on fruit density and flash firmness, and significantly decreased fruit TSS by 23.9% compared to the control trees. Unlike the TSS, the value of fruit titratable acidity showed a significant increase in all three times of naphthalene acetic acid treatment compared to the control, and as a result, the fruit taste index decreased.

Conclusions

The present study concluded that the positive effects of NAA in controlling fruit drop and improving the yield and fruit quality will be different depending on the time of application and the weather conditions of the region under study. According to the results, the application of NAA at 40 DAFB reduced fruit drop and increased fruit yield efficiency.

Keywords: Days after full bloom; Fruit drop; Fruit growth pattern; Fruit yield; Shape index

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۸۶-۱۷۳

تأثیر کاربرد برگ‌ی نفتالین استیک اسید بر خصوصیات کمی و کیفی میوه سیب (*Malus domestica* L.) رقم 'رد دلشز' در شرایط آب‌وهوایی زنجان

فاطمه نکونام^{۱*}، افسانه صالحی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

چکیده

این پژوهش به منظور مطالعه تأثیر سطوح مختلف نفتالین استیک اسید بر میزان ریزش میوه و شاخص‌های کمی و کیفی میوه سیب (*Malus domestica* L.) رقم 'رد دلشز' در شرایط آب‌وهوایی زنجان، در سال ۱۴۰۲ انجام شد. درختان مورد آزمایش ۱۰ ساله و پیوندی روی پایه‌های رویشی 'M9' بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف نفتالین استیک اسید (صفر، ۱۵، ۳۰، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم در لیتر) و سه زمان محلول‌پاشی (۱۰، ۲۵ و ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) بودند. بررسی دو الگوی رشد میوه براساس داده‌های وزن و قطر میوه نشان داد که وزن میوه، شاخص مناسب‌تری برای رسم الگوی رشد میوه است و طبق آن میوه‌ها در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی برداشت شدند. نتایج نشان داد که سطوح نفتالین استیک اسید تأثیر معنی‌داری بر درصد ریزش میوه و کارایی عملکرد نداشتند، اما زمان محلول‌پاشی اثرات معنی‌دار متفاوتی را نشان داد. بیشترین درصد ریزش میوه (به ترتیب ۹۵/۷ و ۸۵/۹ درصد) با محلول‌پاشی برگ‌ی نفتالین استیک اسید، به ترتیب در ۱۰ و ۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها مشاهده شد، ولی کاربرد آن در ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها باعث کاهش ۴۶/۹ درصد ریزش میوه نسبت به درختان شاهد گردید و متناسب با آن، عملکرد میوه نیز به طور میانگین ۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. کمترین تعداد و وزن میوه در واحد سطح مقطع شاخه با کاربرد غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید در ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها مشاهده شد. بیشترین طول (۷۲/۳ میلی‌متر)، قطر (۷۵/۸ میلی‌متر)، وزن (۱۸۰ گرم) و حجم میوه (۲۴۰ سانتی‌متر مکعب) در درختان محلول‌پاشی شده با ۷۵ میلی گرم بر لیتر نفتالین استیک اسید در ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها حاصل شد. کاربرد نفتالین استیک اسید در زمان ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها باعث افزایش معنی‌دار چگالی میوه، سفتی بافت و محتوای مواد جامد محلول میوه شد، اما کاربرد آن‌ها در زمان‌های ۲۵ و ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها تأثیر معنی‌داری بر چگالی و سفتی بافت میوه نداشتند و باعث کاهش ۲۳/۹ درصد محتوای مواد جامد محلول میوه نسبت به شاهد شد. برخلاف مواد جامد محلول، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در هر سه زمان محلول‌پاشی نفتالین استیک اسید، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد و در نتیجه شاخص طعم میوه کاهش یافت. در کل می‌توان نتیجه گرفت که اثرات مثبت نفتالین استیک اسید در کنترل ریزش میوه و بهبود عملکرد و کیفیت میوه بسته به زمان مصرف و شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه متفاوت خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: الگوی رشد میوه، روزها بعد از شکوفایی کامل گل‌ها، ریزش میوه، شاخص شکل، عملکرد میوه

مقدمه

سیب با نام علمی *Malus domestica* L. یکی از مهم‌ترین میوه‌های دانه‌دار در سراسر جهان محسوب می‌شود (Netsawang, et al., 2023). ایران با سطح زیر کشت ۱۳۱ هزار هکتار و تولید

سالانه ۲/۲ میلیون تن سیب، مقام ششم جهانی در تولید سیب را دارا است، اما با این وجود از نظر عملکرد، با متوسط ۱۷ تن در هکتار جایگاه مناسبی در سطح جهان ندارد (FAOSTAT, 2022) و این بیانگر ضرورت توجه بیشتر به بهبود سیستم‌های مدیریتی باغات در راستای افزایش تولید و عملکرد میوه است. برای افزایش تولید محصول با کیفیت و یکنواخت، باید درصد تشکیل میوه کنترل شود و یکی از چالش‌ها در مدیریت باغات سیب، تشکیل میوه زیاد و یا ریزش زیاد میوه به‌خصوص در مرحله قبل از برداشت است که

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
(Email: Nekounam@znu.ac.ir)
* - نویسنده مسئول:
<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85956.1312>

عملکرد و بازارپسندی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی یک راهکار مناسب برای افزایش عملکرد در محصولات باغبانی است. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نقش مهمی در تشکیل و نمو گل، تشکیل و رشد میوه، انتقال مواد فتوسنتزی به میوه‌های در حال توسعه ایفا می‌کنند (Cortens & Cline, 2020). پیشنهاد شده است که تعادل بین محرک‌ها و بازدارنده‌های رشد گیاه، ریزش و رسیدن میوه را کنترل می‌کند.

اکسین نقش بسیار مهمی در کنترل ریزش میوه دارد. نشان داده شده است که استفاده از اکسین‌های مصنوعی باعث کاهش ریزش میوه قبل از برداشت سبب می‌شود (Cortens & Cline, 2020). در حال حاضر، کاربرد اکسین‌های مصنوعی یا بازدارنده‌های اتیلن به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه با موفقیت انجام می‌شود و عمدتاً در کشورهای مختلف، جنبه‌های تولید مدرن سبب برای کنترل و دستکاری رشد رویشی و تنظیم گل‌دهی، کاهش ریزش میوه نابالغ (ریزش قبل از برداشت)، سفتی و مدیریت برداشت سبب استفاده می‌شود. این ترکیبات همچنین می‌توانند کیفیت و رشد میوه را بهبود بخشند و در عین حال با ایجاد تأخیر در رسیدن، به بهبود عمر پس از برداشت و کیفیت نهایی میوه برای بازارپسندی بهتر کمک کنند (Abdel-Sattar et al., 2023). محلول‌پاشی نفتالین استیک‌اسید (NAA) در مرحله ریزش خرداد ماه میوه، تناوب‌باردهی را کاهش داده و اندازه و کیفیت میوه را در گونه‌های مختلف و ارقام متفاوت درختان میوه بهبود می‌بخشد (Singh & Chahil, 2020). کاربرد NAA در مرحله ریزش خرداد در نارنگی 'ماندارین' ارقام 'کینو' و 'ویلکینگ'، رشد میوه، درصد تنک‌کنندگی میوه، قند میوه، وزن، حجم، قطر و طول میوه را افزایش داد. این تنک‌کننده شیمیایی به‌طور معنی‌داری اندازه میوه را با افزایش نسبت برگ به میوه بهبود داد (Singh & Chahil, 2020). کاربرد ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر NAA، مقدار محصول را در نارنگی 'ماندارین' رقم 'کینو' ناشی از تنک میوه‌چه‌ها کاهش داد، اما متعاقب آن رشد رویشی، قدرت درخت، اندازه و کیفیت میوه را افزایش داد (Safaei-Nejad et al., 2015). کاربرد برگی ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر NAA در اواسط خرداد ماه، باعث کاهش ۹۰ درصدی ریزش جوانه‌های گل و کاهش سال‌آوری در پسته شد (Kumar et al., 2021). حاجی‌لو و همکاران (Hajilou et al., 2016) گزارش نمودند که محلول‌پاشی برگی نفتالین استیک‌اسید در دو رقم هلو در غلظت‌های ۲۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر حدود ۱۴ روز بعد از شکوفایی گل‌ها تأثیر معنی‌داری بر تنک میوه و بهبود خصوصیات کیفی میوه داشت.

یکی از نقاط ضعف NAA، اثر منفی آن بر رشد میوه است، زیرا کاربرد آن ممکن است باعث افزایش اندازه میوه نشود، حتی اگر

واکنش تنک شدن رخ داده و بار محصول به‌طور قابل توجهی کاهش یابد (Stopar & Lokar, 2003). برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که غلظت‌های بالاتر یا کاربردهای دیر هنگام NAA باعث کاهش اندازه میوه می‌شود (Bound, 2001). استوپار و همکاران (Stopar et al., 2007) نشان دادند کاربرد نفتالین استیک‌اسید در سیب گلاباً با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله ۱۰ میلی‌متری قطر میوه باعث افزایش اندازه میوه شد بدون اینکه تأثیر چشمگیری بر تنک میوه‌ها داشته باشد.

تنظیم‌کننده رشد نفتالین‌استیک‌اسید مانند سایر تنظیم‌کننده‌های رشد بسته به خصوصیات ژنتیکی گونه و رقم، شرایط آب‌وهوایی منطقه و فصل، وضعیت نیتروژن گیاه و دیگر عوامل در غلظت‌ها و زمان‌های خاص می‌تواند بهترین تأثیر را داشته باشد و در صورت نامناسب بودن غلظت کاربردی ممکن است اثرات نامطلوبی بر شرایط رشدی، باردهی درخت و خصوصیات کمی و کیفی میوه داشته باشد (Cortens & Cline, 2020). بنابراین لازم است بسته به اطلاعات موجود در مورد غلظت و زمان کاربرد این تنظیم‌کننده رشد گیاهی در هر گونه گیاهی، بهترین غلظت و زمان کاربرد در شرایط محیطی، گونه و رقم مورد نظر تعیین شود. بدین منظور، این پژوهش با هدف بررسی اثرات محلول‌پاشی سطوح مختلف نفتالین استیک‌اسید در زمان‌های مختلف رشد میوه بر عملکرد درخت، اندازه و کیفیت میوه سبب رقم ردلشیز در شرایط آب‌وهوایی زنجان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ در باغ سبب دانشگاه زنجان روی رقم تجاری سبب 'رد دلشیز' انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و یک درخت در هر تکرار به اجرا درآمد. عامل اول شامل غلظت‌های مختلف نفتالین استیک‌اسید (شرکت مرک آلمان) در پنج سطح (صفر، ۱۵، ۳۰، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر) و عامل دوم زمان محلول‌پاشی در سه سطح (۱۰، ۲۵ و ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) بود. زمان شکوفایی کامل گل‌ها دوم اردیبهشت ماه بود. باغ سبب مورد مطالعه در منطقه‌ای با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه غربی و با ارتفاع ۱۶۵۹/۴ متر از سطح دریا قرار دارد. داده‌های هواشناسی سال جاری ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی دانشگاه زنجان و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. درختان مورد آزمایش ۱۰ ساله پیوندی روی پایه‌های رویشی 'M9' با فاصله کشت ۴×۳ بودند. مدیریت باغ از نظر آبیاری، نحوه کوددهی و هرس برای تمامی درختان یکسان بود.

جدول ۱- میانگین مشخصه‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک دانشگاه زنجان در دوره رشد (۱۴۰۲)

Table 1- Average climatic parameters of Zanjan Synoptic station during the growth season (2023)

دمای حداکثر سالیانه Maximum temperature (°C)	میانگین دمای حداقل سالیانه Minimum temperature (°C)	میانگین دمای سالیانه Temperature (°C)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	بارندگی Rainfall (mm)
20.5	5.9	13.2	50.8	220.3

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties on the site of experimental field.

بافت Texture	ظرفیت زراعی FC (%)	مواد آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کلسیم کربنات CaCO ₃ (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	نیترژن N (%)
لوم رس و ماسه‌دار Sandy clay loam	13	1.14	1.32	8.07	27.5	15	145	0.07

صفات مورد ارزیابی

درصد ریزش میوه و کارایی عملکرد

برای تعیین درصد ریزش میوه‌ها، از هر واحد آزمایشی سه شاخه با قطر، اندازه و قدرت رشدی یکسان انتخاب شد و تعداد میوه‌ها در هر شاخه قبل از محلول‌پاشی، سه هفته بعد از آن و در زمان برداشت شمارش شدند و با استفاده از معادله (۱) درصد ریزش میوه محاسبه شد. همچنین کارایی عملکرد براساس شاخص‌های وزن میوه و تعداد میوه در سطح مقطع شاخه (معادله ۲) محاسبه شدند.

$$(۱) \quad \text{درصد ریزش میوه} = \frac{\text{تعداد میوه ریزش یافته}}{\text{تعداد میوه شمارش شده}} \times ۱۰۰$$

$$(۲) \quad \text{کارایی عملکرد} = \frac{\text{وزن میوه یا تعداد میوه در شاخه}}{\text{سطح مقطع شاخه}}$$

طول، قطر و شکل میوه

میوه‌ها براساس منحنی رشد میوه در مرحله رسیدن فیزیولوژیکی میوه (۱۳۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) برداشت شدند. برای رسم منحنی رشد میوه، سه درخت سیب رقم رد دلشیز با ویژگی‌های ریخت‌شناختی مشابه درختان تیمار شده انتخاب شد. از زمان تشکیل میوه، ۱۲ میوه از چهار جهت جغرافیایی و از یک ارتفاع مشخص و از شاه‌گل با فاصله هفت روز در طول فصل رشد برداشت شده و با اندازه‌گیری وزن و قطر میوه‌ها منحنی رشد میوه رسم گردید (Zadravec et al., 2014) (شکل ۱). ۱۰ میوه از هر واحد آزمایشی به‌صورت تصادفی برداشت شد و سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری صفات کمی و کیفی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. طول و قطر میوه‌ها با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر (۱۰ میوه از هر تکرار) اندازه‌گیری شد. شاخص شکل میوه نیز

براساس معادله (۳)، به‌صورت نسبت طول میوه بر قطر میوه محاسبه شد:

$$(۳) \quad \text{شاخص شکل میوه} = \frac{\text{طول میوه}}{\text{قطر میوه}}$$

وزن، حجم، چگالی و سفتی بافت میوه

وزن میوه با استفاده از ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ و حجم میوه به‌روش غوطه‌ورسازی در آب (۱۰ میوه در هر تکرار) تعیین شد. همچنین با استفاده از این دو صفت و طبق معادله (۵) چگالی میوه‌ها نیز محاسبه شد.

$$(۴) \quad \text{چگالی میوه} = \frac{\text{جرم میوه}}{\text{حجم میوه}}$$

آزمون سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج با پروب هشت میلی‌متری، بر روی پنج میوه در هر تکرار از دو سمت مقابل هم و بعد از برداشتن پوست انجام گرفت. سفتی بافت براساس بیشترین نیروی لازم برای نفوذ میله (تا محل مشخص‌شده) در میوه بر حسب نیوتن بیان شد.

مواد جامد محلول کل (TSS)، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و شاخص طعم میوه

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون میوه از روش تیتراسیون با سدیم هیدروکسید (سود) ۰/۱ نرمال استفاده شد و با استفاده از معادله (۵)، اسیدیته قابل تیتراسیون محاسبه شد. مواد جامد محلول کل میوه توسط دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی اندازه‌گیری و به‌صورت درجه بریکس بیان شد. در نهایت شاخص طعم میوه با استفاده از معادله (۶) محاسبه شد.

$$(۵) \quad \text{اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)} = \frac{\text{نرمالیت سود} \times \text{آلی و آلان اسید مالیک} \times \text{حجم سود مصرفی}}{(\text{حجم آب میوه خالص}) \times 1000 \times 100}$$

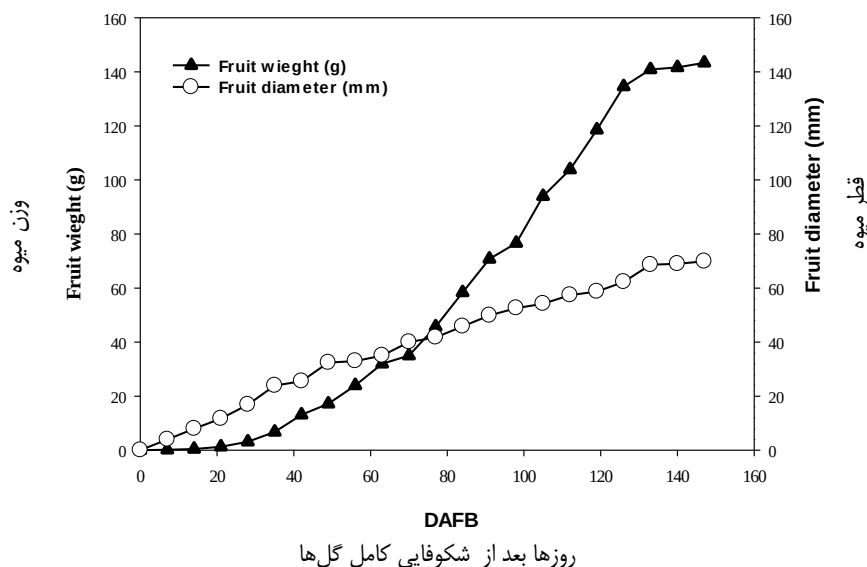
$$(۶) \quad \text{میزان اسیدینه قابل تیتراسیون میوه} = \frac{\text{مجموع مواد جامد محلول}}{\text{شاخص طعم میوه}}$$

در نهایت، آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.3، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Sigma plot 12.0 انجام گرفت.

نتایج و بحث

الگوی رشد میوه

براساس نتایج حاصل از برازش الگوی رشد میوه با استفاده از داده‌های هفتگی وزن و قطر میوه (شکل ۱) الگوی سیگموئید ساده رشد میوه سیب رقم رد دلشز به خوبی قابل مشاهده است. منحنی سیگموئید ساده از دو مرحله اصلی رشدی تشکیل شده است که در نمودار حاصل از تغییرات وزن میوه به خوبی قابل مشاهده است. مرحله اول رشد میوه که تا حدود ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها است،



شکل ۱- الگوی رشد میوه سیب رقم رد دلشز براساس وزن و قطر میوه در طول روزهای بعد از شکوفایی کامل گل‌ها

Figure 1- The fruit growth pattern of apple cv. 'Red delicious' based on the fruit weight and diameter over days after full bloom (DAFB)

اسید، به ترتیب در ۱۰ و ۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها به دست آمد. به عبارتی، کاربرد نفتالین استیک اسید در مرحله اول (۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) باعث افزایش ۱۸/۹ درصدی و در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) باعث افزایش ۹/۳ درصدی ریزش میوه نسبت به شاهد شد. ولی کاربرد آن، ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها باعث کاهش ۴۶/۹ درصدی ریزش میوه نسبت به شاهد شد (شکل ۲). نتایج به دست آمده در این پژوهش با یافته‌های سایر محققان در این زمینه هم‌خوانی دارد (Safaei-Nejad et al.,

تأثیر نفتالین استیک اسید بر درصد ریزش میوه و کارایی عملکرد

براساس نتایج حاصل (شکل ۲)، محلول‌پاشی برگ‌ی غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید تأثیر معنی‌داری بر درصد ریزش میوه و کارایی عملکرد نداشتند، ولی کاربرد نفتالین استیک اسید در زمان‌های مختلف بعد از شکوفایی کامل گل‌ها، اثرات معنی‌دار متفاوتی را نشان دادند. براساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین درصد ریزش میوه (۹۵/۷ درصد و ۸۵/۹ درصد) با محلول‌پاشی برگ‌ی نفتالین استیک

کربوهیدرات کافی نیز در گیاه وجود ندارد، اما بعد از پایان تقسیم سلولی و در مراحل نهایی رشد میوه، ماده‌سازی بیشتر شده و عرضه کافی مواد غذایی به میوه‌ها صورت می‌گیرد و تأثیر تنک‌کننده‌ها کمتر می‌شود (Robinson et al., 2013).

متناسب با تغییرات ریزش میوه، کارایی عملکرد نیز تحت تأثیر قرار گرفت. کمترین تعداد و وزن میوه در واحد سطح مقطع شاخه با اعمال غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید در ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها حاصل شد (کاهش متوسط ۸۷/۵ درصدی عملکرد نسبت به شاهد) و بعد از آن کاهش ۵۹/۶ درصدی عملکرد با محلول پاشی غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد مذکور، ۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها مشاهده شد. همان‌طور که بیان شد، کاربرد نفتالین استیک اسید، ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها باعث کاهش معنی‌دار ریزش میوه شد و متناسب با آن عملکرد میوه نیز به‌طور میانگین ۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت، اما بین غلظت‌های مختلف و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲-B-C).

تأثیر نفتالین استیک اسید بر طول، قطر و شاخص شکل میوه

براساس نتایج حاصل (شکل ۳)، محلول پاشی غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید در زمان‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر طول و قطر میوه داشت. با توجه به نتایج در زمان محلول پاشی ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها، با افزایش غلظت نفتالین استیک اسید، طول و قطر میوه‌ها نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که میوه‌های تیمار شده با غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نفتالین استیک اسید بیشترین طول (۷۲/۳ میلی‌متر) و قطر (۷۵/۸ میلی‌متر) را در مقایسه با شاهد (۵۹/۸ میلی‌متر طول و ۶۳/۴ میلی‌متر قطر) داشتند. با محلول پاشی در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) طول و قطر میوه افزایش یافت، اما بین غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد برگی ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نفتالین استیک اسید در ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها تأثیر معنی‌داری بر افزایش طول (به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۳/۸ درصد نسبت به شاهد) و قطر میوه (به ترتیب ۹/۶ و ۷/۸ درصد نسبت به شاهد) داشت، اما کاربرد نفتالین استیک اسید در غلظت‌های بالاتر (۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) تأثیر مثبتی بر طول و قطر میوه نشان نداد (شکل ۳-A و B).

کاربرد غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید تأثیر معنی‌داری بر شکل میوه نشان نداشت، اما اثر زمان محلول پاشی بر شاخص شکل میوه معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که کاربرد برگی نفتالین استیک اسید در مرحله ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل باعث کاهش شاخص شکل میوه و پخ شدن نسبی

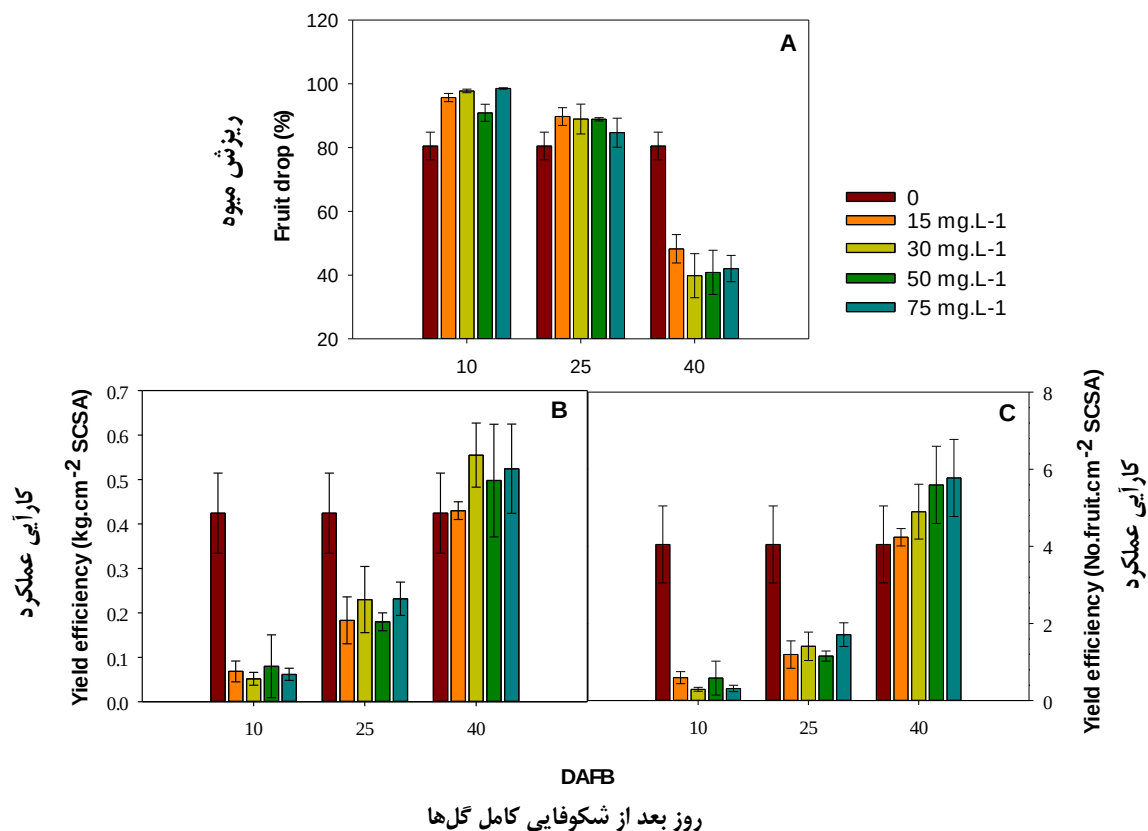
2015; Hajilou et al., 2016; Netsawang et al., 2023; Singh & Chahil, 2020) که گزارش کردند کاربرد تنک‌کننده نفتالین استیک اسید در مراحل اولیه بعد از تشکیل میوه، درصد ریزش میوه را افزایش داد و با کاربرد تنظیم‌کننده رشد در غلظت بالا، درصد ریزش میوه نیز افزایش یافت.

روبینسون و همکاران (Robinson et al., 2019) با مطالعه اثر زمان تنک شیمیایی بر درصد ریزش میوه در سیب گالا به مدت هشت سال بیان داشتند که میوه‌چه‌های سیب در مرحله ریزش گلبرگ حساسیت بسیار کمی به تنک‌کننده‌ها داشتند، میوه‌چه‌های با قطر ۸ الی ۱۲ میلی‌متر بیشترین حساسیت را به تنک‌کننده‌ها داشته و این حساسیت به‌مرور با افزایش اندازه میوه کاهش یافت، به‌طوری‌که با رسیدن میوه به قطر ۲۵ میلی‌متر این حساسیت به‌طور کامل از بین رفت. این مشاهدات با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد، به‌طوری‌که براساس منحنی رشد میوه (شکل ۱)، میوه‌چه‌ها در مرحله اول محلول پاشی (۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) با قطر ۸ الی ۱۰ میلی‌متر بیشترین حساسیت را به تنک‌کننده‌ها داشتند و در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) محلول پاشی بر روی میوه‌های با قطر ۱۴ تا ۱۶ میلی‌متر، اثر تنک‌کنندگی نسبت به مرحله اول کاهش یافت، اما باز هم درصد ریزش معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند؛ در مرحله سوم محلول پاشی (۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) قطر میوه‌ها بین ۲۴ تا ۲۶ میلی‌متر بود و هیچ تأثیر تنک‌کنندگی از نفتالین استیک اسید مشاهده نشد و برعکس ریزش میوه نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش معنی‌دار ریزش میوه حاصل از کاربرد سطوح مختلف نفتالین استیک اسید در مرحله سوم می‌تواند ناشی از تأثیر مثبت نفتالین استیک اسید در کاهش ریزش نامطلوب پیش از برداشت میوه باشد.

در باغ سیب مورد مطالعه، ریزش پیش از برداشت زیاد باعث کاهش عملکرد در واحد سطح مقطع شاخه شد، اما محلول پاشی دیر هنگام نفتالین استیک اسید باعث کاهش این مشکل فیزیولوژیکی شد که با یافته‌های کورتز و کلین (Cortens & Cline, 2020) و رحمان و همکاران (Rehman et al., 2017) هم‌خوانی دارد و این به نقش دوگانه نفتالین استیک اسید مربوط می‌شود، به‌طوری‌که بسته به مرحله کاربرد، نفتالین استیک اسید می‌تواند باعث کاهش یا افزایش ریزش میوه شود. این تفاوت تأثیر در خاصیت تنک‌کنندگی مربوط به تنشی است که این تنک‌کننده در مراحل اولیه رشد میوه ایجاد نموده و باعث ریزش میوه‌چه‌های ضعیف‌تر می‌شود. هر چه محتوای کربوهیدرات در دسترس گیاه کمتر باشد و تعادل مناسب عرضه و تقاضا وجود نداشته باشد، تنک‌کننده‌ها تنش بیشتری بر گیاه وارد نموده و ریزش میوه بیشتر می‌شود. مرحله اول رشد میوه، مرحله تقسیم سلولی است. در این مرحله، میوه‌چه‌ها بسیار حساس هستند و

شکل میوه‌ها شد، به‌طوری‌که باعث تشکیل میوه‌های بزرگ‌تر و پخ‌تری شد، اما نفتالین‌استیک‌اسید در دو مرحله دیگر (۲۵ و ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل) باعث افزایش کشیدگی میوه شد (شکل ۳- C و شکل ۴). نتایج به‌دست‌آمده گویای عملکرد متناقض نفتالین‌استیک‌اسید است که با نتایج مطالعات پیشین در این زمینه هم‌خوانی دارد، که گزارش کردند نفتالین‌استیک‌اسید با وجود خاصیت تنک‌کنندگی تأثیری در افزایش اندازه میوه نداشت (Stopar & Lokar, 2003) یا بدون تأثیر بر تنک، اندازه میوه‌ها را افزایش داده است (Stopar et al., 2007). حتی در تعدادی از مطالعات به مشکل کوتولگی میوه در سیب رقم رد دلشیز در اثر کاربرد برگ‌ی تنک‌کننده نفتالین‌استیک‌اسید اشاره شده است (Robinson et al., 2013; Robinson et al., 2019). با این وجود، طبق نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش و یافته‌های سایر محققان مشخص می‌شود که زمان اعمال تیمار و شرایط آب‌وهوایی در هر مرحله محلول‌پاشی عامل مهمی است که بر نحوه تأثیر این ترکیب تنک‌کننده مؤثر خواهد بود.

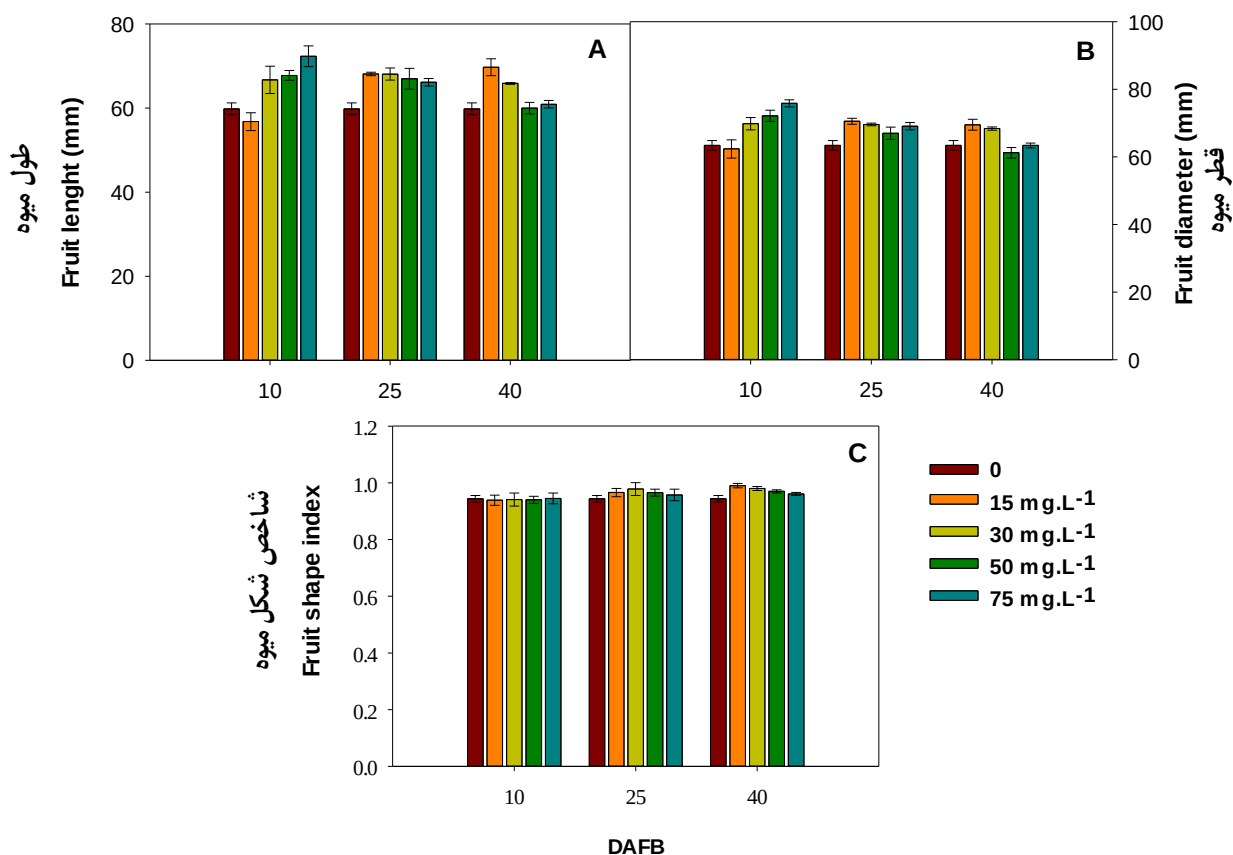
شکل میوه‌ها شد، به‌طوری‌که باعث تشکیل میوه‌های بزرگ‌تر و پخ‌تری شد، اما نفتالین‌استیک‌اسید در دو مرحله دیگر (۲۵ و ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل) باعث افزایش کشیدگی میوه شد (شکل ۳- C و شکل ۴). نتایج به‌دست‌آمده گویای عملکرد متناقض نفتالین‌استیک‌اسید است که با نتایج مطالعات پیشین در این زمینه هم‌خوانی دارد، که گزارش کردند نفتالین‌استیک‌اسید با وجود خاصیت تنک‌کنندگی تأثیری در افزایش اندازه میوه نداشت (Stopar & Lokar, 2003) یا بدون تأثیر بر تنک، اندازه میوه‌ها را افزایش داده است (Stopar et al., 2007).



شکل ۲- تأثیر محلول‌پاشی نفتالین‌استیک‌اسید در روزهای مختلف بعد از شکوفایی کامل گل‌ها بر درصد ریزش میوه (A)، کارایی عملکرد

براساس وزن میوه در سطح مقطع شاخه (B) و کارایی عملکرد براساس تعداد میوه در سطح مقطع شاخه (C) سیب رقم رد دلشیز؛

Figure 2- The effects of NAA foliar spray at different days after full bloom (DAFB) on fruit drop (A), yield efficiency based on the fruit number in shoot cross sectional area (SCSA) (B), and yield efficiency based on the fruits weight in the trunk cross sectional area (C) of apple cv. 'Red Delicious'. Values are means with standard errors (n = 3)



روزها بعد از شکوفایی کامل گل‌ها

شکل ۳- تأثیر محلول‌پاشی نفتالین استیک اسید در روزهای مختلف بعد از شکوفایی کامل گل‌ها بر طول (A)، قطر (B) و شاخص شکل میوه (C) سیب رقم 'رُد دلشیز'

Figure 3- The effects of NAA foliar spray at different days after full bloom (DAFB) on the length (A), diameter (B), and fruit shape index (C) of apple cv. 'Red Delicious'. Values are means with standard errors (n = 3)



شکل ۴- تأثیر محلول‌پاشی نفتالین استیک اسید در روزهای مختلف بعد از شکوفایی کامل گل‌ها بر شکل میوه سیب رقم 'رُد دلشیز'

Figure 4- The effects of NAA foliar spray at different days after full bloom (DAFB) on the fruit shape of apple cv. 'Red Delicious'

وزن، حجم، چگالی و سفتی بافت میوه

اثر ساده و متقابل غلظت‌ها و زمان‌های مختلف اعمال نفتالین استیک اسید بر وزن و حجم میوه معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که در زمان ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها، با افزایش غلظت نفتالین استیک اسید، وزن و حجم میوه‌ها افزایش قابل توجهی یافت، به‌طوری‌که بیشترین وزن (۱۸۰ گرم) و حجم میوه (۲۴۰ سانتی‌مترمکعب) در غلظت ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر نفتالین استیک-اسید نسبت به شاهد (۱۱۰/۸ گرم وزن و ۲۴۰ سانتی‌مترمکعب حجم) مشاهده شد. در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل) نیز تیمارها باعث افزایش وزن و حجم میوه شدند، اما بین غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (به‌طور متوسط افزایش ۲۹ درصدی در وزن میوه و ۱۸/۳ درصدی در حجم میوه نسبت به شاهد)، اما کاربرد برگی نفتالین استیک اسید در مرحله سوم (۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل) تأثیر معنی‌داری بر وزن و حجم میوه نداشت (شکل ۵- A و B).

براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که تیمار نفتالین استیک اسید در مرحله اول (۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل) باعث افزایش معنی‌دار چگالی میوه شد. در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل) نیز میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد چگالی نسبتاً بیشتری داشتند، اما تیمارها در مرحله سوم (۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل) تأثیر معنی‌داری بر چگالی میوه نداشتند (شکل ۵- C). همین‌طور نتایج مقایسه میانگین حاصل از سفتی بافت میوه نشان داد که کاربرد برگی غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید، ۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل باعث بیشترین افزایش در سفتی بافت میوه نسبت به شاهد شدند، اما تیمارهای اعمال شده در زمان‌های ۲۵ و ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها تأثیر معنی‌داری بر سفتی بافت میوه نداشتند (شکل ۵- D).

اندازه‌گیری مؤلفه‌های کیفی میوه در زمان برداشت توسط استوپار و همکاران (Stopar et al., 2007) نشان داد که سیب‌های تنک شده به‌صورت دستی یا با نفتالین استیک اسید به‌طور قابل توجهی سفت‌تر از نمونه‌های شاهد بودند. در همین راستا، استوپار و همکاران (Stopar & Lokar, 2003) دریافتند که میوه‌های سیب رقم 'جاناگلد' روی پایه 'M9' با محصول کمتر نسبت به درختان با محصول بیشتر، دارای میوه‌های با بافت سفت‌تری بودند، به عبارتی با کاهش تعداد میوه و افزایش نسبت برگ به میوه، به‌خصوص در مراحل اولیه تشکیل میوه، تعداد سلول بیشتری در میوه‌های باقی‌مانده تشکیل شده و چگالی و سفتی بافت میوه افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج، همبستگی مثبتی بین چگالی میوه و سفتی بافت میوه وجود داشت (شکل ۵- C و D)، که نتایج تأکید دارند محلول‌پاشی نفتالین

استیک اسید در مراحل اولیه رشد میوه با تأثیر بر فرآیند تقسیم سلولی و افزایش تعداد سلول‌ها در میوه منجر به افزایش چگالی میوه و در نتیجه بهبود سفتی بافت میوه شده است. البته در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) با وجود افزایش چگالی میوه، افزایش معنی‌داری در سفتی بافت میوه مشاهده نشد که دلیل احتمالی این مسئله در ادامه مطالعه ذکر خواهد شد.

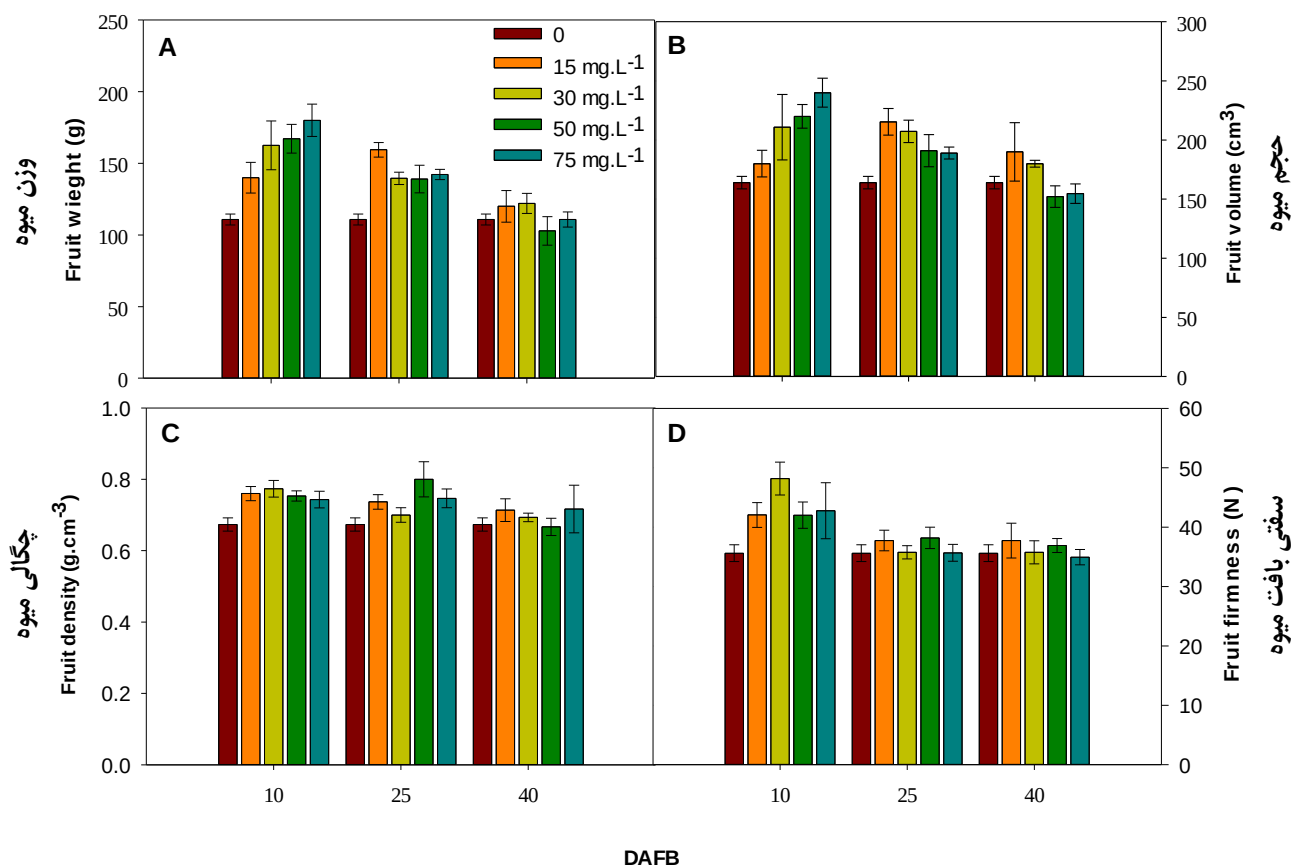
محتوای مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون و شاخص طعم میوه

اثر ساده زمان محلول‌پاشی و اثر متقابل زمان و غلظت نفتالین استیک اسید بر درصد مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و شاخص طعم میوه تأثیر معنی‌داری داشتند (شکل ۶). کاربرد سطوح مختلف نفتالین استیک اسید در مرحله اول (۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها)، محتوای مواد جامد محلول میوه را ۲۱/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) محتوای مواد جامد محلول تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، اما در مرحله سوم (۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها)، کاربرد نفتالین استیک اسید به‌طور متوسط باعث کاهش ۲۳/۹ درصدی مواد جامد محلول کل نسبت به شاهد شد (شکل ۶- A). برخلاف مواد جامد محلول، محتوای اسیدیته قابل تیتراسیون در هر سه مرحله اعمال غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۶- B).

براساس نتایج مشاهده شد که محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نفتالین استیک اسید در هر سه زمان، نسبت قند به اسید میوه را در مقایسه با شاهد به‌طور قابل توجهی کاهش دادند (شکل ۶- C). افزایش محتوای مواد جامد محلول و اسیدهای محلول در مرحله اول (۱۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) رابطه مشخصی با کاهش تعداد میوه‌ها و افزایش نسبت برگ به میوه دارد، به‌طوری‌که مواد فتوسنتزی بیشتری در اختیار میوه‌ها قرار می‌گیرد که با یافته‌های سایر محققان همخوانی دارد (Singh & Chahil, 2020). تنک میوه باعث افزایش مواد جامد محلول در آلبالو (*Prunus cerasus*) (Davarynejad et al., 2008)، هلو (*Prunus Persica*) (Njoroge & Reighard, 2008) و سیب (Meland, 2009) شد. در ۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها با وجود اینکه که تنک قابل توجه میوه نسبت به شاهد صورت گرفته بود، اما محتوای مواد جامد محلول افزایشی نسبت به شاهد نداشت. می‌توان این تفاوت عملکردی نفتالین استیک اسید را به شرایط دمایی و محیطی در زمان اعمال تیمار نسبت داد. چه بسا که گرمای نسبی هوا (به‌خصوص شب‌های گرم) باعث افزایش شدت تنفس و کاهش تجمع مواد قندی در درختان سیب تیمار شده با نفتالین

دست‌آمده کاهش محتوای مواد جامد محلول در مرحله سوم (۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل) می‌تواند به افزایش درصد تشکیل میوه نسبت به شاهد در درختان تیمار شده نسبت داده شود. یکی از نقش‌های مهم تنظیم‌کننده رشد نفتالین استیک اسید، افزایش سفتی و تراکم بافت میوه و کاهش شدت تنفس و تأخیر در رسیدن و پیری گیاه است (Singh & Chahil, 2020). کاهش نسبت قند به اسید در هر سه مرحله محلول‌پاشی حاکی از تأثیر این ماده به‌عنوان یک ترکیب اکسینی در به تأخیر انداختن زمان رسیدن میوه است (Safaei-Nejad et al., 2015; Ramos et al., 2019).

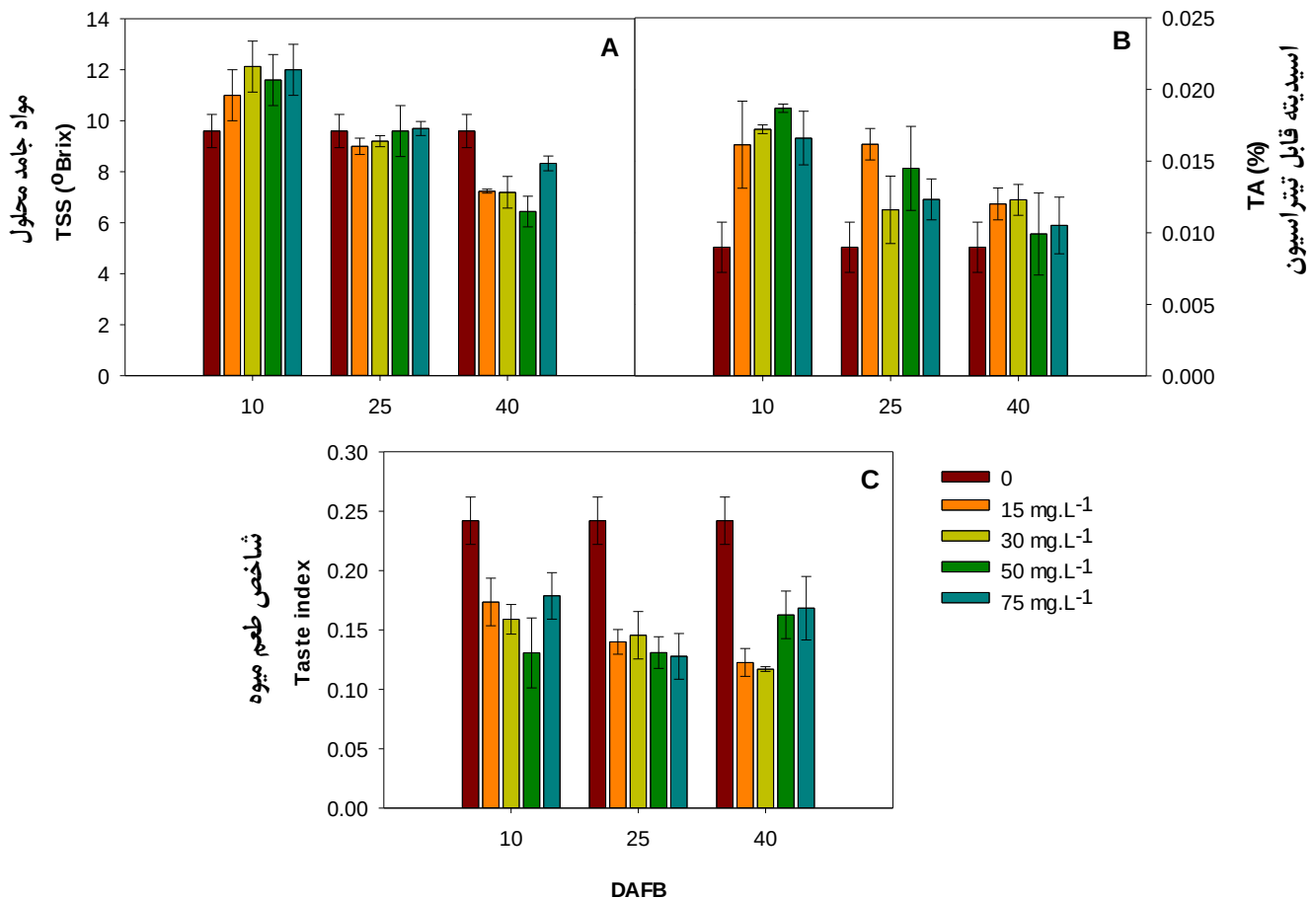
استیک اسید شده باشد، به‌طوری‌که وجود این ترکیب اکسینی باعث تشدید تنفس سلولی در درختان و در نتیجه کاهش مواد جامد محلول شده است (Robinson et al., 2019). بنابراین کاربرد نفتالین استیک اسید در مرحله دوم (۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها) با وجود کاهش تعداد میوه، تأثیر معنی‌داری بر افزایش مواد جامد محلول میوه‌ها نداشت. احتمالاً سفتی کمتر میوه‌های تیمار شده در این مرحله نیز مربوط به همین مسئله است. با اینکه تعداد سلول‌ها افزایش یافته و چگالی میوه‌ها نسبت به شاهد افزایش داشته است، اما احتمالاً کاهش محتوای مواد جامد محلول عامل مهمی است که می‌تواند سفتی بافت میوه را به‌طور منفی متأثر سازد. براساس نتایج به-



روزها بعد از شکوفایی کامل گل‌ها

شکل ۵- تأثیر محلول‌پاشی نفتالین استیک اسید در روزهای مختلف بعد از شکوفایی کامل گل‌ها بر وزن (A)، حجم (B)، چگالی (C) و سفتی بافت میوه (D) سیب رقم 'رِد دِلِشِز'.

Figure 5- The effects of NAA foliar spray at different days after full bloom (DAFB) on the weight (A), volume (B), density (C), and fruit firmness (D) of apple cv. 'Red Delicious'. Values are means with standard errors (n = 3)



روز بعد شکوفایی کامل گل‌ها

شکل ۶- تأثیر محلول‌پاشی نفتالین استیک اسید در روزهای مختلف بعد از شکوفایی کامل گل‌ها بر محتوای مواد جامد محلول کل (A)، اسیدیته

قابل تیتراسیون (B) و شاخص طعم (C) میوه سیب رقم 'رد دلشیز'

Figure 6- The effects of NAA foliar spray at different days after full bloom (DAFB) on the total soluble solid content (TSS) (A), titratable acidity (TA) (B), and taste index (C) of apple cv. 'Red Delicious' fruit. Values are means with standard errors (n = 3)

شاهد افزایش یافت. کاربرد نفتالین استیک اسید در هر سه مرحله محلول‌پاشی با افزایش بیشتر محتوای اسیدهای محلول میوه نسبت به مواد جامد محلول، باعث کاهش شاخص طعم میوه نسبت به شاهد شد. در کل می‌توان گفت که نفتالین استیک اسید بسته به زمان کاربرد و شرایط آب‌وهوایی منطقه و باغ مورد مطالعه، عملکرد متفاوتی خواهد داشت. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که کاربرد نفتالین استیک اسید در ۱۰ روز بعد از شکوفایی گل‌ها در باغ مورد مطالعه و در شرایط آب‌وهوایی شهر زنجان قابل توصیه نیست، زیرا با تنک بیش از حد میوه، باعث تولید میوه‌های با اندازه خیلی بزرگ و شکل پخ شد، اما کاربرد نفتالین استیک اسید در دو زمان ۲۵ و ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها، بستگی به شرایط باغ دارد. اگر باغ سیب

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد برگ‌ی نفتالین استیک اسید بسته به غلظت و به‌خصوص زمان محلول‌پاشی، تأثیرات متفاوتی بر کنترل ریزش میوه و خصوصیات کمی و کیفی میوه‌های سیب رقم رد دلشیز داشت، به‌طوری‌که کاربرد نفتالین استیک اسید در زمان‌های ۱۰ و ۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها باعث افزایش ریزش و تنک شد، اما کاربرد غلظت‌های مختلف آن در ۴۰ روز بعد از گل‌دهی باعث کاهش ریزش میوه و افزایش کارایی عملکرد میوه گردید. محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نفتالین در ۱۰ و ۲۵ روز بعد از گل‌دهی باعث افزایش قابل توجه وزن و حجم میوه و همچنین چگالی میوه شد، ولی سفتی بافت میوه فقط در مرحله اول محلول‌پاشی نسبت به

توصیه برای آن کاربرد به‌خصوص ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نفتالین استیک اسید در ۴۰ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها است، اما همان‌طور که ذکر شد، شرایط آب‌وهوایی، به‌خصوص شرایط دمایی و شدت نور در نحوه تأثیر این تنظیم‌کننده اکسینی تأثیر خواهند داشت و این مسئله اهمیت مطالعه چندساله در هر منطقه برای تعیین یک دستورالعمل مناسب برای استفاده از این تنظیم‌کننده رشد را نشان می‌دهد.

مشکل ریزش قبل از برداشت میوه را نداشته باشد و عوامل تنش‌زا مثل آفات و بیماری‌ها و غیره وجود نداشته باشد، استفاده از خاصیت تنک‌کنندگی نفتالین استیک اسید در ۲۵ روز بعد از شکوفایی کامل گل‌ها در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر قابل توصیه است، اما در صورتی که مانند باغ سیب مورد مطالعه، مشکل ریزش شدید میوه حدود یک ماه قبل از برداشت میوه وجود داشته باشد، تیمار قابل

References

1. Abdel-Sattar, M., Al-Obeed, R.S., Lisek, A., & Eshra, D.H. (2023). Enhancing anna apples productivity, physico-chemical properties and marketability using sprays of naphthalene acetic acid and inhibitors of ethylene for alleviating abiotic stresses. *Horticulturae*, 9, 755. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070755>
2. Adouli, B., Golein, B., Ghasemi, M., & Raheb, S. (2014). Investigation of NAA foliar application as a fruitlet thinner in biennial bearing control of Unshiu mandarin. *Journal of Crop Production and Processing Isfahan University of Technology*, 4(12), 125-134. (in Persian with English abstract)
3. Bound, S.A. (2001). *Managing Crop Load*. In: R. Dris R. Niskanen & S.M. Jain (Eds.). Crop Management And Postharvest Handling of Horticultural Products. Inc. Plymouth UK. Science Publisher, 1, 89-109.
4. Cortens, M.H., & Cline, J.A. (2020). Effects of the bioregulators ACC, 6-BA, ABA, and NAA as thinning agents on Gala apples. *Canadian Journal of Plant Science*, 100, 185-201. <https://doi.org/10.1139/cjps-2019-0014>
5. Davarynejad, G.H., Nyeki, J., Szabo, T., & Szabo, Z. (2008). Influences of hand thinning of bud and blossom on crop load, fruit characteristics and fruit growth dynamic of ujfehertoi furto sour cherry cultivar. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 4(2), 138-141.
6. FAOSTAT, (2022). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
7. Hajilou, J., Asadollahi, M., Fakhimrezaei, S.H., & Dehghan, Gh. (2016). Effect of naphthalene acetic acid on thinning intensity, fruit qualitative and antioxidative characteristics of two peach cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 17(4), 867-880. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.55137>
8. Kumar, A., Bhuj, B.D., & Singh, C.P. (2021). Alternate bearing in fruits trees: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(1), 1218-1235. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1001.146>
9. Meland, M. (2009). Effects of different crop loads and thinning times on yield, fruit quality, and return bloom in *Malus × domestica* Borkh. 'Elstar'. *Horticultural Science and Biotechnology*, 84(6), 117-121. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512607>
10. Netsawang, P., Damerow, L., Lammers, P.S., Kunz, A., & Blanke, M. (2023). Alternative approaches to chemical thinning for regulating crop load and alternate bearing in apple. *Agronomy*, 13, 112. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010112>
11. Njoroge, S., & Reighard, G.L. (2008). Thinning time during stage I and fruit spacing influences fruit size of 'Contender' peach. *Scientia Horticulturae*, 115(4), 352-359. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.019>
12. Ramos, A.P., Zanardi, A.M., Amarante, T., Steffens, C., & Pereira-Netto, A.B. (2019). Effects of an auxin and a brassinosteroid on physical, chemical and biochemical attributes of 'Galaxy' apples. *Ciencia Rural, Santa Maria, Crop Production*, 49(4), e20180311. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180311>
13. Rehman, M.U., Rather, G.H., Gull, Y., Mir, M.M., & Umar, I. (2017). Effect of 1-naphthaleneacetic acid and calcium chloride on preharvest drop and quality of 'Red Delicious' apples. *Canadian Journal of Plant Science*, 97, 902-905. <https://doi.org/10.1139/CJPS-2016-0359>
14. Robinson, T., Lakso, A., Green, D., & Hoying, S. (2013). Precision crop load management. *Fruit Quarterly*, 21(2), 3-9.
15. Robinson, T., Francescato, P., Lordan, J., Lakso, A., & Reginato, G. (2019). Improvements to the cornell apple carbohydrate thinning model – MaluSim. *Fruit Quarterly*, 28(1), 27-35.
16. Safaei-Nejad, G., Shahsavari, A.R., & Mirsoleimani, A. (2015). Effects of naphthalene acetic acid and carbaryl on fruit thinning in 'Kinnow' mandarin trees. *Journal of Chemical Health Risks*, 5(2), 137-144.
17. Singh, G., & Chahil, B.S. (2020). Effect NAA of crop regulation on kinnow decline. *International Journal of Current Microbiology & Applied Sciences*, 9(6), 147-155. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.019>
18. Stopar, M., & Lokar, V. (2003). The effect of ethephon, NAA, BA and their combinations on thinning intensity of 'Summered' apples. *Journal of Central European Agriculture*, 4, 399-403.
19. Stopar, M., Tojinko, S., & Ambrozic-Turk, B. (2007). Fruit thinning of 'Gala' apple trees using ethephon, NAA, BA and their combinations. *Pomologica Croatica*, 13, 143-151.

20. Tijero, V., Girardi, F., & Botton, A. (2021). Fruit development and primary metabolism in apple. *Agronomy*, 11, 1160. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061160>
21. Zadavec, P., Veberic, R., Stampar, F., Schmitzer, V., & Eler, K. (2014). Fruit growth patterns of four apple cultivars using nonlinear growth models. *European Journal of Horticultural Science*, 79(2), 52–59.

Evaluation of the Morphophysiological and Phytochemical Characteristics of Persian Shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) Landraces in Isfahan Province

M. Mohammad Rezaei¹, M. Hassanpour Asil^{2*}, J.A. Olfati², M.M. Gheisari³

1- Department of Horticultural Sciences, Campus 2, University of Guilan, Rasht, Iran

2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

3- Department of Chemistry, Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran

(*- Corresponding author's Email: hassanpurm@guilan.ac.ir)

Received: 03 June 2024

Revised: 16 September

Accepted: 29 September 2024

Available Online: 29 September 2024

How to cite this article:

Mohammad Rezaei, M., Hassanpour Asil, M., Olfati, J.A., & Gheisari, M.M. (2025). Evaluation of the morphophysiological and phytochemical characteristics of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) landraces in Isfahan province. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 187-201. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88274.1349>

Introduction

The Persian Shallot (*Allium hirtifolium* Boiss), an endemic and economically significant medicinal plant native to Iran, has garnered increasing attention in recent years due to its potent therapeutic properties and adaptability to diverse climatic conditions. Traditionally used in Iranian medicine, this plant boasts a rich phytochemical profile that contributes to its effectiveness in treating various ailments, including rheumatism, stomach ulcers, and microbial infections. Beyond these established applications, recent studies suggest that the Persian Shallot may also serve as a potential aquaculture regulator, further enhancing its value in both agricultural and pharmaceutical contexts. However, growing demand and the overharvesting of wild populations have raised concerns regarding the plant's long-term sustainability and conservation. Unsustainable harvesting practices pose significant threats to the genetic reservoir and ecological balance of its native habitats. In light of these challenges, there is a pressing need to promote sustainable cultivation practices and conservation-oriented harvesting strategies. Iran's rich biodiversity and favorable agro-climatic conditions offer a strategic advantage for the cultivation, research, and export of high-quality medicinal plants such as the Persian Shallot. Research that focuses on evaluating local ecotypes and their nutritional and phytochemical characteristics can facilitate domestication efforts, genetic improvement programs, and the broader commercialization of this valuable species.

Materials and Methods

This study was conducted in 2022 across six distinct natural habitats of *Allium hirtifolium* in Isfahan Province, Iran. These habitats, which differ in elevation and environmental conditions, were selected to capture a broad range of genetic and ecological diversity. From each habitat, 50 individual plant samples were collected during the growing season, resulting in a total of 300 samples. The primary objective was to evaluate and compare the morphophysiological and phytochemical traits of Persian Shallot populations across these diverse environments. Morphological traits assessed included the number of leaves per plant, leaf surface area, and the fresh and dry weight of bulbs. These indicators were selected for their relevance to plant vigor, productivity, and commercial value. For phytochemical analysis, fresh leaf samples were processed using acetone-based extraction. The contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, and antioxidant activity were measured spectrophotometrically. This biochemical evaluation aimed to provide insights into the plants' adaptive responses to environmental variables such as altitude, temperature fluctuations, and soil conditions. Data analysis was performed using Analysis of Variance (ANOVA) to determine statistically significant



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88274.1349>

differences among populations. Cluster analysis was also conducted to group the habitats based on their morphophysiological and phytochemical traits. All statistical computations and visualizations were carried out using SAS, SPSS, and Microsoft Excel software.

Results and Discussion

The results revealed significant diversity among Persian Shallot plants from different habitats, indicating high levels of biodiversity due to environmental and genetic factors. Variations were observed in morphological traits such as fresh and dry weight, leaf area, chlorophyll, carotenoid levels, and antioxidant activity across the different populations. Altitude was found to be particularly influential, with plants at higher altitudes showing larger leaf areas and higher chlorophyll concentrations. These adaptations suggest that environmental conditions such as temperature and sunlight availability at different altitudes strongly affect the plant's growth and phytochemical profile. Phytochemical analysis also showed higher antioxidant activity in plants from higher altitudes, likely due to environmental stress factors such as low temperature and increased UV exposure. These findings underscore the importance of altitude in influencing the biological and chemical characteristics of Persian Shallot populations. Cluster analysis grouped the different habitats, revealing distinct patterns of trait expression that reflect the plants' adaptation to their environments. Understanding how environmental factors like altitude affect plant traits is essential for developing breeding strategies aimed at improving yield and medicinal properties. The study emphasizes the need for selecting landraces with desirable characteristics for both cultivation and conservation purposes. By considering environmental gradients in plant selection and breeding, we can ensure that the genetic diversity and valuable traits of *Allium hirtifolium* are preserved.

Conclusions

This study demonstrates the presence of significant biodiversity among Persian Shallot populations across six habitats in Isfahan province. The results suggest that altitude plays a critical role in shaping both genetic diversity and phytochemical composition, which are key to the plant's adaptability and medicinal value. The observed variations offer opportunities to select suitable landraces for specific uses, whether for their phytochemical content or their ability to thrive under certain environmental conditions. Further research should focus on identifying specific genetic factors contributing to this diversity. Molecular markers can be used to gain deeper insights into the genetic structure of these populations, aiding in the development of targeted breeding programs. By understanding the role of environmental factors and genetics in shaping plant traits, we can support the sustainable use and conservation of this important medicinal plant.

Keywords: Antioxidant activity, Carotenoid, Cluster analysis, Genetic diversity, Natural habitats, Weight of onion

ارزیابی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی توده‌های بومی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در رویشگاه‌های استان اصفهان

محسن محمدرضایی^۱ - معظم حسن‌پور اصیل^{۲*} - جمال‌علی الفتی^۳ - محمد مهدی قیصری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

چکیده

موسیر ایرانی با نام *Allium hirtifolium* Boiss گیاهی پیازدار، چندساله و بومی ایران است. با توجه به کاربرد گسترده آن در صنایع غذایی و دارویی و استفاده بی‌رویه از رویشگاه‌های طبیعی، این گیاه در معرض نابودی و انقراض قرار دارد. از این‌رو تحقیقات در جهت اهلی‌سازی و وارد شدن آن به سیستم‌های زراعی ضرورت دارد. در برنامه‌های اصلاحی در راستای اهلی‌سازی توده‌های بومی گیاهی، اولین قدم ارزیابی تنوع و پتانسیل ژنتیکی موجود در توده‌های گیاهی است. در مطالعه حاضر، تنوع ژنتیکی توده‌های موسیرهای جمع‌آوری‌شده از شش رویشگاه طبیعی استان اصفهان با استفاده از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس براساس صفات مورد مطالعه نشان داد که بین توده‌های موسیر مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.01$) وجود داشت و در این بین، وزن تر و خشک سوخ و سطح برگ بیشترین ضریب تغییرات را دارا بودند. براساس تجزیه خوشه‌ای، توده‌های مورد بررسی در چهار گروه دسته‌بندی شدند. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته، نتایج حاکی از آن است که بیشترین مقادیر کلروفیل، کاروتنوئید، فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، وزن تر و خشک سوخ و سطح برگ برای توده‌های جمع‌آوری‌شده از رویشگاه‌های مرتفع (ارتفاعات بالاتر از ۲۷۰۰ متری) بود، درحالی‌که تنها مقدار بالای تعداد برگ برای توده‌های جمع‌آوری‌شده از ارتفاعات زیر ۲۶۰۰ متری ثبت شد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر عوامل ژنتیکی، عامل ارتفاع به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین اهرم‌های محیطی روی تنوع زیستی مشاهده‌شده در بین توده‌های مورد بررسی دخیل بوده است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های آبی برای به‌نژادی توده‌های موسیر در جهت اهلی‌سازی و حفاظت از رویشگاه‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنوع ژنتیکی، رویشگاه‌های طبیعی، فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، کاروتنوئید، وزن سوخ

مقدمه

بدن، در عصر حاضر نقش مهمی در تأمین سلامت جامع انسانی داشته و در پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. ایران با داشتن شرایط آب‌وهوایی مطلوب و موقعیت جغرافیایی خاص، به رویشگاه طبیعی بسیاری از گیاهان دارویی با ارزش و مهم تبدیل شده است (Omidbaigi, 2000). موسیر ایرانی (Persian Shallot) (شکل ۱) با نام علمی *Allium hirtifolium* Boiss گیاهی چندساله از تیره Alliaceae است. این گیاه بومی ایران بوده (Rechinger, 1984) و به‌صورت گیاهی وحشی در نواحی کوهستانی (ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر) مناطق غربی، شمال غربی و مرکزی ایران به‌ویژه در رشته کوه‌های زاگرس می‌روید (Asgarpanah & Ghanizadeh, 2012). موسیر دارای پیاز فشرده کروی شکل با ساقه باریک و بلند به رنگ سبز و اغلب ارغوانی

گیاهان دارویی دارای ارزش اقتصادی و خواص دارویی قابل توجهی هستند. این گیاهان به‌دلیل داشتن ترکیبات مشابه دارویی با ماهیت طبیعی، دارا بودن کمترین عوارض جانبی و سازگاری بهتر با

۱- گروه علوم باغبانی، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- گروه علوم شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: hassanpurm@guilan.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88274.1349>

ضدباکتری (Moradi et al., 2013; Zeinali Aghdam et al., 2019)، ضد میکروبی (Taran et al., 2006) و ضد سرطانی (Mohammadi-Motlagh et al., 2017) می باشد. سوخ موسیر در درمان رماتیسم و ترمیم زخم های سطحی، زخم معده، خلط سینه و همچنین به عنوان عطر و طعم دهنده نیز مورد استفاده قرار می گیرد (Barile et al., 2005; Jellin et al., 2000). سودمندی استفاده از عصاره *A. hirtifolium* در آبی پروری به عنوان تعدیل کننده رشد، سلامت عمومی و سیستم ایمنی گزارش شده است (Ghafarifarsani et al., 2022).

به طول ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی متر می باشد. گل آذین آن چتر مرکب با گل های بنفش یا ارغوانی است (Fritsch & Abbasi, 2013) و با نام های مختلفی همچون پیاز تلخ، موسیر و سیر کوهی شناخته می شود (Aleebrahim-Dehkordy et al., 2016).

موسیر از نظر طبی جزء گیاهان دارویی مهم بوده و در صنایع غذایی و دارویی کاربرد گسترده ای دارد. این گیاه همانند سایر گونه های گیاهی جنس *Allium* سرشار از ترکیبات فیتوشیمیایی مختلف از جمله فلوئوئیدها، ترکیبات حاوی گوگرد، آنزیم ها، ساپونین ها و ساپونین ها می باشد. تحقیقات نشان داده است که این گیاه به دلیل وجود مواد فعال بیولوژیکی در ساختار خود دارای خواص دارویی از جمله خاصیت کنترل قند خون (Hosseini et al., 2022)،



شکل ۱- موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss.)
Figure 1- Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.)

(2020).

جمعیت های وحشی گیاهان دارویی از نظر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک و نیز فیتوشیمیایی، ناهمگن و متنوع هستند. بنابراین در صورت بهره برداری از رویشگاه های طبیعی یا اهلی کردن به منظور تأمین مواد اولیه مناسب، هر برنامه ای که در نظر گرفته شود، نیازمند بررسی تنوع ژنتیکی و شیمیایی و شناسایی هویت و ژرم پلاسم گونه دارویی مورد نظر می باشد. در صورت بهره برداری از رویشگاه های طبیعی، با توجه به هتروژنی جمعیت های گیاهی و حضور

گیاهان دارویی نقش اساسی در سلامتی بشریت دارند، اما بهره برداری بیش از حد از رویشگاه های طبیعی منجر به از دست دادن تنوع زیستی و ایجاد نگرانی های جهانی شده است (Howes et al., 2002; Schippmann et al., 2020). تقاضا برای انواع گسترده ای از گونه های وحشی دارویی با افزایش جمعیت و رشد نیازهای انسان در حال افزایش است. بنابراین جای تعجب نیست که تقاضای جهانی برای بسیاری از گونه های دارویی بقاء این گونه ها را تهدید کرده و آن ها را در معرض انقراض و تخریب قرار می دهد (Howes et al., 2002).

زاگرس، چهارمحال بختیاری، همدان، کرمانشاه، آشتیان، اراک، بروجرد و خیلی از استان‌های دیگر با استفاده از نشانگرهای مورفولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی صورت گرفته است (Ebrahimi *et al.*, 2016; Panahandeh *et al.*, 2009). نتایج آن‌ها سطح بالایی از تنوع ژنتیکی را بین جمعیت‌های جمع‌آوری شده نشان داده است و این نتایج حاوی اطلاعات ارزشمندی در مورد تنوع ژنتیکی و روابط بین جمعیت‌های مورد بررسی بوده است. استان اصفهان به دلیل داشتن اقلیم سرد و گرم و خشک از نظر آب‌وهوایی دارای تنوع نسبتاً بالایی بوده و این تنوع بستر مناسبی برای داشتن انواع پوشش‌ها و گونه‌های گیاهی متفاوت از جمله موسیر را در نقاط مختلف این استان فراهم کرده است (Borhani & Sadeghzade, 2019). با این وجود، متأسفانه تاکنون جهت ارزیابی و بررسی مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی موسیر در رویشگاه‌های استان اصفهان، پژوهش جامعی صورت نگرفته است. لذا این پژوهش با هدف بررسی میزان تنوع ژنتیکی موسیر در رویشگاه‌ها و ارتفاعات مختلف استان اصفهان از لحاظ صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی طراحی گردید. انتظار می‌رود که نتایج این پژوهش در برنامه‌های به‌نژادی مرتبط با موسیر مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و بررسی گیاهان از رویشگاه‌های طبیعی

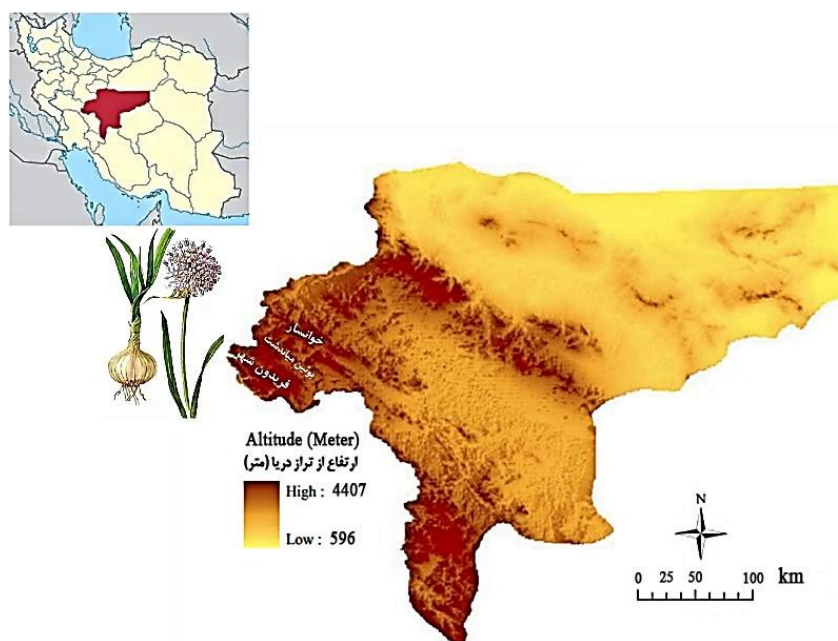
به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاهان موسیر ایرانی، نمونه‌های موسیر از شش رویشگاه‌های طبیعی استان اصفهان در ارتفاعات مختلف (شکل ۲، جدول ۱) در سال ۱۴۰۱ جمع‌آوری شد.

از هر رویشگاه ۵۰ نمونه در طول فصل رشد برداشت شد و قبل از برداشت، صفات مورفوفیزیولوژیک از قبیل تعداد برگ از طریق شمارش و سطح برگ با کمک دستگاه سطح‌سنج (Leaf Area Meter) برحسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. پس از برداشت و توزین، وزن تر سوخ ثبت گردید. به‌منظور ثبت وزن خشک، ابتدا سوخ‌ها به‌صورت نازک برش خورده و روی کاغذ صافی که جاذب رطوبت است، به‌مدت هشت ساعت قرار داده شدند تا فرآیند جذب رطوبت تسریع شود و سپس در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۰ ساعت قرار گرفتند. پس از خشک شدن نمونه‌ها تا رسیدن به وزن ثابت، مجدداً با ترازوی دیجیتال با دقت سه رقم اعشار اندازه‌گیری شدند (Hejaz *et al.*, 2004).

انواع کموتایپ‌ها به‌منظور تأمین دیدگاه‌های سازمان بهداشت جهانی در خصوص جمع‌آوری مطلوب گیاهان دارویی باید با بررسی تنوع موجود در طبیعت و تهیه نقشه پراکنش تیپ‌های شیمیایی، رویشگاه‌های واجد تیپ مورد نظر مشخص گردد تا از زیر سؤال رفتن اثرات بالینی ثابت‌شده به‌دلیل عدم آگاهی از کیفیت مواد مؤثره جلوگیری شود (Bernath, 2001; Tatanyi, 2001). شناخت جمعیت‌های برتر از نظر رشد و میزان مواد مؤثره گیاهان دارویی و سبزی‌ها اهمیت فراوانی در مطالعات دارد. از آنجایی‌که شناخت میزان مواد مؤثره و دارویی و ترکیبات گیاه موسیر در مراحل اولیه قرار دارد، بنابراین معرفی اکوتیپ‌ها و توده‌ها و جمعیت‌های برتر این گیاه می‌تواند شناخت انسان را در انتخاب بهترین مکان و ارتفاع از سطح دریا از نظر صفات مورد بررسی در این طرح جهت کشت انبوه و سرمایه‌گذاری جهت صادرات بیشتر کند.

ارزش دارویی، تقاضای بازار و سطح فرآوری از مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی یک گیاه است. افزایش تقاضای جهانی و داخلی برای گیاهان دارویی به‌دلیل افزایش علاقه مشتریان این گیاهان باعث شد که یک تجارت بزرگ در سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی ایجاد شود. براساس گزارش مرکز تجارت جهانی، نرخ تجارت جهانی گیاهان دارویی در سال ۲۰۱۰ حدود ۱۰۰ میلیارد دلار بوده و در سال ۲۰۱۸ به بیش از ۱۲۴ میلیارد دلار رسیده است. در سال ۲۰۵۰ میلادی به رقم پنج تریلیون دلار خواهد رسید. ایران در بین کشورهای جهان از نظر شرایط اقلیمی و تنوع گونه‌های مختلف گیاهان دارویی جایگاه ویژه‌ای دارد. همچنین ایران در زمینه گیاهان دارویی با سهمی معادل یک درصد از ارزش صادرات جهانی در رتبه شانزدهم قرار دارد و با ۰/۴ درصد از ارزش واردات جهانی در جایگاه ۴۱ قرار دارد (Rasekh Jahromi & Norani Azad, 2023). موسیر یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی صادراتی ایران در سال‌های گذشته بوده که به خیلی از کشورها از جمله کشورهای حوزه خلیج فارس صادر می‌شده است (Kashfi Bonab, 2011). ایران یکی از کشورهای غنی از نظر گیاهان دارویی و سبزی‌ها می‌باشد و با توجه به اینکه گیاه موسیر بومی ایران است، بنابراین شناخت توده‌های با کیفیت در کشور می‌تواند کمک بسیار زیادی در جهت تولید و صادرات این محصول با بالاترین کیفیت را به همراه داشته باشد و همچنین تعیین ارزش غذایی گیاهان بومی جهت معرفی به جوامع علمی و عموم مردم ارزش فوق‌العاده‌ای دارد و لازم است که چنین تحقیقاتی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با بررسی تنوع ژنتیکی موسیر ایرانی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ایران همچون رشته کوه‌های



شکل ۲- توزیع جغرافیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss.) استفاده شده در این مطالعه
Figure 2- Geographical distribution of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) used in this study

جدول ۱- توزیع جغرافیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss.) استفاده شده در این مطالعه
Table 1- Geographical distribution of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) used in this study

شماره اکوتیپ Ecotype. No	مکان جمع آوری Collecting place	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	طول عرض جغرافیایی Latitude and longitude
1	فریدون شهر پایین Lower Fereydounshahr	2400	32°55'N 50°10'E
2	فریدون شهر بالا Bala Fereydounshahr	2530	32°56' N 50°08'E
3	گلستان کوه خوانسار ۱ Golestankoh 1	2800	33°10' N 50°22'E
4	گلستان کوه خوانسار ۲ Golestankoh 2	2720	33°10' N 50°23'E
5	بویین میاندشت ۱ Boyin Miandasht 1	2700	33°10' N 50°16'E
6	بویین میاندشت ۲ Boyin Miandasht 2	2560	33°8' N 50°10'E

برحسب میلی گرم در گرم بافت تر برگ از طریق معادله های زیر محاسبه گردید (Arnon, 1949).

(۱)

$$a = \left(12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) \right) \times \left(\frac{V}{W} \right) \times 1000$$

(۲)

$$b = \left(22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663}) \right) \times \left(\frac{V}{W} \right) \times 1000$$

اندازه گیری محتوای کلروفیل های a، b، کل و کاروتنوئید

با استفاده از روش آرنون بدین ترتیب که ۰/۵ گرم برگ تر گیاه در هاون چینی با استون به صورت تدریجی ساییده شد و در هر مرحله، محلول شفاف رویی به بالن ژوژه منتقل گردید. در ادامه با استفاده از استون، محلول به حجم ۲۰ سی سی رسید و پس از سانتریفیوژ در ۶۰۰۰ دور برای ۲۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی گراد، جذب نوری آن در طول موج های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت غلظت کلروفیل ها و کاروتنوئید

اقلیدسی و روش حداقل واریانس Ward در نرم‌افزار SPSS (Ver.27) صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) برای صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج، توده‌های موسیر جمع‌آوری شده از رویشگاه‌های مورد مطالعه از نظر کلیه صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.01$) که نشان‌دهنده وجود تنوع زیستی قابل توجهی بین توده‌ها در رویشگاه‌های مختلف می‌باشد. وجود تنوع مبنایی برای انتخاب بهترین و مطلوب‌ترین ژنوتیپ است، بنابراین توده‌های مورد مطالعه دارای تنوع کافی برای انتخاب براساس صفات مورد بررسی می‌باشند (Tarang et al., 2020). شرایط اقلیمی و عوامل محیطی محل رویش مانند میزان بارندگی، دمای سالیانه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و شرایط خاکی متفاوت و همچنین ژنتیک می‌توانند از عوامل تأثیرگذار در تنوع موجود و تفاوت بین توده‌های جمع‌آوری شده از رویشگاه‌های مختلف باشند (Salehi et al., 2017). نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که در بین توده‌های موسیر مورد بررسی، صفات وزن تر و خشک سوخ و سطح برگ به ترتیب با ضریب تغییرات ۲۰/۵۵، ۱۸/۸۶ و ۱۵/۹۳ درصد، بیشترین تنوع و صفات کاروتنوئید و تعداد برگ به ترتیب با ضریب تغییرات ۱/۸۵ و ۳/۳۹ درصد کمترین تنوع را نشان می‌دهند.

مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیک نشان داد که بیشترین تعداد برگ مربوط به توده‌های جمع‌آوری شده از فریدون‌شهر پایین و کمترین تعداد برگ مربوط به رویشگاه گلستان کوه خوانسار در ارتفاع ۲۸۰۰ متری می‌باشد (شکل ۲).

پژوهشگران بیان داشتند که تنوع ژنتیکی در مناطق مختلف جغرافیایی از سازگاری موسیر با شرایط محلی آن در طول دوره رشد ناشی می‌شود (Vu et al., 2013). در این مطالعه، بیشترین وزن تر و خشک سوخ موسیر مربوط به توده‌های جمع‌آوری شده از رویشگاه‌های گلستان کوه خوانسار و ارتفاع ۲۷۰۰ متری بوبین میاندشت بود، درحالی‌که توده‌های جمع‌آوری شده از سایر رویشگاه‌ها یعنی فریدن شهر بالا و پایین و ارتفاع ۲۵۶۰ متری بوبین میاندشت، کمترین وزن تر و خشک سوخ را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). این پدیده ممکن است به دلیل تفاوت در دوره‌های نوری و دما در طول دوره رشدی این گیاه و همچنین ارتفاع منطقه رشدی گیاه باشد. تأثیر طول روز و دما بر وزن سوخ موسیر در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده است (Okubo et al., 1999; Vu et al., 2013).

(۳)

$$\left(\frac{V}{W}\right) \times \frac{1000}{(20.2(A645) + 8.02(A663))} = \text{کلروفیل کل}$$

(۴)

$$\left(\frac{V}{W}\right) \times \frac{100}{(7.6(A480) - 1.49(A510))} = \text{کاروتنوئید}$$

که در آن‌ها، V و W: به ترتیب حجم نهایی نمونه استخراجی و وزن تر نمونه برگی بر حسب گرم مورد استفاده می‌باشد.

ارزیابی صفات فیتوشیمیایی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی (مهار رادیکال‌های آزاد): این مشخصه با استفاده از ترکیب DPPH (1,1-diphenyl-2,2-picrylhydrazyl) ارزیابی شد (Anthon & Barrett, 2003). بدین منظور، ابتدا عصاره متانولی یک گرم بافت سوخ با استفاده از ۱۰ سی‌سی حلال متانول / کلریدریک‌اسید ۱:۹۹ (v/v) تهیه شد و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعدی، ۱۹۷۵ میکرولیتر از محلول متانولی DPPH (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) در داخل کووت ریخته و جذب آن در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد. در ادامه، ۲۵ میکرولیتر از عصاره متانولی به محلول متانولی DPPH اضافه شد و پس از نگهداری آن در دمای اتاق و در شرایط تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه، مجدداً جذب آن قرائت گردید و در نهایت فعالیت آنتی‌اکسیدانی هر عصاره با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Brand-Williams et al., 1995).

$$(\%) = \frac{(Ab - Aa)}{Ab} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن، Ab: به عنوان جذب عناصر متانولی DPPH بدون نمونه و Aa: به عنوان جذب عناصر متانولی DPPH پس از اضافه نمودن نمونه در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

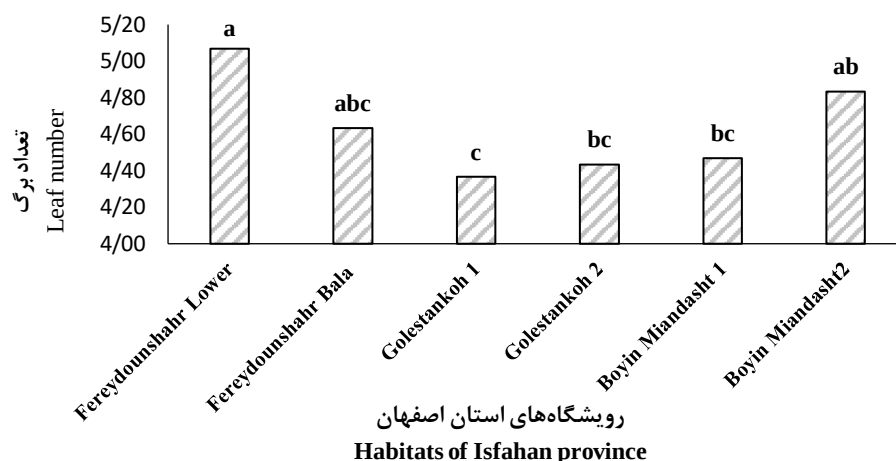
تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده از پژوهش حاضر پس از بررسی و اطمینان از برقراری مفروضات تجزیه واریانس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار شامل شش رویشگاه با استفاده از PROC GLM در نرم‌افزار SAS (Ver.9.4) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با آزمون توکی صورت گرفت و نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شدند. تجزیه خوشه‌ای با هدف گروه‌بندی رویشگاه‌های مورد مطالعه براساس صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی، با استفاده از اندازه‌گیری فاصله

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی توده‌های موسبر ایرانی در شش رویشگاه استان اصفهان

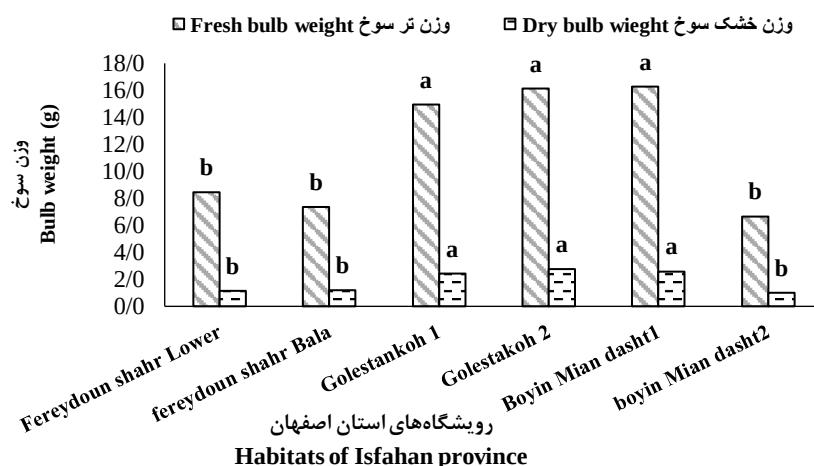
Table 2- Results of ANOVA for the morphophysiological and phytochemical characteristics of Persian shallot (*A. hirtifolium*) in six habitats of Isfahan province

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	میانگین مربعات Mean of squares						وزن تر سبوح Bulb fresh weight	وزن خشک سبوح Bulb dry weight	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ Leaf number
			کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Chlorophyll T	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a						
بلوک Block	2	7.52 ^{ns}	0.0007*	0.001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.13 ^{ns}	2.04 ^{ns}	148.871 ^{ns}		0.047 ^{ns}	
رویشگاه Habitat	5	161.16**	0.093**	0.23**	0.021**	0.12**	1.99**	63.3**	481.96**		0.22**	
اشتباه آزمایشی Experimental error	10	30.64	0.000	0.004	0.0003	0.004	0.124	5.721	46.52		0.0247	
ضریب تغییرات CV%		5.58	1.85	6.490	6.165	9.046	18.86	20.55	15.93		3.39	

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



شکل ۳- تعداد برگ توده‌های بومی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در شش رویشگاه استان اصفهان
Figure 3- The leaf number of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) landraces in six habitats of Isfahan province (Tukey, $p \leq 0.05$)



شکل ۴- وزن تر و خشک سوخ توده‌های بومی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در شش رویشگاه استان اصفهان
Figure 4- The fresh and dry bulb weight of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) landraces in six habitats of Isfahan province (Tukey, $p \leq 0.05$)

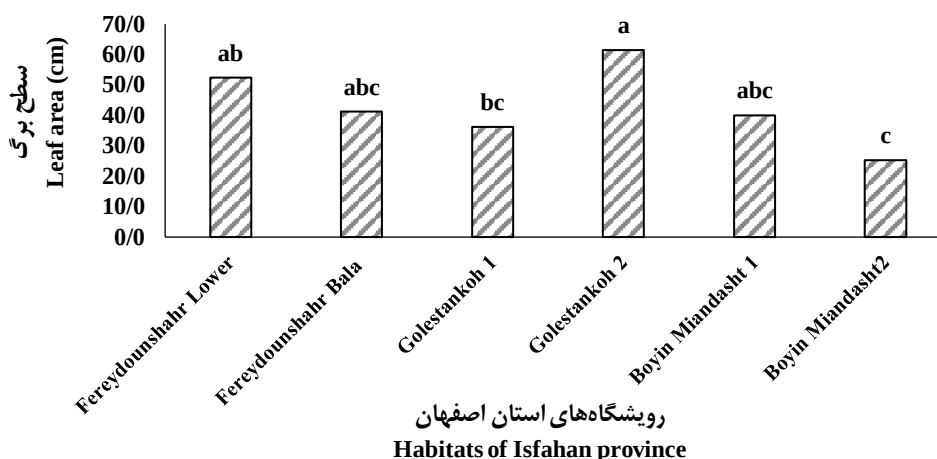
از آن‌ها در سیستم زراعی می‌تواند مقرون به صرفه باشد (Sabzevari et al., 2015).

یکی از صفات فیزیولوژیکی مهم در گیاهان، میزان کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌باشد. کلروفیل a به عنوان رنگدانه اصلی که انرژی نور را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند، شناخته می‌شود. کلروفیل b به عنوان رنگدانه کمکی به طور غیرمستقیم در فتوسنتز با انتقال نور جذب شده به کلروفیل a عمل می‌کند (Costache et al., 2012). گزارش شده است که گیاهان در ارتفاعات با کاهش اندازه و تعداد کلروپلاست و دانه‌های نشاسته در سلول، شرایط فتوسنتزی خود را بهبود می‌بخشند (Tajali et al., 2002; Eisapoor et al., 2002).

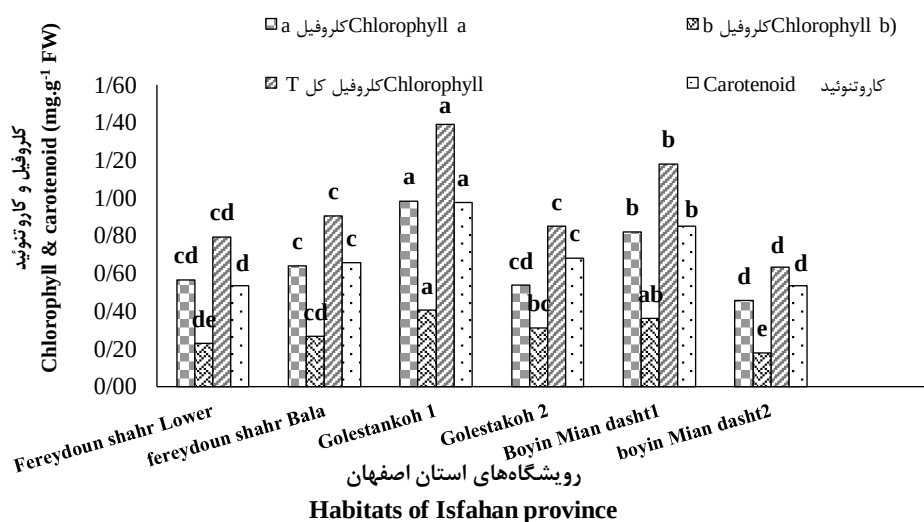
نمونه‌های برگ توده‌های موسیر جمع‌آوری شده در ارتفاع ۲۷۲۰ متری گلستان کوه خوانسار و ارتفاع ۲۵۶۰ متری بوبین میاندشت به ترتیب بیشترین و کمترین سطح برگ را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). بالا بودن سطح برگ باعث استفاده بهتر گیاه از عوامل محیطی و افزایش تجمع ماده خشک در گیاه می‌گردد (Niklas et al., 2009). همان‌طور که مشاهده شد، توده‌های بومی جمع‌آوری شده از ارتفاع ۲۷۲۰ متری گلستان کوه خوانسار از نظر وزن تر و خشک سوخ نیز در مقایسه با سایر رویشگاه‌ها، مقادیر بالاتر را دارا بودند. گزارش شده است که گونه‌هایی که سازگاری بیشتری با شرایط اقلیمی دارند دارای قابلیت تولید سطح برگ بیشتری هستند و استفاده

در ارتباط با کارتنوئید، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان کارتنوئید (۰/۹۸ میلی گرم بر گرم بافت‌تر) در ارتفاع ۲۸۰۰ متری گلستان کوه خوانسار و کمترین میزان کارتنوئید (۰/۵۷ میلی گرم بر گرم بافت‌تر) در دو رویشگاه فریدون‌شهر پایین و ارتفاع ۲۵۶۰ متری بوبین میاندشت مشاهده شد.

در مطالعه حاضر، نتایج مقایسه میانگین مربوط به کلروفیل‌های a، b و کل، برخلاف نتایج گزارش شده توسط سایرین، نشان داد که با افزایش ارتفاع رویشگاه‌ها، میزان کلروفیل افزایش یافته، به‌طوری که توده‌های بومی ارتفاع ۲۸۰۰ متری گلستان کوه خوانسار بیشترین مقادیر در خصوص این صفات را به خود اختصاص دادند و مقادیر کمتر مربوط به توده‌های بومی ارتفاع ۲۵۶۰ متری بوبین میاندشت بود (شکل ۵).



شکل ۵- سطح برگ توده‌های بومی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در شش رویشگاه استان اصفهان
Figure 5- The leaf area of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) landraces in six habitats of Isfahan province (Tukey, $p \leq 0.05$)

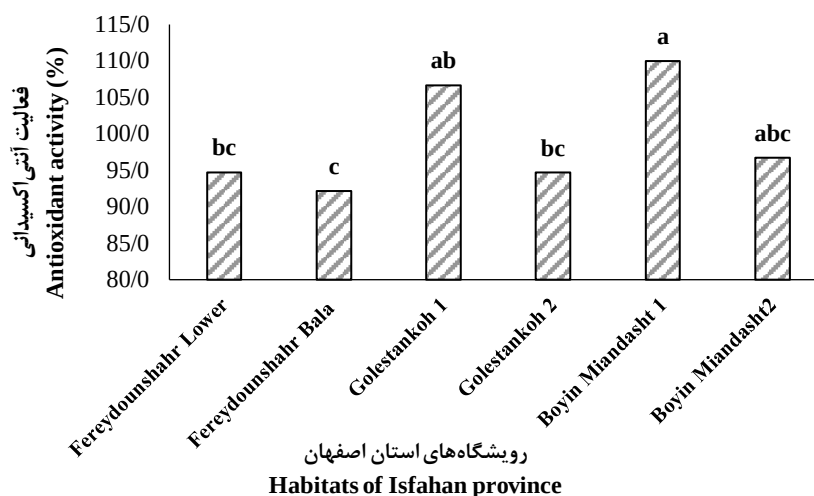


شکل ۶- محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید توده‌های بومی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در شش رویشگاه استان اصفهان

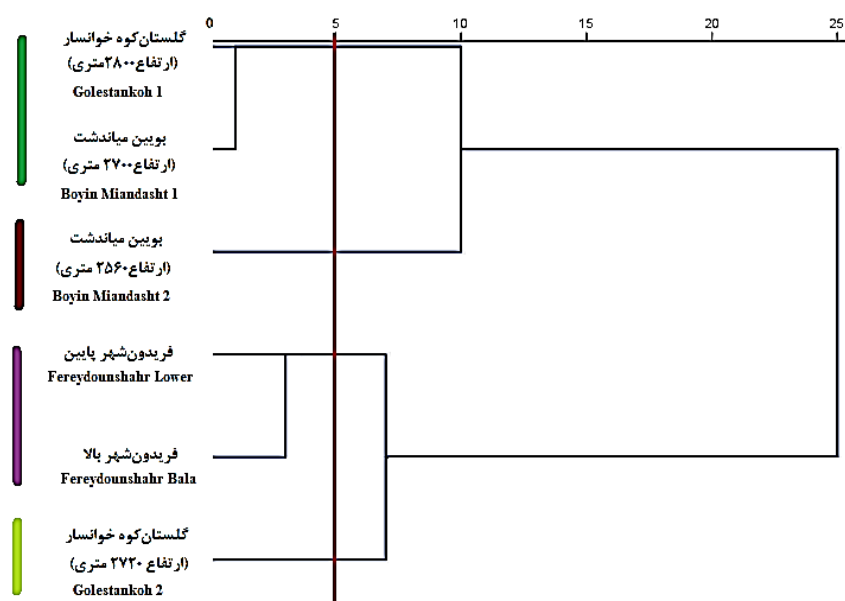
Figure 6- The chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoid contents of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) landraces in six habitats of Isfahan province (Tukey, $p \leq 0.05$)

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، یکی از روش‌های مهم برای گروه‌بندی و یافتن شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود در بین ژنوتیپ‌ها، جمعیت‌ها و گروه‌ها براساس صفات مختلف است. نتایج گروه‌بندی توده‌های مورد مطالعه براساس صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی به‌روش حداقل واریانس وارد (Ward) و معیار فاصله اقلیدسی در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توده‌های مورد مطالعه در فاصله اقلیدسی ۵، به چهار گروه اصلی تقسیم شدند. توده‌های بومی ارتفاع ۲۷۰۰ بویین میاندشت و ارتفاع ۲۸۰۰ متری گلستان‌کوه خوانسار با مقادیر بالای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای بالای کلروفیل و کاروتنوئید و وزن تر و خشک سوخ بالا در گروه اول، رویشگاه بویین میاندشت (ارتفاع ۲۵۶۰ متری) با کمترین سطح برگ و کمترین مقدار محتوای کلروفیل گروه دوم، رویشگاه فریدون شهر بالا و پایین با بیشترین تعداد برگ گروه سوم و رویشگاه‌های ۲۷۲۰ متری گلستان‌کوه خوانسار با بیشترین سطح برگ در گروه چهارم قرار گرفتند. قرار گرفتن توده‌های مورد مطالعه در چهار گروه مجزا را می‌تواند به تفاوت و تنوع در عوامل ژنتیکی و شرایط اقلیمی محل جمع‌آوری آن‌ها نسبت داد، به‌طوری‌که توده‌های قرارگرفته در یک گروه دارای یکنواختی بیشتری نسبت به سایر توده‌ها می‌باشند.

آنتی‌اکسیدان‌ها مولکول‌هایی هستند که با تبدیل رادیکال‌های آزاد به‌شکل پایدارشان مانع از فعالیت آن‌ها شده و به این ترتیب از تخریب سلول جلوگیری می‌کنند. موسیر ایرانی، منبع بالقوه‌ای از آنتی‌اکسیدان طبیعی می‌باشد و در راستای حفظ سلامتی انسان مورد توجه قرار گرفته است (Ghahremani-Majd et al., 2012; Ghasemi Pirbalouti et al., 2015). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب مربوط به ارتفاع ۲۷۰۰ متری بویین میاندشت و فریدون شهر بالا می‌باشد (شکل ۶). تفاوت معنی‌دار موجود در بین رویشگاه‌های مختلف علاوه‌بر عوامل ژنتیکی می‌تواند به‌دلیل عوامل محیطی مثل رطوبت، خشکی و دما باشد (Tomas-Barberan & Espin, 2001; Bhandari et al., 2014). ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2009)، اصیلی و همکاران (Asili et al., 2010) و قاسمی پیربلوطی و همکاران (Ghasemi Pirbalouti et al., 2015) گزارش کردند که عوامل محیطی و ژنوتیپ به‌شدت روی میزان آنتی‌اکسیدان موسیر تأثیر می‌گذارد. با توجه به اهمیت آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و افزایش مصرف آن‌ها در صنایع غذایی و دارویی، توده‌هایی که فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی دارند می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای به‌نژادگران در برنامه‌های به‌نژادی باشند.



شکل ۷- مقایسه میانگین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بین توده‌های بومی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) در شش رویشگاه استان اصفهان
Figure 7- The antioxidant activity of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) landraces in six habitats of Isfahan province (Tukey, $p \leq 0.05$)



شکل ۸- تجزیه خوشه‌ای توده‌های بومی موسیر ایرانی در شش رویشگاه استان اصفهان براساس صفات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی با استفاده از روش Ward

Figure 8- Cluster analysis of native Persian shallot landraces in six habitats of Isfahan province based on morphophysiological and phytochemical traits using Ward's method

گیاهی موسیر و تعیین سهم عوامل مؤثر بر حضور این گونه گیاهی در استان اصفهان نشان داد که عامل ارتفاع یکی از تأثیرگذارترین عوامل بوده و بیشترین حضور این گونه را در ارتفاعات بین ۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا و اقلیم نیمه‌خشک گزارش کرد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، مطالعه حاضر وجود تنوع زیستی را در بین توده‌های جمع‌آوری‌شده از شش رویشگاه مورد مطالعه تأیید می‌کند. توصیف و ارزیابی اولیه توده‌های موسیر در این مطالعه می‌تواند در معرفی توده‌های مناسب برای انتخاب والدین و ژنوتیپ‌های مطلوب مفید باشد. نتایج با یک انسجام قابل قبول حاکی از آن است که تغییر ارتفاع بر تنوع ژنتیکی و ترکیبات فیتوشیمیایی توده‌های موسیر تأثیرگذار بوده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که عامل تنوع موجود فقط ژنتیکی نبوده و عوامل اقلیمی و شرایط جغرافیایی نیز در ایجاد تنوع موجود سهمیم بوده است. باین‌حال برای مشخص کردن عوامل دقیقی که باعث تفاوت و تنوع توده‌های موسیر در استان اصفهان به شرایط مختلف محیطی می‌شوند، کارهای تحقیقاتی بیشتری لازم است. علاوه بر این، استفاده از نشانگرهای ملکولی برای بررسی تنوع می‌تواند مکمل نتایج مطالعه فعلی بوده و داده‌های قابل اعتمادتری را در مورد توده‌های مورد مطالعه در اختیار محققان قرار دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، توده‌های جمع‌آوری‌شده از ارتفاعات مختلف مناطق گلستان‌کوه خوانسار و بویین میاندشت در گروه‌های مجزا قرار گرفتند. از سوی دیگر، توده‌های جمع‌آوری‌شده از مناطق مرتفع این رویشگاه‌ها یعنی ارتفاع ۲۸۰۰ گلستان‌کوه و ۲۷۰۰ بویین میاندشت که در یک گروه قرار گرفته‌اند، از لحاظ اکثر صفات مورد مطالعه (به‌جز تعداد برگ) بیشترین مقادیر را دارا بودند. در مقابل، کمترین مقادیر صفات متعلق به توده‌های جمع‌آوری‌شده از ارتفاعات پایین این رویشگاه‌ها بود. از این رو، می‌توان عامل ارتفاع را به‌عنوان یکی از اهرم‌های محیطی ایجاد تنوع ژنتیکی در بین این توده‌های مورد مطالعه در نظر گرفت. عوامل انتخاب طبیعی، فاصله جغرافیایی و عوامل بوم‌شناختی مانند دما و شوری، به‌ویژه موقعیت جغرافیایی بر تنوع ژنتیکی موجودات زنده تأثیر می‌گذارد (Saleh & Elatroush, 2020). ارزیابی پاسخ گیاه به شرایط رشد طبیعی و شناسایی موفق اهرم‌های محیطی که می‌تواند تولید فیتوشیمیایی گیاهان دارویی را تحت تأثیر قرار دهند، می‌تواند در جهت اهلی شدن گیاه در برنامه‌های به‌نژادی آینده مفید واقع شود (Roux et al., 2017). شیب‌های ارتفاعی در مطالعات بوم‌شناختی می‌توانند جهت رمزگشایی سازوکار عوامل غیرزیستی بر ویژگی‌های بیولوژیکی گیاهان و چگونگی تأثیر این عوامل بر توزیع گونه‌های گیاهی، گزینه‌های جذاب و مناسبی باشند (Graves & Taylor, 1988). برهانی و همکاران (Borhani & Sadeghzade, 2019) بررسی ویژگی‌های رویشگاهی گونه

References

1. Aleebrahim-Dehkordy, E., Ghasemi-Pirbalouti, A., & Mirhoseini, M. (2016). A comprehensive review on *Allium hirtifolium* Boiss as a medicinal and edible plant. *Der Pharmacia Lettre*, 8(1), 188-196.
2. 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>
3. Arnon D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
4. Asili, A., Behravan, J., Naghavi, M.R., & Asili, J. (2010). Genetic diversity of Persian shallot (*Allium hirtifolium*) ecotypes based on morphological traits, allicin content and RAPD markers. *Open Access Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 1(1), 1-6.
5. Asgarpanah, J., & Ghanizadeh, B. (2012). Pharmacologic and medicinal properties of *Allium hirtifolium* Boiss. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 6(25), 1809-1814.
6. Barile, E., Capasso, R., Izzo, A.A., Lanzotti, V., Sajjadi, S.E., & Zolfaghari, B. (2005). Structure-activity relationships for saponins from *Allium hirtifolium* and *Allium elburzense* and their antispasmodic activity. *Planta Medica*, 71(11), 1010-1018. <https://doi.org/10.1055/s-2005-873134>.
7. Bernath, J. (2001). *Strategies and recent achievements in selection of medicinal and aromatic plants*. In International Conference on Medicinal and Aromatic Plants. *Possibilities and Limitations of Medicinal and Aromatic Plant*, 576, 115-128. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
8. Bhandari, S.R., Yoon, M.K., & Kwak, J.H. (2014). Contents of phytochemical constituents and antioxidant activity of 19 garlic (*Allium sativum* L.) parental lines and cultivars. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55, 138-147.
9. Borhani, M., & Sadeghzade, R. (2019). Investigation of vegetative characteristics of *Allium hirtifolium* in Isfahan province using logistic regression. *Journal of Range and Watershed Managment*, 72(2), 329-341. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.275388.1350>.
10. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebenson Wiss Technology*, 28, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
11. Costache, M.A., Campeanu, G., & Neata, G. (2012). Studies concerning the extraction of chlorophyll and total carotenoids from vegetables. *Romanian Biotechnological Letters*, 17(5), 7702-7708.
12. Ebrahimi, R., Zamani, Z., & Kashi, A. (2009). Genetic diversity evaluation of wild Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) using morphological and RAPD Markers. *Scientia Horticulturae*, 119(4), 345-351. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i4.79019>
13. Eisapoor, M., Hemmati, Kh., & Hemmati, N. (2020). Study of the effect of habitat on morphological and phytochemical traits of horsemint (*Mentha longifolia* L.). *Journal of Horticultural Science*, 33(4), 698-710. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i4.79019>.
14. Fritsch, R.M., & Abbasi, M. (2013). A taxonomic review of *Allium subg. Melanocrommyum* in Iran. Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben (IPK), *Gatersleben*, 240 pp.
15. Ghafarifarsani, H., Yousefi, M., Hoseinifar, S.H., Paolucci, M., Lumsangkul, C., Jaturasitha, S., & Van Doan, H. (2022). Beneficial effects of Persian shallot (*Allium hirtifolium*) extract on growth performance, biochemical, immunological and antioxidant responses of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fingerlings. *Aquaculture*, 555, 738162. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738162>
16. Ghahremani-Majd, H., Dashti, F., Dastan, D., Mumivand, H., Hadian, J., & Esna-Ashari, M. (2012). Antioxidant and antimicrobial activities of Iranian mooseer (*Allium hirtifolium* Boiss) populations. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 53, 116-122. <https://doi.org/10.1007/s13580-012-0131-2>
17. Ghasemi Pirbalouti, A., Ahmadzadeh, Y., & Malekpoor, F. (2015). Variation in antioxidant, and antibacterial activities and total phenolic content of the bulbs of mooseer (*Allium hirtifolium* Boiss.). *Acta Agriculturae Slovenica*, 105(1), 15-22. <https://doi.org/10.14720/aas.2015.105.1.02>
18. Graves, J.D., & Taylor, K. (1988). A comparative study of *Geum rivale* L. and *G. urbanum* L. to determine those factors controlling their altitudinal distribution II. Photosynthesis and respiration: II. Photosynthesis and respiration. *New Phytologist*, 108(3), 297-304. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1988.tb04166.x>
19. Hejaze, A., Shahroodi, M., & Forush, M. (2004). The methods index on plant analysis. *Edition University of Tehran*, 98, 20-27. (in Persian).
20. Hosseini, S.M., Ghasemi, H., Moradi, Y., & Ranjbar, A. (2022). Comparison of the effects of Persian shallot and garlic hydroalcoholic extracts on albumin glycation. *Novelty in Clinical Medicine*, 1(4), 197-203.

21. Howes, M.J.R., Quave, C.L., Collemare, J., Tatsis, E.C., Twilley, D., Lulekal, E., Farlow, A., Li, L., Cazar M.E., Leaman, D.J., Prescott, T.A.K., Milliken, W., Martin, C., De Canha, M.N., Lall, N., Qin, H., Walker, B.E., Londoño, C.V., Allkin, B., Rivers, M., Simmonds, M.S.J., Bell, E., Battison, A., Felix, J., Fores, F., Leon, C., Williams, C., & Nic Lughadha, E. (2020). Molecules from nature: Reconciling biodiversity conservation and global healthcare imperatives for sustainable use of medicinal plants and fungi. *Plants, People, Planet*, 2(5), 463-481. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10138>
22. Jellin J.M., Batz, F., & Hitchens, K. (2000). *Natural Medicines Comprehensive Data Base*. 3rd ed. Stockton Press. California, 1310 p.
23. Kashfi Bonab, A. (2011). The relative economic advantage the cultivation and trade of medicinal plants in Iran and its value in world markets. *Commercial Surveys*, 44(8), 78-67. (in Persian).
24. Mohammadi-Motlagh, H.R., Shokohinia, Y., Mojarrah, M., Rasouli, H., & Mostafaie, A. (2017). 2-Methylpyridine-1-ium-1-sulfonate from *Allium hirtifolium*: An anti-angiogenic compound which inhibits growth of MCF-7 and MDA-MB-231 cells through cell cycle arrest and apoptosis induction. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 93, 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.06.013>
25. Moradi, Y., Moradi-Sardareh, H., Ghasemi, H., Mohamadi, N., Moradi, M.N., & Hosseini-Zijoud, S.M. (2013). Medicinal properties of Persian shallot. *European Journal of Experimental Biology*, 3(1), 371-379.
26. Niklas, K.J., Cobb, E.D., & Spatz, H.C. (2009). Predicting the allometry of leaf surface area and dry mass. *American Journal of Botany*, 96(2), 531-536. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800250>
27. Okubo, H., Sugiharto, A.N., & Miho, N. (1999). Bulbing response of Shallot (*Allium cepa* L. var. ascalonicum Backer) and *Allium* × *wakegi* Araki to daylength and temperature. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 68(2), 283-285. <https://doi.org/10.2503/jjshs.68.283>
28. Omidbaigi, R. (2000). *Production and Processing of Medicinal Plants*. 5th ed. Astan Quds Publication, Tehran, Iran. 348 pp. (in Persian).
29. 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-Product*, 5(2), 217-226. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2016.109399>.
30. Rasekh Jahromi, E., & Norani Azad, S., (2023). Investigating the market structure and comparative advantage of medicinal plants export in Iran and world selected countries. *Journal of Agricultural Economics Research*, 15(1), 56-71. (in Persian with English abstract)
31. Rechinger, K.H. (1984). *Flora Iranica, Alliaceae*. Akademische Druck, Univ. Verlagsanstalt Graz, Austria, 76, 85.
32. Roux, D., Alnaser, O., Garayev, E., Baghdikian, B., Elias, R., Chiffolleau, P., Ollivier, E., Laurent, S., El Maataoui, M., & Sallanon, H. (2017). Ecophysiological and phytochemical characterization of wild populations of *Inula montana* L. (Asteraceae) in Southeastern France. *Flora*, 236, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.09.012>
33. Sabzevari, S., Kafi, M., Bannayan, M., & Khazaie, H. (2015). Investigation of thermal requirement, growth and yield characteristics of two species of Persian shallot (*Allium altissimum* and *A. hirtifolium*) in different density, bulb weight and flowering stem removing. *Agroecology*, 6, 836-847. (in Persian).
34. Saleh, A.I., & Elatroush, H. (2020). Impact of different geographical locations on genetic variation and phytochemical constituents of two medicinal marine algae. *Taeckholmia*, 40(1), 12-26. <https://doi.org/10.21608/taec.2020.21902.1012>
35. Salehi, F., Arouiee, H., Naghdi Badi, H., Nemati, S.H., & Tolyat Abulhassani, S.M. (2017). Evaluation of morphophysiological and phytochemical traits of different ecotypes of *Salvia multicaulis* Vahl. in Hamedan province, Iran. *Journal of Medicinal Plants*, 16(64), 123-136. (in Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2017.16.64.13.0>
36. Schippmann, U., Leaman, D.J., & Cunningham, A.B. (2002). Impact of cultivation and gathering of medicinal plants on biodiversity: global trends and issues. Biodiversity and the ecosystem approach in agriculture, forestry and fisheries. *Ninth Regular Session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome, 12-13 October 2002.
37. Tajali A., & Khazaeipoor, M. (2002). Effect of height and organs on flavonoids of *Crataegus microphylla*. *International Journal of Biosciences*, 7, 54-58. (in Persian with English abstract)
38. Taran, M., Rezaeian, M., & Izaddoost, M. (2006). *In vitro* antitrichomonas activity of *Allium hirtifolium* (Persian Shallot) in comparison with metronidazole. *Iranian Journal of Public Health*, 35(1), 92-94. (in Persian with English abstract).
39. Tarang, A., Kordrostami, M., Shahdi Kumleh, A., Hosseini Chaleshtori, M., Forghani Saravani, A., Ghanbarzadeh, M., & Sattari, M. (2020). Study of genetic diversity in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars of Central and Western Asia

- using microsatellite markers tightly linked to important quality and yield related traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67, 1537-1550. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00927-2>.
40. Tatanyi, P. (2001). *Chemical variation (chemo differentiation) in medicinal and aromatic plants*. In International Conference on Medicinal and Aromatic Plants. *Possibilities and Limitations of Medicinal and Aromatic Plant*, 576, 15-23. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.576.1>.
41. Tomas-Barberan, F.A., & Espin, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 853-879. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
42. Vu, Q.H., Hang, T.T.M., Yaguchi, S., Ono, Y., Pham, T.M.P., Yamauchi, N., & Shigyo, M. (2013). Assessment of biochemical and antioxidant diversities in a shallot germplasm collection from Vietnam and its surrounding countries. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60, 1297-1312. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9920-9>.
43. Zeinali Aghdam, S., Minaeian, S., Sadeghpour Karimi, M., & Tabatabaee Bafroee, A.S. (2019). The antibacterial effects of the mixture of silver nanoparticles with the shallot and nettle alcoholic extracts. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 6(4), 158-164. <https://doi.org/10.29252/JABR.06.04.05>

The Effect of Superabsorbent Polymer on Quantitative and Qualitative Characteristics of Valerian (*Valeriana officinalis* L.) under Drought Stress

M. Azizi^{1,2*}, S. Beigi¹, Z. Safaei¹, M. Mansoori³

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

2- Research Institute of Medicinal Plant, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University of Ardabil, Ardabil, Iran

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

Received: 16 January 2017

Revised: 15 February 2023

Accepted: 04 April 2020

Available Online: 05 April 2021

How to cite this article:

Azizi, M., Beigi, S., Safaei, Z., & Mansoori, M. (2025). The effect of superabsorbent polymer on quantitative and qualitative characteristics of valerian (*Valeriana officinalis* L.) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 203-216. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59445.0>

Introduction

Medicinal plants are economical important plants that are used in traditional medicine and industry as raw or processed materials. Valerian (*Valeriana officinalis* L.) is one of the important medicinal plants which belong to Valerianaceae family. The valerian rhizome and roots have been considered as a valuable medicinal plant that essential oil content (between 0.1 to 2 percent) varied according to climatic conditions of production location. Valerian needs a lot of water during the growth period and enough moisture around the roots and rhizome increase root yield. Iran is situated in an arid and semi-arid region. When a plant's minimum water requirement is not met, it experiences drought stress, which can cause severe and often irreversible damage to the crop. One effective method for improving irrigation efficiency under such conditions is the use of superabsorbent polymers. These hydrocarbon-based materials can retain large amounts of water or aqueous solutions in the plant root zone, thereby mitigating the negative effects of drought stress. Their application can enhance plant growth, extend irrigation intervals, reduce water loss, and lower irrigation costs. Generally, water efficiency, dry matter production and root development, are positive reactions to the use of superabsorbent. In this regard, Stockosorb® copolymer is potassium-based nutrients that have a high ability to absorb water and nutrients and high strength polymer maintained the water has been proven. The aims of this investigation were to study the effects of Stockosorb® hydrophilic polymers, on some morphological (root dry weight and yield, leaf area), biochemical (chlorophyll a, b), physiological (electrolyte leakage, leaf relative water content) characteristics and essential oil content and yield of valerian under drought stress.

Materials and Methods

This research was conducted in field (1×1 m²) at Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. The research was set out in a factorial experiment based on completely randomized block design. The Stockosorb® hydrophilic polymer at four concentrations (0, 100, 200, 300 gr/m²) and two irrigation period (6 and 10 day) with three replications were set as treatments and leaf area, root dry weight and yield, chlorophyll a, b, electrolyte leakage, leaf relative water content and essential oil content and yield were evaluated at the end of the growth period. The seeds of *Valeriana officinalis* were sown in protected open field for seedling production and the seedling were transplanted to the field at four-leaf stage



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59445.0>

(10 plant per plot). Stockosorb® mixed with soil, after weighing the polymers based on determined concentration. After seedling establishment, all plots were irrigated with a determined amount and equal of water.

Results and Discussion

The results showed, using Stockosorb® superabsorbent polymer be useful for water supply the plant in water stress condition. Application of this substance on some morphological, biochemical and physiological characteristics and valerian essential oil, was significant at 1% and superior to the control. According to the results obtained, Stockosorb® 300 g.m⁻² with irrigation period 6 days interval, increased leaf area, root dry yield, leaf relative water content, chlorophyll a and essential oil yield. While, the highest valerian root dry weight and essential oil content were obtained with application of Stockosorb® 200 g.m⁻² and irrigation period of 6 days interval. The highest electrolyte leakage was related to control and irrigation period 10 days interval and the maximum chlorophyll b was belonged to Stockosorb® 100 g.m⁻² with irrigation period 10 days interval.

Conclusions

Since the ultimate goal in cultivating valerian, as with other essential oil-bearing plants, is to optimize both yield and essential oil content, the findings of this study recommend the application of 300 g/m² Stockosorb polymer combined with a 6-day irrigation interval. This approach effectively mitigates drought stress and enhances all evaluated growth and yield characteristics in valerian. The highest root dry weight under drought stress was related to more accessible and preservatives water in characteristics the root zone and it found by using the middle concentrations (200 gr/m²) super absorbent polymer and irrigation period shorter (6 day). Using of mentioned treatments, according to the middle water stress, leads to increased valerian essential oil. The best root dry yield, essential oil yield, electrolyte leakage, chlorophyll a and %RWC with sufficient amounts of water and better growth conditions were achieved by application of 300 g.m⁻² Stockosorb® and irrigation period 6 days interval. In general, superabsorbent polymer was able to increase irrigation period and this was evident in qualitative and quantitative results related to the valerian in the treatment of 300 gr/m² with irrigation period 10 day and 100 g.m⁻² of polymer 6 day irrigation period. The results showed that superabsorbent polymers can enhance plant performance by influencing plant metabolic processes and providing protection against environmental stresses. Their application reduces the adverse effects of stress, contributing to the preservation and improvement of the plant's economic yield.

Keywords: Essential oil, Performance, Root, Stockosorb®

تأثیر پلیمر سوپرجاذب تحت تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی سنبل الطیب (*Valeriana officinalis* L.)

مجید عزیزی^{۱،۲*} - سمیه بیکی^۱ - زینب صفایی^۱ - میثم منصوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشت گیاهان است که باعث کاهش عملکرد در محصولاتی می‌شود که به‌صورت دائم یا دوره-ای در معرض آن قرار می‌گیرند. یکی از راهکارهای افزایش بازده آبیاری و استفاده بهینه از بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب است. در این تحقیق، تأثیر سطوح مختلف پلیمر استاکوزورب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر مترمربع) و دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز)، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار، روی برخی خصوصیات ریخت‌شناختی (سطح برگ، وزن و عملکرد خشک ریشه)، بیوشیمیایی (میزان و عملکرد اسانس)، فیزیولوژیکی (نشت الکترولیت، میزان نسبی آب برگ، میزان کلروفیل a و b) گیاه دارویی سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر ساده و متقابل این دو تیمار بر تمام صفات مورد ارزیابی معنی‌دار بود. استاکوزورب سطح ۳۰۰ گرم بر مترمربع با دور آبیاری شش روز در مقایسه با سایر تیمارها، منجر به افزایش سطح برگ (۲۰۴/۹۶ سانتی‌مترمربع)، عملکرد خشک ریشه (۰/۲۳ گرم بر مترمربع)، محتوای نسبی آب برگ (۱۱/۶۵ درصد)، کلروفیل a (۰/۶۴ میلی‌گرم بر گرم) و عملکرد اسانس (۳/۱۴ گرم بر مترمربع) گردید، درحالی‌که بیشترین وزن خشک ریشه (۱۸/۳۷ گرم بر گیاه) و درصد اسانس (۰/۶۹ درصد حجمی / وزنی) در تیمار استاکوزورب در سطح ۲۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز به دست آمد. بیشترین نشت الکترولیت (۸۳/۵۴ میکرو زیمنس بر سانتی متر) و حداکثر میزان کلروفیل b (۰/۲۶ میلی‌گرم بر گرم) به‌ترتیب مربوط به شاهد و استاکوزورب ۱۰۰ گرم بر مترمربع با دور آبیاری ۱۰ روز بود. براساس نتایج این تحقیق، استفاده از پلیمر استاکوزورب در سطح ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز جهت مهار تنش خشکی و بهبود تمامی صفات اندازه-گیری‌شده در سنبل‌الطیب پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، استاکوزورب، ریشه، عملکرد

مقدمه

گیاهان دارویی از گیاهان مهم اقتصادی هستند که به‌صورت خام یا فرآوری‌شده در طب سنتی و مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Omid-Baigi, 2006). سنبل‌الطیب با نام علمی *Valeriana L. officinalis* متعلق به خانواده Valerianaceae است. در بسیاری از

تحقیقات مقدار اسانس استخراج‌شده از ریشه‌ها (براساس وزن خشک ریشه) در گونه‌های مختلف و تحت شرایط اقلیمی مختلف بین ۰/۱ تا ۲ درصد گزارش شده است (Bos et al., 2000; Letchamo et al., 2004). این گیاه در طب سنتی برای رفع خستگی، اثرات آرام‌بخشی و همچنین درمان تشنج، دردهای عصبی و عضلانی استفاده شده و در فارماکوپه بسیاری از کشورها مانند آلمان، ریشه سنبل‌الطیب برای درمان بی‌قراری و اختلالات خواب پذیرفته شده است (Gruenwald et al., 2000; Hadley & Petry, 2003; Naghdi-badi et al., 2012).

سنبل‌الطیب با میانگین وزن خشک ریشه نه گرم (Mohammadi, 1993)، در طول دوره رویش به آب نسبتاً زیادی

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

۲- پژوهشکده گیاهان دارویی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*- نویسنده مسئول:

(*- Corresponding author's Email: Azizi@um.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59445.0>

منجر به افزایش سطح برگ و خصوصیات رشدی در شرایط تنش خشکی گردید (Beigi et al., 2015). در تحقیقی دیگر روی گیاه رزماری، استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه گردید (Zargari, 1991). میزان اسانس آویشن (Poramini et al., 2013) و ریحان (Beigi et al., 2015) نیز با استفاده از سوپرجاذب (به ترتیب ۰/۵ گرم و ۰/۳ درصد) افزایش یافت. با توجه به اهمیت آبیاری در گیاه سنبل الطیب و عدم انجام تحقیقات در مورد تأثیر تنش خشکی و تأثیر کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب بر جنبه‌های مختلف عملکرد، به خصوص ریشه و نیز اسانس گیاهان دارویی، هدف از این مطالعه ارزیابی برخی خصوصیات ریخت‌شناختی (سطح برگ، وزن و عملکرد خشک ریشه)، خصوصیات بیوشیمیایی (میزان و عملکرد اسانس)، خصوصیات فیزیولوژیکی (نشت الکترولیت، میزان نسبی آب برگ، میزان کلروفیل a و b) گیاه دارویی سنبل الطیب تحت تأثیر پلیمرهای استاکوزورب در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در کرت‌هایی با ابعاد ۱×۱ مترمربع به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید و تأثیر سه سطح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر مترمربع پلیمر سوپرجاذب استاکوزورب تحت تأثیر دو دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز) روی برخی صفات گیاه سنبل الطیب در مرحله گل‌دهی مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا بذور سنبل الطیب در نیمه دوم تیرماه جهت پرورش نشاء در زمین کشت گردید. به دلیل نیاز به نور و رطوبت جهت تسریع در جوانه‌زنی بذور، روی بذور حداکثر با ۱/۰ سانتی متر خاک‌برگ و سطح خزانه با پوشش‌های مناسبی پوشانده شد. سوپرجاذب بعد از توزین براساس غلظت‌های تعیین‌شده (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر مترمربع) با خاک کرت‌ها (جدول ۱) مخلوط گردید، سپس گیاهان در مرحله چهاربرگی (اواخر شهریورماه) داخل کرت‌ها نشاء گردیدند (۱۰ بوته به عنوان مشاهده در هر کرت با فواصل ۲۰ سانتی متر روی ردیف). بعد از استقرار نشاء، آبیاری تمامی تیمارها با فواصل شش و ۱۰ روز با یک میزان آب مشخص برای تمامی کرت‌ها انجام شد. ریزوم‌ها و ریشه‌ها، سال بعد در فصل پائیز (اواخر مهر) سال بعد جمع‌آوری گردیدند.

نیاز داشته و رطوبت کافی اطراف ریشه و ریزوم سبب افزایش عملکرد ریشه می‌گردد، درحالی‌که آب‌ایستایی سبب کاهش عملکرد و کاهش مواد مؤثره در ریزوم‌ها می‌گردد و ضروری است که از تجمع آب زیاد در اطراف ریشه جلوگیری شود (Omid-Baigi, 2006). حدود ۹۰ درصد از آب مصرفی در کشور ایران صرف تولیدات کشاورزی می‌شود، با توجه به این نکته که کشور ایران در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان همواره با مشکل کمبود آب روبه‌رو است و در صورتی‌که حداقل نیاز آبی گیاه فراهم نشود، گیاه با تنش خشکی مواجه شده و صدمات جبران‌ناپذیری به محصول وارد می‌آید، بنابراین اعمال مدیریت‌های صحیح و حفظ ذخایر رطوبتی اهمیت خاصی پیدا می‌کند. یکی از راهکارهای استفاده از منابع بهینه آب و حفظ آن، استفاده از اصلاح‌کننده‌های مصنوعی به نام پلیمرهای سوپرجاذب^۱ است. پلیمرهای سوپرجاذب از جنس هیدروکربن هستند، چندین برابر وزن خود آب جذب کرده و قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب در خاک را افزایش داده (Ghasemi & Khoshkhoo, 2008) و هنگام تنش خشکی، آب داخل پلیمرها به تدریج تخلیه شده و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد مرطوب می‌ماند، لذا با افزایش نگهداشت آب و اصلاح محیط ریشه گیاه و امکان افزایش دور آبیاری و جلوگیری از آیشویی عناصر و کودهای محلول در آب و با کاهش اتلاف آب و کاهش هزینه‌های آبیاری و حفظ گیاه از تنش‌ها به رشد مطلوب گیاه کمک می‌نمایند (Abedi-Koupai et al., 2008; Abedi-Koupai & Mesforoush, 2009) به‌طور کلی، کارایی در مصرف آب، تولید مواد خشک و توسعه ریشه، واکنش‌های مثبت گیاه به کاربرد سوپرجاذب‌ها هستند (Razban & Pirzad, 2011; Shooshtarian et al., 2010) استاکوزورب، کوپلیمر آزاد و مغذی بر پایه پتاسیم می‌باشد (Ghebru et al., 2007) که توانایی بالایی در جذب آب و مواد مغذی داشته و قدرت بالای این پلیمر در نگهداری و حفظ آب به اثبات رسیده است (Montazer, 2008). در همین راستا و در سایر تحقیقات، استفاده از سوپرجاذب باعث افزایش وزن ریشه، ارتفاع و وزن گیاه زنیان شد (Sabbagh et al., 2015). فاضلی‌رستم پور و همکاران (Fazeli-Rostampour et al., 2011) گزارش کردند که استفاده از سوپرجاذب در گیاه ذرت بر شاخص کلروفیل اثرات معنی‌دار، ولی بر محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل آبیاری (تنش خشکی) و پلیمرهای سوپرجاذب، کاهش عملکرد زیست‌توده کل، میزان کلروفیل a و b، کلروفیل کل و پروتئین در بابونه آلمانی را در شرایط کمبود آب اصلاح نمودند (Lutts et al., 1995). همچنین کاربرد پلیمرهای تراکوتم و پلیمر گیاهی اسفرزه

جدول ۱- آنالیز خاک زمین مورد استفاده
Table 1-The soil analysis of used field

هدایت الکتریکی EC (DS.m ⁻¹)	مواد آلی Organic materials (%)	کربن آلی Organic C (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	نیتروژن N (%)	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture
1.21	0.64	0.37	0.002	0.023	0.064	7.8	لومی شنی Sandy loam

حاوی دیسک‌های برگی، در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شده و پس از خنک شدن در دمای اتاق، مجدداً هدایت الکتریکی محلول (C₂) اندازه‌گیری شد و میزان نشت الکترولیت از غشاء توسط معادله (۳) محاسبه گردید (Lutts et al., 1995).

(۳)
$$= \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \times 100$$
 نشت الکترولیت از غشاء (درصد)
جهت اندازه‌گیری میزان اسانس (به روش حجمی/وزنی)، ۴۵ گرم از ریشه‌های هر نمونه، پس از خشک شدن کامل در دمای ۴۰ درجه، جهت استخراج اسانس توسط دستگاه کلونجر و با روش تقطیر با آب به مدت چهار ساعت در یک مرحله مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد اسانس از حاصل ضرب محتوای اسانس گیاهان در وزن خشک مربوطه محاسبه شده و براساس میلی‌لیتر در تک‌بوته مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری JMP8، مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات ساده و متقابل تیمارها (دور آبیاری و سطوح مختلف سوپرجاذب استاکوزورب) برای تمام صفات مورد بررسی در این تحقیق، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. طبق جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، مربوط به اثرات متقابل تیمارها، کمترین مقادیر به‌دست‌آمده در مورد تمام صفات اندازه‌گیری‌شده به‌غیر از نشت الکترولیت مربوط به شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز بود.

اثر تیمارها بر صفات مورد اندازه‌گیری سطح برگ

یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در برگ‌ها و در نهایت کوچک‌تر شدن اندازه آن‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد که تنش خشکی باعث کاهش قدرت رشد سلولی شده و کاهش سطح برگ، کاهش کلروفیل و فتوسنتز را به همراه داشته است (Selahvarzi et al., 2008). تغییر در سطح برگ در کاهش جذب تشعشع مؤثر بوده و کاهش میزان

سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج مدل Delta T اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن و عملکرد ریشه-های خشک، ریشه‌های گیاه پس از خشک کردن در دمای ۴۰ درجه (Upton et al., 1999) با استفاده از ترازوی دیجیتالی مدل AND GF-3000 با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. به‌منظور اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b، در این آزمایش، روش در و همکاران مورد استفاده قرار گرفت (Dere et al., 1998). ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگی تازه را در هاون چینی کوبیده و سپس در پنج میلی‌لیتر حلال متانول ۹۶ درصد حل گردید. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه توسط دستگاه سانتریفیوژ مدل HERMLE Z200A، سانتریفیوژ شده، سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل CECIL CE2502، میزان جذب در طول موج‌های ۶۵۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۶۶ نانومتر برای کلروفیل b قرائت شد. عدد به‌دست‌آمده از هر طول موج جهت تعیین غلظت هر کدام از رنگیزه‌ها در معادله‌های زیر قرار گرفت.

$$\begin{aligned} Ca &= 15.65(A666) - 7.340(A653) \\ Cb &= 27.05(A653) - 11.21(A666) \\ Ct &= Ca + Cb \end{aligned} \quad (۱)$$

جهت تعیین محتوای نسبی آب برگ، از جوانترین برگ بالغ در هر بوته، ۱۰ عدد دیسک برگی تهیه و برای تعیین وزن تر، نمونه‌ها بلافاصله توزین گردید (FW). سپس تمام نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و تاریکی در آب مقطر غوطه‌ور گردیده و پس از آن، وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها تعیین گردید (DW). با استفاده از معادله (۲)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) محاسبه گردید (Schonfeld et al., 1988).

$$RWC(\%) = \left[\frac{FW - DW}{TW - DW} \right] \times 100 \quad (۲)$$

به‌منظور تعیین پایداری غشاء سلول در برگ‌ها، از اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی استفاده گردید. به این منظور، ۱۰ عدد دیسک برگی از جوان‌ترین برگ بالغ در هر بوته تهیه و بلافاصله دو بار با آب مقطر شست‌وشو داده شد و سپس داخل ظروف درب‌دار پلاستیکی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی محلول (C₁) اندازه‌گیری شد. پس از آن، ظروف

حرارت برگ و در نهایت کاهش سرعت تعرق را به دنبال خواهد داشت (Sodaiezhadeh et al., 2016). با توجه به نتایج به دست آمده (جدول ۳) در این تحقیق، بیشترین سطح برگ (۲۰۴/۹۶ سانتی متر مربع) در تیمار اثر متقابل استاکوزورب ۳۰۰ گرم در مترمربع با دور آبیاری شش روز به دست آمد و کمترین سطح برگ مربوط به شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز بود. نتایج نشان می دهند که در دور آبیاری شش روز، با کاهش میزان سوپرجاذب به گرم بر مترمربع ۱۰۰، مهار تنش خشکی در صفت سطح برگ با شاهد تفاوت معنی داری نداشت. طبق نتایج حاصل، پلیمر مورد استفاده در غلظت بیشتر (۳۰۰ گرم بر مترمربع) و دور آبیاری کوتاه تر (شش روز) توانایی ایجاد سطح برگ مطلوب در سنبل الطیب را دارا بود و منجر به افزایش تقریباً ۱/۵ برابری سطح برگ نسبت به شاهد با دور آبیاری شش روز شد. در دور آبیاری ۱۰ روز، سطوح مختلف سوپرجاذب (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم در

مترمربع) نسبت به شاهد، در مهار تنش خشکی برای صفت سطح برگ یکسان عمل نموده و تفاوت معنی داری بین آن ها مشاهده نگردید، اما با حفظ ۱/۵ برابری سطح برگ نسبت به شاهد، منجر به جلوگیری از آثار مخرب تنش خشکی در صفت سطح برگ گردید. براساس نتایج حاصل، سوپرجاذب با افزایش دور آبیاری نیز توانایی مقابله با تنش خشکی را دارا بود. کاهش سطح برگ در اثر تنش خشکی در گیاهان دارویی ننا (Abbaszadeh et al., 2008)، بومادران (Sharifi Ashoorabadi et al., 2009) و همچنین تأثیر مثبت استفاده از سوپرجاذب بر سطح برگ گیاهان در شرایط تنش خشکی توسط قاسمی و خوشخوی (Ghasemi & Khoshkhoo, 2008) و فاضلی رستم پور و همکاران گزارش شده است (Fazeli-Rostampour et al., 2011).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات دور آبیاری (روز) و سطوح پلیمر سوپرجاذب روی برخی خصوصیات ریخت شناختی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و اسانس سنبل الطیب

Table 2- The ANOVA results for the effects of irrigation period (day) and superabsorbent polymer levels on some morphological, biochemical, physiological characteristic, and essential oil traits of *Valeriana officinalis*

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	سطح برگ Leaf area	وزن خشک ریشه Root dry weight	عملکرد خشک ریشه Root dry yield	کلروفیل a Chlorophyll a content	کلروفیل b Chlorophyll content b	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای آب نسبی برگ RWC	میزان اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	291.79 ^{ns}	1.78 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	49.60 ^{ns}	39 ^{ns} .1	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}
سطح پلیمر سوپرجاذب Superabsorbent polymer level (SPL)	3	2373.54 ^{**}	76.95 ^{**}	0.0122 ^{**}	0.0333 ^{**}	0.0145 ^{**}	4618.47 ^{**}	74 ^{**} .31	0.168 ^{**}	0.315 ^{**}
دور آبیاری Irrigation period (IP)	1	25544.72 ^{**}	215.52 ^{**}	0.0408 ^{**}	0.0220 ^{**}	0.0334 ^{**}	1181.46 ^{**}	08 ^{**} .61	0.158 ^{**}	0.968 ^{**}
SPL × IP	3	1171.51 ^{**}	48.53 ^{**}	0.0023 ^{**}	0.0089 ^{**}	0.0050 ^{**}	162.48 [*]	89 ^{**} .3	0.019 ^{**}	0.187 ^{**}
خطا	14	249.93	1.07	1.6369	0.0016	0.002	44.27	63.0	۵۰.000	0.004

ns, *, **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و $p \geq 0.1$ و $p \leq 0.05$ و $p \leq 0.01$ Levels, respectively.

جدول ۳- اثرات ساده و متقابل دور آبیاری (روز) و غلظت‌های پلیمر سوپرجاذب روی برخی صفات ریخت‌شناختی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی سنبل‌الطیب

Table 3- The simple and interaction effects of irrigation period (day) and superabsorbent polymer levels on some morphological, biochemical, physiological characteristic and essential oil of <i>Valeriana officinalis</i>						
تیمارها Treatment	سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.plant ⁻¹)	کلروفیل a Chlorophyll content a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll content b (mg.g ⁻¹)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (μS.cm ⁻¹)	محتوای آب نسبی برگ RWC (%)
استاکوزورب						
Stockosorb (g.m ⁻²)						
0	118.64 c*	3.35 d	0.39 c	0.14 c	17.54 d	3.51 d
100	132.60 bc	4.99 c	0.50 b	0.22 a	38.80 c	4.86 c
200	150.63 ab	11.14 a	0.50 b	0.19 ab	53.96 b	6.31 b
300	163.90 a	9.01 b	0.57 a	0.17 bc	83.50 a	8.88 a
فواصل آبیاری						
Irrigation period (day)						
6	174.07 a	10.12 a	0.52 a	0.17 a	52.35 a	7.48 a
10	108.82 b	4.12 b	0.46 b	0.19 a	44.55 b	4.29 b
استاکوزورب × فواصل آبیاری						
Stockosorb (g.m ⁻²) × irrigation period (day)						
0×6	166.33 b	4.92 d	0.43 c	0.14 c	50.99 c	4.79 cd
100×6	151.06 bc	7.05 c	0.48 bc	0.17 bc	41.99 c	5.79 c
200×6	173.92 b	18.37 a	0.53 b	0.22 ab	28.94 d	7.71 b
300×6	204.96 a	10.14 b	0.64 a	0.16 c	11.26 e	11.65 a
0×10	70.96 e	1.78 f	0.35 d	0.15 c	83.54 a	2.22 e
100×10	114.14 d	2.93 ef	0.52 b	0.26 a	65.94 b	3.93 d
200×10	127.34 cd	3.92 de	0.46 bc	0.17 bc	48.45 c	4.91 cd
300×10	122.84 d	7.87 c	0.50 b	0.19 bc	23.82 d	6.12 c

* تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری (آزمون LSD) در سطح احتمال $p \leq 0.05$ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* There no significant difference statistically at the $p \leq 0.05$ probability level (LSD test) between the treatments with at least one letter in common.

وزن خشک ریشه

آبیاری (شش روز)، افزایش یافت (۱۸/۳۷ گرم در گیاه) (شکل ۱) و کمترین وزن خشک ریشه (۲/۹۳ گرم در گیاه) مربوط به شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز بود. وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با دور آبیاری شش روز و ۳۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با دور آبیاری ۱۰ روز، تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین با دور آبیاری بیشتر، نیاز به غلظت بالاتر سوپرجاذب جهت مهار تنش خشکی برای این صفت می‌باشد. به همین دلیل، نتایج کاربرد ۱۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با شاهد در دور آبیاری ۱۰ روز تفاوت معنی‌داری را از نظر صفت وزن خشک ریشه نشان ندادند. در این آزمایش مشخص گردید که بوته‌های گیاه سنبل‌الطیب که تحت تنش خشکی قرار داشتند با تولید ریشه‌های نازک‌تر در پاسخ به تنش خشکی از یک راهبرد مناسب استفاده کرده و بدین وسیله جذب عناصر غذایی را با حداقل صرف انرژی ادامه دادند. کاهش وزن خشک ریشه با افزایش تنش خشکی در سایر تحقیقات در گیاه دارویی آویشن (Babae et al., 2010) و رزماری (Petropoulos et al., 2008) و همچنین کاهش

مطالعه در مورد اثر تنش رطوبتی خاک بر توسعه سیستم ریشه‌ای گونه‌های گیاهی مختلف به‌عنوان معیاری جهت تعیین مقاومت به خشکی و پتانسیل تولید در شرایط تنش می‌باشد. اگرچه کل رشد گیاه در خلال تنش خشکی کاهش می‌یابد، ریشه در مقایسه با رشد اندام‌های هوایی، به‌خصوص رشد برگ‌ها، در این شرایط از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار است (Vahidi et al., 2012). توسعه ریشه‌های گیاه علاوه‌بر اینکه یک صفت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی که در آن رشد می‌کند نیز وابسته است (Alizadeh, 1995). کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه در اثر افزایش تنش خشکی، دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء گیاه در اثر این پدیده محیطی دارد. همچنان که در اثر تنش خشکی، فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند، به‌دنبال آن رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌گردد (Mokhtari & Baradaran, 2011). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که وزن خشک ریشه با استفاده از پلیمر استاکوزورب ۲۰۰ گرم در مترمربع و کاهش دور

وزن تر و خشک ریشه در گیاه مرزه نیز به اثبات رسیده است (Mirza *et al.*, 2004).

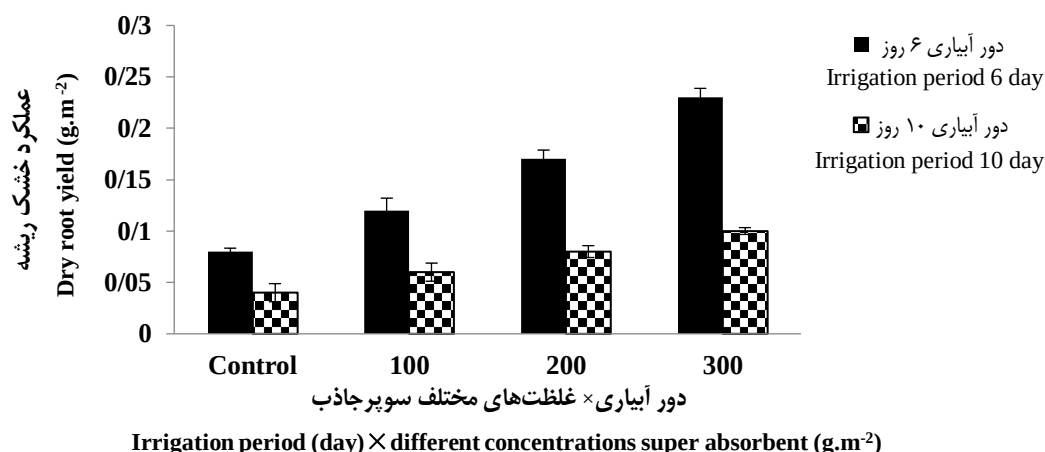
عملکرد خشک ریشه

رشد رویشی در گیاهان تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که از مهم‌ترین این عوامل میزان آب در دسترس می‌باشد. عملکرد گیاه رابطه مستقیمی با سطح برگ و میزان کلروفیل برگ‌ها دارد (Vahidi *et al.*, 2012). در شرایط تنش، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس سلول، ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل‌ها باشد (Lawlor & Cornic, 2002). نتایج این تحقیق نشان داد (شکل ۲) که پلیمر استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور

آبیاری کوتاه‌تر (شش روز)، از طریق افزایش سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ (RWC) و در نتیجه مهیا ساختن نیازهای رشدی گیاه، منجر به افزایش عملکرد ریشه‌ها و ریزوم‌های گیاه سنبل‌الطیب (۲۳/۰ گرم بر مترمربع) گردید. کاهش عملکرد ریشه خشک با کاهش مقدار سوپرچاذب مشاهده گردید و با افزایش دور آبیاری به ۱۰ روز، کاهش عملکرد خشک ریشه با کاهش مقدار سوپرچاذب شدیدتر بود. دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد سوپرچاذب در غلظت‌های ۲۰۰ و ۱۰۰ گرم بر مترمربع با شاهد اختلاف معناداری را نشان نداد، بنابراین نتایج نشان می‌دهد که جهت افزایش عملکرد ماده خشک تحت شرایط تنش خشکی بیشتر، نیاز به مقادیر بیشتری سوپرچاذب می‌باشد. کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه در اثر تنش خشکی در مرزه (Mokhtari & Baradaran, 2011) در سایر تحقیقات نیز به اثبات رسیده است.



شکل ۱- ریشه سنبل‌الطیب با تیمار استاکوزورب ۳۰۰ گرم در مترمربع و دور آبیاری شش روز (راست) و شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز (چپ)
Figure 1-The valerian root treated with Stockosorb 300 g.m⁻² and 6 days irrigation period (right) and control plant treated with 10 days irrigation period (left)



شکل ۲- اثر متقابل دور آبیاری (روز) × سطوح مختلف سوپرچاذب بر عملکرد ریشه خشک گیاه سنبل‌الطیب
Figure 2- The interaction effects of irrigation period (day) × different levels of superabsorbent on the dry root of valerian (LSD, $p \leq 5\%$)

میزان کلروفیل a و b (mg.g⁻¹)

۲۰۰ گرم بر مترمربع) در دور آبیاری ۱۰ روز نسبت به شاهد با دور آبیاری شش روز توانایی مهار تنش خشکی و افزایش محتوای نسبی آب برگ را دارا بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال تنش خشکی بیشتر (دور آبیاری ۱۰ روز) و بدون استفاده از سوپرجاذب (شاهد)، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (جدول ۳) و کمترین پتانسیل آب برگ متعلق به شاهد (بدون پلیمر استاکوزورب و آبیاری ۱۰ روز) بود. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده، محتوای نسبی آب برگ، در بالاترین مقدار سوپرجاذب (۳۰۰ گرم بر مترمربع) با دوره‌های آبیاری متفاوت (۶ و ۱۰ روز)، افزایش تقریباً ۲/۵ برابری را نسبت به شاهد هر تیمار نشان داد. نتایج این تحقیق با نتایج کاهش رطوبت نسبی آب برگ با تنش خشکی در گیاه یونجه (Li Wen et al., 2006) و سنبل الطیب (Kubis et al., 2014) مطابقت داشت.

نشت الکترولیت

پایداری غشاء از خصوصیات فیزیولوژیک است که تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. تنش‌های محیطی از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول، موجب کاهش پایداری غشاء و نشت مواد سیتوپلاسمی از آن شده و افزایش نسبت هدایت الکتریکی بعد از اتوکلاو را به دنبال دارد. توانایی هر چه بیشتر خنثی-سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفظ پایداری غشاهای سلولی، باعث حفظ و تداوم فعالیت‌های حیاتی سلول و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی بیشتر خواهد شد (Azari et al., 2012). در این تحقیق، بیشترین پایداری غشاء در تیمار استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع با دور آبیاری شش روز مشاهده گردید و تنش خشکی در شاهد (بدون کاربرد پلیمر سوپرجاذب)، با افزایش دور آبیاری (۱۰ روز) باعث افزایش معنی‌دار درصد نشت الکترولیت‌ها از غشاء در گیاه سنبل الطیب شد. با توجه به نتایج به دست آمده در هر دو دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز)، تیمار سوپرجاذب در مقدار ۱۰۰ گرم بر مترمربع توانایی حفظ پایداری غشاء و کاهش نشت الکترولیت، به صورت مؤثر را دارا نبود، در صورتی که نتایج جلوگیری از افزایش نشت الکترولیت در تیمار سوپرجاذب با مقدار ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری ۱۰ روز با مقدار ۲۰۰ گرم بر مترمربع سوپرجاذب و دور آبیاری شش روز، برابری داشت. افزایش میزان نشت الکترولیت با افزایش تنش خشکی، در گیاهان ماریتیغال (Daliri et al., 2010) و سنبل الطیب (Mustafavi et al., 2015) در سایر تحقیقات هم‌سو با نتایج این پژوهش بود.

تغییرات محتوای رطوبتی برگ و غلظت کلروفیل a و b به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Saneoka et al., 2004). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a (۰/۶۴ میلی گرم بر گرم) مربوط به تیمار اثر متقابل استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز بود و با کاهش مقدار سوپرجاذب و افزایش دور آبیاری، مقدار کلروفیل a کاهش یافت، در صورتی که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای حاوی سوپرجاذب با غلظت کمتر (۲۰۰ و ۱۰۰ گرم بر مترمربع) با دوره‌های آبیاری متفاوت مشاهده نگردید. کمترین مقدار کلروفیل a به ترتیب متعلق به شاهد با دور آبیاری ۱۰ و ۶ روز بود. به نظر می‌رسد که دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی، افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت رنگیزه‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌باشد (Moslemi, 2010). نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی، رابطه بین سطح برگ و میزان کلروفیل به صورت کاهشی بود و سوپرجاذب به عنوان یک ماده جذب کننده آب و سایر محلول‌ها در جلوگیری از شست و شوی نیتروژن از اطراف ریشه گیاه اثر مثبت داشته و وجود نیتروژن باعث افزایش رنگ گردیده است (Sheikhi et al., 2009).

بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۲۶ میلی گرم بر گرم) مربوط به اثر متقابل تیمار استاکوزورب ۱۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری ۱۰ روز بود. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی در گیاه ماریتیغال (Daliri et al., 2010) و اثرات مثبت سوپرجاذب با وجود تنش خشکی در گیاه بابونه (Razban & Pirzad, 2011) هم‌سو با نتایج این تحقیق گزارش شده است.

محتوای نسبی آب (RWC)

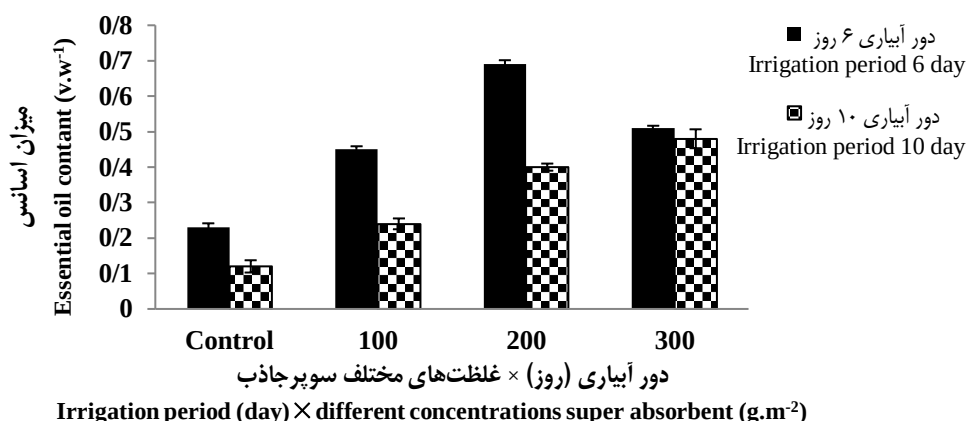
محتوای نسبی آب معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است که به عنوان یک شاخص انتخابی جهت تحمل به خشکی پیشنهاد شده است (Teulate et al., 1997). کاهش محتوای نسبی آب بین گیاهان و گونه‌های مختلف، متفاوت بوده و افت کمتر محتوای نسبی آب در اثر تنش خشکی، نشان دهنده ثبات عملکرد بالاتر گیاه است (Sheikhi et al., 2009). کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق در گیاه از عوامل دخیل در کاهش محتوای نسبی آب شناخته شده‌اند (Tarumingkeng & Coto, 2003).

با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین محتوای نسبی آب برگ در راستای افزایش سطح برگ و افزایش عملکرد خشک ریشه، در اثر متقابل تیمار پلیمر استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز حاصل گردید. همچنین مقادیر بالای سوپرجاذب (۳۰۰ و

میزان و عملکرد اسانس

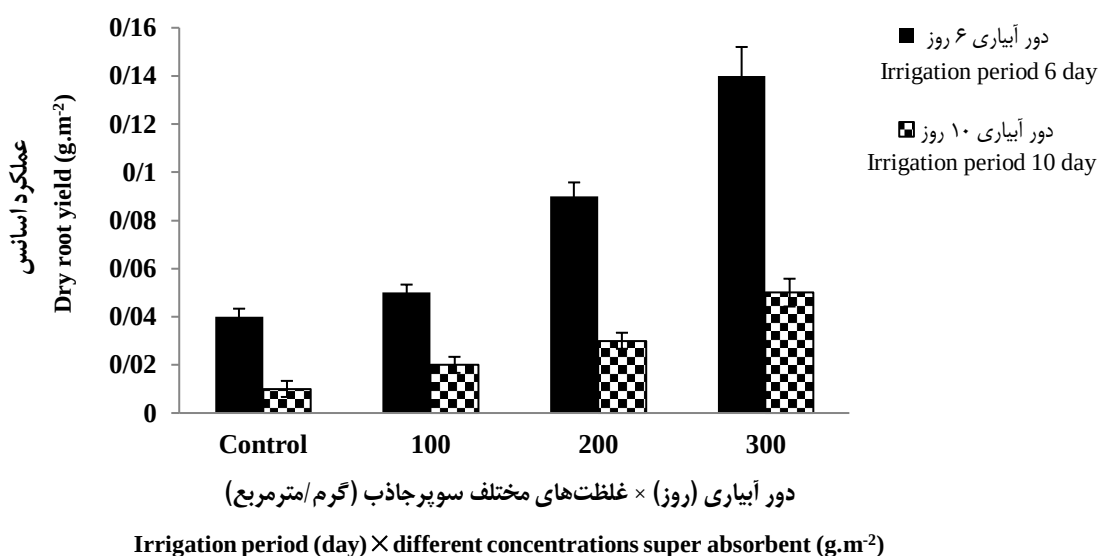
و بیوشیمیایی بسیاری هستند و این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در سلول‌ها و در نهایت کمک به مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌گردد، اما عملکرد اسانس، به علت کاهش عملکرد گیاه و اثر متقابل میزان اسانس با عملکرد گیاه، در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Aliabadi et al., 2009).

تنش خشکی، درصد اسانس اکثر گیاهان دارویی (البته نه همه آن‌ها) را افزایش می‌دهد، چون در موارد تنش‌های محیطی در اثر بیان ژن بعضی آنزیم‌ها در گیاه، اغلب متابولیت‌های بیشتری مانند ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، اسانس‌ها تولید شده که دارای خواص زیست‌فعال



شکل ۳- اثر متقابل دور آبیاری (روز) × غلظت‌های مختلف سوپرجاذب بر میزان اسانس گیاه سنبل‌الطیب

Figure 3- The interaction effects of irrigation period (day) × different levels of superabsorbent on the essential oil content of valerian (LSD, $p \leq 5\%$)



شکل ۴- اثر متقابل دور آبیاری (روز) × غلظت‌های مختلف سوپرجاذب بر عملکرد اسانس گیاه سنبل‌الطیب

Figure 4- The interaction effects of irrigation period (day) × different amounts of superabsorbent on the essential oil of valerian (LSD, $p \leq 5\%$)

مقدار اسانس را به خود اختصاص داد (شکل ۳) و تنش شدید در شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز منجر به کاهش میزان اسانس ریشه گیاه سنبل-الطیب گردید، درحالی‌که بیشترین عملکرد اسانس به تیمار

نتایج حاصل از اثر متقابل پلیمر سوپرجاذب و دور آبیاری در گیاه سنبل‌الطیب نشان داد که پلیمر استاکوزورب در غلظت متوسط (۲۰۰ گرم بر مترمربع) همراه با کمترین دور آبیاری (شش روز) بالاترین

افزایش یافتند. نتایج مربوط به بررسی محتوای نسبی آب برگ نشان داد که با افزایش تنش خشکی (دور آبیاری ۱۰ روز) و به‌ویژه بدون استفاده از تیمار پلیمر سوپرجاذب (شاهد) محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، در صورتی که با استفاده از تیمار سوپرجاذب در مقادیر بالاتر (۲۰۰ و ۳۰۰ گرم در مترمربع)، تنش خشکی برای هر دو دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز) مهار گردید.

با به‌کارگیری تیمار ۳۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب، وزن خشک ریشه با کمتر قرار گرفتن در معرض تنش خشکی، به‌دلیل قابل دسترس‌تر بودن آب و مواد نگه‌دارنده آب در منطقه ریشه، با استفاده از غلظت متوسط (۲۰۰ گرم در مترمربع) پلیمر سوپرجاذب و دور آبیاری کوتاه‌تر (شش روز)، بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد و از آنجایی که در بعضی گیاهان دارویی، تنش متوسط آبی منجر به افزایش اسانس آن‌ها می‌گردد، استفاده از مقدار مذکور، میزان اسانس سنبل‌الطیب را نیز افزایش داد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از پلیمر استاکوزورب علاوه بر مهار تنش خشکی به‌دلیل قابلیت نگه‌داری آب جذب‌شده تحت فشار و قرار دادن آن در دسترس ریشه به‌محض نیاز گیاه، قادر به افزایش دور آبیاری می‌باشد و این موضوع در نتایج کمی و کیفی مربوط به گیاه سنبل‌الطیب در تیمار ۳۰۰ گرم در مترمربع پلیمر با دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۰۰ گرم با دور آبیاری شش روز کاملاً مشهود بود. بنابراین این امکان وجود دارد که با افزایش سطح این پلیمر تا حدی که منجر به کاهش عملکرد ریشه به‌علت آب‌ایستایی نشود و یا با استفاده از سایر پلیمرهای سوپرجاذب، بتوان با افزایش دور آبیاری، حداکثر کمیت و کیفیت را در تمام صفات گیاه سنبل‌الطیب حاصل نمود، که نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه دارد. کاهش استفاده از آب تا زمانی که از آستانه عملکرد اقتصادی گیاه کاسته نشود، ضروری است و نتایج این پژوهش نشان داد که پلیمرهای سوپرجاذب توانایی افزایش عملکرد گیاهان از طریق تغییرات متابولیسمی گیاه و حفاظت آن‌ها در برابر تنش‌های محیطی را دارا بوده و کاربرد آن‌ها باعث کاهش اثرات تنش در گیاهان شده و منجر به حفظ بقاء و تولید عملکرد اقتصادی گیاهان می‌گردد.

استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز اختصاص یافت (شکل ۴). در همین راستا، محمدی عنوان نمود که میزان اسانس سنبل‌الطیب تحت تنش ملایم افزایش می‌یابد (Mohammadi, 1993). افزایش میزان اسانس در اثر تنش خشکی در دو گونه ریحان شیرین و آمریکایی نیز گزارش شد (Khalid et al., 2006). افزایش میزان اسانس و کاهش عملکرد آن در اثر تنش خشکی، در دو گونه مختلف علف لیمو (Fatima et al., 2005) و بادرنجبویه (Aliabadi et al., 2009) نیز در تحقیقات دیگر به اثبات رسیده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تیمار دور آبیاری و استفاده از پلیمر سوپرجاذب تأثیر معنی‌داری بر تمام صفات مورد ارزیابی داشت. با توجه به اینکه سنبل‌الطیب گیاه دارویی با نیاز آبی نسبتاً بالا می‌باشد، تنش خشکی، طی دوره‌های آبیاری متفاوت، مشخصه‌های ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و اسانس این گیاه را تحت تأثیر قرار داد و پلیمر سوپرجاذب منجر به مهار تنش خشکی و بهبود شرایط کمی و کیفی گیاه گردید. استاکوزورب در بیشترین مقدار (۳۰۰ گرم در مترمربع) با حفظ ۱/۵ برابری سطح برگ نسبت به شاهد (با دور آبیاری ۶ و ۱۰ روز)، منجر به جلوگیری از آثار مخرب تنش خشکی در صفت سطح برگ گردید. عملکرد خشک ریشه و عملکرد اسانس در یک راستا و با کاربرد ۳۰۰ گرم در مترمربع استاکوزورب و دور آبیاری کوتاه‌تر (شش روز) به‌دلیل مهیا بودن شرایط رشدی بهتر در حضور مقادیر کافی آب، افزایش یافت. بیشترین مقدار سوپرجاذب (۳۰۰ گرم در مترمربع) با دور آبیاری شش روز، بهترین نتیجه را در صفت نشت الکترولیت نشان داد. جهت افزایش پایداری غشاء سلول و کاهش نشت الکترولیت، با افزایش دور آبیاری، باید سوپرجاذب در مقادیر بالاتری مورد استفاده قرار گیرد. بیشترین مقدار کلروفیل a و b به‌ترتیب در تیمار ۳۰۰ و ۱۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با دور آبیاری ۶ و ۱۰ به دست آمد. کلروفیل a و b در شرایط تحت تنش بیشتر (دور آبیاری ۱۰ روز) با به‌کارگیری تیمار سوپرجاذب در تمام مقادیر نسبت به شاهد با دور آبیاری ۶ و ۱۰ روز

References

1. Abbaszadeh, B., Sharifi Ashoorabadi, E., Ardakani, M.R., & Aliabadi, F.H. (2008). *Effect of drought stress on quantitative and qualitative of mint*. Abstracts Book of 5th International Crop Science Congress and Exhibition, Korea p. 23.
2. Abedi-Koupai, J., Sohrab, F., & Swarbrick, G. (2008). Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal Plant Nutrition*, 31, 317-331. <https://doi.org/10.1080/01904160701853928>
3. Abedi-Koupai, J., & Mesforoush, M. (2009). Evaluation of superabsorbent polymer application on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Irrigation and Drainage*, 3(2), 100-111. (in Persian with English abstract)

4. Aliabadi, F.H., Valadabadi, S.A.R., Daneshian, J., & Khalvati, M.A. (2009). Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal Medicinal Plant Reserch*, 3(5), 329–33. <http://www.academicjournals.org/JMPR>
5. Alizadeh, A. (1995). *Soil and Plant Water Relations*. 2th ed. Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, Iran. pp 376. (in Persian)
6. Azari, A., Modares Sanavi, S.A.M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A.M., & Alizadeh, B. (2012). Effect of salt stress on morphological and physiological traits of two species of rapeseed (*Brassica napus* and *B. rapa*), *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(2), 121-135. (in Persian). <https://dorl.net/20.1001.1.15625540.1391.14.2.3.6>
7. Babaee, K., Amini-Dahghi, M., Modares-Sanavi, S.A.M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 239-251. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>
8. Beigi, S., Azizi, M., Nemati, S.H., & Rowshan, V. (2015). Effect of terracottem superabsorbent and *Plantago ovata* mucilage on some morphological, biological properties, water use efficiency and essential oil in *Ocimum basilicum* L. var. "Keshkeny levelu". *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(5), 763-775. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103613>
9. Bos, R., Henderiks, H., Prass, N., Stojanova, A.S.N, & Georgiev, E.V. (2000). Essential oil composition of *Valeriana officinalis* ssp collina cultivated in Bulgaria. *Journal of Essential Oil Research*, 12, 313-316. <https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699524>
10. Dere, S., Gunes, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Journal of Botany*, 22, 13-17.
11. Daliri, R., Shokrpour, M., Asghari, A., Sphandyare, E.A., & Seiedsharifi, R. (2010). Evaluate different ecotypes *Silybum marianum* in terms of drought tolerance in the hydroponic medium. *Journal Science and Technology. Greenhouse Culture*, 1(1), 9-17. (in Persian)
12. Fatima, S., Farooqi, A.H.A., & Sangwan, R.S. (2005). Water stress mediated modulation in essential oil, proline and polypeptide profile in palma- rosa and citronella java. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 11(1), 153.
13. Fazeli-Rostampour, M., Saghe-Eslami, M.J., & Mousavi, Gh.R. (2011). Effect of drought stress and superabsorbent on relative water content and leaf chlorophyll index and its relationship with grain yield in corn. *Journal of Crop Physiology, Islamic Azad University*, 2(1), 19-31. (in Persian)
14. Ghasemi, M., & Khoshkhoo, M. (2008). Effects of superabsorbent polymer on irrigation interval and growth and development of chrysanthemum (*Dendranthema × grandiflorum* kitam syn. *Chrysanthemum morifolium* ramat.). *Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(2), 65-82. (in Persian)
15. Ghebru, M.G., Du Toit, E.S., & Steyn, J.M. (2007). Water and nutrient retention by Aquasoil® and Stockosorb® polymers. *South African Journal of Plant and Soil*, 24(1), 32-36. <http://doi.org/10.1080/02571862.2007.10634778>
16. Gruenwald, J., Brendler, T., & Jaenicke, C. (2000). *PDR for Herbal Medicine*. Medical Economics Company. USA. pp 783-785.
17. Hadley, S., & Petry, J.J.V. (2003). Valerian. *American Family Physician*, 67(8), 1755-1758.
18. Khalid, Kh.A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20(4), 289-296.
19. Kubis, J., Floryszak-Wieczorek, J., & Arasimowicz-Jelonek, M. (2014). Polyamines induce adaptive responses in water deficit stressed cucumber roots. *Journal of Plant Research*, 127, 151-158. <https://doi.org/10.1007/s10265-013-0585-z>
20. Lawlor, D.W., & Cornic, G. (2002). Photosynthtic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higer plant. *Cell and Enviroment*, 25, 275-249. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
21. Letchamo, W., Ward, W., Heard, B., & Heard, D. (2004). Essential oil of *Valeriana officinalis* L. cultivars and their antimicrobial activity as influenced by harvesting time under commercial organic cultivation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3915-3919. <https://doi.org/10.1021/jf0353990>
22. Li Wen, R., Zhang, S.Q., & Shan, L. (2006). *Effect of water stress on chlorophyll fluorescence parameters and activity of antioxidant enzyme in alfalfa (Medicago sativa L.) seedlings*. In: The First International Conference on the Theory and Practices in Biological Water Saving (ICTPB), Beijing China.
23. Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1843–1852. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.12.1843>
24. Mirza, M., Bahernik, Z., & Abaszadeh, B. (2004). Evaluation of quantitative and qualitative changes savory essential oil (*Satureja hortensis* L.) during drought on the farm. *Research Institute of Forests and Rangelands*, 21, 76-88. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.139161.903>

25. Mohammadi, Gh. (1993). *Result of Culture of Medicinal Plants in first stage*. Research Institute of Forests Rangelands Iran. pp. 45.
26. Mokhtari, A., & Baradaran, R. (2011). *The effect of drought stress on some growth indices of Savory*. p. 1-5. In the First Regional Conference Ecophysiology of Crops, 18 May. Islamic Azad University Branch of Shushtar, Shushtar, Iran. (in Persian)
27. Montazer, A.A. (2008). Stockosorb® effect of superabsorbent polymers on soil infiltration parameters in advance and furrow irrigation method. *Journal of Soil and Water. Agricultural Sciences and Technology*, 22(2), 342-357. (in Persian)
28. Moslemi, Z. (2010). Effect of super absorbent polymer and bio-fertilizers on corn growth and yield under normal and drought conditions. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University Branch of Karaj, Karaj, Iran. pp. 100. (in Persian).
29. Mustafavi, S.H., Shekari, F., Nasiri, Y., & Hatami-Maleki, H. (2015). Nutritional and biochemical response of water-stressed valerian plants to foliar application of spermidine. *Biological Forum- an International Journal*, 7(1), 1811-1815.
30. Naghdi-Badi, H., Lotfi-Zad, M., Ghavami, N., Mehrafarin, A., & Khavazi, K. (2012). Response quality and quantity herb valerian (*Valeriana officinalis* L.) to use biological and chemical fertilizers phosphorus. *Journal of Medicinal Plants*, 2(46), 25-37. (in Persian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2013.12.46.3.6>
31. Omid-Baigi, R. (2006). *Production and Processing of Medicinal Plants*. 5th ed. Vol 3. Behnashr Publications, Mashhad, Iran. pp. 397. (in Persian)
32. Razban, M., & Pirzad, A.R. (2011). Evaluate the effect of varying amounts of super absorbent under different irrigation regimes on growth and water deficit tolerance of german chamomile (*Matricaria Chamomilla*), as a second crop *Journal Sustainable Agricultural Production Science*, 21(4), 137-123. (in Persian with English abstract)
33. Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M.G., & Passam, H.C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Science Horticultural*, 115(4), 393-397.
34. Poramini, P., Habibi, H., Fatocian, M.H., & Falah-Nosratabadi, A. (2013). *Biological fertilizer and super absorbent Thiobacillus impact on yield and quality of thyme and daenensis*. Congress 1th on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan, Iran. p. 1-11.
35. Sabbagh, E., Daneshian, J., Sayfzadeh, S., Sabbagh Sharaf Abadi, S.K., & Fanaei, H.R. (2015). Influence of super absorbent, drought stress and nitrogen fertilizer on some characteristic of *Trachyspermum ammi*. *Biological Forum Journal*, 7(1), 1023-1029.
36. Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*, 52, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.011>
37. Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., & Marhinweg, D.W. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indication. *Crop Science*, 28, 526-531. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x>
38. Selahvarzi, Y., Tehranifar, A., & Gezanchian, A. (2008). Search physio-morphological changes under drought stress and rewatering in endemic and exotic. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(3), 193-204. (in Persian)
39. Sharifi Ashoorabadi, E., Lebaschi, M.H., Naderi, B., & Allahverdi Mamaghani, B. (2009). Effect of water deficit on yield and essential oil in (*Achillea millefolium* L.). *Journal of Enviromental Science*, 7(1), 194-204. (in Persian with English abstract)
40. Sheikhi, M., Sajedi, N.A., & Jiryaee, M. (2009). The effect of water stress on agrophysiological characteristics of different hybrids of corn. *Journal of Modern Agriculture*, 3(3), 275-286. (in Persian)
41. Shooshtarian, S., Abedi-Kupai, A., & Tehranifar, A. (2010). Evaluation of application of superabsorbent polymers in green space of arid and semi-arid regions with emphasis on Iran. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 2, 24-36. <https://www.researchgate.net/publication/303939893>
42. Sodaeizadeh, H., Shamsaei, M., Tajamolian, M., Mirmohamadi-Meibodi, S.A., & Hakimzadeh, M.A. (2016). Effect of drought stress on morphological and physiological traits *Satureja hortensis*. *Plant Process and Function*, 5(15), 1-12. (in Persian)
43. Tarumingkeng, R.C., & Coto, Z. (2003). Effects of drought stress on growth and yield of soybean. Kisman, Science Philosophy. pp. 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institute Pertainian Borgor), December 2003.
44. Teulate, B., Rekika, D., Nachit, M.M., & Monneveux, P. (1997). Comparative osmotic adjustments in barley and tetraploid wheats. *Plant Breeding*, 116, 519-523. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1997.tb02183.x>

45. Upton, R., Petrone, C., Swisher, D., Goldberg, A., Mc Guffin, M., & Pizzorno, N.D. (1999). *Valerian root valeriana officinalis analytical, quality control, and therapeutic monograph*. pp. 28 in Santa cruz, CA: American herbal pharmacopoeia (AHP).
46. Vahidi, H., Ragabi, A., Hagseidhadi, M.R., & Talghani, D. (2012). *Effects of water stress on some physiological traits and yield of sugar beet*. p. 5. Agronomy and plants Breeding Science of Iran, 12th Congress, Islamic Azad University Branch of Karaj, Karaj, Iran. (in Persian)
47. Zargari, A. (1991). *Medicinal Plants*. 5th ed. Vol 3. Tehran: Tehran University Publications, Tehran, Iran. pp. 759. (in Persian)

Expression Pattern of *AsFLC* Gene and Its Relationship with the *AsSOC1*, *AsAP1* and *AsAP2* Genes During Vernalization in Bolting, Semi- and Non-bolting Iranian Garlic (*Allium sativum* L.)

F. Ghaemizadeh¹, F. Dashti^{1*}

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

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

How to cite this article:

Received: 15 June 2024

Revised: 16 October 2024

Accepted: 16 October 2024

Available Online: 16 October 2024

Ghaemizadeh, F., & Dashti, F. (2025). Expression pattern of *AsFLC* gene and Its relationship with the *AsSOC1*, *AsAP1* and *AsAP2* genes during vernalization in bolting, semi- and non-bolting Iranian Garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 217-233. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88467.1352>

Introduction

At present, garlic (*Allium sativum* L.) production is completely dependent on asexual propagation, but a wide diversity of bolting and scape formation is observed in garlic. Based on their ability to produce flowering stem (scape), garlic clones are classified into non-bolting, semi-bolting, and bolting clones. In non-bolting clones, scape is not formed or abort at early stages. In semi-bolting clones, cessation of scape development often results in the formation of very short scape between the leaves and development of the elongated leaf-like bracts in the center of the inflorescence. In bolting clones after exposure to low temperature during autumn and winter (vernalization) and long day during spring, long and thick scape is formed which contains inflorescence with flowers. Transition from vegetative to reproductive phase and formation of scape, inflorescences and flowers in plants includes a series of continuous stages which control by several gene groups. Vernalization reduces the expression of the flowering inhibitors like *FLOWERING LOCUS C (FLC)*, resulting in increased flowering integrators expression like *SUPPRESSOR OF OVER EXPRESSION OF CONSTANT 1 (SOC1)*, *APETALA 1 (AP1)* and *APETALA 2 (AP2)*. So, a correct understanding of the vernalization control genes expression pattern will improve garlic flowering and breeding programs. The aim of this study was to investigate the relative expression of *AsFLC*, *AsSOC1*, *AsAP1* and *AsAP2* before and after vernalization in Iranian bolting, semi-bolting and non-bolting garlic clones.

Materials and Methods

In this study, three garlic clones including, bolting (Mazand Zabol), semi-bolting (Langrud), and non-bolting (Hamedan) garlic clones were selected from vegetable collection of Bu-Ali Sina university (Hamedan, Iran). At first, RNA extracted from meristems of three clones monthly, from 4 to 20 weeks after planting (for *AsFLC*, *AsSOC1*, *AsAP1* and *AsAP2* expression analysis) and from inflorescence of semi-bolting and bolting clones at 24 weeks after planting (for *AsSOC1*, *AsAP1* and *AsAP2* expression analysis) at 2 biological replicates. Then, cDNA synthesized using Oligo d(T) primer and relative expression pattern of the mentioned genes were analyzed using quantitative Real time- PCR.

Results and discussion

The highest expression of the *AsFLC* in all three clones were observed at 4 weeks after culture (before vernalization). Its expression in non-bolting clone at 4 weeks after planting was 2.03 and 1.13 times more than



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88467.1352>

bolting and semi-bolting garlic, respectively. After vernalization *AsFLC* expression decreased in the meristem of the all three clones. The decrease in the relative expression of *AsFLC* in bolting garlic occurred at a faster rate compared to the other two garlic clones. Then the relative expression of the *AsSOC1* was increased in the meristem during vegetative to reproductive transition phase (12 weeks after planting). The highest *AsSOC1* expression was observed in the meristem of bolting garlic at 12 weeks after planting which was 10.98 and 18.41 times more than the meristem of semi-bolting and non-bolting garlic, respectively. *AsAP1* was expressed in the meristem of three clones in the vegetative to reproductive phase, but its highest expression was in bolting clone at 12 weeks after planting and was 1.22 and 3.64 times more than the meristem of semi-bolting and non-bolting clone respectively. *AsAP2* was just expressed in the meristem of semi-bolting and bolting clones and after reproductive transition. The highest expression of the *AsAP2* was observed at 16 weeks after planting in the meristem of semi-bolting and bolting garlic, which was higher in bolting garlic (2.33 times) in comparison to semi-bolting garlic. Decreases in the expression of the *AsFLC* during vernalization and increases in the expression of the *AsSOC1* and *AsAP1* during vegetative to reproductive phase in the meristem may lead to scape formation in bolting garlic. However, the higher *AsFLC* and the lower *AsSOC1* and *AsAP1* expression in the meristems of non- and semi bolting garlics in comparison to bolting garlic inhibit scape formation. In non-bolting garlic scape aborts and in semi-bolting garlic short and thin scape formed in the middle of leaves. According to the results *AsSOC1* and *AsAP1* were expressed in the inflorescence of semi-bolting and bolting garlic. *AsSOC1* and *AsAP1* relative expression in the inflorescence of bolting garlic were 4.28 and 11.25 times more than semi-bolting garlic, respectively. *AsAP2* was just expressed in the inflorescence of the bolting clone but wasn't expressed in the inflorescence of semi-bolting garlic. The differences in the expression pattern of *AsSOC1*, *AsAP1* and *AsAP2* in the inflorescence of the garlic clones could be the reason of the abnormal inflorescence in semi-bolting garlic.

Conclusions

Finally, it seems that *AsFLC* is a flowering inhibitor and *AsSOC1* and *AsAP1* are flowering integrators in bolting garlic. As *AsFLC* expression decreased after vernalization and *AsSOC1* and *AsAP2* were expressed highly in the time of vegetative to reproductive transition in the meristem of all clones, and there was difference in the bolting of clones, it is suggested that these genes may influence flower induction but their low relative expression cause incomplete bolting in semi-bolting garlic and forbid bolting in non-bolting garlic.

Keywords: *Allium sativum*, Flowering inhibitor gene, Flowering integrator gene, Real-Time PCR

بررسی الگوی بیان ژن *AsFLC* و ارتباط آن با بیان ژنهای *AsSOC1*، *AsAP1* و *AsAP2* در مسیر بهارش سیر (*Allium sativum* L.) گلده، نیمه گلده و غیر گلده ایرانی

فهمیه قائمی زاده^۱ - فرشاد دشتی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

چکیده

درک الگوی بیان ژنهای مسیر بهارش در هم گروههای (کلونهای) مختلف سیر (*Allium sativum* L.) جهت نیل به گلدهی و بهبود برنامههای اصلاحی این گیاه حائز اهمیت است. بدین منظور، الگوی بیان ژنهای *AsFLC* (بازدارنده گلدهی)، *AsSOC1*، *AsAP1* و *AsAP2* (محرکهای گلدهی) در سیر گلده، نیمه گلده و غیر گلده ایرانی با استفاده از Real-Time PCR ارزیابی شد. بر ای این منظور، استخراج RNA سپس ساخت CDNA از مریستم انتهایی هر سه هم گروه (ماهیانة پس از کشت) و گل آذین سیر گلده و نیمه گلده صورت گرفت. بیشترین بیان *AsFLC* در هر سه هم گروه در چهار هفته پس از کاشت (قبل از بهارش) مشاهده شد و در سیر غیر گلده در مقایسه با سیر گلده و نیمه گلده به ترتیب ۲/۰۳ و ۱/۱۳ برابر بیشتر بود. پس از بهارش، بیان *AsFLC* در هر سه هم گروه کاهش و بیان *AsSOC1*، *AsAP1* در مرحله تبدیل مریستم رویشی به زایشی افزایش یافت. بیشترین میزان بیان *AsSOC1* و *AsAP1* در ۱۲ هفته پس از کاشت در سیر گلده مشاهده شد که به ترتیب ۱۸/۴۱ و ۲/۲۱ برابر بیشتر از سیر غیر گلده بود. بیان *AsAP2* با کمی تأخیر و در ۱۶ هفته پس از کاشت در سیر گلده و نیمه گلده به بیشترین میزان خود رسید و در سیر گلده ۲/۳۳ برابر سیر نیمه گلده بود. در مجموع، این احتمال وجود دارد که کاهش بیان *AsFLC* طی بهارش و افزایش بیان *AsSOC1* و *AsAP1* طی انتقال مریستم به فاز زایشی در سیر گلده منجر به تشکیل ساقه گل دهنده شود. اما بیان بالای *AsFLC* و سپس بیان پایین *AsSOC1* و *AsAP1* ممکن است به عدم تشکیل ساقه گل دهنده در سیر غیر گلده و ساقه کوتاه و غیر طبیعی در سیر نیمه گلده منجر شود. همچنین به نظر می رسد که بیان پایین *AsAP1* و عدم بیان *AsAP2* در گل آذین سیر نیمه گلده از دلایل تشکیل گل آذین ناقص در این هم گروه باشد.

واژههای کلیدی: ژن بازدارنده گلدهی، ژن محرک گلدهی، *Allium sativum*، Real-Time PCR

مقدمه

اسپات توخالی می گردد. در انواع گلده، ساقه گل دهنده همراه با گل آذین حاوی گل و سوخیزه های هوایی تشکیل می شود (Takagi, Simon & Jenderek, 2003; 1990). در انواع گلده بسته به ژنوتیپ، پس از تشکیل تعداد برگ مشخص، گیاه به بلوغ فیزیولوژیکی رسیده و بعد از قرار گرفتن در شرایط القاء کننده گلدهی (بهارش)، مریستم رویشی به زایشی تبدیل می شود. گلدهی به شدت تحت تأثیر ژنتیک است، به طوری که برخی هم گروه ها با وجود شرایط القایی هرگز گل نمی دهند (هم گروه های غیر گلده)، در حالی که هم گروه های دیگر به سهولت گل می دهند (Takagi, 1990). در سیر پس از القاء گلدهی، ساقه گل دهنده به تدریج طویل شده و پس از آن گل آذین تمایز می یابد (Rotem et al., 2011).

گلدهی مسیری پیچیده است و محرک های محیطی یا درونی با تنظیم بیان مجموعه ای از ژن های بازدارنده و محرک گلدهی این

سیر (*Allium sativum* L.) یک گونه دیپلوئید ($2n=2x=16$) از خانواده آماریلیداسه و با ارزش اقتصادی فراوان است. امروزه تولید سیر به طور کامل وابسته به تکثیر غیرجنسی آن است. با این حال تنوع وسیعی از نظر گلدهی در این گیاه مشاهده شده است. ژنوتیپ های سیر براساس تشکیل ساقه گل دهنده به سه گروه غیر گلده، نیمه گلده و گلده طبقه بندی می شوند. در انواع غیر گلده، ساقه گل دهنده تشکیل نشده و یا در مراحل اولیه سقط می شود. در انواع نیمه گلده، توقف نمو ساقه گل دهنده اغلب باعث ایجاد ساقه گل دهنده بسیار کوتاه حاوی

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(Email: fdashti@basu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88467.1352>

(Ding et al., 2013; Liu et al., 2016).

AP1 برای اولین بار در آرآبیدوسیس و به عنوان ژن هویت مریستم گل و ژن هویت اندام گل در کاسبرگ و گلبرگ شناسایی شد، اما همولوگ آن در گیاهان تک‌لپه‌ای مانند گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و چچم (*Lolium temulentum* L.) به عنوان محرک گل‌دهی نیز عمل می‌کند (Irish & Litt, 2005). در گیاه چچم، دو ژن *LtMADS1* و *LtMADS2* با بیشترین میزان شباهت ساختاری به ژن *AP1* شناسایی شده‌اند، اما در چچم ابتدا در مقادیر کم در مریستم انتهایی در فاز رویشی بیان شده و پس از مواجهه با طول روز بلند (شرایط القاء گل‌دهی) گل‌دهی افزایش قابل توجهی می‌یابد (Gocal et al., 2001; Murai et al., 2003; Fornar et al., 2004; Yalovsky et al., 2000) در تک‌لپه‌ای‌های پتالوئیدی نظیر ارکید و لیلیوم، بیان *AP1* مشابه گندم، برنج و چچم به هنگام انتقال از فاز رویشی به زایشی در مریستم انتهایی افزایش یافته و مشابه با آرآبیدوسیس در مراحل اولیه تشکیل گل‌آذین و گل‌های منفرد نیز بیان می‌شود (Yu & Goh, 2000; Chen et al., 2008).

AP2 در آرآبیدوسیس دارای نقش دوگانه بوده و به عنوان ژن هویت مریستم گل و ژن هویت اندام گل عمل می‌کند. همچنین بیان ژن *LFY* و *AP1* را در مریستم تنظیم می‌کند (Yant et al., 2010; Ohto et al., 2005). در ذرت (*Zea mays* L.) نیز دو ژن مشابه به نام‌های *ids1* و *sid1* شناسایی شده است. این ژن‌ها در مریستم انتهایی، سرآغاز گل‌آذین و گل‌های منفرد بیان شده و باعث ایجاد گل‌آذین و آغازش مریستم گل در گل‌آذین ذرت می‌شود (Chuck et al., 2008).

همان‌طور که گفته شد، اکثر ارقام تجاری سیر عقیم بوده، بذر تولید نکرده و از طریق رویشی تکثیر می‌شوند. این مسئله امکان تلاقی هدفمند و تولید بذر با هدف فعالیت‌های اصلاحی را غیرممکن می‌کند، از این‌رو شناسایی ژن‌های مسیر گل‌دهی و مقایسه بیان آن‌ها در کلون‌های سیر، اطلاعات مفیدی را به منظور انواع دست‌ورزی ژنتیکی، اعمال تیمارهای خاص هورمونی، هم‌زیستی با قارچ و ... (با هدف کاهش یا افزایش میزان بیان ژن‌ها) در جهت بهبود گل‌دهی و انواع فعالیت‌های اصلاحی در سیر میسر می‌کند.

تاکنون پژوهش‌هایی در ارتباط با برخی از ژن‌های کنترل‌کننده مسیر گل‌دهی در سیر صورت گرفته است. ساختار و الگوی بیان ژن *gaLFY* در یک ژنوتیپ گلده سیر شناسایی و نقش آن به عنوان یک ژن محرک گل‌دهی و ژن هویت مریستم مشخص شده است (Rotem et al., 2011). در پژوهشی دیگر، توالی‌های رونوشت ژن‌های مرتبط با گل‌دهی در اندام‌های رویشی و زایشی یک ژنوتیپ گلده سیر و با کمک تکنیک RNA sequencing تعیین شده است

مسیر را کنترل می‌کنند (Medard & Yanofsky, 2001). اغلب این ژن‌ها از خانواده ژنی MADS-BOX بوده و فاکتورهای نسخه‌برداری کد می‌کنند. در گیاهان دولپه‌ای نیازمند به بهاره‌سازی، ژن (*FLC*) *FLOWERING LOCUS C* به میزان قابل توجهی در فاز رویشی بیان شده و از بیان ژن‌های محرک گل‌دهی نظیر *SUPPRESSOR OF OVER EXPRESSION OF CONSTANT 1 (SOC1)* و *FLOWERING LOCUS T (FT)* جلوگیری می‌کند. در این گیاهان، پس از بهارش، بیان ژن *FLC* کاهش و ژن‌های محرک گل‌دهی بیان شده و گل‌دهی را القاء می‌کنند (Kim & Sung, 2014). این بیان ژن‌های هویت مریستم گل نظیر *APETALA1 (AP1)* و *APETALA1 (AP1)* را منجر شده که در تبدیل مریستم رویشی به زایشی و تشکیل مریستم گل‌آذین مؤثر می‌باشند. برخی از ژن‌های این گروه دارای عملکرد دوگانه بوده و به عنوان ژن محرک گل‌دهی نیز عمل می‌کنند (Hepworth et al., 2002). الگوی بیان ژن‌ها طی بهارش در تک‌لپه‌ای‌ها می‌تواند از دو مسیر مختلف صورت گیرد. در گذشته تصور بر این بود که در این گیاهان، فعالیت سه ژن *VRN1* (محرک گل‌دهی)، *VRN2* (بازدارنده گل‌دهی)، *VRN3* (محرک گل‌دهی) گل‌دهی را تنظیم می‌کند، اما تحقیقات نشان داد که همولوگ *FLC* در تک‌لپه‌ای‌ها نیز وجود دارد و طی بهارش بیان آن کاهش یافته و گل‌دهی القاء می‌گردد (Sharma et al., 2020).

مطالعات وسیعی در ارتباط با ساختار و الگوی بیان ژن‌های بازدارنده و محرک گل‌دهی در طیف وسیعی از گیاهان صورت گرفته است. ژن *FLC* به عنوان مهم‌ترین بازدارنده گل‌دهی برای اولین بار در آرآبیدوسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) شناسایی شده است (Helliwell, 2006; Deng et al., 2011; Searle et al., 2006). در جو (*Hordeum vulgare* L.) دو نسخه از ژن مشابه با *FLC* تحت عنوان *BdMADS37* و *HvOS2* شناسایی شده است. بیان این ژن‌ها طی بهارش کاهش یافته و به دنبال آن، بولتینگ و افزایش طول ساقه صورت می‌گیرد (Greenup et al., 2010; Ruelens, 2013).

بیان *SOC1* به عنوان یک ژن محرک گل‌دهی با بهارش و طی کاهش بیان ژن *FLC* در آرآبیدوسیس افزایش می‌یابد. در انواع جهش‌یافته این ژن، تأخیر در گل‌دهی دیده می‌شود (Yoo et al., 2000; Brunner et al., 2005). در بسیاری از گیاهان تک‌لپه‌ای، ژن‌های مشابه *SOC1* نظیر *HvSOC1* در جو، *TrCMADS1* در سوسن (*Lilium longiflorum* L.)، *DoSOC1* و *DnAGL19* در ارکید (*Dendrobium chao parya smile*) شناسایی شده است. در تمامی موارد گفته شده، بیان این ژن‌ها باعث انتقال گیاه از فاز رویشی به زایشی می‌شوند (Nakamura et al., 2005; Yoo et al., 2005; Papaefthimiou et al., 2012;

آنالیز بیان نسبی ژن با تکنیک Real-Time PCR

واکنش Real-Time PCR با استفاده از کیت تجاری YTA SYBR green (یکتا تجهیز آزما، ایران) و با دستگاه تشخیص Light-Cycler 98 Real-Time PCR (Roche، آلمان) انجام شد. در این تحقیق از ژن رمزکننده Actin به عنوان ژن مرجع (Shalom *et al.*, 2015) استفاده شد. آغازگرهای مناسب برای تکثیر ژن های SOC1 و 2، AP1 از توالی های جمع آوری شده در پایگاه اطلاعاتی NCBI و با برنامه Primer Quest موجود در پایگاه اینترنتی IDT به نشانی

<http://www.eu.idtdna.com/PrimerQuest/home> طراحی شدند. همچنین به منظور بررسی الگوی بیان ژن *FLC* از آغازگر طراحی شده توسط رولنز و همکاران (Ruelens *et al.*, 2013) استفاده شد. مشخصات آغازگرها در جدول ۱ آورده شده است. مخلوط واکنش شامل مستر میکس (۱x) SYBR green (یکتا تجهیز آزما، ایران)، ۱۰۰ نانوگرم cDNA، ۰/۲ میکرومولار از هر یک از آغازگرهای مستقیم و معکوس در حجم نهایی ۲۰ میکرولیتر در نظر گرفته شد. برنامه دمایی شامل پنج دقیقه واسرشته سازی اولیه در ۹۴ درجه سانتی گراد و به دنبال آن ۴۰ چرخه شامل پنج ثانیه ۹۴ درجه سانتی گراد، ۲۰ ثانیه ۶۰ درجه سانتی گراد و ۲۰ ثانیه ۷۲ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد. تمامی واکنش ها در دو تکرار بیولوژیکی و دو تکرار تکنیکی انجام و برای هر ژن در هر آزمایش، یک شاهد منفی (بدون cDNA) در نظر گرفته شد. پس از استخراج نتایج خام از دستگاه Real-Time PCR، تکرارهایی که دارای تکثیر غیراختصاصی (بیش از یک پیک در منحنی ذوب) بودند از داده های آزمایش حذف شدند. در این پژوهش، نمونه با بالاترین میزان CT (کمترین میزان بیان ژن) به عنوان شاهد در نظر گرفته شد، لذا نمونه شاهد برای هر ژن به صورت جداگانه انتخاب و میزان بیان نسبی ژن ها در نمونه های مختلف با روش $\Delta\Delta CT$ و نرم افزار REST® محاسبه گردید (Pfaffl *et al.*, 2001; Livak & Schmittgen, 2002).

نتایج و بحث

الگوی بیان ژن *AsFLC*

براساس نتایج به دست آمده، بیشترین میزان سی تی برای ژن *AsFLC* (کمترین میزان بیان ژن) در مریستم سیر گلده (۲۰ هفته پس از کاشت) صورت گرفت. از این رو این مرحله به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در هر سه هم گروه، بالاترین میزان بیان نسبی *AsFLC* در هفته چهارم پس از کاشت مشاهده شد. در سیر غیرگلده، بالاترین میزان بیان ژن *AsFLC* در چهار هفته پس از کاشت (۹۸/۳)

(Kamenetsky *et al.*, 2015). الگوی بیان ژن های مؤثر در تشکیل اندام های گل (ژن های مدل ABCDE نظیر *AP1-3*، *PI AG* و *SEP1-3*)، ساختار و الگوی بیان ژن *AGL6* به عنوان ژن مؤثر بر گل دهی و باروری گل در سیر گلده و ژن های محرک گل دهی (*gaLFY*، *AsFT*) در اندام های مختلف برخی از هم گروه های سیر ایرانی نیز مشخص شده است (Ghaemizadeh *et al.*, 2018, 2019, 2024). با این حال تاکنون هیچ پژوهشی در ارتباط با الگوی بیان ژن بازدارنده گل دهی *FLC* و ژن محرک گل دهی *SOC1* در سیر صورت نگرفته است. همچنین الگوی بیان *AP1-2* طی نمو زایشی مریستم و نقش آن ها به عنوان ژن محرک گل دهی و هویت مریستم گل در سیر مشخص نشده است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی الگوی زمانی بیان ژن های *FLC*، *SOC1*، *AP1* و *AP2* در مریستم انتهایی سیر گلده، نیمه گلده و غیرگلده ایرانی می باشد.

مواد و روش ها

مواد گیاهی و نمونه برداری

برای انجام این تحقیق، سه هم گروه سیر گلده (مازند زابل)، نیمه گلده (لنگرود) و غیرگلده (همدان) از کلکسیون بخش سبزیکاری گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انتخاب و سوخته ها در ۳۰ آبان ماه ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی کشت شدند. به منظور بررسی الگوی بیان ژن *FLC* (بازدارنده گل دهی) و ژن های *SOC1* و *AP1-2* نمونه گیری از مریستم انتهایی (چهار تا پنج میلی متر) هر سه هم گروه از آذر ۱۴۰۱ تا فروردین ۱۴۰۲ (به صورت ماهیانه) صورت گرفت. همچنین برای ژن های *SOC1* و *AP1-2* نیز نمونه گیری از گل آذین سیر گلده و نیمه گلده در اردیبهشت انجام شد. تمام نمونه برداری ها در دو تکرار بیولوژیکی صورت گرفت. نمونه ها پس از جمع آوری در ازت مایع قرار داده شده و تا قبل از استخراج RNA در فریزر -۸۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

استخراج RNA و ساخت cDNA

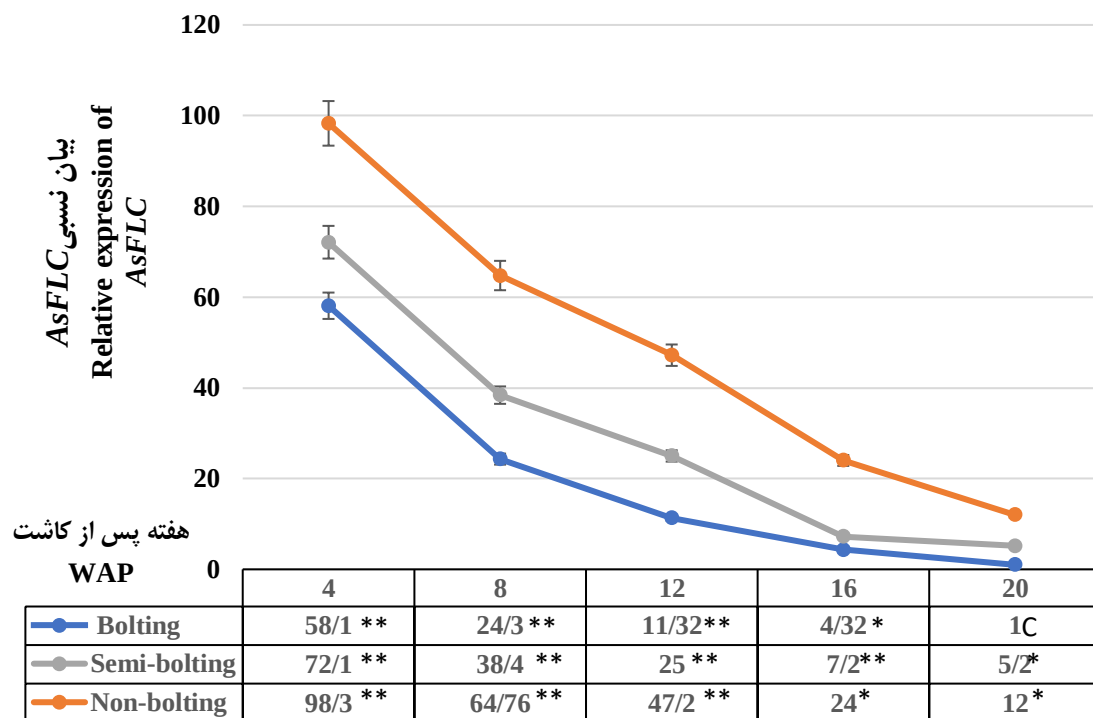
استخراج از مریستم انتهایی و گل آذین با استفاده از کیت تجاری RNXplus (سینا ژن، ایران) صورت گرفت. کمیت RNA استخراج شده با روش اسپکتوفوتومتری (نانودراپ مدل ۲۰۰۰، ترمو ساینٹیفیک، آمریکا) سنجیده شدند. ساخت cDNA با استفاده از کیت تجاری 2 Step-RT-PCR (Vivantis، مالزی) و آغازگر oligo d(T) انجام شد. محصول cDNA به دست آمده در فریزر -۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری شد.

شاهد) صورت گرفت (شکل ۱). کاهش بیان ژن *AsFLC* همزمان با تداوم دمای پایین طی پاییز و زمستان در هر سه همگروه مشاهده شد، با این تفاوت که میزان بیان *AsFLC* در تمامی زمان‌های مورد بررسی در سیر غیرگلده از گلده و نیمه‌گلده بالاتر بود (جدول ۲).

برابر نسبت به شاهد) مشاهده شد. سپس بیان ژن روند نزولی داشت، تا جایی که در غیرگلده در ۲۰ هفته پس از کاشت به کمترین میزان خود رسید (۱۲ برابر نسبت به شاهد). این روند نزولی در سیر گلده و سیر نیمه‌گلده نیز مشاهده شد، اما کمترین بیان *AsFLC* در سیر گلده در مقایسه با شاهد در ۱۶ هفته پس از کاشت (۴/۳۲) برابر نسبت به

جدول ۱- مشخصات آغازگرهای مورد استفاده در Real-Time PCR
Table 1- Characteristics of primers used for real-time RT-PCR

نام پرایمر Primer name	توالی Sequences
AsFLC	F-CAA-TCTGAGGATGAAGGTGTCACA R-GCTTGACAAGTTGTTCGCTTTCT
AsSOC1	F-TGTCCGCGTTTCATTCTTCT R-AATTCCAGCAAAAGAC
AsAP1	F-TCCATGGAGGCAACAAATTC R-CGTAATCCAAATATCAGCATGG
AsAP2	F-CTCTTCTCTGCCGCACTTTC R-AATTCGATTGGTCATCCAC
Actin	F-ACTCCGTGTTGCTCCTGAAG R-GCATAACAGGAAAGCACAGC



شکل ۱- بیان نسبی *AsFLC* در مریستم سیر گلده، نیمه گلده و غیرگلده در ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ هفته پس از کاشت

Figure 1- Relative expression of *AsFLC* in the meristem of non-, semi- and bolting garlic clones at 4, 8, 12, 16 and 20 weeks after planting

شاهد (C) مریستم سیر گلده در ۲۰ هفته پس از کاشت می‌باشد.

Control: meristem of bolting clone 20 weeks after planting (c).

** and * indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه بیان نسبی ژن *AsFLC* در مریستم سیر نیمه گلده و گلده با سیر غیر گلده

Table 2- Relative expression of *AsFLC* in the meristem of semi- and bolting garlic in comparison to non- bolting garlic

زمان نمونه گیری (هفته پس از کاشت) Sampling time (weeks after planting)	بیان نسبی در مقایسه با سیر غیر گلده Relative expression in comparison to non- bolting garlic	
	سیر گلده Bolting garlic	سیر نیمه گلده Semi-bolting garlic
4	-2.03*	-1.13 ^{ns}
8	-2.66**	-1.67 ^{ns}
12	-4.17**	-1.86*
16	ne	-2.33*

ne: نشان دهنده عدم بیان ژن در اندام مورد بررسی، -: نشان دهنده کاهش بیان ژن در مقایسه با شاهد، ^{ns}: غیرمعنی دار، **: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و *: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵.

ne: shows that gene wasn't expressed, -: shows down expression in comparison to control, ** and * indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively, and ^{ns}: shows non- significant.

رفع نیاز سرمایی، به نظر می‌رسد که این ژن در تشکیل ساقه گل دهنده در سیر گلده مؤثر باشد. عدم تشکیل ساقه گل دهنده در سیر غیر گلده و تشکیل ساقه گل دهنده ناقص در سیر نیمه گلده نیز می‌تواند به دلیل سطوح بالای بیان این ژن حتی پس از بهارش باشد.

در گیاهان نیازمند به بهاره سازی، گل دهی زمانی صورت می‌گیرد که با کاهش بیان ژن‌های بازدارنده گل دهی نظیر *FLC*، بیان ژن‌های محرک گل دهی نظیر *FT* و *LFY* نیز افزایش یابد. براساس گزارش روتم و همکاران (Rotem et al., 2011) انتقال مریستم از فاز رویشی به زایشی در سیر طی هشت تا ۱۶ هفته پس از کاشت صورت می‌گیرد. در پژوهشی دیگر، قائمی زاده و همکاران (Ghaemizadeh et al., 2018) نشان دادند که بیان ژن‌های محرک گل دهی نظیر *AsFT2* و *AsLFY* در سیر گلده و نیمه گلده در ۱۶ هفته پس از کاشت به بالاترین میزان خود می‌رسند، اما در مریستم سیر غیر گلده *AsFT2* بیان نشده و بیان *AsLFY* در این هم گروه در مقایسه با سیر گلده و نیمه گلده بسیار کمتر است. در پژوهش حاضر، بالاترین میزان بیان ژن *AsFLC* در هر سه هم گروه در چهار هفته اول کاشت و قبل از محدوده زمانی انتقال مریستم از فاز رویشی به زایشی مشاهده و بیان آن پس از بهارش در هر سه هم گروه کاهش یافت، لذا کاهش بیان ژن *AsFLC* طی بهارش و به دنبال آن افزایش بیان محرک‌های گل دهی می‌تواند در تشکیل ساقه گل دهنده در سیر مؤثر باشد، باین حال تشکیل ساقه گل دهنده تنها در سیر گلده صورت گرفت. در سیر نیمه گلده، ساقه گل دهنده ناقص و کوتاه بود و در سیر غیر گلده ساقه گل دهنده تشکیل نشد. مقایسه الگوی بیان این ژن در هم گروه‌های سیر نیز نشان داد که پس از بهارش، بیان *AsFLC* در هر سه هم گروه کاهش می‌یابد، اما این روند کاهشی در سیر گلده با سرعت بیشتری صورت گرفته و میزان آن در تمام زمان‌های مورد بررسی از سیر نیمه و غیر گلده کمتر است. به نظر می‌رسد که هر چه میزان بیان نسبی *AsFLC* کمتر بوده و بیان آن پس از بهارش با

مطالعات متعددی در ارتباط با ژن‌های بازدارنده گل دهی در تکلیه‌های نیازمند به بهاره سازی صورت گرفته است. در ابتدا تصور می‌شد که کنترل ژنتیکی گل دهی در گیاهان نیازمند به بهاره سازی از طریق نسخه‌های مختلف ژن *VRN* صورت می‌گیرد، اما بررسی ژنوم تکلیه‌ای‌ها و بررسی‌های فیلوژنتیکی نشان داد که ژن‌های مشابه *FLC* نیز در غلات وجود دارند. *FLC* در این گیاهان از نوع *IIMADS DOMAILN PROTEIN* بوده و از نظر تعداد نسخه و عملکرد تا حدودی با دوپله‌ای‌ها تفاوت دارند (Schilling et al., 2020; Ruelens, 2013). به طوری که در نوعی چمن، دو نسخه از ژن *FLC* با نام‌های *BdOS1* و *BdOS2* شناسایی شده است که طی بهارش بیان اولی افزایش و دومی کاهش می‌یابد (Sharma et al., 2013; Ruelens et al., 2017). در جو نیز دو نسخه مشابه با ژن *FLC* تحت عنوان *BdMADS37* و *HvOS2* شناسایی شده‌اند که طی بهارش، بیان آن‌ها کاهش و سپس طول ساقه گل دهنده افزایش می‌یابد (Ruelens, 2013; Greenup et al., 2010). در گندم نیز بیان ژن *TaOS2* طی بهارش کاهش می‌یابد (Winfield, 2009; Sharma et al., 2017). در تکلیه‌ای‌های پتالوئیدی نظیر لیلیوم (*Lilium Longlifflosum*)، همولوگ ژن *FLC* (*LIFLC*) به عنوان بازدارنده گل دهی شناسایی شده است. بیان این ژن پس از بهارش سوخاها کاهش و گل دهی افزایش یافت (Yan et al., 2022). در پژوهش حاضر نیز بیان ژن *AsFLC* پس از مواجهه با دمای پایین طی زمستان به طور قابل توجهی در هر سه هم گروه سیر کاهش یافت که با نتایج نامبرندگان مطابقت دارد، هر چند روند نزولی در بیان *AsFLC* در هر سه هم گروه مشاهده شد، اما بیان آن در تمامی زمان‌های مورد بررسی در سیر گلده کمتر از سیر نیمه و غیر گلده بود. همچنین کاهش بیان نسبی این ژن در سیر گلده با سرعت بیشتری در مقایسه با دو هم گروه دیگر صورت گرفت. با توجه به اهمیت ژن *AsFLC* به عنوان یک بازدارنده گل دهی و کاهش شدید آن پس از

سرعت بیشتری کاهش یابد، ژن‌های محرک گل‌دهی سریع‌تر بیان شده و منجر به تشکیل ساقه گل‌دهنده کامل می‌شوند. در مجموع، بالاتر بودن میزان بیان *AsFLC* و به دنبال آن کاهش یا عدم بیان ژن‌های محرک گل‌دهی در سیر غیرگلده و نیمه‌گلده (Ghaemizadeh et al., 2018) به ترتیب می‌تواند از دلایل عدم تشکیل یا تشکیل ناقص ساقه گل‌دهنده باشد. با توجه به تفاوت‌های ریخت‌شناختی مشاهده‌شده در هم‌گروه‌های مختلف سیر و تفاوت در سطوح مختلف بیان ژن *AsFLC* در هم‌گروه‌ها می‌توان گفت که این ژن می‌تواند به عنوان یک بازدارنده گل‌دهی در سیر مؤثر باشد، باین‌حال کنترل ژنتیکی گل‌دهی در گیاهان نیازمند به بهاره‌سازی از مسیر ژن‌های دیگری نظیر *VRN* نیز صورت می‌گیرد. در این مسیر، بیان *VRN1* طی بهارش و پس از مواجهه با سرما افزایش می‌یابد. این ژن بیان بازدارنده گل‌دهی نظیر *VRN2* را کاهش می‌دهد (Sharma et al., 2020)، لذا درک کنترل ژنتیکی ژن‌های بازدارنده گل‌دهی در سیر نیازمند مطالعات وسیع‌تری است.

الگوی بیان ژن *AsSOC1*

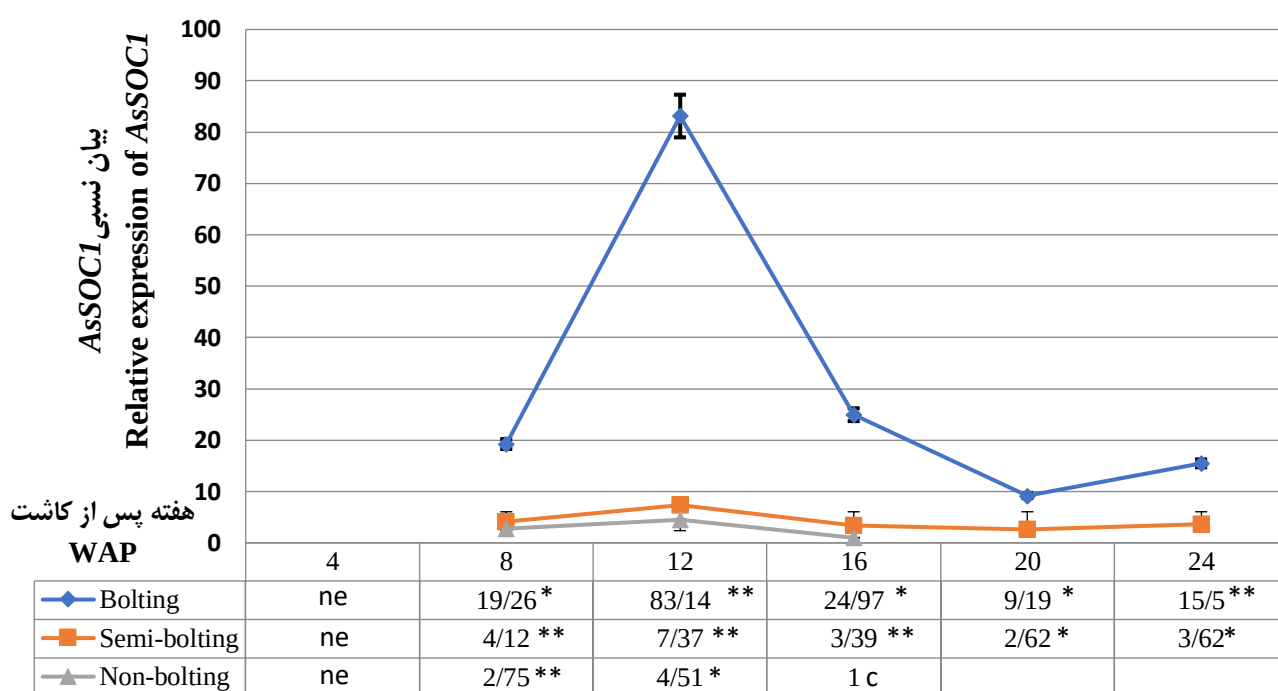
براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان سی‌تی برای ژن *AsSOC1* (کمترین میزان بیان ژن) در مریستم سیر غیرگلده (۱۶ هفته پس از کاشت) صورت گرفت، ازاین‌رو این مرحله به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. بیان نسبی *AsSOC1* در سیر گلده طی هشت تا ۲۰ هفته پس از کاشت نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین میزان بیان نسبی این ژن در ۱۲ هفته پس از کاشت (۸۳/۱۴) برابر نسبت به شاهد) مشاهده شد. سپس بیان آن در مریستم انتهایی کاهش و در ۲۰ هفته پس از کاشت به کمترین میزان خود رسید. بیان *AsSOC1* در مریستم سیر نیمه‌گلده نیز از هشت تا ۲۰ هفته پس از کاشت نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت و در ۱۲ هفته پس از کاشت به بیشترین میزان خود رسید (۷/۳۷ برابر نسبت به شاهد). *AsSOC1* در گل‌آذین سیر گلده و گل‌آذین تکامل نیافته سیر نیمه‌گلده (۲۴ هفته پس از کاشت) نیز بیان شد. در سیر غیرگلده بیان نسبی *AsSOC1* در مریستم انتهایی طی هشت و ۱۲ هفته پس از کاشت افزایش یافت و بیشترین میزان بیان آن در ۱۲ هفته پس از کاشت (۴/۵ برابر نسبت به شاهد) مشاهده شد (شکل ۲).

مقایسه بیان نسبی ژن *AsSOC1* در مریستم هر سه هم‌گروه نشان داد که بیان نسبی این ژن در مریستم سیر گلده طی زمان‌های مورد بررسی به‌مراتب بیشتر از سیر نیمه‌گلده و غیرگلده است. بیشترین میزان بیان *AsSOC1* در مریستم سیر گلده در هفته دوازدهم صورت گرفت که ۱۱/۲۷ برابر سیر نیمه‌گلده و ۱۸/۴۱ برابر سیر غیرگلده بود (جدول ۳).

SOC1 به‌عنوان یک ژن محرک گل‌دهی در بسیاری از گیاهان شناخته شده است. پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که عملکرد این ژن در میان تک‌لپه‌ای‌ها و دولپه‌ای‌ها حفاظت‌شده می‌باشد، باین‌حال تاکنون هیچ پژوهشی در ارتباط با الگوی زمانی و مکانی بیان این ژن طی گل‌دهی در سیر صورت نگرفته است. مطالعات صورت‌گرفته در ارتباط با این ژن در سیر محدود به اطلاعات حاصل از توالی‌یابی اران‌ای می‌باشد (Kamenetsky et al., 2015). در آرکیدوبسیس و جو پس از بهارش، بیان *SOC1* در مریستم انتهایی افزایش و در گل‌آذین و گل‌ها نیز بیان می‌شود (Hepworth et al., 2002; Papaefthimiou et al., 2012). در ارکیده نیز ژن *SOC1* پس از بهاره‌سازی در مریستم بیان شده و منجر به انتقال گیاه به فاز زایشی می‌شود (Liu et al., 2016). نتایج حاصل از توالی‌یابی اران‌ای در سیر گلده، حضور نسخه‌های از این ژن را در گل‌آذین سیر نیز نشان داده است (Kamenetsky et al., 2015). در پژوهش حاضر نیز بیان نسبی *AsSOC1* در مریستم انتهایی هر سه هم‌گروه و پس از گل‌دهی در گل‌آذین سیر گلده و نیمه‌گلده نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت. ازاین‌رو نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با یافته‌های نامبردگان مبنی بر بیان *SOC1* به هنگام انتقال مریستم رویشی به فاز زایشی مطابقت دارد.

عدم و یا کاهش بیان *SOC1* در گیاهان مختلف نظیر برنج، ارکیده و آرکیدوبسیس منجر به تأخیر یا توقف در گل‌دهی می‌شود (Liu et al., 2016; Hepworth et al., 2002; Ryu et al., 2009). در پژوهش حاضر، تفاوت قابل توجهی در میزان بیان نسبی *AsSOC1* بین هم‌گروه‌ها مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین میزان بیان نسبی *AsSOC1* در سیر گلده صورت گرفت. علاوه‌بر این، الگوی تشکیل ساقه گل‌دهنده نیز در بین هم‌گروه‌ها متفاوت بود. نتایج نشان داد که میزان بیان نسبی *AsSOC1* در سیر گلده که ساقه گل‌دهنده در آن به‌طور کامل تشکیل می‌شود در مقایسه با سیر نیمه‌گلده با ساقه گل‌دهنده ناقص به‌مراتب بیشتر است. همچنین در سیر غیرگلده با کمترین میزان بیان *AsSOC1*، اثری از ساقه گل‌دهنده دیده نشد. این نتایج تا حدودی با یافته‌های هپ و رس و همکاران (Hepworth et al., 2002)، رایو و همکاران (Ryu et al., 2009) و لیو و همکاران (Liu et al., 2016) مطابقت دارد.

مجموعه‌ای از ژن‌ها، گل‌دهی در گیاهان را کنترل می‌کنند، لذا درک صحیح از مسیر گل‌دهی در گیاهان نیازمند مطالعه مجموعه‌ای از ژن‌های بازدارنده و محرک گل‌دهی می‌باشد. در لیلیوم بیشترین بیان *SOC1* در هشت هفته پس از کاشت (مواجهه با دمای پایین) صورت گرفت، درحالی‌که در این زمان بیان *LIFLC* به کمترین میزان رسید. در لیلیوم، بیان سایر ژن‌های تنظیم‌کننده گل‌دهی وابسته به بهارش نیز بررسی شده است.



شکل ۲- بیان نسبی *AsSOC1* در سیر گلده، نیمه گلده و غیر گلده

Figure 2- Relative expression of *AsSOC1* in non-, semi- and bolting garlic clones

نمونه‌ها در ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ هفته پس از کاشت از مریستم هر سه هم‌گروه و ۲۴ هفته پس از کاشت گل‌آذین سیر گلده و نیمه‌گلده تهیه شدند. شاهد (C) مریستم سیر غیر گلده در ۱۶ هفته پس از کاشت می‌باشد. ne عدم بیان ژن در اندام مورد بررسی، * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱. Sample at 4, 8, 12, 16 and 20 weeks after planting are from the meristem of three clones and 24 weeks after planting are from the inflorescence of semi- and bolting clones. Control: meristem of non-bolting clone 16 weeks after planting (c), ne indicates that gene didn't express in the organ. ** and * indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه بیان نسبی ژن *AsSOC1* در مریستم سیر نیمه گلده و غیر گلده در مقایسه با سیر گلده

Table 2- Relative expression of *AsSOC1* in the meristem of semi- and non- bolting garlic in comparison to bolting garlic

زمان نمونه‌گیری Sampling time (هفته پس از کاشت) (weeks after planting)	نسبت بیان در مقایسه با سیر گلده Relative expression in comparison to bolting garlic	
	سیر نیمه گلده	
	سیر غیر گلده Non-bolting garlic	Semi-bolting garlic
8	-7.33**	-4.67**
12	-18.41**	-11.27**
16	-24.97**	-7.36**
20	ne	-3.33**

Ne: نشان‌دهنده عدم بیان ژن در اندام مورد بررسی، -: نشان‌دهنده کاهش بیان ژن در مقایسه با شاهد، ns: غیرمعنی‌دار، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵.

ne: shows that gene wasn't expressed, -: shows down expression in comparison to control, ** and * indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively, and ns: shows non-significant.

بهارش کاهش یافته و بیان *VRN1* به‌عنوان محرک گل‌دهی افزایش می‌یابد (Kennedy & Geuten, 2020).

ژن *FLC* به‌طور مستقیم مانع از بیان ژن‌های محرک گل‌دهی نظیر *FT* و *SOC1* و *LFY* می‌شود. پس از مواجهه گیاه با دمای پایین و با کاهش بیان این ژن، به‌تدریج بیان ژن‌های محرک گل‌دهی

نتایج نشان داده است که طی بهارش، بیان *LIVRN1* افزایش و بیان *LIVRN2* کاهش می‌یابد، لذا در این گیاه قبل از بهارش افزایش بیان *LIVRN2* منجر به افزایش بیان *LIFLC* می‌گردد و پس از بهارش، افزایش بیان ژن *LIVRN1* از بیان *LIFLC* جلوگیری می‌کند. در غلات زمستانه نیز بیان ژن *ODDSOC2* و *VRN2* طی

افزایش می‌یابد و منجر به تبدیل مریستم رویشی به زایشی می‌شوند. براساس مطالعات صورت گرفته، انتقال مریستم از فاز رویشی به زایشی در سیر طی هشت تا ۱۶ هفته پس از کاشت صورت می‌گیرد (Rotem et al., 2011). روتنم و همکاران (Rotem et al., 2011) گزارش کردند که در این محدوده زمانی، بیان *gaLFY* به‌عنوان یک ژن کلیدی گل‌دهی افزایش می‌یابد و تغییرات ریخت‌شناختی کمی دیرتر در مریستم ظاهر می‌شود. در پژوهش حاضر نیز بیان *AsFLC* قبل از این محدوده زمانی (چهار هفته پس از کاشت) در بیشترین سطح بود و پس از مواجهه با دمای پایین به تدریج کاهش یافت. پس از کاهش بیان *AsFLC*، بیان نسبی *AsSOC1* در هم‌گروه‌های سیر افزایش یافت و در ۱۲ هفته پس از کاشت به حداکثر خود رسید. افزایش بیان نسبی *AsSOC1* در طی محدوده زمانی انتقال مریستم به فاز زایشی صورت گرفت. این نتایج با یافته‌های قائمی‌زاده و همکاران (Ghaemzadeh et al., 2018) مبنی بر بیان سایر ژن‌های محرک گل‌دهی نظیر *AsFT2* و *AsLFY* و گزارش روتنم و همکاران (Rotem et al., 2007; 2011) مبنی بر بیان *gaLFY* در این محدوده زمانی در گیاه سیر مطابقت دارد. در مجموع، با توجه به کاهش بیان *AsFLC* و سپس افزایش قابل توجه بیان *AsSOC1* در مرحله انتقال از فاز رویشی به زایشی، تفاوت در میزان بیان ژن‌های *AsFLC* و *AsSOC1* در بین هم‌گروه‌ها و تفاوت ریخت‌شناختی مشاهده‌شده در بین هم‌گروه‌ها، به نظر می‌رسد که *AsSOC1* به‌عنوان یک ژن محرک گل‌دهی در سیر مؤثر است.

جیبرلین نیز به‌طور مستقیم و از طریق فعال کردن بیان ژن‌های *SOC1*، *LFY* و به‌طور غیرمستقیم از طریق تخریب پروتئین دلا و اثر بازدارندگی بر ژن‌های خانواده این پروتئین مانند *REPRESSOR OF GA1 (RGA1)* بر گل‌دهی اثرگذار است (Pan et al., 2017). مطالعه اخیر نشان داده است که *FT* نیز در پاسخ به جیبرلین تنظیم می‌شود. از آنجایی که *SOC1* توسط *FT* نیز تنظیم می‌شود، بنابراین افزایش بیان *FT* از طریق سیگنال‌های جیبرلین نیز ممکن است بر تنظیم مثبت *SOC1* تأثیرگذار باشد. به عبارت دیگر، افزایش *SOC1* تحت تیمار جیبرلین زمانی قابل مشاهده است که *FT* بالا باشد (et al., 2020). در پیاز قرار گرفتن در معرض دماهای پایین باعث افزایش میزان جیبرلین درونی، گل‌دهی و افزایش عملکرد می‌شود (Lee et al., 2013). در واقع، جیبرلین به‌تنهایی بر گل‌دهی گیاه پیاز تأثیر ندارد، بلکه برای اثرگذاری هورمون باید نیاز سرمایی پیاز برطرف شده باشد. در شالوت نیز استفاده از ۲۰۰ پی‌پی‌ام GA_3 می‌تواند

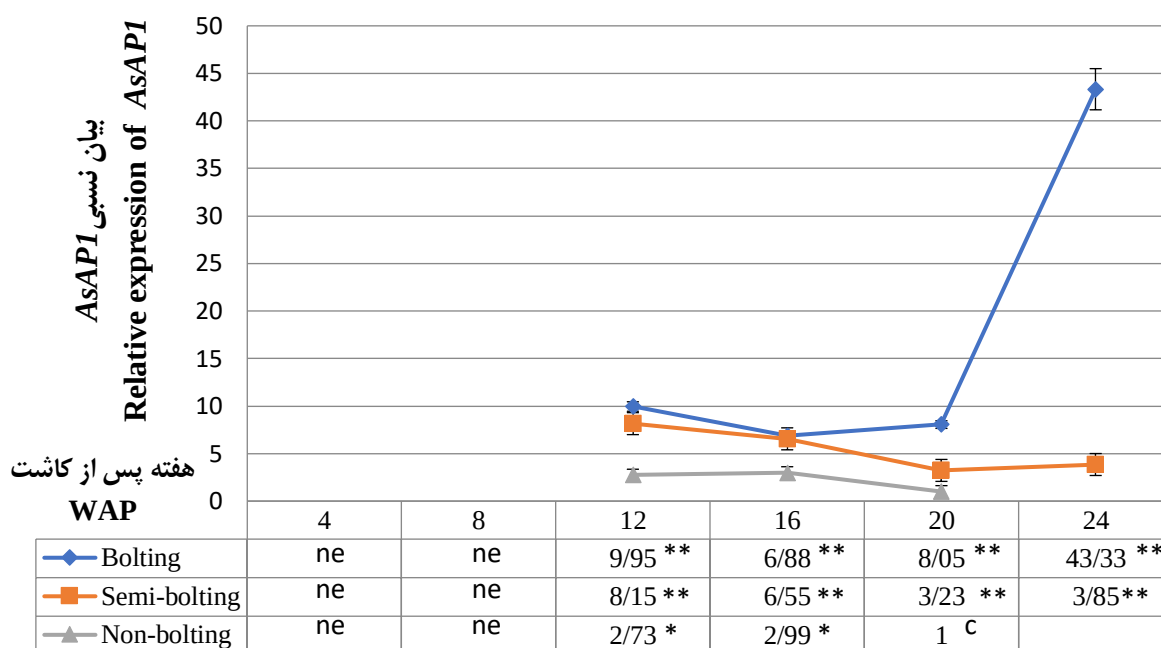
گل‌دهی را در نتیجه افزایش فعالیت مریستم انتهایی تحریک کند (et al., 2020).

در پژوهش حاضر، میزان جیبرلین درونی در هم‌گروه‌های سیر و پس از مواجهه با دمای پایین اندازه‌گیری نشد، اما این احتمال وجود دارد که افزایش میزان بیان *AsSOC1* در مریستم سیر هم به‌دلیل کاهش اثر بازدارندگی *AsFLC* و هم به‌دلیل افزایش میزان جیبرلین درونی پس از رفع نیاز سرمایی باشد. هرچند مطالعات تکمیلی نظیر اندازه‌گیری میزان جیبرلین و بررسی تأثیر آن بر بیان محرک‌های گل‌دهی به‌منظور درک بهتر مسیر گل‌دهی در سیر بسیار کارآمد خواهد بود.

الگوی بیان ژن *AsAP1*

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان سی‌تی برای ژن *AsAP1* (کمترین میزان بیان ژن) در مریستم سیر غیرگلده (۲۰ هفته پس از کاشت) صورت می‌گیرد، از این‌رو این مرحله به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در سیر گلده، اثری از بیان *AsAP1* در چهار و هشت هفته پس از کاشت در مریستم مشاهده نشد. سپس بیان آن در مریستم طی ۱۲ تا ۲۰ هفته پس از کاشت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد یافت. بیشترین میزان بیان نسبی در مریستم سیر گلده، در ۱۲ هفته پس از کاشت (۹/۹۵ برابر نسبت به شاهد) مشاهده شد. الگوی بیان این ژن در مریستم انتهایی سیر نیمه‌گلده مشابه با مریستم سیر گلده بود و بیشترین میزان بیان در ۱۲ هفته پس از کاشت (۸/۱۵ برابر نسبت به شاهد) صورت گرفت. *AsAP1* در ۲۴ هفته پس از کاشت در گل‌آذین سیر گلده و گل‌آذین تکامل نیافته سیر نیمه‌گلده نیز بیان شد. بیان نسبی این ژن در مریستم در سیر غیرگلده نیز طی ۱۲ و ۱۶ هفته پس از کاشت نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت (شکل ۳).

مقایسه الگوی بیان *AsAP1* در مریستم انتهایی سیر گلده و نیمه‌گلده در ۱۲ و ۱۶ هفته پس از کاشت تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، اما در ۲۰ هفته پس از کاشت بیان آن در مریستم سیر گلده ۲/۵ برابر بیشتر از مریستم سیر نیمه‌گلده بود. همچنین بیان نسبی *AsAP1* در گل‌آذین سیر گلده ۱۱/۲۵ برابر گل‌آذین سیر نیمه‌گلده بود. مقایسه بیان *AsAP1* در مریستم سیر گلده و غیرگلده، در همه زمان‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری را نشان داد. در تمامی زمان‌های مورد بررسی بیان نسبی *AsAP1* در مریستم گلده در مقایسه با سیر غیرگلده افزایش یافت و بیشترین میزان آن در ۲۰ هفته پس از کاشت (۸/۰۵ برابر نسبت به سیر غیرگلده) مشاهده شد (جدول ۴).



شکل ۳- بیان نسبی *AsAPI* در سیر گلده، نیمه گلده و غیر گلده

Figure 3- Relative expression of *AsAPI* in non-, semi- and bolting garlic clones

نمونه‌ها در ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ هفته پس از کاشت از مریستم هر سه هم‌گروه و ۲۴ هفته پس از کاشت از گل‌آذین سیر گلده و نیمه گلده تهیه شدند. شاهد (C) مریستم سیر غیر گلده در ۲۰ هفته پس از کاشت می‌باشد. ne عدم بیان ژن در اندام مورد بررسی، * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱. Sample at 4, 8, 12, 16 and 20 weeks after planting are the meristem of three clones and 24 weeks after planting are from the inflorescence of semi- and bolting clones.

Control: meristem of non-bolting clone 16 weeks after planting (c), ne indicates that gene didn't express in the organ.

** and * indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه بیان نسبی ژن *AsAPI* در سیر نیمه گلده و غیر گلده با سیر گلده

Table 4- Relative expression of *AsAPI* in the non- and semi- bolting garlic in comparison to bolting garlic

زمان نمونه‌گیری Sampling time (هفته پس از کاشت) (weeks after planting)	نسبت بیان در مقایسه با سیر گلده Relative expression in comparison to bolting garlic		نوع نمونه Sample type
	سیر غیر گلده Non-bolting garlic	سیر نیمه گلده Semi-bolting garlic	
	سیر نیمه گلده Semi-bolting garlic		
12	-3.63**	-1.22 ^{ns}	مریستم Meristem
16	-2.29*	-1.05 ^{ns}	
20	-8.05*	-2.5*	
24	-11.25**		گل‌آذین Inflorescence

-: نشان‌دهنده کاهش بیان ژن در مقایسه با شاهد، ^{ns}: غیر معنی‌دار، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵.

-: shows down expression in comparison to control, ** and *: indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively, and ^{ns}: shows non- significant.

بیان *AsAPI* در مریستم سیر گلده و غیر گلده، در همه زمان‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری را نشان داد. در تمامی زمان‌های مورد بررسی بیان نسبی *AsAPI* در مریستم گلده در مقایسه با سیر غیر گلده افزایش یافت و بیشترین میزان آن در ۲۰ هفته پس از کاشت (۸/۰۵ برابر نسبت به سیر غیر گلده) مشاهده شد (جدول ۴).

مقایسه الگوی بیان *AsAPI* در مریستم انتهایی سیر گلده و نیمه گلده در ۱۲ و ۱۶ هفته پس از کاشت تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، اما در ۲۰ هفته پس از کاشت بیان آن در مریستم سیر گلده ۲/۵ برابر بیشتر از مریستم سیر نیمه گلده بود. همچنین بیان نسبی *AsAPI* در گل‌آذین سیر گلده ۱۱/۲۵ برابر گل‌آذین سیر نیمه گلده بود. مقایسه

توجه به عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بیان این ژن بین سیر گلده و نیمه‌گلده، به احتمال زیاد، این ژن تأثیری در بولتینگ ناقص سیر نیمه‌گلده ندارد.

در آرآیدوبسیس جهش‌یافته برای *ap1* فنوتیپی مشابه با جهش-یافته‌های *lfy* مشاهده می‌شود. در این گیاهان، گل‌آذین با ساختاری براکته‌مانند و فاقد گل‌های منفرد تشکیل شد (Gocal et al., 2001). اختلال در تشکیل گل‌آذین به صورت طبیعی در انواع جهش‌یافته لیلیوم نیز گزارش شده است (Chen et al., 2008). براساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، در سیر گلده گل‌آذین با فرم طبیعی حاوی تعداد زیادی گلچه و در سیر نیمه‌گلده گل‌آذین کوچک فاقد گلچه و دارای اندام‌های براکته‌مانند به وجود آمد. اگرچه تفاوت معنی‌داری در بیان ژن *AsAP1* در مریستم انتهایی سیر گلده و نیمه‌گلده در ۱۶ هفته پس از کاشت مشاهده نشد، اما بیان آن در ۲۰ هفته پس از کاشت در مریستم سیر نیمه‌گلده ۲/۵ برابر نسبت به سیر گلده کاهش یافت (جدول ۳). از این رو با توجه به تفاوت ریخت‌شناختی مشاهده‌شده بین هم‌گروه‌ها و تفاوت در سطوح بیان ژن *AsAP1* در آن‌ها به نظر می‌رسد که سطوح پایین بیان *AsAP1* به‌ویژه در مراحل انتهایی آغازش و تمایزبایی گل‌آذین (۲۰ هفته پس از کاشت) مانع از تشکیل گل‌آذین طبیعی در سیر نیمه‌گلده شده است.

الگوی بیان ژن *AsAP2*

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان سی‌تی برای ژن *AsAP2* (کمترین میزان بیان ژن) در مریستم سیر نیمه‌گلده (۲۰ هفته پس از کاشت) صورت می‌گیرد، از این رو این مرحله به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، اثری از بیان این ژن در مریستم انتهایی سیرگلده، در چهار تا هشت هفته پس از کاشت مشاهده نشد. بیان نسبی *AsAP2* در مریستم سیر گلده از ۱۲ تا ۲۰ هفته پس از کاشت افزایش معنی‌داری نسب به شاهد یافت و بیشترین میزان بیان نسبی آن در مریستم در ۱۶ هفته پس از کاشت (۲۲/۹۸ برابر نسبت به شاهد) مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بیان نسبی *AsAP2* در گل‌آذین سیر گلده (۲۴ هفته پس از کاشت) به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش می‌یابد (شکل ۴). در سیر نیمه‌گلده *AsAP2* تنها در ۱۲ و ۱۶ هفته پس از کاشت نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین میزان بیان نسبی *AsAP2* در مریستم مشابه با سیر گلده در ۱۶ هفته پس از کاشت (۹/۸۳ برابر نسبت به شاهد) مشاهده شد، اما برخلاف سیر گلده، در گل‌آذین سیر نیمه‌گلده بیان نشد. در ارتباط با سیر غیر-گلده نیز اثری از بیان این ژن در مریستم طی مراحل مورد بررسی مشاهده نشد (شکل ۴).

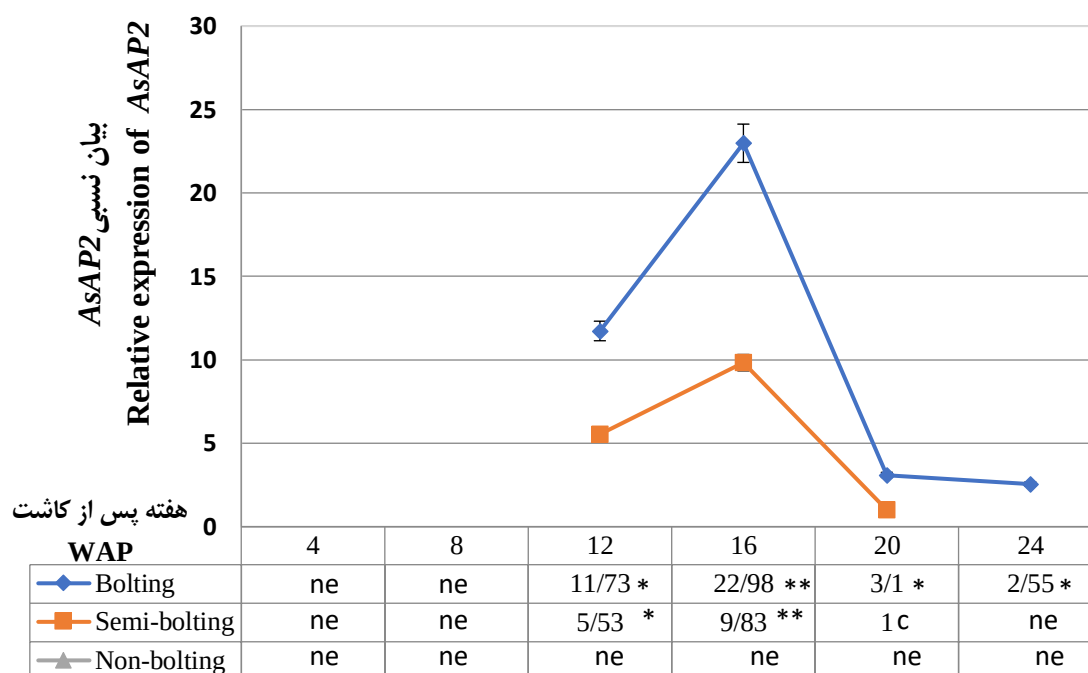
در آرآیدوبسیس، *AP1* به‌عنوان یک ژن تعیین هویت مریستم پس از انتقال از فاز رویشی به زایشی و تحت کنترل *LFY* در مریستم انتهایی بیان می‌شود. بیان این ژن در مریستم انتهایی به‌صورت پیوسته صورت گرفته و در همکاری با *LFY*، تشکیل سرآغاز گل-آذین و گل‌های منفرد را منجر می‌شود (Gocal et al., 2001). الگوی بیان *AP1* در تک‌لپه‌هایی نظیر برنج، چچم و گندم پس از مواجهه با محرک محیطی گل‌دهی و در مرحله انتقال از فاز رویشی به زایشی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. سپس بیان آن برخلاف آرآیدوبسیس در مراحل اولیه تشکیل سرآغاز گل‌آذین و گل به‌شدت کاهش و مجدداً در گل‌آذین و گل بالغ افزایش می‌یابد (Gocal et al., 2001; Murai et al., 2003; Fornara et al., 2004; Yalovsky et al., 2000). بیان نسبی ژن‌های مشابه *AP1* در ارکیده و لیلیوم مشابه برنج، چچم و گندم به هنگام انتقال از فاز رویشی به زایشی افزایش یافته و مشابه با آرآیدوبسیس طی آغازش و نمو اولیه گل‌آذین و گل تا تشکیل اندام گل صورت می‌گیرد (Yu & Goh, 2000; Chen et al., 2008). الگوی بیان *AsAP1* در اندام‌های مختلف رویشی و زایشی گل‌های سیر گلده مشخص شده است (Ghaemizadeh et al., 2019). در پژوهش حاضر نیز برای اولین بار الگوی بیان *AsAP1* طی القاء گل‌دهی در مریستم انتهایی سیر مشخص شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیان نسبی *AsAP1* از ۱۲ تا ۲۰ هفته پس از کاشت در مریستم انتهایی هم‌زمان با انتقال مریستم از فاز رویشی به زایشی و آغازش و تمایزبایی اولیه گل‌آذین و گل‌های منفرد و گل‌آذین بالغ (۲۴ هفته پس از کاشت) افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد یافت (شکل ۳). در سیر نیز مشابه با برنج، گندم و چچم، بیان ژن در مرحله انتقال به فاز زایشی و گل‌آذین افزایش و برخلاف آن‌ها در زمان تشکیل سرآغاز گل‌آذین و گل نیز به‌طور قابل توجهی بیان شد. الگوی بیان *AsAP1* در سیر با یافته‌های یو و گو (Yu & Goh, 2000) و چن و همکاران (Chen et al., 2008) در گیاهان ارکیده و لیلیوم هم‌خوانی دارد. از این رو به نظر می‌رسد که الگوی بیان *AsAP1* در سیر مشابه با تک‌لپه‌ای‌های پتالوئیدی نظیر ارکیده و لیلیوم می‌باشد.

مقایسه بیان نسبی *AsAP1* در مریستم انتهایی سیر گلده و نیمه‌گلده در مرحله انتقال گیاه از فاز رویشی به زایشی (۱۲ هفته پس از کاشت) تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، اما در سیر غیرگلده ۳/۶۳ برابر کمتر از سیر گلده بود (جدول ۴). براساس گزارش چن و همکاران (Chen et al., 2008) در لیلیوم جهش‌یافته برای ژن *ap1* تأخیر در گل‌دهی صورت می‌گیرد. از این رو به نظر می‌رسد که چنانچه *AsAP1* در سیر به‌عنوان یک ژن محرک گل‌دهی عمل کند، کاهش بیان نسبی آن مانع از بولتینگ در سیر غیرگلده می‌شود. همچنین با

در آغازش گل‌آذین و گل‌های منفرد ندارد (Yant *et al.*, 2010). در برنج و ذرت نیز *AP2* به‌عنوان ژن هویت مریستم در مریستم انتهایی، سرآغاز گل‌آذین و گل‌های منفرد بیان شده و باعث آغازش گل‌آذین و مریستم گل می‌شود (Chuck *et al.*, 2008; Tang *et al.*, 2007). الگوی بیان نسبی *AsAP2* در اندام‌های مختلف رویشی و زایشی گل‌های سیر گلده مشخص شده است (Ghaemizadeh *et al.*, 2019). در پژوهش حاضر نیز الگوی بیان این ژن طی القاء گل‌دهی مشخص شد. نتایج نشان داد که بیان نسبی *AsAP2* طی ۱۲ تا ۲۰ هفته پس از کاشت به‌طور قابل توجهی در مریستم انتهایی و سپس در گل‌آذین افزایش می‌یابد.

مقایسه بیان نسبی *AsAP2* در مریستم سیرگلده و نیمه‌گلده طی ۱۲ تا ۲۰ هفته پس از کاشت در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان داد که بیان نسبی این ژن در همه زمان‌های مورد بررسی در مریستم سیر نیمه‌گلده در مقایسه با سیر گلده کمتر بود. کمترین میزان بیان نسبی *AsAP2* در مریستم سیر نیمه‌گلده در مقایسه با سیر گلده در ۲۰ هفته پس از کاشت صورت گرفت و میزان آن ۳/۱ برابر کمتر از مریستم سیر گلده بود.

AP2 در آراییدوبسیس به‌عنوان ژن هویت مریستم گل در تشکیل مریستم گل‌آذین و گل‌های منفرد مؤثر است (Ohto *et al.*, 2005)، اما در گل میمون به‌عنوان ژن هویت مریستم اندام گل بوده و نقشی



شکل ۴- بیان نسبی *AsAP2* در سیر گلده، نیمه‌گلده و غیر گلده

Figure 4- Relative expression of *AsAP2* in non-, semi- and bolting garlic clones

نمونه‌ها در ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ هفته پس از کاشت از مریستم هر سه هم‌گروه و ۲۴ هفته پس از کاشت از گل‌آذین تهیه شدند. شاهد (c) مریستم سیر نیمه‌گلده در ۲۰ هفته پس از کاشت می‌باشد، ne عدم بیان ژن در اندام مورد بررسی، * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱.

Sample at 4, 8, 12, 16 and 20 weeks after planting are the meristem of three clones and 24 weeks after planting are from the inflorescence of semi- and bolting clones

Control: meristem of non-bolting clone 16 weeks after planting (c), ne indicates that gene didn't express in the organ.

** and * indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه بیان نسبی ژن *AsAP2* در مریستم سیر نیمه گلده با سیر گلدهTable 5- Relative expression of *AsAP2* in the meristem of semi-bolting garlic in comparison to bolting garlic

زمان نمونه گیری Sampling time (هفته پس از کاشت) (weeks after planting)	نسبت بیان Relative expression
12	-2.12**
16	-2.33*
20	-3.1*

-: نشان دهنده کاهش بیان ژن در مقایسه با شاهد، ^{ns}: غیرمعنی دار، **: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و *: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵.
-: shows down expression in comparison to control, ** and *: indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively, and ^{ns}: shows non- significant.

به دست آمده، بیشترین میزان بیان نسبی *AsFLC* به عنوان یک ژن بازدارنده گل دهی قبل از بهار و در سیر غیر گلده مشاهده شد. پس از بهار، بیان این ژن در هر سه هم گروه روند نزولی داشت، اما این روند در سیر گلده با سرعت بیشتری صورت گرفت و میزان بیان نسبی آن در تمامی زمان های مورد بررسی در مقایسه با سیر غیر گلده و نیمه گلده بسیار کمتر بود. به دنبال کاهش بیان ژن *AsFLC*، بیان ژن های محرک گل دهی *AsSOC1* و *AsAP1* در مرحله القاء گل دهی در مریستم انتهای سیر گلده به سرعت افزایش یافت و بیان آن ها در مقایسه با سیر نیمه و غیر گلده به مراتب بالاتر بود. بیان *AsAP2* کمی دیرتر از ژن های محرک گل دهی در مریستم سیر گلده و نیمه گلده به بیشترین میزان خود رسید و در مریستم سیر غیر گلده بیان نشد. از سوی دیگر، بیان نسبی *AsAP1* در گل آذین سیر گلده بیشتر از سیر نیمه گلده بود و *AsAP2* تنها در گل آذین سیر گلده بیان شد، از این رو این احتمال وجود دارد که تفاوت در سطح بیان ژن های بازدارنده و محرک گل دهی در هم گروه ها، یکی از دلایل تفاوت های ریخت شناختی در تشکیل ساقه گل دهنده و گل آذین در هم گروه های مختلف سیر باشد، به طوری که تشکیل ساقه گل دهنده و گل آذین کامل تنها در سیر گلده صورت گرفت. در سیر نیمه گلده یک ساقه کوتاه و فاقد گل آذین در بین برگ ها تشکیل شد و در سیر غیر گلده ساقه گل دهنده تشکیل نشد. در مجموع، از نتایج حاصل از این پژوهش می توان برای درک بهتر مسیر ژنتیکی گل دهی و باروری سیر با هدف بهبود برنامه های اصلاحی استفاده کرد.

بر اساس گزارش روتن و همکاران (Roten et al., 2011)، انتقال از فاز رویشی به زایشی و آغازش و تمایز یابی اولیه گل آذین و مریستم گل در سیر طی هشت تا ۲۰ هفته پس از کاشت صورت می گیرد، از این رو نتایج به دست آمده در این تحقیق با یافته های تانگ و همکاران (Tang et al., 2007)، چاک و همکاران (Chuck et al., 2008) و او هتو و همکاران (Ohto et al., 2005) مبنی بر بیان *AP2* در سر آغازه گل آذین و گل های منفرد مطابقت دارد.

در انواع جهش یافته ذرت برای ژن های *ids1* و *sid1* گل آذین فاقد گلچه های جانبی بوده و تنها دارای یک ساختار مشابه با گلچه که به وسیله اندامی براکته مانند پوشیده شده است، می باشد (Chuck et al., 2008). در پژوهش حاضر نیز گل آذین طبیعی حاوی گلچه تنها در سیر گلده مشاهده شد. در سیر نیمه گلده ساقه گل دهنده کوتاه حاوی یک گل آذین ناقص، فاقد گلچه و دارای ساختارهای براکته مانند تشکیل شد. میزان بیان نسبی *AsAP2* در این هم گروه نیز در مقایسه با سیر گلده در تمامی مراحل مورد بررسی به مراتب کمتر بود (جدول ۵)، از این رو با توجه به تفاوت ریخت شناختی مشاهده شده، به نظر می رسد که سطوح پایین بیان *AsAP2* در سیر نیمه گلده در مقایسه با سیر گلده یکی از موانع تشکیل گل آذین طبیعی در این هم گروه باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش برای اولین بار الگوی بیان دو گروه از مهم ترین ژن های بازدارنده و محرک گل دهی با هدف درک بهتر مسیر بهار و گل دهی در هم گروه های مختلف سیر بررسی شد. بر اساس نتایج

References

- 1- Bao, S., Hua, C., Shen, L., & Yu, H. (2020). New insights into gibberellin signaling in regulating flowering in Arabidopsis. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62(1), 118-131. <https://doi.org/10.1111/jipb.12892>
- 2- Brunner, A.M., Rottmann, W.H., Sheppard, L.A., Krutovskii, K., DiFazio, S.P., Leonardi, S.L., & Straus, S.H. (2000). Structure and expression of duplicate AGAMOUS orthologues in poplar. *Plant Molecular Biology*, 44, 619-634. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026550205851>.
- 3- Chen, M.K., Lin, I.C., & Yang, C.H. (2008). Functional analysis of three lily (*Lilium longiflorum*) *APETALA1*-like MADS box genes in regulating floral transition and formation. *Plant and Cell Physiology*, 49(5), 704-717. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn046>

- 4- Chuck, G., Meeley, R., & Hake, S. (2008). Floral meristem initiation and meristem cell fate are regulated by the maize AP2 genes *ids1* and *sid1*. *Development*, 135(18), 3013-3019. <https://doi.org/10.1242/dev.024273>
- 5- Deng, W., Ying, H., Helliwell, C. A., Taylor, J.M., Peacock, W.J., & Dennis, E.S. (2011). *FLOWERING LOCUS C* (*FLC*) regulates development pathways throughout the life cycle of *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 108, 6680–6685. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103175108>
- 6- Ding, L., Wang, Y., & Yu, H. (2013). Overexpression of *DOSOC1*, an ortholog of *Arabidopsis SOC1*, promotes flowering in the orchid *Dendrobium chao parya* smile. *Plant Cell Physiology*, 54, 595–608. <https://doi.org/10.1093/pcp/pct026>.
- 7- Fornara, F., Parenicova, L., Falasca, G., Pelucchi, N., Masiero, S., Ciannanea, S., Lopez-Dee, Z., Altamura, M.M., Colombo, L., & Kater, M.M. (2004). Functional characterization of *OsMADS18*, a member of the *AP1/SQUA* subfamily of MADS box genes. *Plant Physiology*, 135(4), 2207-2219. <https://doi.org/10.1104/pp.104.045039>.
- 8-Gocal, G.F., King, R.W., Blundell, C.A., Schwartz, O.M., Andersen, C.H., & Weigel, D. (2001) Evolution of floral meristem identity genes: Analysis of *Lolium temulentum* genes related to *APETALA1* and *LEAFY* of arabidopsis. *Plant Physiology*, 125, 1788–1801. <https://doi.org/10.1104/pp.125.4.1788>.
- 9-Ghaemizadeh, F., Dashti, F.A.R.S.H.A.D., & Shafeinia, A.R. (2018). Expression analysis of *gaLFY* and *AsFT* during reproductive development in different organs of some Iranian garlic (*Allium sativum* L.) clones. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(1), 269-278. (In Persian with English abstract). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20203074943>
- 10-Ghaemizadeh, F., Dashti, F., & Shafeinia, A. (2019). Expression pattern of ABCDE model genes in floral organs of bolting garlic clone. *Gene Expression Patterns*, 34, 119059. <https://doi.org/10.1016/j.gep.2019.119059>.
- 11-Ghaemizadeh, F., Dashti, F., & Mosavi, A. (2024). Expression pattern and structural analysis of *AGAMOUS-LIKE 6* (*AGL6*) in Iranian garlic clones (*Allium sativum* L.). *Agricultural Biotechnology Journal*, 16(1), 155-174. (in Persian with English abstract). <https://www.sid.ir/files/server/jf/961-279249-fa-1129535.pdf>
- 12-Greenup, A.G., Sasani, S., Oliver, S.N., Talbot, M.J., Dennis, E.S., Hemming, M.N., & Trevaskis, B. (2010). *ODDSOC2* is a MADS box floral repressor that is down-regulated by vernalization in temperate cereals. *Plant Physiology*, 153(3), 1062-1073. <https://doi.org/10.1104/pp.109.152488>.
- 13-Hepworth, S.R. Valverde, F., Ravenscroft, D., Mouradov, A., & Coupland, G. (2002) Antagonistic regulation of flowering-time gene *SOC1* by *CONSTANS* and *FLC* via separate promoter motifs. *The European Molecular Biology Organization Journal*, 21(16), 4327-4337. <https://doi.org/10.1093/emboj/cdf432>
- 14-Helliwell, C.A., Wood, C.C., Robertson, M., James Peacock, W., & Dennis, E.S. (2006). The arabidopsis *FLC* protein interacts directly *in vivo* with *SOC1* and *FT* chromatin and is part of a high-molecular-weight protein complex. *The Plant Journal*, 46(2), 183-192. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2006.02686.x>
- 15-Hantari, D., Purnomo, D., & Triharyanto, E. (2020). The effects of fertilizer composition and gibberellin on flowering and true shallot seed formation of three shallot varieties at the highlands. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 423(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/423/1/012032>.
- 16-Irish, V.F., & Litt, A.T. (2005). Flower development and evolution: Gene duplication, diversification and redeployment. *Current Opinion in Genetics and Development*, 15(4), 454-460. <https://doi.org/10.1016/j.gde.2005.06.001>.
- 17-Kamenetsky, R., Faigenboim, A., Mayer, E.S., Michael, T.B., Gershberg, C., Kimhi, S., & Sherman, A. (2015). Integrated transcriptome catalogue and organ-specific profiling of gene expression in fertile garlic (*Allium sativum* L.). *Biomed Central Genomics*, 16(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1212-2>.
- 18-Kennedy, A., & Geuten, K. (2020). The role of *FLOWERING LOCUS C* relatives in cereals. *Frontiers in Plant Science*, 11, 617340. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.617340>.
- 19-Kim, D.H., & Sung, S. (2014). Genetic and epigenetic mechanisms underlying vernalization. *The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists*, 12, 1-15. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3952384/>
- 20-Lee, R., Baldwin, S., Kenel, F., McCallum, J., & Macknight, R. (2013). *FLOWERING LOCUS T* genes control onion bulb formation and flowering. *Nature Communications*, 4(1), 1-9. <https://www.nature.com/articles/ncomms3884>.
- 21-Pan, R., Xu, L., Wei, Q., Wu, C., Tang, W., Oelmüller, R., & Zhang, W. (2017). Piriformospora indica promotes early flowering in *Arabidopsis* through regulation of the photoperiod and gibberellin pathways. *Plos One*, 12(12), e0189791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189791>.
- 22-Liu, X.R., Pan, T., Liang, W.Q., Gao, L., Wang, X.J., Li, H.Q., & Liang, S. (2016) Overexpression of an orchid (*Dendrobium nobile*) *SOC1/TM3-Like* ortholog, *DnAGL19*, in *Arabidopsis* regulates *HOS1-FT* expression. *Frontiers in Plant Science*, 7(99), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00099>.
- 23-Livak, K.J., & Schmittgen, T.D. (2001). Analysis of relative gene expression data using Real-Time quantitative PCR and the 2⁻ ΔΔCT methods. *Methods*, 25, 402-408. <https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>.

- 24-Murai, K., Miyamae, M., Kato, H., Takumi, S., & Ogiyara, Y. (2003). *WAP1*, a wheat *APETALA1* homolog, plays a central role in the phase transition from vegetative to reproductive growth. *Plant and Cell Physiology*, 44(12), 1255-1265. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcg171>.
- 25-Medard, N.G., & Yanofsky, M.F. (2001). Function and evolution of the plant MADS-box gene family. *Nature Reviews Genetics*, 2(3), 186-195. <https://doi.org/10.1038/35056041>.
- 26-Nakamura, T., Song, I., Fukuda, T., Yokoyama, J., Maki, M., & Ochiai, T. (2005) Characterization of *TrcMADS1* gene of *Trillium camtschaticense* (*Trilliaceae*) reveals functional evolution of the *SOC1/TM3-like* gene family. *Journal of Plant Research*, 118, 229–234. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10265-005-0215-5>.
- 27-Ohto, M.A., Fischer, R.L., Goldberg, R.B., Nakamura, K., & Harada, J.J. (2005). Control of seed mass by *APETALA2*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 3123–3128. <https://doi.org/10.1073/pnas.040985810>
- 28-Papaefthimiou, D., Kapazoglou, A., & Tsafaris, A.S. (2012). Cloning and characterization of *SOC1* homologs in barley (*Hordeum vulgare*) and their expression during seed development and in response to vernalization. *Physiologia Plantarum*, 146(1), 71-85. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01610.x>
- 29-Pfaffl, M.W., Horgan, G.W., & Dempfle, L. (2002). Relative expression software tool (REST©) for group-wise comparison and statistical analysis of relative expression results in real-time PCR. *Nucleic Acids Research*, 30(9), 36-36. <https://doi.org/10.1093/nar/30.9.e36>.
- 30-Rotem, N., Einat, Sh., Yuval, P., Fouad, A., Orit, E., Haim, D., Rabinowitch, I., & Rina, K. (2007). Reproductive development and phenotypic differences in garlic are associated with expression and splicing of *LEAFY* homologue *gaLFY*. *Journal of Experimental Botany*, 58(5), 1133–1141. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl272>.
- 31-Rotem, N., David-Schwartz, R., & Peretz, Y. (2011). Flower development in garlic: The ups and downs of *gaLFY* expression. *Planta*, 233, 1063–1072. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-011-1361-8>.
- 32-Ruelens, P., De Maagd, R.A., Proost, S., Theißen, G., Geuten, K., & Kaufmann, K. (2013). *FLOWERING LOCUS C* in monocots and the tandem origin of angiosperm-specific MADS-box genes. *Nature Communications*, 4(1), 2280. <https://doi.org/10.1038/ncomms3280>
- 33-Ryu, C.H., Lee, S., Cho, L.H., Kim, S.L., Lee, Y.S., & Choi, S.C. (2009). *OsMADS50* and *OsMADS56* function antagonistically in regulating long day (LD)-dependent flowering in rice. *Plant Cell Environment*, 32, 1412–1427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02008.x>
- 34- Searle, I., He, Y., Turck, F., Vincent, C., Fornara, F., Kröber, S., & Coupland, G. (2006). The transcription factor *FLC* confers a flowering response to vernalization by repressing meristem competence and systemic signaling in Arabidopsis. *Genes & Development*, 20(7), 898-912. <https://doi.org/10.1101/gad.373506>
- 35-Simon, P.W., & Jenderek, M.M. (2003). Flowering, seed production and the genesis of garlic breeding. *Plant Breeding Reviews*, 23, 211-244. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470650226#page=424>.
- 36-Shalom, S.R., Gillett, D., & Zemach, H. (2015). Storage temperature controls the timing of garlic bulb formation via shoot apical meristem termination. *Planta*, 242(4), 951-962. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-015-2334-0>.
- 37-Sharma, N., Ruelens, P., D'hauw, M., Maggen, T., Dochy, N., Torfs, S., & Geuten, K. (2017). A flowering locus C homolog is a vernalization-regulated repressor in Brachypodium and is cold regulated in wheat. *Plant Physiology*, 173(2), 1301-1315. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01161>
- 38- Sharma, N., Geuten, K., Giri, B.S., & Varma, A. (2020). The molecular mechanism of vernalization in Arabidopsis and cereals: Role of *Flowering Locus C* and its homologs. *Physiologia Plantarum*, 170(3), 373-383. <https://doi.org/10.1111/ppl.13163>
- 39- Schilling, S., Kennedy, A., Pan, S., Jermin, L.S., & Melzer, R. (2020). Genome-wide analysis of MIKC-type MADS-box genes in wheat: Pervasive duplications, functional conservation and putative neo functionalization. *New Phytologist Foundation*, 225(1), 511-529. <https://doi.org/10.1111/nph.16122>
- 40- Tang, M., Li, G., & Chen, M. (2007). The phylogeny and expression pattern of *APETALA2-like* genes in rice. *Journal of Genetics and Genomics*, 34(10), 930-938. [https://doi.org/10.1016/s1673-8527\(07\)60104-0](https://doi.org/10.1016/s1673-8527(07)60104-0).
- 41- Takagi, H. (1990). *Biochemistry, Food Science, and Minor Crops*. In: Onions and Allied Crops. J.L. Brewster H.D. Rabinowitch (eds). CRC Press, BocaRaton, Florida, 3, 109-146. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282270522244736>.
- 42- Winfield, M.O., Lu, C., Wilson, I.D., Coghill, J.A., & Edwards, K. (2009). Cold- and light-induced changes in the transcriptome of wheat leading to phase transition from vegetative to reproductive growth. *BMC Plant Biology*, 9, 55. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-55>
- 43- Yant, L., Mathieu, J., Dinh, T.T., Ott, F., Lanz, C., Wollmann, H., Chen, X., & Schmid, M. (2010). Orchestration of the floral transition and floral development in Arabidopsis by the bifunctional transcription factor *APETALA2*. *The Plant Cell*, 22(7), 2156-2170. <https://doi.org/10.1105/tpc.110.075606>.

- 44- Yalovsky, S., Rodríguez-Concepción, M., Bracha, K., Toledo-Ortiz, G., & Gruissem, W. (2000). Prenylation of the floral transcription factor *APETALA1* modulates its function. *The Plant Cell*, 12(8), 1257-1266. <https://doi.org/10.1105/tpc.12.8.1257>
- 45- Yu, H., & Goh, C.J. (2000). Identification and characterization of three orchid MADS-box genes of the *AP1/AGL9* subfamily during floral transition. *Plant Physiology*, 123, 1325–1336. <https://doi.org/10.1104/pp.123.4.1325>
- 46- Yan, X., Wang, L.J., Zhao, Y.Q., & Jia, G.X. (2022). Expression patterns of key genes in the photoperiod and vernalization flowering pathways in *Lilium longiflorum* with different bulb sizes. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), 8341. <https://doi.org/10.3390/ijms23158341>
- 47- Yant, L., Mathieu, J., Dinh, T.T., Ott, F., Lanz, C., Wollmann, H., Chen, X., & Schmid, M. (2010). Orchestration of the floral transition and floral development in *Arabidopsis* by the functional transcription factor *APETALA2*. *The Plant Cell*, 22(7), 2156-2170. <https://doi.org/10.1105/tpc.110.075606>.
- 48- Yoo, S.K., Chung, K.S., Kim, J., Lee, J.H., Hong, S.M., Yoo, S.J., & Ahn, J.H. (2005) *CONSTANTS* activates *SUPPRESSORS of OCEREpression of CONSTANS 1* through *FLOWERING LOCUS T* to promote flowering in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 139(2), 770-778. <https://doi.org/10.1104/pp.105.066928>

Antifungal Effect of Some Essential Oils on Increasing Shelf Life and Quality Parameters of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruit

M. Bahrami¹, M. Jahani^{1*}, M.H. Aminifard²

1- Department of Plant Protection, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Department of Horticultural Science, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

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

Received: 20 July 2024

Revised: 18 October 2024

Accepted: 22 October 2024

Available Online: 22 October 2024

How to cite this article:

Bahrami, M., Jahani, M., & Aminifard M.H. (2025). Antifungal effect of some essential oils on increasing shelf life and quality parameters of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 235-249. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88958.1363>

Introduction

Long term storage of pomegranate fruit is compromised by pathogens that cause postharvest rots and decay. Pomegranates are predisposed to attack from various pathogens at pre- and/or postharvest stage, which has a significant impact on fruit quality and storage life. These pathogens often cause damage to the tissues, thereby making the fruit unsaleable. A significant portion of pomegranate pre- and postharvest losses is attributed to diseases associated with various bacterial and fungal species. The use of plant essential oils is considered as a new idea in reducing post-harvest waste and increasing the storage life of horticultural products and controlling fungal contamination in developed agriculture. This study was conducted with the aim of determining the antifungal effect of some herbal essential oils in different concentrations on pomegranate fruit to prevent the growth of *Penicillium* fungus *in vitro* and *in vivo*.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of the essential oils of some medicinal plants on the fungus *Penicillium* sp. in pomegranate fruit in *in vivo* and *in vitro* conditions, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three replications at the Faculty of Agriculture of Birjand University in 2022. The first factor included the type of essential oil: Ginger, Zenian, Tarragon and Cardamom essential oils, and the second factor included the concentration of essential oil at five levels (0, 200, 400, 600, and 800 microliters.liter⁻¹). The index measured in *in vitro* conditions was the radial growth of the fungus. The indicators measured *in vivo* conditions include appearance of the fruit, TSS, pH, total acidity (meq.g⁻¹), total phenol (mg galic acid.100 g⁻¹ FW), antioxidant (%), antocyanin (mg.g⁻¹) and tissue firmness. Finally, the experimental data were statistically analyzed using SAS program and comparison of means was performed by LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the increase in the concentration of essential oils also increases their antifungal activity, so the highest inhibition rate was observed in Ginger essential oil and the lowest in Cardamom essential oil on the growth of the fungus colony. The strongest antifungal activity was observed with the essential oils of ginger, zedoary (Zenian), tarragon, and cardamom, in that order. Notably, no fungal growth was detected in samples treated with ginger essential oil throughout the entire sampling period. These results indicate that the tested essential oils effectively inhibited fungal colony growth and demonstrated significant antifungal potential. In *in vivo* conditions, the best fruit appearance was obtained in pomegranates impregnated with Zenian and Ginger essential oils, and the least was observed in Cardamom essential oil. Ginger essential oil had the highest amount of soluble solids. The highest pH value of fruit juice was obtained from Ginger essential oil and the lowest pH



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.88958.1363>

value was obtained from Tarragon and Cardamom essential oils. The fruits treated with Tarragon essential oil had the highest total acidity. The fruits treated with Ginger essential oil had the highest amount of total phenol. The statistical comparison of the averages showed that the highest percentage of antioxidants was observed in the Ginger essential oil treatment and the lowest antioxidant percentage was found in the Tarragon essential oil treatment. The results showed that the infected fruits treated with Zenian essential oil with a concentration of 800 microliters.liter⁻¹ had the highest antioxidant. The results of the comparison of the averages related to the effect of the type of essential oil show that Cardamom and Ginger essential oils had the highest and lowest anthocyanin content, respectively. In this experiment, Ginger essential oil had the highest hardness of the fruit texture and the lowest index was obtained from the essential oil of Zenian.

Conclusions

In general, the results of this research showed that essential oils have antifungal properties in the control of fungal disease after harvest; *in-vitro* tests showed that Cardamom essential oil had a very low fungicidal effect and in the control of *Penicillium* sp. Ginger essential oil had the most fungicidal effect. Antifungal properties increased with increasing the concentration of essential oil, but the antifungal property of Ginger essential oil was 100% in 400-800 concentrations used. Under natural conditions, Ginger and Zenian essential oil has good antifungal activity against *Penicillium* sp. Considering the biodegradability and low toxicity of plant essential oils, the use of Ginger and Zenian essential oil is recommended to increase the shelf life of food products and can be used as disease controllers in agriculture.

Keywords: Anthocyanin, Anti-Pathogen, Inhibitory, Post-Harvest

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۲۴۹-۲۳۵

بررسی اثر ضدقارچی برخی اسانس‌های گیاهان دارویی بر افزایش عمر انبارمانی و مشخصه‌های کیفی میوه انار (*Punica granatum* L.)

مینا بهرامی^۱ - مهدی جهانی^{۱*} - محمدحسین امینی فرد^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱

چکیده

عصاره و اسانس برخی از گیاهان دارویی دارای خاصیت ضد میکروبی می‌باشند، که جایگزین مناسبی برای قارچ‌کش‌های شیمیایی محسوب می‌گردند، لذا استفاده از اسانس‌های گیاهی در افزایش انبارمانی و حفظ کیفیت محصولات باغبانی به‌عنوان ایده‌ای جدید در کشاورزی نوین مطرح می‌باشد. این مطالعه به‌منظور تعیین اثر ضدقارچی اسانس‌های زنجبیل، زنیان، ترخون و هل در پنج غلظت صفر، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر روی میوه انار (*Punica granatum* L.) رقم شیشه‌کپ جهت جلوگیری از رشد قارچ پنی‌سیلیوم در شرایط *in vitro* و *in vivo* اجرا شده است. نتایج آزمایش *in vitro* نشان داد که افزایش غلظت اسانس‌ها، فعالیت ضدقارچی آن‌ها را نیز افزایش می‌دهد، به‌طوری‌که کم‌ترین قطر هاله قارچ از غلظت ۸۰۰ میکرولیتر بر لیتر اسانس به دست آمد. مقایسه میانگین نوع اسانس نشان داد که بیش‌ترین میزان بازدارندگی از رشد قارچ در اسانس زنجبیل و کم‌ترین میزان در اسانس هل بر روی رشد کلنی قارچ مشاهده شد. نتایج اثر متقابل نشان داد که غلظت‌های بالاتر از ۲۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس زنیان مانع رشد ۱۰۰ درصدی کلنی قارچ شدند. در شرایط *in vivo* بهترین ظاهر میوه در انارهای آغشته به اسانس‌های زنیان و زنجبیل به دست آمد و کم‌ترین آن در اسانس هل مشاهده شد. اسانس زنجبیل دارای بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول (۱۵/۷۹)، فنل کل (۰/۱۹۴) میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم وزن تر) و سفتی بافت میوه (۷/۶۷ نیوتن بر کیلوگرم) بود. بیش‌ترین pH آب میوه و میزان آنتی‌اکسیدان از تیمار اسانس زنجبیل و زنیان حاصل شد. بیش‌ترین میزان آنتی‌اکسیدان میوه‌های انار آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم در تیمار ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس زنیان به دست آمد. نتایج این بررسی نشان داد که می‌توان از اسانس‌های گیاهی زنجبیل و زنیان به‌عنوان مهارکننده بیماری‌های پس از برداشت در محصولات کشاورزی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، بازدارندگی، پس از برداشت، ضدقارچ

(2021; Yang et al., 2022).

مقدمه

قارچ‌ها شایع‌ترین بیمارگرهای پس از برداشت میوه‌ها و سبزیجات در سراسر جهان هستند (Xiao & Rogers, 2004). جنس پنی‌سیلیوم دارای تعداد گونه‌های متعددی بوده و برخی از آن‌ها در گیاهان ایجاد بیماری می‌کنند. برخی از گونه‌های قارچ پنی‌سیلیوم اتیلن تولید می‌کنند که باعث تغییر رنگ و رسیدن سریع میوه‌ها می‌شود و قابلیت نگهداری را کاهش می‌دهد (Aidoo et al., 1991). گونه‌های مربوط به این

انار با نام علمی *Punica granatum* L. متعلق به خانواده Punicaceae است. انار یکی از قدیمی‌ترین میوه‌های شناخته‌شده است که در مناطق کویری با تابستان‌های گرم محصول خوبی می‌دهد (Meighani et al., 2014). میوه انار سرشار از ترکیبات پلی فنلیک (گالوتانین، الازیتاننوپلترین) است و به‌دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و ضداسهالی خود شناخته شده است (Brighenti et al.,

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(Email: mjahani@birjand.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

جنس، بیش‌تر میوه‌ها را آلوده کرده و منجر به ظهور لکه‌هایی عموماً سبز رنگ روی میوه‌هایی نظیر هلو (*Prunus persica* L.) سیب (*Malus domestica* Borkh) و پرتقال (*Citrus sinensis* L.) می‌شوند. بنابراین، به این طریق باعث کاهش کیفی محصولات تولیدی می‌شوند (Louw & Korsten, 2014).

مدیریت پس از برداشت بیمارگرهای بیماری‌زا در محصولات تازه عمدتاً با استفاده از قارچ‌کش‌ها انجام می‌شود (El-Ramady et al., 2014; Mari et al., 2014). با توجه به افزایش نگرانی‌های بشر نسبت به سلامت انسانی ناشی از باقی‌مانده مصرف سموم روی محصولات کشاورزی، استفاده از روش‌های جایگزین به‌جای قارچ‌کش‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Teksur, 2015). استفاده از اسانس‌ها به‌عنوان جایگزینی برای قارچ‌کش‌های مصنوعی، پتانسیل زیادی برای مهار بیماری‌های پس از برداشت در محصولات تازه نشان داده است (Sivakumar & Bautista-Baños, 2014; Antunes & Cavaco, 2010).

اسانس‌ها دارای ترکیبات پیچیده فعال مانند فنل‌ها، هیدروکربن‌ها، الکل‌ها، کتون‌ها و آلدهیدها هستند که یک اثرهم‌افزایی در اجزاء آن مشاهده شده و توانایی جلوگیری از گسترش پوسیدگی‌های قارچی را در میوه دارند (Oliveira et al., 2019). کاربرد اسانس و عصاره‌های گیاهی برای مهار بیماری‌های پس از برداشت نه‌تنها خطری برای سلامت انسان ندارد، بلکه با خواص آنتی‌اکسیدانی بالایی که اسانس دارد موجب افزایش کیفیت و عمر انباری میوه می‌شود (Ramezani et al., 2016).

در یک بررسی مشخص گردید که در بین اسانس‌های گیاهی، آویشن باغی، دارچین، رزماری و مرزنجوش، بیش‌ترین فعالیت ضدقارچی را اسانس‌های آویشن باغی و دارچین جهت مهار *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum* روی میوه گلابی (*Pyrus Communis* L.) داشتند که از طریق زخم‌زنی و مایه‌زنی روی میوه‌ها ایجاد شده بود (Nikkhah et al., 2017). محققان در بررسی اثر ضدقارچی اسانس نعنای در غلظت‌های ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرولیتر در لیتر بر روی سوبه‌های قارچ پنی‌سیلیوم (*P. expansum*، *P. citrinum*، *P. crustosum*) دریافتند که مهار رشد سوبه‌های مذکور به‌طور معنی‌داری به غلظت اسانس بستگی دارد و غلظت ۵۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس فعالیت ضدقارچی بیش‌تری در برابر رشد گونه‌های قارچی مورد مطالعه داشت (Valkova et al., 2023). محققان در بررسی تأثیر عصاره گیاهان زنجبیل (*Zingiber officinale*)، سیر (*Allium sativum*)، علف لیمو (*Cymbopogon*) و چیلی (*Capsicum annuum*) و مدت زمان نگهداری بر کیفیت میوه لیموی کفیر (*Citrus hystrix*) گزارش کردند که کم‌ترین درصد

کاهش وزن میوه، pH آب میوه و مواد جامد محلول و بیش‌ترین استحکام بافت میوه، درصد اسیدیته قابل تیتراسیون و آسکوربیک اسید، با کاربرد اسانس سیر حاصل شد (Samad et al., 2019). نتایج آزمایشگاهی جهانی و همکاران (Jahani et al., 2020) نشان داد که رشد *Penicillium* sp. به‌طور کامل با استفاده از روغن انیسون در غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر مهار شد.

با توجه به اثرات زیان‌بار باقی‌مانده سموم برای محیط زیست و مصرف‌کنندگان، این پژوهش به‌منظور تعیین اثر ضدقارچی اسانس‌های زنجبیل، زنیان، ترخون و هل علیه قارچ پنی‌سیلیوم در شرایط *in vitro* و *in vivo* روی میوه انار مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، اثر چهار اسانس گیاهی شامل اسانس‌های زنیان، ترخون، زنجبیل و هل در غلظت‌های مختلف و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی در دو شرایط آزمایشگاهی روی محیط کشت PDA و در آزمایش دوم روی میوه‌های انار علیه قارچ *Penicillium* sp. مورد بررسی قرار گرفت.

جداسازی و خالص‌سازی قارچ‌ها

در ابتدا برای جداسازی جدایه‌های قارچی، میوه‌های آلوده انار که دارای علائم بودند، جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. از نقاط آلوده میوه، ریزنمونه‌هایی تهیه شدند تا پس از ضدعفونی با سدیم هیپوکلریت یک درصد به‌مدت دو تا سه دقیقه و سه بار شست‌وشو با آب مقطر استریل، در داخل تشتک‌های حاوی محیط کشت سبب زمینی-دکستروز آگار کشت و به انکوباتور با دمای ۲۸-۲۵ درجه سلسیوس منتقل گردید. پس از بررسی نمونه‌ها و رشد آن‌ها براساس شکل هاله قارچ و تهیه اسلایدهای میکروسکوپی با استفاده از کلیدهای موجود قارچ‌ها شناسایی گردید. برای خالص‌سازی از محیط کشت آب-آگار و روش تک اسپور کردن استفاده شد (Nelson et al., 1983).

اسانس‌های مورد استفاده در آزمایش

اسانس‌های گیاهان دارویی زنیان، ترخون، زنجبیل و هل از شرکت طب دارو تهیه شد.

بررسی فعالیت ضدقارچی در شرایط آزمایشگاه

اثرات ضدقارچی اسانس‌های مذکور بر روی قارچ پنی‌سیلیوم، به‌روش اختلاط اسانس در غلظت‌های ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر با محیط کشت PDA بررسی شد. در این روش، محیط کشت PDA در ارلن‌های یک لیتری تهیه شد و اتوکلاو گردید.

سه تکرار در نظر گرفته شد. سپس میوه‌های قارچی را درون بشرهای حاوی غلظت‌های مختلف اسانس (محلول اسانس را از مخلوط اسانس به همراه استون و توین ۸۰ (۰/۰۵ درصد) برای حلالیت و جذب بهتر توسط میوه تهیه شد) به مدت سه دقیقه غوطه‌ور نموده و بعد از خشک کردن روی کاغذ صافی استریل، داخل ظروف یکبار مصرف و به یخچال با دمای چهار درجه سلسیوس منتقل شدند. سپس خصوصیات مختلف میوه مورد ارزیابی قرار گرفت.

درصد پوسیدگی میوه به صورت مشاهده‌ای در پنج درجه مورد بررسی قرار گرفتند: ۵: میوه‌هایی که ظاهر عالی داشتند و رنگ و حالت خود را حفظ کرده بودند. ۴: میوه‌هایی که درصد خیلی کمی حدود زیر ۱۰ درصد خرابی داشتند. ۳: میوه‌هایی که در آن‌ها پوسیدگی مشاهده شد و حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد لهیدگی داشتند و سیاه شده بودند. ۲: میوه‌هایی که از نظر ظاهری و پوسیدگی تا ۵۰ درصد خرابی داشتند. ۱: میوه‌هایی که بیشتر از ۵۰ درصد لهیدگی و سیاهی داشتند (Shiri et al., 2013).

اندازه‌گیری مواد جامد محلول با استفاده از رفرکتومتر دستی (RF10, 0-32° Brix, Extech Co., USA) و اسیدیته میوه به وسیله دستگاه pH متر دیجیتالی (Mettler Toledo, Switzerland) محاسبه شد. اسیدیته کل به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۲ اندازه‌گیری شد (AOAC, 1980). میزان آنتوسیانین با استفاده از روش تغییر اسیدیته تعیین شد (Swain, 1965). میزان فنل کل میوه با استفاده از معرف فولین سیکالتو و به وسیله اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Chuah et al., 2008) و برحسب میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر گزارش شد. ظرفیت آنتی اکسیدانی آب میوه از روش خشی‌کنندگی DPPH (۲۰۲-دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل) تعیین شد (Turkmen et al., 2005). سفتی میوه توسط دستگاه پنترومتر (FHT 200, Extech CO., USA) با نوک دو میلی‌متر انجام شد و برحسب نیوتون بر کیلوگرم گزارش شد.

نتایج و بحث

قطر هاله قارچ *Penicillium sp.*

نتایج آزمایش بیانگر تأثیر معنی‌دار اثر ساده غلظت اسانس بر میانگین قطر هاله قارچ *Penicillium sp.* بود، با توجه به نتایج مقایسه میانگین، غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس‌دارای کم‌ترین قطر هاله قارچ (۱۷/۹۱ میلی‌متر) بود و بیش‌ترین قطر هاله قارچ (۴۲/۰۰ میلی‌متر) در شاهد (غلظت صفر) به دست آمد (جدول ۱)، همچنین مشاهده شد که اثر ساده نوع اسانس بر میانگین قطر هاله قارچ معنی‌دار بود، کم‌ترین قطر هاله قارچ مربوط به تیمار اسانس زنجبیل (۸/۷۰ میلی‌متر)

پس از سرد شدن محیط تا دمای ۴۲ تا ۴۵ درجه سلسیوس، اسانس‌ها در غلظت‌های متفاوت به محیط اضافه و به هم زده شدند تا امولسیون کاملاً یکنواخت پدید آید. برای حلالیت بهتر اسانس‌ها در محیط کشت از توین ۸۰ استفاده شد. محیط‌های حاصل بلافاصله درون ظروف پتری به قطر ۹ سانتی‌متر تقسیم و اجازه داده شد تا محیط جامد گردد. همچنین در تمامی تیمارها سه پتری محیط کشت بدون اضافه نمودن اسانس (غلظت صفر اسانس) به عنوان محیط شاهد در نظر گرفته شد. پس از جامد شدن محیط، به وسیله لوپ استریل دیسک‌هایی به قطر پنج میلی‌متر از حاشیه میسیلیوم‌های قارچ هفت روزه را برداشته و به صورت معکوس روی محیط کشت (در قسمت وسط ظروف پتری حاوی محیط کشت) قرار داده شد. قارچ‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در انکوباتور نگهداری شدند. این آزمایش با سه تکرار برای هر تیمار و شاهد انجام گرفت. میزان رشد رویشی هاله قارچ‌ها تا زمانی که سطح محیط کشت پتری شاهد توسط قارچ کاملاً اشغال شود به فاصله هر سه روز اندازه‌گیری شد (Abbott, 1925). این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی و اجرا شد. داده‌ها به روش تجزیه واریانس (ANOVA) آنالیز و میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند از نرم‌افزار SAS 9.4 جهت تجزیه و تحلیل آماری استفاده گردید.

آلوده‌سازی میوه‌ها با سوسپانسیون قارچ

در ابتدا، انارهای رقم 'شیشه‌کپ' از باغی در روستای معصوم آباد شهرستان بیرجند تهیه و با آب مقطر استریل آبکشی سطحی نموده و بر روی کاغذ صافی استریل سترون پهن گردید تا خشک شوند. مراحل بعدی آزمایش در شرایط استریل در اتاق کشت و زیر هود انجام گرفت. سپس میوه‌ها به سوسپانسیون اسپور قارچ (1×10^6 اسپور در میلی‌لیتر آب مقطر استریل) منتقل و به مدت سه تا پنج دقیقه در آن نگهداری شدند. برای تهیه سوسپانسیون اسپور قارچ به نسبت 10^6 اسپور در میلی‌لیتر (Asgari Marjanlu et al., 2009)، ابتدا در سطح تشتک‌های محتوی قارچ با عمر هفت روز، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر سترون ریخته و پس از خیس خوردن آن توسط پیپت پاستوری که سر آن روی شعله خم شده و به حالت پارو در آمده بود، سطح محیط تراش داده شد تا اسپورها آزاد و جمع‌آوری گردند. با استفاده از لام گلبول شمار^۱ یک محلول سوسپانسیون 10^6 اسپور در میلی‌لیتر تهیه شد و در یک بشر به مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر، جهت فرو بردن میوه‌های توت‌فرنگی و آلوده کردن آن‌ها تهیه گردید. بعد از خروج میوه‌ها از سوسپانسیون قارچ، به روی کاغذ صافی منتقل کرده و به مدت دو ساعت برای ثابت شدن تلقیح قارچی زیر هود قرار داده شد. در این آزمایش برای هر تیمار

باکتریایی و قارچی با کاهش برهم‌کنش ATPase، تغییر ساختار میتوکندری، تخریب دیواره سلولی و غشاء، و ساختار و متابولیسم سلولی تعریف کردند (Wang et al., 2018). همچنین، پیشنهاد شد که فعالیت ضدقارچی اسانس‌ها ممکن است با اثرات هم‌افزایی ترکیبات متابولیک اولیه و ثانویه مرتبط باشد. از این نظر، ترکیبات فرار موجود در زنجبیل ممکن است از رشد قارچ‌ها جلوگیری کند (Kalhor et al., 2022). همچنین خاصیت ضدقارچی اسانس زنیان به وجود ترکیبات تیمول، ارا- سایمن و گاما-ترپنین در آن نسبت داده شده است (Bairwa et al., 2012; Astani & Schnitzler, 2014). مطالعات متعددی اثر قارچ کشی مونوترپن‌ها و سزکوئی ترپن‌های اکسیژنه را تأیید می‌کنند (Adekenov, 2017; Petrović et al., 2019). به نظر می‌رسد که درصد بالای ترکیبات ترپنی موجود در اسانس گیاهان جنس ترخون سبب افزایش چشمگیر قابلیت قارچ‌کشی و ارزش دارویی گونه‌های این جنس گیاهی شده است (Li et al., 2019). از طرف دیگر، اجزاء اصلی اسانس گیاه دارویی هل شامل ۸۱ سینئول، لینالول و آلفا ترپینیل استات می‌باشد (Savan & Küçükbay, 2013). و مطالعات قبلی اثرات ضد میکروبی فیتوکمیکال‌های مونوترپن مانند ۱،۸-سینئول، آلفا-پنین و آلفا-ترپینیل استات و غیره را در برابر تعداد زیادی از باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و عوامل بیماری‌زا نشان داده‌اند (Zielińska-Błajet & Feder-Kubis, 2020).

ظاهر میوه

اثر ساده غلظت و نوع اسانس تأثیر معنی‌داری بر ظاهر میوه‌های انار داشت، اما این شاخص تحت تأثیر اثر متقابل تیمارها قرار نگرفت. ملاحظه شد که با مصرف ۶۰۰ میکرولیتر در لیتر، بهترین ظاهر میوه و کم‌ترین این شاخص در شاهد به دست آمد (جدول ۳). در مورد عامل نوع اسانس، بهترین ظاهر میوه در انارهای آغشته به اسانس زنیان و زنجبیل به دست آمد و کم‌ترین آن در اسانس هل مشاهده شد (جدول ۳).

و بیش‌ترین قطر هاله قارچ مربوط به تیمار هل (۳۸/۸۶ میلی‌متر) بود (جدول ۲). اثر متقابل تیمارها نیز تأثیر معنی‌داری بر میانگین رشد قطر هاله قارچ داشت، به‌طوری‌که تیمار مصرف اسانس زنجبیل در سطوح (۴۰۰ تا ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر) سبب توقف ۱۰۰ درصدی رشد قارچ شد (شکل ۱). نتایج آزمایش جهانی و همکاران (Jahani et al., 2020) نشان داد که غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس آنیسون در محیط PDA به‌طور کامل رشد قارچ *Penicillium* sp. را مهار کرد. سایر محققان نیز گزارش کردند که غلظت ۴۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس آنیسون و ۶۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس زیره سیاه به‌طور کامل مانع رشد قطری قارچ پنی‌سیلیوم شدند (Aminifard & Bayat, 2017). سمیت سلولی اسانس عمدتاً به‌دلیل حضور فنل‌ها، آلدئیدها و الکل‌ها است که مانع فعالیت قارچ‌ها می‌شود (Bruni et al., 2003). فعالیت ضد میکروبی اسانس‌ها می‌تواند مربوط به حضور یک هسته آروماتیک و گروه OH باشد که می‌تواند بر پیوندهای هیدروژنی آنزیم در ریزموجودات اثر بگذارد (Farag et al., 1989). همچنین در برخی از مطالعات گزارش شده است که اسانس‌های گیاهی ممکن است مسیر متابولیکی ریزموجودات را تحت تأثیر قرار دهند. ترکیبات فنلی موجود در اسانس در غلظت‌های پایین، پروتئین را تخریب کرده و در غلظت‌های بالا به آنزیم‌های درگیر در تولید انرژی آسیب می‌زنند (Nychas, 1995). در این آزمایش از اسانس‌های زنجبیل، زنیان، ترخون و هل استفاده گردید که هر کدام از اسانس‌ها، دارای اجزاء مختلفی می‌باشند. ترکیبات شیمیایی اسانس زنجبیل شامل زینجیبرن (ترکیب اصلی) و به‌دنبال آن جرنیال، بیزابولن و آر-کورکومن می‌باشد. باین‌حال ممکن است حدود ۷۰-۶۰ جزء دیگر در آن باشد. این عوامل مسئول عملکرد ضد میکروبی اسانس زنجبیل هستند (Sefu et al., 2015). علاوه بر این، اسانس زنجبیل دارای ترکیبات شیمیایی چند وجهی است که شامل ترکیبات اصلی و جزئی مربوط به نحوه عملکرد ضدقارچی است. سیتال به‌عنوان مهم‌ترین ترکیب اسانس زنجبیل شناخته شده است (Cao et al., 2021) و مطالعات مختلف، آن را به‌عنوان مهار چندین بیمارگر

جدول ۱- اثر غلظت‌های مختلف اسانس بر رشد قطری قارچ *Penicillium* sp. در شرایط *in vitro*

Table 1- The effect of the essential oils concentration on the radial growth for *Penicillium* sp. fungi treatments in *in vitro* conditions

غلظت Concentration ($\mu\text{L L}^{-1}$)	0	200	400	600	800
رشد قطری قارچ (میلی‌متر) Radial growth of fungus (mm)	42.00 ^a	23.95 ^b	21.25 ^c	17.04 ^d	17.91 ^d

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری بین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.

* The common letter indicates no significant difference between treatments by LSD test at 5% levels.

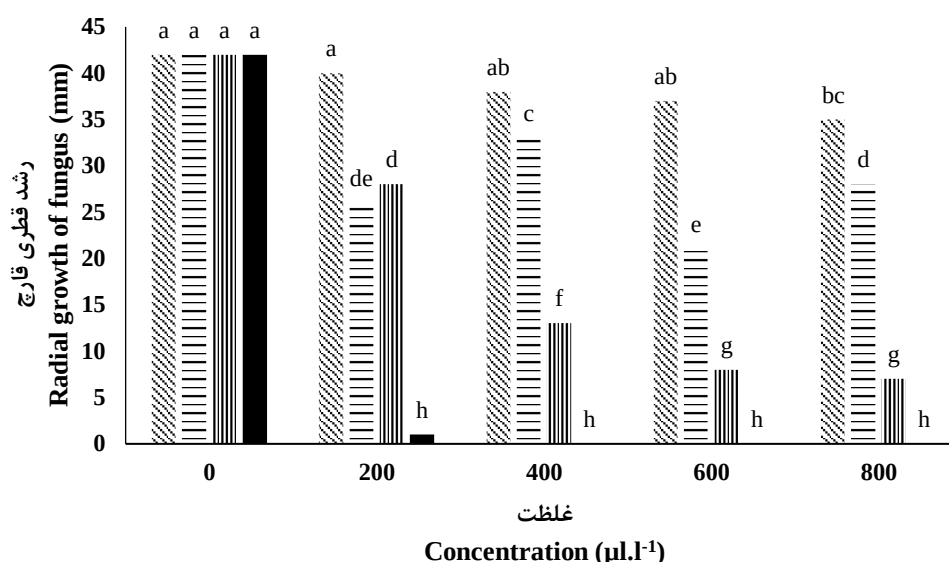
جدول ۲- اثر نوع اسانس‌های مختلف روی رشد قارچ *Penicillium sp.* در شرایط *in vitro*

 Table 2- The effect of type of essential oils on the radial growth of *Penicillium sp.* fungi in *in vitro* conditions

اسانس Essential oil	زنیان <i>Trachyspermum ammi</i>	ترخون <i>Artemisia dracunculus</i>	زنجبیل <i>Zingiber officinale</i>	هل <i>Elettaria cardamomum</i>
رشد قطری قارچ Radial growth of fungus (mm)	19.86 ^c	30.30 ^b	8.70 ^d	38.86 ^a

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری بین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.

* The common letter indicates no significant difference between treatments by LSD test at 5% levels.



⊗ *Elettaria cardamomum* اسانس هل ⊕ *Artemisia dracunculus* اسانس ترخون

⊞ *Trachyspermum ammi* اسانس زنیان ■ *Zingiber officinale* اسانس زنجبیل

 شکل ۱- اثر متقابل نوع × غلظت اسانس روی رشد قطری قارچ *Penicillium sp.*

 Figure 1- The interaction effect of type × concentration of essential oils on the radial growth of *Penicillium sp.* Fungi (LSD, $p \leq 0.05$)

هیدروژنی آنزیم‌های قارچ اثر می‌گذارد (Farag et al., 1989). هر چه تعداد گروه هیدروکسیل روی حلقه‌های فنلی اسانس‌ها بیش‌تر باشد، اثرات سمیت آن‌ها بر قارچ‌ها افزایش می‌یابد (Ultee et al., 2002). ترکیبات فنلی موجود در اسانس‌های گیاهی در غلظت‌های پایین سبب تخریب پروتئین و در غلظت‌های بالا سبب آسیب به آنزیم‌های درگیر در تولید انرژی در ریزجاندار می‌شود (Nychas, 1995). خاصیت آب‌گریزی اسانس‌های گیاهی موجب جایگزینی در قسمت لیپیدی غشاء پلاسمایی و از بین رفتن انسجام و یکپارچگی غشاء و در نتیجه باعث نشت یون‌ها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها از غشاء سلولی ریزموجودات می‌شود (Bagamboula et al., 2004; Guo et al., 2017). فعالیت ضد میکروبی اسانس‌ها همچنین می‌تواند به دلیل جلوگیری از حمل‌ونقل الکترونی و نفوذپذیری غشاء سیتوپلاسمی ریزموجودات باشد که منجر به کمبود پروتئین، فسفات و پتاسیم سلول می‌شود (Ramezani et al., 2016).

پوسیدگی میوه به فعالیت عوامل قارچی تغذیه‌کننده از سطح بافت میوه مربوط می‌شود. کاهش یافتن میزان پوسیدگی با خاصیت ضدباکتریایی و ضدقارچی اسانس مطابقت دارد. کاهش پوسیدگی با کاربرد اسانس‌های گیاهی در میوه‌های سیب (Zhang et al., 2019)، پرتقال (Fatemi et al., 2011)، لیمون (*Cymbopogon citratus*) (L. Nikkhah et al., 2012)، گلابی (Perez-Alfonso et al., 2012)، و انگور (*Vitis vinifera* L.) (Martinez-Romero et al., 2017) نیز گزارش شده است. کاربرد اسانس‌های گیاهی باعث جلوگیری از رشد باکتری و گونه‌های پنی‌سیلیوم و افزایش عمر انباری میوه‌های سیب و فلفل (*Capsicum annuum* L.) شدند (Krasniewska et al., 2014). اثر ضد میکروبی اسانس‌ها می‌تواند ناشی از آسیب غشاء سلول‌های قارچ به وسیله اسانس‌ها باشد (Bakkali et al., 2008). فعالیت ضدقارچی به دلیل وجود حلقه آروماتیک و گروه هیدروکسیل در اسانس‌ها است که بر پیوندهای

جدول ۳- اثر غلظت و نوع اسانس بر صفات کیفی مورد بررسی میوه‌های انار رقم 'شیشه‌کپ' آلوده به قارچ *Penicillium* sp.
 Table 3- The effect of concentration and type of essential oil on the investigated qualitative traits of pomegranate fruits cv. Shishe-kap infected with *Penicillium* sp.

		ظاهر میوه Appearance of the fruit	مواد جامد محلول TSS	pH	اسیدیته کل Total acidity (meq.g ⁻¹)	فنل کل Total phenol (mg galic acid.100 g ⁻¹ FW)	آنتی اکسیدان (%) Antioxidant (%)	آنتوسیانین (mg.g ⁻¹) Anthocyanin (mg.g ⁻¹)	سفتی بافت (N.kg ⁻¹) Tissue firmness (N.kg ⁻¹)
غلظت Concentration (μl.l ⁻¹)	0	4 ^{c*}	14.30 ^c	3.56 ^c	0.78 ^b	0.187 ^b	69.48 ^b	248.3 ^a	5.96 ^b
	200	4.25 ^{bc}	14.53 ^{bc}	3.83 ^{ab}	0.78 ^b	0.189 ^{ab}	71.40 ^{ab}	256.8 ^a	6.38 ^b
	400	4.25 ^{bc}	14.79 ^{abc}	3.79 ^{bc}	0.81 ^b	0.187 ^b	71.85 ^{ab}	233.2 ^a	7.65 ^a
	600	4.83 ^a	15.17 ^{ab}	3.85 ^{ab}	0.87 ^{ab}	0.190 ^{ab}	71.97 ^{ab}	204.9 ^b	7.49 ^a
	800	4.50 ^{ab}	15.55 ^a	3.99 ^a	0.91 ^a	0.194 ^a	73.58 ^a	237.7 ^a	7.80 ^a
نوع اسانس Essential oil type	هل <i>Elettaria cardamomum</i>	3.993 ^b	14.10 ^c	3.72 ^b	0.83 ^{ab}	0.185 ^b	70.02 ^b	260.0 ^a	6.72 ^b
	ترخون <i>Artemisia dracunculus</i>	4.33 ^a	14.59 ^{bc}	3.72 ^b	0.87 ^a	0.190 ^{ab}	69.13 ^b	234.0 ^b	7.12 ^{ab}
	زنیان <i>Trachyspermum ammi</i>	4.60 ^a	14.99 ^b	3.90 ^a	0.76 ^b	0.188 ^b	73.34 ^a	241.7 ^{ab}	6.71 ^b
	زنجبیل <i>Zingiber officinale</i>	4.60 ^a	15.79 ^a	3.94 ^a	0.86 ^a	0.194 ^a	74.13 ^a	209.1 ^c	7.67 ^a

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری بین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.

* The common letter indicates no significant difference between treatments by LSD test at 5% levels.

مواد جامد محلول

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس، حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر ساده غلظت اسانس و نوع اسانس بر مواد جامد محلول است، هر چند اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نشد. نتایج اثر غلظت بر میزان مواد جامد محلول نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت (۱۵/۵۵) در غلظت ۸۰۰ میکرولیتر بر لیتر به دست آمد (جدول ۳). در بین اسانس‌های مورد استفاده در آزمایش، اسانس زنجبیل دارای بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول بود (جدول ۳).

استفاده از اسانس‌ها در طول دوره انبارداری سبب می‌شود تا از تنفس بیش از حد میوه‌ها جلوگیری شود و بدین ترتیب میزان مواد جامد محلول بیش‌تری در میوه‌ها باقی می‌ماند، از طرفی هرچه میزان مواد جامد محلول که ترکیبات متعددی اعم از قندها، پلی‌ساکاریدها و سایر مواد محلول در محیط آبی سلول است، مانع از تبخیر زود هنگام آب محصول می‌شود و با ایجاد پیوند با مولکول‌های آب به شکل ترکیبی در سلول باقی می‌ماند و بدین ترتیب میوه‌های تیمار شده با اسانس نسبت به شاهد مواد جامد محلول بیش‌تری را حفظ می‌کنند (Atrous et al., 2010; Jalili Marandi et al., 2011). در نتایج مشابه، محققان گزارش کردند که بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول از غلظت ۶۰۰

pH آب میوه

اثر ساده غلظت و نوع اسانس بر میزان pH آب میوه‌های آلوده به قارچ معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. نتایج اثر غلظت نشان داد که کم‌ترین میزان pH در شاهد و بیش‌ترین آن در غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر به دست آمد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین میزان pH آب میوه از اسانس زنجبیل به دست آمد که با اسانس زنیان در یک سطح آماری قرار داشتند و کم‌ترین میزان شاخص مذکور از اسانس‌های ترخون و هل به دست آمد (جدول ۳).

همسو با نتایج این تحقیق، نیکوز و تزورتزاکیز (Nikos & Tzortzak, 2007) نشان دادند که اسانس باعث افزایش pH

میزان فنل کل

نتایج آزمایش بیانگر تأثیر معنی‌دار اثر ساده غلظت (در سطح احتمال پنج درصد) و نوع اسانس (در سطح احتمال یک درصد) بر فنل کل میوه انار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳).

میوه‌های آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم تیمار شده با غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس دارای بیش‌ترین میزان فنل کل (۰/۱۹۴ میلی گرم اسید گالیک بر گرم وزن تر) بود و کم‌ترین میزان شاخص مذکور (۰/۱۸۷ میلی گرم اسید گالیک بر گرم وزن تر) از شاهد (غلظت صفر) و غلظت ۴۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول ۳). میوه‌های تیمار شده با اسانس زنجبیل بیش‌ترین میزان فنل کل را دارا بودند (جدول ۳).

مواد فنلی نظیر مشتقات اسید بنزوئیک در خلال آلودگی محصول به عوامل بیماری‌زا تجمع می‌یابند. این امر در نتیجه فعال شدن آنزیم کلیدی فنیل آلانین آمونیلایز تحقق می‌یابد که فنیل آلانین را به مواد فنلی مختلف تبدیل می‌کند. فنیل آلانین آمونیلایز (PAL) اولین آنزیم در مسیر فنیل پروپانویید است که در بیوسنتز فنل‌ها، فیتوالکسین‌ها و لیگنین‌ها دخالت دارد. اسانس‌ها با القاء بیان ژن و همچنین فعالیت این آنزیم باعث افزایش و حفظ محتوای فنل کل می‌شوند که در نهایت منجر به فعال شدن سیستم دفاعی گیاه در مقابل بیمارگرها می‌شود (Asghari, 2014). در میزبان دو نوع مقاومت، شامل مقاومت القائی موضعی (ایجاد مقاومت سریع در گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا) و مقاومت القائی سیستمیک (ایجاد مقاومت در نقاط غیر آلوده) وجود دارد. گزارش شده است که کاربرد اسانس آویشن در میوه آووکادو سبب تحریک مقاومت‌های القائی می‌شود (Banani et al., 2018).

آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی استخراج شده از منابع گیاهی شامل اسیدآسکوربیک، توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها، فنل‌ها، فلاونوئیدها، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، محصولات حاصل از هیدرولیز پروتئینی، فسفولیپیدها و استرول‌ها هستند. تعدادی از این‌ها به‌طور طبیعی از آنتی‌اکسیدان‌های فنلی موجود در گیاهان به دست آمده است (Casimir & Min, 2002). نتایج تحقیق حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2019) نشان داد که تیمار غلظت ۱۰۰۰ میکرولیتر اسانس مرزنجوش بیش‌ترین تأثیر را در حفظ و افزایش فنل کل داشت. همچنین با افزایش غلظت اسانس بر میزان فنل کل میوه‌های زرشک آلوده به قارچ *آلترناریا* افزوده شد و بیش‌ترین میزان فنل کل از غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس به دست آمد (Sazvar et al., 2022). تمشک‌های تیمار شده با اسانس‌های گیاهی نیز سطوح بالای مواد فنلی، محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری نسبت به تمشک‌های تیمار نشده داشتند (Jin et al., 2012). مطالعات دیگر تأثیر تیمار اسانس‌های گیاهی روی فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا-

میوه‌های توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی می‌شود. افزایش pH به علت فعالیت‌های بیوشیمیایی داخل میوه است که سبب می‌شود، اسیدهای آلی میوه به ماده‌های قندی تبدیل شوند (Rabiei et al., 2011). اسانس‌ها همانند پوشش خوراکی با ایجاد یک لایه نیمه‌تراوا در اطراف میوه با کاهش ورود و خروج گازها و تأخیر در فرآیند تنفس، روند رسیدگی میوه و متابولیسم اسیدهای آلی را کاهش می‌دهند و منجر به حفظ pH میوه می‌شوند.

میزان اسیدیته کل

با توجه به نتایج این آزمایش، اثر ساده غلظت و نوع اسانس بر اسیدیته کل معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این شاخص نداشت (جدول ۳). میوه‌های آلوده به قارچ پنیسیلیوم تیمار نشده با اسانس (شاهد) و تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس دارای کم‌ترین میزان اسیدیته کل (۰/۷۸ میلی اکوی والان بر گرم) بودند که بیش‌ترین میزان این شاخص (۰/۹۱ میلی اکوی والان بر گرم) از غلظت ۸۰۰ میکرولیتر بر لیتر به دست آمد (جدول ۳). میوه‌های تیمار شده با اسانس ترخون بیش‌ترین میزان اسیدیته کل (۰/۸۷ میلی اکوی والان بر گرم) را دارا بودند که با میوه‌های تیمار شده با اسانس زنجبیل (۰/۸۶ میلی اکوی والان بر گرم) در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول ۳).

اسیدهای آلی مانند اسید مالیک یا اسید سیتریک، سوبستراهای اصلی فرآیند تنفس محسوب می‌شوند. بنابراین انتظار می‌رود که میزان کاهش اسیدیته در میوه‌های بسیار رسیده کاهش یابد (El-Anany et al., 2009). سرعت بالای کاهش اسیدهای آلی در نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار شده با اسانس به دلیل بالا بودن سرعت تنفس است که منجر به افزایش سرعت تجزیه اسیدها و ترکیبات آلی و مصرف اسیدهای آلی می‌شود و این اسیدها به عنوان سوبسترا در جریان تنفس مصرف می‌شوند. همچنین حفظ اسیدهای آلی در نمونه‌های تیمار شده با اسانس به دلیل تغییر غلظت گازهای تنفسی و در نتیجه کاهش تنفس و کاهش اکسیداسیون اسیدهای آلی می‌باشد (Yaman & Bayindirli, 2002). به نظر می‌رسد که اسانس‌ها، سرعت تخریب اسیدهای آلی را کاهش دهد (Mahmood et al., 2012). برخی محققان بیان داشتند که اسانس‌ها با دارا بودن ترکیبات فنلی به عنوان یک سازوکار دفاعی با کاهش تنفس و تولید اتیلن باعث حفظ اسیدهای آلی می‌شوند (Nasrullah Zade Asl, 2012). نتایج به دست آمده از این آزمایش با نتایج امینی فرد و بیات (Aminifard & Bayat, 2017) مطابقت دارد که بیان کردند، بیش‌ترین میزان اسیدیته کل میوه پرتقال خونی آلوده به قارچ *Penicillium digitatum* از غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس آنیسون حاصل شد.

لیاز نشان داد که اسانس‌های گیاهی تأثیر معنی‌داری روی فعالیت این آنزیم دارند. در پژوهش شائو و همکاران (Shao et al., 2013) مشخص شد که تیمار اسانس درخت چای (Tea tree oil) روی توت‌فرنگی، میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا-لیاز را افزایش داده که این افزایش تا ۵۰ درصد نسبت به نمونه شاهد بوده است.

درصد آنتی‌اکسیدان

نتایج آنالیز به‌دست‌آمده حاکی از آن است که اثر ساده اسانس و غلظت و اثر متقابل غلظت و اسانس بر درصد آنتی‌اکسیدان معنی‌دار بوده است. نتایج نشان داد که میوه‌های آلوده تیمار شده با اسانس زنیان با غلظت ۸۰۰ میکرولیتر بر لیتر دارای بالاترین آنتی‌اکسیدان (۸۱/۳۳ درصد) بود (جدول ۴).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی یکی از عوامل مهم کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها است که بر سلامتی انسان مؤثر است (Guerreiro et al., 2015). آنتی‌اکسیدان‌ها با حذف رادیکال‌های آزاد و کاهش تنش اکسیداتیو باعث کاهش تخریب فیزیولوژیکی و افزایش مقاومت بافت در برابر تنش‌ها و آلودگی میکروبی می‌شوند (Wang & Yin, 2000). اسانس‌های گیاهی در طی دوره نگهداری با حفظ ترکیبات فنلی موجب حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه شده‌اند (Roussos, 2011; Jayaprakasha & Patil, 2007).

در تحقیقی مشابه روی پرتقال خونی آلوده به قارچ *P. digitatum* نشان داده شد که با افزایش غلظت اسانس آنیسون و زیره سیاه بر درصد آنتی‌اکسیدان آب میوه افزوده شد (Aminifard & Bayat, 2017). همچنین تمشک‌های تیمار شده با اسانس‌های گیاهی سطوح بالای مواد فنلی، محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری نسبت به تمشک‌های تیمار نشده داشتند (Jin et al., 2012). در گزارشی مشابه، توت فرنگی‌های تیمار شده با تیمول یا اوژنول سطوح بالاتری از آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و ظرفیت جذب رادیکال‌های اکسیژن را نسبت به میوه‌های تیمار نشده حفظ کردند (Wang et al., 2007).

میزان آنتوسیانین

اثر غلظت و اسانس و اثر متقابل غلظت و اسانس در سطح احتمال یک درصد بر مقدار آنتوسیانین انارهای آلوده به قارچ معنی‌دار بود. نتایج اثرات متقابل تیمارها نشان داد که میوه‌های آلوده به قارچ تیمار شده با اسانس هل با غلظت ۴۰۰ میکرولیتر در لیتر دارای بیش‌ترین میزان آنتوسیانین بود و میوه‌های آلوده به قارچ بدون افزودن اسانس دارای کم‌ترین میزان این شاخص بودند که با تیمارهای ۴۰۰ و ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس زنجبیل در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول ۴). نتایج اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین انگوره‌های آلوده به قارچ پی-سیلیوم تیمار شده با غلظت‌های مختلف چندین اسانس نشان داد که

بیش‌ترین میزان شاخص مذکور مربوط به اسانس زیره سیاه بود و غلظت ۲۰۰ میکرولیتر در لیتر دارای کم‌ترین میزان و شاهد (صفر) بیش‌ترین میزان آنتوسیانین را داشت (Jahani et al., 2020). نتایج آزمایش امیری و همکاران (Amiri et al., 2019) نشان داد که میوه-های توت‌فرنگی شاهد تلقیح‌شده با قارچ، بیش‌ترین میزان آنتوسیانین را نشان دادند و همین تیمار نیز بیش‌ترین کاهش وزن میوه را نشان داد. افزایش مقدار آنتوسیانین طی دوره برداشت با کاهش وزن و از دست دادن رطوبت میوه و در نتیجه تغلیظ مقدار آنتوسیانین مرتبط می‌باشد (Meyghani et al., 2018). همچنین گزارش گردید که اجزاء لینالول، کارواکرول، آنتول و پرل آلدئید باعث افزایش آنتوسیانین‌ها، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در زغال اخته (*Cornus mas* L.) شدند (Wang et al., 2008). نتایج آزمایش حاضر نیز نشان داد که در تیمار اسانس هل که بیش‌ترین میزان آنتوسیانین را داشت، بیش‌ترین میزان پوسیدگی نیز در انارهای آلوده به قارچ پی-سیلیوم آغشته به اسانس هل مشاهده شد، همچنین بهترین ظاهر میوه و کم‌ترین میزان پوسیدگی از غلظت ۶۰۰ میکرولیتر در لیتر به دست آمد که انارهای تیمار شده در این غلظت اسانس، کم‌ترین میزان آنتوسیانین را داشتند (جدول ۳).

سفتی بافت

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود، غلظت اسانس و نوع اسانس بر شاخص سفتی بافت میوه انار معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر اثر متقابل فاکتورها قرار نگرفت. نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت بر سفتی بافت میوه نشان داد که بیش‌ترین سفتی بافت از غلظت ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر به دست آمد که با غلظت‌های ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرولیتر در لیتر در یک سطح آماری قرار داشتند و کم‌ترین میزان صفت مورد مطالعه از غلظت صفر (شاهد) به دست آمد که با غلظت ۲۰۰ میکرولیتر در لیتر اختلاف معنی‌دار آماری نداشت (جدول ۳). در بین اسانس‌های مورد استفاده در این آزمایش، اسانس زنجبیل دارای بالاترین سفتی بافت میوه بود و کم‌ترین شاخص مذکور از اسانس زنیان به دست آمد که با اسانس هل اختلاف معنی‌دار آماری نداشت (جدول ۳).

نرم شدن میوه به افزایش فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز، بتاگالاکتواکسیداز و پکتین متیل استراز بستگی دارد. اسانس‌های گیاهی موجب کاهش فعالیت این آنزیم‌ها می‌شوند، بنابراین در جلوگیری از تخریب دیواره سلولی و نرم شدن میوه مؤثر می‌باشند (Rastegar & Tahmasebi, 2017). سایر محققان (Ultee et al., 1999) نیز اظهار داشتند که تغییرات و تجزیه مواد دیواره سلولی به‌خصوص پکتین در

اجزاء تشکیل دهنده اسانس و آنزیم‌های مرتبط با نرم شدن دیواره سلولی مثل آنزیم سلولاز و پکتین متیل استراز مربوط است (Ju *et al.*, 2000). هم‌چنین گزارش شده است که اسانس‌های گیاهی سبب سفتی بافت میوه گلابی (Alikhani *et al.*, 2010) و گوجه‌فرنگی (Shahiri Tabaestani *et al.*, 2013) شده است.

حین رسیدن میوه توسط اسانس‌ها ممانعت می‌شود، بنابراین سفتی میوه که با رسیدن کاهش می‌یابد، از این طریق حفظ می‌شود. در تأیید نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، جو و دوان (Ju *et al.*, 2000) گزارش کردند که گلابی‌های تیمارشده با اسانس‌های گیاهی نسبت به میوه‌های شاهد پس از شش ماه انبارمانی، سفتی بیش‌تری داشتند. و علت آن را یک موضوع آنزیمی دانسته که به اثر متقابل بین

جدول ۴- اثر متقابل نوع × غلظت اسانس بر صفات کیفی مورد بررسی میوه‌های انار رقم 'شیشه‌کپ' آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم
Table 4- The interaction effect of type × concentration of essential oil on the investigated qualitative traits of pomegranate fruits cv. Shishe-kap infected with *Penicillium* sp.

اسانس Essential oil	غلظت Concentration ($\mu\text{L.L}^{-1}$)	آنتی‌اکسیدان Antioxidants (%)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g^{-1})
هل <i>Elettaria cardamomum</i>	0	71.33 ^{cde*}	280 ^{abc}
	200	70.97 ^{cde}	257 ^{a-e}
	400	73.56 ^{cde}	308 ^a
	600	64.93 ^{fg}	203 ^{e-h}
	800	69.30 ^{def}	250 ^{b-g}
ترخون <i>Artemisia dracunculul</i>	0	65.15 ^{fg}	163 ^h
	200	71.27 ^{cde}	265 ^{a-d}
	400	62.93 ^g	250 ^{b-g}
	600	76.15 ^b	213 ^{d-h}
	800	70.18 ^{cde}	276 ^{abc}
زنیان <i>Trachyspermum ammi</i>	0	69.03 ^{ef}	304 ^{ab}
	200	68.93 ^{ef}	246 ^{c-g}
	400	73.97 ^{bcd}	208 ^{e-h}
	600	73.45 ^{bcde}	202 ^{fgh}
	800	81.33 ^a	246 ^{c-f}
زنجبیل <i>Zingiber officinale</i>	0	72.42 ^{bcde}	244 ^{c-g}
	200	74.45 ^{bc}	257 ^{a-f}
	400	76.93 ^{ab}	166 ^h
	600	73.33 ^{bcde}	200 ^{gh}
	800	73.51 ^{bcde}	176 ^h

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری بین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.

* The common letter indicates no significant difference between treatments by LSD test at 5% levels.

نتیجه‌گیری

در شرایط *in vitro* شد. در شرایط *in vivo* در درجه اول، تیمار اسانس زنجبیل و در درجه دوم تیمار اسانس زنیان برای حفظ کمیت و کیفیت میوه انار و مهارکننده بیماری‌های پس از برداشت در دوره انبارمانی توصیه می‌شود.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که اسانس زنجبیل اثر ضدقارچی بیش‌تری نسبت به سایر اسانس‌ها داشت و در غلظت‌های ۴۰۰ تا ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر مانع رشد ۱۰۰ درصدی قارچ پنی‌سیلیوم

References

- Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal Economic Entomol*, 18(2), 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Adekenov, S.M. (2017). Sesquiterpene lactones with unusual structure. Their biogenesis and biological activity. *Fitoterapia*, 121, 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.05.017>
- Aidoo, K.E., Smith, J.E., & Henderson, R.S. (1991). *Postharvest Storage and Preservation of Tropical Crops*. In Mycotoxin and Animal Foods. CRC Press.
- Alikhani, M., Sharifani, M., Azizi, M., Hemmati, Kh., & Musavizadeh, S.J. (2010). The effect of some natural compounds in shelf-life and quality of pear fruit (Esfahan Shah Mive cultivar). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(3), 158-171. (in Persian)

5. Aminifard, M.H., & Bayat, H. (2017). Antifungal activity of black caraway and anise essential oils against *Penicillium digitatum* on blood orange fruits. *International Journal of Fruit Science*, 18(3), 307–319. <https://doi.org/10.1080/15538362.2017.1409682>
6. Amiri, A., Mortazavi, S.M.H., Mahmoodi Sourestani, M., Kiasat, A.R., & Ramezani, Z. (2019). The Effect of active microbial packaging on postharvest quality of strawberry fruit. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 16(87), 263-274. (in Persian with English abstract)
7. Antunes, M.D.C., & Cavaco, A.M. (2010). The use of essential oils for postharvest decay control. A–review. *Flavour and Fragrance Journal*, 25, 351–366. <https://doi.org/10.1002/ffj.1986>
8. AOAC. (1980). *Official Method of Analysis*, 13th Edn. Washington, D.C.
9. Asgari Marjanlu, A., Mostofi, Y., Shoeibi, S., & Maghousi, M. (2009). Effect of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil on gray mold control and postharvest quality of strawberry (cv. Selva). *Journal of Medicinal Plants*, 8(29), 131-139. (in Persian)
10. Asghari, M. (2014). *Hormones and New (non-classical) Plant Growth Regulators*. Urmia University Publications, Urmia, Iran. 352 p.
11. Astani, A., & Schnitzler, P. (2014). Antiviral activity of monoterpenes beta-pinene and limonene against herpes simplex virus *in vitro*. *Iran Journal Microbiology*, 6(4), 149-55.
12. Atress, M.M., Amal, S.H., El-Mogy, M.M., Aboul-Anean H.E., & Alsanius, B.W. (2010) Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.
13. Bagamboula, C.F., Uyttendaele, M., & Debevere, J. (2004). Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and pcymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiology*, 21(1), 33-42. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(03\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(03)00046-7)
14. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, I. (2008). Biological effects of essential oils– A review. *Food and Chemistry Toxicology*, 46(2), 446-475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
15. Banani, H., Olivieri, L., Santoro, K., Garibaldi, A., Gullino, M.L., & Spadero, D. (2018). Thyme and savory essential oil efficacy and induction of resistance against botrytis cinerea through priming of defense responses in apple. *Foods*, 7(2), 11. <https://doi.org/10.3390/foods7020011>
16. Bairwa, R., Sodha, R.S., & Rajawat, B.S. (2012): *Trachyspermum ammi*. *Journal of Pharmacognosy Phytochemistry*, 6(11), 56-60.
17. Brighenti, V., Iseppi, R., Pinzi, L., Mincuzzi, A., Ippolito, A., Messi, P., Sanzani, S.M., Rastelli, G., & Pellati, F. (2021). Antifungal activity and DNA topoisomerase inhibition of hydrolysable tannins from *Punica granatum* L. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 4175. <https://doi.org/10.3390/ijms22084175>
18. Bruni, R., Medici, A., Andreotti, E., Fantin, C., Muzzoli, M., & Dehesa, M. (2003). Chemical composition and biological activities of Isphingo essential oil, a traditional Ecuadorian spice from Ocoteaquixos (lam) kosterm. (lauraceae) flower calkes. *Food Chemistry*, 85, 415-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.019>
19. Cao, J., Liu, H., Wang, Y., He, X., Jiang, H., Yao, J., Xia, F., Zhao, Y., & Chen, X. (2021). Antimicrobial and antivirulence efficacies of citral against foodborne pathogen *Vibrio parahaemolyticus* RIMD2210633. *Food Control*, 120, 107507. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107507>
20. Casimir, C.A., & Min, D.B. (2002). *Food Lipids Chemistry. Nutrition and Biotechnology*. CRC Press, 928 p.
21. Chuah, A.M., Lee, Y.C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L.J., & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of colored peppers. *Food Chemistry*, 111, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.022>
22. El-Anany, A.M., Hassan, G.F.A., & Rehab Ali, F.M. (2009). Effects of edible coatings on the shelf-life and quality of Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. *Journal of Food Technology*, 7(1), 5–11.
23. El-Ramady, H.R., Domokos-Szabolcsy, E., Abdalla, N.A., Taha, H.S., & Fári, M. (2014). *Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage*. In Sustainable Agriculture Reviews. E. Lichtfouse, (Ed.). Springer: Cham, Switzerland, 15, 65–152
24. Farag, R.S., Daw, Z.Y., Hewed, F.M., & El-Baroty, G.S.A. (1989). Antimicrobial activity of some Egyptian spice oils. *Journal of Food Protection*, 52, 665-667. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-52.9.665>
25. Fatemi, S., Jafarpour, M., Eghbaisaied, S., Rezapour, A., & Borji, H. (2011). Effect of essential oils of *Thymus vulgaris* and *Mentha piperita* on the control of green mould and postharvest quality of Citrus sinensis cv. Valencia. *African Journal of Biotechnology*, 10(66), 14932-14936. <https://doi.org/10.5897/AJB11.505>
26. Guerreiro, A.C., Gago, C.M.L., Faleiro, M.L., Miguel, M.G.C., & Antunes, M.D.C. (2015). The effect of alginate - based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage. *Postharvest Biology and Technology*, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.002>

27. Guo, N., Zang, Y.P., Cui, Q., Gai, Q.Y., Jiao, J., Wang, W., Zu, Y.G., & Fu, Y.J. (2017). The preservative potential of *Amomum tsaoko* essential oil against *E. coli*, its antibacterial property and mode of action. *Food Control*, 75, 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.013>
28. Hosseini, Ch., Asghari, M.R., & Khezri, M. (2019). Evaluation of oregano essential oil effects on quality and biochemical attributes of sweet cherry (*Prunus avium* L. cv. 'Takdaneh Mashhad'). *Pomology Research*, 3(2), 55-69. (in Persian)
29. Jahani, M., Beheshti, M., Aminifard, M.H., & Hosseini, A. (2020). Effects of essential oils to control *Penicillium* sp. in *in vitro* and in *in vivo* on grapevine (*Vitis Vinifera* L.) fruit. *International Journal of Fruit Science*, 20(2), 812-826. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1769526>
30. Jalili Marandi, R., Hassani, A., Ghosta, Y., Abdollahi, A., Pirzad, A.R., & Sefidgon, F. (2011). Improving postharvest quality of table grape cv. Rishbaba using *Thymus kotschyanus* and *Carum copticum* essential oils. *Journal of Food Safety*, 31(1), 132-139. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2010.00276.x>
31. Jayaprakasha, K., & Patil, B.S. (2007). *In vitro* evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chemistry*, 101(1), 410-418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.038>
32. Jin, P., Wang, S.Y., Gao, H., Zheng, Y., & Wang, C.Y. (2012). Effect of cultural system and essential oil treatment on antioxidant capacity in raspberries. *Food Chemistry*, 132, 399-405. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.011>
33. Ju, Z., Duan, Y., & Ju, Z. (2000). Plant oil emulsion modifies internal atmosphere, delays fruit ripening, and inhibits internal browning in Chinese pears. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 243-250. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00120-4)
34. Kalhor, M.T., Zhang, H., Kalhor, G.M., Wang, F., Chen, T., Faqir, Y., & Nabi, F. (2022). Fungicidal properties of ginger (*Zingiber officinale*) essential oils against *Phytophthora colocasiae*. *Scientific Reports*, 12(1), 2191. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06321-5>
35. Krasniewska, K., Gniewosz, M., Synowiec, A., Przyby, J.L., Baczek, K., & We Glarz, Z. (2014). The use of pullulan coating enriched with plant extracts from *Satureja hortensis* L. to maintain pepper and apple quality and safety. *Postharvest Biology and Technology*, 90, 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.010>
36. Li, K.M., Dong, X., Ma, Y.N., Wu, Z.H., Yan, Y.M., & Cheng, Y.X. (2019). Antifungal coumarins and lignans from *Artemisia annua*. *Fitoterapia*, 134, 323-328.
37. Louw, J.P., & Korsten, L. (2014). Pathogenic *Penicillium* spp. on apple and pear. *Plant Disease*, 98(5), 590-598. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-13-0710-RE>
38. Mahmood, T., Anwar, F., Abbas, M., Boyce, M.C., & Saari, N. (2012). Compositional variation in sugars and organic acids at different maturity stages in selected small fruits from Pakistan. *International Journal of Molecular Science*, 13(2), 1380-1392. <https://doi.org/10.3390/ijms13021380>
39. Mari, M., di Francesco, A., & Bertolini, P. (2014). Control of fruit postharvest diseases: Old issues and innovative approaches. *Stewart Postharvest Review*, 10, 1–4. <https://doi.org/10.2212/spr.2014.1.1>
40. Martinez-Romero, D., Castillo, S., Valverde, J.M., Guillen, F., Valero, D., & Serrano, M. (2005). The use of natural aromatic essential oils helps to maintain post-harvest quality of crimson table grapes. *Acta Horticulturae*, 682(3), 1723-1729. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.682.230>
41. Meighani, H., Ghasemnezhad, M., & Bakshi, D. (2014). Evaluation of biochemical composition and enzyme activities in browned arils of pomegranate fruits. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(1), 53-65. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhst.2014.50518>
42. Nasrullah Zade Asl, N. (2012). The effect of edible coatings in maintaining the quality and increasing the shelf life of fruits and vegetables. *Agricultural Engineering and Natural Resources Quarterly*, 11, 36-31. (in Persian)
43. Nelson, P.E., Toussoun, T.A., & Marasas, W.F.O., (1983). *Fusarium Species: An illustrated Manual for Identification*. Pennsylvania state University Press.
44. Nikkhah, M., Hashemi, M., Habibi Najafi, M., & Farhoosh, R. (2017). Synergistic effects of some essential oils against fungal spoilage on pear fruit. *International Journal of Food Microbiology*, 257, 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.06.021>
45. Nikos, G., & Tzortzakis, A. (2007). Maintaining postharvest quality of fresh produce with volatile compounds. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 111-116. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.08.001>
46. Nychas, G.J.E. (1995). Natural antimicrobials from plants. In: Gould GW of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). *Journal of Applied Microbiology*, 88, 170-175. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1_4
47. Oliveira, J., Parisi, M.C.M., Baggio, J.S., Silva, P.P.M., Paviani, B., Spoto, M.H.F., & Gloria, E.M. (2019). Control of *Rhizopus stolonifer* in strawberries by the combination of essential oil with carboxymethylcellulose. *International Journal of Food Microbiology*, 292, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.014>

48. Perez-Alfonso, C., Martinez-Romero, D., Zapata, P., Serrano, M., Valero, D., & Castillo, S. (2012). The effects of essential oils carvacrol and thymol on growth of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* involved in lemon decay. *International Journal of Food Microbiology*, 158(2), 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.07.002>
49. Petrović, J., Stojković, D., & Soković, M. (2019). Terpene core in selected aromatic and edible plants: Natural health improving agents. *In Advances in Food and Nutrition Research*, 90, 423-451. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.009>.
50. Rabiei, V., Shirzadeh, E., RabbiAngourani, H., & Sharafi, Y. (2011). Effect of thyme and lavender essential oil on the qualitative and quantitative traits and storage life of apple Jonagold cultivar. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(23), 5522-5527.
51. Ramezani, A., Azadi, M., Mostowfizadeh-Ghalefarsa, R., & Saharkhiz, M.J. (2016). Effect of *Zataria multiflora* Boiss and *Thymus vulgaris* L. essential oils on black rot of 'Washington Navel' orange fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.10.011>
52. Rastegar, S., & Tahmasebi, S. (2017). The use of essential oils of rose, marigold and salvia in preventing the growth of *Botrytis cinerea* fungus in two varieties of strawberry fruit. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 10(3), 96-85. (In Persian)
53. Roussos, P.A. (2011). Phytochemicals and antioxidant capacity of orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Salustiana) juice produced under organic and integrated farming system in Greece. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.040>
54. Samad, M., Sajid, M., Hussain, I., Samad, N., & Jan, N. (2019). Influence of herbal extract and storage duration on fruit quality of china lime. *Horticulture International Journal*, 3(3), 153-158. <https://doi.org/10.15406/hij.2019.03.00123>
55. Sazvar, E., Jahani, M., Aminifard, M.H., & Hosseini, A. (2022). *In vitro* and *in vivo* control of *Alternaria alternata* in barberry (*Berberis vulgaris*) by some essential oils. *Erwerbs-Obstbau*, 64, 413–423. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00645-2>
56. Savan, E.K., & Küçükbay, F.Z. (2013). Essential oil composition of *Elettaria cardamomum* Maton. *Journal of Applied Biological Sciences*, 7(3), 42-45.
57. Sefu, G., Satheesh, N., & Berecha, G. (2015). Antifungal activity of ginger and cinnamon leaf essential oils on mango anthracnose disease causing fungus (*C. gloeosporioides*). *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 7(2), 26-34.
58. Shahiri Tabaestani, H., Sedaghat, N., Saeedi Pooya, E., & Alipour, A. (2013). Shelf life improvement and postharvest quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit using basil mucilage edible coating and cumin essential oil. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(9), 2346-2353.
59. Shao, X., Wang, H., Xu, F., & Cheng, S. (2013). Effects and possible mechanisms of tea tree oil vapor treatment on the main disease in postharvest strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.11.010>
60. Shiri A., Bakhshi, D., Ghasemnezhad, M., Dadi, M., Papachatzis, A., & Kalorizou, H. (2013). Chitosan coating improved the shelf life and postharvest quality of table grape (*Vitis vinifera*) cultivar 'Shahrudi'. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37, 148-156. <https://doi.org/10.3906/tar-1101-1671>
61. Sivakumar, D., & Bautista-Baños, S. (2014). A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Protection*, 64, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.012>
62. Swain, T. (1965). *Analytical Methods for Flavonoids*. In *The Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments*. T.W. Goodwin, (ed.). pp. 543-544, Academic press, London, U.K.
63. Teksur, P.K. (2015). Alternative technologies to control postharvest diseases of pomegranate. *Stewart Postharvest Review*, 11, 1–8. <https://doi.org/10.2212/spr.2015.4.3>
64. Turkmen, N., Sari, F., & Veliglu, Y.S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93, 713-718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>
65. Ultee, A., Bennik, M.H.J., & Moezelaar, R. (2002). The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(4), 1561-1568. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.4.1561-1568.2002>
66. Ultee, A., Kets, E.P.W., & Smid, E.J. (1999). Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(10), 4606-4610. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.10.4606-4610.1999>
67. Valkova, V., Đuranova, H., Galovicova, L., Vukovic, N., Vukic, M., & Kacaniová, M. (2023). Antifungal efficacy of mint essential oil against *Penicillium* spp. inoculated on carrots. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 7(1), 9-16. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.1206873>

68. Wang, S.Y., & Yin, H.S. (2000). Antioxidant activity in fruits and levels of blackberry, raspberry and strawberry varies with cultivar and development stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 140-146. <https://doi.org/10.1021/jf9908345>
69. Wang, C.Y., Wang, S.Y., & Chen, C.T. (2008). Increasing antioxidant activity and reducing decay of blueberries by essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 3587-3592. <https://doi.org/10.1021/jf7037696>
70. Wang, C.Y., Wang, S.Y., Yin, J.J., Parry, J., & Yu, L.L. (2007). Enhancing antioxidant, antiproliferation, and free radical scavenging activities in strawberries with essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6527-6532. <https://doi.org/10.1021/jf070429a>
71. Wang, Y., Feng, K., Yang, H., Zhang, Z., Yuan, Y., & Yue, T. (2018). Effect of cinnamaldehyde and citral combination on transcriptional profile, growth, oxidative damage and patulin biosynthesis of *Penicillium expansum*. *Frontiers in Microbiology*, 9, 597. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00597>
72. Xiao, C.L., & Rogers, J.D. (2004). A postharvest fruit rot in d'Anjou pears caused by *Sphaeropsis pyriputrescens* sp. nov. *Plant Disease*, 88(2), 114-118. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.2.114>
73. Yaman, O., & Bayindirli, L. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *LWT-Food Science and Technology*, 35(2), 146-150. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0827>
74. Yang, X., Niu, Z., Wang, X., Lu, X., Sun, J., Carpena, M., Prieto, M.A., Simal-Gandara, J., Xiao, J., Liu, C., & Li, N. (2022). The Nutritional and bioactive components, potential health function and comprehensive utilization of pomegranate: A review. *Food Reviews International*, 39(1), 6420-6446. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2110260>
75. Zhang, W., Shu, C., Chen, Q., Cao, J., & Jiang, W. (2019). The multi-layer film system improved the release and retention properties of cinnamon essential oil and its application as coating in inhibition to penicillium expansion of apple fruit. *Food Chemistry*, 299, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125109>
76. Zielińska-Błajet, M., & Feder-Kubis, J. (2020). Monoterpenes and their derivatives—Recent development in biological and medical applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), 7078. <https://doi.org/10.3390/ijms21197078>

Investigating the Phytochemical Indices of Plantain (*Platanus orientalis*) Trees Located in Four Areas (1, 3, 6 and 11) of Valiasr Street in Tehran under Different Climatic Conditions and Environmental Pollutants

G.H. Homayouni¹, M.R. Raji^{1*}, A. Ehteshamnia¹, M. Aalifar¹

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

(*- Corresponding author's Email: raji.m@lu.ac.ir)

Received: 11 August 2024
Revised: 14 December 2024
Accepted: 23 December 2024
Available Online: 23 December 2024

How to cite this article:

Homayouni, G.H., Raji, M.R., Ehteshamnia, A., & Aalifar, M. (2025). Investigating the phytochemical indices of plantain (*Platanus orientalis*) trees located in four areas (1, 3, 6 and 11) of Valiasr street in Tehran under different climatic conditions and environmental pollutants. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 251-268. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89321.1369>

Introduction

Climate change and environmental pollutants are effective on the growth of different plant species. Plants in general and trees in particular react to climatic and environmental changes. Air pollution and climate changes have a significant effect on the growth, quality and phytochemical characteristics of trees in urban green spaces, because chronic injuries are caused by continuous absorption of pollutants. The metropolis of Tehran is known as one of the most immigrant-friendly cities in the country. The main environmental problems of Tehran city are the lack of natural air ventilation, the persistence of pollutants, dryness of the air, the existence of dust, the noise and the destruction of natural ecosystems. Air quality is related to the chemical state of the atmosphere at any time and place. Like weather, air quality affects everyone.

Materials and Methods

The current research was carried out in the city of Tehran in the form of a completely random design with three replication. This research was carried out with the aim of investigating the effect of ten-year climate changes and environmental pollutants on the chemical properties of plantain trees in 4 regions of Valiasr street of Tehran (regions 1, 3, 6 and 11). In this study, four areas of the city include Valiasr Street in area 1 from Tajrish Square to Parkway (average height above sea level 1611 meters and average slope 20.17), area 3 from Parkway to Hemat Bridge (average height 1501 meters and average slope 5.89), zone 6 from Hammet bridge to Valiasr intersection (height 1308 meters and average slope 5.17) and zone 11 from Valiasr intersection to railway square (average height 1152 meters above sea level and average slope 2.19) were selected for the study. Region 1 was selected as a clean or low pollution region, region 3 as a polluted region one, region 6 as a polluted region two and region 11 as a polluted region three. The obtained data were analyzed by ANOVA using SAS 9.4 software, comparison of averages was done with Duncan's test and graphs and statistical tables were drawn by Excel software. The difference of traits in three times was evaluated using t-test.

Results and Discussion

Data homogeneity test was not significant by Bartlett's test, which shows that the variances are homogeneous in four locations. Due to the homogeneity of the data and the non-significance of Bartlett's test, the data of this experiment were subjected to combined analysis. The results showed that the highest amount of ion leakage was obtained from regions 6 and 11. The highest relative humidity content was shown in regions 3 and 6. With the



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89321.1369>

increase of environmental pollutants in regions 3 and 11 in compared to region1 ,the amount of anthocyanins and antioxidants increased. In addition, the activity of catalase, peroxidase, ascorbate peroxidase and superoxide dismutase enzymes in plantain tree leaves showed a significant increase in areas with more pollution (11, 6 and 3) due to lower sea level height and slope gradient in compared to region 1. Many researchers have also stated in numerous reports the existence of a relationship between the place of growth and its effect on the quality and quantity of phytochemical compounds of plants. In general, air pollution and decreasing sea level height and slope led to increased ion leakage, malondialdehyde, relative leaf water content, flavonoids, anthocyanins, antioxidants, phenols, and antioxidant enzyme activity.

Conclusions

In the present study, significant difference was observed in the phytochemical content, quantity and quality of these compounds, in plane trees (*Platanus orientalis*) growing along Valiasr Street in Tehran. Environmental conditions at the growth site play a key role in determining the quantity and quality of phytochemical characteristics by influencing the total amount of active substances, the composition of bioactive elements, and dry matter production. Among these, altitude above sea level is considered one of the most important environmental factors affecting the phytochemical composition of plants. In addition, other environmental factors that shape the climate of a region—such as temperature, humidity, and air quality—also influence the accumulation of physiological and phytochemical compounds in plants. Furthermore, Several studies have reported a relationship between the growing location and its impact on the quality and quantity of phytochemical compounds in plants.

Keywords: Altitude, Antioxidant, Flavonoid, Ion leakage, Malondialdehyde, Pollutants, Superoxide dismutase

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۲۶۸-۲۵۱

بررسی شاخص‌های فیتوشیمیایی درختان چنار (*Platanus orientalis*) واقع در چهار منطقه (۱، ۳، ۶ و ۱۱) از خیابان ولیعصر تهران تحت شرایط اقلیمی و آلاینده‌های محیطی متفاوت

غلامحسین همایونی^۱ - محمدرضا راجی^{۱*} - عبدالله احتشام نیا^۱ - مصطفی عالی فر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

چکیده

آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی بر رشد، کیفیت و خصوصیات فیتوشیمیایی درختان در فضای سبز شهری تأثیر بسزایی دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تغییرات اقلیم و آلاینده‌های محیطی بر خصوصیات شیمیایی درختان چنار (*Platanus orientalis*) در چهار منطقه از شهر تهران (مناطق ۱، ۳، ۶ و ۱۱) اجرا شد، داده‌برداری در سه زمان ۱، ۱۵ و ۳۰ آبان ماه در سال ۱۴۰۲ انجام و نتایج تی تست نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین این سه زمان برای صفات مورد ارزیابی وجود ندارد و میانگین داده‌های این سه زمان جهت تجزیه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مناطق آلوده ۶ و ۱۱ بیشترین میزان نشت یونی و در منطقه ۱۱ بالاترین محتوای مالون دی‌آلدئید حاصل گردید. آلودگی هوا در مناطق ۳ و ۶ منجر به افزایش بالاترین محتوای نسبی آب برگ شد. بیشترین محتوای فلاونوئید در منطقه ۱۱ که دارای بالاترین میزان آلودگی هوا بودند، مشاهده گردید. افزایش آلاینده‌های محیطی در مناطق ۳ و ۱۱ در مقایسه با منطقه ۱ (منطقه پاک) با افزایش معنی‌دار میزان آنتوسیانین و بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در منطقه ۱۱ همراه بود. همچنین بیشترین میزان فنل در مناطق ۶ و ۱۱ به‌ترتیب با میزان ۵۴/۶۴ و ۴۵/۷۰ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد. علاوه‌بر آن، در مناطق با آلودگی بیشتر (۱۱، ۶ و ۳) و ارتفاع از سطح دریا و شیب کمتر در مقایسه با منطقه پاک ۱، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در برگ درخت چنار افزایش معنی‌داری را نشان داد. به‌طور کلی، آلودگی هوا و کاهش ارتفاع از سطح دریا و شیب منجر به افزایش نشت یونی، مالون دی‌آلدئید، محتوای نسبی آب برگ، فلاونوئید، آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدانت، فنل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردید.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع از سطح دریا، آلاینده‌ها، آنتی‌اکسیدانت، سوپراکسید دیسموتاز، فلاونوئید، مالون دی‌آلدئید، نشت یونی

مقدمه

تغییر اقلیم و آلاینده‌های محیط زیست در رشد گونه‌های مختلف گیاهی مؤثر هستند. گیاهان به‌طور اعم و درختان به‌طور خاص نسبت به تغییرات اقلیمی و محیطی از خود واکنش نشان می‌دهند. در گیاهان به‌طور کلی میزان و کیفیت مواد فیتوشیمیایی تحت تأثیر ژنتیک است، ولی عوامل اقلیمی از جمله نور، باد، درجه حرارت، میزان بارندگی، اسیدیته و بافت خاک و عوامل جغرافیایی نظیر ارتفاع از سطح دریا، مقدار شیب و جهت آن اثرات قابل توجهی بر کمیت و

کیفیت ترکیبات فیتوشیمیایی و متابولیت‌های ثانویه دارند (Parvizi et al., 2022). درختان می‌توانند نماینده تغییرات محیطی محل رشد خود باشند. تغییر اقلیم طی چند دهه اخیر، اثرات متفاوتی بر محیط زیست و به‌خصوص گونه‌های مختلف گیاهی داشته است (Torkaman et al., 2023). توپوگرافی عمدتاً با تأثیر بر دما بر محتوای ماده آلی، عناصر معدنی و جریان آب در خاک تأثیرگذار است، همچنین الگوها و ویژگی‌های ریخت‌شناختی پوشش گیاهی را در مقیاس چشم‌اندازی تحت تأثیر قرار می‌دهد. شیب به‌عنوان یکی از عوامل اصلی توپوگرافی نقش کلیدی در تنظیم تابش دارد که به‌نوبه خود بر رطوبت، عناصر معدنی و دمای خاک تأثیرگذار است، به‌گونه‌ای که می‌تواند به‌طور مستقیم بر توسعه پوشش گیاهی و بوم‌نظام محلی تأثیرگذار باشد (Zhang et al., 2018). همچنین شیب زمین بر

۱- گروه آموزشی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

(*) نویسنده مسئول:

(Email: raji.m@lu.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89321.1369>

خصوصیات پوشش گیاهی از جمله ترکیب و توزیع گونه‌ها، عملکرد گیاه، کارایی فتوسنتزی پوشش و بهره‌وری آن، تنوع گونه‌ها، عملکرد و مواد مغذی تأثیرگذار است (Yanyan et al., 2017). تغییر ارتفاع از سطح دریا بر میزان بارندگی، شدت تشعشعات خورشیدی، تبخیر و تعرق تأثیر داشته و این عوامل به‌نوبه خود بر نوع و تراکم پوشش‌های گیاهی تأثیر داشته و سبب کاهش رشد گیاهان می‌شود (Roupioz et al., 2016). در پژوهشی، اثر ارتفاع از سطح دریا بر فتوسنتز و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک سه گونه درختی بلوط (*Quercus brantii* Lindl)، بنه (*Pistacia atlantica* Desf) و زالزالک (*Crataegus pontica* C.Koch) در جنگل‌های استان ایلام بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، محتوای قند محلول و پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که میزان این افزایش در درخت بلوط و بنه بیشتر از زالزالک بود. در رابطه با آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی، فقط در گونه بنه در ارتفاع‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم‌ها در درخت بنه منظم‌تر از دو گونه دیگر بود (Parvizi et al., 2022). در پژوهشی مشاهده گردید که اثر مبدأ بذر بر صفات ریخت‌شناسی، زنده‌مانی بذر و رویش نهال‌های بلوط ایرانی معنی‌دار است و با افزایش ارتفاع از سطح دریا، خصوصیات مذکور کاهش می‌یابد (Mataji et al., 2016).

گیاهان با اینکه تا حدی در کاهش آلودگی هوا مؤثر هستند، اما ممکن است تحت تأثیر آلاینده‌ها نیز قرار گرفته و آسیب ببینند. یکی از خدمات درختان شهری، نقش آن‌ها در تصفیه مواد زائد و جذب آلاینده‌های هوا است. از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های هوا که توسط درختان جذب می‌شوند، می‌توان به دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، اوزون (O_3) و دی‌اکسید کربن (CO_2) اشاره نمود (Zahid et al., 2023). دی‌اکسید گوگرد به دو طریق توسط درخت جذب می‌گردد، یکی از طریق روزنه‌ها و دیگری از طریق رطوبت سطحی موجود در برگ. تحقیقات نشان می‌دهد که تراکم گاز دی‌اکسید گوگرد برای چندین ساعت می‌تواند به برخی از گونه‌های گیاهی آسیب برساند (Timilsina et al., 2022). امروزه ایجاد فضای سبز مناسب در مناطق شهری موجب کاهش آلودگی‌های محیطی و صدمات زیان‌آور ناشی از آن می‌شود. گیاهان به‌خصوص گیاهان کاشته‌شده در مناطق آلوده جهت پاسخ به آلاینده‌های محیطی، از طریق سازوکارهای خاص تا حد زیادی از خود مقاومت نشان می‌دهند (Chauhan et al., 2022). آلودگی هوا می‌تواند موجب تغییر در میزان گروهی از مشخصه‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان گردد. برای مثال، اگر غلظت SO_2 در گیاه به بیش از حد استاندارد افزایش یابد، سلول‌ها ابتدا غیرفعال شده و سپس می‌میرند. آلاینده‌های مختلف موجود در هوا می‌توانند به شکل‌های مختلفی به گیاهان

آسیب برسانند (Sawarkar et al., 2023). به‌عنوان مثال، پس از ورود ازن به برگ، این ماده با لایه مرطوب سطح سلول‌های پارانشیمی درون اتاقک زیر روزنه (آپوپلاست) واکنش داده و تولید رادیکال‌های آزاد مانند هیدروپروکسید و سوپراکسید می‌کند. هیدروپروکسید موجب پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود و رادیکال هیدروکسیل به اجزاء غشای سیتوپلاسمی حمله می‌کند (Bala et al., 2022). آلاینده‌های دیگر مانند دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن علاوه بر اکسیداسیون، با تغییر pH و تداخل در متابولیسم عناصر غذایی گوگرد و نیتروژن، تعادل متابولیسمی سلول‌ها را بر هم می‌زنند (Bui et al., 2022). درحالی‌که آلاینده ذرات معلق بیشتر از راه فیزیکی و با مسدود کردن روزنه و به‌مقدار کمتر از راه شیمیایی به گیاه آسیب وارد می‌سازد. گیاهان در پاسخ به تنش آلودگی به دو صورت عمل می‌نمایند: یا گیاه آلاینده را در خود تجمع می‌دهند و یا در اثر تنش آلودگی از خود علائم ویژه نشان می‌دهد. این علائم بسته به نوع آلاینده، غلظت آن، گونه، شرایط فیزیولوژیکی و سن گیاه متفاوت است (Uka et al., 2019).

استفاده از درختان و درختچه‌ها در ایجاد و توسعه فضای سبز و در کاهش مشکلات یادشده، نقش مهمی ایفا می‌کنند. درخت چنار با نام علمی *Platanus orientalis* از خانواده Platanaceae است و جزء درختان پهن‌برگ و خزان‌کننده نیم‌کره شمالی محسوب می‌شود. چنار، درخت بزرگ و زیبایی است با تنه مستقل، تاجی گسترده و شاخه‌های قوی که این ویژگی‌ها موجب شده‌اند تا چنار در ردیف مهم‌ترین درختان سایه‌دار پارک‌ها و حاشیه خیابان‌ها قرار گیرد (Danika et al., 2024). در ایران، درخت چنار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در حال حاضر نیز مهم‌ترین گونه مورد استفاده در فضای سبز شهری، چنار است. از لحاظ گیاه‌شناسی درختی خزان‌کننده به ارتفاع تا ۵۰ متر، برگ‌ها متناوب و پنجه‌ای شکل و میوه فندقه کرکدار که در زمستان به شاخه‌ها آویزان است. چنار درختی است یک‌پایه با گل‌های تک‌جنس و شبیه هم که بر روی گل‌آذین‌های فشرده کروی شکل قرار دارند. زمان گل‌دهی آن در ماه‌های فروردین و خرداد است (Mohsenzadeh & Akbari, 2017).

کلان شهر تهران به‌عنوان یکی از شهرهای مهاجرپذیر کشور مطرح است. عمده‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهر تهران، کمبود تهویه طبیعی هوا، پایداری مواد آلاینده، خشکی هوا، وجود گرد و غبار، وجود سر و صدا و تخریب بوم‌نظام‌های طبیعی است. کیفیت هوا مرتبط با وضعیت شیمیایی اتمسفر در هر زمان و مکان است. همانند آب‌وهوا، کیفیت هوا نیز بر همگان اثرگذار است (Kalaipriya et al., 2023). کیفیت نامطلوب هوا، دارای پتانسیل ایجاد بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی در انسان می‌باشد. آلودگی هوا بر رشد و کیفیت

(Salam, 2024). بنابراین توزیع انواع گیاهان در مناطق شهری به وجود آلاینده‌های هوا و حساسیت گیاهان نسبت به این تنش وابسته است. خطرات ناشی از آلاینده‌های هوا روی مشخصه‌های رشدی و شیمیایی گیاهان، به الگوی انتشار آلاینده‌ها، انتقال اسمزی، جذب برگی آن‌ها و ظرفیت دفاع بیوشیمیایی گیاه وابسته است. تاکنون پژوهشی جهت بررسی تأثیر آلودگی هوا و پارامترهای اقلیمی نظیر ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین بر صفات مختلف درختان چنار انجام نشده است، بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی درختان چنار واقع در چهار منطقه شهر تهران انجام گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در شهر تهران که در 51° و $17'$ تا 51° و $33'$ طول خاوری و 35° و $36'$ تا 35° و $44'$ عرض شمالی قرار گرفته و دارای ۲۲ منطقه است. در این پژوهش، چهار منطقه از شهر شامل خیابان ولیعصر، منطقه ۱ (از میدان تجریش تا پارک وی)، منطقه ۳ (از پارک وی تا پل همت)، منطقه ۶ (از پل همت تا چهار راه ولیعصر) و منطقه ۱۱ (از چهارراه ولیعصر تا میدان راه آهن) با ارتفاع از سطح دریا و شیب‌های متفاوت که در **جدول (۱)** ذکر شده، برای مطالعه انتخاب شدند. با توجه به همگنی داده‌ها و معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت، داده‌های این آزمایش تجزیه مرکب شدند.

درختان در فضای سبز شهری تأثیر بسزایی دارد، زیرا صدمات زمینی در اثر جذب مداوم آلاینده‌ها ایجاد می‌شود (Mehmood et al., 2024). منظور از آلودگی، ورود عناصر و ترکیبات جدید به محیط و یا تغییر نسبت عناصر و ترکیباتی است که به‌طور طبیعی در محیط وجود دارند. آلودگی هوا براساس تعریف عبارت است از وجود هر آلاینده اعم از جامد، مایع و گاز در هوا به مقدار و در مدت زمانی که کیفیت زندگی را برای انسان و دیگر موجودات زنده به خطر اندازد و یا به آثار باستانی و اموال خسارت وارد آورد (Anil et al., 2022). میزان حساسیت گیاهان نسبت به آلودگی هوا متفاوت است و موجب تغییراتی مانند تغییر در فرآیندهای بیوشیمیایی و تجمع متابولیت‌های معین در آن‌ها می‌شود. مسئله آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهرهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است (Sekhar & Sekhar, 2019).

بر طبق نظر برخی پژوهشگران، براساس شاخص‌های بیوشیمیایی، گیاهان را در تنش آلودگی هوا می‌توان براساس پاسخ‌های فیزیولوژیکی، رشد مناسب و گل‌دهی به چهار گروه شامل متحمل، نیمه‌متحمل، حساس و خیلی حساس تقسیم‌بندی نمود. پاسخ‌های گیاهان به آلاینده‌های هوا ممکن است بسیار گسترده و متفاوت باشد و اختلاف این پاسخ‌ها می‌تواند به‌وسیله عواملی از قبیل اختلاف در غلظت‌های آلاینده‌ها و توزیع زمانی آن‌ها، منشأ ژنتیکی، فعالیت فیزیولوژیکی، عوامل هواشناسی و وضعیت تغذیه گیاهان و سایر عوامل محیطی ایجاد شود (Mahaveerchand & Abdul, 2019).

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی مناطق مورد بررسی
Table 1- The climatic characteristics of the studied areas

نام مناطق Name of the area	شیب Slope	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level (m)
منطقه ۱ (میدان تجریش تا پارک وی) Area 1 (Tajrish Square to Parkway)	20.17	1611
منطقه ۳ (پارک وی تا پل همت) Area 3 (Parkway to Hemet Bridge)	5.89	1501
منطقه ۶ (پل همت تا چهار راه ولیعصر) Area 6 (Hemet bridge to Valiasr intersection)	5.17	1308
منطقه ۱۱ (چهارراه ولیعصر تا میدان راه آهن) Area 11 (Valiasr Intersection to Railway Square)	2.19	1152

در این پژوهش براساس داده‌های ۱۰ ساله اداره کل هواشناسی تهران، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران و داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای شهر به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا، شیب و آلودگی هوا بر عوامل فیتوشیمیایی درخت چنار واقع در چهار منطقه ۱، ۳، ۶ و ۱۱ پرداخته شد. بدین منظور، مناطق آلوده و پاک شهر تهران با در نظر گرفتن آلاینده‌های AQI (نظیر SO_2 ، O_3 ، PM_{10} و $PM_{2.5}$) و عناصر غذایی متأثر از شرایط آلودگی (نظیر N، P، K، Fe و S) براساس آمار ۱۰ ساله ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (ایستگاه اقدسیه واقع در منطقه یک، ایستگاه پاسداران واقع در منطقه سه، ایستگاه تربیت مدرس واقع در منطقه شش و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۱ واقع در منطقه یازده) بررسی شدند (جدول ۲). براساس آلاینده‌های AQI، منطقه ۱۱

در این پژوهش براساس داده‌های ۱۰ ساله اداره کل هواشناسی تهران، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران و داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای شهر به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا، شیب و آلودگی هوا بر عوامل فیتوشیمیایی درخت چنار واقع در چهار منطقه ۱، ۳، ۶ و ۱۱ پرداخته شد. بدین منظور، مناطق آلوده و پاک شهر تهران با در نظر گرفتن آلاینده‌های AQI (نظیر SO_2 ، O_3 ، PM_{10} و $PM_{2.5}$) و عناصر غذایی متأثر از شرایط آلودگی (نظیر N، P، K، Fe و S) براساس آمار ۱۰ ساله ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (ایستگاه اقدسیه واقع در منطقه یک، ایستگاه پاسداران واقع در منطقه سه، ایستگاه تربیت مدرس واقع در منطقه شش و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۱ واقع در منطقه یازده) بررسی شدند (جدول ۲). براساس آلاینده‌های AQI، منطقه ۱۱

بیشترین میزان آلودگی و منطقه ۱ کمترین میزان را نشان داده‌اند و به این ترتیب به‌عنوان سایت آلوده و سایت پاک در این تحقیق منظور گردید. منطقه ۱ به‌عنوان منطقه پاک یا کم آلودگی، منطقه ۳ به‌عنوان منطقه آلوده یک، منطقه ۶ به‌عنوان منطقه آلوده دو و منطقه ۱۱ به‌عنوان منطقه آلوده سه انتخاب شدند. جهت بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین و آلودگی هوا، پس از انتخاب مناطق و محل‌های نمونه‌برداری (درختانی با سن ۳۵ تا ۴۰ انتخاب شدند که تا فاصله ۱۰ متر، سازه‌ای در کنار آن‌ها قرار نداشت) و نمونه‌های برگ بر روی درختان هم‌سن براساس داده‌های شهرداری برای سنجش

مشخصه‌های فیتوشیمیایی به‌صورت تصادفی از ارتفاع ۱/۵ متری به بالای درخت جمع‌آوری گردید. در مناطق مورد بررسی، ۱۵ برگ (به‌طور تصادفی سه درخت انتخاب و از هر درخت در جهات مختلف پنج برگ برداشت شد) به فواصل هر ۲۰۰ متر درخت انتخاب گردید. به‌منظور آنالیزهای فیتوشیمیایی، نمونه‌ها روی یخ به آزمایشگاه منتقل شد. جهت بررسی تأثیر ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین با استفاده از آمار داده‌های شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران نسبت به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین بر خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه اقدام و بررسی شد.

جدول ۲- میانگین آلاینده‌های ده ساله مناطق ۱، ۳، ۶ و ۱۱ شهرداری تهران براساس داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران

Table 2- Ten-year average pollutants in zones 1, 3, 6, and 11 of Tehran Municipality based on data from Tehran Air Quality Control Company

منطقه Region	آلاینده PM 2.5 PM 2.5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	آلاینده PM 10 PM 10 ($\mu\text{g.m}^{-1}$)	دی‌اکسید گوگرد SO ₂ (ppb)	اکسید نیتروژن NO _x (ppb)	دی‌اکسید نیتروژن NO ₂ (ppb)	اکسید نیتروژن NO (ppb)	مونوکسید کربن CO (ppm)	اوزون O ₃ (ppb)
1	24.76	29.1	7.66	96.53	37.18	57.19	1.45	17.2
3	32.836	47.366	8.411	111.38	54.21	59.47	2.4	19.4
6	35.91	65.53	9.1	127.91	60.83	67.55	2.6	24.18
11	38.2	84.8	9.945	157.33	61.85	97.69	3.5	27.3

خشک و وزن نهایی آن‌ها ثبت شد (DW). محتوای نسبی آب برگ از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Barrs & Weaterley, 1962).

$$\text{RWC (\%)} = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100 \quad (2)$$

ارزیابی مالون دی‌آلدئید

اندازه‌گیری میزان مالون دی‌آلدئید براساس روش مینگ و همکاران (Meng et al., 2012) انجام شد. بدین ترتیب، حدود سه گرم از بافت گیاه در ۱۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید پنج درصد هموژنیزه و سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ (دور در دقیقه) سانتریفیوژ شد. سپس دو میلی‌لیتر از روشناور با دو میلی‌لیتر اسید تیوباریتوریک ۶۷ درصد مخلوط گردید و تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی-گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه گرما داده شد، سپس به‌سرعت سرد شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ (دور در دقیقه) سانتریفیوژ شد. بعد از آن، روشناور جمع‌آوری و میزان جذب به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۵۳۲، ۶۰۰ و ۵۴۰ نانومتر قرائت شد. مقدار مالون دی‌آلدئید از طریق معادله (۳) محاسبه گردید. در این رابطه، حجم کل محلول عصاره (Vt)، حجم محلول مخلوط واکنش (Vr)، حجم کل عصاره موجود در محلول مخلوط واکنش (Vs) و وزن نمونه (m) در نظر گرفته شد (Chang et al., 2002).

صفات مورد ارزیابی

نشت یونی

به‌منظور ارزیابی میزان نشت یونی، برگ‌های تازه (یک گرم) به قطعاتی به‌طول پنج میلی‌متر به‌طور مساوی تقسیم و در لوله‌های آزمایش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. سپس لوله‌ها به‌مدت دو ساعت روی شیکر چرخش‌دار با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از آن هدایت الکتریکی (EC1) نمونه با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲۰ دقیقه جهت آزاد شدن همه الکترولیت‌ها قرار داده شد. در نهایت تا دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد برای اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی خنک گردید (EC2). اندازه‌گیری نشت یونی از طریق معادله (۱) محاسبه شد (Barrs & Weaterley, 1962):

$$\text{ELR (\%)} = \frac{EC1}{EC2} \times 100 \quad (1)$$

محتوای نسبی آب برگ

برای این منظور، برگ‌های چنار در هر منطقه وزن شد و وزن آن ثبت گردید (FW) و بعد از آن، نمونه‌ها به‌مدت شش ساعت در آب مقطر قرار داده شد و دوباره وزن آن‌ها ثبت گردید (TW). در نهایت، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون

آنتی‌اکسیدانت

(۳)

$$\text{MDA (mmol/kg)} = \frac{[6.45 \times (0D532 - 0D600) - 0.56 \times 0D450] \times \frac{Vt \times Vr}{(Vs \times m)}}{}$$

فلانویید

محتوای فلانویید با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد. بدین منظور به ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره (۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از پتاسیم استات یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب مخلوط ۳۰ دقیقه پس از نگهداری در دمای اتاق، در طول موج ۴۱۵ نانومتر در مقابل بلانک قرائت شد. از کوئرتستین به‌عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد. میزان فلانویید براساس میزان معادل میلی‌گرم کوئرتستین در گرم عصاره گزارش گردید (Chang et al., 2002).

آنتوسیانین

برای سنجش میزان آنتوسیانین، ۰/۲ گرم از بافت تر گیاه در سه میلی‌لیتر متانول اسیدی (شامل متانول ۹۹/۵ درصد و اسید هیدروکلریک خالص به‌نسبت ۹۹ به ۱) همگن و درون تیوب دو میلی‌لیتری ریخته و به حجم رسانده شد. سپس به‌مدت پنج دقیقه با دور ۱۰۰۰ در دقیقه سانتیفریوژ شد و جذب عصاره رویی در طول موج ۵۳۰ نانومتر برای آنتوسیانین با دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین گردید (Fan, 2005).

فنل

برای اندازه‌گیری میزان فنل کل از روش فولین-سیوکالتیو استفاده شد. بدین منظور، ابتدا یک گرم بافت نمونه به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد در دستگاه همزنایزر همگن شد. هموژن حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با شتاب ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتیفریوژ گردید. محلول رویی جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل اختصاص داده شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی به هفت میلی‌لیتر آب مقطر، اضافه شد. سپس مقدار یک میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتیو به آن اضافه شد و پس از گذشت پنج دقیقه، یک میلی‌لیتر محلول سدیم کربنات ۲۰ درصد به آن اضافه گردید. میزان جذب نمونه‌های حاصل پس از گذشت یک ساعت در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد و مقدار فنل کل نمونه‌ها براساس استاندارد اسید تانیک محاسبه گردید (Fan, 2005).

برای اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدانت نیاز به تهیه عصاره می‌باشد. بنابراین، یک گرم از بافت گیاه هموژنیزه و به ۲۰ میلی‌لیتر محلول یک به یک آب و اتانول ۸۰ درصد (شرکت مرک آلمان) اضافه شد و توسط دستگاه ورتکس، یک محلول کاملاً همگنی تهیه گردید. سپس محلول حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه، سانتیفریوژ و ۰/۱ میلی‌لیتر محلول به ۳/۹ میلی‌لیتر DPPH (Di Phenyl-1Picryl Hydrazyl) متانولی (۰/۰۳ گرم بر لیتر) از شرکت سیگما آمریکا اضافه شد. در نهایت، پس از انجام مراحل فوق و جهت تکمیل و عدم ایجاد اختلال در فرآیندهای جذب، یک ساعت وقفه ایجاد شد. پس از این مدت زمان، طیف جذبی محلول توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید و فعالیت آنتی‌اکسیدانتی با توجه به معادله (۴) محاسبه شد، به‌طوری‌که جذب کمتر، نشان‌دهنده فعالیت جداسازی بیشتر DPPH بود (Sánchez-Moreno et al., 1998).

$$\text{جذب DPPH} = \frac{\text{DPPH جذب}}{\text{جذب نمونه - جذب DPPH}} \quad (۴)$$

فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)

ارزیابی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی

تهیه عصاره آنزیمی

به‌منظور استخراج و اندازه‌گیری آنزیم‌ها، ۰/۵ گرم از بافت برگ در پایان آزمایش در حضور نیتروژن مایع در هاون چینی آسیاب شد. سپس چهار میلی‌لیتر از بافر استخراج (حاوی ۵۰ میلی‌مولار پتاسیم فسفات (pH = ۷/۸)، یک میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA)، یک درصد پلی وینیل پیرولیدون (PVP)، یک میلی‌مولار دی‌تیوتریتول (DTT) و یک میلی‌مولار فنیل متیل سولفونیل ((PMSF) به نمونه گیاهی اضافه گردید. بعد از آن، عمل سانتیفریوژ با ۱۳ هزار دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به‌مدت پنج دقیقه صورت گرفت. پس از اتمام سانتیفریوژ، از عصاره رویی برداشته و از این عصاره برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده شد (Correa de Souza et al., 2014).

آنزیم کاتالاز

جهت سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی بافت گیاه، یه میلی‌لیتر از محلول واکنش حاوی ۴۵ میلی‌مولار آب اکسیژنه و ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH = ۷) اضافه گردید. فعالیت آنزیمی با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر به‌مدت یک دقیقه ارزیابی شد. واحد اندازه‌گیری آن،

واحد آنزیمی بر میلی گرم وزن تر در نظر گرفته شد (Courtney et al., 2016).

آنزیم پراکسیداز

برای سنجش میزان این آنزیم، محلول واکنش شامل ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی، ۳۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی-مولار، ۳۵۰ میکرولیتر پیروگالول ۱۰ میلی-مولار و یک میلی-لیتر H_2O_2 ۷۰ میلی-مولار بود. میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت شد. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به صورت میکرومول H_2O_2 تجزیه شده در میلی گرم پروتئین در دقیقه محاسبه گردید (Correa de Souza et al., 2014).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز

بدین ترتیب، مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با $pH=7$ (شامل ۰/۱ میلی مولار EDTA و یک میلی-مولار سدیم آسکوربات)، ۰/۱ میلی لیتر عصاره استخراجی و ۰/۲ میلی لیتر هیدروژن پراکسید یک درصد بود. سپس فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به صورت کاهش در جذب طی یک دقیقه در طول موج ۲۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز از ضریب خاموشی ($2/8 \text{ Mm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از معادله (۵) به دست آمد (Nakano & Asada, 1981).

$$\text{Unit (mM/min)} = \frac{\text{doD} / \text{min(slop)} \times \text{Vol. of assay (0.0001)}}{\text{Extinction Coefficient (208)}} \quad (5)$$

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

سنجش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در مخلوط واکنش دارای ۱۰۰ سی سی بافر فسفات، EDTA ۰/۱ میلی مولار، یک گرم متینین، نیتروبلوتترازولیم، ۰/۰۲۸ گرم ریبوفلاوین و ۰/۱ گرم NBT انجام شد. برای هر نمونه، پنج سی سی از محلول نهایی برداشته شد. همه اجزاء به جز ریبوفلاوین در بالن ژوژه مخلوط گردید، بعد از حل شدن کامل، ریبوفلاوین به بالن اضافه شد. در نهایت به هر یک از لوله های آزمایش، میزان ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد. نمونه ها تحت نور فلورسنت قرار گرفتند. جذب نمونه ها در زمان های ۱۰ تا ۲۲ دقیقه صورت گرفت. جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد (Correa de Souza et al., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

داده های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 مورد تجزیه ANOVA قرار گرفتند، میانگین ها با آزمون چنددامنه ای دانکن مقایسه شدند و رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel صورت گرفت. تفاوت صفات در سه زمان با استفاده از آزمون تی تست مورد ارزیابی قرار گرفت. تست همگنی داده ها توسط آزمون بارتلت معنی دار نشد که نشان می دهد، واریانس ها در چهار مکان همگن می باشند. با توجه به همگنی داده ها و معنی دار نشدن آزمون بارتلت، داده های این آزمایش تجزیه مرکب شدند.

نتایج و بحث

نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان نشت یونی در درخت چنار معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان نشت یونی در مناطق ۶ و ۱۱ در محدوده بین ۴۳/۸۷ تا ۶۸/۸۷ درصد نشان داده شد. کمترین میزان در منطقه ۱ با میزان ۴۳/۸۷ درصد حاصل شد (جدول ۴). آلاندهای محیطی بعد از ورود از طریق روزنه به برگ در لایه آبکی حل می شود و تولید رادیکال های هیدروکسیل ($OH^\cdot$) و سوپراکسید ($O_2^\cdot$) و H_2O_2 می کند و می تواند از خلال غشاء عبور کند و باعث پراکسیداسیون لیپید غشاء و آسیب به ماکرومولکول ها شود. اوزون (O_3) باعث تغییر در نفوذپذیری و سیالیت غشاء و همچنین اختلال در تبادل پتاسیم و کلسیم و کار پمپ ATPase می شود (You et al., 2021). به نظر می رسد که آلودگی هوا با ایجاد تغییر در اسیدهای چرب غیر اشباع بر ساختار و ویژگی های غشاء سلولی اثر گذاشته و موجب ایجاد رادیکال های آزاد و پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش نفوذپذیری و تراوایی غشاء سلولی و در نتیجه تراوش اسمولیت ها در گیاهان حساس می شود (García-Sánchez et al., 2019). در مطالعه امینی و همکاران (Amini et al., 2015) مبنی بر بررسی اثر آلاندها بر خصوصیات برگ زبان گنجشک مشاهده گردید که میزان نشت یونی تحت شرایط آلودگی هوا تغییر معنی داری را نشان نداد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت نداشت که این امر ممکن است به دلیل تفاوت در میزان آلودگی هوا در مناطق مورد بررسی باشد.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ در درخت چنار معنی دار شد (جدول ۳). در بین مناطق ۳ و ۶ تفاوت آماری معنی داری حاصل نشد و بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در مناطق مورد مطالعه

می‌شود و می‌توان این چنین بیان نمود که گیاهان تحت شرایط آلوده با محتوای نسبی آب بالا ممکن است به آلاینده‌ها مقاوم باشند (Patel & Hina, 2011). میرعبایی و همکاران (Meerabai et al., 2012) بیان داشتند که در مکان‌های آلوده صنعتی، محتوای نسبی آب بالا پاسخی بر نرمال بودن عملکرد فرایندهای بیولوژیکی در گیاهان است.

در محدوده بین ۶۱/۵۳ تا ۳۵/۳۳ درصد نشان داده شد. در مناطق ۳ و ۶ بالاترین میزان محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با مناطق ۱ و ۱۱ حاصل شد (جدول ۴). در بیشتر گیاهان، کمبود آب سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شده که منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبادل گازی می‌گردد (Gindaba et al., 2005). در واقع، محتوای نسبی آب باعث حفظ کلروفیل در برابر تنش‌های شیمیایی

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر منطقه شهر تهران بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی درخت چنار

Table 3- ANOVA for the effect of the area of Tehran city on some phytochemical characteristics of the plantain tree

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares						
		نشست یونی Ion leakage	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde	فلاونوئید Flavonoid	آنتوسیانین Anthocyanin	فنل Phenol	آنتی‌اکسیدان Antioxidants
منطقه Area	3	371.9**	426.2**	0.012*	73.90**	0.0002*	201.1**	41.58*
خطا Error	8	20.16	37.33	0.002	4.92	0.00003	24.41	9.38
ضریب تغییرات CV (%)		7.68	12.33	17.23	16.39	12.80	11.22	8.51

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

* and **: significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۴- اثر منطقه شهر تهران بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی درخت چنار

Table 4- The effect of the area of Tehran city on some phytochemical characteristics of plantain tree

منطقه Area	نشست یونی Ion leakage (%)	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content (%)	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde (μmol.g ⁻¹)	فلاونوئید flavonoid (mg.g ⁻¹)	آنتوسیانین Anthocyanin (μg.g ⁻¹)	فنل Phenol (mg.g ⁻¹)	آنتی‌اکسیدان Antioxidants (μg.g ⁻¹)
1	43.87 ^{c*}	44.45 ^b	0.۱۹ ^b	8.84 ^b	0.040 ^{ab}	35.69 ^c	34.32 ^b
3	56.08 ^b	61.53 ^a	0.23 ^b	10.12 ^b	0.048 ^a	40.00 ^{bc}	32.16 ^b
6	65.17 ^a	56.93 ^a	0.22 ^b	15.67 ^a	0.030 ^b	54.64 ^a	36.56 ^{ab}
11	68.87 ^a	35.33 ^b	0.۳۳ ^a	19.51 ^a	0.045 ^a	45.70 ^{ab}	40.87 ^a

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

* In each column, the averages with the same common letters do not have a statistically significant difference at the 5% level based on the Duncan's multiple range test.

مالون دی‌آلدئید

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای مالون دی‌آلدئید درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، منطقه ۱۱ که دارای بالاترین میزان تنش در مقایسه با سایر مناطق مورد مطالعه می‌باشد، بالاترین محتوای مالون دی‌آلدئید با میزان ۰/۳۳ میکرومول بر گرم مشاهده گردید (جدول ۴). مقدار حساسیت گیاه و آسیب وارد شده به غشاء با اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید که حاصل قرار گرفتن اسیدهای چرب غیراشباع در معرض تنش است، مشخص می‌شود

(Arvin & Firouzeh, 2024). افزایش تنش با ایجاد تغییر در اسیدهای چرب غیراشباع بر ساختار و ویژگی‌های غشاء سلولی اثر گذاشته و موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد و پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش نفوذپذیری و تراوایی غشاء سلولی و در نتیجه تراوش اسمولیت‌ها در گیاهان حساس می‌شود. پژوهشگران با بررسی پاسخ-های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادام به آلودگی هوای منطقه صنعتی شازند استان مرکزی نیز افزایش لیپید پراکسیداسیون غشاء سلولی و میزان مالون دی‌آلدئید را گزارش نموده‌اند (Askari Mehrabadi et al., 2016). در اثر آلاینده‌هایی چون O₃ و SO₂ در نتیجه فعالیت

فیتوتوکسیسیته، اکسیداسیون پروتئین‌ها و لیپیدها ایجاد می‌شود (Torkaman et al., 2023).

فلاونوئید

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر محتوای فلاونوئید در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بالاترین میزان فلاونوئید در منطقه ۱۱ با میزان ۱۹/۵۱ میلی گرم بر گرم مشاهده گردید (جدول ۴). فلاونوئیدها و ترکیب‌های فنلی، متابولیت‌های ثانویه بوده و دارای نقش محافظتی و آنتی‌اکسیدانی هستند. گزارش شده است که در گیاهان کاشته‌شده تحت غلظت‌های بالای فلزات سنگین، فلاونوئیدها فعال شده و از گیاه محافظت می‌کنند. فعالیت چنین سیستم‌هایی در گیاه ضروری به نظر می‌رسد، زیرا شرایط بهینه را جهت رشد گیاه فراهم می‌آورد (Kovalikova et al., 2021). حضور حلقه‌های آروماتیک و اجزاء متنوع دیگر در ساختار این ترکیبات، از آن‌ها جارب‌کنندگان رادیکالی مناسبی ساخته است. تولید فلاونوئید محدود به بافت‌های خاص است و در مراحل خاصی از تکامل گیاه انجام می‌شود. محیط آلوده به آلاینده‌ها باعث رنگی و متمایل به قرمز شدن اندام هوایی گیاهان در زمان رشد می‌شود که نتیجه افزایش تجمع فلاونوئیدها است (Qaderi et al., 2023). افزایش در مقدار آن‌ها می‌تواند به شدت از تنش اکسیداتیو به‌وجودآمده بکاهد. به‌طور کلی، ترکیبات فنلی گیاهان در ارتفاعات بالاتر در مقایسه با ارتفاعات پایین بیشتر است و دارای حداکثر پتانسیل آنتی‌اکسیدانی است. تفاوت در سطح ترکیبات می‌تواند به توانایی گیاهان در مقابله با تنش غیرزنده از درجه حرارت پایین‌تر و اشعه ماوراءبنفش بالاتر باشد (Cirak et al., 2017). شرایط جغرافیایی مرتفع‌تر، کاهش دمای هوا و رطوبت نسبی و همچنین افزایش کیفیت نور مهم‌ترین دلایلی هستند که موجب تحریک سازوکار سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات فنولی خواهند شد، اگرچه محققان دیگر با مطالعه در مورد مهر سلیمان (Suyal et al., 2019) و پیرو (Ghorbanzadeh et al., 2019) و بقیه موارد نتایج متفاوتی را گزارش کردند و همبستگی ارتفاع از سطح دریا با ترکیبات فنولی را منفی ارزیابی کردند.

آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر منطقه در سطح احتمال پنج درصد بر میزان آنتوسیانین در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان آنتوسیانین در مناطق ۳ و ۱۱ به‌ترتیب با میزان ۰/۰۴۸ و ۰/۰۴۵ میکروگرم بر گرم مشاهده شد (جدول ۴). آنتوسیانین‌ها که زیرگروهی

از فلاونوئیدها می‌باشند، مسئول ایجاد رنگ‌های قرمز، بنفش و آبی در بسیاری از گل‌ها، میوه‌ها و سبزی‌ها هستند (Hatami Manesh et al., 2023). گیاهانی که به‌طور دائم در معرض آلاینده‌های محیطی هستند، این آلاینده‌ها را جذب می‌کنند و در سلول‌هایشان تجمع می‌دهند و چون آلاینده‌ها مواد سمی هستند که می‌توانند روی آنزیم‌ها اثر مخرب داشته باشند، وقتی آلاینده‌ها به‌وسیله برگ‌ها جذب می‌شوند، ممکن است باعث کاهش یا افزایش غلظت رنگیزه‌ها شود. آنتوسیانین‌ها در پاسخ به تنش‌های محیطی مختلف از جمله فلزات سنگین موجود در آلودگی‌های محیطی، در گیاهان افزایش می‌یابد. علت افزایش میزان رنگیزه آنتوسیانین تحت تنش آلاینده‌ها آن است که این ترکیبات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی خود، اثرات تخریبی رادیکال‌های آزاد اکسیژن را در گیاهان کاهش می‌دهد (Zupka et al., 2020). در پژوهشی، اثر آلودگی هوای تهران بر گیاه اقاچیا (*Robinia pseudoacacia* L.) نشان داد که اقاچیا با سازوکارهای فیزیولوژیکی خود مانند افزایش آنتوسیانین و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌تواند پاسخ مناسبی به تنش آلودگی هوا بدهد (Maddah et al., 2015). همچنین در پژوهشی دیگر مشاهده شد که میانگین غلظت آنتوسیانین در مناطق آلوده بیشتر از مناطق پاک بوده است و این میزان در منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک به‌ترتیب در درختان شاه توت (*M. nigra*)، چنار و عرعر (*A. altissima*) برابر ۱۹/۶۴، ۸۸/۸ و ۸۰/۰۵ درصد می‌باشد (Hatami Manesh et al., 2023). نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر افزایش میزان آنتوسیانین در مناطق آلوده با نتایج مائو و همکاران (Mao et al., 2022) در گیاه خزه، هاله و همکاران (Hale et al., 2002) در گیاهان کلم راپا (*Brassica rapa*)، خردل هندی (*Brassica juncea*) و گل کلم (*Brassica oleracea* var. botrytis) و زوپکا و همکاران (Zupka et al., 2020) در درختان جنگلی وحشی مطابقت دارد. علاوه بر آن سیتار و همکاران (Syta et al., 2021) گزارش نمودند که در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis*) غلظت بالای فلزات سنگین هوا سبب افزایش محتوای آنتوسیانین در گیاه شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

علاوه بر آن، اختلاف ارتفاع از سطح دریا بین مناطق مورد بررسی در لقاء کیفیت مختلف نور و میزان درجه حرارت مؤثر بوده و سبب تراکم بیشتر آنتوسیانین در برگ گیاه چنار شده است. خیاط و همکاران (Khayyat et al., 2020) در بررسی نمونه‌های زرشک (*Berberis vulgaris* L.) حاصل از ارتفاعات مختلف بیان کردند که برای افزایش رنگ میوه زرشک به آفتاب مستقیم نیاز است، بالین حال درجه حرارت پایین به‌خصوص شب‌های خنک برای رشد رنگ و تجمع آنتوسیانین میوه زرشک مهم است. همچنین در بررسی خو و

همکاران (Khoo et al., 2017) اشاره شده است که با افزایش ارتفاع، میزان اشعه UV-B افزایش یافته که سبب بیان بیش از حد ژن‌های اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه می‌شود تا محتویات آنتوسیانین برای جبران اثرات زیان‌بار اشعه ماوراءبنفش تجمع بیشتری داشته باشد.

فنل

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر محتوای فنل در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان فنل در مناطق ۶ و ۱۱ به ترتیب با میزان $54/64$ و $45/70$ میلی گرم بر گرم مشاهده و کمترین میزان آن در منطقه ۱ با میزان $35/69$ میلی گرم بر گرم حاصل شد (جدول ۴). ترکیب‌های فنلی موجود در گیاهان قدرت احیاکنندگی بالایی داشته و قادرند که رادیکال‌های آزاد را به فرم خنثی تبدیل کنند و می‌توان گفت که تقریباً در همه اندام‌های گیاهان یافت شده و فقط کمیت و کیفیت آن‌ها در اندام‌های مختلف متفاوت است. از میان سیستم‌های غیرآنزیمی دفاعی، ترکیب‌های فنلی در گیاهانی که در معرض غلظت‌های زیاد آلاندها هستند، بسیار فعال بوده و باعث حفظ گیاه در مقابل سمیت می‌شوند (Sheng & Zhu, 2019). عوامل محیطی و شرایط اقلیمی منطقه نیز بر میزان تجمع این ترکیبات مؤثر بوده و عامل ارتفاع یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر رشد و صفات بیوشیمیایی گیاهان است. به‌طور کلی، در مناطق مرتفع، میزان تابش و کیفیت نور خورشید و اختلاف دمای شب و روز افزایش یافته که در نتیجه با افزایش میزان فتوسنتز و کاهش شدت تنفس در شب همراه خواهد شد (Figuerola et al., 2016) و افزایش فتوسنتز، میزان ذخیره کربوهیدرات را بالا برده که در شرایط سردتر عامل حفاظتی در مقابل تنش سرمایی است، از سوی دیگر، افزایش فتوسنتز و تجمع کربوهیدرات‌ها نقش بسزایی در تأمین اسکلت کربنی مورد نیاز به‌عنوان سوبسترا برای شروع مسیر بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه ایفا خواهد کرد (Cirak et al., 2017).

همچنین عوامل مختلفی بر عصاره گیاهان اثر می‌گذارد. گیاه در مقابل ارتفاع‌های مختلف واکنش‌های مختلفی را از خود نشان می‌دهند. یکی از آن‌ها، افزایش تولید رادیکال آزاد است. تولید رادیکال آزاد هم نوعی واکنش منفی تلقی می‌شود و هم واکنش مثبت. رادیکال‌های آزاد ترکیبات بیولوژیکی هستند که حاوی یک یا چند الکترون جفت نشده‌اند و برای جبران کمبود الکترون باعث تخریب DNA، پروتئین‌ها و غیره می‌شوند. چون در اوربیتال آخر رادیکال آزاد یک الکترون کم دارد و برای جبران الکترون خود به پروتئین‌ها و ... می‌چسبد و آن‌ها را تخریب می‌کند بنابراین نقش منفی دارند

(Alkadi, 2020). از طرفی، وقتی گیاه تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد، بعضی از قسمت‌ها نباید فعال شوند، بنابراین بعضی از پروتئین‌ها که در مسیر فعال می‌شوند باید از کار بیفتند که این کار را رادیکال آزاد انجام می‌دهد، بنابراین نقش مثبت خواهند داشت، همچنین گیاه برای جلوگیری از آسیب پروتئین‌های خودش از دو طریق آنزیمی و غیرآنزیمی فعالیت‌هایی را تنظیم می‌کند تا رادیکال‌های آزاد را مهار کند (Aguiar-Silva et al., 2016). روش غیرآنزیمی با تولید آنتی-اکسیدان‌هایی مثل فنول‌ها و فلاونوئیدها کمبود الکترون رادیکال‌های آزاد را جبران می‌کنند. فنل‌ها و فلاونوئیدها ترکیباتی هستند که منشأ مشترک داشته و افزایش هرکدام از آن‌ها باعث افزایش دیگری می‌شود و در اکثر موارد افزایش فنل‌ها و فلاونوئیدها باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نیز خواهد شد (Arvin & Firouzeh, 2024). نتایج پژوهش طاهری اطاقسرا و همکاران (Taheri Otaghsara et al., 2020) مبنی بر مقایسه پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه افرا پلت (*Acer Velutinum* Bioss.) تحت تأثیر آلاندهای هوا در مازندران و سه منطقه از تهران نشان داد که محتوای فنل در نمونه‌های جمع‌آوری شده تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداد که با نتایج حاصل از این پژوهش مغایرت دارد، این امر ممکن است به دلیل تفاوت در میزان آلودگی هوا در مناطق مورد بررسی باشد.

آنتی‌اکسیدانت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال پنج درصد بر میزان آنتی‌اکسیدانت در درخت چنار بود (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان فنل در مناطق ۶ و ۱۱ به ترتیب با میزان $36/56$ و $40/87$ میکروگرم بر گرم مشاهده و کمترین میزان آن در منطقه ۳ با میزان $32/16$ میکروگرم بر گرم حاصل شد (جدول ۴). بین برخی از تیمارها در سطح پنج درصد آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). سازوکار افزایش آنتی‌اکسیدانت می‌تواند از طریق بیان ژن آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی یا بیوسنتز آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی باشد. افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در اثر سمیت آلاندهای محیطی می‌باشد که به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن گزارش شده است. این رادیکال‌های آزاد، آسیب‌های اکسیداتیو و کاهش رشد را به دنبال دارند (Padash et al., 2016). آنتی‌اکسیدانت‌ها در پاسخ به تنش‌ها نقش مهمی ایفا می‌نمایند و در نتیجه اکثر مواقع مقدار آن‌ها با توجه به شدت و مدت تنش افزایش می‌یابد. مقایسه یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج سایر محققان در این زمینه، گویای این مطلب است که میزان ظرفیت و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی یک گونه گیاهی

آزاد سنجیده و به عنوان ظرفیت آنتی اکسیدانتی شناخته می شود (Alkadi, 2020).

نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر افزایش آنتی اکسیدانت در درختان چنار در مناطق آلوده ۳ و ۱۱ با نتایج پژوهش محسن زاده و اکبری (Mohsenzadeh & Akbari, 2017) روی درختان چنار، افرا و نارون در شیراز مطابقت دارد. در این پژوهش نشان داده شد که آنتی اکسیدانت اندازه گیری شده در مناطق آلوده شیراز در هر سه درخت چنار، افرا و نارون بیش از مقادیر در مناطق پاک بوده است.

کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده ها حاکی از معنی دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در درخت چنار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بالاترین میزان در منطقه ۱۱ با میزان ۰/۰۱۸ آب اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در گرم برگ حاصل و بین سایر مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۶).

می تواند متفاوت باشد و این امر ممکن است ناشی از تفاوت نوع اندام های گیاهی مورد استفاده و یا شرایط اقلیمی محل رویش گیاه باشد که می تواند محتوای مواد مؤثره گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Martínez et al., 2022).

شرایط محیطی از جمله ارتفاع رویشگاه بر عصاره گیاهان اثر می گذارد. گیاه در مقابل ارتفاع های مختلف، واکنش های مختلفی از خود نشان می دهد، یکی از آن ها افزایش تولید رادیکال های آزاد است. گیاه اختلاف ارتفاع را به عنوان تنش محاسبه کرده و برای مقابله با آن سازوکار دفاعی خود را فعال می کند و در نتیجه میزان رادیکال های آزاد افزایش می یابد (Alkadi, 2020). ر چنین شرایطی گیاه برای جلوگیری از این آسیب ها از دو طریق آنزیمی و غیر آنزیمی فعالیت هایی را تنظیم می کند تا رادیکال های آزاد را مهار کند (Mukherjee et al., 2019). روش های غیر آنزیمی با تولید آنتی اکسیدانت هایی مانند فنل ها و فلاونوئیدها، کمبود الکترون رادیکال های آزاد را جبران کرده و باعث مهار آن ها می گردد که با DPPH یا درصد مهار رادیکال

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر منطقه شهر تهران بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی درخت چنار

Table 5- ANOVA for the effect of region in Tehran city on the activity of antioxidant enzymes of plantain tree

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase
منطقه Area	3	0.0001**	0.099**	0.00004**	0.014**
خطا Error	8	0.000004	0.0024	0.000004	0.0004
ضرب تغییرات CV (%)		16.53	10.92	25.36	10.89

** : معنی دار شدن در سطح احتمال یک درصد.

** : significant at the 1% of probability level.

جدول ۶- اثر منطقه شهر تهران بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی درخت چنار

Table 6- The effect of area of Tehran city on some phytochemical characteristics of plantain tree

منطقه Area	کاتالاز Catalase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)	پراکسیداز Peroxidase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)
1	0.013 ^{b*}	0.۴8 ^c	0.01 ^b	0.12 ^c
3	0.014 ^b	0.57 ^b	0.00 ^b	0.15 ^c
6	0.015 ^b	0.73 ^a	0.01 ^b	0.22 ^b
11	0.018 ^a	0.57 ^b	0.02 ^a	0.34 ^a

* در هر ستون میانگین ها با حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چنددامنه ای دانکن تفاوت آماری معنی داری ندارند.

* In each column, the averages with the common letters do not have a statistically significant difference at the 5% level of the Duncan's multiple range test.

سوپراکسید دیسموتاز

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین مناطق ۱ و ۳ تفاوت آماری معنی‌داری حاصل نشد و بیشترین سوپر اکسید دیسموتاز در مناطق ۶ و ۱۱ با میزان ۰/۲۲ و ۰/۳۴ نشان داده شد. (جدول ۶). تنش‌های زنده و غیرزنده سبب افزایش میزان رادیکال‌های آزاد از جمله اکسیژن‌های واکنشگر فعال می‌شوند که تمامی رادیکال‌های آزاد، اثرات مخرب روی مولکول‌های آلی دارند و عوارض خطرناکی را ایجاد می‌کنند. گیاهان در برابر این رادیکال‌های آزاد دارای سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدانی هستند. آلودگی هوا علاوه بر لیپیدهای غشاء سلولی بر پروتئین‌های غشاء و آنزیم‌ها نیز اثر سوء دارد. برای مثال، تیمار آزون روی گیاهان باعث تغییر و تخریب در ساختمان دوم و سوم پروتئین‌ها می‌شود (Montesinos-Pereira *et al.*, 2016). نحوه پاسخ سیستم‌های دفاع آنزیمی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، به آلاینده‌های محیطی بحث برانگیز باقی‌مانده است و می‌تواند از گونه‌ای به گونه دیگر یا از بافتی به بافت دیگر بسیار متنوع باشد. بسیاری از تحقیقات، افزایش فعالیت در سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز را وابسته به افزایش غلظت آلاینده‌ها گزارش کرده‌اند و برعکس گزارش‌های دیگر، حکایت از محدود شدن فعالیت این سه آنزیم و کاهش آن‌ها در معرض آلاینده‌های محیطی مازاد دارند (Mehmood *et al.*, 2024).

افزایش غلظت آلاینده‌های محیطی درون سلول باعث تولید رادیکال هیدروکسیل و H_2O_2 از طریق واکنش تسریع شده با فلز به نام هابر-ویس می‌گردد. سازوکارهای حمایتی در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن به‌وجودآمده به‌علت غلظت‌های بالای آلاینده‌ها، می‌تواند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز باشد (Uka *et al.*, 2019). انهدام مؤثر سوپراکسید و هیدروژن پراکسید نیاز به فعالیت مؤثر تعداد زیادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دارد. سوپراکسید به‌سرعت با فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به H_2O_2 تبدیل می‌شود. آنزیم کاتالاز مهم‌ترین آنزیم برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از آلاینده‌ها می‌باشد و برای پاکسازی رادیکال‌های آزاد در گیاه کاربرد دارد. کاتالازها H_2O_2 را در پراکسی‌زوم‌ها به آب و اکسیژن مولکولی تبدیل می‌نمایند. روش دیگر از بین رفتن H_2O_2 توسط پراکسیدازها است. این آنزیم‌ها که سراسر سلولی یافت می‌شوند، میل ترکیبی بیشتری با H_2O_2 نسبت به کاتالاز دارند. پراکسیداز و کاتالاز دو نمونه از آنزیم‌هایی هستند که تغییر فعالیت آن‌ها در تنش‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شده است (Marques *et al.*, 2017). با توجه به نتایج فوق،

تنش‌های محیطی با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به لیپیدها و پروتئین‌ها آسیب وارد می‌کنند و سلول‌های گیاهی جهت کاهش اثرات منفی اکسیژن فعال تولیدشده در سلول از سازوکار تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر کاتالاز بهره می‌گیرند که یک فرآیند سازگاری است که با کاهش میزان هیدروژن پراکسید از آسیب به بافت جلوگیری می‌کند. افزایش این آنزیم موجب مقاومت گیاه به شرایط تنش می‌شود (Gill & Tuteja, 2010).

پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در درخت چنار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کمترین میزان در روز در منطقه ۱ با میزان ۰/۴۸ آب اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در گرم برگ حاصل و بالاترین میزان در منطقه ۶ با میزان ۰/۷۳ آب اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در گرم برگ به دست آمد (جدول ۶).

آسکوربات پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در درخت چنار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین مناطق ۱، ۳ و ۶ تفاوت آماری معنی‌داری حاصل نشد و بیشترین آسکوربات پراکسیداز در منطقه ۱۱ با میزان ۰/۰۲ نشان داده شد. (جدول ۶). آسکوربات پراکسیداز نقش حیاتی در سازوکارهای دفاعی گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو دارد. این آنزیم، هیدروژن پراکسید را در کلروپلاست، سیتوسول، میتوکندری و پراکسیزوم سلول‌های گیاهی از بین می‌برد (Sairam *et al.*, 2002). لذا این آنزیم نقش مهمی در حذف پراکسید هیدروژن ایفا می‌نماید. از طرفی، چرخه گلووتاتیون-آسکوربات نقش مهمی در ایجاد سیستم دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو دارد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آن باعث کاهش اثرات تنش اکسیداتیو می‌شود، به‌طوری‌که امروزه بسیاری از محققان بر این باورند که این چرخه اصلی‌ترین نقش را در جمع‌آوری هیدروژن پراکسید ایفا می‌کند، لذا فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان آنزیم نهایی این چرخه، از اهمیت بالایی برخوردار بوده و کاهش فعالیت آن می‌تواند سبب تجمع اکسیدان‌ها گردد (Khanna-Chopra & Selote, 2007).

چندین درخت و درختچه در آنتالیای ترکیه پرداختند. افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در هر دو منطقه آلوده شهری و صنعتی در مقایسه با منطقه پاک مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی، کمیت و کیفیت آن‌ها در درختان چنار موجود در خیابان ولیعصر تهران مشاهده شد. عوامل محیطی محل رشد از طریق تأثیر بر مقدار کل مواد مؤثر، عناصر تشکیل‌دهنده ترکیبات مؤثر و تولید وزن خشک در کمیت و کیفیت مشخصه‌های فیتوشیمیایی گیاهان نقش دارند. ارتفاع از سطح یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که بر ترکیب فیتوشیمیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد. سایر عوامل محیطی که آب‌وهوای یک منطقه را تشکیل می‌دهند نیز در تجمع ترکیبات فیزیولوژیکی در گیاهان نقش دارند.

در مطالعه حاضر، تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای فیتوشیمیایی، کمی و کیفی در گیاهان چنار رشدیافته در مناطق مورد مطالعه مشاهده شد. همچنین بسیاری از محققان در گزارش‌های متعددی، وجود رابطه بین محل رویش و تأثیر آن بر کیفیت و کمیت ترکیبات فیتوشیمیایی گیاهان را بیان کرده‌اند. عوامل محیطی محل رشد با تأثیر بر مقدار کل مواد فعال، عناصر تشکیل‌دهنده ترکیبات فعال و تولید وزن خشک در کمیت و کیفیت مشخصه‌های فیتوشیمیایی گیاهان نقش دارند.

به نظر می‌رسد که در این گیاه، سیستم دفاع غیرآنزیمی به‌خصوص ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها به‌طور توأم با سیستم دفاع آنزیمی همکاری می‌نمایند تا بتوانند اثر مخرب تنش را خنثی نمایند. هنگام ایجاد هر گونه تثبیت، تضعیف یا افت در سیستم دفاع غیرآنزیمی، سیستم دفاع آنزیمی وظیفه پاکسازی رادیکال‌های آزاد را بر عهده می‌گیرد (Yeshi et al., 2022). البته توانایی گیاهان جهت افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با اثرهای تنش، محدود به نظر می‌رسد. تأثیر طولانی‌مدت آلاینده‌ها ابتدا سبب القاء و افزایش فعالیت آنزیم‌ها به‌خصوص پراکسیدازها و بعد از آن سبب کاهش فعالیت می‌گردد (Santisree et al., 2020).

همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ارتفاعات بالا باعث محافظت از گیاه در برابر آسیب‌های گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. نتایج این پژوهش در موافقت با گزارش‌های قبلی بوده که نشان دادند، این آنزیم‌ها دارای نقش‌های مهمی در ارتباط با سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی هستند، به‌طوری‌که با افزایش سطح ارتفاع، میزان این آنزیم‌ها افزایش یافته و به‌عنوان یک راهکار جهت سازگاری گیاه با تغییرات محیطی است (Ma et al., 2015). همچنین مداح و همکاران (Maddah et al., 2015) در پژوهش خود در رابطه با پاسخ فیزیولوژیک درخت افاقیا تحت تأثیر آلودگی شهر تهران مشاهده نمودند که فعالیت آنزیم پراکسیداز در مناطق آلوده افزایش یافت که در راستای نتایج حاصل از این پژوهش است. دوگانلار و آتماکا (Doganlar & Atmaca, 2011) به مطالعه اثرات آلودگی هوا در مناطق شهری و صنعتی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ

References

1. Aguiar-Silva, C., Brandão, S.E., Domingos, M., & Bulbovas, P. (2016). Antioxidant responses of atlantic forest native tree species as indicators of increasing tolerance to oxidative stress when they are exposed to air pollutants and seasonal tropical climate. *Ecological Indicators*, 63, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.060>
2. Alkadi, H.A. (2020). Review on free radicals and antioxidants. *Infectious Disorders Drug Targets*, 18, 16-26. <https://doi.org/10.2174/1871526518666180628124323>
3. Amini, F., Fattah Ravandi, N., & Askari, M. (2015). Effects of air pollutants on the physiology and anatomy of *Fraxinus excelsior* leaves within the Iran's Aluminum plant in Arak city. *Journal of Plant Process and Function*, 17, 83-95. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1395.5.17.13.0>
4. Anil, M.D., Pandey, K., Krishna, V., & Kumar, M. (2022). Air pollution tolerance index (APTI) and expected performance index (EPI) of selected plants at RGSC, (BHU), Mirzapur, India. *Pollution*, 8, 479-487. <https://doi.org/10.22059/poll.2021.330458.1180>
5. Arvin, P., & Firouzeh R. (2024). Phytochemical study and antioxidant activity of roots, leaves and fruits of caper (*Capparis spinosa* L.) in two habitats of North Khorasan province. *Journal of Plant Research is the Iranian Journal of Biology*, 4, 389-404. (in Persian with English abstract).
6. Askari Mehrabadi, M., Amini, F., & Faraji, G. (2016). Some of physiological and biochemical responses of *Prunus amygdalus* to air pollution of the Shazand industrial area. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8, 63-78. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2016.20701>
7. Bala, N., Pakade, Y.B., & Katnoria, J.K. (2022). Assessment of air pollution tolerance index and anticipated performance index of a few local plant species available at the roadside for mitigation of air pollution and green belt development. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 15, 2269-2281. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01251-7>

8. Barrs, H.D., & Weaterley, P.E. (1962). A re-examination of the relative turgidity techniques for the estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413-428.
9. Bui, H.T., Odsuren, U., Jeong, M., Seo, J.W., Kim, S.Y., & Park, B.J. (2022). Evaluation of the air pollution tolerance index of 12 plant species growing in environments with different air pollution levels. *Journal of People Plants Environment*, 25, 23-31. <https://doi.org/10.11628/ksppe.2022.25.1.23>
10. Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Food and Drug Analysis*, 10, 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
11. Chauhan, S., Manisha, B.B., Kandpal, K.C., & Kumar, A. (2022). Analyzing preferred indoor ornamental potted plants for their air pollution tolerance ability. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31, 2019-2027. <https://doi.org/10.15244/pjoes/140291>
12. Cirak, C., Radusiene, J., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Seyisd, F., & Yayla, F. (2017). Altitudinal changes in secondary metabolite contents of *Hypercom androsaemum* and *Hypericum polyphyllum*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 70, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.11.006>
13. Correa de Souza, T., Cesar Magalhaes, P., Mauro de Castro, E., Portilho Carneiro, N., Andrade Padilha, F., Cesar, C., & Junior, G. (2014). ABA application to maize hybrids contrasting for drought tolerance: Changes in water parameters and in antioxidant enzyme activity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 73, 205-217. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9881-9>
14. Courtney, A.J., Xu, J., & Xu, Y. (2016). Responses of growth, antioxidants and gene expression in smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) to various levels of salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 99, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.12.016>
15. Danika, D., Adroit, B., Velitzelos, D., & Denk, T. (2024). On the origin of the oriental plane tree (*Platanus orientalis* L.). *Papers in Palaeontology*, e1576, 1-29. <https://doi.org/10.1002/spp2.1576>
16. Doganlar, Z.B., & Atmaca, M. (2011). Influence of airborne pollution on Cd, Zn, Pb, Cu, and al accumulation and physiological parameters of plant leaves in Antakya (Turkey). *Water, Air, & Soil Pollution*, 214, 509-523. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0442-9>
17. Fan, X. (2005). Antioxidant capacity of fresh-cut vegetables exposed to ionizing radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 995-1000. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2057>
18. Figueroa, F., Marhuenda, J., Zafrilla, P., Martínez-Cachá, A., Mulero, J., & Cerdá, B. (2016). Total phenolics content, bioavailability and antioxidant capacity of 10 different genotypes of walnut (*Juglans regia* L.). *Journal of Food and Nutrition Research*, 55, 229-236.
19. García-Sánchez, I.E., Barradas, V.L., de León Hill, C.A.P., Esperón-Rodríguez, M., Pérez, I.R., & Ballinas, M. (2019). Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO₂ and stomatal conductance of *Ligustrum lucidum*, an urban tree from Mexico city. *Urban Forestry & Urban Greening*, 42, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.05.002>
20. Ghorbanzadeh, A., Ghasemnezhad, A., Khoshhal Sarmast, M., & Nezhad Ebrahimi, S. (2019). Phytochemical evaluation and comparison of essential oil and antioxidant activity of *Juniperus sabina* L. branches in different habitats of Mazandaran and Golestan provinces. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 4, 15-32. (in Persian with English abstract). <https://sanad.iaui.ir/en/Article/985298>
21. Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
22. Gindaba, J., Rozanov, A., & Negash, L. (2005). Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two *Eucalyptus* and three indigenous tree species of *Ethiopia* under moisture deficit. *Forest Ecology and Management*, 205, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.056>
23. Hale, K.L., Tufan, H.A., & Pickering, I.J. (2002). Anthocyanins facilitate tungsten accumulation in *Brassica*. *Physiologia Plantarum*, 116(34), 351-8. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160310.x>
24. Hatami manesh, M., Mortazavi, S., Silgi, E., & Mohtadi, A. (2023). Assessment the response of urban tree species to air pollution using biophysical and biochemical leaf biomarkers. *Journal of Environmental Health Engineering*, 1, 116-129. (in Persian with English abstract)
25. Kalaipriya, P., Vignesh, P., Chakraborty, S., & Govindaraju, M. (2023). Assessment of biochemical characters and development of anticipated performance index for air pollution stress plants in Tiruchirappalli city. *Advances in Bioresearch*, 14, 59-65.
26. Khanna-Chopra, R., & Selote, D.S., (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 60, 276-283.
27. Khayyat, M., Barati, Z., Aminifard, M.H., & Samadzadeh, A. (2020). Anthocyanin accumulation and color development in seedless barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruits: The role of altitude and sun light - the preliminary

- results. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S955–S968. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1774466>
28. Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*, 61, 1-21. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
 29. Kovalikova, Z., Lnenicka, J., & Andrys, R. (2021). The influence of locality on phenolic profile and antioxidant capacity of bud extracts. *Foods*, 10, 1608. <https://doi.org/10.3390/foods10071608>
 30. Ma, L., Sun, X., Kong, X., Galvan, J.V., Li, X., Yang, S., & Hu, X. (2015). Physiological, biochemical and proteomics analysis reveals the adaptation strategies of the alpine plant *Potentilla saundersiana* at altitude gradient of the Northwestern Tibetan Plateau. *Journal of Proteomics*, 112, 63-82. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2014.08.009>
 31. Maddah, S.M., Moraghebi, F., Kashani, Q., Farhangian, S., & Afdideh, F. (2015). Physical, physiological responses and resistance of acacia tree (*Robinia pseudoacacia* L.) under the influence of air pollution in Tehran. *Environmental Plant Physiology Journal*, 38, 56-48.
 32. Mahaveerchand, H., & Abdul Salam, A.A. (2024). Environmental, industrial, and health benefits of *Moringa oleifera*. *Phytochemistry Reviews*, 23, 1497–1556. <https://doi.org/10.1007/s11101-024-09927-x>
 33. Mao, H.T., Wang, X.M., Wu, N., Chen, L.X., Yuan, M., Hu, J.C., & Chen, Y.E. (2022). Temporal and spatial biomonitoring of atmospheric heavy metal pollution using moss bags in Xichang. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 239(33), 113688. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113688>
 34. Marques, M.C., Nascimento, C.W.A., da Silva, A.J., & da Silva Gouveia-Neto, A. (2017). Tolerance of an energy crop (*Jatropha curcas* L.) to zinc and lead assessed by chlorophyll fluorescence and enzyme activity. *South African Journal of Botany*, 112, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.06.009>
 35. Martínez, S., Fuentes, C., & Carballo, J. (2022). Antioxidant activity, total phenolic content and total flavonoid content in sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars grown in northwest Spain under different environmental conditions. *Foods*, 11(21), 3519. <https://doi.org/10.3390/foods11213519>
 36. Mataji, A., Abdi, F., Etemad, V., & Kiadaliry, H. (2016). Effect of seed origin on morphology of seeds, viability and growth of Iranian oak seedlings *Quercus brantii* Lindl. *Iranian Journal of Forestry, Iranian Forestry Association*, 1, 11-22. (in Persian with English abstract)
 37. Meerabai, G., Venkata, R.C., & Rasheed, M. (2012). Effect of industrial pollutants on physiology of *Cajanus cajan* (L.)-Fabaceae. *International Journal of Environmental Sciences*, 2, 1889-94. <https://doi.org/10.6088/ijes.00202030072>
 38. Mehmood, Z., Yang, H.H., Awan, M.U.F., Ahmed, U., Hasnain, A., Luqman, M., Muhammad, S., Sardar, A.A., Chan, T.Y., & Sharjeel, A. (2024). Effects of air pollution on morphological, biochemical, DNA, and tolerance ability of roadside plant species. *Sustainability*, 16(8), 3427. <https://doi.org/10.3390/su16083427>
 39. Meng, X.Y., Zhang, M., & Adhikari, B. (2012). Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 71, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.006>
 40. Mohsenzadeh, S., & Akbari, Y. (2017). Effect of air pollution on some physiological indexes of *Ulmus*, *Acer* and *Platanus* plants in Shiraz city. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 2, 387-396. (in Persian with English abstract)
 41. Montesinos-Pereira, D., Barrameda-Medina, Y., Baenas, N., Moreno, D.A., Sanchez-Rodriguez, E., Blasco, B., & Ruiz, J.M. (2016). Evaluation of hydrogen sulfide supply to biostimulate the nutritive and phytochemical quality and the antioxidant capacity of cabbage (*Brassica oleracea* L. 'Bronco'). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 290–298. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.038>
 42. Mukherjee, S., Chakraborty, A., Mondal, S., Saha, S., Haque, A., & Paul, S. (2019). Assessment of common plant parameters as biomarkers of air pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 400. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7540-y>
 43. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Journal of Plant Cell Physiology*, 22, 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
 44. Padash, A., Ghanbari, A., & Asgharipour, M.R. (2016) Effect of salicylic acid on concentration of nutrients, protein and antioxidant enzymes of basil under lead stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8, 17-32. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2016.20691>
 45. Parvizi, A., Hatamnia, A.A., Mohammadkhani, N., & Naji, H.R. (2022). Effect of altitude on photosynthesis rate and some physiological indices from three species of *Quercus brantii*, *Pistacia atlantica*, *Crataegus pontica* in Ilam province forests. *Journal of Plant Process and function*, 45, 57-70. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1512-fa.html>

46. Patel, A., & Hina, K. (2011). Assessment of relative water content, leaf extract pH, ascorbic acid and total chlorophyll of some plant species growing in Shivamogga. *Plant Archives*, 11(44), 935-9.
47. Qaderi, M.M., Martel, A.B., & Strugnell, C.A. (2023). Environmental factors regulate plant secondary metabolites. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(3), 1-27. <https://doi.org/10.3390/plants12030447>
48. Roupioz, L., Jia, L., Nerry, F., & Menenti, M. (2016). Estimation of daily solar radiation budget at kilometer resolution over the Tibetan Plateau by integrating MODIS data products and a DEM. *Remote Sensing*, 8(6), 1-24. <https://doi.org/10.3390/rs8060504>
49. Sánchés Moreno, C., Larrauri, A., & Saura Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antioxidant efficiency of polyphenols. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 270–276. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199802\)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199802)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9)
50. Santisree, P., Sanivarapu, H., Gundavarapu, S., Sharma, K.K., & Bhatnagar-Mathur, P. (2020). Nitric oxide as a signal in inducing secondary metabolites during plant stress. In J. M. Merillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Co-Evolution of Secondary Metabolites*, pp. 593–621. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_61
51. Sairam, R.K., Veerabhadra Rao, K., & Srivastava, G.C., (2002). Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9)
52. Sawarkar, R., Shakeel, A., Kumar, T., Ansari, S.A., Agashe, A., & Singh, L. (2023). Evaluation of plant species for air pollution tolerance and phytoremediation potential in proximity to a coal thermal power station: Implications for smart green cities. *Environmental Geochemistry and Health*, 45, 7303–7322. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01667-9>
53. Sekhar, P., & Sekhar, P. (2019). Evaluation of selected plant species as bio-indicators of particulate automobile pollution using air pollution tolerance index (APTII) approach. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(7), 57–67. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.7011>
54. Sheng, Q., & Zhu, Z. (2019). Effects of nitrogen dioxide on biochemical responses in 41 garden plants. *Plants*, 8, 45. <https://doi.org/10.3390/plants8020045>
55. Suyal, R., Rawat, S., Rawal, R.S., & Bhatt, I.D. (2019). Variability in morphology, phytochemicals, and antioxidants in *Polygonatum verticillatum* (L.) All. populations under different altitudes and habitat conditions in Western Himalaya, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 783-801. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7687-6>
56. Sytar, O., Ghosh, S., & Malinska, H. (2021). Physiological and molecular mechanisms of metal accumulation in hyperaccumulator plants. *Physiologia Plantarum*, 173(1), 148-166. <http://doi.org/10.1111/ppl.13285>
57. Taheri Otaghsara, S.H., Aghajanzadeh, T.A., & Jafari, N. (2020). Comparison of physiological responses of *Acer velutinum* Bioss. to air pollutants in Mazandaran and three areas of Tehran. *Journal of Plant Research*, 4, 845-861. (in Persian with English abstract).
58. Timilsina, S., Shakya, S., Chaudhary, S., Magar, G.T., & Narayan Munankarmi, N. (2022). Evaluation of air pollution tolerance index (APTII) of plants growing alongside inner ring road of Kathmandu, Nepal. *International Journal of Environmental Science*, 79, 698–713. <https://doi.org/10.1080/00207233.2021.1946346>
59. Torkaman, J., Ghodskhah Daryaei, M., & Sahranavard, Sh. (2023). Effects of climatic parameters and air pollutants of Tehran city on the growth of *Pinus eldarica* in Chitgar forest park during time series (1975-2015). *Iranian Journal of Health and Environment*, 16, 357-66. (in Persian with English abstract) <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6737-en.html>
60. Uka, U.N., Belford, E.J., & Hogarh, J.N. (2019). Roadside air pollution in a tropical city: Physiological and biochemical response from trees. *Bulletin of the National Research Centre*, 43, 90. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0117-7>
61. Yanyan, Q., Holden, N., Qi, F., & Meng, Z. (2017). Influence of slope aspect on plant community composition and its implications for restoration of a chinese mountain range. *Polish Journal of Environmental Studies*, 1, 375-383. <https://doi.org/10.15244/pjoes/64458>
62. Yesi, K., Crayn, D., Ritmejeriyè, E., & Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses have potential application in pharmaceutical product development. *Molecules*, 27, 1-31. <https://doi.org/10.3390/molecules27010313>
63. You, H.N., Kwak, M.J., Je, S.M., Lee, J.K., Lim, Y.J., Kim, H., Park, S., Jeong, S.G., Choi, Y.S., & Woo, S.Y. (2021). Morpho-physio-biochemical attributes of roadside trees as potential tools for biomonitoring of air quality and environmental health in urban areas. *Land*, 10(3), 1-15. <https://doi.org/10.3390/land10030236>
64. Zahid, A., Ali, S., Anwar, W., Fatima, A., Chattha, M.B., Ayub, A., & Siddique, M. (2023). Assessing the air pollution tolerance index (APTII) of trees in residential and roadside sites of Lahore, Pakistan. *SN Applied Sciences*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05470-0>

65. Zhang, Q.P., Wang, J., Gu, H.L., Zhang, Z.G., & Wang, Q. (2018). Effects of continuous slope gradient on the dominance characteristics of plant functional groups and plant diversity in alpine meadows. *Sustainability*, 10(12), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su10124805>
66. Zupka, S., Vollmannová, A., Harangozo, L., & Medvecký, M. (2020). Relationship between mercury as well as cadmium and anthocyanin contents in wild forest fruits from environmentally burden region of the Slovakia. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2020, 192-197. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.special3.192-197>

Effects of Inoculation with Arbuscular Mycorrhiza Fungi on Growth, Photosynthetic Pigments Biosynthesis and Essential Oil Content in *Dracocephalum moldavica* L. (Moldavian Balm) under Lead and Cadmium Stress

M. Moradi^{1*}, H. Nastari Nasrabdi¹, M.N. Modoodi¹, V. Shamsabadi²

- 1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
2- Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran
(*- Corresponding author's Email: moradi@tjamcaas.ac.ir)

Received: 18 August 2024
Revised: 23 October 2024
Accepted: 24 October 2024
Available Online: 24 October 2024

How to cite this article:

Moradi, M., Nastari Nasrabdi, H., Modoodi, M.N., & Shamsabadi, V. (2025). Effects of inoculation with arbuscular mycorrhiza fungi on growth, photosynthetic pigments biosynthesis and essential oil content in *Dracocephalum moldavica* L. (Moldavian Balm) under lead and cadmium stress. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 269-281. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89455.1371>

Introduction

Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) is an annual herbaceous plant that belongs to the Lamiaceae family. It is known for its production of essential oils and its medicinal-aromatic properties. Moldavian balm's essential oil is used for food, cosmetics, flavorings, and pharmaceutical purposes. Abiotic stresses include drought, soil salinity, flooding, extremes of temperature, and contamination with organic pollutants and heavy metals hamper plant growth and productivity. In recent decades, heavy metal (HM) pollution has spread across the natural and anthropic ecosystems posing inevitable, serious health risks. Soil microbiota plays an important role in the sustainable production of the different types of agrosystems. Mycorrhizae (a combination of mycelium of the fungus and the roots of the plant) form networks that capture water and nutrients from the soil, which facilitate the acquisition of the plant. Arbuscular Mycorrhizal (AM) fungi play a crucial role in mitigating the oxidative damage caused by heavy metal stress in different plant species. Thus, interaction between mycorrhizae, and plants can be an excellent strategy for sustainable agricultural production. The aim of this study was to determine the effects of mycorrhizal arbuscular on improving heavy metal tolerance in moldavian balm, a medicinal and aromatic plant.

Materials and Methods

An experiment was conducted to study the effect of AM fungi on growth characteristics and quantitative and qualitative yield of Moldavian Balm, under heavy metals stress at Research Greenhouses of College of Agriculture, University of Torbat-e Jam. Treatments included mycorrhiza (inoculated and non-inoculated) and heavy metals including lead (0, 150 and 300 mg.kg⁻¹) and cadmium (0, 40 and 80 mg.kg⁻¹) which were arranged in factorial based on completely randomized design with 4 replication. Growth criteria, yield components, essential oil content and photosynthetic pigments were evaluated. In this study, different morphological traits (plant height, root length, root volume, stem diameter, leaf length, leaf width, leaf area, stem diameter, number of branches), vegetative parameters (fresh and dry weight biomass, root fresh and dry weight), photosynthetic pigment concentrations and essential oil content were measured. Data analysis of variance (ANOVA) was



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89455.1371>

performed using IBM SAS software (Version 9.1) and the differences between the means were assessed using Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

Results showed that with increasing the concentration of heavy metals in the soil especially Cd, most of the growth characteristics and yield components of the study plant were significantly reduced as compared to those of controls. Mycorrhizal inoculation improved these traits where plants were grown under heavy metals stress. The highest biomass fresh and dry weight was observed in mycorrhizal plants grown in non-contaminated medium, which was significantly higher than those of the other treatments. The highest biomass fresh weight was recorded in non-stressed mycorrhizal plants. Biomass of fresh weight in non-mycorrhizal plants of Pb150 did not differ significantly from that of mycorrhizal plants of Pb150. Fresh weight biomass in mycorrhizal and non-mycorrhizal plants stressed by Cd40 or Cd80 was lower compared to mycorrhizal and non-mycorrhizal plants grown in non-contaminated media or contaminated media with Pb150 or Pb300. Furthermore, the lowest Fresh weight biomass was observed in non-mycorrhizal plants stressed by Cd80. Root fresh and dry weight of mycorrhizal plants was significantly higher than that of non-mycorrhizal plants. With increasing Cd or Pb concentration in soil, root fresh and dry weight decreased as compared to that of the controls. Inoculation with mycorrhizal improved the photosynthetic pigment concentrations under heavy metals stress. The highest percentage of essential oil content (1.3% v/w) was observed in mycorrhizal plants stressed by Pb150, while the lowest percentage (0.53% v/w) was evident in non-mycorrhizal plants polluted with Cd80. With increasing concentration of the heavy metals, essential oil of moldavian balm was significantly decreased, but the essential oil content in mycorrhizal plants was significantly higher than that measured in non-mycorrhizals.

Conclusions

AM fungi are widely believed to support plant establishment in soils contaminated with heavy metals, because of their potential to strengthen defense system of the AM mediated plants to promote growth and development. Mycorrhizal inoculation of moldavian balm promoted plant growth and, in addition, mycorrhization enhanced yield as well as active substances in this plant grown in the heavy metals stress condition. However, these approaches show promise in mitigating the adverse effects of heavy metals stress and improve the overall health and productivity of plants. Based on the enhanced physiological and biochemical responses, as well as increased essential oil content, it is recommended to use arbuscular mycorrhizal fungi fertilization under heavy metals stress.

Keywords: Chlorophyll, Environmental stresses, Medicinal plant, Sustainable agriculture

تأثیر مایه‌زنی قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس گیاه بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش سرب و کادمیم

مهدی مرادی^{۱*} - حسین نستری نصرآبادی^۱ - محمدناصر مودودی^۱ - وحید شمس‌آبادی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳

چکیده

گیاهان همواره در معرض تنش‌های زنده و غیرزنده محیطی قرار می‌گیرند که اثرات منفی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها می‌گذارد. آلودگی خاک با عناصر سنگین سرب و کادمیم یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. استفاده از کودهای زیستی از جمله قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار یک راهکار مناسب جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش فلزات سنگین می‌باشد. بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) از گیاهان دارویی مهم می‌باشد که کاربرد وسیعی در صنایع دارویی، غذایی، بهداشتی و آرایشی دارد. تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر خصوصیات رشدی، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس گیاه بادرشبویه تحت تنش فلزات سنگین سرب و کادمیم به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه انجام گرفت. عامل اول شامل فلزات سنگین در پنج سطح (شاهد (بدون آلودگی)، سرب ۱۵۰، سرب ۳۰۰، کادمیم ۴۰ و کادمیم ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و عامل دوم قارچ مایکوریزا در دو سطح (بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی با قارچ مایکوریزا) بود. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت فلزات سنگین به‌ویژه کادمیم در خاک، اغلب صفات رشدی، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. مایه‌زنی گیاهان با قارچ مایکوریزا، صفات مذکور را در شرایط تنش فلزات سنگین بهبود بخشید. بیشترین میزان اسانس در گیاهان مایکوریزای آلوده به سرب ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک حاصل گردید. گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا درصد اسانس بیشتری را نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده نشان دادند. با توجه به افزایش پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و همچنین افزایش مواد مؤثره گیاه که از اهداف دارویی در این گیاه محسوب می‌شود، استفاده از قارچ مایکوریزا برای کشت و کار تجاری گیاه بادرشبویه در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های محیطی، کشاورزی پایدار، کلروفیل، گیاهان دارویی

مقدمه

کاهش کیفیت محصولات غذایی و برهم خوردن تعادل زیستی در محیط خاک اشاره کرد. آلودگی خاک به فلزات سنگین، یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد. آلودگی خاک با عناصر سرب و کادمیم یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی در بسیاری از کشورها محسوب می‌شود که باعث بروز خطرات جدی در محیط‌زیست می‌شود. همچنین آلودگی بیش از حد سرب و کادمیم منجر به بروز بیماری‌های صعب‌العلاج برای انسان می‌گردد (Garbisu & Alkorta, 2001). فلزات سنگین باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد و منجر به اثرات سمی مختلف در گیاهان نظیر کاهش رشد، کاهش محتوای کلروفیل و فتوسنتز، مهار فعالیت‌های آنزیمی، پراکسیداسیون غشاء

آلودگی خاک همچنان یک مشکل جهانی است (FAO & UNEP, 2021). در چند دهه اخیر، تولید و مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی رایج، مشکلات زیست‌محیطی بسیاری را سبب گردیده است که در این میان می‌توان به آلودگی منابع آب و خاک،

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و دامپروری، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و دامپروری، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: moradi@tjamcaas.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89455.1371>

سلولی که از دست دادن یون‌ها و آسیب به اندامک‌های مهم سلولی نظیر کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها را به دنبال دارد و سبب آسیب به مولکول‌های زیستی نظیر لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شوند (Mishra et al., 2006). راه‌حل اساسی این مشکلات، حرکت به سوی کشاورزی پایدار بر پایه استفاده هر چه بیشتر از نهاده‌های طبیعی می‌باشد. یکی از ارکان اصلی در نظام‌های مبتنی بر کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای زیستی در بوم‌نظام‌های کشاورزی با هدف کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد. کودهای زیستی شامل مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند موجود مفید خاکزی و یا به صورت فرآورده‌های متابولیکی از این موجودات می‌باشند (Malik et al., 2011). از انواع کودهای زیستی می‌توان به ریزموجودات مفید خاکزی مانند قارچ‌های میکوریزا اشاره کرد که امروزه کاربرد فراوانی در نظام‌های کشاورزی پایدار به منظور دستیابی به افزایش کیفیت و پایداری عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی به‌ویژه در گیاهان دارویی دارند (Tabrizi et al., 2015). قارچ‌های میکوریزا، از با اهمیت‌ترین ریزموجودات موجود در اغلب خاک‌های تخریب نشده می‌باشند. به‌طوری‌که بر طبق تخمین‌های موجود، حدود ۷۰ درصد از توده زنده جامعه میکروبی خاک‌ها را میسلیوم این قارچ‌ها تشکیل می‌دهد (Mukerji & Chamola, 2003). میکوریزا یکی از مجموعه عوامل زیستی است که بخش مهمی از موجودات خاکزی را شامل می‌شود. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از مهم‌ترین قارچ‌های اندومایکوریز هستند که با بیش از ۹۰ درصد گیاهان زراعی ارتباط همزیستی برقرار می‌نمایند (Smith & Read, 2008). میکوریزا در افزایش توانایی گیاه میزبان برای جذب عناصر غذایی غیرمتحرک، خصوصاً فسفر و چندین عنصر کم‌مصرف دیگر تأثیر مفیدی دارد، بنابراین قارچ‌های میکوریزا دارای کارکرد چند منظوره‌ای در بوم‌نظام‌های زراعی هستند، به‌طوری‌که بالقوه سبب بهبود کیفیت فیزیک خاک (از طریق گسترش ریشه‌های قارچ)، کیفیت شیمیایی خاک (از طریق جذب عناصر غذایی) و کیفیت زیستی خاک می‌گردند (Veresoglou et al., 2012). ویتفیلد و همکاران (Whitfield et al., 2004) مشاهده کردند که قارچ میکوریزا باعث افزایش جذب فلز روی و بهبود رشد گیاه آویشن (*Thymus polytrichus*) تحت تنش فلزات سنگین شد. نتایج تحقیقی که در آن واکنش قارچ میکوریزا گونه *Glomus fasciculatum* روی ریحان (*Ocimum basilicum*)، پروان‌ش (*Catharanthus roseus*) و علف لیمو (*Cymbopogon winterianus*) مورد مطالعه قرار گرفت، نشان داد که در تولید ماده خشک، میزان پروتئین و میزان کلروفیل کل در گیاهان تلقیح‌شده با میکوریزا افزایش یافت (Karthikeyan et al., 2009). تلقیح

میکوریزایی نه‌تنها رشد گیاهان دارویی را تسریع می‌کنند، بلکه در تولید و کیفیت مواد مؤثره نیز تأثیرگذار است. بنابراین امکان تحقیقات فزاینده‌ای در زمینه بهبود کیفیت فرآورده‌های گیاهان دارویی در زمان نسبتاً کوتاه، با کاربرد قارچ میکوریزا وجود دارد (Karthikeyan et al., 2008).

بادرشویه با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. گیاهی علفی، یک‌ساله متعلق به تیره نعنای (Lamiaceae) می‌باشد. منشأ این گیاه، جنوب سیبری و سرایشب‌های هیمالیا گزارش شده است و به‌طور طبیعی در مناطق معتدل اروپا و آسیا رشد می‌کند (Galambosi et al., 1989; Domokos et al., 1994). ماده مؤثره این گیاه اسانس می‌باشد که کاربردهای مختلفی در صنایع دارویی، غذایی، بهداشتی و آرایشی دارد (Borna et al., 2007). با توجه به اینکه آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین در حال افزایش می‌باشد، در نظام‌های مبتنی بر کشاورزی پایدار، ارزیابی تأثیر ترکیباتی نظیر کاربرد قارچ میکوریزا جهت تعدیل آثار سوء فلزات سنگین ضروری است. براساس مستندات، اطلاعاتی در مورد تأثیر قارچ میکوریزا در کاهش اثرات نامطلوب تنش فلزات سنگین در این گونه وجود ندارد. بنابراین، در این پژوهش با توجه به کارکردهای مختلف قارچ میکوریزا، نقش آن بر تعدیل آثار منفی تنش فلزات سنگین بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و میزان اسانس گیاه بادرشویه مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشدی

به‌منظور بررسی تأثیر مایه‌زنی قارچ میکوریزا بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و میزان اسانس گیاه بادرشویه، آزمایشی به‌صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی تربت جام به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار و چهار تکرار اجرا شد. عامل اول فلزات سنگین در پنج سطح شامل شاهد (بدون آلودگی)، سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌شکل $Pb(NO_3)_2$ ، کادمیم ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌شکل $CdCl_2$ و عامل دوم قارچ میکوریزا در دو سطح بدون مایه‌زنی و با مایه‌زنی بودند. مقادیر نیترات سرب و کادمیم کلرید براساس مقدار خاک یکسان برای هر گلدان (پنج کیلوگرم) براساس تیمارهای مورد آزمایش محاسبه و به‌صورت محلول‌پاشی به خاک گلدان‌ها به‌صورت لایه لایه اضافه شد و پس از سه ماه نگهداری خاک در نایلون‌های مخصوص به‌منظور قابل جذب شدن فلزات سنگین (دوره انکوباسیون^۱)، کاشت بذرها صورت گرفت. در طول دوره

برای تعیین مقدار اسانس از سیستم تقطیر با آب استفاده شد. بدین منظور برای هر تکرار، ۱۵ گرم از برگ‌های خشک‌شده گیاه توزین و اسانس‌گیری با استفاده از دستگاه کلونجر^۱ (مدل فارماکوپه بریتانیا) به مدت چهار ساعت انجام گرفت و میزان اسانس براساس درصد حجمی-وزنی (%v/w) محاسبه گردید (British Pharmacopoeia, 1980).

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 چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشدی گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱ و ۲) نشان می‌دهد که اثر مایه‌زنی با قارچ‌های میکوریزا و سطوح مختلف فلزات سنگین سرب و کادمیم و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های رشدی نظیر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، سطح برگ، طول و عرض برگ، طول و حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره معنی‌دار گردید، ولی اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر تعداد ساقه‌های جانبی نداشت. بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه به ترتیب در گیاهان مایه‌زنی‌شده با قارچ میکوریزا بدون کاربرد فلزات سنگین و گیاهان غیرمیکوریزای آلوده به فلز سنگین کادمیم با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. در سطوح مختلف فلزات سنگین سرب و کادمیم، ارتفاع گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزای به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. ضمن اینکه ارتفاع گیاه در گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی آلوده به فلز سنگین کادمیم با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین سطح برگ در گیاهان غیرمیکوریزای آلوده به فلز کادمیم با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. در تمام سطوح فلزات سنگین سرب و کادمیم، گیاهان مایه‌زنی‌شده با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان غیرمیکوریزای از سطح برگ بیشتری برخوردار بودند (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین و کمترین وزن تر و خشک شاخساره و ریشه به ترتیب در گیاهان مایه‌زنی‌شده با قارچ میکوریزا و بدون فلزهای سنگین و گیاهان عدم مایه‌زنی با قارچ میکوریزا و آلوده به فلز سنگین کادمیم با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. در تمام سطوح فلزهای سنگین سرب و

انکوباسیون، رطوبت گلدان‌ها در حدود ظرفیت زراعی حفظ شد، بدین ترتیب که با انجام عمل آبیاری فلزات سنگین مورد استفاده، به‌عمق خاک رفته و با عمل تبخیر به سطح خاک انتقال یابند و در کل خاک به‌طور یکنواخت توزیع شوند. در داخل هر گلدان (سطح شماره ۳/۵) به‌میزان ۳۰ گرم قارچ میکوریزا مورد استفاده قرار گرفت و سپس بذرها در عمق حدود یک سانتی‌متری سطح خاک کشت شدند. پس از خروج گیاهچه‌ها درون هر گلدان در مرحله چهار برگی سه بوته نگهداری شد. قارچ میکوریزا از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور که شامل سه گونه *Glomus mosseae*, *G. intraradice* و *G. etunicatum* به‌نسبت مساوی بودند، تهیه شد. در پایان آزمایش، براساس دستورالعمل ایمنی، سلامت و محیط زیست (HSE) در آزمایشگاه، خاک‌های آلوده از محیط آزمایشگاه خارج و دفن شدند.

سنجش شاخص‌های ریخت‌شناسی و رشدی

در پایان آزمایش، مشخصه‌های ریخت‌شناسی و رشدی نظیر ارتفاع، قطر ساقه، طول و عرض برگ، سطح برگ، طول و حجم ریشه، وزن تر و وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد. ارتفاع گیاه و طول ریشه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری و قطر ساقه با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج محاسبه شد. برای محاسبه طول، عرض و سطح برگ هر گیاه از دستگاه سطح‌برگ‌سنج استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک، گیاه از گلدان بیرون آورده شد و به دو قسمت بخش هوایی و ریشه تقسیم و وزن تر ریشه و شاخساره با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در خشک‌کن برقی (آون) با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. وزن ماده خشک هم به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم ثبت گردید.

سنجش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید، ۱۲۵ میلی‌گرم از بافت تازه گیاهی با ۲/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد، سپس به مدت شش دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. میزان جذب محلول رویی در طول موج‌های ۴۷۰ و ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد و میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید براساس میلی‌گرم در گرم وزن تازه محاسبه شد (Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

استخراج و تعیین درصد اسانس

کادمیم (به جز کادمیم ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم)، گیاهان مایه زنی نشده با قارچ‌های میکوریزا، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه کمتری نسبت به گیاهان مایه زنی شده با قارچ میکوریزا بودند و در گیاهان میکوریزی و عدم میکوریزی آلوده به فلز سنگین کادمیم با غلظت ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴). با افزایش غلظت سرب و کادمیوم، تعداد ساقه جانبی در گیاه کاهش پیدا کرد و کمترین تعداد آن در تیمار کادمیم با غلظت ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۱). تعداد ساقه‌های جانبی در گیاهان میکوریزی به طور معنی داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی بود (شکل ۲). به طور کلی، سطوح مختلف فلزات سنگین و مایه زنی قارچ میکوریزا نشان داد که با افزایش غلظت فلز سنگین در خاک، صفات رشدی گیاه بادرشوبیه کاهش یافت. همچنین اثرات منفی فلز کادمیم بر رشد گیاه بسیار بیشتر از فلز سرب بود، به طوری که گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم با غلظت ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم، دارای کمترین شاخص‌های رشدی بودند. تأثیر مثبت این قارچ بر گیاهان مختلف در تحقیقات متعدد گزارش شده است (Moradi et al., 2012; Karagiannidis et al., 2011; al., 2011). فایده اصلی میکوریزا برای گیاهان میزبان، گسترش منطقه نفوذ ریشه است. شبکه داخلی مرتبط از هیف‌های خارجی به عنوان اتصال اضافی و سطح جاذب در خاک عمل می‌کنند (Sharma & Adholey, 2004). میسلیوم ریشه خارجی می‌تواند به طور مؤثری جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد و نمو گیاه را افزایش دهد (Lehmann & Rillig, 2015). تغییرات مشاهده شده در صفات ریخت‌شناسی گیاه ممکن است از علائم اثرات سمی فلزات سنگین بر غشاء پلاسمایی و غلظت فلزات سنگین باشد که می‌تواند کاهش عملکرد را در این شرایط توجیه کند. کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش رشد گیاه ممکن است به دلیل ممانعت از فعالیت آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در نتیجه تنش فلزات سنگین باشد که ممکن است سیستم فعالیتی آنتی‌اکسیدانی را تضعیف نموده و در نهایت رشد گیاه را کاهش دهد (Deef, 2007). همچنین تأثیر مستقیم فلزات در متابولیسم سلولی اندام هوایی، ممکن است منجر به کاهش ارتفاع بوته و سایر صفات رشدی در گیاهان تحت تأثیر تنش فلزات سنگین گردد. مطابق با نتایج این مطالعه، زلیاکوف و همکاران (Zheljazkov et al., 2008) مشاهده کردند که عملکرد اندام هوایی بادرشوبیه رشد یافته در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیم کاهش یافت. شاه و همکاران (Shah et al., 2011) نیز نتیجه گرفتند که استفاده از کادمیم، شدیداً رشد گیاه را تحت تأثیر قرا می‌دهد. کاهش زیست‌توده در نتیجه تأثیر کادمیم و سرب ممکن است به دلیل اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی و آب در بخش‌های هوایی گیاه باشد (Sudova & Vosatka, 2007).

در این پژوهش، با افزایش سطح کادمیم و سرب، برخی شاخص‌های رشدی گیاه به طور معنی داری کاهش یافت، اما مایه زنی با قارچ میکوریزا در شرایط تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم، منجر به افزایش این شاخص‌ها گردید. بناویدس و همکاران (Benavides et al., 2005) اظهار داشتند که کاهش رشد گیاهان در معرض سرب و کادمیم احتمالاً به دلیل مهار فعالیت‌های متابولیکی مهم نظیر تنش اکسیداتیو، فتوسنتز و تنفس می‌باشد. افزایش وزن خشک اندام هوایی و دیگر صفات رشدی، در ارتباط با جذب بالای فسفر در گیاه و پتانسیل کلونیزاسیون مطلوب ریشه و به تبع آن رشد میسلیوم‌های خارجی و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌باشد. همچنین قارچ میکوریزا، رشد، عملکرد اندام هوایی و عملکرد ریشه ریحان را در غلظت کم کادمیم، سرب و نیکل در مقایسه با شاهد افزایش داد (Prasad et al., 2017). قارچ‌های میکوریزا در ناحیه ریشه گیاهان، تشکیل کلونی داده و به کمک هیف‌های خارجی خود به جذب عناصر از خاک کمک کرده و بدین طریق موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌گردند (Ochoa-Velasco, 2016). در واقع مطابق نتایج حاصل از این تحقیق، قارچ‌های میکوریزایی، با فراهم کردن سطح جذب وسیع‌تری برای انتقال عناصر غذایی موجود در خاک برای ریشه گیاهان، سبب بهبود رشد و تولید و تجمع ماده خشک بیشتری در گیاهان می‌شوند. همچنین با تولید انواع هورمون‌های محرک رشد (اکسین و سایتوکینین) باعث افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا و کمک به کاهش تنش‌های محیطی و بهبود رشد گیاه می‌شوند (Kirchner et al., 1993). قارچ‌های میکوریزا رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان دارند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sharma, 2002).

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد که اثرات ساده و متقابل فلزات سنگین و قارچ میکوریزا بر رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل در سطح یک درصد معنی دار بود. اثرات ساده قارچ میکوریزا و فلزات سنگین بر میزان کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی دار، ولی اثر متقابل بین آن‌ها بر میزان کاروتنوئید تأثیری نداشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۶) بیانگر کمترین میزان کلروفیل a در گیاهان غیرمیکوریزای آلوده به فلز سنگین کادمیم با غلظت ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود. همچنین اثر متقابل قارچ میکوریزا و فلزات سنگین نشان داد که در تمام سطوح فلزات سنگین، میزان کلروفیل گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان

بدون میکوریزی اختلاف معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که در تمامی سطوح فلزات سنگین، گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی، دارای میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی بیشتری بودند. با افزایش غلظت سرب و کادمیم، میزان کاروتنوئید کاهش پیدا کرد و کمترین مقدار آن در تیمار کادمیم با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۳). میزان کاروتنوئید در گیاهان میکوریزی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی بود (شکل ۴).
براساس نتایج، با افزایش غلظت فلزات سنگین به‌خصوص کادمیم، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کاهش پیدا کرد.

سنتز کلروفیل در گیاهان رشدیافته در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین ثابت شده است (Miransari, 2011). ری و همکاران (Rai et al., 2004)، کاهش کلروفیل a, b و کل را در گیاه ریحان در شرایط تنش فلز کروم گزارش کردند و دلیل اصلی آن اثر سمیت این فلز در بیوسنتز کلروفیل بود. براساس تحقیقی در گیاه شوید، میزان کلروفیل در تیمار کادمیم با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در گیاهان میکوریزی دو برابر گیاهان غیرمیکوریزی بود (Kapoor & Bhatnagar, 2007).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریخت‌شناسی گیاه بادرشوبیه تحت تنش فلزات سنگین

Table 1- ANOVA for the effects of mycorrhiza on some morphological traits of *Dracocephalum moldavica* under heavy metals stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem diameter	سطح برگ Leaf surface	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume
فلزات سنگین Heavy metals (HM)	4	91.52**	2.82**	6895.4**	86.12**	66.17**	52.98*	1.51**
قارچ میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	31.51**	6.83**	11584.1**	144.72**	76.73**	19.2**	1.47**
HM×M	4	4.23*	2.02**	1831.6**	22.86**	8.28*	3.06**	0.08**
خطای آزمایشی Error	20							
ضریب تغییرات C.V. (%)		3.41	7.96	3.24	3.22	8.46	4.48	8.33

^{ns}: عدم تفاوت معنی‌دار و * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
^{ns}: non- significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریزا بر خصوصیات رویشی گیاه بادرشوبیه تحت تنش فلزات سنگین

Table 2- ANOVA for the effects of mycorrhiza on some growth characteristics of *Dracocephalum moldavica* under heavy metals stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		وزن تر شاخساره Biomass fresh weight	وزن خشک شاخساره Biomass dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد ساقه‌های جانبی Number of branches
فلزات سنگین Heavy metals (HM)	4	25.5**	3.93*	1.23**	0.04**	17.04**
قارچ میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	104.2**	1.54**	1.16**	0.03**	7.16*
HM × M	4	3.27**	0.31**	0.07**	0.0028*	0.5ns
خطای آزمایشی Error	20					
ضریب تغییرات C.V. (%)		5.45	9.78	9.07	9.42	5.70

^{ns}: عدم تفاوت معنی‌دار و * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
^{ns}: non- significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۳- اثر متقابل قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریخت‌شناسی گیاه بادرشوبیه تحت تنش فلزات سنگین

Table 3- The Interaction effect of mycorrhiza on some morphological traits of *Dracocephalum moldavica* under heavy metals stress (HM0: control; HM1: Pb 150 mg.kg⁻¹; HM2: Pb 300 mg.kg⁻¹; HM3: Cd 40 mg.kg⁻¹; HM4: Cd 80 mg.kg⁻¹)

قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungus	فلزات سنگین Heavy metals (mg.kg ⁻¹)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	سطح برگ Leaf surface (cm ²)	طول برگ Leaf length (mm)	عرض برگ Leaf width (mm)	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (ml)
عدم مایه‌زنی با قارچ مایکوریزا Non mycorrhiza	H0	34.4b*	4.67ab	345.17b	38.64b	22.45bc	16.56b	1.72b
	HM1	32.83c	4.32b	309.14d	34.61d	20.56bcd	17.5ab	1.47c
	HM2	28.67d	1.67d	293.37d	26.91e	15.52ef	14.28c	1.27c
	HM3	26.65e	4.23b	240.15e	32.83d	17.69de	13.1d	1.03d
	HM4	25.5e	3.45c	189.59f	26.84e	12.91f	10.67e	0.68e
مایه‌زنی با قارچ مایکوریزا Mycorrhiza	H0	35.94a	5.21a	362.62a	40.58a	23.8a	18.67a	2.26a
	HM1	34.05bc	4.43b	338.4b	36.89c	22.89ab	18.17a	2.14a
	HM2	33.16c	4.66ab	329.53c	37.52bc	22.76ab	17.82ab	1.86b
	HM3	29.75d	4.54ab	307.53d	34.43d	19.63cd	13.83cd	1.35c
	HM4	26.12e	4.1b	221.12e	32.69d	16.04e	11.17e	0.78e

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

* Numbers with the same letters in each column are not significant at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

جدول ۴- برهم‌کنش اثر قارچ میکوریزا بر خصوصیات رویشی گیاه بادرشوبیه تحت تنش فلزات سنگین

Table 4- The interaction effect of mycorrhiza on some growth characteristics of *Dracocephalum moldavica* under heavy metals stress (HM0: control; HM1: Pb 150 mg.kg⁻¹; HM2: Pb 300 mg.kg⁻¹; HM3: Cd 40 mg.kg⁻¹; HM4: Cd 80 mg.kg⁻¹)

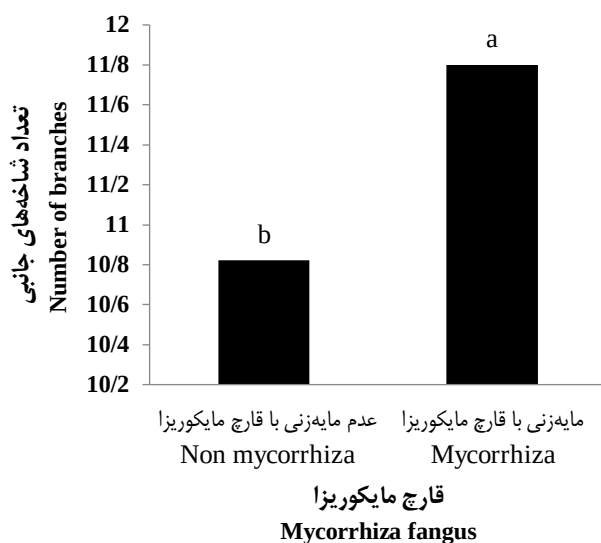
قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungus	فلزات سنگین Heavy metals (mg.kg ⁻¹)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
عدم مایه‌زنی با قارچ مایکوریزا Non mycorrhiza	H0	15.32b*	2.6c	1.54b	0.29b
	HM1	13.43cd	2.58c	1.32c	0.22c
	HM2	14.03c	2.29cd	1.14c	0.24c
	HM3	8.52e	1.71e	0.92d	0.16d
	HM4	4.53g	1.08f	0.61e	0.12e
مایه‌زنی با قارچ میکوریزا Mycorrhiza	H0	16.72a	3.82a	2.02a	0.36a
	HM1	13.73cd	3.01b	1.91a	0.37a
	HM2	15.3b	2.42cd	1.67b	0.28b
	HM3	12.75d	2.11d	1.21c	0.23c
	HM4	6.53f	1.16f	0.7e	0.13de

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

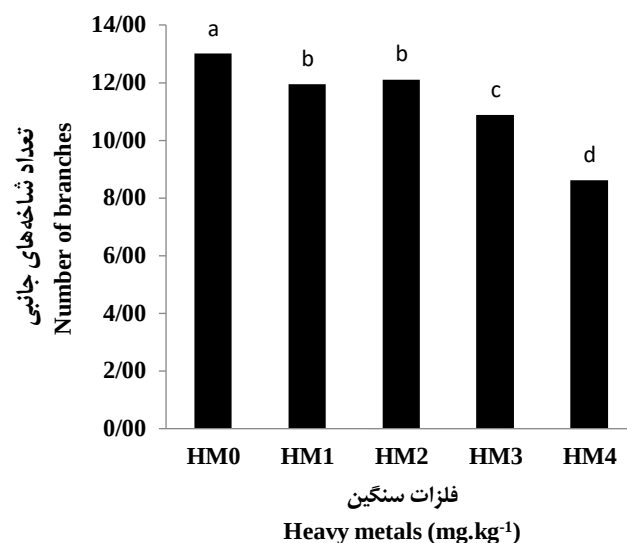
* Numbers with the same letters in each column are not significant at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

هیدروکسیل و ترکیبات حاوی نیتروژن دارد، در نتیجه این عنصر، بسیاری از آنزیم‌های مهم را غیرفعال کرده که منجر به اختلال در فتوسنتز، تنفس و سایر فرآیندهای متابولیک در گیاه می‌گردد (Testiati et al., 2012). افزایش سطح کادمیم، تولید رادیکال‌های سوپراکسید را افزایش و در نتیجه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز افزایش می‌یابد (Khan, 2001). فلزات سنگین به‌عنوان یک عنصر سمی در سیتوپلاسم، می‌تواند مانع فعالیت اندامک‌های درون سلولی شود و با اختلال در سنتز رنگیزه‌های حفاظتی (کاروتنوئیدها)، سیستم فتوسنتزی به‌خوبی محافظت نمی‌شود (Guo et al., 2007).

کاهش محتوای کلروفیل ممکن است در نتیجه کاهش سنتز کلروفیل، با افزایش احتمالی آنزیم کلروفیلاز، اختلال در غشاء کلروپلاست و غیرفعال‌سازی انتقال الکترون فتوسیستم II باشد. منیزیم از عناصر کلیدی در بیوسنتز کلروفیل می‌باشد که فلزات سنگین مانند کادمیم در جذب این عنصر مهم اختلال ایجاد کند. همچنین فلزات سنگین ممکن است باعث اختلال در سنتز زیستی کلروفیل گردند. مرکز واکنش فتوسیستم II توسط کادمیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد و فعالیت آنزیمی و ساختار پروتئینی توسط برهم‌کنش با گروه عاملی SH پروتئین مختل می‌گردد (Carrenho et al., 2007). کادمیم میل ترکیبی شدیدی با گروه‌های سولفیدریل،



شکل ۲- اثر ساده قارچ میکوریزا بر تعداد شاخه‌های جانبی بادرشوبیه
Figure 2- The effect of mycorrhiza on the number of branches in *Dracocephalum moldavica* (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۱- اثر ساده فلزهای سنگین بر تعداد شاخه‌های جانبی بادرشوبیه
Figure 1- The effect of heavy metals on the number of branches in *Dracocephalum moldavica* (DMRT, $p \leq 0.05$)

بدون میکوریزی، دارای میزان اسانس بیشتری بودند. بیشترین میزان اسانس بادرشوبیه در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک حاصل گردید که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. کمترین میزان اسانس نیز در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده گردید (شکل ۵).

درصد اسانس

اثر متقابل قارچ میکوریزا و فلزات سنگین نشان داد که در تمام سطوح فلزهای سنگین، میزان اسانس گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی اختلاف معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که در تمامی سطوح فلزهای سنگین، گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه بادرشوبیه

Table 5- ANOVA for the effects of mycorrhiza on the photosynthetic pigments of *Dracocephalum moldavica* under heavy metals stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
فلزات سنگین Heavy metals (HM)	4	45.25**	9.43**	98.12**	13.53**
قارچ میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	36.37**	9.25**	92.64**	6.8**
HM × M	4	0.89**	0.39**	1.41**	0.14ns
خطای آزمایشی Error	20				
ضریب تغییرات C.V. (%)		3.83	4.23	2.07	3.96

^{ns}: عدم تفاوت معنی‌دار و * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
^{ns}: non- significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

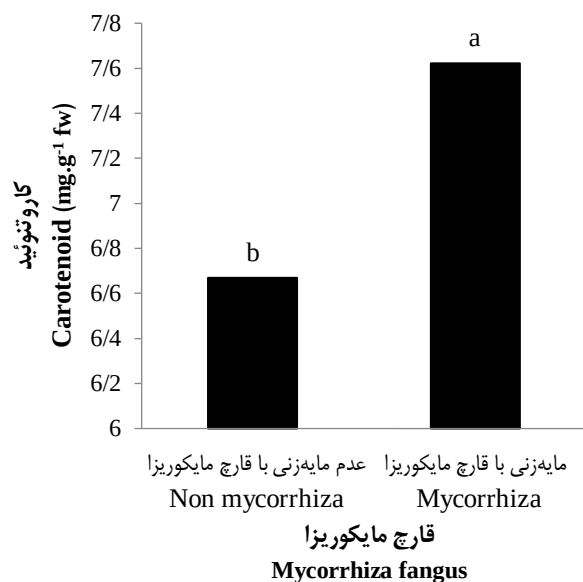
جدول ۶- برهم‌کنش اثر قارچ میکوریزا بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه بادرشوبیه تحت تنش فلزهای سنگین

Table 6- The interaction effect of mycorrhiza on photosynthetic pigments of *Dracocephalum moldavica* under heavy metals stress (HM0: control; HM1: Pb 150 mg.kg⁻¹; HM2: Pb 300 mg.kg⁻¹; HM3: Cd 40 mg.kg⁻¹; HM4: Cd 80 mg.kg⁻¹)

قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungus	فلزات سنگین Heavy metals (mg.kg ⁻¹)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ fw)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g ⁻¹ fw)
عدم مایه‌زنی با قارچ میکوریزا Non mycorrhiza	HM0	11.7cd*	4.9e	16.76d
	HM1	12.23cd	5.47d	17.69c
	HM2	11.53d	5.16d	17.06d
	HM3	9.41e	4.27f	13.53e
	HM4	5.62g	2.34h	8.42g
مایه‌زنی با قارچ میکوریزا Mycorrhiza	HM0	14.7a	6.78a	21.39a
	HM1	13.43b	6.36b	21.27a
	HM2	13.53b	5.93c	19.53b
	HM3	12.36c	5.39d	17.82c
	HM4	7.48f	3.54g	11.02f

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

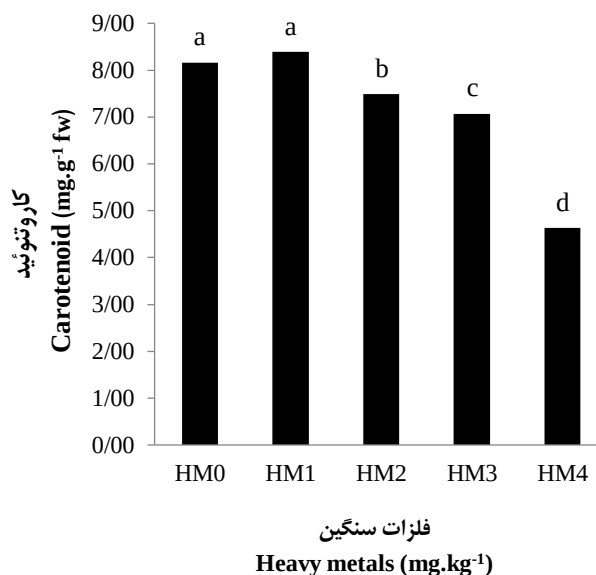
* Numbers with the same letters in each column are not significant at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.



شکل ۴- اثر ساده قارچ میکوریزا بر مقدار کاروتنوئید بادرشوبیه

Figure 4- The effect of mycorrhiza on the carotenoid content in *Dracocephalum moldavica* (DMRT, $p \leq 0.05$)

اثر دو گونه قارچ میکوریزا بر گیاهان دارویی شوید و زنیان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که هر دو گونه میکوریزا، رشد گیاهان را افزایش داد و گیاهان میکوریزی میزان فسفر و غلظت اسانس بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی داشتند. از این رو، به نظر می‌رسد که میکوریزا از طریق زیست‌فراهمی عناصر، برقراری تعادل سطوح و مواد غذایی خاک و بهبود تغذیه معدنی گیاه، تأثیر مثبتی بر مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه داشته و از این طریق در میزان مواد مؤثره تأثیرگذار بوده است.



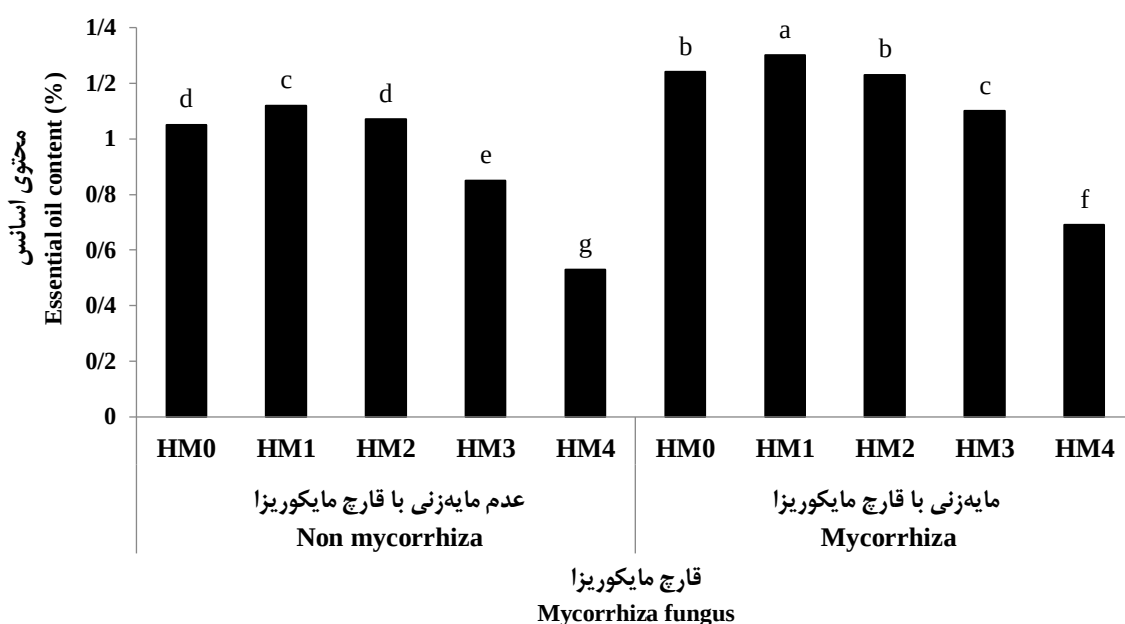
شکل ۳- اثر ساده فلزهای سنگین بر مقدار کاروتنوئید بادرشوبیه

Figure 3- The effect of heavy metals on the carotenoid content in *Dracocephalum moldavica* (DMRT, $p \leq 0.05$)

سنتز اسانس در غده‌های اپیدرمی تابع تأمین مداوم کربن فتوسنتزی است و اختلال در فتوسنتز و تغذیه کربن توسط فلزهای سنگین می‌تواند باعث کاهش مقدار اسانس شود. کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش فتوسنتز گیاه بادرشوبیه در شرایط تنش فلزات سنگین شد و منجر به افزایش متابولیت‌های اولیه و محتوای ترکیبات ثانویه مانند اسانس در این شرایط گردید. اثرات مثبت قارچ میکوریزا بر اسانس گونه‌های مختلف گیاهان تیره نعناع گزارش شده است (Gupta et al., 2010). کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2002)

دارویی است. کاپور و بهاتناگار (Kapoor & Bhatnagar, 2007) در مطالعات خود، فسفر را عامل تأثیرگذار در رشد رویشی گیاه عنوان نمودند، همچنین از فسفر معدنی به‌عنوان عامل تأثیرگذار در بیوسنتز اسانس یاد می‌کنند. بنابراین به نظر می‌رسد که میکوریزا تأثیر مثبتی بر مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه داشته است و از این طریق در میزان مواد موثره تولیدی، تأثیرگذار بوده است و احتمال دارد که فراهمی و تعادل عناصر غذایی موجود، واکنش‌های آنزیمی و عوامل دخیل در هدایت این مسیرهای بیوسنتزی را در گیاه تحت تأثیر قرار دهد.

طبق نتایج حاصل از این تحقیق پیشنهاد شد که در خاک‌های فقیر، با استفاده از قارچ میکوریزا، می‌توان با کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، عملکرد مناسبی نیز داشت. همچنین بیان کردند که میکوریزا ممکن است که باعث بهبود کیفیت اسانس نیز گردد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که درصد اسانس بادرشوبیه در گیاهان میکوریزی افزایش یافت. همزیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاهان دارویی نه تنها رشد آن‌ها را بهبود می‌بخشد، بلکه تولید ترکیبات دارویی را نیز افزایش می‌دهد. بنابراین تحقیقات در زمینه بهبود کیفیت و کمیت داروهای تولیدشده از گیاهان دارویی، در زمان نسبتاً کوتاه با هزینه پایین توسط قارچ میکوریزا، نیاز امروز تولیدکنندگان گیاهان



شکل ۵- برهم‌کنش اثر قارچ میکوریزا بر محتوای اسانس گیاه بادرشوبیه تحت تنش فلزهای سنگین (HM0: شاهد، HM1: سرب ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، HM2: سرب ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، HM3: کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، HM4: کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Figure 5- The interaction effect of mycorrhiza on the essential oil content of *Dracocephalum moldavica* under heavy metals stress

(HM0: control; HM1: Pb 150 mg.kg⁻¹; HM2: Pb 300 mg.kg⁻¹; HM3: Cd 40 mg.kg⁻¹; HM4: Cd 80 mg.kg⁻¹) (DMRT, p≤0.05)

مانند قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار به‌منظور تأمین بخشی از نیازهای تغذیه‌ای گیاهان و بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها در زمینه تولید گیاهان دارویی، اقدامات مهم و مؤثری می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک، میزان رشد و عملکرد گیاه بادرشوبیه کاهش یافت، اما مایه‌زنی گیاهان با قارچ میکوریزا باعث افزایش تحمل این گیاه در شرایط تنش فلزات سنگین (به‌جز کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گردید و رشد

نتیجه‌گیری

پایداری در تولید گیاهان دارویی و بهره‌گیری از سیستم‌های کشاورزی پایدار تا حد زیادی به استفاده مجدد از نهاده‌های طبیعی در سیستم تولید و متعاقباً آن افزایش کارایی نهاده‌ها بستگی دارد. بنابراین شناسایی راهبرد عملی و مؤثر در افزایش بازده کودهای شیمیایی و کاهش تلفات آن‌ها به‌منظور مهار آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌ویژه آلودگی فلزات سنگین، بهره‌گیری از ریزجانداران و موجودات خاکزی

نقش بسیار مهمی در تحریک رشد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش فلزات سنگین سرب و کادمیم داشته باشد و استفاده از این عوامل می‌تواند به‌عنوان راهکاری مدیریتی، در چنین شرایطی در نظر گرفته شود. قارچ میکوریزا علاوه بر افزایش میزان رشد و زیست‌توده گیاه، باعث افزایش ماده مؤثره این گیاه نیز گردید که از اهداف اصلی در تولید گیاهان دارویی می‌باشند.

و عملکرد را در چنین شرایطی بهبود بخشید. کاربرد غلظت بالای کادمیم (۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم) اثر منفی روی عملکرد گیاه داشت، به‌طوری که در این غلظت در گیاهان میکوریزی و عدم میکوریزی شاخص‌های رشدی، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و اسانس گیاه شدیداً کاهش پیدا کرد و کاربرد قارچ میکوریزا در این تیمار بی‌تأثیر بود. استفاده از ریزموجودات مفید خاک مانند قارچ میکوریزا می‌تواند

References

- Benavides, M.P., Gallego, S.M., & Tomaro, M.L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 21-34.
- Borna, F., Omidbaigi, R., & Sefidkon, F. (2007). The effect of sowing dates on growth, yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(3), 307-314. (in Persian with English abstract)
- British Pharmacopoeia. (1980). H.M.S. Office. 2, London, 109-110 pp.
- Carrenho, R., Trufem, S.F.B., Bononi, V.L.R., & Silva, E.S. (2007). The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal of peanuts, sorghum and maize. *Acta Botanica Brasiliica*, 21, 723-730. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062007000300018>
- Deef, H.E. (2007). Copper treatments and their effects on growth, carbohydrates, minerals and essential oils contents of *Rosmarinus officinalis* L. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(3), 322-328.
- Domokos, J., Peredi, J., & Halasz-Zelnik, K. (1994). Characterization of seed oils of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) and catnip (*Nepeta cataria* var. *citriodora* Balb.). *Industrial Crops and Products*, 3, 91-94. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(94\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0926-6690(94)90081-7)
- FAO & UNEP, (2021). Global Assessment of Soil Pollution: Report. Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cb4894en>.
- Galambosi, B., Holm, Y., & Hiltunen, R. (1989). The effect of some agrotechnical factors on the herb yield and volatile oil of dragonhead. *Journal of Essential Oil Research*, 1, 287-292. <https://doi.org/10.1080/10412905.1989.9697800>
- Garbisu, C., & Alkorta, I. (2001). Phytoextraction: A costeffective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology Journal*, 77, 229-236. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(00\)00108-5](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00108-5)
- Guo, T.R., Zhang, G.P., & Zhang, Y.H. (2007). Physiological changes in barely plants under combined toxicity of aluminium, copper and cadmium. *Coloids and Surface. B: Biointerfaces*, 57, 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.01.013>
- Gupta, A.P., Dhar, J.K., Sharma, G., Ram, G., & Bedi, Y.S. (2010). Volatile (As and Hg) and non-volatile (Pb and Cd) toxic heavy metals analysis in rhizome of *Zingiber officinale* collected from different locations of North Western Himalayas by Atomic Absorption Spectroscopy. *Food Chemical Toxicology Journal*, 48(10), 2966-2971. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.07.034>
- Kapoor, R., & Bhatnagar, A.K. (2007). Attenuation of cadmium toxicity in mycorrhizal celery (*Apium graveolens* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(8), 1083-1089. <https://doi.org/10.1007/s11274-006-9337-8>
- Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K.G. (2002). *Glomus macrocarpum*: A potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi* Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18(5), 459-463. <https://doi.org/10.1023/A:1015522100497>
- Karagiannidis, N., Thomidis, T., & Filotheou, E.P. (2012). Effects of *Glomus lamellosum* on growth, essential oil production and nutrients uptake in selected medicinal plants. *Journal of Agricultural Science*, 4(3), 137-144. <http://doi.org/10.5539/jas.v4n3p137>
- Karthikeyan, B., Jaleel, C.A., Changxing, Z., Joe, M.M., Srimannarayan, J., & Deiveekasundaram, M. (2008). The effect of AM fungi and phosphorous level on the biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. *EurAsian Journal of BioSciences*, 2(1), 26-33.
- Karthikeyan, B., Joe, M.M., & Cheruth, A.J. (2009). Response of some medicinal plants to vesicular arbuscular mycorrhizal inoculations. *Journal of Scientific Research*, 1(2), 381-386.
- Khan, A.G. (2001). Relationships between chromium biomagnification ratio, accumulation factor and mycorrhizae in plants growing on tannery effluent- polluted soil. *Environment International*, 26, 417-423. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00022-8)

18. Kirchner, M.J., Wollum, A.G., & King, L.D. (1993). Soil microbial population and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 1289-1295. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700050021x>
19. Lehmann, A., & Rillig, M.C. (2015). Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.013>
20. Lichtenthaler, H.K., & Wellburn, A.R. (1983). *Determinations of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b of Leaf Extracts in Different Solvents*. Portland Press Limited, London. 603, 591-592.
21. Malik, A.A., Suryapani, S., & Ahmad, J. (2011). Chemical vs. organic cultivation of medicinal and aromatic plants: The choice is clear. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 1(1), 5-13.
22. Miransari, M. (2011). Hyperaccumulators, arbuscular mycorrhizal fungi and stress of heavy metals. *Biotechnology Advances*, 29(6), 645-653. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.04.006>
23. Mishra, S., Srivastava, S., & Tripathi, P.D. (2006). Phytochelatin synthesis and response of antioxidant during cadmium stress in *Baccopa monnieri* L. *Plant Physiology*, 44, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2006.01.007>
24. Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., & Nezhadali, A. (2011). Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. Duice). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2), 546-553. <http://doi.org/10.5424/sjar/20110902-190-10>
25. Mukerji, K.G., & Chamola, B.P. (2003). *Compendium of Mycorrhizal Research*. A.P.H. Publisher, New Delhi, 310.
26. Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, 3rd ed. Academic Press, San Diego, USA.
27. Ochoa-Velasco, C.E., Valadez-Blanco, R., SalasCoronado, R., Sustaita-Rivera, F., HernándezCarlos, B., García-Ortega, S., & Santos-Sánchez, N.F. (2016). Effect of nitrogen fertilization and *Bacillus licheniformis* biofertilizer addition on the antioxidants compounds and antioxidant activity of greenhouse cultivated tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. Sheva). *Scientia Horticulturae*, 201, 338-345. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.015>
28. Prasad, R., Bhola, D., Akdi, K., Cruz, C., KVSS, S., Tuteja, N., & Varma, A. (2017). *Introduction to mycorrhiza: Historical development*. In *Mycorrhiza - Function, Diversity, State of the Art: Fourth Edition*. pp. 1-7. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53064-2_1
29. Rai, V., Vajpayee, P., Singh, S.N., & Mehrotra, S. (2004). Effect of chromium accumulation on photosynthetic pigments, oxidative stress defense system, nitrate reduction, proline level and eugenol content of *Ocimum tenuiflorum* L. *Plant Science*, 167(5), 1159-1169. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.06.016>
30. Shah, F.R., Ahmad, N., Masood, K.R., Zahid, D.M., & Zubair, M. (2011). Response of *Eucalyptus camaldulensis* to exogenous application of cadmium and chromium. *Pakistan Journal of Botany*, 43(1), 181-189.
31. Sharma, A.K. (2002). Biofertilizers for sustainable agriculture. *India Agrobios*, 12, 319-324
32. Sharma, M.P., & Adholey, A. (2004). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on the post vitro growth and yield of micropropagated strawberry grown in a sandy loam soil. *Canadian Journal of Botany*, 82(3), 322-328. <https://doi.org/10.1139/b04-007>
33. Sudova, R., & Vosatka, M. (2007). Differences in the effects of three arbuscular mycorrhizal fungal strains on P and Pb accumulation by maize plants. *Plant Soil*, 296, 77-83. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9291-8>
34. Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M., & Moteshare Zadeh, B. (2015). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under lead and cadmium stress. *Environmental Sciences*, 13(2), 37-48. (in Persian with English abstract)
35. Testiati, E., Parinet, J., Massiani, C., Laffont-Schwob, I., Rabier, J., Pfeifer, H.R., & Prudent, P. (2012). Trace metal and metalloid contamination levels in soils and in two native plant species of a former industrial site: Evaluation of the phytostabilization potential. *Journal of Hazardous Materials*, 249, 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.12.039>
36. Veresoglou, S.D., Chen, B., & Rillig, M.C. (2012). Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 53-62. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.018>
37. Whitfield, L., Richards A.J., & Rimmer, D.L. (2004). Relationships between soil heavy metal concentration and mycorrhizal colonisation in *Thymus polytrichus* in northern England. *Mycorrhiza Journal*, 14(1), 55-62. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0268-z>
38. Zheljaskov, V.D., Jeliaskova, E.A., Kovacheva, N., & Dzhurmanski, A. (2008). Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter. *Environmental and Experimental Botany*, 64(3), 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.07.003>

Physico-Chemical Response and Seedling Growth of Three Aromatic Plants, *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* to Salinity Stress

M. Ayaseh¹, M. Kafi^{1*}, M. Khansefid¹, M. Shokrpour¹, R. Naderi¹

1- Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: mkafi@ut.ac.ir)

Received: 24 August 2024
Revised: 01 November 2024
Accepted: 04 November 2024
Available Online: 04 November 2024

How to cite this article:

Ayaseh, M., Kafi, M., Khansefid, M., Shokrpour, M., & Naderi, R. (2025). Physico-chemical response and seedling growth of three aromatic plants, *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* to salinity stress. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 283-297. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89514.1372>

Introduction

Today, a significant factor limiting plant growth is the rising salinity of soil and water, which poses challenges to food security, ecological stability, and agricultural systems. Numerous studies indicate that salinity hampers seed germination and early plant development by inducing osmotic stress, ion toxicity, and oxidative stress. Utilizing salinity-tolerant aromatic plants in saline areas can effectively enhance landscapes. Therefore, cultivating valuable plant species that meet high ecological demands may be the best strategy to mitigate salinity stress in agriculture and natural resources. These species can serve as alternative crops for oil seed production, food products, fodder, and both medicinal and ornamental uses. *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* are examples of medicinal and aromatic herbaceous perennials with low input requirements. They can be grown for various purposes, including ornamental use in dry and saline climates, as well as in the food, perfumery, cosmetics, and medicinal industries. Successful cultivation of these valuable plants in stressful ecosystems necessitates investigating their early growth responses to salinity stress. This research aims to identify suitable conditions for the successful establishment of these plants, ultimately leading to increased production.

Materials and Methods

In order to investigate the physicochemical responses and the early growth of seedlings in the shoot and root of three plants, *T. parthenium*, *A. millefolium* and *Z. eurypterum* to different levels of zero salinity stress (control), 1.5, 3 and 6 dS.m⁻¹, an experiment was conducted as factorial based on completely random design with three replications using a completely randomized design in a greenhouse under pot conditions in Department of Horticultural Science and Green Space Engineering at the University of Tehran. Seeds from three plant species—*T. parthenium*, *A. millefolium*, and *Z. eurypterum*—were obtained from the Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR) in Karaj province, Iran. Prior to planting, the seeds were sterilized for one minute in a 2% sodium hypochlorite solution and then washed three times with sanitized water. The seeds were then planted in plastic pots (45, 66, and 23 cm) filled with a mixture of clay, sand, and perlite, at a depth of three centimeters, under greenhouse conditions. Sodium chloride was used to create salinity stress, exposing all studied plants to four salinity levels for a duration of six weeks. The greenhouse maintained a temperature of 20°C at night and 25°C during the day, with a relative humidity of 60-80%. All physiological and biochemical measurements were conducted after six weeks, once the plants were fully established. It is important to note that all samples were washed with distilled water post-sampling, the surface water was removed using filter paper, and samples were immediately stored at -80°C until measurements were taken.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89514.1372>

Results and Discussion

The results of this study indicated that the concentration of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, and total chlorophyll) decreased with increasing salinity levels, which correlated with a reduction in the growth length of both shoots and roots. The results indicated that under severe salinity stress, oxidative damage increased, leading to higher levels of fat peroxidation (MDA) and reduced cell membrane stability. This decrease in stability was linked to a reduction in photosynthetic pigments, ultimately disrupting optimal plant early growth. At all salinity levels, the total antioxidant capacity of *A. millefolium* leaves was greater than that of its roots. Among all three plants and salinity levels, the highest total antioxidant capacity of 78.57% was observed in the roots of *Z. eurypterum* under a salinity condition of 3 dS.m⁻¹. Conversely, the lowest total antioxidant capacity, at 25.38%, was found in the leaves of *T. parthenium* under non-saline conditions. The results indicated that the potassium to sodium ratio at equilibrium varied significantly depending on the plant species, plant organ, and salinity concentration and the highest ratio was found in the aerial parts of *T. parthenium*.

Conclusions

Overall, based on the biochemical and physiological responses to salinity stress, all three plants exhibited a relatively high tolerance. However, the *T. parthenium* plant demonstrated the greatest tolerance to salinity stress among them. Therefore, the cultivation of these three species, which possess ornamental, aromatic, and medicinal value, can serve as a viable solution for the ecological sustainability of saline ecosystems and their integration into urban landscaping.

Acknowledgement

The authors are grateful for the scientific assistance of Dr. Behrouz Malekpour

Keywords: Antioxidant capacity, Aromatic plants, Ion homeostasis, Osmotic potential

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۲۸۳-۲۹۷

پاسخ فیزیولوژیکی و رشد اولیه گیاهچه سه گیاه معطر بابونه کبیر (*Tanacetum parthenium*)،
بومادران (*Achillea millefolium*) و قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) به تنش شوری

مریم ایاسه^۱ - محسن کافی^{۱*} - مهدی خان سفید^۱ - مجید شکرپور^۱ - روح انگیز نادری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴

چکیده

ایران در منطقه خشکی از جهان قرار دارد که شوری خاک اغلب با شرایط خشکسالی همزمان است. تنش شوری از طریق القاء تنش اسمزی، تنش اکسیداتیو و ایجاد سمیت یونی باعث ایجاد اختلال در رشد طبیعی گیاهان می‌شود. هدف از این مطالعه، بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و رشد اولیه گیاهچه سه گیاه بابونه کبیر (*Tanacetum parthenium*)، بومادران (*Achillea millefolium*) و قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) به سطوح مختلف تنش شوری صفر (شاهد)، ۱/۵، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در کشت گلدانی اجرا شد. برای اعمال تنش شوری از ماده سدیم کلرید استفاده شد و تنش شوری در مرحله رشدی استقرار گیاهچه‌ای صورت گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت شوری، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل) کاهش یافت که با کاهش میزان رشد طولی اندام هوایی و ریشه همراه بود. در سطوح تنش شوری شدید، میزان خسارت اکسیداتیو افزایش یافت که منجر به افزایش پراکسیداسیون چربی^۲ (MDA) کاهش پایداری غشاء سلولی شد و با کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نهایت اختلال در رشد بهینه اولیه گیاه همراه بود. در پاسخ به تنش اکسیداتیو حاصل از تنش شوری، ظرفیت آنتی اکسیدانی هر سه گونه مورد مطالعه افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که میزان تعادلی نسبت پتاسیم به سدیم رابطه معنی‌داری با گونه گیاهی، اندام گیاه و سطح غلظت شوری داشت که بیشترین آن در اندام هوایی بابونه کبیر مشاهده شد. به‌طور کلی، با توجه به پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل تنش شوری، هر سه گیاه مورد مطالعه به تنش شوری تحمل نسبتاً بالایی داشتند، اما بیشترین تحمل تنش شوری در گیاه بابونه کبیر مشاهده گردید. بنابراین، کشت این سه گونه با ارزش زینتی معطر و دارویی می‌تواند یک راهکار مناسب برای پایداری اکولوژی بوم‌نظام‌های شور و همچنین کاربری در ترکیب کاشت در مناظر شهری باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری یون‌ها، پتانسیل اسمزی، ظرفیت آنتی اکسیدانی، گیاهان معطر

مقدمه

می‌کند (Yadav et al., 2022). تنش شوری با کاهش پتانسیل اسمزی، مانع جذب آب توسط ریشه‌ها می‌شود که در نتیجه مانع رشد فرآیند سلولی می‌شود (Parihar et al., 2015). در تنش اکسیداتیو، گونه‌های فعال اکسیژن با اکسیداسیون پروتئین‌ها، لیپیدها، DNA و قندها موجب تخریب بخش‌های حیاتی سلول می‌شود (Cheng et al., 2019; Amin et al., 2022). بنابراین، شوری از طریق عوامل مختلفی از جمله کاهش در دسترس بودن آب، تغییر در مواد غذایی ذخیره‌ای گیاه، اختلال در نسبت عناصر حیاتی رشد سلول و تغییر در ساختار پروتئین به رشد گیاه به‌خصوص در مرحله حساس رشد که شامل رشد اولیه گیاه است، آسیب وارد می‌کند (Boughalleb et al., 2020).

امروزه عمده‌ترین عامل محدودیت رشد گیاهان در دنیا، افزایش فاجعه‌بار شور شدن خاک و آب می‌باشد که چالش‌های زیادی را در امنیت غذایی، ثبات اکولوژیک در عرصه منابع طبیعی و سیستم کشاورزی ایجاد کرده است (Alfadil et al., 2021). در بسیاری از مطالعات، گزارش شده است که تنش شوری از طریق القاء تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش اکسیداتیو، رشد اولیه گیاه را محدود

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*)- نویسنده مسئول

Email: mkafi@ut.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89514.1372>

2-Malondialdehyde

به‌طور عمده، سازوکارهای دفاعی و بیولوژیکی گیاه در پاسخ به تنش شوری با توجه به نوع گونه گیاه و اندام گیاه متغیر هست. در این راستا، سازوکارهای سلولی ممکن است که فعال‌سازی یا تجمع ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی را تحریک کند تا در طول جوانه‌زنی، اثرات نامطلوب و اکسیداتیو تنش شوری را کاهش دهد (Ashraf & Banerjee & Roychoudhury, 2017; Harris, 2004). در بسیاری از مطالعات، فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند کاتالاز، سوپر اکسید دسموتاز، گایاکول پراکسیداز، اسکوربیک پراکسیداز، پلی‌فنول اکسیداز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل)، تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (فنول، فلاونوئید و اسید آسکوربیک)، سنتز آسمیلات‌ها (پرولین، گلاسیسین-بتائین، قندهای محلول و پروتئین محلول) برای بهینه‌سازی پاسخ تحمل به تنش شوری در طی رشد اولیه گیاه به‌خوبی توصیف شده است (Abdelaal et al., 2020; Goharrizi et al., 2020; Osman et al., 2021). اگرچه تجمع یون‌های معدنی نیز در بهبود روند تنظیمات اسمزی بافت بذر بسیار مهم می‌باشند، اما حذف یون‌های سمی (سدیم و کلر) و پایداری مطلوب، نسبت پتاسیم به سدیم و تجمع مناسب کلسیم و پتاسیم نیز از راهکارهای مؤثر بر کاهش اثرات نامطلوب شوری در طی رشد گیاه است (Saddiq et al., 2021).

همچنین گزارش شده است که ثبات عملکرد سیستم فتوسنتزی تحت شرایط نامساعد محیطی بر میزان تحمل شدن گیاه به تنش‌ها، رشد و نمو گیاه، استقرار موفقیت‌آمیز گیاه و میزان تولیدات گیاهی تأثیر بالایی دارد (Faizan et al., 2021). چندین مطالعه در گیاهان ارزشمند دارویی کینوا (*Chenopodium quinoa*) (Mamedi et al., 2023)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Mohammadi et al., 2023)، مرزه (*Satureja hortensis*) (Estaji et al., 2018) نشان داده است که تنش شوری با کاهش میزان ترکیبات ثانویه فنولی، فلاونوئید، اسید آسکوربیک، کربوهیدرات محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب اختلال در رشد بهینه گیاه می‌شود. فرآیند فیزیولوژیکی فتوسنتز در گیاه موجب تجمع گونه‌های فعال اکسیژن مانند هیدروژن پر اکسید (H_2O_2)، آنیون سوپر اکسید (O_2^{2-}) و رادیکال هیدروکسید ($HO^{\cdot}$) در سلول می‌شود که موجب خسارت‌های اکسیداتیو و در نتیجه کاهش انرژی سلول برای رشد می‌شود (Hnilickova et al., 2021). در این رابطه، در بسیاری از تحقیقات میدانی و نظری نشان داده شده است که تغییرات فتوسنتزی می‌تواند اثرات زیادی در بهره‌وری و تولیدات کشاورزی تحت هر دو شرایط بهینه و تنش‌زا (خشکی و شوری) محیطی داشته باشد و میزان تغییرات آن به زمان وقوع تنش، طول دوره تنش، مرحله رشد گیاه و نوع گونه گیاه بستگی دارد (Najar et al., 2019; Ors et al., 2019).

2021). همچنین گونه‌های فعال اکسیژن از طریق افزایش پراکسیداسیون چربی غشاء موجب افزایش سنتز ترکیب پراکسیداسیون چربی یا مالون دی آلدئید می‌شود که نشان‌دهنده میزان خسارت وارده به غشاء سلول تحت تنش‌های محیطی است و اندازه‌گیری آن یک شاخص فیزیولوژیکی مناسب در تعیین و تشخیص گونه‌های متحمل و حساس به تنش شوری کاربردهای زیادی داشته است (Zeeshan et al., 2020). در شرایط تنش شوری، نسبت بالای سدیم به پتاسیم، باعث کاهش عناصر ضروری از جمله پتاسیم در گیاه می‌شود و با عدم تعادل تغذیه‌ای، رشد گیاهان را محدود می‌کند (Moradi et al., 2018).

گونه‌های گیاهی بابونه کبیر (*T. parthenium*)، بومادران (A. millefolium) و قیچ (*Z. eurypterum*) از گونه‌های گیاهی بسیار با ارزش دارویی و معطر علفی چندساله با نیازهای بوم‌شناختی پایین می‌باشند که در صنایع غذایی و آرایشی بهداشتی و به‌خصوص بهره‌برداری از خواص دارویی آن‌ها مورد کشت و کار قرار می‌گیرند (Ahmadi et al., 2020; Radzhabov et al., 2022; Rehman et al., 2022). اما موفقیت در کشت این گیاهان با ارزش در بوم‌نظام‌های سخت نیاز به بررسی مراحل حساس اولیه رشد گیاه به تنش شوری جهت انتخاب اقلیم مناسب برای استقرار موفقیت‌آمیز گیاه و در نتیجه افزایش تولیدات دارد (Sanjerehei & Rundel, 2019). بنابراین اهداف این بخش از مطالعه عبارت‌اند از: ۱- پاسخ رشدی اولیه گیاهچه به تنش شوری، ۲- بررسی میزان تحمل بودن به تنش شوری بین سه گیاه مورد مطالعه در مرحله گیاهچه و ۳- بررسی تغییر سازوکارهای دفاعی سلول مرتبط با تحمل شدن به تنش شوری (کلروفیل، کاروتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، نسب عناصر معدنی پتاسیم به سدیم در دو اندام ریشه و ساقه این سه گونه متفاوت) تحت سطوح مختلف تنش شوری جهت بررسی کاربرد این گیاهان به‌عنوان گیاه زینتی منظرساز در فضای سبز شهری است.

مواد و روش‌ها

تهیه بذر

بذر سه گونه مورد مطالعه که شامل بابونه کبیر (*T. parthenium*)، بومادران (*A. millefolium*) و قیچ (*Z. eurypterum*) بودند، از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان تهران تهیه شدند. قبل از اجرای آزمایش، بذرها با سدیم هیپوکلریت دو درصد استریل شدند و سپس چندین بار با آب استریل شست‌وشو شدند.

شرایط رشد گیاهان

$$Car: \frac{[1000 \times A_{470} - 2.27 \times Chl a - 81.4 \times Chl b]/2271}{LW} \quad (۴)$$

که در آن، LW = leaf weight (mg) است.

سنجش مقدار پر اکسیداسیون چربی‌های غشاء

برای سنجش پر اکسیداسیون لیپیدهای غشاء، غلظت مالون‌دی-آلدهید به‌عنوان محصول پراکسیده‌شده اسیدهای چرب غشاها از نمونه‌های برگ و ریشه گیاهان اندازه‌گیری شد (Mamedi et al., 2023).

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از نمونه‌های برگ و ریشه گیاهان استفاده شد و از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد تعیین گردید (Mamedi et al., 2023).

اندازه‌گیری عناصر معدنی سدیم و پتاسیم

ابتدا، همه نمونه‌های ریشه و برگ گیاهان مورد آزمایش خشک و خرد گردید و سپس با استفاده از با دستگاه فلیم فوتومتر (FPF7 Flame photometer-JENWAY, England) اندازه‌گیری شد (Kamiab et al., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD از سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج

میزان سدیم

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها برای میزان سدیم در برگ و ریشه هر سه گیاه حاکی از آن بود که هر دو اندام برگ و ریشه تحت تأثیر سطوح شوری قرار گرفتند. همچنین هر سه گیاه از نظر میزان سدیم برگ و ریشه واکنش متفاوتی به تنش شوری داشتند. در گیاهان *Z. eurypterum* و *A. millefolium* میزان سدیم در برگ بیشتر از ریشه بود. با افزایش تنش شوری، افزایش میزان سدیم در برگ‌های هر سه گیاه مشاهده گردید. در بین هر سه گیاه نیز بیشترین میزان سدیم (۲۲ میلی‌گرم بر گرم) به گیاه *Z. eurypterum* و در شرایط شوری شش دسی‌زیمنس بر متر اختصاص داشت (شکل ۱).

بذرها در شرایط گلخانه‌ای در عمق سه سانتی‌متری گلدان‌های پلاستیکی (۶۶، ۴۵ و ۲۳ سانتی‌متر) که حاوی رس/شن/پرلیت به نسبت مساوی بود، در گلخانه گروه باغبانی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در ۱۵ آبان سال ۱۴۰۱ کشت شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تمامی گیاهان مورد مطالعه با استفاده از محلول سدیم کلراید در چهار سطح شوری صفر (شاهد)، ۱/۵، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر به‌مدت شش هفته تحت تنش شوری قرار گرفتند. دمای گلخانه برای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۶۰ الی ۸۰ درصد بود. شدت نور مورد نیاز برای فعال شدن فرآیند فتوسنتز ۵۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه به‌مدت ۱۲ ساعت در روز بود. پاسخ رشدی هر کدام از گونه‌های گیاهی در هر سطح عامل تنش شوری در سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت و کلیه اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بعد از دوره زمانی شش هفته، زمانی که استقرار کامل گیاهان صورت گرفته بود، انجام شد. لازم به ذکر است که تمامی نمونه‌ها بعد از نمونه‌گیری با آب مقطر شست‌وشو شده و سپس از سطحی با کاغذ صافی گرفته شد و بلافاصله در دمای ۸۰- درجه سلسیوس تا زمان اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی نگهداری شدند.

اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه

بعد از دوره زمانی شش هفته، زمانی که استقرار کامل گیاهان صورت گرفته بود، در هر تکرار، ۱۰ نمونه گیاهی به‌طور تصادفی انتخاب شده و سپس گیاه سالم و کامل با دقت از خاک جدا شدند. بعد از تفکیک قسمت ریشه و ساقه هر نمونه گیاهی، طول نمونه‌ها به‌وسیله خط‌کش مدرج مورد ارزیابی قرار گرفتند.

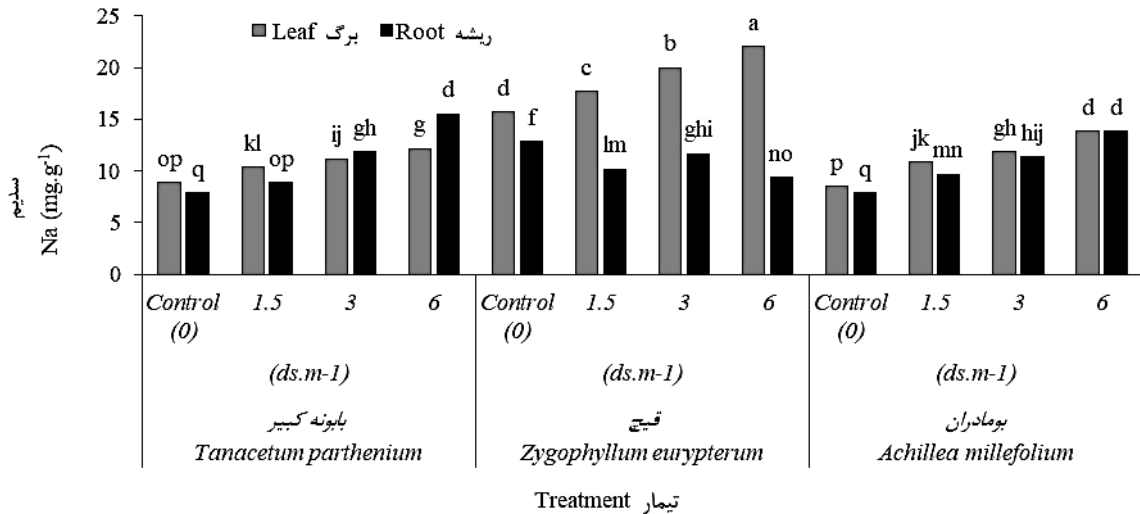
اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید

به این منظور، ۰/۱ گرم از بافت (برگ) تازه گیاه با یک میلی‌لیتر استون ۱۰۰ درصد عصاره‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید، جذب رنگیزه‌های اختصاصی در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۵۲، ۶۶۲ و ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Akcin & Yalcin, 2016):

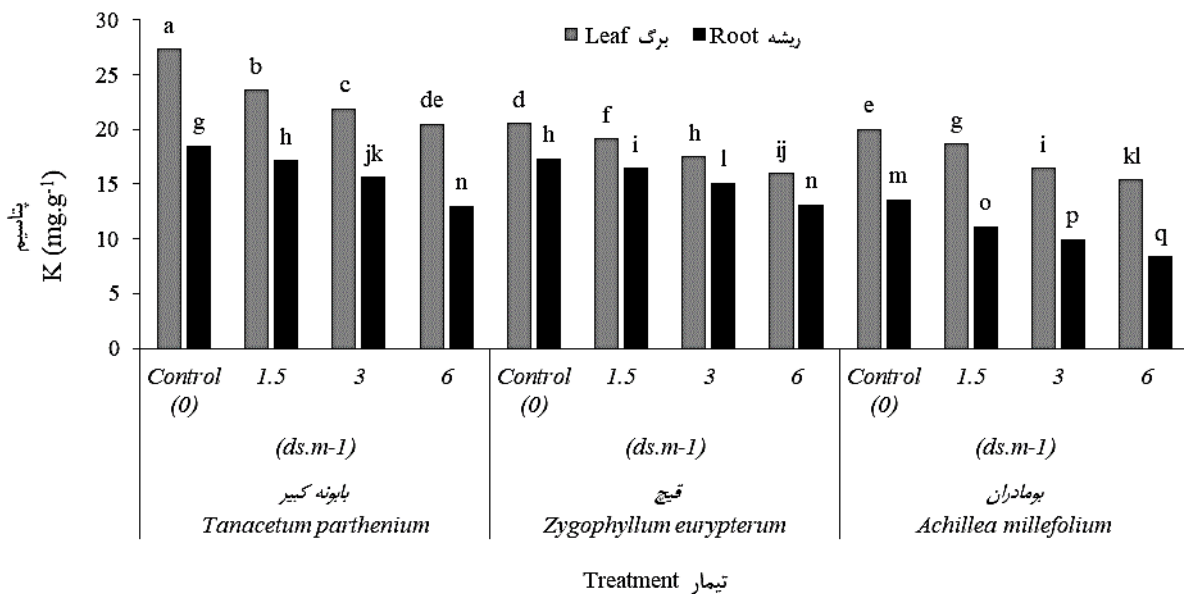
$$Total\ Chl: (A_{652} \times 27.8) / LW \quad (۱)$$

$$Chl\ a: (11.75 \times A_{662} - 2.35 \times A_{645}) / LW \quad (۲)$$

$$Chl\ b: (18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{662}) / LW \quad (۳)$$



شکل ۱- محتوای سدیم در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری
Figure 1-The sodium content of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity. (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۲- محتوای پتاسیم در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری
Figure 2- The potassium content of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

میزان پتاسیم

پتاسیم در برگ نسبت به ریشه بالاتر بود. در هر سه گیاه، بیشترین میزان پتاسیم برگ (۲۷/۳ میلی گرم در گرم) و ریشه (۱۸/۴۸ میلی گرم در گرم) در شرایط بدون شوری (شاهد) از گیاه *T. parthenium* به دست آمد و کمترین میزان پتاسیم برگ (۲۰/۰۱ میلی گرم در گرم) و ریشه (۸/۳۸ میلی گرم در گرم) به گیاه *A. millefolium* در شوری شش دسی زیمنس اختصاص داشت (شکل ۲).

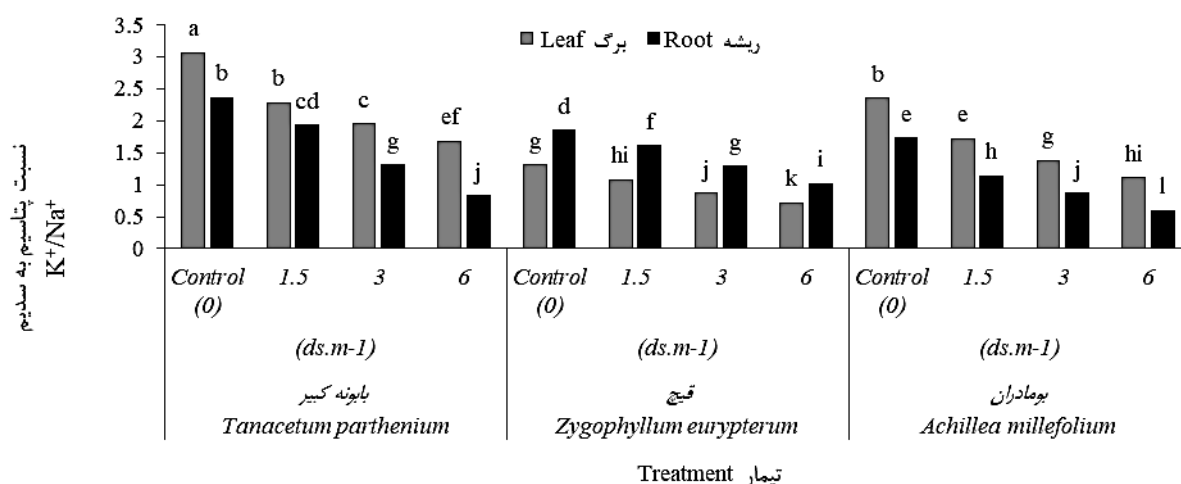
با افزایش تنش شوری، میزان پتاسیم ریشه و برگ در هر سه گیاه روند کاهشی در پی داشت، به طوری که در شش دسی زیمنس بر متر این کاهش چشمگیرتر بود. در بین سه گیاه، *T. parthenium* نسبت به دو گیاه دیگر در تمام سطوح شوری، میزان پتاسیم بالاتری در هر دو اندام ریشه و برگ داشت. همچنین در هر سه گیاه، میزان

غلظت مالون دی آلدئید

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها برای غلظت مالون دی آلدئید در سه گیاه مورد مطالعه نشان داد که افزایش غلظت مالون دی آلدئید در هر دو قسمت ریشه و برگ در اثر افزایش پتانسیل شوری مشهود بود، ولی در برگ گیاه *T. parthenium* این افزایش چشمگیر و قابل توجه بود. در گیاهان *A. millefolium* و *T. parthenium* غلظت مالون دی آلدئید در برگ بیشتر از ریشه بود، اما در گیاه *Z. eurypterum* برعکس بود (شکل ۴)

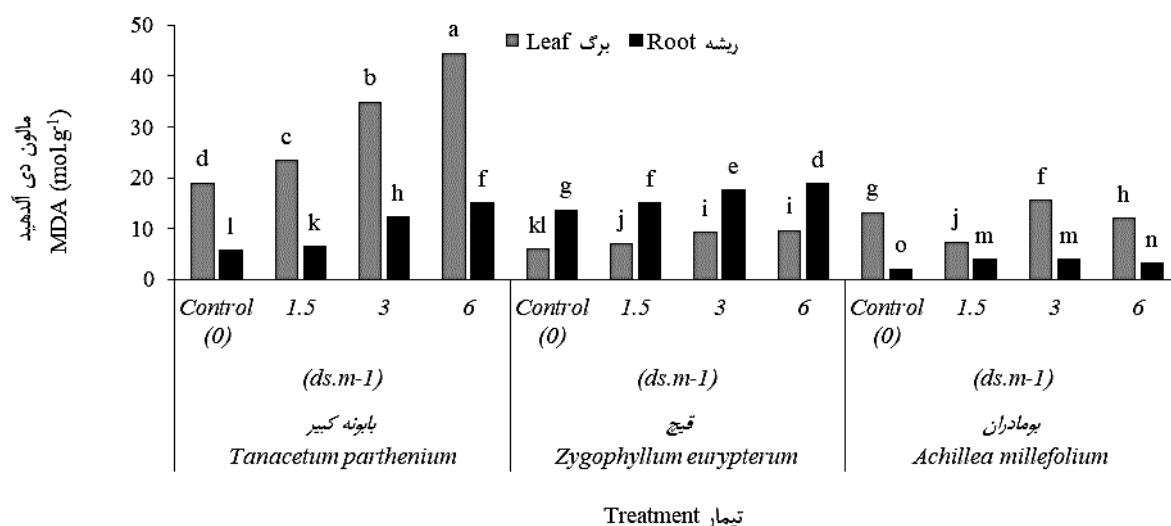
نسبت پتاسیم به سدیم

نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و برگ هر سه گیاه نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت. با افزایش سطوح شوری، نسبت پتاسیم به سدیم در هر سه گیاه روند کاهشی به دنبال داشت. گیاه *T. parthenium* در تمام سطوح شوری نسبت به دو گیاه دیگر هم در ریشه و هم برگ نسبت پتاسیم به سدیم بیشتری را داشت (شکل ۳).



شکل ۳- نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 3- The K^+/Na^+ ratio of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity. (LSD, $p \leq 0.05$)



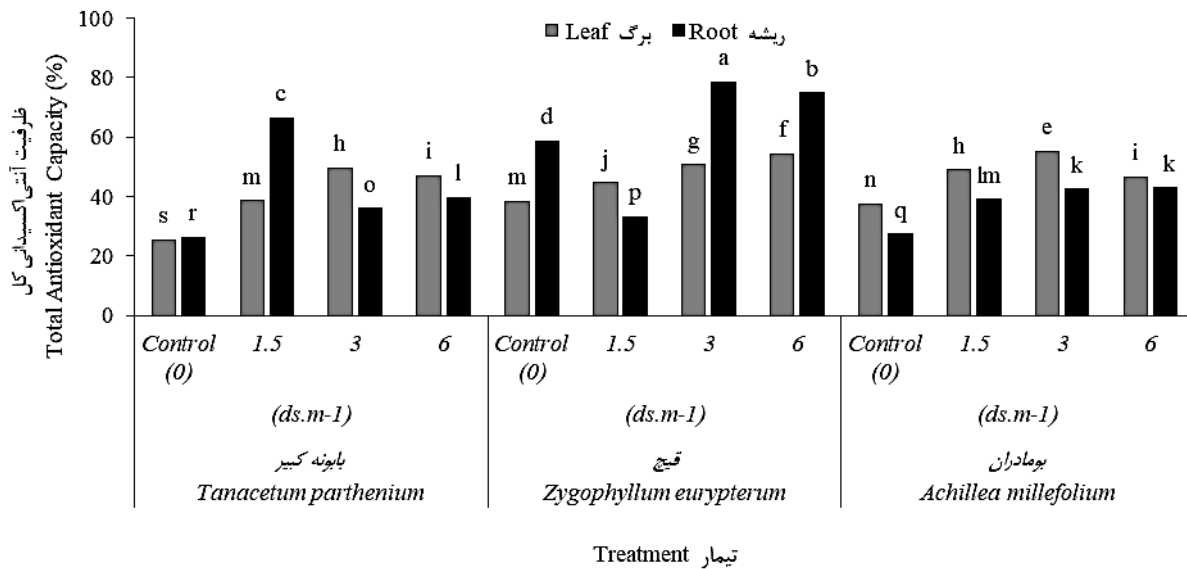
شکل ۴- میزان مالون دی آلدئید در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 4- The MDA amount of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل

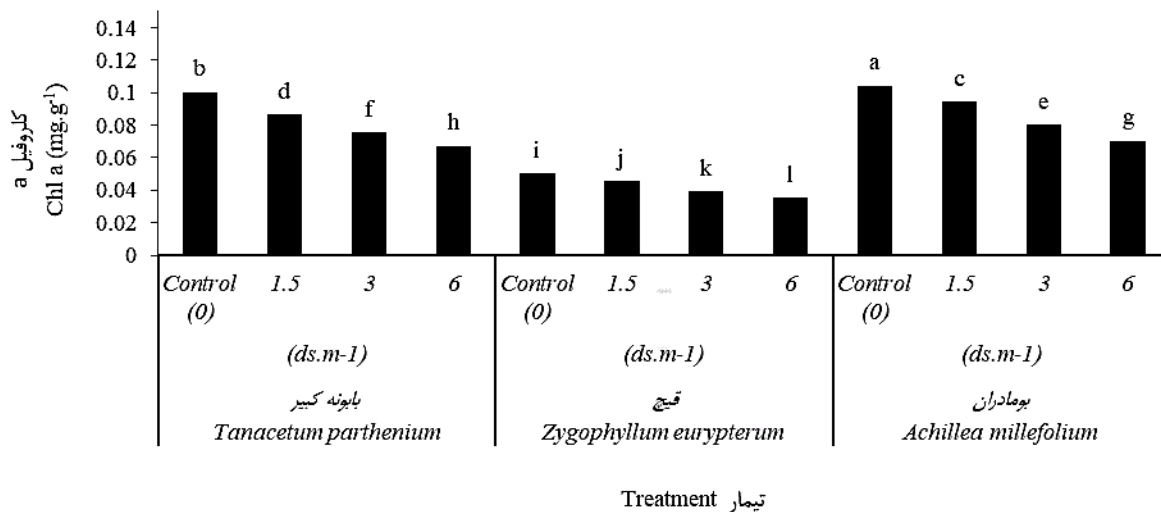
نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که هر سه گیاه از نظر ظرفیت آنتی اکسیدانی کل، واکنش متفاوت و معنی‌داری به تنش شوری داشتند. در برگ گیاهان *A. millefolium* و *T. parthenium* با افزایش سطح شوری سه دسی زیمنس بر متر روند افزایشی و سپس کاهشی مشاهده شد. همچنین در تمام سطوح شوری، ظرفیت

آنتی اکسیدانی کل در برگ گیاه *A. millefolium* بیشتر از ریشه آن بود. در تمام سطوح شوری و در هر سه گیاه، بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (۷۸/۵۷ درصد) به ریشه گیاه *Z. eurypterum* و شرایط شوری سه دسی زیمنس بر متر اختصاص داشت و کمترین شوری مربوط بود (شکل ۵).



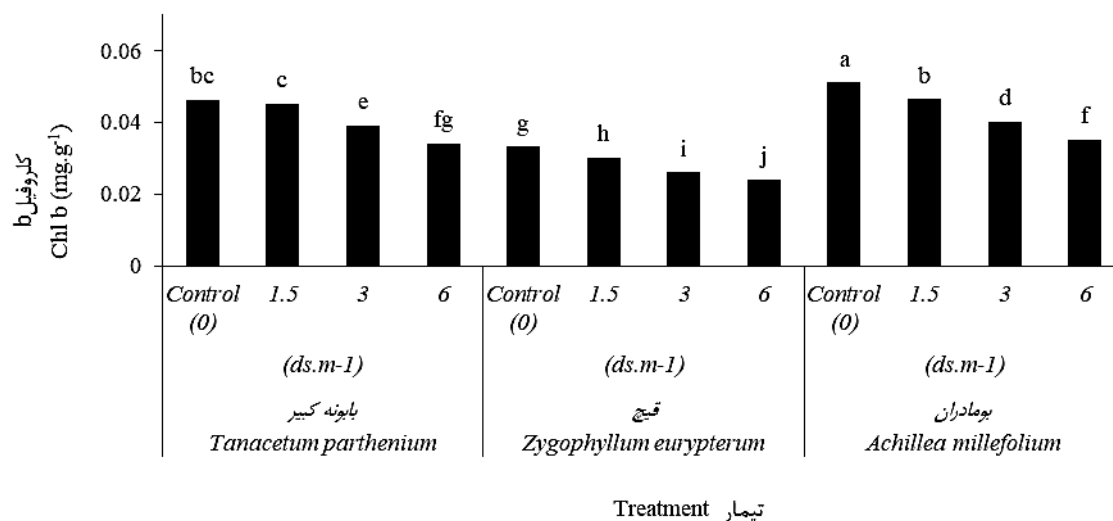
شکل ۵- ظرفیت آنتی اکسیدانی کل در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 5- The total antioxidant capacity of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

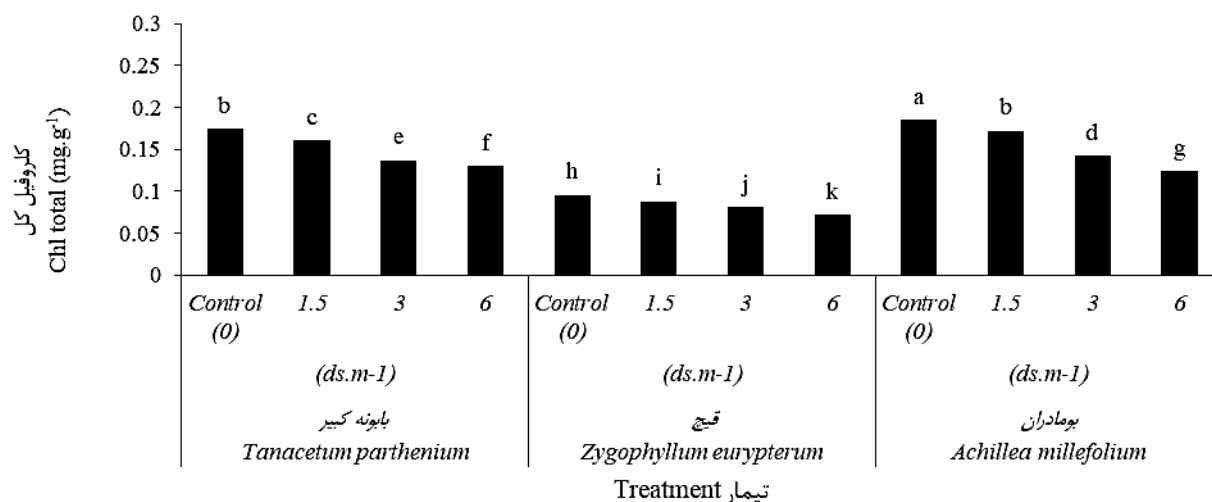


شکل ۶- محتوای کلروفیل a در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 6- The leaf chlorophyll a content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۷- محتوای کلروفیل b در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بوماداران در سطوح مختلف شوری
Figure 7- The leaf chlorophyll b content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۸- محتوای کلروفیل کل در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بوماداران در سطوح مختلف شوری
Figure 8- The total chlorophyll content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

(۰/۰۳۵ میلی گرم در گرم) و کل (۰/۱۲۳ میلی گرم در گرم) نیز در شرایط شوری شش دسی زیمنس بر متر و در گیاه *Z. eurypterum* مشاهده شد (شکل ۶، شکل ۷ و شکل ۸).

محتوای کاروتنوئید

محتوای کاروتنوئید نیز مشابه محتوای کلروفیل کل تحت تأثیر تیمارهای شوری قرار گرفت. در گیاه *T. parthenium* از سطح بدون تنش تا سطح شوری سه دسی زیمنس بر متر روند کاهشی و در سطح شش دسی زیمنس بر متر افزایش محتوای کاروتنوئید مشاهده شد، اما

محتوای کلروفیل a و b و کل

در تمام سطوح شوری، محتوای کلروفیل برگ a، b و کل در گیاه *A. millefolium* نسبت به دو گیاه دیگر بیشتر بود. همچنین در هر سه گیاه مورد آزمایش، روند کاهشی در محتوای آن با افزایش سطوح شوری وجود داشت، به طوری که بیشترین محتوای کلروفیل برگ a (۰/۱۰۴ میلی گرم در گرم)، محتوای کلروفیل برگ b (۰/۰۵۱ میلی گرم در گرم) و کل (۰/۱۸۴ میلی گرم در گرم) در شرایط بدون تنش و از گیاه *A. millefolium* به دست آمد و کمترین محتوای کلروفیل برگ a (۰/۰۷ میلی گرم در گرم)، محتوای کلروفیل برگ b

شوری از سطح ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری را از نظر آماری نشان نداد (شکل ۹).

بحث

شوری آب و خاک یکی از مسائل مهم جهانی برای کشاورزی پایدار و ثبات بوم‌شناختی است، زیرا با ایجاد اختلال در فرآیندهای سلولی و فیزیولوژیکی بر رشد و نمو گیاهان در تمام مراحل رشد تأثیر می‌گذارد (Bakhoum et al., 2020). مراحل اولیه رشدی گیاهان حساسیت بالایی به تنش‌های محیطی دارد که به‌طور مستقیم بر میزان استقرار موفقیت‌آمیز گیاهان به‌خصوص در بوم‌نظام‌های سخت محیطی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند (Alam et al., 2020)، بنابراین مطالعه و شناخت پاسخ‌های بوم‌شناختی و فیزیولوژیکی مراحل اولیه رشد سه گونه گیاه زینتی معطر بابونه کبیر، بومادران و قیچ می‌تواند در کشت موفقیت‌آمیز آن‌ها تحت شرایط نامساعد محیطی و پراکنش جغرافیایی به بوم‌نظام‌های جدید مفید واقع شود.

نتایج این آزمایش نشان داد که در هر سه گونه گیاهی مورد مطالعه میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تحت تنش شوری ناشی از سدیم کلرید کاهش یافت. در این راستا، گزارش شده است که کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری به‌دلیل تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی و در نهایت ناپایداری دستگاه فتوسنتزی است (Hatam et al., 2020).

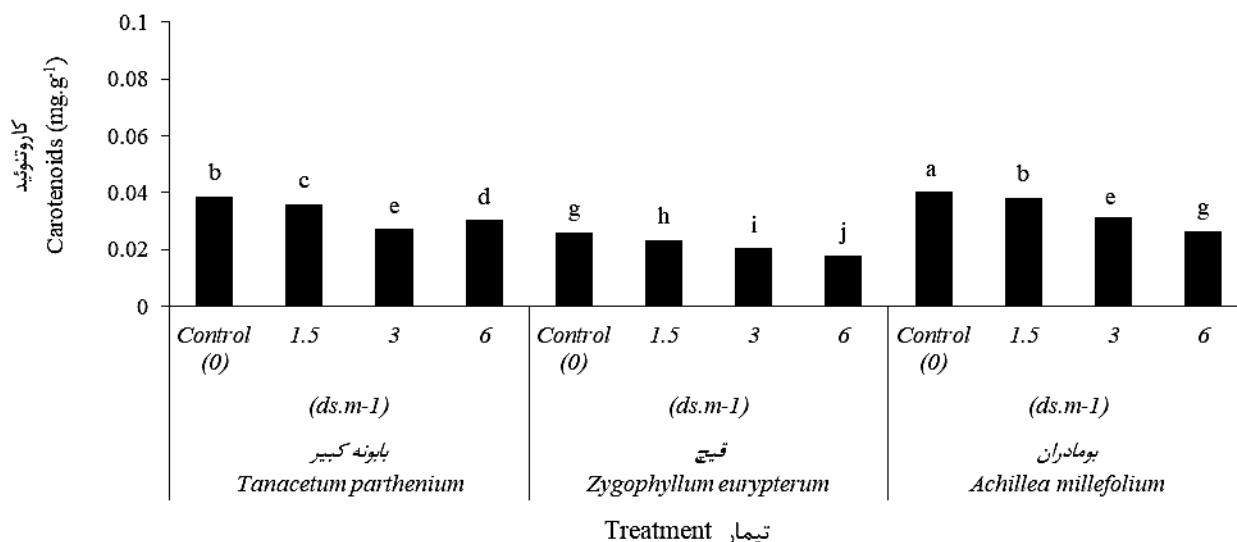
در هر دو گیاه *Z. eurypterum* و *A. millefolium* روند کاهشی محتوای کاروتنوئید با افزایش سطوح شوری وجود داشت. گیاه *A. millefolium* نسبت به دو گیاه دیگر در تمام سطوح شوری، محتوای کاروتنوئید بیشتری را داشت (شکل ۹).

طول اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها برای طول اندام هوایی سه گونه گیاهی مورد مطالعه حاکی از آن بود که در هر سه گیاه، سطح بدون تنش بیشترین طول اندام هوایی را داشت. در گیاه بابونه کبیر سطح ۱/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما این دو سطح با سطح شش دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. در هر دو گیاه قیچ و بومادران با افزایش شوری از سطح ۱/۵ به ۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش جزئی در طول اندام هوایی مشاهده شد که از نظر آماری نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۰).

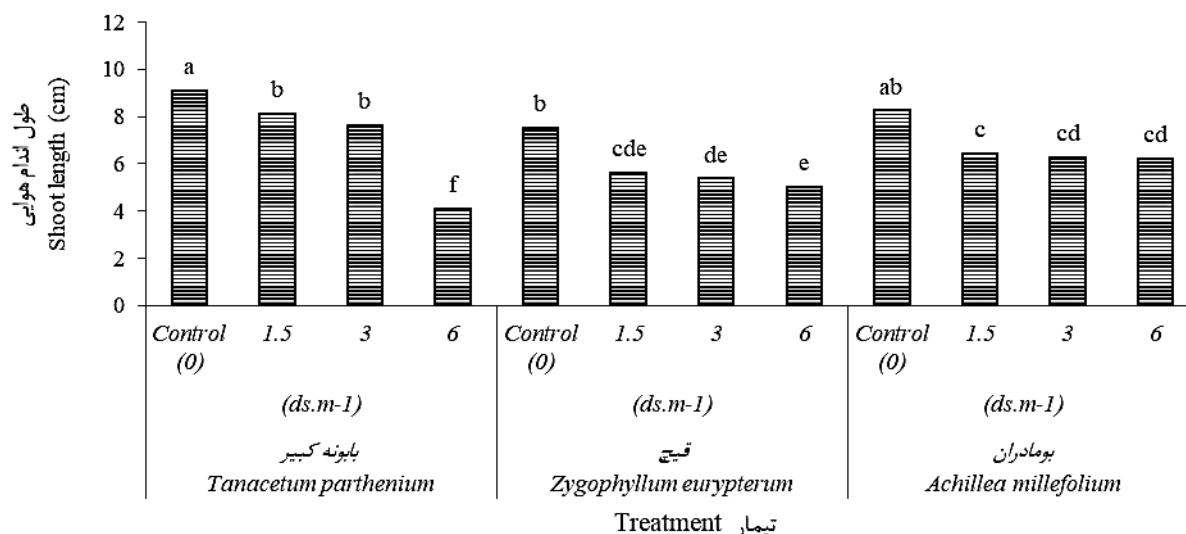
طول ریشه

برای طول ریشه سه گیاه مورد مطالعه نیز با افزایش از سطح بدون تنش تا سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری وجود داشت. در گیاه بابونه کبیر، سطوح ۱/۵ و ۳ دسی‌زیمنس اختلاف معنی‌داری نداشتند و کمترین طول ریشه در این گیاه در سطح شش دسی‌زیمنس مشاهده شد. در دو گیاه قیچ و بومادران نیز افزایش



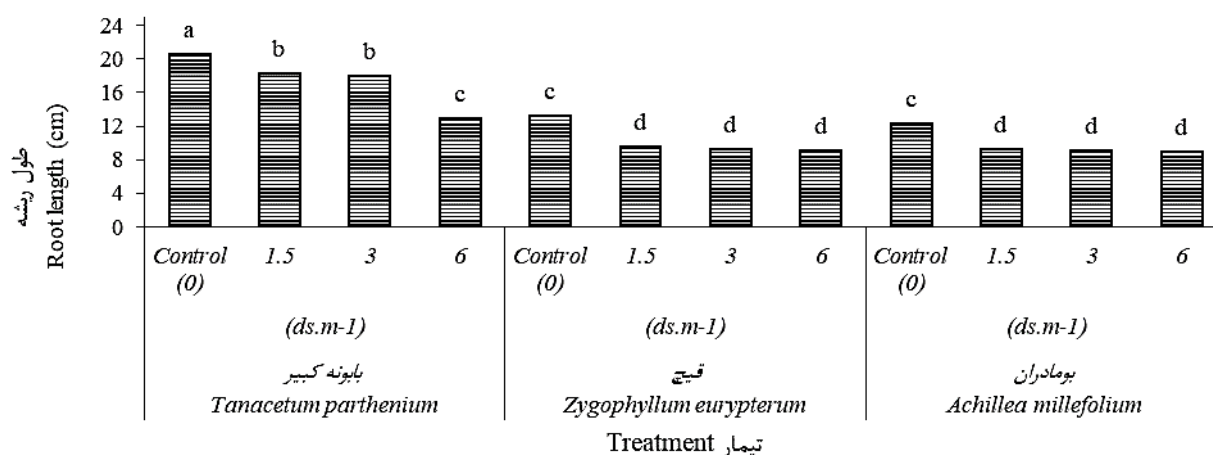
شکل ۹- محتوای کاروتنوئید در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 9- The leaf carotenoid content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* at different salinity levels (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۰- طول اندام هوایی گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 10- The shoot length of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* at different salinity levels (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۱- طول ریشه گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 11- The root length of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* at different salinity levels. (LSD, $p \leq 0.05$)

سازوکارهای فیزیولوژیکی، استقرار، میزان رشد، زیست‌توده و عملکرد گیاه تأثیر گذاشت که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. در همه سطوح تنش شوری مورد آزمایش، رنگیزه‌های فتوسنتزی (a, b, کل و کاروتنوئید) و در نهایت ظرفیت فتوسنتزی در گونه قیچ (*Z. eurypterum*) نسبت به دو گونه گیاهی دیگر کمتر تحت تأثیر قرار گرفت، زیرا با افزایش غلظت شوری از صفر به شش دسی زیمنس بر متر، میزان کلروفیل کل ۲۲ درصد کاهش یافت، اما در دو گونه *T. parthenium* و *A. millefolium* به ترتیب به ۳۰ و ۳۴ درصد کاهش یافت. علت کاهش کمتر میزان کلروفیل کل در غلظت بالای

این اتفاق همچنین می‌تواند به تأثیر منفی یون‌های سمی نمک (سدیم و کلر) در اجزاء ساختاری کلروفیل II، کاهش سنتز و فعالیت پروتئین‌های اختصاصی دستگاه فتوسنتزی باشد (Faizan et al., 2021). در این رابطه، در بسیاری از تحقیقات مرتبط روی گونه‌های سیاه شور *Suaeda prostrata* (Akcin & Yalcin, 2016)، کنان *Linum usitatissimum* (Dubey et al., 2020)، میخک قرنفل *Dianthus caryophyllus* (Kwon et al., 2019) و شیرین‌بیان *Glycyrrhiza glabra* (Hamidian et al., 2023) گزارش شده است که تنش شوری با کاهش ظرفیت فرایند فتوسنتزی بر

شوری، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل در ریشه و ساقه هر سه گونه مورد مطالعه افزایش یافت و مقدار افزایش آن با توجه به اندام و نوع گونه گیاهی متفاوت بود.

شوری علاوه بر ایجاد خسارت اکسیداتیو به بافت‌های حیاتی گیاه، از طریق کاهش پتانسیل اسمزی مانع جذب آب توسط ریشه گیاه شده و به دنبال آن رشد و بسط سلول مختل می‌شود (Sarker & Oba, 2020). همچنین قابل ذکر است که سه گونه مورد مطالعه *T. eurypterum* و *A. millefolium parthenium* از طریق حفظ پتانسیل اسمزی در دو اندام ریشه و ساقه موجب متحمل شدن به تنش شوری و در نتیجه حفظ پتانسیل رشدی شدند. در این راستا، به‌خوبی گزارش شده است که پتانسیل اسمزی سلولی در گیاهان از طریق تجمع آسمیلات‌ها مانند ترکیبات آلی و معدنی در پاسخ به تنش شوری تنظیم می‌شود (Mahouachi, 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با رشد گونه‌های مورد مطالعه به سطوح مختلف شوری متفاوت بود. رشد هر سه گونه در شدیدترین سطح تنش شوری به‌طور کامل مختل نشد، اما در همه غلظت‌های شوری اعمال‌شده، پاسخ فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل تنش شوری و در نتیجه میزان رشد اندام‌های هوایی و ریشه گیاه بایسته تغییرات و بیشتر از دو گونه معطر دارویی دیگر بود. از این‌رو، می‌توان انتظار داشت که به‌کارگیری این گیاهان معطر *T. parthenium* و *A. millefolium* و *Z. eurypterum* یک راهکار مناسب و مقرون‌به‌صرفه جهت حفظ پایداری بوم‌شناسی فضای سبز، به‌خصوص در اقلیم‌های شور باشد. همچنین، اطلاعات به‌دست‌آمده از این مطالعه به درک بیشتر زیست‌شناس‌ها در برنامه‌های اصلاح مولکولی و در نتیجه برای بهبود رشد این گونه‌های گیاهی در مناطق شور کمک خواهد نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از کمک‌های علمی جناب آقای دکتر بهروز ملک پور کمال تشکر را دارند.

شوری نسبت به شاهد در گیاه قیچ، ممکن است به‌دلیل حفاظت آنتی اکسیدان‌ها از اجزاء ساختاری و پروتئین‌های ضروری دستگاه فتوسنتزی باشد. در این رابطه گزارش شده است که در صورت ظرفیت آنتی اکسیدانی بالا (از جمله ترکیبات آنتی اکسیدانی مانند فنول و فلاونوئید) و عملکرد مناسب آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، دستگاه فتوسنتزی در تنش شوری کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Salimi et al., 2017).

تنش شوری از طریق افزایش مقدار گونه‌های فعال اکسیژن (مانند H_2O_2) باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در اندام گیاه می‌شود (Osman et al., 2021). در هر سه گونه مورد مطالعه، میزان خسارت تنش اکسیداتیو تحت سطوح مختلف تنش شوری با اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید که نشانگر میزان ثبات غشاء سلولی است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش تنش شوری، میزان خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو به بخش حیاتی غشاء سلولی به‌طور چشمگیری در دو اندام ساقه و ریشه افزایش یافت. در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که تنش شوری از طریق القاء تنش اکسیداتیو موجب افزایش فرآیند پراکسیداسیون لیپید و در نتیجه افزایش ناپایداری غشاء سلولی در پنبه (*Gossypium hirsutum*)، بادرنشی (*Dracocephalum moldavica*) و اسفرزه (*Plantago ovata*) (Mohammadi et al., 2021) شد و میزان خسارت تنش اکسیدپتانسیل ساتیو به گونه‌های مختلف گیاهی، با توجه به ظرفیت و ازوکارهای دفاعی سلول متفاوت بود. در این رابطه، گزارش شده است که سازوکارهای دفاعی سلول با کاهش اثرات مضر تنش اکسیداتیو بر اندام‌های حیاتی سلول موجب پایداری ظرفیت فتوسنتز، حفظ سازوکارهای فیزیولوژیکی و در نتیجه رشد بهینه و عملکرد مطلوب گیاهان تحت تنش شوری شد (Altaf et al., 2021; Khalvandi et al., 2021).

پاسخ رشدی و متابولیکی گیاهان به تنش شوری به ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاهان بستگی دارد و از آنجایی که تنش شوری باعث ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود، آنتی اکسیدان‌ها نقش مهمی در حفاظت از فعالیت پروتئین‌ها و پایداری بخش‌های حیاتی سلول ایفا می‌کند (Abdel-Farid et al., 2020). در این مطالعه، با افزایش تنش

References

1. Abdelaal, K.A., Mazrou, Y.S., & Hafez, Y.M. (2020). Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants*, 9(6), 733. <https://doi.org/10.3390/plants9060733>
2. Abdel-Farid, I.B., Marghany, M.R., Rowezek, M.M., & Sheded, M.G. (2020). Effect of Salinity stress on growth and metabolomic profiling of *Cucumis sativus* and *Solanum lycopersicum*. *Plants*, 9(11), 1626. <https://doi.org/10.3390/plants9111626>

3. Ahmadi, S.Z., Ghorbanpour, M., Aghaee, A., & Hadian, J. (2020). Deciphering morpho-physiological and phytochemical attributes of *Tanacetum parthenium* L. plants exposed to C60 fullerene and salicylic acid. *Chemosphere*, 259, 127406. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127406>
4. Akcin, A., & Yalcin, E. (2016). Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content, and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). *Brazilian Journal of Botany*, 39, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0218-y>
5. Alam, A., Ullah, H., Attia, A., & Datta, A. (2020). Effects of salinity stress on growth, mineral nutrient accumulation and biochemical parameters of seedlings of three citrus rootstocks. *International Journal of Fruit Science*, 20(4), 786-804. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1674762>
6. Alfadil, A.A., Xia, J., Shaghaleh, H., Alhaj Hamoud, Y., Ibrahim, J.N., Hamad, A.A.A., Rahim, Sh.F., Sheteiwy, M., & Wu, T. (2021). Wheat straw biochar application improves the morphological, physiological, and yield attributes of maize and the physicochemical properties of soil under deficit irrigation and salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 44(16), 2399-2420. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1918156>
7. Altaf, M.A., Shahid, R., Ren, M.X., Altaf, M.M., Khan, L.U., Shahid, S., & Jahan, M. S. (2021). Melatonin alleviates salt damage in tomato seedling: A root architecture system, photosynthetic capacity, ion homeostasis, and antioxidant enzymes analysis. *Scientia Horticulturae*, 285, 110145. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110145>
8. Amin, A., Yasin, R., & Sarwar, M.I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth view project geochemistry view project. *Nature and Science*, 17, 34-40. <https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06>
9. Ashraf, M.P.J.C., & Harris, P.J. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1), 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
10. Bakhoun, G.S., Sadak, M.S., & Badr, E.A.E.M. (2020). Mitigation of adverse effects of salinity stress on sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of chitosan. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00343-7>
11. Banerjee, A., & Roychoudhury, A. (2017). Effect of salinity stress on growth and physiology of medicinal plants. *Medicinal Plants and Environmental Challenges*, 177-188. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2022.4.3.496>
12. Boughalleb, F., Abdellaoui, R., Mahmoudi, M., & Bakhshandeh, E. (2020). Changes in phenolic profile, soluble sugar, proline, and antioxidant enzyme activities of *Polygonum equisetiforme* in response to salinity. *Turkish Journal of Botany*, 44(1), 25-35. <https://doi.org/10.3906/bot-1908-2>
13. Cheng, Y., Zhao, J., Ayisi, C.L., & Cao, X. (2022). Effects of salinity and alkalinity on fatty acids, free amino acids and related substance anabolic metabolism of Nile tilapia. *Aquaculture and Fisheries*, 7(4), 389-395. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.06.005>
14. Dubey, S., Bhargava, A., Fuentes, F., Shukla, S., & Srivastava, S. (2020). Effect of salinity stress on yield and quality parameters in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(2), 954-966. <https://doi.org/10.15835/nbha48211861>
15. Estaji, A., Roosta, H.R., Rezaei, S.A., Hosseini, S.S., & Niknam, F. (2018). Morphological, physiological and phytochemical response of different *Satureja hortensis* L. accessions to salinity in a greenhouse experiment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 10, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.04.005>
16. Faizan, M., Bhat, J.A., Chen, C., Alyemeni, M.N., Wijaya, L., Ahmad, P., & Yu, F. (2021). Zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) induce salt tolerance by improving the antioxidant system and photosynthetic machinery in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 161, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.002>
17. Goharrizi, K.J., Baghizadeh, A., Kalantar, M., & Fatehi, F. (2020). Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 261, 108970. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108970>
18. Hamidian, H., Sodaiezhadeh, H., Yazdani-Bioui, R., Hakimzadeh Ardakani, M.A., Soltani, M., & Khajeh Hosseini, S. (2023). Effect of salinity stress and planting method on morphological and physiological characteristics of Licorice in greenhouse. *Journal of Water Research in Agriculture*, 37(1), 35-48. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2023.360235.948>
19. Hatam, Z., Sabet, M.S., Malakouti, M.J., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Homaei, M. (2020). Zinc and potassium fertilizer recommendation for cotton seedlings under salinity stress based on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses. *South African Journal of Botany*, 130, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.032>
20. Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P., & Hnilicka, F. (2021). Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, 10(5), 845. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>

21. Kamiab, F., Talaie, A., Khezri, M., & Javanshah, A. (2014). Exogenous application of free polyamines enhance salt tolerance of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. *Plant Growth Regulation*, 72, 257-268. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9857-9>
22. Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E., & Keramati, S. (2021). Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05908>
23. Kwon, O.K., Mekapogu, M., & Kim, K.S. (2019). Effect of salinity stress on photosynthesis and related physiological responses in carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60, 831-839. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00189-7>
24. Mahouachi, J. (2018). Long-term salt stress influence on vegetative growth and foliar nutrient changes in mango (*Mangifera indica* L.) seedlings. *Scientia Horticulturae*, 234, 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.028>
25. Mamedí, A., Sharifzadeh, F., Maali-Amiri, R., Divargar, F., & Rasoulnia, A. (2023). Ca²⁺-priming improves tolerance to osmotic stress in early growth stage of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by ameliorating the capacity of seed protective mechanism. *Russian Journal of Plant Physiology*, 70(3), 54. <https://doi.org/10.1134/s1021443722603214>
26. Mohammadi, M.H.Z., Panahirad, S., Navai, A., Bahrami, M.K., Kulak, M., & Gohari, G. (2021). Cerium oxide nanoparticles (CeO₂-NPs) improve growth parameters and antioxidant defense system in Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under salinity stress. *Plant Stress*, 1, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.jstress.2021.100006>
27. Moradi, S., Fazlali, A., & Hamedí, H. (2018). Microwave-assisted hydro-distillation of essential oil from rosemary: Comparison with traditional distillation. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 10(1), 22.
28. Najar, R., Aydi, S., Sassi-Aydi, S., Zarai, A., & Abdelly, C. (2019). Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 153(1), 88-97.
29. Ors, S., Ekin, M., Yildirim, E., Sahin, U., Turan, M., & Dursun, A. (2021). Interactive effects of salinity and drought stress on photosynthetic characteristics and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*, 137, 335-339. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.031>
30. Osman, M.S., Badawy, A.A., Osman, A.I., & Abdel Latef, A.A.H. (2021). Ameliorative impact of an extract of the halophyte *Arthrocnemum macrostachyum* on growth and biochemical parameters of soybean under salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1245-1256. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10185-2>
31. Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., & Prasad, S.M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 4056-4075. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1>
32. Radzhabov, G.K., Aliev, A.M., Musaev, A.M., & Islamova, F.I. (2022). Variability of the constituent composition of *Achillea millefolium* essential oils in the wild flora of Dagestan. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 56(5), 661-666. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.046>
33. Rehman, N.U., Alsabahi, J.N., Alam, T., Khan, A., Ullah, S., & Al-Harrasi, A. (2022). Carbonic anhydrase-II, α -glucosidase, and chemical composition of essential oils from stem and leaves of *zygophyllum qatarense*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25(4), 835-843.
34. Reza, D.T.A., Sohrab, M., Hossein Ali, A., & Masoom, S. (2021). Role of rhizospheric microorganisms in mitigating the adverse effect of salinity stress in *Plantago ovata* growth, biochemical and photosynthetic traits. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(8), 1060-1074. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2922-8_9
35. Saddiq, M.S., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Ibrahim, A.M., Raza, A., Fatima, E. M., Baloch, H., Jahanzaib, Woodrow, P., & Ciarmiello, L.F. (2021). Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*, 11(6), 1193. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061193>
36. Salimi, A., Rowshan, V., & Khanpoor, E. (2017). Effect of salinity on quality and quantity of essential oil components and antioxidant activity in yarrow (*Achillea millefolium* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(6), 948-957. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109309>
37. Sanjerehei, M.M., & Rundel, P.W. (2019). Distribution of drought-tolerant plant species under future climate change in Iran. *Environmental & Experimental Biology*, 17(4). <https://doi.org/10.22364/eeb.17.16>
38. Sarker, U., & Oba, S. (2020). The response of salinity stress-induced *A. tricolor* to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 559876. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.559876>

39. Yadav, V.K., Gacem, A., Choudhary, N., Rai, A., Kumar, P., Yadav, K.K., Abbas, M., Barik, D., & Islam, S. (2022). Status of coal-based thermal power plants, coal fly ash production, utilization in India and their emerging applications. *Minerals*, 12(12), 1503. <https://doi.org/10.3390/min12121503>
40. Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P., & Wu, F. (2020). Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. *Agronomy*, 10(1), 127. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010127>

Effect of Exogenous Melatonin Treatment on Nonenzymatic Antioxidant System, Nutritional Value, and Visual Quality of Mature Physalis (*Physalis peruviana* L.) Fruit

L. Taghipour^{1*}, P. Hayati², M. Hosseinifarahi^{2,3}, P. Assar¹

1- Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran

2- Department of Horticultural Science, Yas.C., Islamic Azad University, Yasuj, Iran

3- Sustainable Agriculture and Food Security Research Group, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

(*- Corresponding author's Email: Leilataghipour@jahromu.ac.ir)

Received: 25 August 2024	How to cite this article: Taghipour, L., Hayati, P., Hosseinifarahi, M., & Assar, P. (2025). Effect of exogenous melatonin treatment on nonenzymatic antioxidant system, nutritional value, and visual quality of mature physalis (<i>Physalis peruviana</i> L.) fruit. <i>Journal of Horticultural Science</i> , 39(2), 299-313. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89577.1373
Revised: 28 October 2024	
Accepted: 31 October 2024	
Available Online: 31 October 2024	

Introduction

Physalis (*Physalis peruviana* L.), commonly known as Cape gooseberry or ground cherry, is a valuable member of the Solanaceae family. It is cultivated as a perennial crop in tropical regions and as an annual in temperate climates. The fruit is a spherical berry that can be consumed fresh, dried, or processed into jams and desserts. *Physalis* fruits are rich in minerals, vitamins, and phytochemicals known for their anti-tumor and anti-inflammatory properties, contributing to their reputation as a "superfood." Globally, demand for this crop is increasing due to its health benefits, including in Iran, although comprehensive data on its cultivation within the country remains limited. As a climacteric fruit, *Physalis* has a very short postharvest shelf life—typically no more than five days—highlighting the need for safe and effective postharvest treatments to preserve quality and extend its marketability. To improve the storability and maintain the postharvest quality of *physalis*, researchers are exploring natural and safe treatment options. One such promising compound is melatonin, a pleiotropic molecule derived from tryptophan and endogenously synthesized in plant, animal, fungal, and prokaryotic cells. In plants, melatonin functions as a regulatory agent involved in numerous physiological processes, particularly in response to stress. It interacts with plant hormones and reactive species like hydrogen peroxide (H₂O₂), nitric oxide (NO), and hydrogen sulfide (H₂S), contributing to improved antioxidant activity, delayed senescence, and better stress tolerance. Thus, melatonin represents a promising and eco-friendly strategy to improve the shelf life, sensory quality, and marketability of *physalis* fruit. The aim of the present study was to improve the shelf life and postharvest quality of *physalis* fruits through melatonin treatment for distribution in local markets.

Materials and Methods

Fully orange-colored *physalis* fruits with completely yellow calyxes were harvested from a commercial greenhouse in Pasargad, Fars province. The fruits were quickly transported to the lab, visually evaluated, washed with deionized water, and air-dried. The experimental design was a factorial arrangement based on a completely randomized design (CRD), consisting of 12 treatments with three replicates per treatment (20 fruits per replicate). The experimental factors included fruit immersion in four levels of melatonin solution concentration (100, 200, and 300 µM, with distilled water as the control) and sampling time at three levels (7, 14, and 21 days of storage). Following the preparation of melatonin solutions at different concentrations, sixty fruits were immersed in each solution for five minutes. The treated fruits were air-dried for 30 minutes, then packaged in



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89577.1373>

polyethylene bags with 3% perforation and stored at 10 °C under 90 ± 5% relative humidity for 21 days. Assessments were carried out at weekly intervals.

Results and Discussion

Overall, postharvest treatment with melatonin led to a reduction in respiration rate and polyphenol oxidase (PPO) activity in the juice, as well as an improvement or maintenance of skin carotenoid content, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), ascorbic acid, total phenols, phenylalanine ammonia-lyase (PAL) enzyme activity, and total antioxidant activity in the juice. After 21 days of storage and at the end of the experiment, the assessment of all these attributes revealed that fruits treated with 300 µM melatonin were superior in terms of nutritional value, appearance, and postharvest oxidative stress response mechanisms compared to the other experimental groups. There was no significant difference in total soluble solids and titratable acidity among the fruits treated with different concentrations of melatonin; however, fruits treated with the two higher concentrations of melatonin showed the lowest respiration rate and the highest ascorbic acid content in the juice. Furthermore, fruits treated with 300 µM melatonin exhibited higher levels of total phenols, PAL enzyme activity, total antioxidant activity, and skin carotenoids compared to all other experimental groups, while also showing the lowest PPO enzyme activity.

Conclusions

Treating physalis fruits with exogenous melatonin, especially at concentration of 300 µM, can significantly enhance their postharvest quality and storability by modulating various physiological and biochemical processes. This approach has the potential to improve the marketability and economic value of harvested physalis as a high-value horticultural crop.

Keywords: Antioxidant capacity, Carotenoid, Marketability, Phenol, Physalis

تأثیر تیمار برونزاد ملاتونین بر نظام پاداکسندگی غیر آنزیمی، ارزش غذایی و کیفیت بصری میوه‌های بالغ عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.)

لیلا تقی پور^{۱*} - پرینا حیاتی^۲ - مهدی حسینی‌فرهی^{۳،۲} - پدram عصار^۱ 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰

چکیده

عروسک پشت پرده یا فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) یکی از اعضای مهم خانواده سیب‌زمینی‌سانان محسوب می‌شود. میوه‌های فیسالیس غنی از مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات فیتوشیمیایی با خواص ضدتوموری و ضدالتهابی هستند و همین امر آن را بسیار مورد علاقه نموده است. فیسالیس میوه‌ای فرازگرا است که دارای عمر پس از برداشت بسیار کوتاه است و معمولاً حداکثر تا پنج روز ماندگاری دارد، بنابراین نیاز به استفاده از تیمارهای ایمن پس از برداشت برای حفظ کیفیت و افزایش عمر ماندگاری آن احساس می‌شود. در پژوهش حاضر، میوه‌های فیسالیس با رنگ نارنجی کامل و کاسبرگ‌های زرد از یک گلخانه تجاری در شهرستان پاسارگاد استان فارس برداشت و پس از ارزیابی ظاهری، با آب دیونیزه شسته و در هوای آزاد خشک شدند. طرح آزمایشی مورد استفاده فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل ۱۲ تیمار با سه تکرار برای هر تیمار (۲۰ میوه در هر تکرار) بود. عوامل آزمایشی شامل غوطه‌وری میوه‌ها به مدت پنج دقیقه در چهار سطح غلظت محلول ملاتونین (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میکرومولار و آب مقطر به عنوان شاهد) و زمان نمونه‌برداری در سه سطح (روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ انبارمانی) بود. پس از غوطه‌وری، میوه‌های هر گروه به مدت ۳۰ دقیقه در هوای آزاد خشک شدند و در کیسه‌های پلی‌اتیلن با نسبت سوراخ سه درصد بسته‌بندی و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90 ± 5 درصد به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند. ارزیابی‌های هفتگی نشان داد که به‌طور کلی و نسبت به شاهد، تیمار پس از برداشت ملاتونین منجر به کاهش نرخ تنفس و فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO) در آب‌میوه شد و همچنین موجب بهبود یا حفظ مقادیر کاروتنوئید پوست، مواد جامد محلول کل (TSS)، اسید قابل تیتر (TA)، اسید آسکوربیک، فنول کل، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در آب‌میوه گردید. پس از ۲۱ روز انبارمانی و در پایان آزمایش، ارزیابی مجموع صفات نام‌برده نشان داد که میوه‌های تیمار شده با ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین، در مقایسه با سایر گروه‌های آزمایشی، از نظر ارزش غذایی، ظاهر، و سازوکارهای مقابله با تنش اکسایشی پس از برداشت برتر بودند. در مورد مواد جامد محلول کل و اسیدیته قابل تیتر، تفاوت معنی‌داری بین میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف ملاتونین مشاهده نشد، اما میوه‌های تیمار شده با دو غلظت بالاتر ملاتونین، کمینه نرخ تنفس و بیشینه مقدار اسید آسکوربیک آب‌میوه را داشتند. همچنین، میوه‌های تیمار شده با ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین، در مقایسه با تمامی گروه‌های آزمایشی دیگر، سطوح بالاتری از فنول کل، فعالیت آنزیم PAL، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل و کاروتنوئید پوست داشتند، و کمترین فعالیت آنزیم PPO نیز در این گروه مشاهده شد. در نهایت چنین نتیجه‌گیری شد که تیمار میوه‌های فیسالیس با ملاتونین خارجی، به‌ویژه در غلظت ۳۰۰ میکرومولار، می‌تواند با تعدیل فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف، به‌طور قابل توجهی کیفیت پس از برداشت و ماندگاری آن‌ها را بهبود بخشد. این تکنیک، پتانسیل افزایش بازارپسندی و ارزش اقتصادی فیسالیس برداشت‌شده را به عنوان یک محصول باغی با ارزش بالا دارد.

واژه‌های کلیدی: بازارپسندی، ظرفیت پاداکسندگی، فنول، فیسالیس، کاروتنوئید

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۳- گروه پژوهشی کشاورزی پایدار و امنیت غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

(Email: Leilataghipour@jahromu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89577.1373>

مقدمه

گونه *Physalis peruviana* که به نام‌های فیسالیس و عروسک پشت پرده شناخته می‌شود، یکی از مهم‌ترین اعضای خانواده سیب‌زمینی‌سانان است و در مناطق گرمسیری به صورت چندساله و در مناطق معتدله به صورت یک‌ساله کشت می‌شود. میوه آن، یک سته کروی است و به صورت تازه، خشک، و در تهیه دسر و مربا استفاده می‌شود. میوه فیسالیس دارای مقادیر قابل توجهی از مواد معدنی و ویتامین‌ها مانند پتاسیم و ویتامین C و حاوی ترکیبات شیمیایی خاصی به نام ویتانولیدها است که خواص ضدتومور و ضدالتهابی دارند و به همین دلیل در طب سنتی حتی برای درمان بیماری‌هایی مانند سرطان، هپاتیت و بیماری‌های پوستی مصرف می‌شود (Fischer et al., 2011; LoNDoño, 2013; Shenstone et al., 2020). هم‌اکنون تقاضای بین‌المللی برای این محصول به عنوان یک "سوپرفود" در حال افزایش است و متناسب با آن، علاقه به کشت و پرورش این محصول به عنوان یک غذای سالم و مفید در سراسر جهان از جمله ایران روبه‌افزایش است (Goulart Júnior et al., 2017) و البته آمار دقیقی از کشت و پرورش این محصول در ایران موجود نیست.

کاسه گل فیسالیس دائمی است و در زمان برداشت به همراه میوه برداشت می‌شود. به صورت قراردادی بر اساس رنگ میوه و پوشش کاسه گل در زمان برداشت، چهار مرحله بلوغ برای میوه‌های فیسالیس وجود دارد: میوه سبز مایل به زرد با کاسه گل سبز (S1)، میوه زرد - نارنجی با کاسه گل زرد - سبز (S2)، میوه نارنجی با کاسه گل زرد (S3) و میوه نارنجی با کاسه گل قهوه‌ای خشک (S4). از نظر تظاهر و کیفیت پس از برداشت و عمر انبارمانی، میوه‌های مراحل ۱ و ۴ علی‌رغم برداشت نامناسب و غیرتجاری هستند، اما میوه‌های دو مرحله دیگر به ترتیب برای ارسال به بازارهای دوردست و بازارهای محلی مناسب هستند (Balaguera-López et al., 2016).

ملاتونین، یک مولکول پلی‌تروپیک مشتق از تریپتوفان، به صورت درون‌زا در سلول‌های حیوانی، گیاهی، قارچی و پروکاریوتی تولید می‌شود و نقش‌های متعددی در گیاهان ایفا می‌کند. این مولکول با توجه به خواص پاداکسنده خود، در بسیاری از فرآورده‌های سیگنال‌دهی مرتبط با رشد و نمو گیاهان و همچنین سازگاری با شرایط تنش نقش دارد. ملاتونین به عنوان یک هورمون و تنظیم‌کننده گیاهی، با فیتوهورمون‌ها و گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن و نیتروژن مانند هیدروژن پراکسید (H_2O_2)، نیتریک اکسید (NO) و سولفید هیدروژن (H_2S) تعامل می‌کند. تحقیقات نشان داده‌اند که ملاتونین در حفظ سبزینه و تأخیر پیری برگ‌ها، تنظیم رسیدگی میوه‌ها پس از برداشت، و مقابله با تنش‌های زیستی و غیرزیستی نظیر شوری، خشکی،

دماهای شدید و تنش فلزات سنگین نقش مؤثری دارد (Soleimani Aghdam et al., 2023; Sun et al., 2021; Xu et al., 2019). ملاتونین در حفظ کیفیت حسی و تغذیه‌ای پس از برداشت محصولات باغبانی که از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردارند، نقش کلیدی ایفا می‌کند. کاربرد برون‌زاد ملاتونین می‌تواند سطح ملاتونین درون‌زاد را افزایش دهد، آنزیم‌های پاداکسنده و پاداکسنده‌های غیرآنزیمی را تقویت کرده و به بهبود فرآورده‌های فیزیولوژیکی مختلف کمک کند. شواهد علمی نشان می‌دهند که افزایش مقدار درون‌زاد ملاتونین، چه به صورت تحریک غیرمستقیم و چه به صورت کاربرد برون‌زاد، می‌تواند به عنوان یک ابزار هدفمند برای بهبود بازاریابی و افزایش درآمد از محصولات باغبانی برداشت‌شده مورد استفاده قرار گیرد (Soleimani Aghdam et al., 2023; Sun et al., 2021; Xu et al., 2019).

به عنوان مثال، در پژوهشی کاربرد ملاتونین در غلظت ۶۰۰ میکرومولار به طور مؤثری از نرم شدن میوه گواوا (*Psidium guajava* L.) جلوگیری نمود. تیمار نام‌برده با تقویت نظام پاداکسنده آنزیمی و غیرآنزیمی، و با کاهش مقادیر آنیون‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید، آسیب اکسیداتیو میوه را کاهش داد. در پاسخ به تیمار، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز افزایش یافت. ملاتونین همچنین سبب حفظ بهتر مقادیر فلاونوئیدهای کل و اسید آسکوربیک شد (Fan et al., 2022).

در پژوهشی دیگر، تیمار میوه‌های کیوی (*Actinidia chinensis*) با غلظت ۰/۱ میلی مولار ملاتونین، نرم شدن میوه و کاهش اسید قابل تیترا را به تأخیر انداخت، افزایش محتوای مواد جامد محلول کل را مهار کرد، نرخ تنفس و تولید اتیلن را کاهش داد و محتوای بالاتری از اسید آسکوربیک را در طول نگهداری حفظ کرد و به این ترتیب سبب بهبود ماندگاری و حفظ کیفیت محصول در دوره انبارمانی شد (Luo et al., 2022).

عمر انبارمانی میوه فیسالیس که از انواع میوه‌های فسادپذیر با الگوی رسیدن فرازگرا است، بدون کاسه گل تنها چهار الی پنج روز است (Cedeño & Montenegro, 2004). از این رو، رویارویی صحیح با چالش موجود در عرضه میوه سالم و باکیفیت در بازارهای محلی به هدف مصرف بلادرنگ و تازه‌خوری ضرورت دارد، بنابراین هدف از پژوهش حاضر تلاش برای بهبود عمر انبارمانی و کیفیت پس از برداشت میوه‌های فیسالیس برداشت‌شده در مرحله سوم (S3) بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

میوه‌های کاملاً نارنجی گیاه فیسالیس با کاسبرگ‌های کاملاً زرد از یک گلخانه تجاری در پاسارگاد (استان فارس) برداشت شدند. این میوه‌ها به سرعت با استفاده از جعبه‌های مقوایی به آزمایشگاه منتقل شدند. میوه‌های مناسب با ارزیابی بصری انتخاب شدند که در این ارزیابی به یکنواختی اندازه، رنگ، و عدم وجود آسیب یا آلودگی توجه شد. پس از آن، میوه‌ها با آب دیونیزه شسته و در دمای اتاق خشک شدند.

تیمارها

در ابتدا، ملاتونین تهیه شده از شرکت سیگما آلدْرِیج (Sigma Aldrich) ساخت کشور اسپانیا، در اتانول حل شد و سپس با آب مقطر رقیق شد تا به غلظت‌های مورد نظر ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار برسد. هر تیمار شامل غوطه‌ور کردن ۶۰ میوه به مدت پنج دقیقه در محلول‌های ملاتونین بود و از آب مقطر به عنوان شاهد استفاده شد. میوه‌های تیمار شده برای ۳۰ دقیقه در دمای اتاق خشک شدند و سپس در کیسه‌های پلی‌اتیلن با ضخامت ۰/۰۳ میلی‌متر (ابعاد ۱۰ × ۵ × ۲۰ سانتی‌متر) با نسبت سوراخ سه درصد بسته‌بندی شدند. این میوه‌ها به مدت ۲۱ روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 5 ± 90 درصد انبار شدند. میوه‌ها به صورت هفتگی از انبار خارج و در طول ۲۱ روز مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین، به منظور بررسی و نه برای مقایسه‌های آماری، ویژگی‌های مد نظر در روز اول آزمایش و قبل از شروع دوره نگهداری نیز سنجش شدند.

طرح آزمایشی

طرح آزمایشی مورد استفاده فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) شامل ۱۲ تیمار با سه تکرار برای هر تیمار (۲۰ میوه در هر تکرار) بود. عوامل آزمایشی شامل غوطه‌وری میوه‌ها در چهار سطح غلظت محلول ملاتونین (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میکرومولار و آب مقطر به عنوان شاهد) و زمان نمونه‌برداری در سه سطح (روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ انبارمانی) بود.

نرخ تنفس میوه

مقدار مشخصی از میوه تازه فیسالیس در یک محفظه شیشه‌ای بدون هوا قرار گرفت و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انکوبه شد. میزان دی‌اکسیدکربن تولید شده توسط تنفس میوه با استفاده از حسگر دی‌اکسیدکربن Altro ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شد و به صورت میلی گرم دی‌اکسیدکربن به ازای کیلوگرم میوه تازه در ساعت بیان شد (Hayati et al., 2023).

مواد جامد محلول کل (TSS)، اسیدیته قابل تیتر (TA)

مواد جامد محلول کل آب‌میوه با استفاده از یک قندسنج دستی (ATAGO-B933475) اندازه‌گیری و به صورت درصد بیان شد. برای تعیین اسیدیته قابل تیتر، روش تیتر کردن با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به اسیدیته ۸/۲ انجام شد. نتایج به صورت درصد اسید سیتریک بیان شد (Hayati et al., 2023).

اسید آسکوربیک آب‌میوه

اسید آسکوربیک آب‌میوه با استفاده از روش تیتر کردن ۲۶- دیکلروفنول‌ایندوفنول اندازه‌گیری شد و به صورت میلی گرم در ۱۰۰ گرم آب‌میوه گزارش شد (Taghipour & Assar, 2022).

فنول کل آب‌میوه

میزان کل فنول با استفاده از روش رنگ‌سنجی فولین - سیوکالتیو اندازه‌گیری شد (Pennycooke et al., 2005). در این روش، ۱۳۵ میکرولیتر عصاره میوه با ۷۵۰ میکرولیتر معرف فولین - سیوکالتیو ۱۰ درصد و ۶۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۷/۵ درصد ترکیب شد. مخلوط به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد و سپس میزان جذب در ۷۶۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر خوانش شد. پس از رسم منحنی کالیبراسیون با کاربرد اسید گالیک به عنوان استاندارد، میزان فنول کل به صورت میکرومول اسید گالیک در گرم وزن تازه میوه کمی‌سازی شد.

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز (PAL) آب‌میوه

فعالیت PAL با استفاده از روش دی کونا و همکاران (D'Cunha et al., 1996) ارزیابی شد و به صورت واحد در هر گرم وزن تازه گزارش شد. به اختصار، یک میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (اسیدیته ۷)، ۰/۵ میلی‌لیتر فنیل آلانین ۱۰ میلی مولار، ۰/۴ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت انکوبه شدند. واکنش با افزودن ۰/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک شش مولار متوقف شد و جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر خوانش شد.

فعالیت پاداکسنده کل آب‌میوه

سه میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به یک گرم نمونه میوه اضافه شد و مخلوط به مدت یک شب در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از سانتریفیوژ در دور ۱۰۰۰ به مدت دو دقیقه، مایع رویی جمع‌آوری شد تا میزان فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تجزیه و تحلیل شود. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از آزمون حذف رادیکال‌های آزاد ۲،۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل (DPPH)

داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس (ANOVA) تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه‌های میانگین با استفاده از آزمون کمینه اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تمام تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار تمام عوامل آزمایشی و برهم‌کنش آن‌ها بر تمامی صفات مورد ارزیابی بود (جدول ۱).

نرخ تنفس میوه

روند تغییر نرخ تنفس میوه‌های شاهد و تحت تیمار به‌صورت افزایش معنی‌دار تا روز ۱۴ از دوره انبارمانی و کاهش معنی‌دار متعاقب آن تا پایان دوره بود. در تمام زمان‌های نمونه‌گیری، شدت تنفس میوه‌های شاهد به‌صورت معنی‌داری بیش از میوه‌های تحت تیمار ملاتونین بود. در انتهای آزمایش، کمینه میزان نرخ تنفس به‌ترتیب با مقادیر حدود ۴۷ و ۴۹ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن به‌ازای کیلوگرم میوه تازه در ساعت، مربوط به میوه‌های تحت تیمار با غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین بود و میوه‌های شاهد با حدود ۷۴/۵ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن به‌ازای کیلوگرم میوه تازه در ساعت، بیشینه نرخ تنفس را دارا بودند (شکل ۱-الف).

مواد جامد محلول کل (TSS) آب‌میوه

در مورد میوه‌های شاهد، مقدار TSS آب‌میوه در بازه زمانی روزهای هفتم الی چهاردهم انبارمانی افزایش معنی‌دار یافت، اما در ادامه دوره دچار تغییر آماری نشد. در مورد هرکدام از گروه‌های تحت تیمار با غلظت‌های مختلف ملاتونین تا چهاردهمین روز انبارمانی، تفاوتی از نظر میزان این شاخص نسبت به روز هفتم خود مشاهده نشد، اما در ادامه به‌نحوی افزایش اتفاق افتاد که مقدار TSS روز انتهای انبارمانی به‌صورت معنی‌داری نسبت به روز هفتم بیشتر بود. به‌هرحال، در هرکدام از زمان‌های نمونه‌گیری، تفاوتی بین میزان TSS آب‌میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف ملاتونین وجود نداشت و نسبت به شاهد TSS کمتری داشتند (شکل ۱-ب).

اسیدیتة قابل تیتراسیون (TA) آب‌میوه

روند تغییر میزان TA آب‌میوه‌های گروه‌های آزمایشی به‌صورت کاهش معنی‌دار بود، با این توضیح که در هر گروه، مقدار اندازه‌گیری‌شده در هر زمان نسبت به زمان پیشین به‌صورت معنی‌دار کمتر بود.

ارزیابی شد (Hayati et al., 2023). برای این منظور، ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH متانولی ۰/۱ میلی‌مولار با ۵۰ میکرولیتر عصاره متانولی مخلوط شد. مخلوط در دمای اتاق به‌مدت ۳۰ دقیقه استراحت داده شد و میزان جذب در ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری گردید. توانایی پالایش رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

(۱) جذب شاهد / (جذب نمونه - جذب شاهد) $\times 100$ = توانایی پالایش رادیکال‌های آزاد DPPH (درصد بازدارندگی)

فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO) آب‌میوه

عصاره‌گیری و سنجش فعالیت آنزیمی طبق روش توضیح داده‌شده توسط تقی‌پور و همکاران (Taghipour et al., 2021) انجام شد. به‌اختصار، پنج گرم بافت تازه به‌مدت دو دقیقه در مخلوط‌کن پیش‌سردشده حاوی ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم سرد (۰/۱ مولار، اسیدیتة ۷/۲) با یک درصد Triton X-100 همگن شد. همگن حاصل فیلتر و به‌مدت ۱۵ دقیقه در دور ۵۰۰۰ در دمای دو درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد. مایع رویی برای آزمایش فعالیت آنزیمی نگهداری شد. برای سنجش فعالیت PPO، نرخ اولیه افزایش جذب در ۴۲۰ نانومتر مد نظر قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (اسیدیتة ۶)، ۰/۳ میلی‌لیتر کاتکول ۰/۵ مولار به‌عنوان پیش‌ماده و ۰/۲ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی بود و حجم کل به سه میلی‌لیتر رسید. بلانک شامل سه میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات (اسیدیتة ۶) بود. دو شاهد استفاده شد: ۲/۷ میلی‌لیتر بافر و ۰/۳ میلی‌لیتر پیش‌ماده و دیگری ۲/۸ میلی‌لیتر بافر و ۰/۲ میلی‌لیتر پیش‌ماده. جذب شاهدها از جذب نمونه کسر شد. یک واحد فعالیت آنزیمی به‌عنوان افزایش در جذب به‌مقدار ۰/۰۰۱ در دقیقه تعریف شد و فعالیت ویژه آنزیم به‌صورت واحد در هر گرم وزن تازه بیان شد.

کاروتنوئید پوست

برای تعیین میزان کاروتنوئید، ۰/۱ گرم پوست میوه با هفت میلی‌لیتر دی‌متیل سولفوکساید به‌عنوان حلال عصاره‌گیری شد. مخلوط به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد و سپس حجم عصاره به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. میزان جذب در طول موج‌های ۴۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانش شد. میزان کاروتنوئید با استفاده از معادلات مربوطه محاسبه شد و به‌صورت میکروگرم به‌ازای هر گرم وزن تازه بیان شد (Hiscox & Israelstam, 1979).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمار برون‌زاد ملاتونین بر برخی ویژگی‌های میوه فیسالیس حین انبارمانی.
Table 1- ANOVA for the effect of exogenous melatonin treatment on some fruit characteristics of physalis during storage.

منابع تغییر Source of variation	درجه df	میانگین مربعات Mean squares											
		نرخ تنفس میوه Fruit respiration rate	مواد جامد محلول Juice TSS	اسید قابل تیتر Juice TA	اسید آسکوربیک Juice ascorbic acid	فیول کل آب Juice total phenol	فعالیت فنیل آلانین Juice PAL activity	فعالیت پاداکسندہ آب میوه Juice antioxidant activity	فعالیت پلی فنول Juice PPO activity	اکسیداز آب میوه Peel carotenoid	کاروتنوئید پوست		
غوطه‌وری در ملاتونین Dip in melatonin (DM)	3	1370.87**	3.98**	0.06**	2735.98**	4.20**	182.53**	225.32**	28.88**	12.61**			
زمان Time (T)	2	1743.29**	1.78**	0.29**	29702.77**	7.71**	4.75**	366.49**	4.60**	36.91**			
DM×T	6	43.18**	0.17*	0.01**	452.82**	0.11*	4.75**	4.21**	0.32*	0.24*			
خطا Error	24												
ضریب تغییرات CV (%)		4.66	1.44	1.44	3.61	2.23	2.67	2.38	4.86	4.87			

***، **، * و : به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری.
***، **، * and ns: significantly different at 1%, 5% and no significant differences, respectively.

غلظت ملاتونین و شاهد وجود نداشت. در دو زمان نمونه‌برداری ابتدایی نیز تفاوتی بین فنول کل آب‌میوه‌های شاهد و تیمار شده با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین نبود (شکل ۱-ث).

فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالایز (PAL) آب‌میوه

سطح فعالیت آنزیم PAL در شروع آزمایش ۲۱/۵۵ واحد در هر گرم وزن تازه بود. مقدار این شاخص در میوه‌های شاهد با گذشت زمان انبارمانی با کاهش معنی‌دار در هر زمان نمونه‌گیری نسبت به زمان قبلی همراه بود و در نهایت به ۱۴/۴۴ واحد در هر گرم وزن تازه رسید. در مورد میوه‌های تیمار شده با دو غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین علی‌رغم افزایش اولیه به‌ترتیب حدود ۲/۵ و ۳/۵ واحدی فعالیت آنزیم در روز هفتم نسبت به شروع آزمایش، تغییری در میزان شاخص نام‌برده با گذشت بیش‌تر زمان مشاهده نشد. روند تغییر فعالیت آنزیمی در میوه‌های تحت تیمار با غلظت ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین به‌صورت افزایشی بود، به‌گونه‌ای که در نهایت در انتهای دوره انبارمانی، مقدار این شاخص (۲۷/۶۹ واحد در هر گرم وزن تازه) نسبت به روز هفتم (۲۶/۴۱ واحد در هر گرم وزن تازه) به‌صورت معنی‌دار بیشتر بود. البته سطح این شاخص در میوه‌های تحت تیمار با بالاترین غلظت ملاتونین همواره بیش از میوه‌های سایر گروه‌های آزمایشی بود (شکل ۱-ج).

فعالیت پاداکسنده آب‌میوه

روند تغییر سطح فعالیت پاداکسنده تمام گروه‌های آزمایشی به‌صورت کاهش معنی‌دار در طول زمان انبارمانی بود، با این توضیح که در مورد هر گروه در هر زمان نمونه‌برداری نسبت به زمان قبلی کاهش معنی‌دار مشاهده شد. استثناء میوه‌های تیمار شده با بالاترین غلظت ملاتونین بودند که تا روز ۱۴ از انبارمانی، سطح فعالیت پاداکسنده بی‌تغییر بود و پس از آن کاهش معنی‌دار اتفاق افتاد، اما به هر حال در تمام زمان‌های نمونه‌برداری، میوه‌های تحت تیمار با غلظت‌های بالاتر ملاتونین نسبت به سایر گروه‌های آزمایشی فعالیت پاداکسنده آب‌میوه بیشتری داشتند. در انتهای دوره انبارمانی، میوه‌های تحت تیمار با غلظت ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین با حدود ۴۰ درصد بیش‌ترین و میوه‌های شاهد با حدود ۲۸ درصد کم‌ترین مقادیر این شاخص را دارا بودند (شکل ۱-چ).

فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO) آب‌میوه

روند تغییر فعالیت آنزیم PPO در تمام گروه‌های آزمایشی به‌صورت کاهش معنی‌دار در تمام زمان‌های نمونه‌برداری نسبت به زمان پیشین بود. به‌طور کلی، تیمار میوه‌ها با غلظت‌های بالاتر ملاتونین با کاهش بیش‌تر سطح فعالیت آنزیم PPO همراه بود.

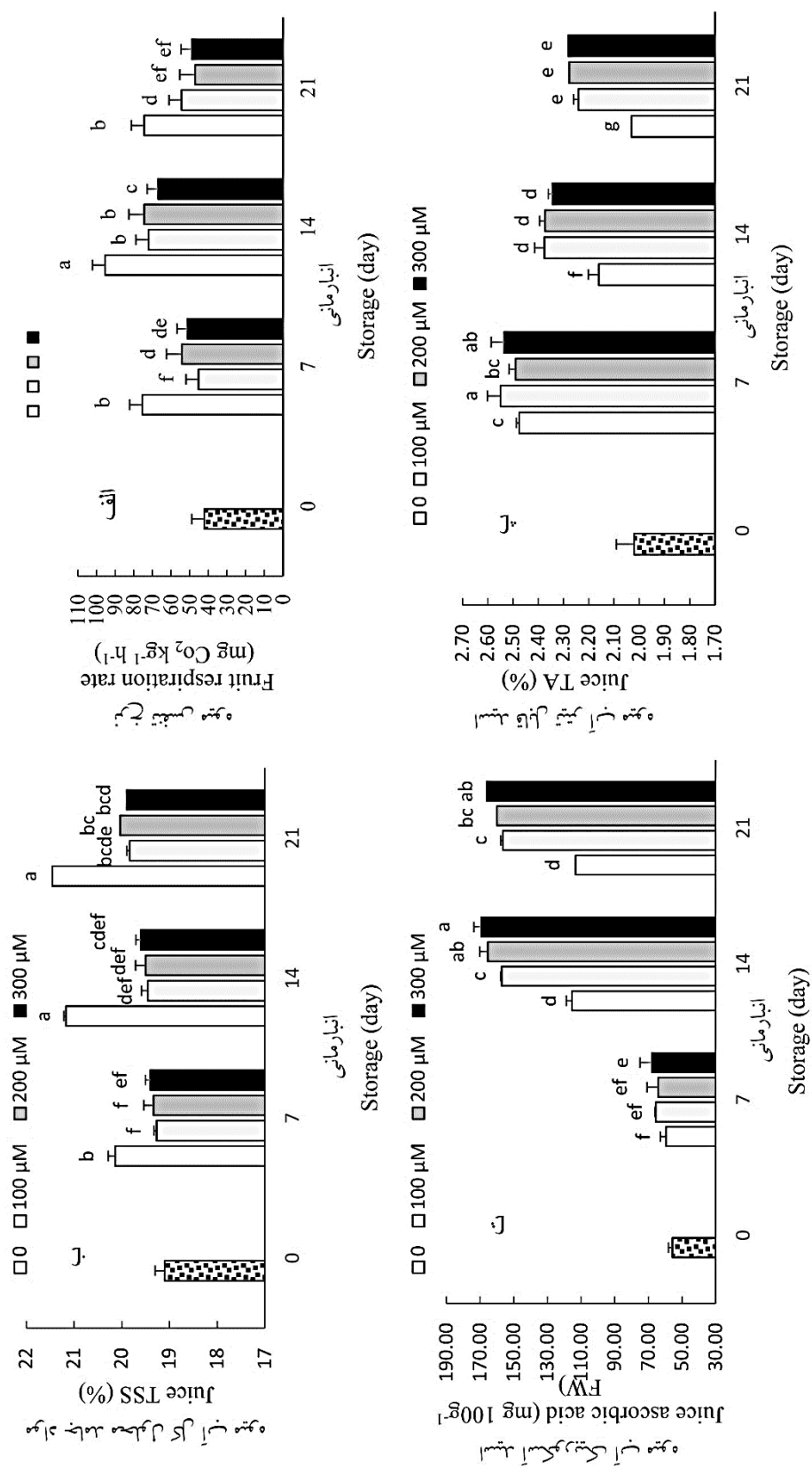
اما تفاوت عمده‌ای بین میزان TA آب‌میوه‌های تحت تیمار با ملاتونین و میوه‌های شاهد وجود داشت و در تمام زمان‌های نمونه‌گیری میوه‌های تحت تیمار میزان TA بیشتری نسبت به گروه شاهد داشتند. در دو زمان نمونه‌گیری انتهایی آزمایش، تفاوتی بین خود میوه‌های تحت تیمار با غلظت‌های مختلف ملاتونین وجود نداشت (شکل ۱-پ).

اسید آسکوربیک آب‌میوه

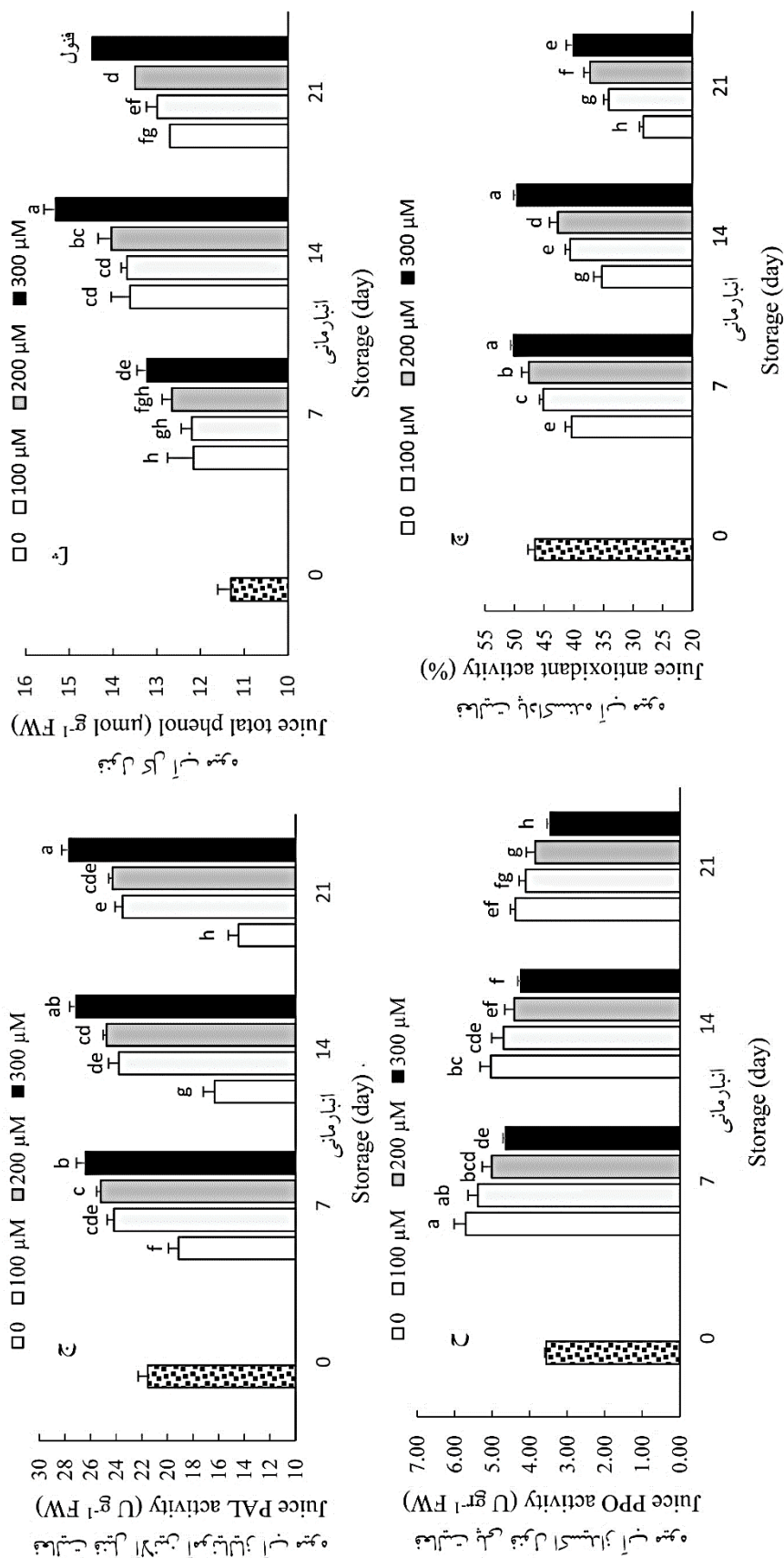
در هفتمین روز انبارمانی، میزان اسید آسکوربیک میوه‌های تحت تیمار با غلظت‌های مختلف ملاتونین مشابه هم و مشابه با میوه‌های شاهد بود و تنها استثناء میوه‌های تیمار شده با ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین (حاوی ۶۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب‌میوه) بود که نسبت به شاهد (حاوی ۵۹/۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب‌میوه) اسید آسکوربیک بیشتری داشتند. روند تغییر این شاخص در ادامه دوره انبارمانی و در همه گروه‌های آزمایشی به‌صورت افزایش معنی‌دار تا روز چهاردهم و عدم تغییر معنی‌دار تا انتهای دوره انبارمانی بود. بیش‌ترین مقدار این شاخص در بیست و یکمین روز انبارمانی (حدود ۱۶۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب‌میوه) مربوط به میوه‌های تحت تیمار با ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین بود که مشابه با میوه‌های تحت تیمار با ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین بود، اما نسبت به سایر گروه‌ها به‌ویژه میوه‌های شاهد (حدود ۱۱۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب‌میوه) به‌صورت معنی‌دار بیش‌تر بود (شکل ۱-ت).

فنول کل آب‌میوه

روند تغییر محتوای فنول کل آب‌میوه در تمام گروه‌های آزمایشی به‌صورت افزایش معنی‌دار در بازه زمانی روزهای ۷ الی ۱۴ دوره انبارمانی و کاهش معنی‌دار در طی بازه هفت روزه انتهای دوره بود. در تمام زمان‌های نمونه‌برداری، میوه‌های تحت تیمار با بالاترین غلظت ملاتونین با اختلاف معنی‌داری بیش‌ترین محتوای فنول کل آب‌میوه را در بین همه گروه‌های آزمایشی دارا بودند و تفاوت بین سایر گروه‌های آزمایشی نیز در انتهای دوره انبارمانی مشهود شد، با این توضیح که هر چه غلظت تیمار به‌کاررفته بیش‌تر بود، سطح فنول کل آب‌میوه نیز با اختلاف معنی‌دار بیش‌تر از سطح مربوط به غلظت‌های کمتر بود. به عبارت دیگر، میوه‌های تیمار شده با غلظت ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین با حدود ۱۴/۵ میکرومول اسید گالیک در گرم وزن تازه بیش‌ترین و میوه‌های تحت تیمار با غلظت‌های ۲۰۰ و ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین با حدود ۱۳/۵ و ۱۳ میکرومول اسید گالیک در گرم وزن تازه میوه در رتبه‌های بعدی مقدار شاخص نام‌برده قرار گرفتند و از نظر آماری تفاوتی بین میوه‌های تحت تیمار با کم‌ترین



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر برخی ویژگی‌های میوه فیسالیس طی ۲۱ روز انبارمانی.
Figure 1- The effect of melatonin concentrations on some fruit characteristics of physalis during 21 days of storage. (LSD, $p \leq 0.05$).



ادامه شکل ۱ - اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر برخی ویژگی‌های میوه فیسالیس طی ۲۱ روز انبارمانی.
Figure 1 (continued) - The effect of melatonin concentrations on some fruit characteristics of physalis during 21 days of storage. (LSD, $p \leq 0.05$).

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون کمتر می‌شود. همان‌طور که در بخش نتایج شرح داده شده است، به‌طور کلی تیمار ملاتونین پس از برداشت منجر به کاهش تنفس و فعالیت PPO آب‌میوه، و بهبود یا حفظ مقادیر کاروتنوئید پوست، TSS، TA، اسید آسکوربیک، فنول کل، فعالیت آنزیم PAL و فعالیت پاداکسنده کل در آب‌میوه شد.

ملاتونین به‌عنوان یک هورمون گیاهی، ترکیبی ایمن و بی‌خطر برای محیط‌زیست شناخته می‌شود و به‌عنوان یک مولکول اصلی سیگنال‌دهی حین رویارویی با تنش‌های زیستی و غیرزیستی عمل می‌کند و خود به‌عنوان یک خنثی‌کننده قوی رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند (Arnao & Hernández-Ruiz, 2014; Tan et al., 1993). ملاتونین محرک بیان ژن‌های مرتبط با پاداکسندها، و تقویت‌کننده سازوکار مهار و خنثی‌سازی ROS است. علاوه بر این، ملاتونین ترکیب اسیدهای چرب غشاء را تغییر داده و نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع (unSFA/SFA) را افزایش داده و سختی غشاء را کاهش می‌دهد (Jannatizadeh et al., 2019; Luo et al., 2020). کاربرد برون‌زاد ملاتونین موجب افزایش محتوای ملاتونین درون‌زاد میوه و فعالیت ژن‌های بیوسنتز آن شده و به حفظ کیفیت در شرایط تنش پس از برداشت کمک می‌کند (Dubbels et al., 1995; Hu et al., 2017).

پیرو کاربرد ملاتونین، تأخیر در پیری و کندشدن نرخ تنفس میوه اتفاق می‌افتد (Onik et al., 2021; Rastegar et al., 2020; Tian, 2013). توانایی ملاتونین در مهار تنفس و تولید اتیلن و هم‌سویی با مهار فعالیت PPO به حفظ شاخص‌های کیفیت مانند TSS و TA و جلوگیری از قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ پوست و بافت گوشت میوه می‌انجامد، همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شده است (Bravo & Osorio, 2016; Kumar et al., 2014; Xu et al., 2007; Zhang et al., 2018).

علاوه بر حذف ROS اضافی از طریق نظام پاداکسنده آنزیمی، چندین پاداکسنده غیر آنزیمی نیز نقش مهمی در کاهش سمیت ROS و کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها ایفا می‌کنند. ملاتونین می‌تواند به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده عمل کند که بیان ژن‌های دفاعی بالادست و پایین‌دست را که کدکننده بسیاری از پاداکسندهای غیر آنزیمی هستند، تنظیم می‌کند (Xu et al., 2019).

اسید آسکوربیک (ASA) یک پاداکسنده غیر آنزیمی معمول است که می‌تواند ROS را به‌طور مستقیم پاک‌سازی کند (Liu et al., 2015). همسو با یافته‌های این پژوهش، بهاردواج و همکاران (Bhardwaj et al., 2022) گزارش کردند که تیمار ملاتونین منجر به افزایش سطح اسید آسکوربیک در آب‌میوه انبه (Mangifera indica) شد. بخشی از این افزایش به نقش مهم ملاتونین در

از نظر آماری در هر زمان نمونه‌برداری، سطح فعالیت آنزیمی میوه‌های تحت تیمار با ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین نسبت به میوه‌های شاهد به‌صورت معنی‌دار کمتر بود و میوه‌های تحت تیمار با ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین، حد واسط این دو گروه و با هر دو مشابه بودند. تا چهاردهمین روز از دوره انبارمانی، سطح فعالیت آنزیمی میوه‌های دو گروه تیمار شده با غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار ملاتونین مشابه هم بود، اما در ادامه دوره انبارمانی، میوه‌های تیمار شده با بالاترین غلظت ملاتونین کمینه سطح فعالیت آنزیمی (۳/۴۶ واحد در هر گرم وزن تازه) و میوه‌های شاهد بیشینه سطح آن را (۴/۳۹ واحد در هر گرم وزن تازه) دارا بودند (شکل ۱-ح).

کاروتنوئید پوست میوه

با گذشت زمان انبارمانی، سطح کاروتنوئید پوست میوه‌های همه گروه‌های آزمایشی با افزایش معنی‌دار همراه بود. در تمامی زمان‌های نمونه‌گیری، میزان کاروتنوئید پوست میوه‌های تحت تیمار نسبت به میوه‌های شاهد بیشتر بود و از نظر عددی میوه‌هایی که تحت تیمار غلظت‌های بالاتر ملاتونین بودند، میزان کاروتنوئید بیشتری داشتند. در انتهای دوره انبارمانی، تفاوت بین میزان کاروتنوئید پوست میوه‌های تحت تیمار با بالاترین غلظت ملاتونین (حدود ۱۵ میکروگرم به‌ازای هر گرم وزن تازه) و سایر گروه‌ها، به‌ویژه شاهد (حدود ۱۲ میکروگرم به‌ازای هر گرم وزن تازه) به‌طور واضح‌تر مشهود شد (شکل ۲).

بحث

میوه‌ها همانند سایر محصولات باغبانی در مرحله پس از برداشت دچار تنش اکسایشی می‌شوند که برآیند آن تخریب مولکول‌های درشت، اسیدهای نوکلئیک، چربی‌ها، پروتئین‌ها، کاهش عمر انبارمانی و افت کیفیت پس از برداشت است (Tian, 2013).

میوه‌ها نظام‌های پاداکسنده غیر آنزیمی شامل ترکیباتی مانند اسید آسکوربیک، آنتوسیانین‌ها و کاروتنوئیدها را برای مبارزه با گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS)، به‌عنوان عامل وقوع آبشار تخریب ساختارها و مولکول‌های حیاتی، توسعه داده‌اند (Miranda et al., 2020; Zhang et al., 2018; Zheng et al., 2019). این نظام‌ها، تجمع ROS و پراکسیداسیون چربی‌ها را کاهش می‌دهند و عمر پس از برداشت را با تقویت تمامیت سلولی افزایش می‌دهند (Noctor & Foyer, 1998).

بالاگوترا-لوپز و همکاران (Balaguera-López et al., 2016) دریافتند که با افزایش بلوغ میوه‌های فیسالیس، مقادیر تولید اتیلن، شدت تنفس، رنگ‌گیری و محتوای TSS بیشتر می‌شود، درحالی‌که

تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه مانند فنول‌ها، فلاونوئیدها و اسید آسکوربیک مربوط می‌شود (Hayati et al., 2023). عامل دیگر توانایی ملاتونین در مهار فعالیت‌های متابولیک، کاهش تنفس و تأخیر در پیری میوه است که به حفظ سطح اسید آسکوربیک کمک می‌کند (Rastegar et al., 2020). چنین گزارش شده است که کاربرد ملاتونین خارجی با افزایش رونویسی آنزیم‌های مرتبط با پاداکسندها، چرخه اسید آسکوربیک-گلوتاتیون را در هلو (*Prunus persica*) در دوره پس از برداشت فعال می‌کند که منجر به افزایش سطح اسید آسکوربیک و طولانی‌تر شدن عمر انبارمانی محصول می‌شود (Cao et al., 2018; Song et al., 2016). اثرات مشابه ملاتونین بر چرخه نام‌برده در مورد خیار (*Cucumis sativus*) نیز مشاهده شده است (Zhao et al., 2016).

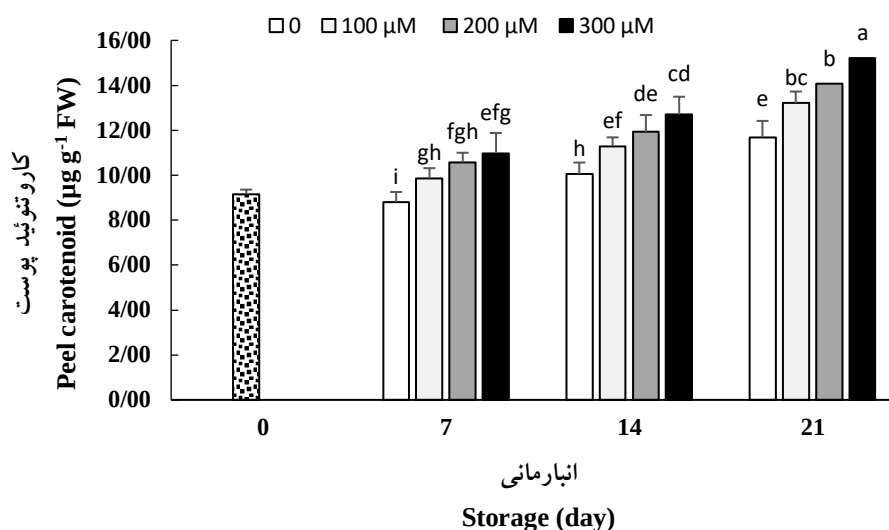
تیمار با ملاتونین به‌طور قابل توجهی ظرفیت پاداکسنده میوه‌های هسته‌دار را در طول نگهداری بهبود می‌بخشد که به‌طور مثبت با محتوای فنول کل مرتبط است (Liu et al., 2018; Puerta-Gomez & Cisneros-Zevallos, 2011). تنظیم بالادستی بیان ژن‌های مسیر فنیل‌پروپانویید توسط ملاتونین باعث افزایش مقادیر فنولیک‌ها می‌شود، همان‌طور که در برخی محصولات باغبانی تیمار شده با ملاتونین گزارش شده است (Zhang et al., 2016; Zhang et al., 2018). گزارش شده است که ملاتونین می‌تواند فعالیت فنیل‌آلانین آمونیا لایز را که به انباشت فنول‌ها کمک می‌کند، افزایش دهد که برای مهار پوسیدگی قارچی و افزایش عمر انبارمانی هلو و توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) در دوره پس از برداشت مفید است (Gao et al., 2018; Seifi et al., 2013).

ترکیبات فنولی می‌توانند با جلوگیری از وقوع و گسترش واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداتیو، از چربی‌های غشایی در برابر پراکسیداسیون محافظت کنند (Pennycooke et al., 2005). علاوه بر این، افزایش تأخیری آنزیم‌های مرتبط با قهوه‌ای شدن مانند پلی‌فنول اکسیداز در میوه‌های لیچی (*Litchi chinensis*) پس از تیمار با ملاتونین با افزایش محتوای فنول کل، فلاونوئیدها، و آنتوسیانین‌ها هم‌خوانی داشت که نشان می‌دهد، ملاتونین می‌تواند اکسیداسیون فنولی آنزیمی را مهار کند و قهوه‌ای شدن پوست را به تأخیر بیندازد (Zhang et al., 2018). افزایش متابولیت‌های ثانویه اساسی، شامل فنولیک‌ها، فلاونوئیدها و اسید آسکوربیک در پاسخ به تیمار ملاتونین به حفظ انرژی درون‌سلولی و حذف ROS کمک می‌کند (Gao et al., 2018; Wang et al., 2019).

یکی از چالش‌های کلیدی در مدیریت و فراوری پس از برداشت میوه فیسالیس، به‌ویژه میوه‌های ترک‌خورده، قهوه‌ای شدن آنزیمی

است که مشکلی رایج در صنعت میوه و سبزی‌ها است و به‌طور منفی بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد (Bravo & Osorio, 2016; Falguera et al., 2012). آنزیم مسئول این فرآیند، آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO) است که کاتالیزور هیدروکسیلاسیون مونو فنول‌ها به 0-دی فنول‌ها و اکسیداسیون بعدی 0-دی فنول‌ها به 0-کینون‌ها است (Falguera et al., 2012; Jiang et al., 2004). این کینون‌ها با آمینواسیدها و پروتئین‌ها واکنش داده و رنگدانه‌های قهوه‌ای تشکیل می‌دهند. فعالیت آنزیمی PPO در طول بلوغ میوه فیسالیس به‌طور قابل توجهی دچار تغییر می‌شود. به این صورت که بالاترین سطح فعالیت آن در مراحل اولیه نمو و کاهش تدریجی حدود ۶۳ درصد از مرحله نارس تا مرحله بیش از حد رسیده گزارش شده است. با این حال، این مقدار هنوز برای قهوه‌ای شدن میوه کافی است (Bravo & Osorio, 2016). در مطالعه حاضر، میوه‌های تیمار شده با ملاتونین به‌طور مداوم فعالیت آنزیمی کم‌تری نشان دادند و غلظت‌های بیشتر ملاتونین اثربخشی بیش‌تری داشتند، بنابراین این تیمار می‌تواند نه تنها برای حفظ کیفیت میوه‌های سالم، بلکه برای استفاده از میوه‌های ترک‌خورده در محصولات فراوری شده مانند آب‌میوه و پالپ، بدون به خطر انداختن ارزش غذایی و خواص ارگانولپتیک آن‌ها مفید باشد. براوو و اسوریو (Bravo & Osorio, 2016) گزارش کردند که مهار مؤثر فعالیت PPO برای حفظ کیفیت فیسالیس در طول نگهداری و فراوری آن الزامی است و ارزش تجاری و قابلیت فروش محصول را افزایش می‌دهد.

ملاتونین تأثیر قابل توجهی بر سنتز کاروتنوئیدها در انواع مختلف گونه‌های گیاهی دارد که اثرات آن به شدت وابسته به گونه و رقم گیاه و شرایط محیطی است. ملاتونین به‌طور مشخص سنتز کاروتنوئیدها را در میوه‌های گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) از طریق سازوکاری وابسته به اتیلن تحریک می‌کند و مقادیر α -کاروتن، β -کاروتن و لیکوپن (به عنوان کاروتنوئیدهای حیاتی برای سلامت گیاه و تغذیه انسان) را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. افزایش بیان ژن‌های بیوسنتز کاروتنوئیدها به عنوان منشأ این تغییرات گزارش شده است (Sun et al., 2020). در مقایسه با تأثیر مورد اشاره در گوجه‌فرنگی، تیمار ملاتونین در کلم بروکلی (*Brassica oleracea* var. *italica*) به کاهش مقادیر چندین نوع کاروتنوئید، از جمله β -کاروتن، β -کرپتوکسانتین، زآگزانتین و لوتئین، منجر شده است که به تأخیر در فرآیند زرد شدن بروکلی کمک می‌کند. سرکوب ژن‌های بیوسنتز کاروتنوئیدها، از جمله BoZDS، BoPDS، BoPSY، BoZEP و BoLCY β نقش کلیدی در این رخداد ایفا کرده است (Lou et al., 2023).



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر محتوی کاروتنوئید پوست میوه فیسالیس طی ۲۱ روز انبارمانی.
Figure 2- The effect of melatonin concentrations on the peel carotenoid content of physalis fruit during 21 days of storage. (LSD, $p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

به‌عنوان یک راهکار مؤثر می‌تواند در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه فیسالیس پس از برداشت مورد استفاده قرار گیرد و در نتیجه، عرضه محصول سالم و تازه به بازار را برای بازه زمانی طولانی‌تر امکان‌پذیر سازد.

مطالعه حاضر نشان داد که تیمار برون‌زاد میوه فیسالیس با ملاتونین در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرومولار موجب بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش عمر انبارمانی این محصول در مقایسه با گروه شاهد می‌شود. این بدان معنا است که استفاده از ملاتونین

References

1. Arnao, M.B., & Hernández-Ruiz, J. (2014). Melatonin: Plant growth regulator and/or biostimulator during stress? *Trends in Plant Science*, 19(12), 789–797. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.006>
2. Balaguera-López, H.E., Martínez-Cárdenas, C.A., & Herrera-Arévalo, A. (2016). Effect of the maturity stage on the postharvest behavior of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits stored at room temperature. *Bioagro*, 28(2), 117–124.
3. Bhardwaj, R., Pareek, S., Mani, S., Domínguez-Ávila, J.A., & González-Aguilar, G.A. (2022). A melatonin treatment delays postharvest senescence, maintains quality, reduces chilling injury, and regulates antioxidant metabolism in mango fruit. *Journal of Food Quality*, 2022, 2379556. <https://doi.org/10.1155/2022/2379556>
4. Bravo, K., & Osorio, E. (2016). Characterization of polyphenol oxidase from cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruit. *Food Chemistry*, 197, 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.126>
5. Cao, S., Shao, J., Shi, L., Xu, L., Shen, Z., Chen, W., & Zhenfeng, Y. (2018). Melatonin increases chilling tolerance in post-harvest peach fruit by alleviating oxidative damage. *Scientific Reports*, 8, 806. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19363-5>
6. Cedeño, M.M., & Montenegro, D.M. (2004). *Export, logistics and marketing plan for cape gooseberry to the United States market for Frutexpo SCI LTDA* (MSc. Thesis). Santo Tomas University. USTA Institutional Repository.
7. D'Cunha, G.B., Satyanarayan, V., & Madhusudanan Nair, P. (1996). Purification of phenylalanine ammonia lyase from *Rhodotorula glutinis*. *Phytochemistry*, 42(1), 17–20. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00914-0](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00914-0)
8. Dubbels, R., Reiter, R.J., Klenke, E., Goebel, A., Schnakenberg, E., Ehlers, C., Schiwar, H.W., & Schloot, W. (1995). Melatonin in edible plants identified by radioimmunoassay and by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Pineal Research*, 18(1), 28–31. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079x.1995.tb00136.x>
9. Falguera, V., Sánchez-Riaño, A.M., Quintero-Cerón, J.P., Rivera-Barrero, C.A., Méndez-Arteaga, J.J., & Ibarz, A. (2012). Characterization of polyphenol oxidase activity in juices from 12 underutilized tropical fruits with high agroindustrial potential. *Food Bioprocess Technology*, 5, 2921–2927. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0521-y>

10. Fan, S., Xiong, T., Lei, Q., Tan, Q., Cai, J., Song, Z., Yang, M., Chen, W., Li, X., & Zhu, X. (2022). Melatonin treatment improves postharvest preservation and resistance of guava fruit (*Psidium guajava* L.). *Foods*, 11(3), 262. <https://doi.org/10.3390/foods11030262>
11. Fischer, G., Herrera, A., & Almanza, P.J. (2011). *Cape Gooseberry (Physalis peruviana L.)*. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing. pp. 374-397e. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.374>
12. Gao, H., Lu, Z., Yang, Y., Wang, D., Yang, T., Cao, M., & Cao, W. (2018). Melatonin treatment reduces chilling injury in peach fruit through its regulation of membrane fatty acid contents and phenolic metabolism. *Food Chemistry*, 245, 659–666. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.008>
13. Goulart Júnior, R., Mondardo, M., & Waintuch Reiter, J.M. (2017). *Relatório sobre a fruticultura catarinense: Fruticultura em números – Safra 2014/15*. Epagri Documentos No. 271, 114 pp. Epagri.
14. Hayati, P., Hosseinifarahi, M., Abdi, G., Radi, M., & Taghipour, L. (2023). Melatonin treatment improves nutritional value and antioxidant enzyme activity of *Physalis peruviana* fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(4), 2782–2791. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01819-6>
15. Hiscox, J., & Israelstam, G.F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Botany*, 57(11), 1332–1334.
16. Hu, W., Yang, H., Tie, W., Yan, Y., Ding, Z., Liu, Y., Wu, C., Wang, J., Reiter, R.J., Tan, D.X., Shi, H., Xu, B., & Jin, Z. (2017). Natural variation in banana varieties highlights the role of melatonin in postharvest ripening and quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(43), 9987–9994. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03354>
17. Jannatizadeh, A., Aghdam, M.S., Luo, Z., & Razavi, F. (2019). Impact of exogenous melatonin application on chilling injury in tomato fruits during cold storage. *Food Bioprocess Technology*, 12(5), 741–750. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-2247-1>
18. Jiang, Y., Duan, X., Joyce, D., Zhang, Z., & Li, J. (2004). Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. *Food Chemistry*, 88, 443–446. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.004>
19. Kumar, R., Khurana, A., & Sharma, A.K. (2014). Role of plant hormones and their interplay in development and ripening of fleshy fruits. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 4561–4575. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru277>
20. Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.016>
21. Liu, N., Jin, Z., Wang, S., Gong, B., Wen, D., Wang, X., Wei, M., & Shi, Q. (2015). Sodic alkaline stress mitigation with exogenous melatonin involves reactive oxygen metabolism and ion homeostasis in tomato. *Scientia Horticulturae*, 181, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.049>
22. LoNDoño, J. (Ed.). (2013). *Physalis Peruviana: Fruta Andina Para El Mundo: Cultivo, Recurso Genético, Agroindustria, Normativa Y Mercado*. Madrid, Spain: Editorial Académica Española.
23. Lou, J., Wu, C., Wang, H., Cao, S., Wei, Y., Chen, Y., Jiang, S., Shao, X., & Xu, F. (2023). Melatonin treatment delays postharvest senescence of broccoli with regulation of carotenoid metabolism. *Food Chemistry*, 408, 135185. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135185>
24. Luo, S., Hu, H., Wang, Y., Zhou, H., Zhang, Y., Zhang, L., & Li, P. (2020). The role of melatonin in alleviating the postharvest browning of lotus seeds through energy metabolism and membrane lipid metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 167, 111243. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111243>
25. Luo, Z., Zhang, J., Xiang, M., Zeng, J., Chen, J., & Chen, M. (2022). Exogenous melatonin treatment affects ascorbic acid metabolism in postharvest 'Jinyan' kiwifruit. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1081476. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1081476>
26. Miranda, S., Vilches, P., Suazo, M., Pavez, L., García, K., Méndez, M.A., González, M., Meisel, L.A., Defilippi, B.G., & del Pozo, T. (2020). Melatonin triggers metabolic and gene expression changes leading to improved quality traits of two sweet cherry cultivars during cold storage. *Food Chemistry*, 319, 126360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126360>
27. Noctor, G., & Foyer, C.H. (1998). Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, 49, 249–279.
28. Onik, J.C., Wai, S.C., Li, A., Lin, Q., Sun, Q., Wang, Z., & Duan, Y. (2021). Melatonin treatment reduces ethylene production and maintains fruit quality in apple during postharvest storage. *Food Chemistry*, 337, 127753. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127753>
29. Pennycooke, J.C., Cox, S., & Stushnoff, C. (2005). Relationship of cold acclimation, total phenolic content, and antioxidant capacity with chilling tolerance in petunia (*Petunia × hybrida*). *Environmental and Experimental Botany*, 53(3), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.04.002>

30. Puerta-Gomez, A.F., & Cisneros-Zevallos, L. (2011). Postharvest studies beyond fresh market eating quality: Phytochemical antioxidant changes in peach and plum fruit during ripening and advanced senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 220–224. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.01.005>
31. Rastegar, S., Hassanzadeh Khankahdani, H., & Rahimzadeh, M. (2020). Effects of melatonin treatment on the biochemical changes and antioxidant enzyme activity of mango fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 259, 108835. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108835>
32. Seifi, H.S., Curvers, K., De Vleeschauwer, D., Delaere, I., Aziz, A., & Höfte, M. (2013). Concurrent overactivation of the cytosolic glutamine synthetase and the GABA shunt in the ABA-deficient sitiens mutant of tomato leads to resistance against *Botrytis cinerea*. *New Phytologist*, 199(2), 490–504. <https://doi.org/10.1111/nph.12283>
33. Shenstone, E., Lippman, Z., & Van Eck, J. (2020). A review of nutritional properties and health benefits of *Physalis* species. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(3), 316–325. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00821-3>
34. Soleimani Aghdam, M., Mukherjee, S., Flores, F.B., Arnao, M.B., Luo, Z., & Corpas, F.J. (2023). Functions of melatonin during postharvest of horticultural crops. *Plant & Cell Physiology*, 63(12), 1764–1786. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcab175>
35. Song, L., Wang, J., Shafi, M., Liu, Y., Wang, J., Wu, J., & Wu, A. (2016). Hypobaric treatment effects on chilling injury, mitochondrial dysfunction, and the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle in postharvest peach fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(22), 4665–4674. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00623>
36. Sun, C., Liu, L., Wang, L., Li, B., Jin, C., & Lin, X. (2021). Melatonin: A master regulator of plant development and stress responses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(1), 126–145. <https://doi.org/10.1111/jipb.12993>
37. Sun, Q., Liu, L., Zhang, L., Lv, H., He, Q., Guo, L., Zhang, X., He, H., Ren, S., Zhang, N., Zhao, B., & Guo, Y.D. (2020). Melatonin promotes carotenoid biosynthesis in an ethylene-dependent manner in tomato fruits. *Plant Science*, 298, 110580. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110580>
38. Taghipour, L., & Assar, P. (2022). The effect of postharvest polyamine application on the physicochemical traits, bioactive compounds, and antioxidant activity of sweet lime fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(1), 167–178. (In Persian with English abstract). <https://journal-irshs.ir/article-1-589-en.html>
39. Taghipour, L., Rahemi, M., Assar, P., Mirdehghan, S.H., & Ramezani, A. (2021). Intermittent warming as an efficient postharvest treatment affects the enzymatic and non-enzymatic responses of pomegranate during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 12–22. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00607-w>
40. Tan, D.X., Chen, L.D., Poeggeler, B., Manchester, L.C., & Reiter, R.J. (1993). Melatonin: A potent, endogenous hydroxyl radical scavenger. *Endocrine Journal*, 1(1), 57–60.
41. Tian, S. (2013). Molecular mechanisms of fruit ripening and senescence. *Chinese Bulletin of Botany*, 48(5), 481. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1259.2013.00481>
42. Wang, F., Zhang, X., Yang, Q., & Zhao, Q. (2019). Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries. *Food Chemistry*, 301, 125311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125311>
43. Xu, B.Y., Su, W., Liu, J.H., Wang, J.B., & Jin, Z.Q. (2007). Differentially expressed cDNAs at the early stage of banana ripening identified by suppression subtractive hybridization and cDNA microarray. *Planta*, 226(2), 529–539. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0502-6>
44. Xu, T., Chen, Y., & Kang, H. (2019). Melatonin is a potential target for improving post-harvest preservation of fruits and vegetables. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1388. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01388>
45. Zhang, N., Sun, Q., Li, H., Li, X., Cao, Y., Zhang, H., Li, S., Zhang, L., Qi, Y., Ren, S., Zhao, B., & Guo, Y.D. (2016). Melatonin improved anthocyanin accumulation by regulating gene expressions and resulted in high reactive oxygen species scavenging capacity in cabbage. *Frontiers in Plant Science*, 7, 197. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00197>
46. Zhang, Y., Huber, D.J., Hu, M., Jiang, G., Gao, Z., Xu, X., Jiang, Y., & Zhang, Z. (2018). Delay of postharvest browning in litchi fruit by melatonin via the enhancing of antioxidative processes and oxidation repair. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(30), 7475–7484. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01922>
47. Zhao, H., Ye, L., Wang, Y., Zhou, X., Yang, J., Wang, J., Cao, K., & Zou, Z. (2016). Melatonin increases the chilling tolerance of chloroplast in cucumber seedlings by regulating photosynthetic electron flux and the ascorbate-glutathione cycle. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1814. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01814>
48. Zheng, H., Liu, W., Liu, S., Liu, C., & Zheng, L. (2019). Effects of melatonin treatment on the enzymatic browning and nutritional quality of fresh-cut pear fruit. *Food Chemistry*, 299, 125116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125116>

Research Article

Vol. 39, No. 2, Summer 2025, p. 315-329

Evaluation of Drought Tolerance in Some Almond Commercial Cultivars (*Prunus dulcis* Mill.) on GN Vegetative Rootstock

S.A. Mousavi^{1*}, M. Tatari²

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

2- Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Isfahan, Iran

(* - Corresponding author's Email: sa.mousavi@areeo.ac.ir)

Received: 26 August 2024

Revised: 31 October 2024

Accepted: 11 November 2024

Available Online: 11 November 2024

How to cite this article:

Mousavi, S.A., & Tatari, M. (2025). Evaluation of drought tolerance in some almond commercial cultivars (*Prunus dulcis* Mill.) on GN vegetative rootstock. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 315-329. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89582.1375>

Introduction

Peach×almond (GN) hybrid rootstocks have favorable characteristics such as ease of rooting, favorable growth vigour, resistance to nematodes, calcareous and dry soil (Babadai et al., 2018). Currently, water deficiency caused by reduced rainfall is a major concern and a critical limitation for agricultural production (Hass et al., 2021). Under drought stress, plant cell membranes become more susceptible to electrolyte leakage. Membrane leakage is caused by uncontrolled free radicals and leads to lipid peroxidation (Cheng et al., 2018). Since tolerance to drought stress is the result of the interaction of morphological and physiological traits of plant, therefore, a combination of different traits that have a direct relationship with drought tolerance can be used as selection criteria to screen the ideal cultivar (Karimi et al., 2015).

Materials and Methods

This research carried out during the years 2020 and 2021 at the Chahartakhteh station affiliated to the Center for Research and Education of Agriculture and Natural Resources in Chaharmahal and Bakhtiari Province. The almond seedlings included Shahroud 6, 7, 8, 10, 12, 13 and 21, that all of them grafted on the GN rootstock, along with GN rootstock, subjected to different drought stress treatments in June for four months. Drought stress treatments included 70% of field capacity (control or no drought stress), 50% field capacity (mild stress), 30% field capacity (moderate stress) and 10% field capacity (severe stress). A counter determined the amount of irrigation in each treatment, and a Time-Domain Reflectometry (TDR) used to measure the soil moisture. Before the experiment, the physicochemical properties of the soil measured. The measured morphological traits included leaf area, percentage of leaf abscission, and shoot fresh and dry weight. These traits measured four months after subjecting to water stress. The evaluated physiological traits included electrolyte leakage (EL), relative leaf water content (RWC), leaf chlorophyll, proline and malondialdehyde (MDA). These traits also measured four months after subjecting to water stress. The experiment conducted in split plots based on a randomized complete block design in three replications and four seedlings in each experimental unit. The main plot included water drought treatments and the sub plot included almond cultivars. Data analysis carried out using SAS software version 9.2 and comparison of mean data conducted based on LSD test at a five percent probability level.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89582.1375>

Results and Discussion

As the intensity of drought stress increased, the fresh and dry weight of shoot decreased in almond cultivars and GN rootstock. At soil humidity of 10% field capacity, Shahroud 8 showed higher amounts of shoot fresh weight (785 g). The lowest fresh and dry weight of the shoot and the highest leaf abscission were observed under severe drought stress (10% of the field capacity) in Shahroud 13. The increase in drought levels led to a decrease in the leaf area in the studied cultivars and rootstock of almond. Shahroud 8 had more chlorophyll content than other cultivars at the most severe stress level, and Shahroud 13 showed the lowest chlorophyll b content at 10% humidity of field capacity. A significant decrease in leaf chlorophyll concentration under drought stress has also been reported in previous research (Schlemmer *et al.*, 2005; Gohari *et al.*, 2023). A further decrease in chlorophyll could be due to a drastic decrease in RWC under severe stress conditions. According to Ranjbar *et al.* (2022), the amount of RWC decreased by 32 to 44% under stress conditions in the K13-40 grafted cultivar on the rootstock of bitter almond No. 32. In the current research, the biggest decrease in RWC was in Shahroud 13 with a decrease of 36.85%. The lowest decrease in RWC was also observed in the GN rootstock with a decrease of 20.94%. Shahroud 13 and GN rootstock showed the highest and lowest electrolyte leakage at the highest stress level, respectively. Karimi *et al.* (2013) also found a significant increase in EL in White, Mamai and Ferragnes cultivars due to the higher sensitivity of these cultivars to water loss. The most difference in MDA value was observed in Shahroud 13 with an increase of 186.35% and the lowest difference was found in Shahroud 10 with an increase of 84.58%. Shahroud 6 produced the highest content of proline under severe water stress. According to the results, Shahroud 13 and then Shahroud 6 were recognized as the most sensitive cultivars. Shahroud 8 and 12 were among the tolerant cultivars. Other cultivars were also between these two groups.

Conclusions

Shahroud 13 was recognized as the most sensitive cultivar with the lowest fresh and dry weight, RWC and the highest ion leakage and MDA at the most severe stress level. After that, Shahroud 6 had high sensitivity. Shahroud 8 was recognized as the most drought tolerant cultivar due to its lowest MDA content, the highest chlorophyll a and b and RWC in the most level of drought. After Shahroud 8, Shahroud 12 was including the tolerant cultivars. Tolerant cultivars can be used in future studies to evaluate the possibility of planting these cultivars in areas with water shortage problems.

Keywords: Electrolyte leakage, Field capacity, Malondialdehyde, Proline, Water stress

ارزیابی تحمل به خشکی در برخی ارقام تجاری بادام (*Prunus dulcis* Mill.) بر روی پایه رویشی GN

سید اصغر موسوی^{۱*} - مریم تاتاری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱

چکیده

برای ارزیابی تحمل به خشکی در نهال‌های ارقام تجاری بادام (*Prunus dulcis* Mill.)، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری (شهرکرد) اجرا گردید. کرت اصلی شامل سطوح مختلف آبیاری براساس میزان درصد رطوبت قابل استفاده خاک بین ظرفیت زراعی (F.C) تا نقطه پژمردگی دائم (P.W.P) شامل ۷۰ درصد (شاهد یا بدون تنش)، ۵۰ درصد (تنش ملایم)، ۳۰ درصد (تنش متوسط) و ۱۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش شدید) تعیین و اعمال گردید. کرت فرعی، نهال‌های پیوندی ارقام شاه‌رود ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۲۱ بود که همگی بر روی پایه GN پیوند زده شده بودند. پایه رویشی GN نیز در کنار ارقام پیوندی کشت و مقایسه گردید. تیمارهای رطوبتی به مدت چهار ماه از اول خرداد تا پایان شهریور ماه اعمال شد و پس از آن صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی ثبت گردید. جهت اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) استفاده شد. طبق نتایج، کمترین وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تنش شدید خشکی در رقم 'شاه‌رود ۱۳' به ترتیب با میانگین‌های ۶۰۱ و ۳۶۴/۶۶ گرم مشاهده شد. در شدیدترین سطح تنش، رقم 'شاه‌رود ۸' بیشترین مقادیر کلروفیل a و b را به ترتیب با میانگین‌های ۷/۴۸ و ۲/۰۷ میلی‌گرم در گرم تر نشان داد. کمترین کاهش RWC در پایه GN با کاهش ۲۰/۹۴ درصدی دیده شد. این پایه کمترین نشت یونی (۴۳/۹۴ درصد) را نیز نشان داد. بیشترین افزایش در مقدار MDA در رقم 'شاه‌رود ۱۳' مشاهده گردید. رقم 'شاه‌رود ۶' در تنش رطوبتی شدید، بیشترین محتوای پرولین (۶۳/۱۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را داشت. در شدیدترین سطح تنش، ارقام 'شاه‌رود ۱۳' و '۶' به عنوان حساس‌ترین و ارقام 'شاه‌رود ۸' و '۱۲' به عنوان متحمل‌ترین ارقام به تنش خشکی شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، پرولین، ظرفیت زراعی، مالون‌دی‌آلدئید، نشت یونی

مقدمه

(1995). در چنین شرایطی، شناسایی ژنوتیپ‌ها و ارقام گیاهی متحمل به کم‌آبی اهمیت ویژه‌ای دارد و یکی از راه حل‌های مناسب برای توسعه کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید. با تغییر اقلیم، تنش خشکی و اثرات آن بر گیاهان دارای اهمیت بیشتری شده است (Mansourmoghaddam et al., 2021). یکی از مهم‌ترین اثرات کمبود آب طی فصل رویش، کاهش رشد سبزینه‌ای گیاهان است. کاهش سطح رویشی سبب می‌شود تا توانایی گیاه برای جذب نور و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی کاهش یابد که خود دلیلی بر کاهش وزن اندام‌ها می‌باشد (Karimi et al., 2015). براساس گزارش اعظمی و همکاران (Aazami et al., 2022)، در شرایط خشکی، وزن خشک شاخساره در ارقام مختلف بادام (*Prunus dulcis* Mill.) کاهش یافت. برزگر و همکاران (Barzegar et al.,

بخش عمده مساحت ایران از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد و کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در این مناطق می‌باشد (Alizadeh,

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

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
(*)- نویسنده مسئول:

(Email: asgharmousavi@gmail.com)<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89582.1375>

گزارش کردند که بین ارقام از نظر شاخص‌های ریخت‌شناختی از جمله سطح مقطع تنه، سطح مقطع شاخه، رشد شاخه و ارتفاع درخت، میزان ریزش و تاخوردگی برگ در شرایط تنش تفاوت معنی‌داری وجود داشت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به‌ترتیب ژنوتیپ‌های K۵۶، K۸۲۴، و ارقام سوپرنوا و آذر نسبت به بقیه ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی، مقاومت بهتری به تنش خشکی نشان دادند. صفوی و همکاران (Safavi et al., 2023) گزارش نمودند که پایه GN در مقایسه با ارقام بادام مورد مطالعه از نظر شاخص‌های رشدی کمتر تحت تأثیر تنش آبی قرار گرفت و تحمل بیشتری به خشکی نشان داد. کریمی و همکاران (Karimi et al., 2015) گزارش نمودند که مقدار نسبی آب برگ (RWC) در ژنوتیپ‌های حساس بادام کاهش و نشت یونی افزایش یافت. براساس گزارش این محققان، محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء سلولی و غلظت رنگیزه‌ها در برگ رقم سوپرنوا و پایه GF677 تحت شرایط تنش اسمزی به‌صورت معنی‌داری بیشتر از سایر ارقام بوده است که احتمالاً از سازوکارهای مقاومت به تنش خشکی در بادام می‌باشد. در پژوهش دیگری توسط فتحی و همکاران (Fathi et al., 2019)، گزارش شد که در پاسخ به تنش خشکی، ارقام فرانسیس و سه‌ند روی پایه GN، بیشترین RWC و کمترین کاهش در وزن تر و خشک اندام هوایی، و ژنوتیپ‌های '۱۳-۴۰' و 'K3-3-1' بیشترین ریزش برگ و کاهش در سطح کل برگ را در بین ارقام و ژنوتیپ‌های بادام نشان دادند. تنش خشکی با ایجاد اختلال در فرآیند انتقال الکترون در میتوکندری و کلروپلاست و با تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن، موجب آسیب اکسیداتیو به غشاء، افزایش نشت الکترولیت، پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه تولید مالون‌دی‌آلدئید در برگ ارقام بادام مورد مطالعه شده است (López-López et al., 2018). مقاومت گیاه به خشکی می‌تواند با ارزیابی محتوای MDA ارزیابی شود (Cheng et al., 2018). افزایش MDA در شرایط خشکی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Sarker & Oba, 2018; Nie et al., 2018).

تجمع پرولین تحت تنش خشکی، تولید اکسیژن اتمی را کم کرده و در نتیجه احتمال آسیب به غشاء کلروپلاست را کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2019). رقم سوپرنوا و ژنوتیپ‌های ایرانی ۸-۶ و B-124 به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی توسط کریمی و همکاران (Karimi et al., 2015) معرفی شده‌اند. در پژوهش دیگری، ایساکیدیس و همکاران (Isaakidis et al., 2004) براساس خصوصیات ریخت‌شناختی و پتانسیل آب برگ، رقم فرانسیس روی پایه GN22 را متحمل به تنش خشکی گزارش کردند که از نظر بیشتر خصوصیات مورد بررسی با پایه‌های GN15 و GF677 اختلاف معنی‌دار نداشت. دی‌هرالد (De Herralde, 2000) گزارش کرد که

ارقام مختلف بادام، در شرایط کمبود آب از نظر خصوصیات رویشی تفاوت‌های قابل توجهی با یکدیگر داشته‌اند. نتایج مرادی و همکاران (Moradi et al., 2019) نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ، میزان کلروفیل a و کل و افزایش معنی‌دار نشت یونی و پرولین آزاد برگ در پایه‌های بذری و رویشی بادام شد. از آنجایی که تحمل به تنش خشکی نتیجه برهم‌کنش صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه است، بنابراین ترکیبی از صفات مختلف که رابطه مستقیم با تحمل به خشکی دارند، می‌تواند به‌عنوان معیارهای گزینش برای غربال کردن رقم متحمل استفاده گردد (Karimi et al., 2015). بر این اساس، پژوهش حاضر به‌منظور مقایسه واکنش نهال‌های هفت رقم تجاری بادام پیونده‌شده روی پایه GN نسبت به سطوح مختلف تنش خشکی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها تیمارهای آزمایشی

این پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در ایستگاه چهارتخته وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری اجرا گردید. اوایل شهریور ماه سال ۱۳۹۷، ارقام بادام شامل ارقام شاه‌رود ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۲۱ بر روی پایه رویشی GN پیوند شدند. در اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ نهال‌های پیوندی یکنواخت از نظر سن، قطر ساقه و ارتفاع انتخاب و در زمین اصلی به فواصل ۵۰ سانتی‌متر روی ردیف و دو متر بین ردیف کشت شدند. پایه رویشی GN نیز در کنار ارقام پیوندی کشت گردید. با شروع فصل رشد در سال ۱۳۹۹، به‌مدت دو ماه قبل از شروع تیمار تنش آبیاری، مراقبت‌های لازم از نهال‌ها انجام گردید و سپس تنش خشکی به‌مدت چهار ماه از اول خرداد تا پایان شهریور ماه اعمال شد. به‌منظور اعمال تنش خشکی، در هر واحد آزمایشی، لوله‌های مخصوص دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) جهت اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک نصب شد. براساس قرائت دستگاه رطوبت‌سنج، آبیاری در تیمارهای مختلف براساس میزان درصد رطوبت قابل استفاده خاک بین ظرفیت زراعی (F.C) تا نقطه پژمردگی دائم (P.W.P) شامل ۷۰ درصد (شاهد یا بدون تنش)، ۵۰ درصد (تنش ملایم)، ۳۰ درصد (تنش متوسط) و ۱۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش شدید) تعیین و اعمال گردید. حجم آبیاری در هر تیمار توسط کنتور تعیین گردید. قبل از اجرای آزمایش، خاک زمین محل اجرای آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). براساس نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک، در پاییز قبل از کاشت ۴۰ کیلوگرم کود فسفره، ۴۰ کیلوگرم کود پتاس و ۴ تن کود دامی پوسیده‌شده به زمین مورد آزمایش افزوده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک محل آزمایش در دو سال مورد مطالعه

Table 1- Physico-chemical properties of the soil of experimental site during two studied years

سال Year	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Ec (dS.m ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (Mg.kg ⁻¹)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg.kg ⁻¹)	روی Zn (mg.kg ⁻¹)
2020	Loamy	7.88	1.012	0.761	0.06	21.20	354.00	4.25	11.47	0.95
2021	Loamy	7.90	0.925	0.41	0.04	8.40	231.00	4.01	9.63	0.63

صفات ریخت‌شناختی

صفات ریخت‌شناختی اندازه‌گیری شده شامل سطح برگ، درصد ریزش برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی بودند. این صفات چهار ماه بعد از اعمال تنش آبی اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح‌سنج (LI3100CAREA METER) و از میانگین ۲۴ عدد برگ بالغ و سالم از هر واحد آزمایشی که در گره‌های پنجم و ششم انتهایی ساقه اصلی قرار داشتند، انجام شد. درصد ریزش برگ طبق معادله (۱) محاسبه شد.

(۱) $\text{درصد ریزش برگ} = \frac{\text{تعداد برگ در شمارش اولیه} - \text{تعداد برگ باقی‌مانده روی شاخه}}{\text{تعداد برگ در شمارش اولیه}} \times 100$
در پایان دوره تنش، تعداد دو نهال از هر واحد آزمایشی از سطح خاک جدا و وزن تر اندام هوایی (شاخ و برگ) به‌وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس توزین گردید (Mousavi et al., 2009).

صفات فیزیولوژیکی

صفات فیزیولوژیکی ارزیابی شده شامل نشت یونی (EL)، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، کلروفیل برگ، پرولین و مالون‌دی‌آلدهید (MDA) بود. این صفات نیز چهار ماه بعد از اعمال تنش آبی اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری EL، قطعات برگ‌های یک سانتی‌متری به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در تاریکی قرار داده شدند. پس از آن، نشت یونی اولیه (EC_1) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج (EC متر) قرائت شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از اندازه‌گیری نشت یونی ثانویه (EC_2)، نشت الکترولیت از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Blum & Ebercon, 1981).

(۲) $EL = (EC_1/EC_2) \times 100$
برای برآورد RWC، ابتدا نمونه برگ‌های تازه وزن شد (FW) و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور شدند. پس از توزین (TW)، برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. وزن خشک برگ‌ها (DW) اندازه‌گیری شده و

محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد (Gohari et al., 2023).

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad (۳)$$

به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل، استخراج عصاره برگ به‌وسیله استون ۸۰ درصد انجام شد. جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید و غلظت کلروفیل a و b بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه گردید (Lichtenthaler & Wellburn, 1983). جهت اندازه‌گیری مقدار پرولین برگ، بافت تازه برگ با محلول سه درصد اسید سولفوسالسیلیک در هاون ساییده شد و سپس با معرف اسید نین-هیدرین و اسیداستیک گلاسیال مخلوط گردید. محلول حاصل در بن-ماری و پس از آن در حمام یخ نگهداری شدند. در مرحله بعد، چهار میلی‌لیتر تولوئن به عصاره حاصل اضافه گردید و جذب نوری در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین هر نمونه با استفاده از نمونه‌های استاندارد تهیه‌شده از پرولین خالص با وزن مولکولی ۱۱۵/۵ محاسبه گردید (Bates et al., 1973). برگ تازه نمونه‌های گیاهی به‌وسیله بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار عصاره‌گیری شده و سپس سانتریفیوژ گردید. محلول فوقانی با تری‌کلرواستیک ۲۰ درصد حاوی اسید تری‌تیوباربیتوریک مخلوط و در حمام آب گرم و بلافاصله در حمام یخ سرد گذاشته شد. پس از سانتریفیوژ، جذب محلول رویی در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید و مقدار مالون دی-آلدئید بر حسب میکرومول در گرم وزن تر محاسبه شد (Heath & Packer, 1968).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار نهال در هر واحد آزمایشی به اجرا درآمد. کرت اصلی شامل تیمارهای رطوبتی و کرت فرعی شامل ارقام بادام بود. تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج نشان داد که رقم شاهرود ۷ در شرایط رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین وزن تر اندام هوایی (۹۸۷/۳۳ گرم) را نشان داد. این رقم در ظرفیت زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد خاک نیز به ترتیب با میانگین‌های ۹۳۱/۶۶ و ۸۴۵/۶۶ گرم، وزن تر اندام هوایی بیشتری نسبت به سایر ارقام و GN داشت. در تنش ۱۰ درصد، شاهرود ۸ مقادیر بیشتری از وزن تر (۷۸۵ گرم) را نشان داد. کمترین وزن تر اندام هوایی تحت تنش شدید خشکی (۱۰ درصد ظرفیت زراعی) در رقم شاهرود ۱۳ با میانگین ۶۰۱ گرم مشاهده گردید. این رقم در سایر سطوح تنش نیز وزن تر اندام هوایی کمتری را نشان داد (جدول ۲). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که منجر به بروز تغییرات معنی‌داری در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان می‌شود (Okunlola et al., 2017). در پژوهشی، به‌طور مشابه وزن تر اندام هوایی ارقام بادام با افزایش سطح تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین وزن تر شاخساره در تیمار شاهد و رقم سنگی مشاهده شد (۴/۸۳۲ گرم). کمترین مقدار این صفت نیز در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و در رقم تلخ با میانگین ۱/۹۳۸ گرم مشاهده شد (Aazami et al., 2022). کاهش سطح رویشی سبب می‌شود تا توانایی گیاه برای جذب نور و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی کاهش یابد که خود دلیلی بر کاهش وزن اندام‌های هوایی می‌باشد.

رقم شاهرود ۸ در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، با میانگین ۵۴۵/۶۶ گرم بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشت. در رطوبت ۷۰ درصد، رقم شاهرود ۶ و در رطوبت‌های ۵۰ و ۱۰ درصد ظرفیت زراعی، پایه GN وزن خشک اندام هوایی بیشتری را نشان دادند. به‌طور مشابه با وزن تر اندام هوایی، شاهرود ۱۳ در رطوبت ۱۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۶۴/۶۶ گرم)، کمترین وزن خشک اندام هوایی را نشان داد. شاهرود ۱۰ در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهرود ۲۱ در رطوبت ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی را نشان دادند (جدول ۲). در پژوهش انجام‌شده توسط اعظمی و همکاران (Aazami et al., 2022)، بیشترین وزن خشک شاخساره در رقم سنگی و در تیمارهای ۷۵ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۲/۴۱۵ گرم و شاهد با میانگین ۲/۳۶۵ گرم به دست آمد. بادام تلخ در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۰/۷۷۷ گرم، کمترین وزن خشک شاخساره را به همراه داشت. در پژوهش این محققان، وزن تر و خشک در بین ارقام با یکدیگر هم‌خوانی داشتند، به‌طوری‌که رقم سنگی بیشترین وزن تر و خشک و رقم تلخ کمترین وزن تر و خشک را نشان داد. در پژوهش حاضر نیز هم‌خوانی

و همبستگی بین وزن تر و خشک در رقم شاهرود ۱۳ دیده شد که کمترین مقدار این دو صفت را داشت، درحالی‌که شاهرود ۸ نیز جزء ارقام با وزن تر و خشک بیشتر بود.

با کاهش مقدار آب میزان جذب عناصر، تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. افت قابل توجه سرعت رشد نسبی بیانگر کاهش ماده خشک تولیدشده در اثر کاهش رشد شاخ و برگ است. علاوه بر این، ریزش برگ نیز در کاهش نرخ فتوسنتز و کاهش وزن تر و خشک نهال‌ها دخالت دارد (Karimi et al., 2015). در این پژوهش، وزن تر و خشک نهال‌های تحت تنش ملایم به ترتیب بیش از ۲۵ و ۲۴ درصد وزن تر و خشک نهال‌های تحت تنش شدید بود. کاهش در وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در اثر تنش خشکی در گونه‌های درختی قبلاً نیز گزارش شده است (Gholami et al., 2010; Elfeel & Al-Namo, 2011).

ریزش برگ

بیشترین ریزش برگ در شاهرود ۱۳ و تیمار ۱۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۸/۲۵ درصد) حادث شد. این رقم در سایر تیمارهای رطوبتی نیز بیشترین درصد ریزش برگ را نشان داد. کمترین درصد ریزش برگ متعلق به ارقام شاهرود ۱۰ و ۱۲ در تیمار رطوبتی شاهد (۰/۳۱ درصد) بود. در رطوبت‌های ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، شاهرود ۸ کمترین ریزش برگ را داشت. این رقم به همراه شاهرود ۱۲ در تنش رطوبتی ۱۰ درصد ظرفیت زراعی نیز کمترین مقادیر ریزش برگ را نشان داد (جدول ۲). افزایش معنی‌دار در ریزش برگ ژنوتیپ‌های بادام تحت تنش شدید خشکی در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Kovalikova et al., 2020; Gohari et al., 2023). تنش خشکی باعث افزایش غلظت اتیلن شده و ریزش برگ اتفاق می‌افتد (Kovalikova et al., 2020). علاوه بر این گیاهان با کاهش تعداد برگ در دوره تنش می‌توانند شدت تعلق را کاهش دهند (Sinha et al., 2022). ایساکیدیس و همکاران (Issakidis et al., 2004) پایه GN22 را از لحاظ پتانسیل آب برگ و ریزش برگ، متحمل گزارش کردند. در پژوهش حاضر، ارقام شاهرود ۸، ۱۰، ۱۲ و پایه GN تحمل بیشتری به کاهش آب برگ نشان دادند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

سطح برگ

نتایج نشان داد که پایه GN بیشترین سطح برگ را داشت و در بین ارقام بادام مورد بررسی، شاهرود ۱۰ و سپس شاهرود ۱۲ سطح برگ بیشتری نسبت به سایر ارقام داشتند. کمترین سطح برگ نیز متعلق به شاهرود ۶ و شاهرود ۱۳ بود (شکل ۲). در بسیاری از گیاهان نواحی خشک و نیمه‌خشک، سازگاری به خشکی با کاهش

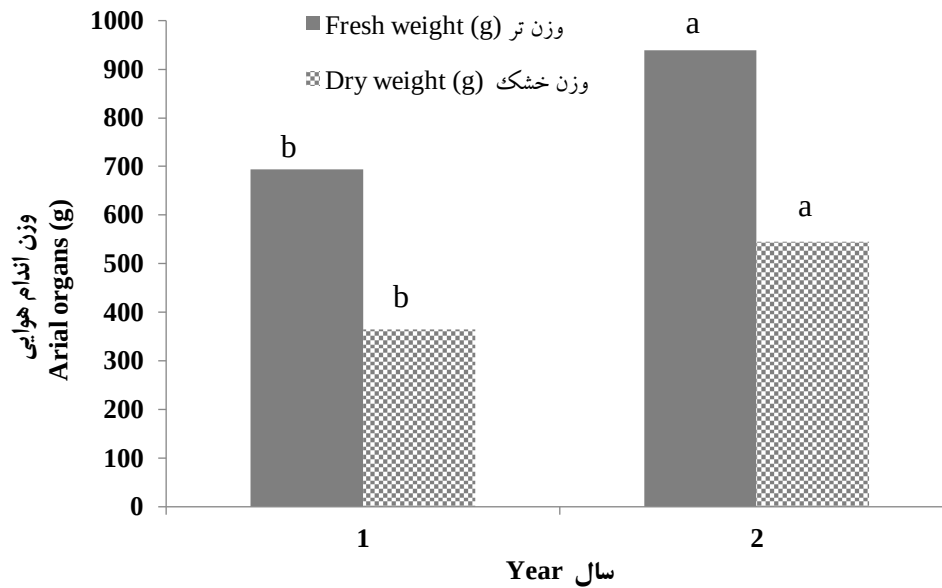
اندام‌های تعرق‌کننده از طریق کاهش سطح و یا ریزش برگ‌ها حاصل می‌شود و بدیهی است که کاهش سطح برگ، میزان فتوسنتز را نیز کاهش می‌دهد. سطح برگ یک ویژگی ژنتیکی می‌باشد که تغییرات اندک را در نتیجه شرایط محیطی تحمل می‌کند (Gispert & Vargas, 2011).

به‌طور کلی در این پژوهش، افزایش سطوح خشکی منجر به کاهش سطح برگ در ارقام و پایه مورد بررسی بادام گردید. سطح برگ در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) ۱/۴۹ برابر بیشتر از تیمار ۱۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳).

جدول ۲- اثر تنش خشکی و رقم پیوندشده روی پایه GN بر برخی خصوصیات رویشی بادام

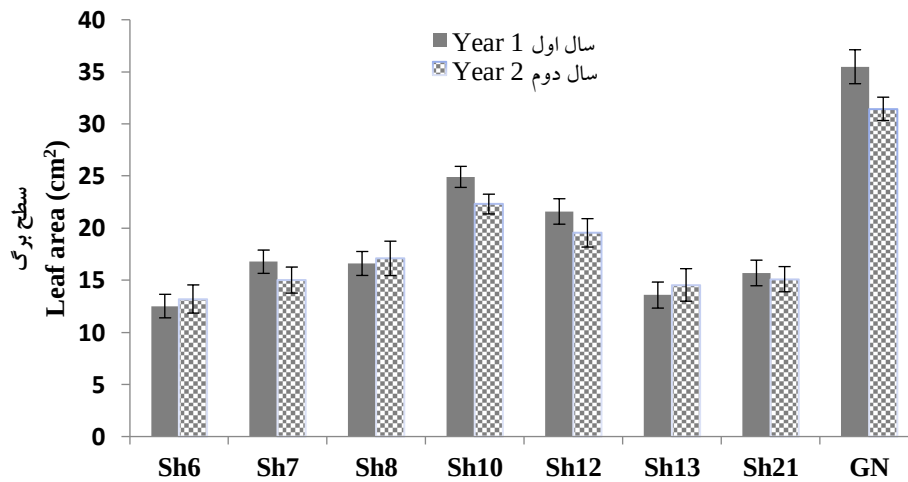
Table 2- The effect of drought stress and cultivar grafted on the GN rootstock on some vegetative characteristics of almond

تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) Drought stress (% field capacity)	رقم/پایه Cultivar/ rootstock	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight (g)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)	ریزش برگ Leaf abscission (%)
70%	شاهرود ۶ Sh 6	943±136.11	534.83±110.26	0.45±0.05
	شاهرود ۷ Sh 7	987.33±136.23	514.83±107.99	0.38±0.01
	شاهرود ۸ Sh 8	964.66±136.27	496.50±107.68	0.32±0.05
	شاهرود ۱۰ Sh 10	945.33±136.12	491.83±111.54	0.31±0.02
	شاهرود ۱۲ Sh 12	883.33±136.14	500.50±107.82	0.31±0.01
	شاهرود ۱۳ Sh 13	872.66±138.89	497.83±108.88	0.54±0.09
	شاهرود ۲۱ Sh 21	908.33±136.70	493.16±114.88	0.39±0.03
	GN جی‌ان	935.33±136.42	523.500±108.98	0.36±0.03
	شاهرود ۶ Sh 6	888.33±135.94	483.00±105.20	3.03±0.09
	شاهرود ۷ Sh 7	931.66±136.05	462.00±103.95	3.11±0.08
50%	شاهرود ۸ Sh 8	910.00±135.99	479.33±102.51	2.19±0.05
	شاهرود ۱۰ Sh 10	907.00±135.92	481.00±101.89	2.41±0.4
	شاهرود ۱۲ Sh 12	858.00±135.97	474.33±102.51	2.36±0.3
	شاهرود ۱۳ Sh 13	811.33±140.21	464.00±102.64	4.04±0.5
	شاهرود ۲۱ Sh 21	932.33±137.59	448.00±102.37	3.53±0.2
	GN جی‌ان	899.33±135.97	491.00±102.97	2.26±0.15
	شاهرود ۶ Sh 6	802.66±132.36	450.33±96.92	13.49±2.30
	شاهرود ۷ Sh 7	845.66±132.59	434.00±96.08	13.02±1.95
	شاهرود ۸ Sh 8	843.33±132.57	545.66±96.15	9.09±1.02
	شاهرود ۱۰ Sh 10	829.33±132.41	447.33±95.76	9.34±1.23
30%	شاهرود ۱۲ Sh 12	785.00±132.98	441.66±96.75	9.27±2.66
	شاهرود ۱۳ Sh 13	685.33±133.63	417.00±95.87	15.35±3.65
	شاهرود ۲۱ Sh 21	802.33±132.34	407.00±98.06	13.59±3.21
	GN جی‌ان	815.00±132.22	476.33±95.70	9.12±2.88
	شاهرود ۶ Sh 6	695.66±132.19	418.66±90.57	32.54±5.12
	شاهرود ۷ Sh 7	729.00±132.36	397.33±92.86	31.52±4.75
	شاهرود ۸ Sh 8	785.00±132.22	435.66±91.02	20±2.56
	شاهرود ۱۰ Sh 10	720.00±132.97	417.33±91.13	21.13±4.19
	شاهرود ۱۲ Sh 12	692.66±132.25	419.66±90.85	20.06±2.74
	شاهرود ۱۳ Sh 13	601.00±132.49	364.66±91.68	38.25±6.67
10%	شاهرود ۲۱ Sh 21	684.66±132.25	373.66±90.84	35.26±4.76
	GN جی‌ان	764.66±132.21	441.33±95.35	20.01±3.67
LSD ($p \leq 0.05$)		1.25	0.85	0.52



شکل ۱- اثر سال بر وزن تر و خشک اندام هوایی بادام

Figure 1- The effect of year on the fresh and dry weight of almond arial organs (LSD, $p \leq 0.05$)



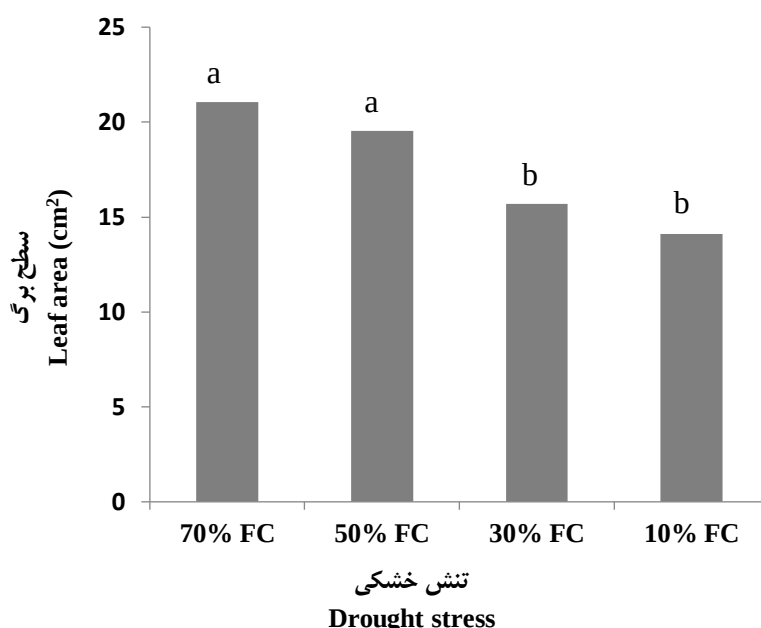
شکل ۲- اثر رقم بادام پیوند شده روی پایه GN بر سطح برگ طی دو سال

Figure 2- The effect of almond cultivar grafted on the GN rootstock on the leaf area during two years (LSD, $p \leq 0.05$) (Sh=Shahrood)

کلروفیل

بیشترین مقادیر کلروفیل a، b و کل در کمترین سطح تنش مشاهده شد. در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم شاهرود ۸^{*} بیشترین مقدار کلروفیل a (۸/۷۱ میلی گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱۱/۶۰ میلی گرم در گرم وزن تر) را داشت. این رقم در شدیدترین سطح تنش نیز محتوای کلروفیلی (a، b و کل) بیشتری نسبت به سایر ارقام داشت (جدول ۳).

در شرایط تنش خشکی فتوسنتز کاهش یافته (Rao et al., 2008) و نیز تقسیم و طویل شدن سلولی نیز کم می شود (Osakabe et al., 2014). این گونه پاسخهای مورفولوژیک، یک سازوکار اجتناب از خشکی است که در این آزمایش به صورت کاهش وزن تر و خشک شاخساره و کاهش سطح برگ نمایان شد. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2022) همخوانی دارد.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف خشکی بر سطح برگ ارقام بادام پیوندشده بر روی پایه GN
Figure 3- The effect of drought levels on the leaf area of almond cultivars grafted on GN rootstock (LSD, $p \leq 0.05$)

RWC را داشت، اما در شدیدترین سطح تنش، شاهرود ۸^{*} بیشترین مقدار این صفت را نشان داد. کمترین RWC متعلق به شاهرود ۱۳^{*} در تنش رطوبتی ۱۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در سطوح دیگر تنش نیز این رقم، کمترین RWC را نشان داد (جدول ۳). براساس مطالعات انجام شده روی گیاهان مختلف، RWC می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی تحمل گیاه به خشکی و پژمردگی به کار رود (Jamalluddin et al., 2021). کاهش RWC در تنش خشکی در سیب (Liu et al., 2011)، بادام (Alimohammadi et al., 2013) و گیلاس (Javadi et al., 2017) گزارش شده است. در پژوهش انجام شده توسط گوهری و همکاران (Gohari et al., 2023)، ژنوتیپ A-7-100 بادام در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار RWC را داشت که بیانگر توانایی بیشتر این ژنوتیپ در جذب و نگهداری آب است. در پژوهش دیگری، کمترین RWC در ارقام بادام فرانسیس، مامایی و سفید در اواخر دوره تنش دیده شد که با پژمردگی و ریزش برگ همراه بود (Karimi et al., 2015). به گزارش رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2022) مقدار RWC تحت شرایط تنش و در ترکیب پیوندی K13-40 روی پایه بادام تلخ شماره ۳۲ تا ۴۴ درصد کاهش یافت. در تحقیق حاضر، بیشترین کاهش RWC در شاهرود ۱۳^{*} با کاهش ۳۶/۸۵ درصدی بود. کمترین کاهش RWC نیز در پایه GN با کاهش ۲۰/۹۴ درصدی مشاهده شد که همسو با نتایج رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2022) است.

در تنش‌های ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، شاهرود ۱۳^{*} مقادیر بیشتری از کلروفیل a را نشان داد. کمترین مقدار کلروفیل a و کل در شاهرود ۲۱^{*} و در شدیدترین سطح تنش به ترتیب با میانگین ۴/۸۹ و ۶/۳۷ میلی گرم در گرم وزن تر مشاهده شد. این رقم در سایر سطوح تنش نیز مقادیر کلروفیل a و کل کمتری نسبت به سایر ارقام داشت (جدول ۳). در شدیدترین سطح تنش نیز شاهرود ۸^{*} بیشترین مقدار این کلروفیل a و b را داشت. شاهرود ۱۳^{*} و شاهرود ۲۱^{*} کمترین محتوای کلروفیل b و کل را در شرایط تنش شدید (رطوبت ۱۰ درصد ظرفیت زراعی) نشان دادند. در شرایط تنش خشکی، کلروپلاست‌ها تخریب شده و محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد (Schlemmer et al., 2005). پیش‌ماده اصلی کلروفیل و پرولین، گلوتامات است، افزایش تولید پرولین در تنش خشکی کاهش سنتز کلروفیل را نیز به دنبال دارد (Aspinall & Paleg, 1981). کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل برگ تحت تنش خشکی در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده است (Schlemmer et al., 2005; Gohari et al., 2023).

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

در این تحقیق، بیشترین درصد RWC متعلق به شاهرود ۷^{*} و در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۷۸/۷ درصد دیده شد. این رقم در رطوبت‌های ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی نیز بیشترین

جدول ۳- اثر تنش خشکی و رقم پیوندشده روی پایه GN روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک بادام

Table 3- The effect of drought stress and cultivar grafted on the GN rootstock on some physiological characteristics of almond

تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) Drought stress (% field capacity)	رقم/ پایه Cultivar/ rootstock	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW) I	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)
70%	شاهرود ۶ [*] Sh 6	7.14±0.39	2.72±0.24	9.87±0.54	74.61±0.46
	شاهرود ۷ [*] Sh 7	6.53±0.52	2.42±0.21	8.96±0.23	78.70±0.52
	شاهرود ۸ [*] Sh 8	8.71±0.27	2.34±0.08	11.06±0.24	76.93±0.51
	شاهرود ۱۰ [*] Sh 10	6.83±0.34	2.28±0.26	9.11±0.35	74.90±0.53
	شاهرود ۱۲ [*] Sh 12	7.72±0.27	2.39±0.11	10.11±0.11	68.53±0.45
	شاهرود ۱۳ [*] Sh 13	7.42±0.47	2.24±0.37	9.67±0.13	66.15±0.59
	شاهرود ۲۱ [*] Sh 21	6.36±0.40	2.08±0.45	8.45±0.09	71.23±1.05
	جی ان GN	8.31±0.17	2.59±0.16	10.90±0.26	73.83±0.65
	شاهرود ۶ [*] Sh 6	6.57±0.46	2.25±0.18	8.83±0.08	69.50±0.51
	شاهرود ۷ [*] Sh 7	5.85±0.35	2.09±0.21	7.94±0.32	73.74±0.60
50%	شاهرود ۸ [*] Sh 8	8.27±0.29	2.26±0.10	10.54±0.14	71.80±0.89
	شاهرود ۱۰ [*] Sh 10	6.85±0.28	2.27±0.12	9.13±0.13	71.28±0.93
	شاهرود ۱۲ [*] Sh 12	7.41±0.19	2.20±0.09	9.62±0.52	66.44±0.43
	شاهرود ۱۳ [*] Sh 13	6.22±0.35	2.05±0.35	8.27±0.21	59.99±0.64
	شاهرود ۲۱ [*] Sh 21	5.96±0.29	1.93±0.17	7.89±0.32	73.83±1.71
	جی ان GN	8.20±0.25	2.37±0.14	10.58±0.41	70.52±0.42
	شاهرود ۶ [*] Sh 6	5.92±0.68	2.10±0.12	8.02±0.25	61.73±0.68
	شاهرود ۷ [*] Sh 7	5.35±1.92	1.93±0.13	7.28±0.13	66.38±0.84
	شاهرود ۸ [*] Sh 8	7.75±0.28	2.17±0.07	9.93±0.07	65.76±1.18
	شاهرود ۱۰ [*] Sh 10	6.12±0.59	2.09±0.08	8.22±0.12	64.27±0.96
30%	شاهرود ۱۲ [*] Sh 12	7.05±0.15	2.03±0.18	9.09±0.36	59.99±1.45
	شاهرود ۱۳ [*] Sh 13	6.06±0.42	1.79±0.13	7.85±0.62	49.86±2.04
	شاهرود ۲۱ [*] Sh 21	6.60±0.47	1.70±0.26	8.31±24	61.67±0.69
	جی ان GN	7.43±1.85	2.40±0.07	9.38±0.21	63.01±0.45
	شاهرود ۶ [*] Sh 6	5.63±0.50	1.92±0.11	7.55±0.52	51.30±0.34
	شاهرود ۷ [*] Sh 7	4.97±0.64	1.68±0.21	6.65±0.58	54.79±0.64
	شاهرود ۸ [*] Sh 8	7.48±0.37	2.07±0.08	9.56±0.45	60.27±0.52
	شاهرود ۱۰ [*] Sh 10	5.52±0.98	1.88±0.23	7.40±0.61	53.72±1.69
	شاهرود ۱۲ [*] Sh 12	6.40±0.70	1.97±0.10	8.37±0.32	51.07±0.35
	شاهرود ۱۳ [*] Sh 13	5.52±1.05	1.41±0.17	6.94±0.14	41.77±1.13
10%	شاهرود ۲۱ [*] Sh 21	4.89±0.68	1.47±0.13	6.37±0.16	50.19±0.64
	جی ان GN	7.23±0.52	2.01±0.38	9.25±0.24	58.37±0.39
LSD ($p \leq 0.05$)		0.25	0.18	0.05	0.56

نشت یونی

در این پژوهش، رقم شاهرود ۱۳^{*} در شدیدترین سطح تنش، بیشترین نشت یونی را نشان داد (۶۶/۹۹ درصد). این رقم در تنش-های ۳۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز بیشترین مقدار این صفت را نشان داد. در شاهد، بیشترین نشت یونی در شاهرود ۶^{*} و ۱۳^{*} مشاهده شد. کمترین نشت یونی در شاهرود ۱۰^{*} و در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت

زراعی دیده شد. پایه GN در سایر سطوح تنش، کمترین نشت یونی را داشت (جدول ۴). نشت یونی کمتر در شرایط تنش رطوبتی با حفظ تمامیت غشاهای سلولی همراه است و یکپارچگی غشاء سلولی در برگ گیاهان متحمل به کاهش آب، حفظ خواهد شد (Karimi et al., 2013). افزایش EL در ارقام شاهرود ۱۳^{*} و شاهرود ۶^{*} نشان دهنده حساسیت بیشتر این ارقام به آسیب غشاء در شرایط تنش

مشاهده شد. در تنش‌های ۵۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، شاهرود ۲۱ و در تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، شاهرود ۶ بیشترین مقدار MDA را نشان داد. کمترین مقدار این صفت در تیمار رطوبتی شاهد و در شاهرود ۱۲ با میانگین ۱۱/۸۲ میکرومول بر گرم وزن تر مشاهده شد. در تنش‌های رطوبتی ۳۰ و ۱۰ درصد زراعی، رقم شاهرود ۸ کمترین MDA را داشت (جدول ۴).

است. کریمی و همکاران (Karimi et al., 2013) نیز افزایش معنی-دار EL در ارقام سفید، مامایی و فرانیس را به دلیل حساسیت بیشتر این ارقام به آلودگی دانستند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

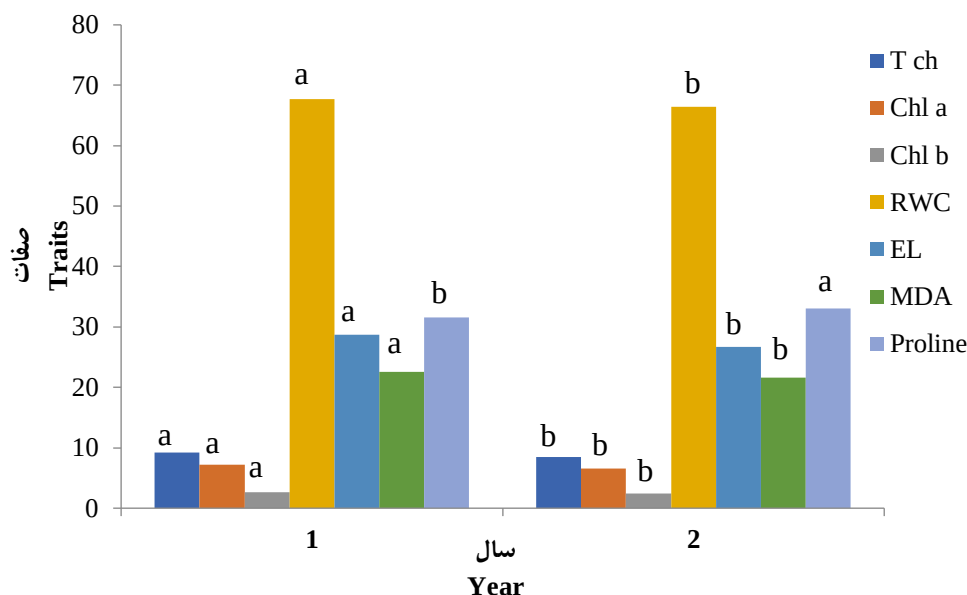
مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار MDA در شاهرود ۱۳ و در تنش رطوبتی شدید با میانگین ۴۱/۷۵ میکرومول بر گرم وزن تر

جدول ۴- اثر تنش خشکی و رقم پیوندشده روی پایه GN روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک بادام

Table 4- The effect of drought stress and cultivar grafted on GN rootstock on some physiological characteristics of almond

تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) Drought stress (% field capacity)	رقم/ پایه Cultivar/ rootstock	نشت یونی Electrolyte leakage (%)	مالون‌دی‌آلدئید MDA ($\mu\text{mol.g}^{-1}$ FW)	پرولین Proline (mg.g^{-1} FW)
70%	شاهرود ۶ Sh 6	15.62±0.07	12.77±0.91	26.46±2.25
	شاهرود ۷ Sh 7	13.34±0.08	12.89±0.88	19.81±0.27
	شاهرود ۸ Sh 8	13.01±0.09	12.01±0.85	25.03±0.23
	شاهرود ۱۰ Sh 10	12.39±0.11	13.95±0.95	22.85±0.19
	شاهرود ۱۲ Sh 12	14.28±0.08	11.82±0.88	25.97±0.70
	شاهرود ۱۳ Sh 13	14.72±0.08	14.58±0.86	24.70±0.33
	شاهرود ۲۱ Sh 21	14.46±0.08	15.98±0.87	19.39±0.77
	جی‌ان GN	12.84±0.06	11.85±0.88	24.03±0.38
50%	شاهرود ۶ Sh 6	17.37±1.56	13.21±1.88	32.08±0.72
	شاهرود ۷ Sh 7	19.18±1.46	13.48±1.90	25.00±0.73
	شاهرود ۸ Sh 8	18.37±1.56	13.51±1.92	27.19±1.06
	شاهرود ۱۰ Sh 10	17.35±1.49	14.56±1.90	29.84±0.28
	شاهرود ۱۲ Sh 12	19.14±1.45	13.18±1.96	29.16±0.57
	شاهرود ۱۳ Sh 13	24.15±1.45	15.39±1.95	28.02±0.71
	شاهرود ۲۱ Sh 21	18.48±1.45	16.49±1.89	25.73±0.26
	جی‌ان GN	16.39±1.52	13.31±1.94	31.10±0.67
30%	شاهرود ۶ Sh 6	37.97±1.23	21.55±1.11	38.80±1.10
	شاهرود ۷ Sh 7	39.19±1.46	17.55±1.03	34.68±0.34
	شاهرود ۸ Sh 8	38.61±1.33	16.84±1.04	33.03±0.72
	شاهرود ۱۰ Sh 10	34.57±1.29	17.47±1.02	39.82±0.96
	شاهرود ۱۲ Sh 12	34.48±1.45	16.85±1.02	36.83±0.16
	شاهرود ۱۳ Sh 13	57.44±4.90	20.45±1.35	36.00±0.35
	شاهرود ۲۱ Sh 21	41.03±1.85	21.42±1.14	31.73±0.28
	جی‌ان GN	33.62±1.24	17.53±1.04	38.22±1.09
10%	شاهرود ۶ Sh 6	55.28±1.34	36.08±0.98	63.17±1.16
	شاهرود ۷ Sh 7	54.63±1.22	38.22±0.97	51.79±0.30
	شاهرود ۸ Sh 8	44.60±1.33	25.13±0.97	59.89±0.24
	شاهرود ۱۰ Sh 10	48.53±1.27	25.75±0.97	54.82±1.31
	شاهرود ۱۲ Sh 12	44.31±1.26	26.76±1.09	51.97±0.80
	شاهرود ۱۳ Sh 13	66.99±1.23	41.75±1.05	57.30±2.12
	شاهرود ۲۱ Sh 21	59.73±1.19	38.95±0.98	47.74±1.23
	جی‌ان GN	43.94±1.23	25.75±0.96	52.80±0.23
LSD ($p \leq 0.05$)		0.84	1.02	0.51



شکل ۴- اثر سال روی برخی از صفات فیزیولوژیک بادام

Figure 4- The effect of year on some physiological traits of almond (LSD, $p \leq 0.05$)

(T ch=Total Chlorophyll, Chl a=Chlorophyll a, Chl b=Chlorophyll b, RWC=Relative water content, EL=Electrolyte leakage, MDA= Malondialdehyde)

شاهد و در شاهرود ۲۱^۰ با میانگین ۱۹/۳۹ میلی گرم در گرم وزن تر دیده شد (جدول ۴). تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ‌های بادام مورد بررسی توسط گوهری و همکاران (Gohari et al., 2023) نیز گزارش شد و ژنوتیپ‌هایی که پرولین بیشتری تولید کردند، تحمل متوسط تا بالایی را به تنش خشکی نشان دادند. پرولین در سازگاری با تنش نقش‌های متعددی را بازی می‌کند. این ماده گیاه را در برابر تنش اکسیداتیو ایجادشده توسط گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) حفاظت می‌کند (Gohari et al., 2023). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2013) نشان دادند که تجمع پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی بادام نقش مهمی دارند. گزارش شده است که تنش خشکی تولید پرولین را در بیشتر ارقام و ژنوتیپ‌های بادام تحریک می‌کند (Arzani et al., 2010). در پژوهشی، بیشترین مقدار پرولین در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ K13-40 روی پایه GF677 (Ranjbar et al., 2022) و در پژوهش دیگری توسط اعظمی و همکاران (Aazami et al., 2022) گزارش شده است که رقم نان‌پاریل بیشترین محتوای پرولین را با میانگین ۴۱۵/۳ میکروگرم در گرم وزن تر داشت. رقم آذر در شاهد نیز کمترین مقدار پرولین (۱۹۶ میکروگرم در گرم وزن تر) را نشان داد که کمتر از مقادیر گزارش شده در تحقیق حاضر بود.

نتیجه‌گیری

تحمل به تنش خشکی نتیجه برهم‌کنش صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاه است، بنابراین ترکیبی از صفات مختلف که رابطه

در بروز تنش خشکی، تنش اکسیداتیو در سلول‌ها و بافت‌ها اتفاق می‌افتد که منجر به افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود. محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدها، MDA است که به عنوان شاخصی برای آسیب اکسیداتیو غشاء سلولی به کار می‌رود (Jaafar et al., 2012). رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2022) گزارش کردند که بیشترین مقدار MDA در شرایط تنش خشکی مربوط به ارقام سوپرنا (۴۶/۵ نانومول بر گرم وزن تر) و K13-40 (۴۵/۲۹ نانومول بر گرم وزن تر) روی پایه بادام تلخ شماره ۳۲ بود که به ترتیب افزایش ۷۶/۴۷ و ۷۵/۴۳ درصدی را در مقایسه با شاهد داشت. در تحقیق حاضر، بیشترین اختلاف در مقدار MDA بین سطوح رطوبتی ۷۰ و ۱۰ درصد ظرفیت زراعی در شاهرود ۱۳^۰ با افزایش ۱۸۶/۳۵ درصد و کمترین اختلاف در شاهرود ۱۰^۰ با افزایش ۸۴/۵۸ درصدی دیده شد. در پژوهش دیگری، کلیه ارقام بادام در شرایط تنش خشکی افزایش تجمع MDA را نشان دادند که با نتایج این پژوهشگران مطابقت دارد.

پرولین

نتایج نشان داد که شاهرود ۶^۰ در تنش رطوبتی شدید بیشترین محتوای پرولین را تولید کرد (۶۳/۱۷ میلی گرم در گرم وزن تر). این رقم در سطوح رطوبتی ۵۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نیز بیشترین محتوای پرولین را داشت. در تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین پرولین متعلق به شاهرود ۱۰^۰ بود. کمترین پرولین در تیمار رطوبتی

قرار گرفت. سایر ارقام نیز حدفاصل این دو گروه قرار گرفتند. براساس نتایج نهایی، می‌توان در مطالعات آینده از ارقام متحمل به‌منظور ارزیابی امکان کشت این ارقام در مناطق با مشکل کم‌آبی استفاده کرد.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی مصوب (شماره پروژه: ۲۴-۴۲-۳۳-۳۳-۰۴۱۸-۹۶) می‌باشد، بدین وسیله نگارندگان مقاله از همکاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری در انجام پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری می‌نمایند.

مستقیم با تحمل به خشکی دارند، می‌تواند به‌عنوان معیارهای گزینش برای غربال کردن رقم متحمل استفاده گردد. طبق نتایج این پژوهش، رقم شاه‌رود ۱۳^{*} با داشتن کمترین وزن تر و خشک، سطح برگ کمتر، کمترین مقدار کلروفیل b و RWC و بیشترین ریزش برگ، نشت یونی و محتوای MDA در شدیدترین سطح تنش به‌عنوان حساس‌ترین رقم شناخته شد. پس از آن، رقم شاه‌رود ۶^{*} از حساسیت بالایی برخوردار بود. رقم شاه‌رود ۸^{*} به‌دلیل داشتن وزن تر و خشک اندام هوایی بالا، کمترین مقدار ریزش برگ، بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، b و کل، بیشترین مقدار RWC و کمترین مقدار MDA در شدیدترین سطح خشکی به‌عنوان متحمل‌ترین رقم به خشکی شناخته شد. رقم شاه‌رود ۱۲^{*} پس از شاه‌رود ۸^{*} جزء ارقام متحمل

References

1. Aazami, M.A., Rasouli, F., & Panahi Tajaragh, R. (2022). Evaluation of almond cultivars for the morphological, physiological and nutritional traits under water deficit conditions. *Journal of Elementology*, 27, 423-436. <https://doi.org/10.5601/jelem.2022.26.4.2189>
2. Alimohammadi, A., Shiran, B., Martínez-Gómez, P., & Ebrahimie, E. (2013). Identification of water-deficit resistance genes in wild almond *Prunus scoparia* using cDNA-AFLP. *Scientia Horticulturae*, 159, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.023>
3. Alizadeh, A. (1995). *Principles of Applied Hydrology*. Publication of Imam Reza International University, Mashhad, Iran, 963 pp. (in Persian)
4. Aspinall, D., & Paleg, L.G. (1981). *Proline Accumulation: Physiological Aspects*. p. 205-241. In: L.G. Paleg & D. Aspinall (eds.), *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. Academic Press, Sydney, New York, London.
5. Arzani, K., Yadollahi, A., A Ebadi., & Wirthensohn, M. (2010). The relationship between bitterness and drought resistance of almond (*Prunus dulcis* Mill.). *African Journal of Agricultural Research*, 5(9), 861-866.
6. Babadaei, R., Mousavi, A., & Jafarpour, M. (2018). *Guide to Almond Production*. Publication of Khorasgan Azad University, Isfahan, Iran, 280 p. (in Persian)
7. Barzegar, K., Yadollahi, A., Imani, A., & Ahmadi, N. (2012). Response to drought stress of almond cultivars and genotypes grown under field conditions. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 2(3), 205-210.
8. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
9. Blum, A., & Ebercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science*, 21, 43-47. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100010013x>
10. Cheng, L., Han, M., Yang, L.M., Yang, L., Sun, Z., & Zhang, T. (2018). Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of *Scutellaria baicalensis* Georgi under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 122, 473-482. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.030>
11. De Herralde, F. (2000). Integral study of the eco physiological responses to water stress: Characterization of almond varieties. *Nucis-Newsletter*, 9, 20-21.
12. Elfeel, A.A., & Al-Namo, M.L. (2011). Effect of imposed drought on seedlings growth, water use efficiency and survival of three arid zone species (*Acacia tortilis* subsp raddiana, *Salvadora persica* and *Leptadenia pyrotechnica*). *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2, 493-498. <http://doi.org/10.5251/abjna.2011.2.3.493.498>
13. Fathi, H., Amiri, M., Imani, A., Nikbakht, J., & Hajilou, J. (2019). Investigation on the changes of some biochemical traits of almond genotypes leaves under drought stress on the GN15 rootstock. *Journal of Plant Process and Function*, 8(29), 15-30.
14. Gholami, A., Sharafi, S., & Abbasdokht, H. (2010). Effects of salinity and drought levels in seed germination of five crop species. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, 935-938.
15. Gispert, J.R., & Vargas, F.J. (2011). Assessment of drought tolerance in almond varieties. *Acta Horticulture*, 912, 121-127. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.912.17>

16. Gohari, S., Imani, A., Talaei, A.R., Abdossi, V., & Asghari, M.R. (2023). Physiological responses of almond genotypes to drought stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 70, 1-11. <https://doi.org/10.1134/S1021443723601751>.
17. Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives 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)
18. Isaakidis, A., Sotiropoulos, T., Almaliotis, D., Therios, I., & Stylianidis, D. (2004). Response to severe water stress of the almond *Prunus amygdalus*. 'Ferragnes' grafted on eight rootstocks. *New Zealand Journal Crop and Horticultural Science*, 32, 355-362. <https://doi.org/10.1080/01140671.2004.9514316>
19. Jaafar, H.Z.E., Ibrahim, M.H., & Karimi, E. (2012). Phenolics and flavonoids compounds, phenylalanine ammonia lyase and antioxidant activity responses to elevated CO₂ in *Labisia pumila* (Myrsinaceae). *Molecules*, 17, 6331-6347. <https://doi.org/10.3390/molecules17066331>
20. Jamalluddin, N., Massawe, F.J., Mayes, S., Ho, W.K., Singh, A., & Symonds, R.C. (2021). Physiological screening for drought tolerance traits in vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor*) germplasm. *Agriculture*, 11, 994. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100994>
21. Javadi, T., Rohollahi, D., Ghaderi, N., & Nazari, F. (2017). Mitigating the adverse effects of drought stress on the morpho-physiological traits and anti-oxidative enzyme activities of *Prunus avium* through β -amino butyric acid drenching. *Scientia Horticulturae*, 218, 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.019>
22. Karimi, S., Yadollahi, A., & Arzani, K. (2013). Responses of almond genotypes to osmotic stress induced *in vitro*. *Journal of Nuts*, 4(4), 1-7. <https://doi.org/10.22034/jon.2013.515700>
23. Karimi, S., Yadollahi, A., Arzani, K., Imani, A., & Aghaalikhani, M. (2015). Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. *Photosynthetica*, 53, 29-34. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0070-0>
24. Kovalikova, Z., Jiroutova, P., Toman, J., DobroVolna, D., & Drbohlavova, L. (2020). Physiological responses of apple and cherry *in vitro* culture under different levels of drought stress. *Agronomy*, 10, 1689. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111689>
25. Lichtenthaler, H.K., & Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591.
26. Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L., & Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in Karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, 71, 174-183. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.11.012>
27. López-López, M., Espadador, M., Testi, L., Lorite, I.J., Orgaz, F., & Fereres, E. (2018). Water use of irrigated almond trees when subjected to water deficits. *Agricultural Water Management*, 195, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.001>
28. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M., Mokhtari, M.H., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S.K. (2021). Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: Assessing the proximity and changes of land cover. *Journal of Remote Sensing and GIS for Natural Resources*, 12, 127.
29. Moradi, H., Esna-Ashari, M., & Ershadi, A. (2019). Evaluation of some physiological responses to drought stress in grafted and ungrafted almond rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(2), 311-323. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.246776.1356>
30. Mousavi, A., Tatari, M., Mehnatkesh, A.M., & Haghighati, B. (2009). Vegetative growth response of young seedlings of five almonds cultivars to water deficit. *Seed and Plant Improvement Journal*, 25, 551-567. (in Persian with English abstract)
31. Nie, W., Gong, B., Chen, Y., Wang, J., Wei, M., & Shi, Q. (2018). Photosynthetic capacity, ion homeostasis and reactive oxygen metabolism were involved in exogenous salicylic acid increasing cucumber seedlings tolerance to alkaline stress. *Scientia Horticulturae*, 235, 413-423. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.011>
32. Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A., & Adelusi, A.A. (2017). Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum spp.*) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae*, 224, 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.020>
33. Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L.S.P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
34. Ranjbar, A., Imani, A., Piri, S., & Abdoosi, V. (2022). Grafting commercial cultivars of almonds on accurate rootstocks mitigates adverse effects of drought stress. *Scientia Horticulturae*, 293, 110725. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110725>
35. Rao, P.B., Kaur, A., & Tewari, A. (2008). Drought resistance in seedlings of five important tree species in Tarai region of uttarakhand. *Tropical Ecology*, 49, 43-49.

36. Safavi, E., Yadegari, M., Mousavi, S.A., & Haghighati, B. (2023). Investigation the different levels of drought stress on almond cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 37(2), 523-540. <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.77478.1184>
37. Sarker, U., & Oba, S. (2018). Drought stress effects on growth, ROS markers, compatible solutes, phenolics, flavonoids, and antioxidant activity in *Amaranthus tricolor*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 186, 999-1016. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2784-5>
38. Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J., & Schepers, J.S. (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*, 97, 106-112. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0106>
39. Sinha, R., Zandalinas, S.I., Fichman, Y., Sen, S., Zeng, S., Gómez-Cadenas, A., Joshi, T., Fritschi, F.B., & Mittler, R. (2022). Differential regulation of flower transpiration during abiotic stress in annual plants, *New Phytologist*, 235, 611. <https://doi.org/10.1111/nph.18162>
40. Zhang, C., Shi, S., Liu, Z., Yang, F., & Yin, G. (2019). Drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties is associated with enhanced anti-oxidative protection and declined lipid peroxidation. *Journal of Plant Physiology*, 232, 226-240. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.10.023>

The Effect of Planting Dates on Narcissus Plant (*Narcissus tazetta* L.) under Irrigation and Effective Microorganisms (EM)

A. Akrami¹, H. Bayat^{1*}, S. Daghighi¹, M.H. Aminifard¹

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

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

Received: 06 October 2024

Revised: 12 November 2024

Accepted: 17 November 2024

Available Online: 17 November 2024

How to cite this article:

Akrami, A., Bayat, H., Daghighi, S., & Aminifard, M.H. (2025). The effect of planting dates on narcissus plant (*Narcissus tazetta* L.) under irrigation and effective microorganisms (EM). *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 331-344. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90121.1380>

Introduction

Narcissus is the most important early-season blooming flowering plant that belongs to the Amaryllidaceae family. *N. tazetta* is a valuable plant for cosmetics, cut flowers, and landscape plants. The growth and flower quality of narcissus could be improved by adopting proper cultural practices and application of plant nutrients. Narcissus is one of the geophyte plants; therefore, one of the important and influencing factors on the growth and performance of narcissus is the appropriate planting date, especially in the first year. Bio-fertilizers can be mentioned among the new and effective sources of fertilizer that are used in plant nutrition today. These fertilizers contain useful soil microorganisms such as bacteria, fungi and actinomycetes with their metabolites that stimulate the quantitative and qualitative performance of the plant in different ways. Since there is little information about the effect of planting and environmental conditions, including the date of planting, nutrition with bio-fertilizers and irrigation on *Narcissus tazetta*. Therefore, the investigation of these factors can help the cultivation of narcissus plant in South Khorasan region. Therefore, the aim of this research was to study the effect of planting dates, summer irrigation and EM bio-fertilizer on the growth and reproductive characteristics of *N. tazetta* cv. Shahla in South Khorasan region.

Materials and Methods

To investigate the effect of planting date, summer irrigation and EM bio fertilizer on the growth, ornamental and physiological traits of *Narcissus tazetta* cv. Shahla, an experiment in the form of randomized complete block design with three replications during crop years 2021-2022 in Qaen city of South Khorasan province was implemented. The experimental treatments were bulb planting on July 1 without irrigation, bulb planting on July 1 with irrigation, bulb planting on July 1 along with irrigation with EM fertilizer, bulb planting on September 1 without irrigation, bulb planting on September 1 along with irrigation, and bulb planting on September 1 along with irrigation with EM. The measured indices including vegetative characteristics (number of leaves, leaf length, leaf width and plant height), reproductive traits (corona diameter, flower length, flower diameter, stem diameter, flowering stem length, number of flowers per square meter and number of flowers per stem), physiological traits (total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid content) and leaf nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium). Finally, the experimental data were statistically analyzed using SAS, JMP Statistical Discovery Pro v13.2.1 program and comparison of means was performed by LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the maximum amount of leaf length and plant height was obtained from the bulbs



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90121.1380>

planted in September and were irrigated with EM fertilizer. However, the highest number of leaves and leaf width were obtained from the bulbs planted in July along with irrigation with EM fertilizer. Planting the bulbs in July along with irrigation had the highest diameter of the flower corona and the length of the flowering stem. In the second year of the experiment, the maximum flower diameter was obtained from the bulbs planted on July 1 with irrigation (3.61 cm). The results showed that the number of flowers per square meter in both years of the experiment was affected by the date of planting and irrigation, so that the bulbs planted on July 1 with irrigation and irrigation with EM fertilizer had the highest number of flowers. The highest number of flowers on the flowering stem was obtained from the treatments of planting bulbs on July 1 (7.21 flowers per square meter) and September 1 (1.7 flowers per square meter) along with bio-fertilizer. In addition, the highest total chlorophyll, carotenoid, nitrogen and potassium content was obtained from September culture. Enhancing the supply of nutrients throughout the growing season, a key mechanism of bio fertilizers, promotes the development and reinforcement of floral structures in the terminal meristem of the bud during the phases of cell meiosis in summer and the stimulation of flower buds, which ultimately boosts the yield of the narcissus flower farm.

Conclusions

The results of this research showed that planting the bulbs in September and using EM bio-fertilizer improved the vegetative characteristics of narcissus flower. In addition, the results showed that the planting of bulbs in July and irrigation in summer improved the reproductive characteristics of *N. tazetta* cv. Shahla. Overall, the results indicate that planting narcissus bulbs on July 1, along with summer irrigation, significantly increases the yield of narcissus flower in South Khorasan province.

Keywords: Bio fertilizer, Flowering, Summer irrigation, Vegetative traits

تأثیر تاریخ‌های کشت بر گیاه نرگس (*Narcissus tazetta* L.) تحت آبیاری و ریزجانداران مؤثر (EM)

احمد اکرمی^۱ - حسن بیات^{۱*} - سعید دقیقی^۱ - محمد حسین امینی فرد^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷

چکیده

با توجه به اهمیت روزافزون کمبود منابع آبی کشور و اهمیت اقتصادی قابل توجه در کشت و کار گل نرگس رقم 'شاهلا'، دستیابی به راهکارهایی جهت افزایش کیفیت و تولید در واحد سطح این گل حائز اهمیت می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر تاریخ کاشت، آبیاری تابستانه و ریزجانداران مؤثر (EM) بر صفات رشدی، زینتی و فیزیولوژیکی گل نرگس (*Narcissus tazetta* cv. Shahla)، آزمایشی مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در شهر قائن، استان خراسان جنوبی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو عامل زمان کاشت (۱۰ تیر و ۱۰ شهریور) و زمان‌های مختلف آبیاری (بدون آبیاری، همراه با آبیاری و آبیاری با کود EM) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار طول برگ (۲۷/۳۸ سانتی‌متر) و ارتفاع گیاه (۲۵/۱۵ سانتی‌متر) از سوخ‌های کاشته شده در شهریور همراه با کود زیستی EM به دست آمد. با این وجود، بیش‌ترین تعداد برگ و عرض برگ نیز از سوخ‌های کاشته شده در تاریخ ۱۰ تیر ماه همراه با آبیاری با کود زیستی EM مشاهده شد. بیشترین صفات زایشی مانند قطر تاج گل، طول گل، قطر گل، طول ساقه گل‌دهنده و تعداد گل در مترمربع از کاشت سوخ در تیر ماه همراه با آبیاری به ثبت رسید. علاوه بر این، بیش‌ترین مقادیر کلروفیل کل، کاروتنوئید، ازت و پتاسیم در کشت شهریور مشاهده شد. به طور کلی، نتایج بیانگر آن است که کاشت سوخ‌های نرگس در تاریخ ۱۰ تیر ماه، همراه با آبیاری تابستانه باعث افزایش قابل توجهی در صفات رویشی و زایشی مزرعه گل نرگس در استان خراسان جنوبی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تابستانه، صفات رویشی، کود زیستی، گل‌دهی

مقدمه

گیاه نرگس (*Narcissus* spp.) از خانواده نرگسیان (Amaryllidaceae) می‌باشد که علفی، دائمی و سوخ‌دار است و ارتفاع آن تا ۳۰ سانتی‌متر می‌رسد (Karakoyun et al., 2020). از نظر فیزیولوژیکی، گونه‌های نرگس را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد: گروه اول که برای گل‌دهی به دمای پایین نیاز دارند و گروه دوم برای گل‌دهی نه تنها به دمای پایین نیازی ندارند، بلکه دماهای بالا برای بهبود گل‌دهی آن‌ها مفیدتر است (Noy-Porat et al., 2009). گونه تازتا *N. tazetta* L. جزء گونه‌هایی است که سوخ برای گل‌انگیزی نیاز به دماهای بالا (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد) دارد.

تحقیقات نشان می‌دهد که رشد گل نرگس، زمان محصول و کیفیت گل تحت تأثیر شدت دما قرار دارد (Noy-Porat et al., 2009). گل نرگس جزء گیاهان ژئوفیت است، از این رو یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گل نرگس تاریخ کاشت مناسب می‌باشد (Koocheki et al., 2016). در محصولات مشابه مانند زعفران، برخی مطالعات نشان دادند که از بین تاریخ‌های کاشت متفاوت، بهترین زمان کاشت پدازه زعفران، خرداد ماه می‌باشد (Sadeghi et al., 2003; Ghasemi-Rooshnavand et al., 2009). در پژوهشی، تاریخ‌های کاشت متفاوت (۱ مهر، ۱ آبان و ۲۱ آبان) سوخ گل نرگس در ترکیه مورد بررسی قرار گرفت (Sari & Çelikel, 2018). نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۱ آبان، سوخ‌هایی با اندازه ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر، فرصت مناسب رشد را نداشته و برگ و ساقه گل‌دهنده‌ای را تولید نکردند. در حالی که در تاریخ کاشت ۱ مهر و ۱ آبان مقدار رشد رویشی قابل توجه بود. با این حال نسبت

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

(*)- نویسنده مسئول: hassanbayat@birjand.ac.ir (Email: <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90121.1380>)

سطح برگ در سوخ‌های کاشته‌شده در ۱ مهر بیشتر از ۱ آبان بود. آن‌ها اظهار داشتند که این افزایش سطح برگ در تاریخ کاشت ۱ مهر ارتباط مستقیم با میانگین دما در آن دوره دارد.

مدیریت آبیاری عامل مهم دیگری در ارتباط با افزایش عملکرد گل نرگس رقم 'شهلأ' می‌باشد. در همین راستا، مطالعه‌ای روی گل نرگس انجام شد (Zangene & Salehi, 2020)؛ در این تحقیق، سوخ‌های جمع‌آوری‌شده از چهار منطقه بهبهان، کازرون، جهرم و بیرجند در تیمار آبیاری به‌مقدار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه بیشترین عملکرد را داشتند، درحالی‌که در تیمارهای کم‌آبیاری (۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) هیچ یک از جمعیت‌های نام‌برده وارد مرحله زایشی و گل‌دهی نشدند. در تحقیق دیگری که تأثیر آبیاری تابستانه در گیاه زعفران را مورد بررسی قرار دادند، مشخص شد که آبیاری در مرداد ماه، عملکرد گل و وزن خشک زعفران (*Crocus sativus* L.) را تا ۱۸ درصد افزایش می‌دهد و تیمار آبیاری در تیر ماه تأثیری بر عملکرد نداشت (Musafari Ziauddin et al., 2007).

استفاده از کودهای زیستی برای بهبود ویژگی‌های زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی توصیه می‌شود. یکی از کودهای زیستی که اخیراً توجه بسیاری را به خود جلب کرده، ریزموجودات مفید (Effective microorganisms, EM) هستند (Prisa, 2022). کود EM ترکیبی از ریزجانداران مفید است که به‌صورت کنسانتره مایع می‌باشند. ریزموجودات مفید موجود در این ترکیب شامل باکتری‌های فتوسنتزکننده، باکتری‌های اسیدلاکتیک، مخمرها، قارچ‌های تخمیری و اکتنومیسیت‌ها می‌باشند (Nathaniel et al., 2020). این ریزموجودات مفید می‌توانند از طریق افزایش فتوسنتز، تولید ترکیبات فعال زیستی همانند هورمون‌ها و آنزیم‌ها، رشد و عملکرد محصولات را بهبود بخشند. بررسی‌های انجام‌شده نشان داده است که این ترکیب می‌تواند بر کیفیت خاک، رشد گیاه، کیفیت و عملکرد محصول مؤثر باشد (Maheswari & Abirami, 2019). در تحقیقی که بر روی گل نرگس انجام گرفت (Dehestani Ardakani et al., 2021)، نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار صفاتی از جمله کاسه گل، عرض برگ و وزن خشک ریشه و کاهش تعداد روز تا ظهور جوانه گل در گل نرگس رقم 'شهلأ' شد. در تحقیق مشابهی روی گل سنبل (*Hyacinthus orientalis* L.) نتایج نشان داد که تلقیح پیازهای گیاه سنبل با قارچ میکوریزا به‌عنوان کود زیستی باعث افزایش ایندول استیک اسید در گل‌های سنبل نسبت به گیاهان تلقیح نشده شد (Xie & Wu, 2017). همچنین کودهای زیستی باعث غلظت بیش‌تر سدیم، فسفر و پتاسیم در گل، برگ و ریشه گیاهان سنبل شد. امروزه پرورش گل نرگس به یک صنعت اشتغال‌زا و ارزآور تبدیل شده است و تلاش‌های فراوانی جهت بالا بردن کمیت و کیفیت این

گل در حال انجام است. در خراسان جنوبی، کشت سوخ نرگس غالباً از اوایل تا اواخر شهریور ماه انجام می‌شود. با توجه به ضرورت تاریخ مناسب کاشت سوخ نرگس، نیاز است تا آزمایش‌های جامع‌تری در مورد اثرات تاریخ کاشت در بازه زمانی اوایل تابستان و اواخر تابستان بر رشد و نمو گل نرگس صورت گیرد. با توجه به اینکه اطلاعات کمی در مورد روش‌های مدیریتی کاشت نرگس از جمله تاریخ مناسب کاشت، مدیریت آبیاری و استفاده از کودهای زیستی وجود دارد، از این‌رو هدف از تحقیق حاضر، مطالعه اثر تاریخ‌های کاشت، آبیاری تابستانه و کود زیستی EM بر ویژگی‌های رشدی و زایشی گل نرگس رقم 'شهلأ' در منطقه خراسان جنوبی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تاریخ‌های کاشت مختلف، شرایط متفاوت آبیاری و ریزجانداران مؤثر EM بر روی صفات مختلف نرگس رقم 'شهلأ' آزمایشی مزرعه‌ای در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۲ در شهر قائن خراسان جنوبی با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه شرقی و ارتفاع حدود ۱۵۳۸ متر از سطح دریا انجام شد. آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه در مدت آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. سوخ‌های نرگس رقم 'شهلأ' از شهرستان خوسف واقع در خراسان جنوبی، در تابستان سال ۱۴۰۰ تهیه شد. پس از تهیه سوخ، آن‌ها را از نظر اندازه سوخ دسته‌بندی کرده و از سوخ‌هایی با سایز ۱۳ تا ۱۵ سانتی‌متر برای انتقال به زمین استفاده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. سوخ‌ها به زمینی که از قبل شخم زده و تسطیح شده بود انتقال یافتند (در ۱۰ تیر ماه) و براساس تیمارها، آبیاری صورت گرفت. فاصله بین بلوک‌ها دو متر، بین کرت‌ها ۱/۵ متر و طول و عرض هر کرت ۲×۲ متر بود. فاصله سوخ‌ها روی ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۱۲-۱۰ سانتی‌متر (برای کلیه تیمارها) اعمال شد (هشت ردیف و ۸۰ سوخ در هر کرت). سپس در تاریخ دوم کاشت (۱۰ شهریور) نیز سوخ‌هایی که توسط کشاورز از زمین خارج شده بود، کشت شدند.

آزمایش حاضر بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش به این صورت بود: ۱- کاشت سوخ در ۱۰ تیر ماه بدون آبیاری. ۲- کاشت سوخ در ۱۰ تیر ماه همراه با آبیاری. ۳- کاشت سوخ در ۱۰ تیرماه همراه با کود آبیاری با EM. ۴- کاشت سوخ در ۱۰ شهریور ماه بدون آبیاری. ۵- کاشت سوخ در ۱۰ شهریور ماه همراه با آبیاری. ۶- کاشت سوخ در ۱۰ شهریور ماه همراه با کود آبیاری با EM. آبیاری و کوددهی تیمارها به این صورت انجام

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS, JMP Statistical Discovery Pro v13.2.1 انجام شد و مقایسه میانگین تیمارها براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات رویشی

نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت و آبیاری در سال اول و دوم تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی داشت (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد برگ در سال اول (۴/۹۶ در گیاه) و سال دوم (۵/۵۰ در گیاه) از سوخ‌های کاشته‌شده در تاریخ ۱۰ شهریور ماه که به‌وسیله کود زیستی EM آبیاری شده بودند، به دست آمد. باین‌حال، تعداد برگ در سوخ‌های کاشته‌شده در ۱۰ شهریور که همراه با کود زیستی EM آبیاری شده بودند، اختلاف معنی‌داری با گل‌هایی که سوخ آن‌ها در ۱۰ تیر ماه بدون آبیاری و همراه با آبیاری کاشته شده بودند، وجود نداشت (جدول ۳). تاریخ کاشت و آبیاری، طول برگ‌های گل نرگس در سال اول و دوم آزمایش را تحت تأثیر قرار داد. بیش‌ترین مقدار طول برگ در هر دو سال از نرگس‌هایی حاصل شد که سوخ آن‌ها در ۱۰ شهریور کاشته شده بود و با کود زیستی EM تحت آبیاری قرار گرفته بود. ارزیابی عرض برگ نیز نشان داد که این صفت در سال اول تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی مختلف قرار گرفت. بیش‌ترین مقدار عرض برگ مربوط به گیاهانی بود که سوخ آن‌ها در ۱۰ شهریور و ۱۰ تیرماه کاشته و همراه با کود زیستی EM آبیاری شدند (جدول ۳).

هم‌چنین، بیش‌ترین ارتفاع گیاه نرگس در سال اول (۲۵/۱۵ سانتی‌متر) از کاشت سوخ در ۱۰ شهریور همراه با آبیاری با کود EM به دست آمد. در سال دوم نیز بیش‌ترین ارتفاع گیاه (۲۷/۵۸ سانتی‌متر) مربوط به سوخ‌های کاشته‌شده در ۱۰ شهریور ماه همراه با آبیاری حاصل شد و به‌دنبال آن سوخ‌های کاشته‌شده در ۱۰ شهریور همراه با آبیاری با کود زیستی EM، بیش‌ترین ارتفاع گیاه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). تولیدات کشاورزی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط خاک می‌باشد که منعکس‌کننده شبکه پیچیده‌ای از فعل و انفعالات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی است که توسط ریزموجودات تقویت می‌شود. کودهای زیستی با افزایش فراهمی عناصر غذایی سبب افزایش رشد و بهبود صفات رویشی گیاه می‌شود (Bhattacharjee & Dey, 2014). رشد بیشتر گیاه و توسعه سیستم ریشه‌ای در خاک، سبب افزایش جذب عناصر غذایی نظیر فسفر و نیتروژن می‌شود و در نهایت منجر به افزایش رشد اندام هوایی می‌شود (Mitter et al., 2021).

گرفت که اولین آبیاری هم زمان با کاشت (۱۰ تیر) و (۱۰ شهریور) انجام شد. آبیاری بعدی، یک ماه بعد از اولین تاریخ کاشت و در مرداد ماه انجام گرفت. سپس در ۲۵ شهریور تمامی گروه‌های آزمایشی مورد آبیاری قرار گرفتند و پس از آن، طبق روال براساس نیاز آبی هر ۱۲ روز به‌صورت غرقابی آبیاری انجام گرفت. وجین علف‌های هرز نیز به‌طور مرتب به‌صورت دستی انجام شد. هم‌چنین از کود EM (حاوی باکتری‌های فتوسنتزکننده، باکتری‌های اسید لاکتیک، مخمرها، اکتینومیسیت‌ها و قارچ‌های تخمیرکننده بیش از یک میلیون در یک میلی‌لیتر به‌علاوه ملاس نیشکر، عصاره آلوئه‌ورا و آب می‌باشد) طبق توصیه شرکت سازنده (شرکت امکان‌پذیر پارس، ایران) و براساس طرح آزمایشی به‌نسبت ۱ به ۱۰ (۱/۵ لیتر در هر کرت) و همراه با آب آبیاری در چهار مرحله اول آبیاری استفاده شد.

در این آزمایش، صفات رویشی (تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ و ارتفاع گیاه)، صفات زایشی (قطر تاج گل، طول گل، قطر گل، قطر ساقه‌دهنده، طول ساقه گل‌دهنده، تعداد گل در مترمربع و تعداد گل در ساقه)، صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b و محتوای کاروتنوئید) و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد ارزیابی قرار گرفت.

صفاتی مانند طول برگ، عرض برگ، ارتفاع گیاه، قطر تاج گل، طول گل، قطر گل، قطر ساقه گل‌دهنده و طول ساقه گل‌دهنده با استفاده از کولیس و خط‌کش اندازه‌گیری شد. کلروفیل و کاروتنوئید به‌روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon, 1967). مقدار ۰/۵ گرم از برگ تر گیاهی را با استون ۸۰ درصد مخلوط کرده و پس از سانتریفیوژ، میزان جذب در محلول روی عصاره در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید توسط اسپکتروفتومتر (Model Unico 2100, China) قرائت شد و به‌صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر (mg.g FW^{-1}) بیان شد.

$$\text{Chl a} = (12.7 \text{ A663} - 2.69 \text{ A645}) \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = (22.9 \text{ A645} - 4.68 \text{ A663})$$

$$\text{Total Chl} = 20.2 (\text{A645}) + 8.02 (\text{A663})$$

$$\text{Carotenoids} = (1000 \text{ A470} - 2.27 \text{ Chl a} - 81.4 \text{ Chl b}) / 227$$

برای تعیین غلظت نیتروژن نمونه‌ها از روش هضم به‌کمک اسید سولفوریک غلیظ، و اندازه‌گیری نیتروژن عصاره با دستگاه کج‌لدال انجام شد (Nelson et al., 1982). جهت تعیین مقادیر فسفر و پتاسیم از روش هضم تر نمونه با اسید نیتریک غلیظ و اسید پرکلریک غلیظ استفاده گردید (Gupta, 2007) و سپس فسفر و پتاسیم عصاره نمونه‌ها به‌ترتیب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۰ نانومتر و دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی شهر قائن در سال زراعی ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱
Table 1- Meteorological information of Qaen city in the crop year 2021 to 2022

ماه‌های سال Months of year	میانگین دمای ماهانه Average monthly temperature		میانگین رطوبت ماهانه Average monthly humidity	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
تیر July	27.2	27.1	21	21
مرداد August	25.4	25.7	19	26
شهریور September	22.9	21.1	22	21
مهر October	16.2	17.6	24	23
آبان November	9.2	13.2	36	49
آذر December	8.4	6.8	43	55
دی January	6.2	1.9	56	58
بهمن February	5.8	4.8	49	60
اسفند March	13.4	12.9	48	44
فروردین April	16.9	15.1	31	44
اردیبهشت May	21.5	21	36	30
خرداد June	23.7	26	25	22

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه نرگس
Table 2- Physical and chemical characteristics of the daffodil field soil

بافت Texture	pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	SAR	کربن آلی Organic C (%)	آهک Lime (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
لومی-شنی Sandy-loam	8.63	1.12	6.52	0.08	21.7	0.01	7.4	259

داد که استفاده از کود زیستی باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در تعداد برگ گل نرگس می‌شود. نویسنده اظهار داشت که کاربرد کود زیستی باعث افزایش جذب نیتروژن می‌شود که در تقسیم سلولی و طولی شدن سلول و در نهایت افزایش صفات رشدی نقش بسزایی دارد. برخی محققان در گیاه زعفران گزارش کردند که اجرای آبیاری تابستانه و استفاده از کودهای زیستی به‌خاطر افزایش محتوی رطوبتی خاک در اواخر تابستان از عملکرد کمی و کیفی بیشتری برخوردار بود و توصیه آبیاری تابستانه از نظر اقتصادی حائز اهمیت است (Poorreza & Amirshakari, 2020).

در مطالعه‌ای نشان داده شد که کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد، با جذب بهتر آب و ترکیبات غذایی از خاک سبب افزایش عملکرد و بهبود صفات رویشی گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) شد (Hatami et al., 2013). در تحقیق حاضر نشان داده شد که به‌طور کلی تاریخ‌های کاشت متفاوت سوخ نرگس، تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ نداشت، اما استفاده از کود زیستی باعث افزایش قابل توجهی در تعداد برگ‌ها شد، نتایج حاصل از پژوهش صورت‌گرفته مطابق با نتایج حاصل از آزمایشات ال ناگار (El-Naggar, 2010) روی گل نرگس دارد. نتایج این تحقیق نشان

جدول ۳- تأثیر زمان کاشت، آبیاری و کود زیستی EM بر برخی صفات رشدی گل نرگس رقم شهلا در سال‌های اول و دوم
Table 3- The effect of planting time, irrigation and EM bio fertilizer on some growth characteristics of narcissus cv. Shahla in the first and second d year

زمان کشت Planting time	آبیاری Irrigation	تعداد برگ Number of leaves		طول برگ Leaf length (cm)		عرض برگ Leaf width (cm)		ارتفاع گیاه Plant height (cm)	
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
۱۰ تیر 1 July	بدون آبیاری No irrigation	4.76 ^{ab*}	5.38 ^a	19.16 ^c	23.13 ^c	1.49 ^{bc}	1.87 ^a	20.31 ^d	24.18 ^e
	همراه آبیاری With Irrigation	4.73 ^{ab}	5.00 ^b	20.70 ^b	26.08 ^b	1.47 ^c	1.98 ^a	21.68 ^c	26.83 ^{bc}
	همراه کود With EM bio-fertilizer	4.50 ^b	5.00 ^b	21.31 ^b	25.55 ^b	1.63 ^{ab}	2.16 ^a	22.90 ^b	26.25 ^{cd}
	بدون آبیاری no irrigation	4.64 ^b	4.77 ^b	20.96 ^b	25.50 ^b	1.49 ^{bc}	1.86 ^a	22.33 ^{bc}	26.21 ^d
۱۰ شهریور 1 September	همراه آبیاری With irrigation	4.64 ^b	5.10 ^c	18.93 ^c	26.90 ^a	1.47 ^c	1.86 ^a	19.45 ^d	27.58 ^a
	همراه کود with EM bio-fertilizer	4.96 ^a	5.50 ^a	24.43 ^a	27.38 ^a	1.65 ^a	2.15 ^a	25.15 ^a	27.18 ^{ab}
	سطح احتمال معنی‌داری Significant probability level	*	**	**	**	*	ns	**	**

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

* Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.

صفات زایشی

براساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۴، اثر تاریخ کاشت و آبیاری بر قطر تاج گل نرگس در سال اول در سطح احتمال پنج درصد و در سال دوم آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین قطر تاج گل مربوط به گل‌هایی بود که سوخ آن‌ها در تاریخ ۱۰ تیر ماه (همراه با آبیاری و آبیاری با کود EM) کاشته شده بودند. صفت طول گل نشان داد که بیش‌ترین طول گل در سال اول آزمایش مربوط به تیمار تاریخ کاشت ۱۰ تیر در شرایط همراه با آبیاری و آبیاری با کود زیستی EM بود و پس از آن تاریخ کاشت ۱۰ شهریور همراه با آبیاری با کود زیستی EM، بیش‌ترین طول گل را به خود اختصاص داد (جدول ۴). بررسی قطر گل نرگس نشان داد که در سال دوم آزمایش بیش‌ترین مقدار قطر گل از سوخ‌های کاشته‌شده در تاریخ ۱۰ تیر ماه همراه با آبیاری (۳/۶۱ سانتی‌متر) به دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین نتایج بررسی قطر ساقه گل‌دهنده نرگس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر این صفت در هر دو سال اجرای آزمایش نداشتند (جدول ۴).

طول ساقه گل‌دهنده گل نرگس نشان داد که تاریخ کاشت و آبیاری تأثیر معنی‌داری بر این صفت در سال اول و دوم آزمایش داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین طول ساقه گل‌دهنده در سال اول آزمایش مربوط به سوخ‌هایی بود که در شهریور کاشته شده و همراه با کود EM مورد آبیاری قرار گرفته بود و هم‌چنین سوخ‌هایی که در ۱۰ تیر همراه با آبیاری بودند. از طرفی، کاشت سوخ گل نرگس در ۱۰ تیر همراه با آبیاری باعث بیش‌ترین افزایش طول ساقه گل‌دهنده در سال دوم آزمایش در مقایسه با سایر تیمارها شد (شکل ۱).

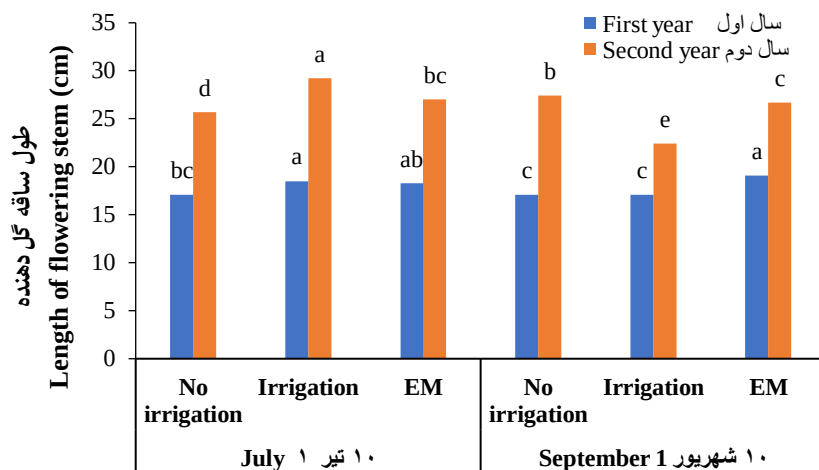
نتایج نشان داد که تعداد گل در مترمربع در هر دو سال اجرای آزمایش تحت تأثیر تاریخ کاشت و آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که سوخ‌های کاشته‌شده در تاریخ ۱۰ تیر ماه همراه با آبیاری و آبیاری با کود EM دارای بیش‌ترین تعداد گل در مترمربع بودند (شکل ۲). در بررسی تعداد گل روی ساقه گل‌دهنده که در شکل ۳ ارائه شده است، مشخص شد که بیش‌ترین تعداد گل روی ساقه از تیمارهای کاشت سوخ در ۱۰ تیر (۷/۲۱ گل در مترمربع) و ۱۰ شهریور (۷/۱ گل در مترمربع) همراه با کود زیستی به دست آمد.

جدول ۴- تأثیر زمان کاشت، آبیاری و کود زیستی EM بر برخی صفات زایشی گل نرگس رقم شهلا در سال اول و دوم
Table 4- The effect of planting time, irrigation and EM bio fertilizer on some reproductive traits of narcissus cv. Shahla in the first and second year

زمان کشت Planting time	آبیاری Irrigation	قطر تاج گل The diameter of the flower crown (cm)		طول گل Flower length (cm)		قطر گل Flower diameter (cm)		قطر ساقه گل‌دهنده The diameter of flowering stem (cm)	
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
۱۰ تیر 1 July	بدون آبیاری No irrigation	4.76 ^{ab*}	5.38 ^a	19.16 ^c	23.13 ^c	1.49 ^{bc}	1.87 ^a	20.31 ^d	24.18 ^e
	همراه آبیاری With Irrigation	4.73 ^{ab}	5.00 ^b	20.70 ^b	26.08 ^b	1.47 ^c	1.98 ^a	21.68 ^c	26.83 ^{bc}
	همراه کود EM With EM bio-fertilizer	4.50 ^b	5.00 ^b	21.31 ^b	25.55 ^b	1.63 ^{ab}	2.16 ^a	22.90 ^b	26.25 ^{cd}
۱۰ شهریور 1 September	بدون آبیاری no irrigation	4.64 ^b	4.77 ^b	20.96 ^b	25.50 ^b	1.49 ^{bc}	1.86 ^a	22.33 ^{bc}	26.21 ^d
	همراه آبیاری With irrigation	4.64 ^b	5.10 ^c	18.93 ^c	26.90 ^a	1.47 ^c	1.86 ^a	19.45 ^d	27.58 ^a
	همراه کود EM with EM bio-fertilizer	4.96 ^a	5.50 ^a	24.43 ^a	27.38 ^a	1.65 ^a	2.15 ^a	25.15 ^a	27.18 ^{ab}
سطح احتمال معنی‌داری Significant probability level		*	**	**	**	*	ns	**	**

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

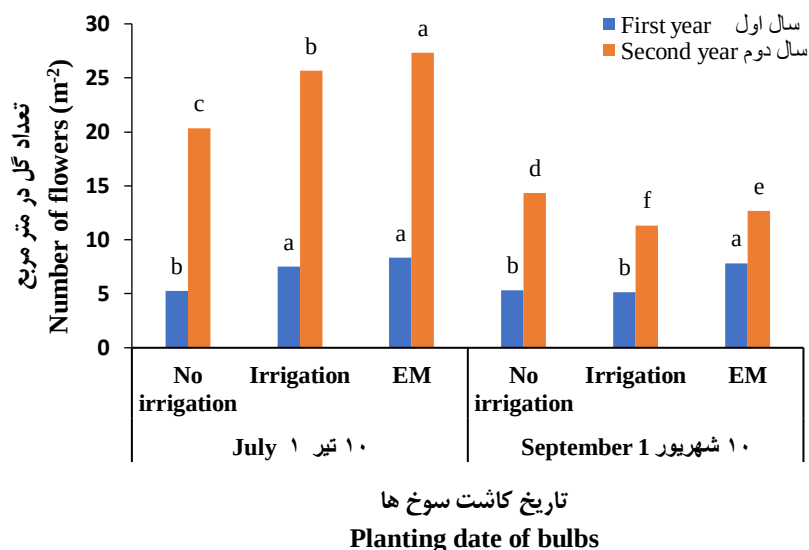
* Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.



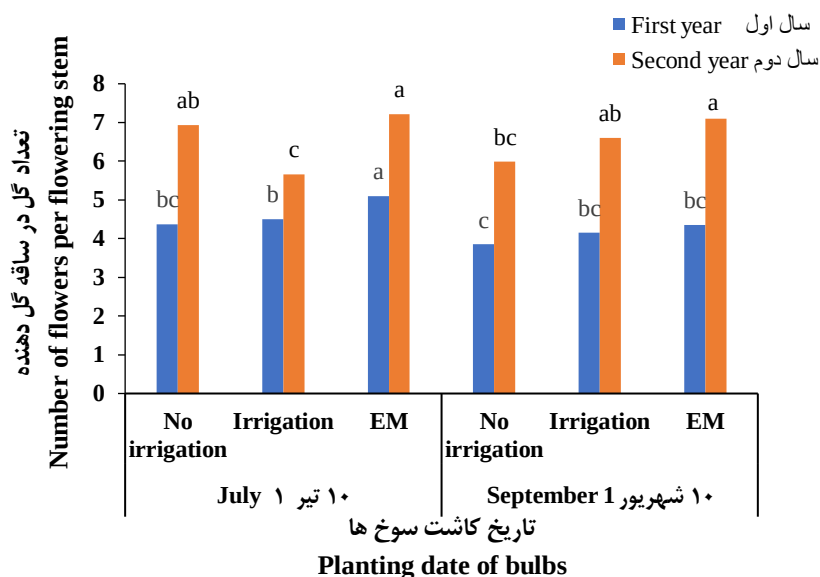
تاریخ کاشت سبزه ها
Planting date of bulbs

شکل ۱- اثر تاریخ کاشت و آبیاری بر طول ساقه گل‌دهنده گیاه نرگس رقم شهلا

Figure 1- The effects of planting date and irrigation on the length of the flowering stem in narcissus cv. Shahla



شکل ۲- اثر تاریخ کاشت و آبیاری بر تعداد گل در مترمربع در گیاه نرگس رقم شهلا
Figure 2- The effects of planting date and irrigation on the number of flowers per square meter in narcissus cv. Shahla



شکل ۳- اثر تاریخ کاشت و آبیاری بر تعداد گل در ساقه گل‌دهنده گیاه نرگس رقم شهلا
Figure 3- The effects of planting date and irrigation on the number of flowers per flowering stem in narcissus cv. Shahla

گونه‌های ژئوفیت سوخوار به شرایط دمایی متفاوتی نیاز دارد (Flaishman & Kamenetsky, 2006). گونه‌های مناطق معتدل معمولاً برای تمایز گل‌ها به دمای پایین نیاز دارند، مانند بهارش در گیاه مدل *آرابیدوپسیس*. گونه‌هایی با چرخه‌های حرارتی (مانند لاله، نرگس و سنبل)، در مناطق ایران و مدیترانه‌ای، برای تمایز گل‌ها در داخل پیاز، به دمای نسبتاً بالایی نیاز دارند، همچنین به دوره‌ای از

یکی از مهم‌ترین عواملی که رشد و عملکرد گیاهان ژئوفیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تاریخ کاشت می‌باشد. بنابراین تاریخ کاشت مناسب، لازمه افزایش رشد و عملکرد در گل نرگس می‌باشد. تغییرات دمای فصلی، واکنش‌های گل‌دهی فصلی را برمی‌انگیزد که امکان هماهنگی گل‌دهی با شرایط بهینه را فراهم می‌کند (Hemming & Trevaskis, 2011). انتقال گل متناسب با منشأ بوم‌شناختی

۱۰ شهریور ماه که با کود زیستی EM تغذیه شده بودند با سوخ‌های کاشته‌شده در ۱۰ تیر ماه اختلاف معنی‌داری نداشت. افزایش فراهمی عناصر غذایی در طول فصل رشد یکی از سازوکارهای عمل کودهای زیستی می‌باشد و افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی باعث تشکیل و تقویت بیش‌تر اندام‌های گل می‌شود که در نهایت، عملکرد مزرعه گل نرگس را افزایش می‌دهد (Kumar et al., 2017). نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقی که روی گل نرگس رقم شهلا انجام گرفته بود، مطابقت داشت (Dehestani Ardakani et al., 2021)، آن‌ها نشان دادند که کاربرد کود زیستی در زراعت گل نرگس باعث افزایش عملکرد صفات زایشی می‌شود.

محتوای کلروفیل و کارتنوئید

نتایج نشان داد که زمان کاشت و آبیاری، صفات محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ گل نرگس را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. بیش‌ترین مقدار کلروفیل a در سال اول (۰/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از تیمار کاشت سوخ گل نرگس در ۱۰ شهریور ماه بدون آبیاری و در سال دوم آزمایش (۰/۶۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از تیمار کاشت سوخ گل نرگس در ۱۰ شهریور ماه همراه با آبیاری به دست آمد (جدول ۵). ارزیابی سطوح کلروفیل b نشان داد که در سال اول، بیش‌ترین مقدار مربوط به گیاهانی بود که سوخ آن‌ها در تاریخ ۱۰ شهریور ماه (بدون آبیاری و همراه با آبیاری) کاشته شده بودند (جدول ۵). بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل در سال اول و سال دوم آزمایش مربوط به تاریخ کاشت ۱۰ شهریور (بدون آبیاری و همراه با آبیاری) و ۱۰ تیرماه همراه با آبیاری بود (جدول ۵). بیش‌ترین محتوای کارتنوئید در سال اول مربوط به تاریخ کاشت ۱۰ شهریور (همراه با آبیاری و بدون آبیاری) و در سال دوم آزمایش بیش‌ترین مقدار کارتنوئید در گل نرگس از سوخ‌های کاشته‌شده در تاریخ ۱۰ شهریور همراه با آبیاری به دست آمد (جدول ۵).

کلروفیل یکی از رنگیزه‌های اصلی کلروپلاست است که در فرآیند فتوسنتز دخیل است و عنصر نیتروژن یکی از عوامل مهم و مؤثر در شکل‌گیری کلروفیل می‌باشد (Zhuang et al., 2020). پروتئین‌ها و کوآنزیم‌ها با کلروفیل در کلروپلاست بدون حضور نیتروژن یا کمبود آن، قادر به سنتز نبوده و فعالیت‌های فتوسنتز و کلروفیل متوقف می‌گردد و این از علائم کمبود نیتروژن است، بنابراین مقدار نیتروژن و کلروفیل همبستگی مثبتی با یکدیگر دارند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محتوای کلروفیل (کلروفیل a، b و کل) و کارتنوئید برگ در تاریخ کاشت ۱۰ شهریور نسبت به تاریخ کاشت تیر ماه افزایش یافته است. از آنجایی که همبستگی قوی بین مقدار نیتروژن و کلروفیل برگ وجود دارد، این کاهش مقدار کلروفیل در تاریخ کاشت تیر ماه

دماهای پایین برای افزایش طول ساقه و گل‌دهی گل نیاز دارند (Flaishman & Kamenetsky 2006). در واقع می‌توان اظهار داشت که نه تنها هیچ القاء سردی برای گل‌انگیزی این گونه مورد نیاز نیست، بلکه دماهای پایین مانعی برای گل‌انگیزی و گل‌آغازی می‌باشند. دمای بالای تابستان (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به هنگام خواب و رکود سوخ به‌عنوان سیگنالی جهت گل‌انگیزی در گل نرگس 'شهلا' شناخته می‌شود. سوخ‌ها در ماه‌های اکتبر تا نوامبر جوانه می‌زنند، در طول زمستان رشد می‌کنند و در ژانویه تا فوریه گل می‌دهند. قسمت‌های روی زمین گیاهان در اواخر بهار شروع به خشک شدن می‌کنند. گل‌آغازی در سوخ‌هایی که به حداقل اندازه (محیط ۱۳ سانتی‌متر) رسیده باشند، در طول خواب تابستان آغاز می‌شود (Noy-Porat et al., 2009).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شروع گل‌دهی نرگس 'شهلا' به‌تدریج با گرمایش تابستان القاء شد. طبق آمار اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی، گرمای تابستان معمولاً از اوایل تیر، با میانگین دمای ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد (در سال اول) و دمای ۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد (در سال دوم) شروع می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که به‌طور کلی، سوخ‌های کاشته‌شده در تاریخ ۱۰ تیر ماه دارای مقدار گل بیشتر در مترمربع نسبت به سوخ‌های کاشته‌شده در تاریخ ۱۰ شهریور ماه بودند. در تاریخ کاشت تیر ماه، گل‌انگیزی در سوخ‌های نرگس انجام نشده است و پس از انتقال و استقرار در زمین اصلی و با درجه حرارت مناسب تابستان (۲۵ درجه سانتی‌گراد) گل‌انگیزی در سوخ‌ها انجام می‌گیرد، اما در تاریخ کاشت شهریور ماه با توجه به اینکه گل‌آغازی و نمو گل در سوخ‌ها انجام شده است، این احتمال وجود دارد که در اثر جابه‌جایی سوخ‌ها در زمان نامطلوب (پس از گل‌انگیزی) به جوانه گل شوک وارد شده که در نهایت تعداد گل و سایر صفات زایشی تحت تأثیر قرار گرفتند. در واقع، این موضوع نوعی تنش محیطی به‌شمار می‌آید. در تحقیقی که روی تاریخ مناسب کاشت پدازه زعفران انجام گرفت (Koocheki et al., 2016)، نشان داده شد که تعداد گل‌های زعفران در تاریخ کاشت خرداد ماه نسبت به مرداد و مهر ماه، ۷۰ درصد افزایش داشت. نتایج تحقیق حاضر مطابق نتایج به‌دست‌آمده روی گل نرگس بود (Li et al., 2013). به‌طور کلی، در این آزمایش مشاهده شد که در سال دوم آزمایش، صفات زایشی نسبت به سال اول عملکرد بهتری داشتند که می‌تواند به‌دلیل استقرار بهتر و افزایش اندازه سوخ در سال دوم باشد. سوخ‌های کاشته‌شده در شهریور ماه به‌طور کلی عملکرد کم‌تری را در صفات زایشی نشان دادند، با این حال استفاده از کود زیستی EM در تاریخ کاشت ۱۰ شهریور به بهبود صفات زایشی گل نرگس کمک قابل توجهی کرد، به‌طوری‌که تعداد گل در ساقه در سوخ‌های کاشته‌شده در

عناصر غذایی

نتایج نشان داد که تاریخ کاشت و آبیاری، درصد عناصر غذایی برگ گل نرگس را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان داد که بیش‌ترین درصد ازت در سال اول آزمایش از سوخ‌های کاشته‌شده در ۱۰ شهریور ماه (در هر سه شرایط آبیاری) و ۱۰ تیر ماه همراه با کود زیستی به دست آمد. نتایج ارزیابی درصد ازت برگ در سال دوم نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار ازت مربوط به تاریخ کاشت ۱۰ شهریور ماه (بدون آبیاری و همراه با آبیاری) و تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه (بدون آبیاری) بود (جدول ۶). هم-چنین ارزیابی درصد فسفر در برگ گل نرگس نشان داد که در سال اول و دوم به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار فسفر از سوخ‌های کاشته‌شده در ۱۰ شهریور ماه (۱/۲۸ درصد) و ۱۰ تیر ماه (۱/۲۶ درصد) که آبیاری نشده بودند، به‌دست آمد (جدول ۶). بررسی درصد پتاسیم برگ در گل نرگس نشان داد که بیش‌ترین مقدار پتاسیم در سال اول (۳/۳۶ درصد) و دوم (۳/۳۱ درصد) از سوخ‌های کاشته‌شده در ۱۰ شهریور ماه که مورد آبیاری قرار گرفته بودند، حاصل شد (جدول ۶).

می‌تواند به‌دلیل آبشویی ازت از خاک باشد، زیرا در تاریخ کاشت تیر ماه نسبت به شهریور ماه آبیاری بیش‌تر صورت گرفته است. نتایج به-دست‌آمده از این تحقیق مطابق نتایج به‌دست‌آمده روی کشت زعفران می‌باشد که نشان دادند در رژیم‌های مختلف آبیاری مزرعه زعفران، با افزایش آب مورد استفاده از ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، مقدار آبشویی نیتروژن از خاک به‌میزان دو برابر افزایش یافت و نیتروژن مورد استفاده از دسترس گیاه خارج شد (Abbasi & Sepaskhah, 2023).

در تحقیقی مشابه مشخص شد که تاریخ کاشت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر محتوای کلروفیل برگ زعفران داشت، به‌طوری که تاریخ کاشت ۶ و ۱۳ اکتبر نسبت به تاریخ کاشت ۳ نوامبر (کاشت دیر هنگام) دارای محتوای کلروفیل بالاتری در هر سه سال آزمایش (۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱) بود (Pirasteh-Anosheh et al., 2022). به عبارتی، کاشت دیر هنگام در زعفران احتمالاً باعث کاهش رشد و فتوسنتز می‌شود و در نهایت منجر به کاهش مقدار کلروفیل می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر در تضاد است. این اختلاف در نتایج می‌تواند به‌دلیل سطوح آبیاری متفاوت باشد.

جدول ۵- تأثیر زمان کاشت، آبیاری و کود زیستی EM بر محتوای کلروفیل و کارتنوئید گل نرگس رقم شهلا در سال اول و دوم

Table 5- The effect of planting time, irrigation and EM bio fertilizer on chlorophyll and carotenoid content of narcissus cv. Shahla in the first and second year

زمان کشت Planting time	آبیاری Irrigation	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g FW ⁻¹)		کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g FW ⁻¹)		کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g FW ⁻¹)		محتوای کارتنوئید Carotenoid content (mg.g FW ⁻¹)	
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
۱۰ تیر 1 July	بدون آبیاری No irrigation	0.48 ^{c*}	0.54 ^b	0.17 ^c	0.18 ^a	0.65 ^{cd}	0.73 ^b	0.24 ^{bc}	0.19 ^c
	همراه آبیاری With Irrigation	0.53 ^{bc}	0.52 ^b	0.20 ^{abc}	0.17 ^a	0.73 ^{bc}	0.70 ^b	0.24 ^{bc}	0.20 ^b
	همراه کود With EM bio-fertilizer	0.47 ^c	0.53 ^b	0.17 ^{bc}	0.18 ^a	0.63 ^{cd}	0.72 ^b	0.23 ^c	0.20 ^b
۱۰ شهریور 1 September	بدون آبیاری no irrigation	0.67 ^a	0.58 ^{ab}	0.22 ^a	0.20 ^a	0.89 ^a	0.78 ^{ab}	0.28 ^a	0.20 ^b
	همراه آبیاری With irrigation	0.59 ^{ab}	0.68 ^a	0.21 ^{ab}	0.22 ^a	0.80 ^{ab}	0.89 ^a	0.27 ^a	0.26 ^a
	همراه کود with EM bio-fertilizer	0.45 ^c	0.49 ^b	0.17 ^c	0.16 ^a	0.62 ^d	0.65 ^b	0.25 ^b	0.18 ^c
سطح احتمال معنی‌داری Significant probability level		**	*	*	ns	**	*	**	**

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

* Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.

جدول ۶- تأثیر زمان کاشت، آبیاری و کود زیستی EM بر محتوای پتاسیم، فسفر و ازت برگ نرگس رقم شهلا در سال اول و دوم

Table 5- The effect of planting time, irrigation and EM biofertilizer on the leaf nitrogen, phosphorus, and potassium content of narcissus cv. Shahlā in the first and second year

زمان کشت Planting time	آبیاری Irrigation	ازت Nitrogen (%)		فسفر Phosphorus (%)		پتاسیم Potassium (%)	
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
۱۰ تیر 1 July	بدون آبیاری No irrigation	4.50 ^{b*}	4.50 ^b	1.08 ^a	1.26 ^a	2.42 ^c	2.67 ^b
	همراه آبیاری With Irrigation	4.33 ^c	4.33 ^c	0.45 ^b	0.59 ^c	2.03 ^d	2.06 ^c
	همراه کود EM With EM bio- fertilizer	4.67 ^a	4.67 ^a	0.82 ^a	0.93 ^b	2.42 ^c	2.66 ^b
۱۰ شهریور 1 September	بدون آبیاری No irrigation	4.76 ^a	4.76 ^a	1.03 ^a	1.28 ^a	2.65 ^{bc}	2.46 ^{bc}
	همراه آبیاری With irrigation	4.68 ^a	4.68 ^a	0.29 ^b	0.24 ^d	3.36 ^a	3.31 ^a
	همراه کود EM with EM bio- fertilizer	4.77 ^a	4.77 ^a	0.34 ^b	0.59 ^d	2.97 ^b	2.80 ^b
سطح احتمال معنی داری Significant probability level		**	**	**	**	**	**

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نیستند.

* Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.

نگرفته بودند، بیش تر از سایر گروه ها بود. احتمالاً این کاهش مقدار فسفر در سایر تیمارها به دلیل آبشویی در اثر آبیاری اتفاق افتاده است. در مطالعه ای تأثیر آبیاری بر توزیع فسفر خاک در مراتع دائمی نیوزیلند مورد بررسی قرار گرفت (Condron *et al.*, 2006). یافته های این مطالعه نشان داد، درحالی که آبیاری مصرف کود فسفر را بهبود می بخشد، با این حال منجر به افزایش حرکت فسفر به سمت عمق در نیمرخ خاک و آبشویی می شود. آن ها نشان دادند که گیاهان کاشته شده در مراتع به صورت دیم (بدون آبیاری) نسبت به گیاهانی که آبیاری شده بودند، مقدار فسفر بیش تری داشتند که کاملاً همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاشت سوخ های گل نرگس در شهریور ماه و استفاده از کود زیستی EM باعث بهبود صفات رویشی گل نرگس شد. همچنین نتایج نشان داد که کاشت سوخ در تیر ماه و آبیاری در تابستان سبب بهبود صفات زایشی گل نرگس رقم 'شهلا' شد. با توجه به اینکه کشاورزان، سوخ های گل نرگس را در منطقه خراسان جنوبی غالباً در شهریور ماه به زمین انتقال می دهند و با توجه به نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می شود که جهت حصول عملکرد بالا و اقتصادی گل نرگس، در تیر ماه اقدام به کاشت سوخ ها شود.

محققان نشان دادند که نیتروژن در رشد و نمو گل نرگس نقش بسیار مهمی دارد و عدم وجود آن، رشد را محدود می کند (Jowkar & Kafi, 2003; Matin *et al.*, 2015). نیتروژن توسط گیاه جذب شده و طی مراحل رشد در برگ ها تجمع می یابد. کمبود نیتروژن، صفات کیفی گل از جمله طول ساقه گل دهنده و رنگ گلبرگ ها را شدیداً تحت تأثیر قرار می دهد (Ruamrungsri *et al.*, 2021). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در سوخ های کاشته شده در شهریور ماه که دارای ازت بیش تری بودند، مقدار کلروفیل نیز افزایش یافت، همان طور که در بخش کلروفیل بیان شد، کاهش مقدار ازت در کاشت تیر ماه نسبت به شهریور ممکن است به دلیل آبشویی در اثر آبیاری بیشتر رخ داده باشد. از دیگر عوامل مربوط به آبشویی ازت از خاک می توان به نوع خاک، میانگین دما، مقدار کود مصرفی و شدت جذب نیتروژن توسط محصول اشاره کرد (Kostensalo *et al.*, 2024). نتایج این تحقیق همسو با نتایج به دست آمده روی سایر محصولات مانند سویا (Azizi *et al.*, 2011) و ذرت (Shafi *et al.*, 2011) بود. در زراعت های مناطق خشک، مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده در مقایسه با نواحی مرطوب، کم تر عامل محدود کننده به شمار می رود. مهم ترین مسئله در مورد فسفر و پتاسیم این است که بخش اعظم این عناصر موجود در خاک برای گیاه غیر قابل استفاده می باشد (Belnap, 2011). در تحقیق حاضر نشان داده شد که میزان فسفر موجود در برگ های گل نرگس در تیمارهایی که تحت آبیاری قرار

References

1. Abbasi, M.R., & Sepaskhah, A.R. (2023). Nitrogen leaching and groundwater N contamination risk in saffron/wheat intercropping under different irrigation and soil fertilizers regimes. *Scientific Reports*, 13(1), 6587. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33817-5>
2. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112-121.
3. Azizi, G., Alimoradi, L., & Siahmergoui, A. (2011). Investigating the relationship between the number of chlorophyll meter with chlorophyll content, photosynthesis and leaf nitrogen content in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Science Research Quarterly*, 33(3), 34-40. (in Persian).
4. Belnap, J. (2011). *Biological Phosphorus Cycling in Dryland Regions. Phosphorus in Action: Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling*. Publisher: Springer, p. 371-406. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15271-9_15
5. Bhattacharjee, R., & Dey, U. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(24), 2332-2343. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6374>
6. Condrón, L.M., Sinaj, S., McDowell, R.W., Dudler-Guela, J., Scott, J.T., & Metherell, A.K. (2006). Influence of long-term irrigation on the distribution and availability of soil phosphorus under permanent pasture. *Soil Research*, 44(2), 127-133. <https://doi.org/10.1071/sr05065>
7. Dehestani Ardakani, M., Khosravi, N., Shirmardi, M., Gholamnejad, J., & Naseri Nesab, F. (2021). the effect of biofertilizers and biochar on the morphological and physiological characteristics of (*Narcissus tazetta* L. cv. 'Shahla'). *Isfahan University of Technology Journal of Soil and Plant Relations*, 12(1), 79-93. (in Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.12.1.19991>
8. El-Naggar, A.H. (2010). Effect of biofertilizer, organic compost and mineral fertilizers on the growth, flowering and bulbs production of *Narcissus tazetta*. *Journal of Agriculture & Environmental*, 9(1), 24-52.
9. Flaishman, M.A., & Kamenetsky, R. (2006). *Florogenesis in Flower Bulbs: Classical and Molecular Approaches*. Book chapter: Floriculture, ornamental and plant biotechnology, Institute of Plant Sciences, Israel. p. 33-43.
10. Ghasemi-Roosnavand, R., Hashemiyeh, M., & Afzalian, M. (2009). Planting, conservation and harvesting stages of saffron. *Yazd Agriculture Organization, Iran*, 132, 33. (in Persian).
11. Gupta, P.K. (2007). *Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis*. 2nd ed., Agrobios. New Delhi, India, 146 p
12. Hatami, S.F., Ismailpour, B., Hadian, J., Khawazi, K., Soltani Toularud, A.A., & Abbaszadeh Dehji, P. (2013). Evaluation of the effect of biological fertilizers on the morphological characteristics of the tarragon medicinal plant (*Artemisia dracunculus*). *Soil Biology*, 2(1), 55-63. <https://doi.org/10.22092/sbj.2014.100091>
13. Hemming, M.N., & Trevaskis, B. (2011). Make hay when the sun shines: the role of MADS-box genes in temperature-dependant seasonal flowering responses. *Plant Science*, 180(3), 447-453. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.12.001>
14. Jowkar, M.M., & Kafi, M. (2003). *Effects of harvesting stages, 8-hydroxyquinoline citrate, silver thiosulphate, silver nitrate on the postharvest life of cut Narcissus tazetta*. In VIII International Symposium on Postharvest Physiology of Ornamental Plants, 669(405-410). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.669.53>
15. Karakoyun, Ç., Bozkurt, B., Çoban, G., Masi, M., Cimmino, A., Evidente, A., & Somer, N.U. (2020). A comprehensive study on *Narcissus tazetta* subsp. *tazetta* L.: Chemo-profiling, isolation, anticholinesterase activity and molecular docking of Amaryllidaceae alkaloids. *South African Journal of Botany*, 130, 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.016>
16. Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Fallahi, H.R., & Aghhavani Shajari, M. (2016). The study of saffron (*Crocus sativus* L.) replacement corms growth in response to planting date, irrigation management and companion crops. *Saffron Agronomy and Technology*, 4(1), 3-18. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22048/jsat.2016.11895>
17. Kostensalo, J., Lemola, R., Salo, T., Ukonmaanaho, L., Turtola, E., & Saarinen, M. (2024). A site-specific prediction model for nitrogen leaching in conventional and organic farming. *Journal of Environmental Management*, 349, 119388. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119388>
18. Kumar, R., Kumawat, N., & Sahu, Y.K. (2017). Role of biofertilizers in agriculture. *Popular Kheti*, 5(4), 63-66.
19. Li, X.F., Jia, L.Y., Xu, J., Deng, X.J., Wang, Y., Zhang, W., & Xu, L. (2013). FT-like NFT1 gene may play a role in flower transition induced by heat accumulation in *Narcissus tazetta* var. *Chinensis*. *Plant and Cell Physiology*, 54(2), 270-281. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcs181>
20. Maheswari, N.U., & Abirami, R. (2019). A review on: Effective microorganisms and it applications. *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*, 8(4), 121-129. <https://doi.org/10.5958/2278-4853.2019.00142.3>
21. Matin, S.R.M., Mortazavi, S.N., & Heidari, M. (2015). Application of benzyl adenine and potassium nitrate on growth, nitrate content and nitrate reductase activity in narcissus (*Narcissus tazetta*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 9(6), 824-830.

22. Mitter, E.K., Tosi, M., Obregón, D., Dunfield, K.E., & Germida, J.J. (2021). Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: Innovative biofertilizer technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606815. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606815>
23. Musafari Ziauddin, H., Alizadeh, A., & Mousavi, S.J. (2007). The effect of summer irrigation on saffron yield. *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, 21(3), 163-169. (in Persian).
24. Nathaniel, O., Sam, A.R.M., Lim, N.H.A.S., Adebisi, O., & Abdulkareem, M. (2020). Biogenic approach for concrete durability and sustainability using effective microorganisms: A review. *Construction and Building Materials*, 261, 119664. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119664>
25. Noy-Porat, T., Flaishman, M.A., Eshel, A., Sandler-Ziv, D., & Kamenetsky, R. (2009). Florogenesis of the Mediterranean geophyte *Narcissus tazetta* and temperature requirements for flower initiation and differentiation. *Scientia Horticulturae*, 120(1), 138-142. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.09.016>
26. Nelson, D.W., Sommers, L.E., Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. *Agronomy Monograph*, 9, 539-579. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed>
27. Pirasteh-Anosheh, H., Hashemi, S.E., Del Borghi, A., Spasiano, D., Rad, M., & Race, M. (2022). Feasibility study of saffron cultivation using a semi-saline water by managing planting date, a new statement. *Environmental Research*, 203, 111853. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111853>
28. Poorreza, A., & Amirshkari, H. (2020). Effects of organic, biological fertilizers and summer irrigation on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in zaweh city. *Journal of Saffron Research*, 7(2), 269-282. <https://doi.org/10.22077/jsr.2019.2135.1083>
29. Prisa, D. (2022). Effective microorganisms improve growth and minerals content in the medicinal plant *Bulbine frutescens*. *Indian Journal of Natural Sciences*, 12, 37763-37770.
30. Ruamrungsri, S., Panjama, K., Ohyama, T., & Inkham, C. (2021). *Nitrogen in Flowers*. In book Nitrogen in Agriculture-Physiological, Agricultural and Ecological Aspects [Working Title]. IntechOpen.
31. Sadeghi, B., Negari, K., & Hatami, M. (2003). *Effect of planting date on the saffron flowering*. Third National Symposium on Saffron, Mashhad, Iran. p. 50-51. (in Persian)
32. Sari, Ö., & Çelikel, F.G. (2018). *Planting time and bulb size affect the quantitative properties of Narcissus tazetta*. In XXX International Horticultural Congress IHC2018: International Symposium on Ornamental Horticulture and XI International, 1263(183-190). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1263.23>
33. Shafi, L., Safari, M., Mehri, Imam, Y., & Mohammadi-Nejad, Q. (2011). The effect of using nitrogen and zinc fertilizers on the amount of chlorophyll and the amount of zinc in leaves, the yield and the composition of two hybrid corn (*Zea mays* L.) seed elements. *Seedling and Seed Agriculture*, 27(2), 235-246. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110434>
34. Xie, M., & Wu, Q. (2017). Mycorrhiza modulates morphology, color and duration of flowers in hyacinth. *Biotechnology*, 16(3), 116-122. <https://doi.org/10.3923/biotech.2017.116.122>
35. Zangeneh, M., & Salehi, H. (2019). Genetic diversity as revealed by intersimple sequence repeat polymorphism in narcissus accessions to identify the tolerant genotypes for deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 144(2), 92-106.
36. Zhuang, J., Wang, Y., Chi, Y., Zhou, L., Chen, J., Zhou, W., & Ding, J. (2020). Drought stress strengthens the link between chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic traits. *Peer Journal*, 8, e10046. <https://doi.org/10.7717/peerj.10046>

Study of Pecan Cultivars and Genotypes (*Carya illinoensis*) Acclimation in Golestan Province Climate

M. Ghazaeian^{1*}, D. Hassani², S. Zamani¹, M. Adibi¹

1- Seed and Plant Improvement Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Gorgan, Iran

2- Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute (HSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: m_ghazaeian58@yahoo.com)

Received: 21 October 2024
Revised: 16 November 2024
Accepted: 01 December 2024
Available Online: 01 December 2024

How to cite this article:

Ghazaeian, M., Hasani, D., Zamani, S., & Adibi, M. (2025). Study of pecan cultivars and genotypes (*Carya illinoensis*) acclimation in Golestan province climate. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 345-357. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90378.1385>

Introduction

The Juglandaceae family includes about 50 species of 11 genera of which *Carya* (hickory tree), *Pterocarya* (wingnut tree), and *Juglans* are the major members. The pecan, *Carya illinoensis* is the most economically important member of the *Carya* genus and is the most valuable native North American nut crop. The *Carya* genus comprises 20 species.

Materials and Methods

Golestan province is located in the northern temperate region between 37.2898° N, 55.1376° E from the Greenwich meridian and in the northern part of the country. The amount of precipitation reaches 200 mm in the northernmost part of the province and more than 700 mm in the southern parts of Alborz foothills. Temperature varies across different parts of the province, generally increasing from west to east and from south to north. The genotypes used in this project are G4, G3, G43, G63, which were selected and propagated from the elite trees available in the province after quantitative and qualitative evaluation, and the cultivars are Mahan and Comanche, which were propagated from grafted trees of the Dezful Research Center collection. Grafted seedlings were produced using the thermal cable technique and planted in the specified locations in the above 2 regions. Grafted trees from 4 elite genotypes of Golestan (G4, G3, G43, G63) plus Comanch and Mahan 2 commercial cultivars have been studied in randomized completely block design (RCBD) for 3 years in two regions. In the second phase of experiment, the fruit characters and yield evaluated based on pecan descriptor. The results were analyzed by SAS statistical software and the reactions of genotypes were evaluated in different places and during different years.

Results and Discussion

This evaluation was conducted during the years 2021 to 2024 at Chalki research station of the Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center in Gorgan and on the farmer's land located in Igder village, located 30 km from Gonbad city. Measurements were conducted on fruits harvested in 2022 and 2023. During both years, the Mahan cultivar did not produce a sufficient number of fruits in either region and was therefore excluded from the comparison. A significant effect of location and year was observed only for the fruit weight trait. Among the genotypes, G43 exhibited the highest fruit weight (11.75 g) and demonstrated vigorous growth with a broad canopy in both locations. However, fruit yield over the two years of evaluation



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90378.1385>

showed no significant differences among the studied cultivars and genotypes across the two regions. Due to the results of the first phase, the maximum tree height was in Mahan (242.5 cm) and the lowest height in G63 (118.66 cm). The maximum canopy spread was in comanch (138.72 cm) and the lowest was in G63 (90.11 cm). There were significant differences between two regions. The length of the growing season among cultivars was 257 days in Gonbad and 237 to 247 days in Gorgan. Study of dichogamy during the years 2021-2022 in the cultivars and genotypes showed two cultivars Comanche and Mahan were protandry in Gorgan, while both cultivars showed protogyny in Gonbad. Also, 4 genotypes of the province (G3, G4, G43, G63) showed protogyny.

Conclusions

This project, conducted over both vegetative and reproductive phases, evaluated elite pecan germplasm within the province. The objective was to utilize the region's existing genetic potential and to compare it with commercially available cultivars in the country, with the goal of identifying and promoting superior genotypes for the establishment and expansion of new orchards in Golestan Province. The results of the two phases of this research showed that some of the introduced genotypes have the ability to compete with the existing commercial cultivars, which will require further investigation in the years of peak fruiting and maturity of the tree. The length of the growing season among cultivars was 257 days in Gonbad area and 237 to 247 days in Gorgan. Also, the effects of drought conditions in Golestan province during 2021-2022 should be included in the relative determination of the results. As a summary, based on the evaluation of these two phases and considering the growth and fruiting conditions, two genotypes G4, G43 and G63 can be considered as promising genotypes for development.

Acknowledgement

The authors consider it necessary to appreciate the support of Horticultural Sciences Research Institute (HSRI) and Golestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in the implementation of this project.

Keywords: Adaptability, Climate change, Gorgan, Juglandaceae, Pollination

مطالعه خصوصیات میوه و عملکرد تعدادی از ژنوتیپ‌های برتر و ارقام پکان (*Carya illinoensis*) در شرایط آب‌وهوایی استان گلستان

مینا غزایی یان^{۱*} - داراب حسنی^۲ - صدیقه زمانی^۱ - محمد ادیبی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

چکیده

پکان با نام علمی *Carya illinoensis* متعلق به خانواده Juglandaceae است. پکان نیاز سرمایی پایینی داشته و شرایط گرم را به‌خوبی تحمل کرده و محصولی تجاری و با ارزش تولید می‌نماید. در فاز اول آزمایش، درختان پیوندی پکان شامل چهار ژنوتیپ برتر استان گلستان ('G3', 'G4', 'G63', 'G43') و دو رقم تجاری 'ماهان' و 'کومانچ' در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو منطقه در استان گلستان به‌مدت سه سال مورد ارزیابی قرار گرفتند و خصوصیات رویشی مورد مطالعه قرار گرفتند. در فاز دوم آزمایش، خصوصیات و عملکرد میوه براساس دسکریپتور پکان بررسی شد. اثر مکان و سال تنها بر صفت وزن میوه معنی‌دار گردید. بر این اساس، بیشترین وزن میوه در ژنوتیپ 'G43' (۱۱/۷۵ گرم) بود. ژنوتیپ 'G43' در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هر دو منطقه دارای میزان رشد قوی‌تر بوده و حجم تاج بالاتری نشان داد. براساس نتایج حاصله، از نظر عملکرد در میان ژنوتیپ‌های استان و رقم موجود، بالاترین عملکرد در سال دوم و متعلق به ژنوتیپ 'G43' (۱/۶۲ کیلوگرم به‌ازای هر درخت) و پس از آن 'G63' (با میزان ۱/۱۷ کیلوگرم به‌ازای هر درخت) و کمترین عملکرد در رقم 'کومانچ' (با میزان ۰/۸ کیلوگرم به‌ازای هر درخت) بوده است. همچنین از نظر وزن میوه نتایج نشان داد که ژنوتیپ 'G43' در گرگان در سال دوم بیشترین وزن میوه (۱۲/۲ گرم) را داشته است. همچنین این ژنوتیپ از نظر ابعاد میوه دارای بیشترین طول میوه (۴/۲۲ سانتی‌متر) می‌باشد. ژنوتیپ 'G4' در گرگان در سال دوم دارای کمترین وزن میوه (۵/۷۴ گرم) بوده است. مقایسه میانگین درصد مغز نشان داد که ژنوتیپ‌های 'G3' و 'G4' اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند. بیشترین درصد مغز در ژنوتیپ‌های 'G3' (۵۳/۴۱ - ۵۳/۴ درصد) و 'G4' (۵۴/۸۳ - ۵۵/۴۳ درصد) در هر دو مکان و هر دو سال می‌باشد. در این صفت، ژنوتیپ‌های 'G43' و 'G63' و رقم 'کومانچ' تفاوت معنی‌داری نداشته و هر سه در یک گروه قرار گرفتند. براساس نتایج فاز اول اجرای طرح، بیشترین ارتفاع در رقم 'ماهان' (۲۴۲/۵ سانتی‌متر) و کمترین در ژنوتیپ 'G63' (۱۱۸/۶۶ سانتی‌متر) بود. همچنین کمترین گسترش تاج در ژنوتیپ 'G63' (۹۰/۱۱ سانتی‌متر) و بیشترین در رقم 'کومانچ' (۱۳۸/۷۲) به دست آمد. اختلاف معنی‌داری بین دو منطقه از نظر تأثیر بر صفات رویشی به دست آمد. طول فصل رشد در بین ارقام در منطقه گنبد ۲۵۷ روز و در گرگان از ۲۳۷ تا ۲۴۷ روز متفاوت بود. براساس ارزیابی این دو فاز و با در نظر گرفتن شرایط رشد و باردهی، دو ژنوتیپ 'G4'، 'G43' و 'G63' می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش جهت توسعه مد نظر قرار داده شوند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سازگاری، گردوسانان، گرده‌افشانی، گرگان

۱- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۲- پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(Email: m_ghazaeian58@yahoo.com)

(*)- نویسنده مسئول

مقدمه

خانواده گردوسانان یا Juglandaceae دارای هفت جنس و حدود ۶۰ گونه می‌باشد. جنس جوگلانز (*Juglans*) و کاریا (*Carya*) از جمله مهم‌ترین جنس‌های این خانواده می‌باشند که دارای ارزش تجاری و اقتصادی هستند (Ui et al., 2023). پکان با نام علمی *Carya illinoensis* متعلق به جنس کاریا می‌باشد که نیاز سرمایی پایینی داشته و شرایط گرم منطقه را به‌خوبی تحمل کرده و در مقایسه با گردوی ایرانی، محصول مناسب با کیفیت بالایی تولید می‌نماید (Badyal & Upadhayay, 2004). توسعه کشت درخت پکان در مناطق گرم استان از جهات مختلفی می‌تواند اهمیت داشته باشد. در درجه اول به‌عنوان یکی از محصولات گروه خشکبار با ارزش غذایی بالا در مناطق گرم است. هر ۱۰۰ گرم مغز پکان دارای ۶۸۷ کیلوکالری انرژی به‌همراه ۳-۵ درصد آب، ۹/۲ درصد پروتئین، ۷۲ درصد اسیدچرب، ۱۵ درصد کربوهیدرات، ۲/۲ درصد فیبر و مجموعه‌ای غنی از ویتامین‌های خانواده ب شامل B1، B2 و B6 و ویتامین A و C و املاح معدنی مثل کلسیم، آهن، فسفر، سدیم و پتاسیم می‌باشد (Johnson, 1997; Rajaram et al., 2001).

با توجه به خصوصیات مطلوبی که این درخت داشته است، برنامه‌های گسترش کشت آن طی سال‌های گذشته در نقاط مختلف جهان از جمله چین (Rui et al., 2015)، برزیل (Fronza et al., 2018)، هندوستان (Badyal & Upadhayay, 2004)، اسپانیا (Aleta & Ninot, 1993)، ترکیه (Tuzcu et al., 1993) و ایتالیا (Tamponi, 1990) صورت گرفته است.

در برزیل، سطح زیر کشت پکان در سال ۲۰۰۸ برابر ۱۶۱۴ هکتار با میانگین عملکرد ۱۴۳۳ کیلوگرم در هر هکتار بوده است. در سال ۲۰۱۵ سطح زیر کشت پکان به ۳۱۲۹ هکتار و میانگین عملکرد ۵۲۰۱ کیلوگرم در هر هکتار رسیده است (Rui et al., 2015).

ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2002) مناطق توسعه پکان در چین را براساس خصوصیات اقلیمی، خاک‌شناسی و نیازهای رشدی و کارایی گیاه پکان طبقه‌بندی نمود. این مناطق بین ۲۵ تا ۳۵ درجه شمالی و ۱۰۰ تا ۱۲۲ شرقی در چین واقع هستند و محصولی با عملکرد مطلوب و کیفیت مناسب تولید می‌نمایند.

در درجه دوم، بعضی از ارقام پررشد مانند رقم شوشونی در عین تولید محصول، به‌دلیل داشتن تاجی گسترده و اسکلت چوبی محکم، گونه مناسب بادشکن در مقابل بادهای گرم منطقه است. از طرفی، همانند گردوی ایرانی با داشتن چوب با کیفیت بالا، در صنایع چوب به‌ویژه در تهیه روکش برای وسایل چوبی لوکس، کاربرد فراوانی دارد. طی سال‌های دهه ۴۰ و ۵۰ خورشیدی، سازمان جنگل‌ها و مراتع ایران و مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، اقدام به واردات تعدادی

ارقام پیوندی این خشکبار با ارزش نموده و در برخی از ایستگاه‌های تحقیقاتی از جمله مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول، باغ کشاورزی قائم‌شهر، باغ کشاورزی و اکولوژی نوشهر و در باغ‌های آزمایشی داراب فارس مورد کشت‌وکار قرار گرفتند. نتایج تحقیقات روی این درختان در مرکز تحقیقات دزفول حاکی از آن است که از بین ۱۲ رقم پیوندی وارداتی، پنج رقم دارای بیشترین میزان عملکرد بوده‌اند که این ارقام شامل گراکینگ، ۱۰جی، ویچیتا، گراتکس و چوکتا می‌باشند (Ajamgard et al., 2007).

با توجه به سازگاری که این درختان در مناطق گرم جنوبی کشور از خود نشان داده‌اند و نیز کاربردهای چند منظوره آن‌ها به نظر می‌رسد که بررسی سازگاری آن‌ها در استان گلستان با وجود اقلیم‌های مختلف اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، بر این اساس در سال ۱۳۸۸، طرحی جهت ارزیابی روی درختان پکان واقع در شهرستان گنبد در استان گلستان که از سال ۱۳۴۶ مورد کشت قرار گرفته بودند، انجام گردید و درختان برتر از نظر صفات رویشی و زایشی گزینش گردید (Ghazaeian, M. 2012).

در تحقیق حاضر، هدف بررسی سازگاری این ژنوتیپ‌ها در سایر نقاط استان می‌باشد که مورد نظر سازمان جهاد کشاورزی استان جهت توسعه کشت پکان می‌باشند. با توجه به جایگاه استراتژیک محصولات خشکباری در بازارهای جهانی و اقبال عمومی به مصرف این فراورده‌ها از نقطه نظر تغذیه‌ای و بهداشتی و نیز توجه به تقاضای مصرف‌کنندگان در امر تولید و صادرات به نظر می‌رسد که توسعه کشت این گیاه ارزشمند که دارای کاربری چند منظوره می‌باشد در نقاطی که به دلایل مختلف از جمله دمای بالا و عدم تأمین نیاز سرمایی در زمستان برای کشت گردو مناسب نمی‌باشند، می‌بایست مد نظر قرار داده شود. همچنین به‌سبب محدود بودن کشت این درختان در کشور، بیماری‌های شاخصی که در زیستگاه اصلی این درختان در ایالات متحده خسارت‌زا می‌باشند در کشور وجود ندارد که می‌تواند به‌عنوان یک مزیت مد نظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و دو نهال در هر تکرار در دو منطقه ۱- گرگان (ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چالکی) و ۲- گنبد (روستای ایگدر-زمین کشاورز) اجرا گردید.

استان گلستان در محدوده منطقه معتدله شمالی و در بخش شمالی کشور واقع شده است. براساس سالنامه هواشناسی استان، میانگین بارش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در گرگان ۴۶۳/۸ میلی‌متر (بلندمدت: ۵۳۱/۸ میلی‌متر) و در گنبد ۲۴۵/۸ میلی‌متر (بلندمدت: ۲۴۵/۸ میلی‌متر) است.

نتایج و بحث

این بررسی طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ در محل ایستگاه تحقیقاتی چالکی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان در گرگان و در زمین کشاورز واقع در روستای ایگرد واقع در ۳۰ کیلومتری شهرستان گنبد صورت گرفت. اندازه‌گیری بر روی میوه سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ صورت گرفت. تعداد میوه برداشت‌شده برای رقم ماهان طی دو سال آزمایش در دو منطقه به‌دلیل باردهی پایین و خسارت پرندگان کافی نبوده، لذا از مقایسه حذف گردید. همچنین رقم کومانچ در سال اول در گرگان میوه نداشته است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بین دو مکان از لحاظ صفات زایشی مورد بررسی اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) وجود داشت، (جدول ۱). همچنین بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در همه صفات تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید. همچنین اثرات متقابل به‌جز در عملکرد در سایر صفات معنی‌دار گردید. با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل در صفات طول و قطر میوه، نسبت طول به قطر، ضخامت پوسته چوبی و وزن میوه در جدول تجزیه واریانس، مقایسه میانگین توسط آزمون LSD (≥ 0.05) برای این صفات در جدول ۲ تا ۹ آورده شده است. آماره‌های توصیفی صفات اندازه‌گیری‌شده در **جدول ۶** آورده شده است.

براساس نتایج حاصله، از نظر عملکرد در میان ژنوتیپ‌های استان و رقم موجود، بالاترین عملکرد در سال دوم و متعلق به ژنوتیپ 'G43' (۱/۶۲ کیلوگرم به‌ازای هر درخت) و پس از آن 'G63' (با میزان ۱/۱۷ کیلوگرم به‌ازای هر درخت) و کمترین عملکرد در رقم کومانچ (با میزان ۰/۸ کیلوگرم به‌ازای هر درخت) بوده است. همچنین از نظر وزن میوه نتایج نشان داد که ژنوتیپ 'G43' در گرگان در سال دوم بیشترین وزن میوه (۱۲/۲ گرم) را داشته است. همچنین این ژنوتیپ از نظر ابعاد میوه دارای بیشترین طول میوه (۴/۲۲ سانتی‌متر) می‌باشد. ژنوتیپ 'G4' در گرگان در سال دوم دارای کمترین وزن میوه (۵/۷۴ گرم) بوده است.

همچنین رقم کومانچ در گرگان در سال دوم از نظر نسبت طول به قطر میوه دارای بیشترین نسبت (۱/۸۷) در میان ارقام مورد بررسی بوده است. این در حالی است که این رقم در گنبد در سال اول در میان ارقام مورد بررسی کمترین نسبت طول به قطر میوه (۱/۶۳) را نشان داده است. بیشترین طول میوه در ژنوتیپ 'G43' در گرگان در سال دوم (۴/۲۲ سانتی‌متر) و کمترین طول میوه در رقم کومانچ (۳/۵۸ سانتی‌متر) در گنبد در سال اول بوده است. بیشترین قطر میوه در ژنوتیپ 'G63' در گرگان در سال دوم (۲/۴۲ سانتی‌متر) و کمترین قطر میوه در ژنوتیپ 'G4' در گرگان در سال اول (۲/۱۳ سانتی‌متر) بوده است.

۳۲۷/۵ میلی‌متر) بوده است. در همین سال، تغییرات میانگین دما ۱/۱ درجه سانتی‌گراد در گرگان و ۰/۴ درجه در گنبد افزایش داشته است. میانگین بارش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در گرگان ۴۲۴/۵ میلی‌متر (بلندمدت: ۵۳۷/۷ میلی‌متر) و در گنبد ۲۱۲/۵ میلی‌متر (بلندمدت: ۳۲۸/۴ میلی‌متر) بود. در همین سال، تغییرات میانگین دما ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در گرگان و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد در گنبد افزایش داشته است.

ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این طرح عبارتند از 'G3'، 'G4'، 'G43'، 'G63' که از ژنوتیپ‌های برتر موجود در سطح استان که پس از ارزیابی کمی و کیفی توسط غزاییان (Ghazaeian, 2012) معرفی گردید، گزینش و تکثیر شدند و ارقام تجاری عبارتند از ماهان و کومانچ که از بین پیوندک‌های کلکسیون مرکز تحقیقات دزفول تکثیر گردید. نهال‌های پیوندی با استفاده از روش کابل حرارتی تولید گردیده و در محل‌های مشخص‌شده در دو منطقه فوق مورد کشت قرار گرفتند.

خاک مناطق مورد کشت از نوع لوم بوده و آبیاری به‌صورت سیستم قطره‌ای اجرا شد. دفعات آبیاری طی فصل رشد با توجه به شرایط دمایی و هفته‌ای یک‌بار انجام گرفت. عملیات مدیریت باغ شامل هرس زمستانه، سم‌پاشی زمستانه و تغذیه برای همه درختان به‌طور یکسان اعمال شد. تغذیه خاکی و محلول‌پاشی براساس نتایج آزمون خاک صورت گرفت. ارزیابی صفات زایشی طبق دسکرپتور پکان (<http://cgrou.usda.gov/carya>) به‌مدت سه سال روی این درختان صورت گرفت. صفات زایشی مورد یادداشت‌برداری عبارتند از: گل‌دهی (زمان پیدایش و طول دوره پذیرش گل ماده، زمان پیدایش و طول دوره پذیرش گل‌های نر)، گرده‌افشانی و بررسی دیکوگامی (پروتوژنی و پروتاندری)، زمان رسیدن میوه (زمانی که حداقل ۵۰ درصد از میوه‌ها رسیده باشند)، تناوب باردهی (وجود تناوب باردهی، باردهی هر ساله)، صفات مهم میوه شامل وزن میوه، طول و قطر میوه، شکل میوه، ضخامت پوسته چوبی میوه، رنگ مغز، درصد مغز (نسبت وزن مغز به میوه با پوست) و عملکرد میوه. همچنین برای اندازه‌گیری منحنی رشد میوه با استفاده از کولیس دیجیتال به‌صورت هفتگی بعد از تشکیل میوه تا زمان رسیدن میوه، ابعاد میوه شامل طول و قطر اندازه‌گیری شد. نتایج حاصله به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تعیین و محاسبه شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات زایشی ارقام و ژنوتیپ‌های پکان طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ در دو مکان
Table 1- The ANOVA results for the reproductive characters of pecan cultivars and genotypes between 2021-2023

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		عملکرد Yield per tree	درصد مغز Nut%	وزن میوه Fruit weight	ضخامت پوسته چوبی Shell width	نسبت طول به قطر l/w	قطر میوه Fruit width	طول میوه Fruit length
مکان Place	۱	2.46**	324.33**	0.25ns	0.0002*	0.23**	0.86**	1.46 **
سال Year	۱	1.18*	327.04**	58.58**	0.00002ns	0.54**	1.14**	3.98**
مکان × سال P × Y	۱	0.67ns	324.33**	15.59*	0.0ns	0.26**	1**	1.94**
کولتیوار Cultivar	۴	1.69**	761.39**	45.81**	0.08ns	0.46**	1.02**	2.95**
کولتیوار × مکان C × P	۴	0.18ns	324.33**	28.43**	0.0ns	0.4**	0.77**	2.05**
کولتیوار × سال C × Y	۴	0.04ns	324.07**	20.42**	0.006ns	0.63**	0.67*	2.87**
کولتیوار × مکان × سال C × P × Y	۴	0.21ns	324.33**	11.13**	0.0ns	0.50**	0.58**	1.96**
خطا Error	۳۱	0.17	5.89	1.46	0.00002	0.003	0.01	0.03
ضریب تغییرات (C.V. %)		40.77	5.02	14.13	0.57	3.64	4.93	4.64

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% of probability levels, respectively

طول فصل رشد در بین ارقام در منطقه گنبد ۲۵۷ روز و در گرگان از ۲۳۷ تا ۲۴۷ روز متفاوت بود. کمترین طول دوره رشد در هر دو منطقه در ژنوتیپ 'G63' (۲۴۰ روز) ثبت گردید. بر این اساس، زودبرگه‌ترین رقم در هر دو منطقه ژنوتیپ 'G3' و دیربرگه‌ترین رقم کومانچ بوده است. خزان در هر دو منطقه در نیمه اول آذرماه بوده است و تاریخ خزان ژنوتیپ 'G3' نیز زودتر از بقیه ارقام ثبت گردید. زمان برداشت در منطقه گنبد در نیمه دوم مهرماه و در منطقه گرگان در هفته اول آبان بود. آلتا و نینوت (Aleta & Ninot, 1993) با ارزیابی ۲۱ رقم پکان در اسپانیا گزارش دادند که ارقام شوشونی و آپاچی دارای بیشترین رشد و وی چی تا دارای کمترین رشد بوده و رقم شوشونی زودرس‌ترین و آپاچی دیررس‌ترین می‌باشند. رقم چوکتا دارای درشت‌ترین میوه و رقم چی‌ینی ریزترین میوه می‌باشد. چوکتا پرمغزترین و ارقام ماه‌واک، آپاچی و وی چی تا زودبارده‌ترین ارقام می‌باشند.

مهم‌ترین محدودیت در توسعه پکان، نیاز این محصول به یک دوره رشد طولانی بعد از پیدایش گل تا رسیدن کامل میوه است (Ajamgard et al., 2007; Wolstenholme, 1980).

در اندازه‌گیری ضخامت پوسته چوبی میوه که به‌عنوان یکی از صفات مناسب برای تعیین راحتی پوست‌کنی لحاظ می‌شود، بیشترین ضخامت در ژنوتیپ 'G4' در سال اول (۰/۸۷ میلی‌متر) و کمترین ضخامت پوسته در ژنوتیپ 'G3' در سال اول (۰/۶۳ میلی‌متر) به دست آمد.

مقایسه میانگین درصد مغز نشان داد که ژنوتیپ‌های 'G3' و 'G4' اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار می‌گیرند. بیشترین درصد مغز در ژنوتیپ‌های G3 (۵۳/۴ - ۵۳/۳۱ درصد) و 'G4' (۵۴/۸۳ - ۵۵/۴۳ درصد) در هر دو مکان و هر دو سال می‌باشد. از نظر این صفت، ژنوتیپ‌های 'G43' و 'G63' و رقم کومانچ تفاوت معنی‌داری نداشته و هر سه در یک گروه قرار گرفتند.

در ثبت مراحل فنولوژی زایشی (جدول ۷)، شروع رشد در بهار در همه ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در موقعیت باغ کشاورز واقع در روستای ایگدر از توابع شهرستان گنبد با اختلاف پنج روز زودتر از موقعیت ایستگاه تحقیقات چالکی از توابع شهرستان گرگان می‌باشد. توضیح این امر می‌تواند با توجه به شرایط اقلیمی گرم‌تر گنبد نسبت به گرگان باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سه‌گانه رقم × مکان × سال بر وزن میوه، نسبت طول به قطر میوه، طول میوه، قطر میوه و درصد مغز پکان
 Table 2- The triple effect of cultivar×place×year on the pecan fruit weight, fruit length/diameter, fruit length, fruit width and nut percent

سال × مکان × رقم Cultivar × place × year	میانگین وزن میوه Fruit weight	میانگین نسبت طول به قطر میوه Fruit length/diameter	میانگین طول میوه Fruit length	میانگین قطر میوه Fruit width	درصد مغز Nut percent
1401 × گرگان × G3	9.9cd*	1.82abcd*	4.00ab*	2.20d-h*	53.31a*
1401 × Gorgan × G3					
1401 × گنبد × G3	6.16fg	1.75b-f	4.13ab	2.35a-e	53.31a
1401 × Gonbad × G3					
1402 × گرگان × G3	10.83 abc	1.71d-h	4.1ab	2.39ab	53.4a
1402 × Gorgan × G3					
1402 × گنبد × G3	6.5fg	1.78a-f	4.07ab	1.28a-h	53.4a
1402 × Gonbad × G3					
1401 × گرگان × G4	5.8g	1.83abc	3.90b	2.13h	54.83a
1401 × Gorgan × G4					
1401 × گنبد × G4	6.96fg	1.75b-f	3.83b	2.19e-h	54.83a
1401 × Gonbad × G4					
1402 × گرگان × G4	5.74g	1.79a-f	3.96ab	2.21c-h	55.43a
1402 × Gorgan × G4					
1402 × گنبد × G4	8.66de	1.8abcde	4.04ab	2.24b-h	55.43a
1402 × Gonbad × G4					
1401 × گرگان × G43	11.96ab	1.85ab	4.06ab	2.20d-h	48.82b
1401 × Gorgan × G43					
1401 × گنبد × G43	11.34abc	1.68fgh	3.94ab	2.34a-f	48.82b
1401 × Gonbad × G43					
1402 × گرگان × G43	12.2a	1.78a-f	4.22a	2.37abc	48.56b
1402 × Gorgan × G43					
1402 × گنبد × G43	11.5abc	1.67gh	3.92ab	2.36abcd	48.56b
1402 × Gonbad × G43					
1401 × گرگان × G63	7.96ef	1.73c-f	4.09ab	2.36abcd	49.5b
1401 × Gorgan × G63					
1401 × گنبد × G63	7.8ef	1.69e-h	3.93ab	2.31a-g	49.5b
1401 × Gonbad × G63					
1402 × گرگان × G63	11.23abc	1.68fgh	4.07ab	2.42a	49.16b
1402 × Gorgan × G63					
1402 × گنبد × G63	7.95ef	1.76b-f	4.09ab	2.32 a-g	49.16b
1402 × Gonbad × G63					
1401 × گرگان × Comanch	0f	0i	0d	0i	0c
1401 × Gorgan × Comanch					
1401 × گنبد × Comanch	7.83ef	1.63h	3.58c	2.18fgh	46.5b
1401 × Gonbad × Comanch					
1402 × گرگان × Comanch	10.63 abc	1.87a	4.06ab	2.16gh	46.5b
1402 × Gorgan × Comanch					
1402 × گنبد × Comanch	10.28bcd	1.78a-f	4.04ab	2.27a-h	46.5b
1402 × Gonbad × Comanch					

* میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

*The same characters have no significant differences

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × سال بر ضخامت پوسته چوبی میوه

Table 3- Mean differences of cultivar × year effect on shell width

سال × رقم Cultivar × year	میانگین ضخامت پوسته چوبی میوه Shell width (mm)
1401 × G3	0.61g*
1402 × G3	0.7f
1401 × G4	0.87a
1402 × G4	0.85c
1401 × G43	0.848c
1402 × G43	0.846c
1401 × G63	0.85b
1402 × G63	0.84d
1401 × Comanch	0.85bc
1402 × Comanch	0.83e

* میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

*The same characters have no significant differences.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر رقم یا ژنوتیپ بر عملکرد میوه

Table 4- Mean differences of cultivar effect on fruit width

رقم یا ژنوتیپ Cultivar or genotype	وزن میوه Fruit weight (g)
G3	0.68c*
G4	0.9bc
G43	1.62a
G63	1.17b
Comanch	0.8c

* میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

*The same characters have no significant differences.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر مکان بر عملکرد میوه

Table 5- Mean differences of cultivar effect on yield/tree

مکان Place	عملکرد به ازای درخت Yield/tree (kg per tree)
گرگان Gorgan	0.89b*
گنبد Gonbad	1.17a

* میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

*The same characters have no significant differences.

داده‌های اقلیمی حاصل از آمارهای بلندمدت استان، حاکی از آن است که تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه گرگان ۱۳/۱ روز و در ایستگاه گنبد ۳۰/۸ روز در طول سال می‌باشد (Esmaeili et al., 2018). وود و همکاران (Wood et al., 1997) در بررسی خصوصیات فنولوژیک نشان دادند که خصوصیات رویشی و زایشی تأثیرپذیری زیادی از شرایط محیطی دارند و تأکید نمودند که صفات فنولوژیک برای یک رقم مشخص می‌تواند در نقاط مختلف و حتی طی سال‌های مختلف در یک محل تحت تأثیر محیط قرار بگیرد.

از آنجاکه مشخصه‌های حرارتی عامل مهمی در تعیین طول مراحل فنولوژیکی گیاه می‌باشند و براساس اطلاعات گردآوری شده در جدول ۳ براساس سه سال یادداشت‌برداری، می‌توان جمع‌بندی نمود که شروع رشد در بهار در شرق استان از هفته اول فروردین و در غرب استان از نیمه فروردین آغاز شده و همچنین خزان در هر دو منطقه در ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف تا نیمه آذرماه ادامه دارد. لذا یک دوره رشد این محصول در حدود هفت تا هشت ماه می‌باشد تا رسیدگی میوه تکمیل گردیده و گیاه وارد مرحله استراحت گردد. همچنین

جدول ۶- خصوصیات میوه ژنوتیپ‌ها و ارقام پکان سال ۱۴۰۱-۱۴۰۳
Table 6- Fruit characters of pecan cultivars and genotypes between 2021-2023

ردیف Row	رقم Cultivar	منطقه Place	عملکرد Yield (kg.tree ⁻¹)	وزن میوه Fruit weight (g)	ضخامت پوسته چوبی Shell thickness (mm)	نسبت طول به قطر میوه Fruit length to diameter	قطر میوه Fruit width (W) (cm)	طول میوه Fruit length (L) (cm)
1	G3	گرگان Gorgan	0.55	10.37	0.62	1.8	2.29	4.05
2	G4		0.85	5.76	0.88	1.8	2.17	3.91
3	G43		1.38	12.05	0.85	1.8	2.28	4.14
4	G63		0.83	9.59	0.86	1.7	2.39	4.08
5	Comanch		0.96	10.63	0.85	1.9	2.16	4.06
6	G3	گنبد Gonbad	0.81	6.33	0.7	1.8	2.35	4.1
7	G4		0.89	7.78	0.85	1.8	2.21	3.93
8	G43		1.83	11.42	0.85	1.7	2.35	3.94
9	G63		1.49	7.87	0.84	1.7	2.31	4.01
10	Comanch		1.11	9.05	0.83	1.7	2.22	3.81
	حداقل	Min	0.55	5.76	0.62	1.7	2.16	3.81
	حداکثر	Max	1.83	12.05	0.88	1.9	2.35	4.14
	میانگین	Mean	1.07	9.08	0.81	1.77	2.27	4
	ضریب تغییرات	Standard deviation	0.37	2.01	0.08	0.06	0.08	0.1

میوه بوده و در این مرحله، جنین به اندازه ماکروسکوپی خود رسیده است. بنابراین آغاز سخت شدن پوسته همراه نمو حداکثری آندوسپرم و شروع رشد سریع جنین یا پر شدن مغز است (McKay, 1947).

میوه‌ها طی ۵۶ روز بعد از گرده‌افشانی شروع به بزرگ شدن نموده و به نصف اندازه خود می‌رسند. طی سه ماه بعد از گرده‌افشانی، تغییرات اندازه تخمک روند افزایشی داشته و در پایان این دوره هم تخمک و هم میوه تقریباً به اندازه نهایی خود می‌رسند (Crane & Hardy, 1934).

در بررسی دیکوگامی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۲ در ارقام و ژنوتیپ‌های تحت مطالعه، دو رقم کومانچ و ماهان در گرگان نرپیش‌رسی نشان دادند، این در حالی است که هر دو رقم در گنبد ماده‌پیش‌رسی نشان دادند. همچنین چهار ژنوتیپ استان (‘G3’، ‘G4’، ‘G43’، ‘G63’) ماده‌پیش‌رسی نشان دادند. چارت گرده‌افشانی در شکل ۲ آورده شده است. بر این اساس، در احداث باغ و برای حصول حداکثر عملکرد لازم است که ارقام با هم‌پوشانی بالای گرده‌افشانی لحاظ شوند. علاوه بر این شرایط مدیریت باغ از جمله تغذیه، آبیاری و مهار بیماری‌ها و آفات نیز نقش مهمی در تعیین عملکرد نهایی دارند. طول دوره ریزش گرده در ژنوتیپ ‘G4’ از نهم اردیبهشت تا ۱۶ اردیبهشت به مدت هشت روز می‌باشد، درحالی که در ژنوتیپ ‘G43’ شش روز بوده و بیشترین طول دوره گرده‌افشانی در رقم کومانچ (۱۳ روز) و بعد از آن ژنوتیپ ‘G43’ (۱۱ روز) و کمترین

براساس نتایج، ژنوتیپ G43 در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در ایستگاه تحقیقات چالکی گرگان و در سال دوم دارای بالاترین وزن میوه (۱۱/۷۵ گرم) بوده است و بعد از آن رقم کومانچ (۹/۸۴ گرم) قرار داشته است. براساس نتایج فاز ۱ این تحقیق، ژنوتیپ ‘G43’ از نظر قدرت رشد و حجم تاج نیز بالاترین میزان را در بین ارقام تحت مطالعه داشته است. کمترین وزن میوه نیز در ژنوتیپ ‘G4’ (۶/۷۹ گرم) ثبت گردید. همچنین در دو سال ارزیابی عملکرد تفاوت معنی‌داری در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دو منطقه به دست نیامد.

منحنی رشد میوه طی ۲۵ هفته پس از گرده‌افشانی براساس تغییرات ابعاد میوه در شکل ۱ آورده شده است. همچنین مشخصات شکل میوه و رنگ مغز در جدول ۸ بر اساس دسکریپتور آورده شده است. به‌طور کلی، مراحل نمو میوه پس از گرده‌افشانی را می‌توان به دو قسمت تقسیم نمود: ۱- نمو آندوسپرم و ۲- رشد جنین یا پر شدن مغز. مرحله پر شدن مغز هم‌زمان با سخت شدن پوسته چوبی آغاز گردیده و تا زمان رسیدن میوه ادامه دارد. در مرحله نمو میوه در پکان، ابتدا افزایش در اندازه رخ می‌دهد. این مرحله از زمان شکوفه‌دهی آغاز و هم‌زمان با سخت شدن هسته خاتمه می‌یابد. در مرحله بعد پر شدن مغز آغاز می‌گردد که هم‌زمان با سخت شدن پوسته بوده و هم‌زمان با جدا شدن مغزها از پوسته (در زمان رسیدن میوه) خاتمه می‌یابد. نمو حداکثری آندوسپرم در آغاز سخت شدن پوسته از ناحیه انتهای گلگاه

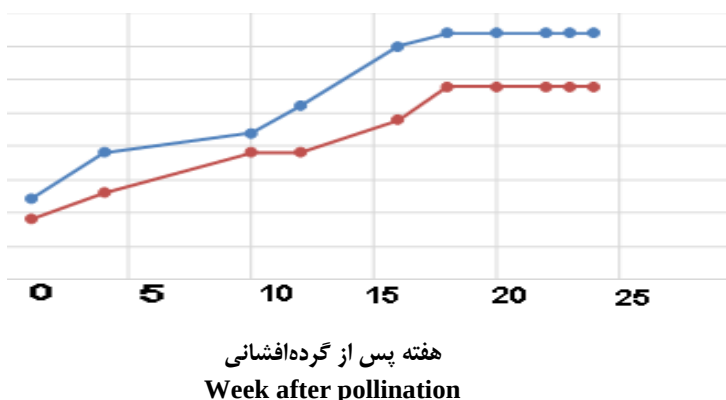
در این مطالعه دارای خصوصیت دیکوگامی می‌باشند. در تحقیق آن‌ها، ارقام عمدتاً پروتوژینوس بودند، به جز رقم پرکیو که پروتاندرا بوده است. همچنین در این مطالعه، رقم گراکینگ بیشترین طول دوره گرده‌ریزی را نشان داده است.

در ژنوتیپ 'G3' (۶ روز) می‌باشد. همچنین بیشترین طول دوره گرده‌ریزی در رقم ماهان (۱۱ روز) و کمترین طول دوره گرده‌ریزی در ژنوتیپ G4 (۶ روز) بوده است، (شکل ۲). عجم گرد و همکاران (Ajamgard et al., 2017) برای تهیه چارت گرده‌افشانی ارقام تجاری پکان در دزفول طی دو سال بررسی، نشان دادند که همه ارقام

جدول ۷- خصوصیات رشدی و فنولوژی در دو منطقه چالکی و گنبد طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۴۰۳

Table 7- Vegetative characters in two place between 2020-2024

رقم Cultivar	مکان Place	شروع به رشد Growth begining	خزان Abscission	طول دوره رشد Growth length (day)	قدرت رشد Vigority	عادت رشد Growth habit	شروع باردهی Time of Bearing	تاریخ برداشت Time of harvest
G3	گرگان Gorgan	۱۳ فروردین 2 April	۹ آذر 30 Nov.	242	متوسط تا قوی Medium to strong	عمودی Upright	سال سوم 3 th year	۴ آبان‌ماه .Oct 26
G4		۱۳ فروردین 2 April	۱۰ آذر 1 Dec.	243	متوسط Medium	عمودی Upright	سال چهارم 4 th year	۴ آبان‌ماه .Oct 26
G43		۱۴ فروردین 2 April	۱۴ آذر 5 Dec.	245	متوسط تا قوی Medium to strong	عمودی Upright	سال سوم 3 th year	۶ آبان‌ماه .Oct 26
G63		۱۴ فروردین 2 April	۹ آذر 30 Nov.	240	متوسط Medium	گسترده Widspread	سال چهارم 4 th year	6 آبان‌ماه .Oct 26
ماهان		۱۳ فروردین 2 April	۱۴ آذر 5 Dec.	247	متوسط تا قوی Medium to strong	عمودی Upright	سال چهارم 4 th year	۴ آبان‌ماه .Oct 26
کومانچ		۱۸ فروردین 2 April	۹ آذر 30 Nov.	237	قوی Strong	عمودی Upright	سال سوم 3 th year	4 آبان‌ماه .Oct 26
G3	گنبد Gonbad	۳ فروردین March 23	۱۴ آذر 5 Dec.	257	قوی Strong	عمودی Upright	سال سوم 3 th year	۲۰ مهرماه .Oct 26
G4		۴ فروردین March 24	۱۴ آذر 5 Dec.	256	متوسط Medium	عمودی Upright	سال چهارم 4 th year	۲۰ مهرماه .Oct 26
G43		۳ فروردین March 24	۱۴ آذر 5 Dec.	257	قوی Strong	Semi-upright	سال سوم 3 th year	۲۳ مهرماه .Oct 15
G63		۳ فروردین March 23	۱۴ آذر 5 Dec.	257	متوسط Medium	گسترده Widspread	سال سوم 3 th year	۲۰ مهرماه .Oct 26
ماهان		۵ فروردین 25 March	۱۴ آذر 5 Dec.	256	متوسط تا قوی Medium to strong	عمودی Upright	سال سوم 3 th year	۱۷ مهرماه .Oct 26
کومانچ		۵ فروردین 25 March	۱۴ آذر 5 Dec.	256	متوسط تا قوی Medium to strong	عمودی Upright	سال سوم 3 th year	۱۷ مهرماه .Oct 26



شکل ۱- تغییرات طول و قطر میوه پکان پس از گرده‌افشانی در طی فصل رتد (خط قرمز: قطر میوه، خط آبی: طول میوه)
Figure 1- The fruit length and width changes of pecan after pollination by week (Red line: Fruit width, Blue line: Fruit Length)

جدول ۸- شکل میوه و رنگ مغز ژنوتیپ‌ها و ارقام براساس استاندارد دسکریپتور پکان

Table 8- Fruit shape and nut color of pecan genotypes and cultivars due to descriptor

رقم/ژنوتیپ Cultivar/Genotype	شکل میوه Fruit shape	رنگ مغز Kernel color
G3	بیضوی زاویه دار Oblong elliptic	کرم رنگ Cream
G4	بیضوی زاویه دار Oblong elliptic	طلایی Golden
G43	بیضوی زاویه دار Oblong elliptic	کرم رنگ cream
G63	بیضوی Elliptic	طلایی Golden
کومانچ Comanch	بیضوی زاویه دار Oblong elliptic	قهوه‌ای روشن Light-brown

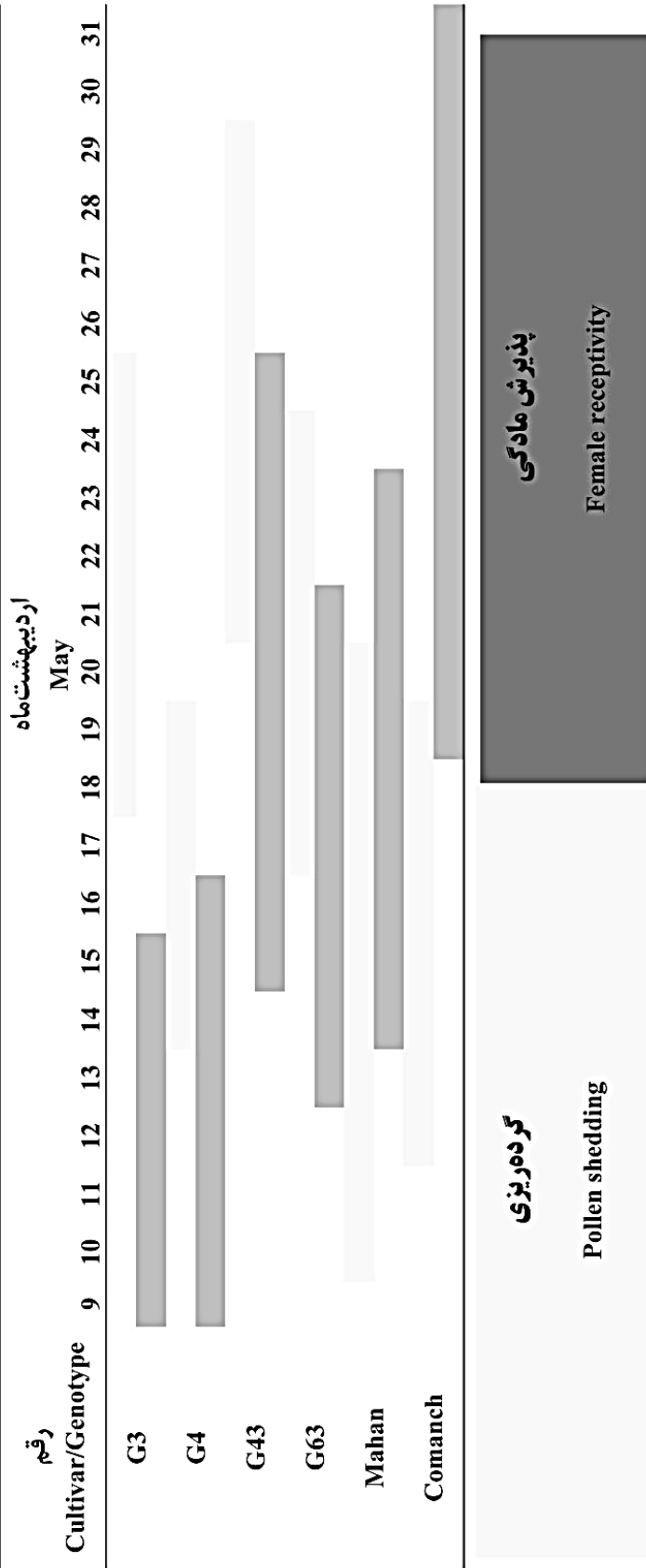
نتیجه‌گیری

موجود در استان بذری بوده و مشکلات ناشی از دیکوگامی و دیرباردهی در برخی از آن‌ها مشهود می‌باشد. این طرح که در دو مرحله رویشی و زایشی انجام گردید، ارزیابی ژرمپلاسم منتخب پکان در استان با هدف استفاده از پتانسیل ژنتیکی موجود استان و نیز مقایسه با ارقام تجاری موجود در کشور برای معرفی و توسعه در احداث باغات جدید در استان صورت گرفت. چنانچه نتایج دو مرحله این تحقیق نشان می‌دهد که برخی از ژنوتیپ‌های معرفی‌شده دارای قابلیت رقابت با ارقام تجاری موجود می‌باشند که مستلزم ادامه بررسی در سال‌های اوج باردهی و بلوغ درخت خواهد بود. طول فصل رشد در بین ارقام در منطقه گنبد ۲۵۷ روز و در گرگان از ۲۳۷ تا ۲۴۷ روز متفاوت بود. همچنین تأثیرات شرایط خشکسالی حادث در استان گلستان طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ را باید در تعیین نسبی نتایج دخیل نمود. به‌عنوان جمع‌بندی، براساس ارزیابی این دو مرحله و با در نظر گرفتن شرایط رشد و باردهی، سه ژنوتیپ 'G4'، 'G43' و 'G63' می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش جهت توسعه مد نظر قرار داده شوند.

در سال‌های اخیر اقبال عمومی به کاشت پکان در استان زیاده بوده است که دلایل متعددی برای آن وجود دارد، از جمله مقاومت خوب درختان قدیمی پکان در استان به تنش‌های دمایی از جمله دماهای بالای تابستان، سرمای دیررس بهاره و سرمای زمستان مشابه دی ماه سال ۱۳۸۶ و پاییز ۱۳۹۵ که به سایر گونه‌های باغی خسارات قابل توجهی وارد آورد و درختان پکان موجود کمترین آسیب را داشتند. همچنین در مقایسه با باغات هسته‌دار استان که عمدتاً در نوار میانی پراکنده‌اند و طی سال‌های پیش گسترش و علاقمندی زیادی داشته‌اند، ولی در سال‌های اخیر مبتلا به مشکلات متعدد از جمله کوتاهی عمر به‌سبب خسارات بالای بیماری و آفات و همچنین هزینه‌های بالای سم‌پاشی و هرس بوده‌اند، مدیریت باغات پکان به مراتب کم هزینه‌تر و مناسب‌تر می‌باشد. از طرفی، قیمت قابل توجه آجیل و خشکبار و قابلیت انبارداری مناسب آن باعث گردیده است که توجه عمومی به‌سوی این خشکبار با ارزش جلب گردد. عمدتاً درختان

شکل ۲- چارت گرده افشانی ارقام و ژنوتیپ‌های پکان در استان گلستان.

Figure2- Pollination chart of Pecan cultivars and genotypes in Golestan province.



References

1. Ajamgard, F., Rahemi, M., & Vahdati, K. (2017). Determining the pollinizer of pecan cultivars. *Journal of Nuts*, 1(8), 41-48.
2. Ajamgard, F., & Hasani, D. (2007). *Investigating and comparing the quantitative and qualitative performance of pecan cultivars*. Final Report, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Dezful, Iran. 21 pp. (in Persian)
3. Aleta, N., & Ninot, N. (1993). Field evaluation of 21 cultivars in catalonta (Spain). *International Walnut Meeting. Tarragon, Spain*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.311.38>
4. Badyal, J.M., & Upadhayay, S.K. (2004). *Evaluation of various cultivars of pecan under subtropical climate of India*. VII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics. Nauni, Solan, India. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.662.21>
5. Crane, H.L., & Hardy, M.B.(1934). Interrelation between cultural treatment of pecan trees, the size and degree of filling of the nuts and the composition of kernels. *Journal of Agricultural Research*, 49, 648-661.
6. Esmaeili, F., Sarli, R., & Khodadad, M. (2018). Measurement of climatic index for tourism development in rural and urban areas (case study: Gonbad). *Iranian Natural Ecosystems*, 9(2), 127-144. (in Persian)
7. Fronza, D., Hamann, J.J., Both, V., Anese, R.O., & Meyer, E.A. (2018). Pecan cultivation: General aspects, *Ciência Rural*, 48(2), 1-9. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170179>
8. Ghazaeian, M. (2012). *Study of vegetative and reproductive traits of some pecan genotypes in Golestan province*. Final Report, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Gorgan, Iran. 28 p. (in Persian)
9. Perez, A., Pollack, S., Johnson, D., Krissoff, B., & Calvin, L. (1997). *Fruit and Tree Nuts Situation and Outlook*. Commercial Agriculture Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, August 1997, FTS-280. 53 p.
10. McKay, J.W. (1947). Embryology of pecan. *Journal of Agricultural Research*, 74, 263-283.
11. Rajaram, S., Burke, K., Connell, B., Myint, T., & Sabaté, J.(2001). A monounsaturated fatty acid-rich pecan-enriched diet favorably alters the serum lipid profile of healthy men and women. *Journal of Nutrition*, 131, 2275-2279. <https://doi.org/10.1093/jn/131.9.2275>
12. Rui, Zh., Fangren, P., & Li,Y. (2015). Pecan production in China. *Scientia Horticulturae*, 197, 719-727. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.035>
13. Tamponi, G.(1990). *Introduction and evaluation of pecan cultivar in Italy*. I International Symposium on Walnut Production. Budapest, Hungary.
14. Tuzcu, M., Kaplankiran, K., & Yesiloglu, T. (1993). Present status and prospect of pecan nut culture and trials in Turkey. International Walnut Meeting. Tarragon, Spain.
15. Ul, H., Syed, Zia, H., Asghar, S., Iqbal, M., Saleem, A., Iqbal, S., Batool, I., Rehman, A., Abdul, M., Khan, S., Rafique, R., Khalid, S., Zulfiqar, B., Bibi, R., Malik, S., & Attiq, A. (2023). Multilocation adaptability studies of pecan nut for assessing the scope of pecan nut cultivation in Punjab. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 2(2), 83-90.
16. Wolstenholme, B.N. (1980). The ecology of pecan trees. Part 1. Characteristics of the native habitat. *The Pecan Quarterly*, 13(2), 32-35.
17. Wood, B.W., Smith, M., Worley, R.E., Thompson, T., & Grauke, L.J. (1997). Reproductive and vegetative characteristics of pecan cultivars. *Hort Science*, 32(6), 1028-1033. <http://doi.org/10.21273/hortsci.32.6.1028>
18. Zhang, R.Q., Lv, F.D., He, F., & Li, B. (2002). Cultural regionalization for the introduced pecan tree in China III: region designation and description. *Journal of Central South University*, 22, 14-19.

Contents

The Effect of Foliar Application of NAA on Quantitative and Qualitative Properties of 'Red Delicious' Apple (<i>Malus domestica</i> L.) Fruit under Climatic Conditions of Zanjan	173
F. Nekounam, A. Salehi	
Evaluation of the Morphophysiological and Phytochemical Characteristics of Persian Shallot (<i>Allium hirtifolium</i> Boiss) Landraces in Isfahan Province	187
M. Mohammad Rezaei, M. Hassanpour Asil, J.A. Olfati, M.M. Gheisari	
The Effect of Superabsorbent Polymer on Quantitative and Qualitative Characteristics of Valerian (<i>Valeriana officinalis</i> L.) under Drought Stress	203
M. Azizi, S. Beigi, Z. Safaei, M. Mansoori	
Expression Pattern of <i>AsFLC</i> Gene and Its Relationship with the <i>AsSOC1</i>, <i>AsAP1</i> and <i>AsAP2</i> Genes During Vernalization in Bolting, Semi- and Non-bolting Iranian Garlic (<i>Allium sativum</i> L.)	217
F. Ghaemizadeh, F. Dashti	
Antifungal Effect of Some Essential Oils on Increasing Shelf Life and Quality Parameters of Pomegranate (<i>Punica granatum</i> L.) Fruit	235
M. Bahrani, M. Jahani, M.H. Aminifard	
Investigating the Phytochemical Indices of Plantain (<i>Platanus orientalis</i>) Trees Located in Four Areas (1, 3, 6 and 11) of Valiasr Street in Tehran under Different Climatic Conditions and Environmental Pollutants	251
G.H. Homayouni, M.R. Raji, A. Ehteshamnia, M. Aalifar	
Effects of Inoculation with Arbuscular Mycorrhiza Fungi on Growth, Photosynthetic Pigments Biosynthesis and Essential Oil Content in <i>Dracocephalum moldavica</i> L. (Moldavian Balm) under Lead and Cadmium Stress	273
M. Moradi, H. Nastari Nasrabadi, M.N. Modoodi, V. Shamsabadi	
Physico-Chemical Response and Seedling Growth of Three Aromatic Plants, <i>Tanacetum parthenium</i>, <i>Achillea millefolium</i>, and <i>Zygophyllum eurypterum</i> to Salinity Stress	287
M. Ayaseh, M. Kafi, M. Khansefid, M. Shokrpour, R. Naderi	
Effect of Exogenous Melatonin Treatment on Nonenzymatic Antioxidant System, Nutritional Value, and Visual Quality of Mature Physalis (<i>Physalis peruviana</i> L.) Fruit	303
L. Taghipour, P. Hayati, M. Hosseinfarahi, P. Assar	
Evaluation of Drought Tolerance in Some Almond Commercial Cultivars (<i>Prunus dulcis</i> Mill.) on GN Vegetative Rootstock	319
S.A. Mousavi, M. Tatari	
The Effect of Planting Dates on Narcissus Plant (<i>Narcissus tazetta</i> L.) under Irrigation and Effective Microorganisms (EM)	335
A. Akrami, H. Bayat, S. Daghighi, M.H. Aminifard	
Study of Pecan Cultivars and Genotypes (<i>Carya illinoensis</i>) Acclimation in Golestan Province Climate	351
M. Ghazaeian, D. Hassani, S. Zamani, M. Adibi	

HORTICULTURAL SCIENCES

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol. 39

No. 2

2025

Published by: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Editor in charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof. Ferdowsi University of Mashhad.

General Chief Editor: Tehranifar, A. (Horticultural Sciences) Prof. Ferdowsi University of Mashhad.

Editorial Board:

Arouiee, H.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Abedi, B.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Tehraniifar, A.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Shoor, M.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
Haghighi, M.	Horticultural Sciences	Isfahan University of Technology
Hassanzadeh Mobini, S	Phytotron Facility Manager	Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Queen's University ·Kingston, Canada
Khanizadeh, S.H.	Research Scientist	Bioproducts and Bioprocesses, Agriculture and Agri-Food Canada
Khazaei, H	Plant Breeding	Plant Breeding, AVRDC - The World Vegetable Center
Davarynejad, G.H.	Horticultural Sciences	Ferdowsi University of Mashhad
M. Rahemi	Horticultural Sciences	Shiraz University
Zamani, Z.	Horticultural Sciences	University of Tehran, Iran
Sharifani, M.M.	Horticultural Sciences	Gorgan University of Agricultural Science & Natural Resources
Azizi, M.	Medicinal Plants	Ferdowsi University of Mashhad
Ebadi, A.	Horticultural Sciences	Tehran University
Fallahi, E.	Horticultural Sciences	Department of Plant Sciences, University of Idaho
Farsi, M.	Plant Breeding and Genetics	Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Floriculture and landscaping	Tehran University
Lahouti, M.	Plant Physiology	Ferdowsi University of Mashhad
Fujii, Y.	Agriculture	Tokyo University of Agriculture and Technology, International Environmental and Agricultural Sciences

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad.

Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

P.O.BOX: 91775- 1163

Tel: +98-0511- 38804621

Fax: +98-0511- 8787430

E-Mail: Jhorts4@um.ac.ir

Web Site: <https://jhs.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol. 39 No. 2

2025

Journal of Horticultural Science

(Agricultural Science and Technology)



ISSN:2008-4730

Contents

The Effect of Foliar Application of NAA on Quantitative and Qualitative Properties of 'Red Delicious' Apple (<i>Malus domestica</i> L.) Fruit under Climatic Conditions of Zanjan	173
F. Nekounam, A. Salehi	
Evaluation of the Morphophysiological and Phytochemical Characteristics of Persian Shallot (<i>Allium hirtifolium</i> Boiss.) Landraces in Isfahan Province	187
M. Mohammad Rezaei, M. Hassanpour Asil, J.A. Olfati, M.M. Gheisari	
The Effect of Superabsorbent Polymer on Quantitative and Qualitative Characteristics of Valerian (<i>Valeriana officinalis</i> L.) under Drought Stress	203
M. Azizi, S. Beigi, Z. Safaei, M. Mansoori	
Expression Pattern of <i>AsFLC</i> Gene and Its Relationship with the <i>AsSOC1</i>, <i>AsAPI</i> and <i>AsAP2</i> Genes During Vernalization in Bolting, Semi- and Non-bolting Iranian Garlic (<i>Allium sativum</i> L.)	217
F. Ghaemzadeh, F. Dashti	
Antifungal Effect of Some Essential Oils on Increasing Shelf Life and Quality Parameters of Pomegranate (<i>Punica granatum</i> L.) Fruit	235
M. Bahrani, M. Jahani, M.H. Aminifard	
Investigating the Phytochemical Indices of Plantain (<i>Plantanus orientalis</i>) Trees Located in Four Areas (1, 3, 6 and 11) of Valiasr Street in Tehran under Different Climatic Conditions and Environmental Pollutants	251
G.H. Homayouni, M.R. Raji, A. Ehteshamnia, M. Aalifar	
Effects of Inoculation with Arbuscular Mycorrhiza Fungi on Growth, Photosynthetic Pigments Biosynthesis and Essential Oil Content in <i>Dracocephalum moldavica</i> L. (Moldavian Balm) under Lead and Cadmium Stress	273
M. Moradi, H. Nastari Nasrabdi, M.N. Modoodi, V. Shamsabadi	
Physico-Chemical Response and Seedling Growth of Three Aromatic Plants, <i>Tanacetum parthenium</i>, <i>Achillea millefolium</i>, and <i>Zygophyllum eurypterum</i> to Salinity Stress	287
M. Ayaseh, M. Kafi, M. Khansefid, M. Shokrpour, R. Naderi	
Effect of Exogenous Melatonin Treatment on Nonenzymatic Antioxidant System, Nutritional Value, and Visual Quality of Mature Physalis (<i>Physalis peruviana</i> L.) Fruit	303
L. Taghipour, P. Hayati, M. Hosseinfarahi, P. Assar	
Evaluation of Drought Tolerance in Some Almond Commercial Cultivars (<i>Prunus dulcis</i> Mill.) on GN Vegetative Rootstock	319
S.A. Mousavi, M. Tatari	
The Effect of Planting Dates on Narcissus Plant (<i>Narcissus tazetta</i> L.) under Irrigation and Effective Microorganisms (EM)	335
A. Akrami, H. Bayat, S. Daghighi, M.H. Aminifard	
Study of Pecan Cultivars and Genotypes (<i>Carya illinoensis</i>) Acclimation in Golestan Province Climate	351
M. Ghazaeian, D. Hassani, S. Zamani, M. Adibi	